



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

на тему *Розробка технологічного процесу відновлення деталей автомобілів з подальшим зміцненням пластичним деформуванням*

Шифр: КРБМТВАТАМ 25.20210.000. ПЗ


Галузь знань	<u>13 – Механічна інженерія</u> Шифр і назва галузі знань
Спеціальність	<u>132 – Матеріалознавство</u> Шифр і назва спеціальності
Рівень вищої освіти	<u>Перший бакалаврський</u> Рівень вищої освіти
Освітньо-професійна програма	<u>Відновлення та технічний сервіс автомобілів</u> Назва освітньої програми

Виконав:	<u>студент 5 курсу, група МТВАз-20-1</u> Курс, група виконавця	 Підпис	<u>Владислав КОРОЛЬ</u> Ім'я, прізвище
----------	---	---	---

Керівник:	<u>д-р.техн.н., професор кафедри ТАМ</u> Науковий ступінь, посада	 Підпис	<u>Ілона ДРАЧ</u> Ім'я, прізвище
-----------	--	--	-------------------------------------

До захисту допускаю:
зав. кафедри ТАМ, д-р.техн.н., професор

6 червня 2025 р.

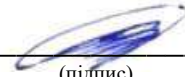

Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, прізвище

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
Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ



(підпис)

д-р.техн.н., проф. Олександр ДИХА

Науковий ступінь, ім'я, прізвище

20 лютого 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Завдання видано студенту

Королі Владиславу Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Розробка технологічного процесу відновлення деталей автомобілів з подальшим зміцненням пластичним деформуванням»

Керівник роботи

професор кафедри ТАМ Драч Ілона Володимирівна

(посада, прізвище, ім'я, по батькові)

2. Затверджено наказом університету від 7 лютого 2025 р. № 26

3. Дата видачі завдання студенту: 20 лютого 2025 р.

4. Строк подання студентом роботи на кафедру: 10 червня 2025 р.

5. Вихідні дані: джерела інформації щодо теми КРБ; креслення розподільного валу двигуна КАМАЗ-740, який підлягає відновленню; технічні умови на технології газовогняного напилення та ультразвукового пластичного деформування; річна програма ремонту деталей.

6. Зміст пояснювальної записки (перелік задач):

1. Аналітичний огляд за темою КРБ.

2. Постановка завдання дослідження та обґрунтування теми КРБ.

3. Технологічні розрахунки, пов'язані з розробкою технології відновлення зношених поверхонь розподільного валу газовогняним методом.

7. Перелік графічного матеріалу: *графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах.*

8. Консультанти розділів роботи:

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

9. Календарний план виконання кваліфікаційної роботи бакалавра:

№	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання	Примітка
1	<i>Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи бакалавра з керівником</i>	<i>01.02.2025</i>	<i>виконано</i>
2	<i>Ознайомлення з предметною областю, формулювання мети та задач дослідження, визначення об'єкта та предмета дослідження</i>	<i>30.02.2025</i>	<i>виконано</i>
3	<i>Робота над розділом 1 – Характеристика предметної області та постановка задачі</i>	<i>30.02.2025</i>	<i>виконано</i>
4	<i>Робота над розділом 2 – Вибір раціонального способу відновлення розподільного валу</i>	<i>15.04.2025</i>	<i>виконано</i>
5	<i>Робота над розділом 3 – Проектування технологічного процесу відновлення зношених поверхонь розподільного валу комбінованим методом</i>	<i>15.05.2025</i>	<i>виконано</i>
6	<i>Оформлення пояснювальної записки згідно вимог</i>	<i>30.05.2025</i>	<i>виконано</i>

Виконавець: студент 5 курсу, група МТВАз-20-1

Курс, група виконавця

Підпис

Владислав КОРОЛЬ

Ім'я, прізвище

Керівник: д-р.техн.н., професор кафедри ТАМ

Науковий ступінь, посада

Підпис

Ілона ДРАЧ

Ім'я, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи
бакалавра:

*Розробка технологічного процесу відновлення
деталей автомобілів з подальшим зміцненням
пластичним деформуванням*

Виконавець кваліфікаційної роботи
бакалавра:

*студент групи МТВАз-20-1
Король Владислав Андрійович*

Керівник кваліфікаційної роботи
бакалавра:

*д-р.техн.н., професор кафедри ТАМ
Драч Ілона Володимирівна*

Кваліфікаційна робота бакалавра містить:

Пояснювальна записка				Кількість додатків
Сторінок	Рисунків	Таблиць	Джерел інформації	
85	17	11	32	1

Метою цієї роботи є розроблення технології відновлення з подальшим зміцненням пластичним деформуванням деталей автомобіля на прикладі розподільного валу двигуна КамАЗ-740.






Завдання дослідження:

- вивчити основні принципи та методи відновлювального зварювання і напилення;
- проаналізувати можливі дефекти розподільного валу та визначити раціональний спосіб його відновлення;
- розробити технологічний процес відновлення зношених поверхонь розподільного валу комбінованим методом газовогняного напилення з подальшим зміцненням пластичним деформуванням і провести технологічні розрахунки.

Ключові слова: технічне обслуговування та поточний ремонт, планування, технологічний процес, відновлення, стан автомобіля, технологічне обладнання, конструкції, технологічні розрахунки, розподільний вал автомобіля КамАЗ.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Характеристика предметної області та постановка задачі.....	9
1.1 Аналіз предметної області	9
1.2 Актуальність інноваційних методів відновлення автомобільних деталей у сучасних умовах технічної експлуатації	12
1.3 Мета і задачі дослідження	15
2 Вибір раціонального способу відновлення розподільного валу	17
2.1 Опис конструкції деталі.....	17
2.2 Аналіз можливих дефектів розподільного валу та умови його відновлення.....	23
2.3 Технології відновлення робочих поверхонь елементів розподільного валу	28
2.4 Обґрунтування оптимального методу відновлення	33
2.4.1 Відновлення деталей під ремонтний розмір	33
2.4.2 Відновлення деталей зварюванням і наплавленням	36
2.4.3 Високошвидкісне газовогняне напилення	44
2.4.4 Ультразвукове пластичне деформування	46
2.4.5 Відновлення деталей методом газовогневого напилення та УПД	48
2.5 Критерії вибору оптимального способу відновлення деталей	49
Висновки до розділу 2	50

					КРБМТВАТАМ 25.20168.000 ПЗ			
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Розробка технологічного процесу відновлення деталей автомобілів з подальшим зміцненням пластичним деформуванням	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Король						5	89
Перевір.	Драч							
Реценз.								
Н. Контр.	Бабак							
Затверд.	Диха					ХНУ група МТВАз 20-1		

3	Проектування технологічного процесу відновлення зношених поверхонь розподільного валу комбінованим методом	52
3.1	Вибір устаткування та матеріалів для газополуменевого напилення ..	52
3.2	Розрахунок товщини відновлюваного шару та витрат матеріалу	53
3.3	Визначення режимів газополуменевого напилення	54
3.4	Високошвидкісна газотермічна установка	56
3.5	Ультразвукова установка	59
3.6	Маршрут відновлення розподільного валу	61
3.7	Вибір обладнання й оснащення	62
3.8	Розрахункова частина	63
3.8.1	Призначення припусків та допусків на оброблювані поверхні ..	63
3.8.2	Вибір різального інструменту	64
3.8.3	Розрахунок режимів різання та відновлення	66
3.8.4	Розрахунок норм часу	72
3.8.5	Розроблення плану ділянки відновлення	75
	Висновки до розділу 3	77
	Висновки	78
	Перелік посилань	80
	Додаток	85

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробленню технології відновлення з подальшим зміцненням пластичним деформуванням деталей автомобіля на прикладі розподільного валу двигуна КамАЗ-740.

Актуальність.

Сучасний світ важко уявити без автомобілів, які стали невід'ємною частиною транспортної системи та повсякденного життя. Однак автомобіль, як і будь-який технічний пристрій, схильний до зносу і поломок. Причини несправностей можуть бути різноманітними, що зумовлено складністю конструкції сучасних автомобілів, що складаються з 15–20 тисяч деталей. З них близько 7–9 тисяч у процесі експлуатації втрачають свої первісні властивості, при цьому 3–4 тисячі компонентів мають термін служби менший, ніж у автомобіля в цілому [1].

Особлива увага у технічній експлуатації приділяється двом групам деталей. Перша – 80–100 елементів, які безпосередньо впливають на безпеку руху. Друга – 150–300 так званих «критичних» за надійністю деталей, які найчастіше виходять з ладу, викликають значні простої транспортних засобів та вимагають підвищених трудових та матеріальних витрат у процесі експлуатації. Саме ці групи компонентів є пріоритетними у системі технічного обслуговування, а також у сферах виробництва та постачання запасних частин [2, 3].

На практиці встановлено, що на 2–3% номенклатури запасних частин припадає до 40–50% загальної вартості споживаних компонентів [1]. Часто придбання нових деталей є вкрай витратним, що зумовлює високу актуальність відновлення зношених деталей. Відновлення дозволяє як істотно скоротити експлуатаційні витрати, так і підвищити ефективність використання технічних ресурсів.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
						7
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Необхідність ремонту автомобіля визначається як технічними, так і економічними чинниками. З технічної точки зору це пов'язано з тим, що при проектуванні автомобілів передбачається відмінність у термінах служби окремих деталей та складальних вузлів. Повноцінне використання ресурсу всіх компонентів можливе лише за умови регулярного виконання комплексу заходів з технічного обслуговування та ремонту.

Таким чином, відновлення деталей автомобіля є важливим напрямом у забезпеченні надійності, безпеки та економічної ефективності експлуатації автотранспортних засобів.

Метою цієї роботи є розроблення технології відновлення з подальшим зміцненням пластичним деформуванням деталей автомобіля на прикладі розподільного валу двигуна КамАЗ-740.

Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання дослідження:

- вивчити основні принципи та методи відновлювального зварювання і напилення;
- проаналізувати можливі дефекти розподільного валу та визначити раціональний спосіб його відновлення;
- розробити технологічний процес відновлення зношених поверхонь розподільного валу комбінованим методом газовогняного напилення з подальшим зміцненням пластичним деформуванням і провести технологічні розрахунки.

Об'єкт дослідження – процеси газовогняного напилення й ультразвукової пластичної деформації для відновлення зношених поверхонь автомобіля.

Предмет дослідження – закономірності, параметри та характеристики впливу газовогняного напилення й ультразвукової пластичної деформації на якість відновлених поверхонь автомобільних деталей.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз предметної області

Газорозподільний механізм автомобіля призначений для своєчасного випуску в циліндри двигуна пальної суміші або повітря і випуску відпрацьованих газів відповідно до робочого циклу двигуна. На автомобілях застосовують клапанний газорозподільний механізм із верхнім розташуванням клапанів. Він складається з розподільного валу з кулачками і шестернею, гідравлічних або електронних механізмів регулювання фаз газорозподілу, гідрокомпенсаторів або регулювальних шайб, що призначені для підтримки теплового зазору між клапаном та штовхачем у заданих межах, коромисел з регулювальними болтами, пружин клапанів, втулок і сідел клапанів, а також самих клапанів [4].

Основний елемент приводу клапанів механізму газорозподілу двигуна – розподільний вал. Для синхронізації тактів роботи двигуна, кулачки розподільного і кривошипи колінчастого валів мають бути у чітко визначених положеннях один відносно другого [5].

Розподільний вал розміщений у середній частині блока і приводиться в обертання від колінчастого вала двигуна парою циліндричних шестерень із спіральними зубами. Положення шестерень між собою визначене мітками, вибитими на їхніх торцях [5].

Профіль впускних і випускних кулачків неоднаковий. Поверхні опорних шийок та кулачків підлягають гартуванню струмами високої частоти на глибину від 2 до 5 мм до твердості HRC 52-56. На передньому кінці вала є маточина із шпонковою канавкою для розподільної шестерні. На нарізному кінці вала зроблено дві лиски для фіксації стопорної гайки шестерні [5].

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

До розподільного вала висувають певні вимоги: зокрема, шорсткість робочих поверхонь кулачків має бути в межах 0,32 – 0,63 мкм, а опорних шийок – $Ra = 0,32 - 0,25$ мкм за параметром Ra ; овальність і конусність шийок не має перевищувати 0,01 мм; радіальне биття опорних шийок – не більше 0,015 – 0,02 мм; неперпендикулярність опорного торця шийки до твірної має бути у межах 0,02 – 0,03 мм, шорсткість поверхні вала – $Ra=1,25 - 0,8$ мкм [5].

Розподільний вал потрібно відновлювати за таких дефектів: згинання вала, риски, задири та спрацювання деталей, як-от: опорних шийок; впускних і випускних кулачків за висотою; шийки під розподільну шестерню; шпонкового паза за шириною; спрацювання і зривання різьби [5].

Вал не підлягає відновленню за наявності сколів, тріщин та викришувань [5].

У процесі відновлення розподільного вала змінюють геометрію його посадкових поверхонь, підвищують твердість і зносостійкість кулачків та опор шийок. Для цього застосовують напилення, наплавлення, пластичну деформацію тощо [5].

Вибір матеріалів і технологічний процес відновлення розподільних валів.

Підбір матеріалів для ремонту розподільних валів потребує ретельного підходу. Для відновлення робочих поверхонь газорозподільних валів ефективно використовують самозахисні порошкові дроти, які забезпечують твердість до HRC 60. Проте їх застосування обмежується високою вартістю, необхідністю термічної підготовки (прокалювання у печах) і специфічними умовами зберігання, через що вони рідко використовуються у масовому ремонтному виробництві [2, 3].

Добрі результати дає також зміцнення поверхонь плазмовим або лазерним обробленням, що може замінити традиційне гартування струмами високої частоти [6].

Типова послідовність відновлення розподільного вала [6, 7].

1. Відновлення центрувальних отворів:

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- пошкоджену різьбу видаляють на токарно-гвинторізному верстаті, орієнтуючись на базові центрові отвори;
 - режими різання: глибина – 0,8–1 мм, подача – 0,3 мм/об., швидкість – 50–55 м/хв.
2. Наплавлення зношених поверхонь:
- можливе виконання в середовищі вуглекислого газу або з використанням вібродугового наплавлення;
 - відновлюють: опорні шийки, кулачки, різьбу, шпонковий паз.
3. Механічна обробка:
- проводиться у три етапи: чорнове шліфування, чистове шліфування, полірування;
 - шийки шліфуються на круглошліфувальних верстатах;
 - попередньо розсвердлюють і зенкують масляні отвори.
4. Шліфування кулачків:
- виконується за копіром на верстаті 3А433;
 - режими: швидкість вала – 30 м/хв, подача – 0,05 мм/об., швидкість круга – 40 м/с.
5. Обробка шийки під шестерню:
- режими аналогічні до шліфування опорних шийок;
 - попередня подача – 0,05 мм/об., чистова – 0,005 мм/об.
6. Токарна обробка:
- обробляються торці, фаски, нарізається різьба;
 - швидкість різання: 25–35 м/хв для фасок, 30 м/хв – для різьби;
7. Фінішне шліфування:
- застосовують круги з радіальною подачею 0,005 мм/об., швидкість круга – 35 м/с.
 - після шліфування – зенкування фасок масляних каналів на верстаті 2Н125, частота – 500 об/хв.
8. Полірування:

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

- виконується за допомогою шліфувальної шкірки на тканинній основі;
 - абразив: білий електрокорунд 24А, зернистість – 8–4 мкм, швидкість стрічки – 30–40 м/с;
 - можна застосовувати алмазні шкірки або повстяні/фетрові круги з пастою ГОИ.
 - швидкість круга – 30–35 м/с.
9. Фінішна обробка (за потреби):
- алмазне вигладжування, що усуває мікронерівності та покращує фізико-механічні властивості поверхні, підвищуючи довговічність вала;
 - цей технологічний процес дозволяє не лише відновити геометрію та поверхні розподільного вала, а й суттєво підвищити його експлуатаційні характеристики після ремонту.

1.2 Актуальність інноваційних методів відновлення автодеталей у сучасних умовах технічної експлуатації

Інноваційні методи відновлення автодеталей стають ключовим напрямом у підтриманні надійності та продовженні строку служби автомобільних вузлів за одночасного зменшення витрат на експлуатацію. Їх використання дозволяє перерозподілити інвестиції в високотехнологічні рішення, скоротити споживання матеріалів і пришвидшити обіг запасних частин.

Класифікацію інноваційних методів за технологічними особливостями процесу подано у таблиці 1.1 [8].

Переваги і обмеження ключових технологій.

1. Адитивні технології (3D-друк):

- переваги: висока точність, зменшення відходів;
- обмеження: висока вартість обладнання, потреба в обробці після друку.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

Таблиця 1.1 – Класифікація методів відновлення
відновлення авто деталей

Метод	Короткий опис
Аддитивні технології (3D-друк)	Пошарове наплавлення металів або полімерів для відновлення зношеної геометрії. Дозволяє відновлювати складні форми.
Лазерне наплавлення	Локальне нанесення порошкових матеріалів за допомогою лазерного променя. Висока точність і адгезія шару.
Плазмове напилення	Створення захисних покриттів (кераміка, метало-кераміка) для підвищення зносостійкості.
Електрохімічне відновлення	Відновлення розмірів і властивостей металевих деталей шляхом електроосадження в електроліті.
Нано- та мікропокриття	Використання тонких функціональних плівок (карбід титану, DLC-покриття) для зменшення тертя та зносу.
Ультразвукова обробка	Зміцнення поверхневого шару за рахунок акустичного впливу для покращення мікротвердості.
Ремануфактура з цифровим двійником	Повне розбирання, дефектація, відновлення і повторне збирання на основі цифрової моделі з урахуванням зносу.

2. Лазерне наплавлення:

- переваги: точкове відновлення без пошкодження базового металу;
- обмеження: обмежена сфера застосування, невисока швидкість.

3. Плазмове напилення.

- переваги: широкий вибір матеріалів, можливість багат шарових покриттів;
- обмеження: потреба у вакуумній камері, висока вартість устаткування.

4. Електрохімічне відновлення:

- переваги: рівномірне осадження металів, підходить для дрібних деталей;

– обмеження: залежність від типу металу, необхідність ретельної підготовки поверхні.

5. Нано- та мікропокриття:

– переваги: зменшення тертя, підвищення корозійної стійкості;

– обмеження: не відновлюють геометрію, лише покращують характеристики поверхні.

6. Ультразвукова обробка:

– переваги: підвищення мікротвердості на глибину до 0,5–1 мм;

– обмеження: не змінює геометрії, потрібне спеціальне обладнання.

7. Цифрова ремануфактура:

– переваги: повне відстеження стану деталі, передбачуване обслуговування, оптимізація витрат;

– обмеження: висока вартість ІТ-інфраструктури та підготовки персоналу.

Порівняння ключових технологій відновлення авто деталей за економічною ефективністю подано в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Економічна ефективність ключових технологій

Критерій	3D-друк	Лазерне наплавлення	Плазмове напилення	Електрохімія	Нанопокриття	Ремануфактура
Зниження витрат на 1 деталь	30–50 %	25–40 %	20–35 %	15–25 %	10–20 %	40–60 %
Термін окупності обладнання	2–4 роки	3–5 років	4–6 років	1–3 роки	1–2 роки	5–7 років
Обсяг виробництва (дет./міс.)	до 200	до 500	до 1000	до 300	до 1000	до 100
Енергоспоживання на відновлення	високе	середнє	високе	низьке	низьке	середнє

За результатами аналізу даних таблиці 1.2 можна зробити висновки. Адитивні технології дають змогу зменшити витрати до 50 % порівняно з виготовленням нових деталей, проте мають високе енергоспоживання.

Лазерне наплавлення демонструє добру окупність при середньому обсязі виробництва.

Ремануфактура з цифровими двійниками забезпечує найбільшу економію, але потребує значних інвестицій у цифрові технології.

З аналізу літературних джерел встановлено:

– відновлення колінчастих валів турбодизелів методом 3D-друку дозволило зменшити витрати на 45 % і збільшити строк служби на 30 % [2].

– впровадження цифрової ремануфактури в сервісних центрах Мілану зменшило простої автопарку на 25 % і збільшило дохід на 15 % на рік [1].

Отже, можна зробити такі висновки.

1. Адитивні та лазерні методи ефективні при складній геометрії та великих обсягах.

2. Плазмові й нано-покриття доцільні для підвищення довговічності, але не замінюють геометричне відновлення.

3. Цифрова ремануфактура — найефективніший метод у довгостроковій перспективі, хоча й потребує значних інвестицій.

4. Вибір методу залежить від типу деталі, виробничих можливостей і економічних пріоритетів.

1.3 Мета і задачі дослідження

На основі проведеного аналізу літературних джерел та інформації з відкритих інтернет-ресурсів у цій кваліфікаційній роботі було обґрунтовано доцільність застосування надзвукового газовогняного напилення для відновлення зношених деталей автомобілів. Як завершальний етап обробки обрано метод ультразвукового пластичного деформування.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

Обидві технології є сучасними, ефективними та активно використовуються у сфері відновлення та модифікації поверхонь машинобудівної продукції як в Україні, так і за її межами.

Проект розробки технології відновлення реалізується на прикладі розподільного валу двигуна КамАЗ-740.

Метою цієї роботи є розроблення технології відновлення з подальшим зміцненням пластичним деформуванням деталей автомобіля на прикладі розподільного валу двигуна КамАЗ-740.

Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання дослідження:

- вивчити основні принципи та методи відновлювального зварювання і напилення;
- проаналізувати можливі дефекти розподільного валу та визначити раціональний спосіб його відновлення;
- розробити технологічний процес відновлення зношених поверхонь розподільного валу комбінованим методом газовогняного напилення з подальшим зміцненням пластичним деформуванням і провести технологічні розрахунки.

Результатом роботи є обґрунтовані рекомендації щодо застосування газовогняного методу з подальшим зміцненням пластичним деформуванням для відновлення зношених деталей розподільного валу двигуна серії КамАЗ-740.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

2 ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО СПОСОБУ ВІДНОВЛЕННЯ РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛУ

2.1 Опис конструкції деталі

Розроблення технології відновлення деталей автомобілів з подальшим зміцненням пластичним деформуванням здійснюється на прикладі розподільного валу двигуна КамАЗ-740 [4].

Розподільний вал – найголовніша деталь газорозподільного механізму (ГРМ), призначений для синхронізації впуску або випуску та тактів роботи двигуна (рис.2.1) [4].

Розподільний вал газорозподільного механізму в процесі роботи піддається дії циклічних навантажень, сил інерції частин, які мають поступовий рух, і обертових частин. Неякісне мастило, наявність механічних домішок або води в маслі, недостатня кількість масла, що подається на підшипники, робота двигуна без масла, подряпини, недостатня шорсткість – все це призводить до зношування робочих поверхонь деталей і з'єднань валу: кулачків, поверхонь опорних шийок, шпонкових пазів і посадкових місць під настановні штифти і під шківні або шестерні приводу розподільного валу; зношування різьбової поверхні [3].

Механізм газорозподілу призначений для забезпечення впуску в циліндри свіжого повітряного заряду і випуску з них газів, що відпрацювали. Впускні та випускні клапани відкриваються та закриваються у певних положеннях поршня, що забезпечується суміщенням міток на шестернях приводу агрегатів при їх монтажі (рис. 2.2) [4].

Механізм газорозподілу – верхньоклапанний з нижнім розташуванням розподільного валу – подано на рис. 2.3. Кулачки розподільного валу 24 відповідно до фаз газорозподілу приводять в дію штовхачі 23. Штанги 19 повідомляють коливальний рух коромислам 16, а вони, долаючи опір пружин 4 і

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5, відкривають клапани 25. Закриваються клапани під дією сили стиснутих пружин.

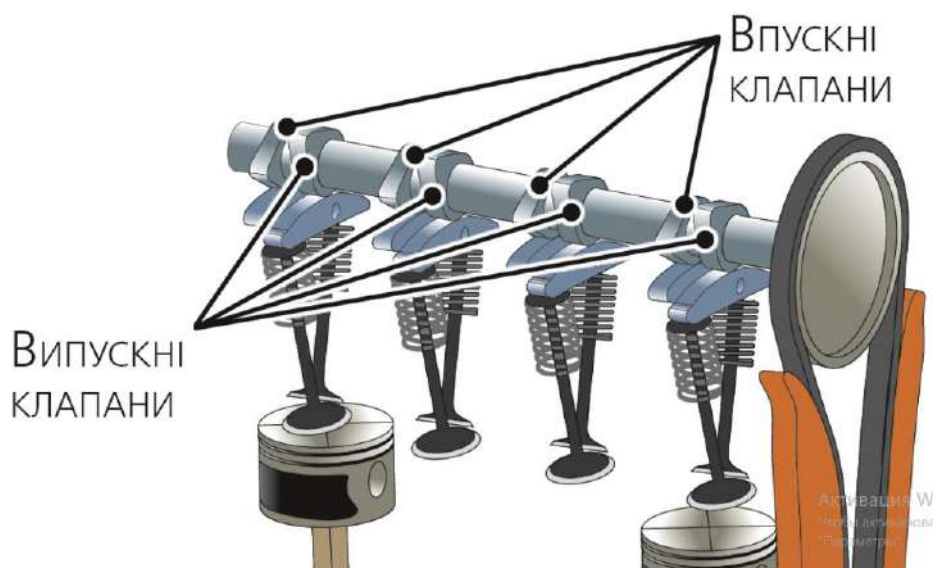


Рисунок 2.1 – Газорозподільний механізм у зібраному вигляді [4]

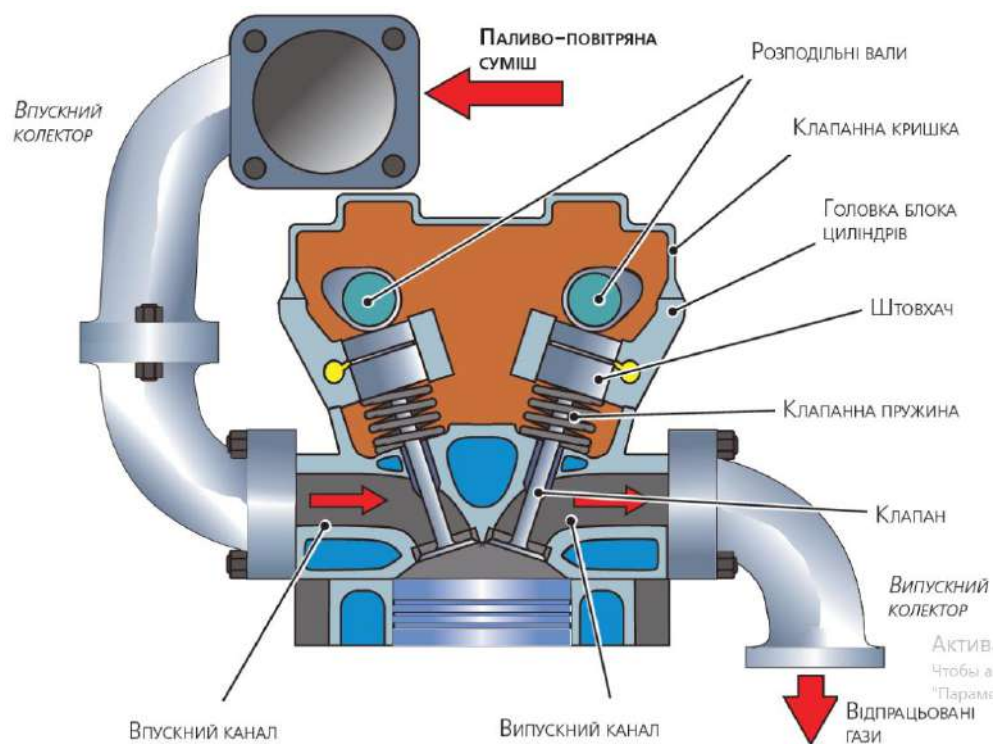


Рисунок 2.2 – Будова і принцип дії газорозподільного механізму [4]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ

Арк.

18

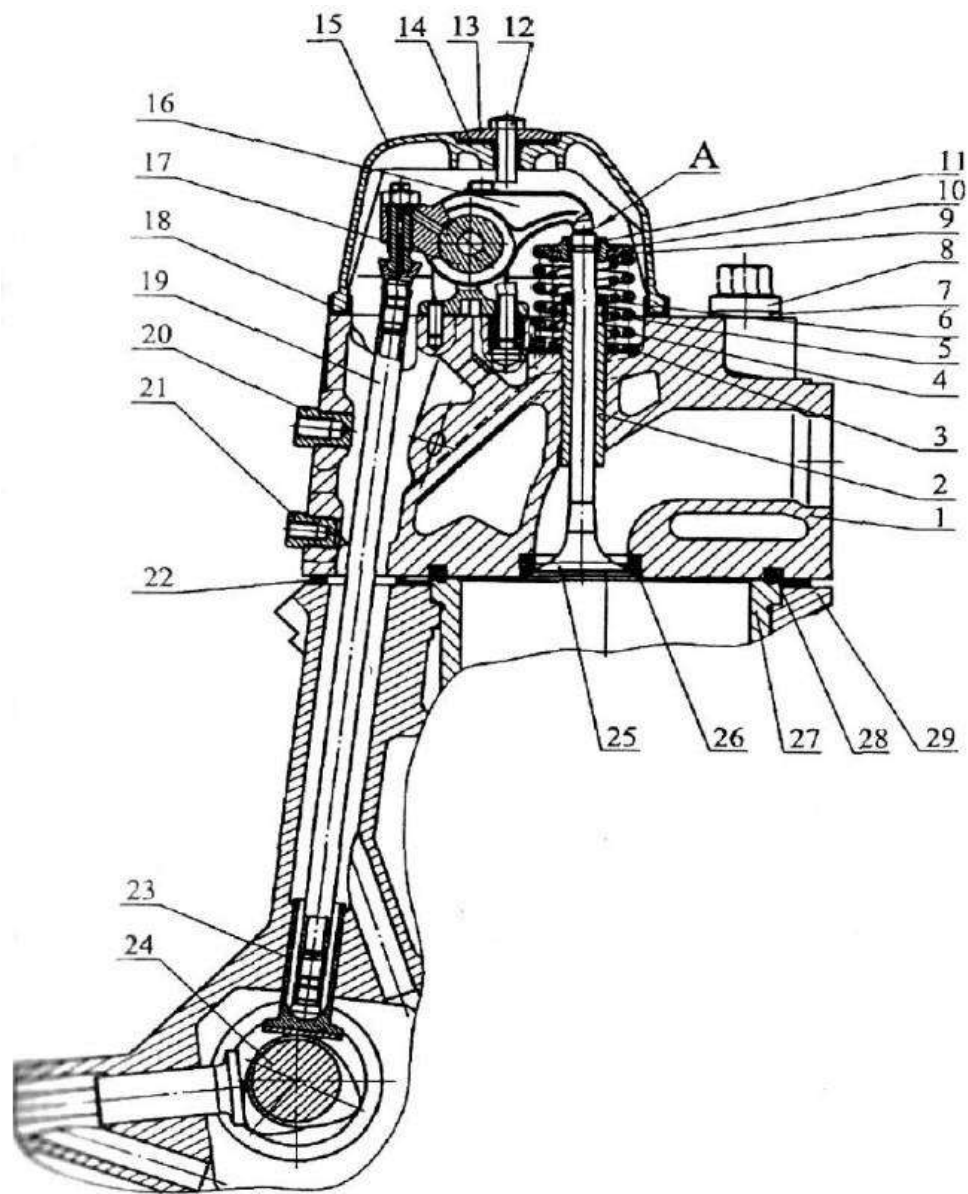


Рисунок 2.3 – Схема механізму газорозподілу [9]:

1 – головка блоку циліндрів; 2 – напрямна втулка; 3 – шайба пружини клапана; 4, 5 – пружини клапана; 6 – маслознімна манжета клапана; 7 – шайба; 8 – болт кріплення головки блоку; 9 – тарілка пружин; 10 – втулка тарілки пружин; 11 – сухар клапана; 12 – болт кріплення кришки; 13 – шайба; 14 – віброізоляційна шайба; 15 – кришка головки блоку циліндрів; 16 – коромисло клапана; 17 – стійка коромисел; 18 – прокладка кришки; 19 – штанга; 20 – гвинт кріплення впускного колектора; 21 – гвинт кріплення водяної труби; 22 – ущільнювальна прокладка; 23 – штовхач; 24 – розподільний вал; 25 – випускний клапан; 26 – сідло випускного клапана; 27 – гільза циліндра; 28 – кільце газового ущільнення (або кільце газового циклу — за контекстом); 29 – блок циліндрів; А – тепловий зазор

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ

Арк.

19



Рисунок 2.4 – Розподільні вали двигунів моделей КамАЗ

Зображення (рис. 2.4) демонструють розподільні вали, які використовуються в двигунах серії КамАЗ-740. Наприклад, розподільний вал з артикулом 740-1006015-04 має довжину приблизно 70 см і вагу близько 6,74 кг. Цей вал підходить для різних моделей КамАЗ, таких як 4310, 5410, 5511 та інші [9].

Розподільний вал (рис. 2.5) сталевий, кулачки та опорні шийки піддаються термообробці струмами високої частоти (СВЧ); встановлюється в розвалі блоку циліндрів на п'яти підшипниках ковзання, які є сталевими втулками, залитими антифрикційним сплавом [10].

При термічній обробці струмами високої частоти поверхні деталей нагрівають за допомогою електромагнітного поля високої частоти, потім її швидко охолоджують (гартують), зазвичай водою або маслом. При цьому дуже швидкому процесі зміцнюється тільки поверхневий шар, серцевина залишається пластичною.

Для виготовлення розподільних валів застосовують спеціальні сталі, що забезпечують високу міцність, зносостійкість і стійкість до температурних та механічних навантажень [11].

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		20

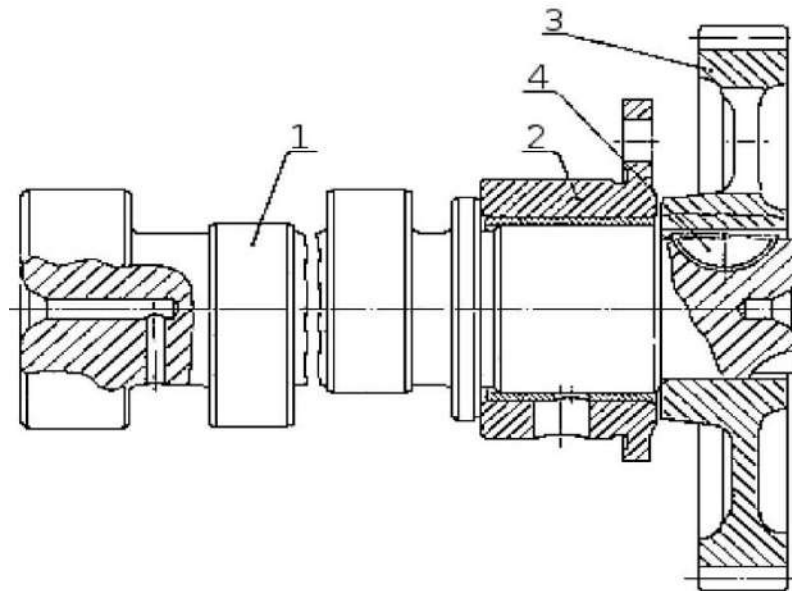


Рисунок 2.5 – Частина розподільного валу в складі вузла газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння [10]:

1 – розподільний вал; 2 – корпус підшипника; 3 – шестерня; 4 – шпонка

Зазвичай використовують такі марки сталей [11]:

– сталь 40X (аналог 4140 по AISI/ASTM) – легована хромом сталь середньої легованості, яка має високу міцність, хорошу зносостійкість і відмінну твердість після термічної обробки. Часто застосовується для виготовлення деталей, що працюють у важких умовах, зокрема розподільних валів;

– сталь 45 – вуглецева сталь середньовуглецева (0,45% C), часто використовується для деталей, що вимагають гарного балансу між міцністю і оброблюваністю. Застосовується для виготовлення валів із подальшою термічною обробкою;

– леговані сталі з підвищеною твердістю – наприклад, 38XMЮА або 38X2MЮА, які мають покращені характеристики міцності і зносостійкості завдяки додаванню молібдену, хрому, ванадію;

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

– термічно оброблені сталі з поверхневим зміцненням – для збільшення зносостійкості кулачків застосовують гартування, цементацію або нітрування.

У цій роботі дослідження проводяться для розподільного валу двигуна КамАЗ-740.

Розподільний вал двигуна КамАЗ-740 розташований у центральній частині блока циліндрів і обертається за рахунок приводу від колінчастого вала через пару циліндричних шестерень зі спіральними зубами. Точне взаємне положення шестерень визначається мітками, нанесеними на їхні торці. Вал виготовлений зі сталі марки 45 і має опорні шийки діаметром 54 мм [10].

Конструктивні особливості та вимоги до розподільного вала [10].

1. Профіль кулачків. Профілі впускних і випускних кулачків розподільного вала мають різну геометрію, що зумовлено відмінностями у фазах і характері газорозподілу.

2. Термічна обробка. Опорні шийки та кулачки піддаються гартуванню струмами високої частоти на глибину 2–5 мм. Після термообробки твердість робочих поверхонь має становити HRC 52–56, що забезпечує їхню зносостійкість.

3. Конструкція переднього кінця вала. На передньому кінці розміщена маточина з шпонковою канавкою для встановлення розподільної шестерні. Також передбачено різьбовий кінець із двома лисками для фіксації стопорної гайки шестерні.

Нормативні показники параметрів розподільного вала двигуна КамАЗ-740 подано у таблиці 2.1.

Ці вимоги забезпечують надійну роботу клапанного механізму, мінімальне зношення та точність газорозподілу в процесі експлуатації двигуна.

Розподільний вал більш ніж будь-яка з інших деталей двигуна впливає на вибір і роботу практично кожної системи двигуна. Розподільний вал безпосередньо впливає на системи карбюрації, впуску та випуску газів; однак, він також має суттєвий вплив на конструкцію механізму приводу клапанів, на

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		22

оптимальний ступінь стиснення і, меншою мірою, навіть на конструкцію шасі і трансмісії.

Таблиця 2.1 – Основні вимоги до якості виготовлення розподільного вала

Параметр	Норма
Шорсткість кулачків	Ra = 0,32–0,63 мкм
Шорсткість шийок	Ra = 0,32–0,25 мкм
Шорсткість інших поверхонь вала	Ra = 1,25–0,8 мкм
Овальність і конусність шийок	Не більше 0,01 мм
Радіальне биття опорних шийок	Не більше 0,015–0,02 мм
Неперпендикулярність торця	Відносно твірної – не більше 0,02–0,03 мм

Отже, конструкція розподільного валу визначає вихідну потужність двигуна при частково або повністю відкритій дросельній заслінці, і вибір цієї деталі є одним з найбільш важливих рішень, які може прийняти двигунобудівник [10].

2.2 Аналіз можливих дефектів розподільного валу та умови його відновлення

Можливі дефекти розподільного валу [12]:

1. Сильне зношення, задирки та подряпини на поверхнях опорних шийок розподільного валу (рис.2.6).
2. Сильне зношення і задирки на робочих поверхнях кулачків розподільного валу (рис.2.6).
3. Прогин розподільного валу.
4. Тріщини розподільного валу.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

5. Руйнування шпонкових пазів та посадкових місць під установчі штифти, а також під шківни або шестерні приводу розподільного валу
6. Вироблення та подряпини на поверхні під сальники розподільного валу.
7. Руйнування різьблення в отворах кріплення.

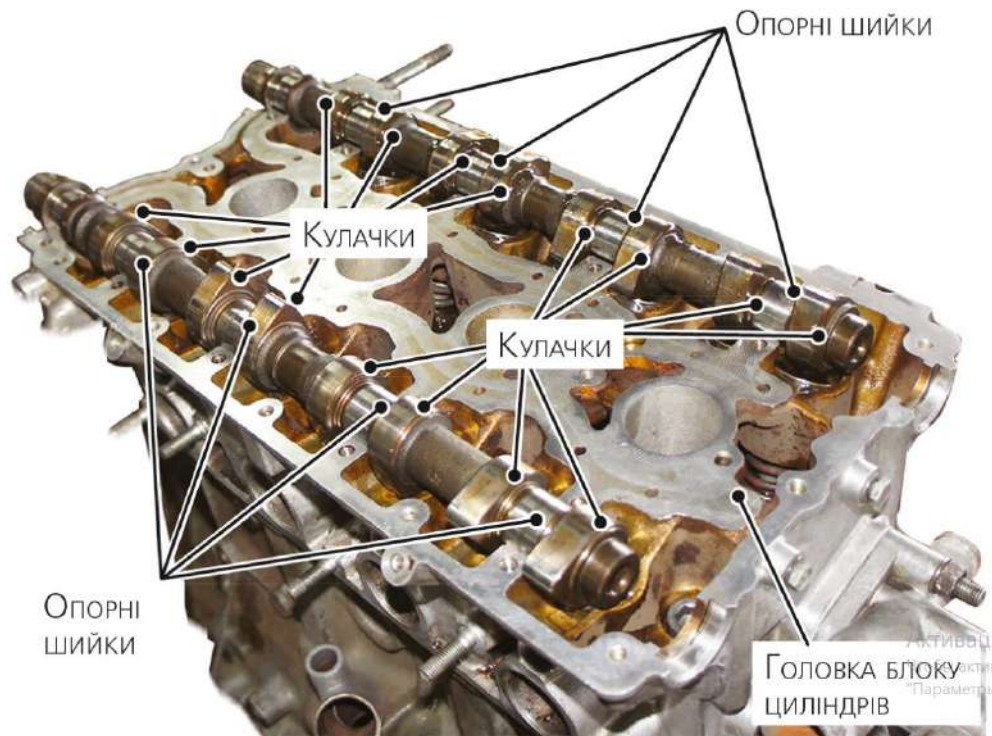


Рисунок 2.6 – Головка блоку циліндрів з розподільними валами [10]

Проаналізуємо докладніше ці дефекти [12, 13].

1. Сильне зношення, задирки та подряпини на опорних поверхнях.

Причинами виникнення такого роду дефектів є: робота двигуна з недостатнім тиском в системі мастила, робота двигуна з недостатнім рівнем масла в картері, робота двигуна на неякісному маслі, сильний перегрів, що призводить до розрідження масла, потрапляння в масло палива (бензину або дизпалива), що призводить до розрідження масла, робота двигуна із засміченим масляним фільтром, робота на брудному маслі, великий пробіг двигуна.

Щоб усунути такі дефекти необхідними є: капітальний ремонт двигуна; заміна розподільного валу; у деяких випадках – шліфування шийок розподільного валу в ремонтний розмір та встановлення потовщених (щодо ремонтного розміру) вкладишів або втулок; перевірка посадкових місць під розподільний вал у головці блоку циліндрів або у блоці циліндрів; у деяких випадках – ремонт посадкових місць під розподільний вал; перевірка системи мастила, масляного насоса та при необхідності ремонт або заміна масляного насоса; чищення, промивання та продування масляних каналів блоку циліндрів та головки блоку; застосування моторного масла належної якості та регулярна, у визначені виробником терміни, заміна моторного масла та фільтра; перевірка системи охолодження та за необхідності її ремонт; перевірка та за необхідності ремонт системи живлення.

2. Сильне зношення і задирки на робочих поверхнях кулачків розподільного валу.

Причини виникнення таких дефектів: робота двигуна з недостатнім тиском в системі мастила, робота двигуна з недостатнім рівнем масла в картері, робота двигуна на неякісному маслі, сильний перегрів, що призводить до розрідження масла, потрапляння в масло палива (бензину або дизпалива), що призводить до розрідження масла, робота двигуна на брудному маслі, великий пробіг двигуна, невідрегульований зазор у клапанному механізмі, дефекти гідрокомпенсаторів, дефекти та пошкодження деталей приводу клапанів (штовхачів, штанг, коромисел), неправильно встановлені фази газорозподілу.

Діями щодо усунення дефектів є: заміна розподільного валу; перевірка, регулювання та за необхідності ремонт клапанного механізму; заміна гідрокомпенсаторів; перевірка системи мастила, масляного насоса та за необхідності ремонт або заміна масляного насоса; чищення, промивання та продування масляних каналів блоку циліндрів та головки блоку; застосування моторного масла належної якості та регулярна, у визначені виробником терміни, заміна моторного масла та фільтра; перевірка системи охолодження та

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

за необхідності її ремонт; перевірка та за необхідності ремонт системи живлення.

3. Прогин розподільного валу.

У всіх вищезазначених випадках обов'язково необхідно перевіряти прогин розподільного валу. Розподільний вал укладається на призми, які встановлені на металевій плиті. За допомогою стрілочного індикатора, встановленого на стійці, перевіряємо прогин опорних шийок, обертаючи розподільний вал рукою.

Прогин не повинен перевищувати: для легкових двигунів 0,005 мм; для вантажних двигунів 0,01 мм. При більшому прогині розподільний вал підлягає заміні.

4. Тріщини розподільного вала.

Причинами цього дефекту є: попадання в циліндр сторонніх предметів, руйнування ременя чи ланцюга приводу газорозподільного механізму, неправильно встановлені фази газорозподілу.

Як правило, внаслідок описаних причин відбувається зіткнення поршнів та клапанів. Через деталі приводу клапанів енергія ударів передається розподільному валу, що може призвести до утворення тріщин.

Найчастіше тріщини призводять до поломки розподільного валу прямо під час роботи двигуна.

За наявності тріщин розподільний вал ремонту не підлягає.

5. Руйнування шпонкових пазів та посадочних місць під настановні штифти, а також під шківів або шестерні приводу розподільного валу.

Причини виникнення: неправильне затягування болтів, що кріплять шківів або шестерні, биття шківів або шестерень, наслідки аварії, при якій сталася деформація моторного відсіку.

У цьому випадку розподільний вал слід замінити, оскільки ремонту він не підлягає.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		26

6. Вироблення та подряпини на поверхні під сальники розподільного валу.

Причини виникнення: тривала робота двигуна, попадання сторонніх частинок у моторне масло, неакуратне поводження з розподільним валом при заміні сальників на двигуні.

Усунути такі дефекти можливо наступним чином: за наявності незначних подряпин можливе шліфування поверхонь під сальники, за наявності незначного вироблення встановлюються нові сальники з невеликим осьовим зміщенням, інакше – заміна розподільного валу.

7. Руйнування різьблення в отворах кріплення.

Причини виникнення: неправильне затягування кріпильних болтів.

Вал ремонту не підлягає, його слід замінити.

Контроль зношення розподільного валу, зокрема, шийок і кулачків за висотою і діаметром затилки проводиться мікрометром і скобами, зношення утворюючої поверхні кулачка – шаблоном [13, 14].

Мікрометр – для вимірювання діаметра шийок та висоти затилки кулачків. Це дозволяє визначити, наскільки ці деталі зносилися за розміром.

Скоби також застосовуються для вимірювання діаметра шийок і висоти кулачків, іноді для контролю більш складних розмірів або геометрії.

Шаблон використовується для перевірки зношення твірної поверхні кулачка (тобто поверхні, яка контактує зі штовхачем або рокером). Якщо шаблон не лягає щільно, це означає, що кулачок зношений і його потрібно ремонтувати або замінювати.

Зношення кулачків розподільного вала визначають за допомогою штангенглибиноміра або штангенциркуля, коли поршень знаходиться у верхній мертвій точці на такті стиснення. Спочатку вимірюють відстань від торця клапана до поверхні головки циліндрів. Потім колінчастий вал повертають до моменту повного відкриття клапана й повторно проводять вимірювання.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>27</i>

Різниця між двома значеннями дозволяє оцінити ступінь спрацювання кулачка [15].

Такий контроль дуже важливий, оскільки зношення розподільного валу призводить до погіршення роботи клапанного механізму двигуна, зниження потужності та збільшення витрати палива.

Прогин валу перевіряється індикатором по середній шийці в триопорних валах і по середній шийці – у чотириопорних [14].

2.3 Технології відновлення робочих поверхонь елементів розподільного валу

У процесі відновлення розподільного вала виконують зміну геометрії його посадкових поверхонь, а також підвищують твердість і зносостійкість кулачків і опорних шийок. Для досягнення цих цілей застосовуються такі технології [12, 13, 15]:

- газо- або електроконтактне напилення (для відновлення зношених ділянок);
- наплавлення з подальшою механічною обробкою;
- пластичну деформацію (наприклад, обкатування роликками для зміцнення поверхні);
- термічне зміцнення (гартування струмами високої частоти).

Ці методи дозволяють не лише відновити розміри, але й забезпечити тривалий ресурс роботи вала після ремонту.

Відновлення різних робочих поверхонь здійснюють такими способами [10].

1. Відновлення підшипників шийок шліфуванням під ремонтний розмір.

При цьому способі відновлення шийок необхідна заміна та обробка опорних втулок під необхідний розмір валика.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		28

Шліфування шийок розподільного валу проводиться на круглошліфувальному верстаті (рис. 2.7) [15], що забезпечує необхідну точність обробки. Шліфування проводиться з рясним охолодженням електрокорундовими колами на керамічному зв'язуванні, зернистістю 46-60 і твердістю від СМ до С. Перед шліфуванням вал перевіряється на погнутість і при необхідності піддається виправленню на гвинтовому або гідравлічному пресі.



Рисунок 2.7 – Процес шліфування опорних шийок валу [15]

2. Відновлення шийок хромуванням.

Зношування опорних шийок розподільних валів двигунів, що надходять у капітальний ремонт, зазвичай невеликі і в середньому не перевищують 0,05-0,10 мм (рис. 2.8) [15]. Тому шийки валів, які не піддаються шліфуванню під

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

ремонтні розміри, доцільно відновлювати хромуванням з подальшим шліфуванням під початкові розміри.



Рисунок 2.8 – Відновлені шийки розподільного валу [15]
хромуванням та шліфуванням

Шийки, які підлягають хромуванню шліфуються з таким розрахунком, щоб товщина шару хрому була в межах приблизно 0,15 мм з урахуванням припуску на подальше шліфування приблизно 0,04 мм. Товщина шару хрому після шліфування має становити 0,11 мм [5, 15].

Товщина шару хрому з припуском на шліфування при відновленні шийки під розподільну шестерню може бути знижена до 0,11-0,12 мм, припуск на шліфування 0,04 та товщина шару хрому після шліфування 0,07-0,08 мм [10].

3. Відновлення шийок електроімпульсним наплавленням [16].

Шийки розподільного валу, що вийшли зі всіх ремонтних розмірів, можна відновлювати електроімпульсним наплавленням (рис. 2.9) [16]. За необхідності цим способом можна відновлювати шийки з проміжних ремонтних розмірів, а також з початковим зношенням. В останньому випадку, внаслідок невеликого зношення шийок, що в середньому не перевищує 0,10 мм, перед наплавленням доцільно шліфувати шийки, з тим, щоб отримати поверхневий шар наплавленого металу високої якості.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30



Рисунок 2.9 – Процес відновлення шийки розподільного валу електроімпульсним наплавленням [16]

4. Відновлення кулачків шліфуванням.

При зношуванні кулачків за висотою понад 0,5 мм необхідно провести шліфування кулачка по всьому профілю на спеціальному копіювальному верстаті або на круглошліфувальному у спеціальних пристосуваннях (рис. 2.10) [15]. Правильність взаємного кутового розташування кулачків забезпечується застосуванням ділильного пристосування та настановного хомутика.

Щоб вибрати раціональний спосіб відновлення розподільного валу, необхідно порівняти розглянуті методи відновлення деталей.

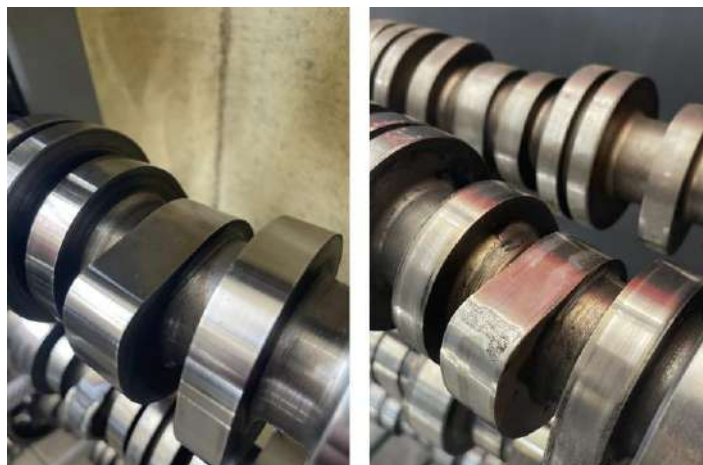


Рисунок 2.10 – Відновлені кулачки розподільного валу шліфуванням [15]

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

За результатами аналізу літературних джерел порівняння трьох основних методів відновлення шийок розподільного вала двигуна КамАЗ-740, із коротким аналізом їх переваг, недоліків і доцільності застосування подане в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняння методів відновлення шийок розподільного вала

Метод / Критерій	Шліфування під ремонтний розмір	Хромування	Електроімпульсне наплавлення
Суть методу	Механічне зняття матеріалу до стандартного ремонтного розміру	Осадження шару хрому на поверхню шийки	Імпульсне наплавлення матеріалу електричним розрядом
Рівень складності	Низький	Високий	Середній–високий
Необхідність у спеціальному обладнанні	Ні	Так (гальванічне хромування)	Так (електроімпульсне устаткування)
Точність відновлення геометрії	Висока (але тільки в межах допуску)	Дуже висока	Висока
Твердість після обробки	Без змін (залежить від початкового матеріалу)	HRC ~60–65 (дуже висока)	HRC ~50–60 (залежно від матеріалу наплавки)
Зносостійкість	Помірна	Висока	Висока
Можливість багаторазового відновлення	Обмежена (обмежений запас металу)	Так	Так
Вартість	Низька	Висока	Середня
Ризик утворення мікротріщин / напружень	Мінімальний	Є (особливо при неправильній технології)	Мінімальний (залежить від параметрів режиму)
Термін служби після ремонту	Середній	Високий	Високий
Рекомендовано для важконавантажених двигунів	Обмежено	Так	Так

З аналізу даних таблиці 2.2 можна зробити висновки:

1. Шліфування доцільне при невеликому зношенні, коли залишився запас на ремонтний розмір. Це найдешевший і простий спосіб.

2. Хромування забезпечує найвищу твердість і зносостійкість, є ідеальним способом для відновлення валів, що працюють у важких умовах. Але потребує спеціалізованого обладнання та суворого дотримання технології.

3. Електроімпульсне наплавлення – сучасна альтернатива хромуванню, дозволяє відновлювати навіть глибоке зношення з меншим ризиком термічних деформацій.

4. Якщо ресурс двигуна КамАЗ-740 критичний (наприклад, для армії, транспортування вантажів), хромування або електроімпульсне наплавлення є кращими варіантами.

2.4 Обґрунтування оптимального методу відновлення

Вибір раціонального способу характеризує переважно якісний та техніко-економічний аспекти, що стосуються відновлення конкретних деталей з урахуванням умов їх експлуатації, геометричних, фізико-механічних, конструкційно-технологічних особливостей. Водночас повна собівартість відновлення залежить від річної програми відновлення та витрат на транспортування ремонтного фонду. Тому, при остаточному виборі способу відновлення деталей для ремонтного підприємства, слід враховувати ці чинники.

2.4.1 Відновлення деталей під ремонтний розмір

При ремонті методом ремонтних розмірів одну з деталей з'єднання, що зносилися, обробляють до зникнення слідів зносу або до отримання певного заздалегідь встановленого розміру, а другу, найчастіше дешевшу, замінюють новою. Наприклад, зношену шийку валу обробляють до зникнення слідів зносу і комплектують її з новою втулкою, що забезпечує з отриманим розміром шийки валу необхідну посадку. Такий ремонт може проводитися послідовно кілька

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		33

разів, причому діаметр валу поступово буде зменшуватися, а діаметр отвору деталі, що ремонтується, – збільшуватися [13].

Таким чином, деталі з'єднання будуть мати розміри, що відрізняються від початкових. Ці нові, заздалегідь встановлені розміри деталей з'єднання називають ремонтними.

Розрізняють три види ремонтних розмірів: стандартні, регламентовані, вільні [13].

Стандартні ремонтні розміри встановлюються при виготовленні промисловістю і застосовують при ремонті поршнів, пальців поршневих, штовхачів, вкладишів, поршневих кілець.

Регламентовані ремонтні розміри встановлюються технічними умовами відновлення деталей. При цьому механічну обробку здійснюють до досягнення заданої величини.

Вільні ремонтні розміри передбачають обробку до отримання правильної геометричної форми та чистоти робочої поверхні деталей. Сполучену деталь підганяють до відновленої до її вільного розміру, залишаючи припуск для остаточного припасування за місцем.

Основними особливостями методу ремонтних розмірів є: простота та доступність його застосування в умовах ремонтних майстерень, а також можливість забезпечення взаємозамінності деталей одного ремонтного розміру та забезпечення номінального зазору у з'єднанні.

Число ремонтних розмірів та їх величини повинні бути визначеними, оскільки тільки в цих випадках можливе виготовлення взаємозамінних ремонтних деталей, що використовуються як запасні частини.

Незважаючи на деякі недоліки, наприклад, ослаблення перерізу деталі та збільшення номенклатури деталей, що ускладнюють їх облік, метод ремонтних розмірів знаходить широке застосування при ремонті таких груп деталей, як циліндр – поршень – кільце, шатуни – вкладиші – колінчастий вал тощо.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		34

На рисунку 2.11 [13] показані схеми одностороннього зношення валу та підшипника, згідно з якими можна визначити діаметри найближчих ремонтних розмірів. Розглянемо методику визначення величини та числа ремонтних розмірів на прикладі з'єднання, в якому вал піддається ремонту, а підшипник замінюється.

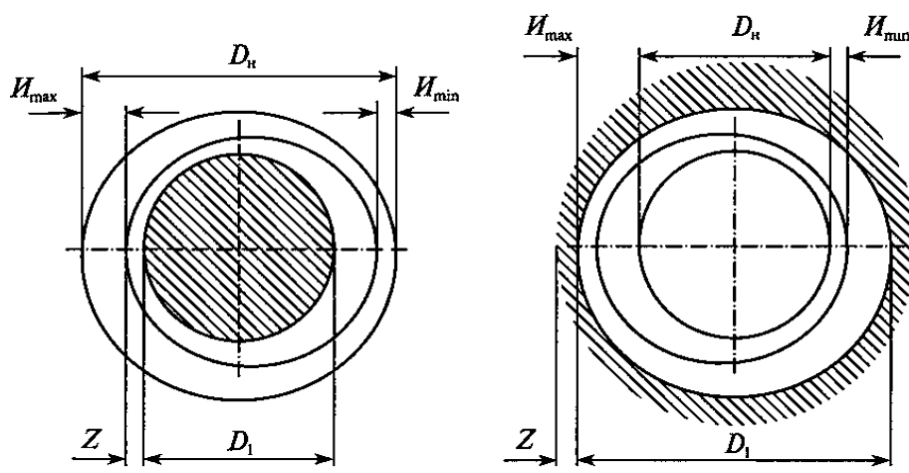


Рисунок 2.11 – Схеми обробки валу та отвору під ремонтний розмір [13]

Величину відхилень у розмірах ремонтних деталей зазначають на них у вигляді ремонтних збільшень або зменшень відносно номінального розміру.

Ремонтне зменшення (різниця між номінальним і ремонтним розмірами) позначається знаком мінус, а ремонтне збільшення (різниця між ремонтним і номінальним розмірами) – знаком плюс.

Наприклад, при ремонтному інтервалі, що дорівнює 0,25 мм, збільшення для першого ремонтного розміру становить +0,25 мм, для другого — +0,5 мм, для третього — +0,75 мм і т. д [13].

Деякі запасні частини виготовляються заводами-виробниками у вигляді напівфабрикатів – як у необробленому до кінця, так і у напівобробленому стані.

Ці деталі позначаються додаванням до номера основної деталі літери "Р" або "РП" (ремонтна напівобробка) та цифри, що відповідає порядковому номеру ремонтного розміру.

Технічними умовами на ремонт будівельних машин допускається зменшення діаметра вала не більше ніж на 10 % від його початкового розміру. За умови перевірки на міцність допустимі й більші зменшення діаметра вала [17].

2.4.2 Відновлення деталей зварюванням і наплавленням

Зварюванням називають процес отримання нерознімного з'єднання металевих виробів шляхом локального плавлення або пластичної деформації [18].

Різновидом зварювання є наплавлення, яке полягає у нанесенні шару розплавленого металу на поверхню виробу.

З'єднання металів при зварюванні й наплавленні відбувається завдяки міжатомній взаємодії або міжмолекулярним зв'язкам. Атоми з'єднаних металів зближаються на відстань порядку 10^{-8} см, тобто на відстань, порівнювану з параметрами кристалічної ґратки. Зовнішні електрони атомів формують спільну (колективну) електронну систему, завдяки чому утворюється з'єднання [18].

Зближення атомів при зварюванні досягається плавленням або пластичною деформацією (тиском).

При зварюванні плавленням утворюється спільна зварювальна ванна. Розрізняють електричне, хімічне та литьове зварювання плавленням:

- при електрозварюванні тепло для плавлення металу виділяється за рахунок дугового розряду або електричного струму (рис. 2.12) [18];
- при хімічному зварюванні джерелом тепла є згоряння газів (газове зварювання) або порошкових горючих сумішей (термітне зварювання);
- у литьовому зварюванні тепло подається розплавленим присадним металом.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

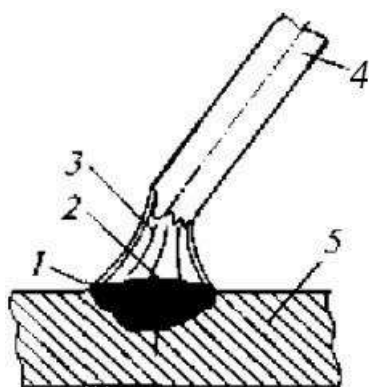


Рисунок 2.12 – Схема зварювання деталей зварною дугою [18]:

1 – розплавлений метал; 2 – межа розплаву; 3 – електрична дуга;
4 – електрод; 5 – деталь

Зварювання тиском може виконуватися як без попереднього нагрівання (ультразвукове, вибухове тощо), так і з попереднім нагрівом (ковальське, індукційне, тертя тощо).

Зварювальні й наплавлювальні процеси проходять при високих температурах [16].

Так, температура зварювальної дуги досягає 6000–6500 °С. У розплавленому металі при такій температурі активізуються процеси окислення, вигоряють легуючі елементи, метал насичується газами – азотом, воднем. Це знижує міцність металу шва або наплавленого валика, погіршує його оброблюваність.

Газопоглинання призводить до утворення пор у шві, що робить його крихким, знижує міцність, пластичність і щільність.

Щоб отримати наплавлений шар з високими фізико-механічними властивостями, розплавлений метал захищають від повітря, легують його марганцем, кремнієм та іншими елементами, застосовують якісні обмазки, електроди, флюси, захисні гази, пару або рідке середовище.

Внаслідок нагрівання й охолодження основного металу в зоні навколо шва виникають термічні напруження, що можуть спричинити деформації та

тріщини. У місці переходу шва до основного металу формується зона термічного впливу, в якій змінюються структура і механічні властивості металу.

Електродугове зварювання.

Електродугове зварювання – це вид зварювання, при якому локальне плавлення металу здійснюється за допомогою електричної дуги.

Зварювальна дуга – це потужний електричний розряд у газовому середовищі за наявності заряджених частинок – електронів і йонів.

Ці частинки виникають через емісію електронів із поверхні електродів і йонізацію газів і парів металу (температура кипіння металевих електродів – 3500–4000 °С, у центрі дуги – до 6500 °С) [18].

Дуга стабільно горить при напрузі 18–40 В. Живлення може бути як постійного, так і змінного струму. Змінний струм економічніший: на 1 кг наплавленого металу витрачається 3–4 кВт·год, а при зварюванні постійним струмом – 6–8 кВт·год [18].

Залежно від підключення до джерела постійного струму, розрізняють [18]:

- пряму полярність – виріб підключено до “+”, електрод до “–”;
- зворотну полярність – виріб до “–”, електрод до “+”.

Джерела постійного струму – зварювальні перетворювачі та випрямлячі.

Перші складаються з генератора постійного струму, трифазного електродвигуна й пускорегулювальної апаратури.

Випрямлячі – це понижувальний трансформатор, блок випрямлячів (з селенових пластин або напівпровідникових вентилів), пусковий і захисний блоки.

Джерела змінного струму – зварювальні трансформатори, які складаються з однофазного понижувального трансформатора і регулятора.

Різновиди дугового зварювання [18].

- Ручне дугове зварювання: усі операції виконує зварювальник.
- Механізоване зварювання:
 - автоматичне – механізовані подача електрода та його переміщення;

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38

- напівавтоматичне – механізована лише подача електрода.

Вибір електродів і параметри зварювання.

- Низьковуглецеві сталі зварюються легко.
- При збільшенні вмісту вуглецю зварюваність погіршується.
- Леговані сталі важче зварювати через утворення тугоплавких оксидів.

Для вуглецевої сталі застосовують електроди з маловуглецевої сталі з добавками марганцю, кремнію, титану.

Для легованих сталей – електроди відповідного складу.

Тип обмазки:

- тонка (стабілізувальна) – до 0,25 мм;
- товста (якісна) – 1–1,5 мм.

Параметри зварювання залежать від типу й марки електрода, діаметра, сили струму, полярності та послідовності накладання швів.

Наприклад:

- для товщини металу 2–10 мм застосовують електроди діаметром 3–6 мм (струм 140–300 А);
- для товщини 10–20 мм – електроди 7–10 мм (струм 340–420 А).

Автоматичне зварювання й наплавлення під флюсом (рис. 2.13).

Електрична дуга горить під розплавленим флюсом, який:

- захищає метал від повітря;
- зберігає тепло дуги;
- зменшує розбрикування металу;
- формує шов, сприяє газовиділенню й кристалізації.

Після охолодження утворюється шлакова кірка, яка покращує якість з'єднання.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

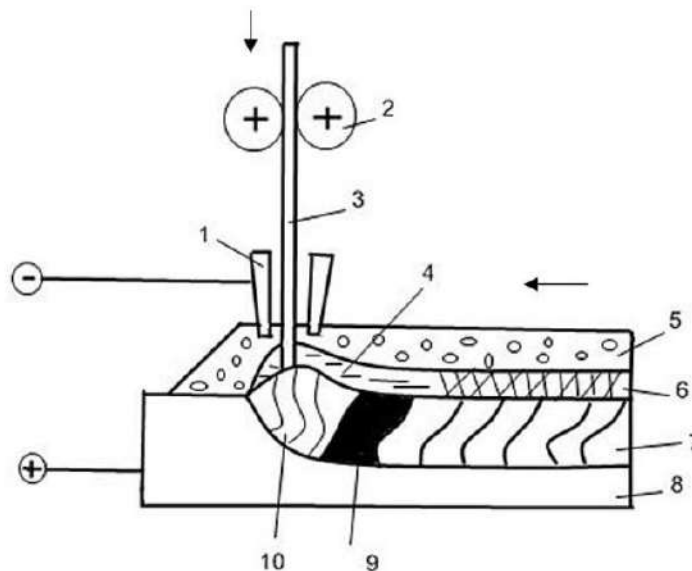


Рисунок 2.13 – Схема автоматичного дугового зварювання під флюсом [18]:
 1 – струмопровід, 2 – механізм переміщення дроту, 3 – дріт, 4 – рідкий шлак,
 5 – флюс, 6 – шлакова корка, 7 – зварний шов, 8 – основний метал заготовки,
 9 – рідкий метал, 10 – електрична дуга

Через флюс здійснюється легування і розкислення наплавленого металу. Великі густини струму ($70\text{--}150\text{ А/мм}^2$) під час зварювання та наплавлення сприяють глибокому проплавленню металу. Автоматичне наплавлення виконують на верстатах або спеціальних пристроях. Наприклад, при наплавленні циліндричну деталь встановлюють у патрон або центри токарного чи наплавного верстата й обертають з заданою швидкістю ($1,5\text{--}2,5\text{ об/хв}$), а пристрій для автоматичної подачі зварювального дроту (наплавна головка) та бункер для флюсу закріплюються на супорті верстата та мають поздовжню подачу [18]. Робітник, який обслуговує автомат, не бере безпосередньої участі у формуванні наплавленого валика. Він керує процесом наплавлення через пульт управління. Марку дроту обирають з урахуванням застосовуваного флюсу для досягнення необхідної якості наплавленого металу. Наплавлення можна здійснювати як через флюс, так і через електрод.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Флюси бувають керамічні та плавлені. Останні отримують шляхом сплавлення компонентів з подальшою грануляцією. Для наплавлення деталей частіше застосовують високомарганцеві та висококремнієві флюси. Керамічні флюси – це механічна суміш легуючих, модифікуючих, розкислювальних і шлакоутворювальних компонентів.

Для економії легуючих елементів застосовують порошковий дріт і стрічкові електроди шириною 20–100 мм. Останні, до того ж, підвищують продуктивність наплавлення. Наплавлення проводять дротом діаметром 1–3 мм при зварювальному струмі 100–250 А. Як джерела струму використовують випрямлячі, генератори постійного струму тощо [18].

Переваги зварювання та наплавлення під флюсом:

- висока продуктивність і автоматизація процесу;
- висока якість наплавленого металу;
- менша вартість у порівнянні з ручним зварюванням;
- економія електроенергії та дроту.

Недоліки:

- нагрів змінює структуру й механічні властивості основного металу;
- важко наплавляти деталі діаметром менше 45 мм через стікання шлаку;
- необхідність використання дорогих флюсів і спеціального дроту;
- додатковий час на підготовку флюсу.

Для підвищення зносостійкості та втомної міцності використовують звичайні флюси з металевими добавками, а також механічне та електромеханічне зміцнення робочих поверхонь (шийок), концентрацій напружень (галтелей, отворів тощо), ряду основних деталей (шийок колінчастих валів і ін.).

Півавтоматичне й автоматичне зварювання та наплавлення в захисних газах.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

У цьому виді зварювання й наплавлення метал у зварювальній ванні захищається від кисню та азоту повітря інертним газом (аргоном, вуглекислим газом) або водяною парою. В авторемонтному виробництві автоматичне наплавлення в захисних газах використовують для відновлення сталевих деталей, а напівавтоматичне – для ремонту кузовів, кабін і частин обшивки. Для зварювання застосовують напівавтомати. Наплавлення вуглецевих, низьколегованих і деяких марок легованих сталей і чавуну виконують у вуглекислому газі, а кольорових металів і високолегованих сталей – в аргоном.

Переваги:

- якісне зварювання тонкостінних деталей (0,8–2,5 мм);
- простота та маневреність процесу;
- можливість механізації та автоматизації;
- не потрібен флюс або обмазка електродів;
- менша схильність до утворення пор;
- дешева, доступна захисна атмосфера;
- відсутність шкідливих виділень – безпечні умови праці.

Недоліки:

- втрати металу на розбризкування;
- відносно невисокі механічні властивості наплавленого металу;
- необхідність спеціального дроту та регулюючих пристроїв (індуктивності);
- при використанні звичайного вуглекислого газу (пищового) волога може замерзнути та закупорити газові канали – потрібен підігрівач і осушувач (наприклад, з силікагелем).

Електроімпульсне (вібродугове) наплавлення.

Автоматичне електроімпульсне (вібродугове) наплавлення автомобільних деталей має низку переваг над іншими способами. При цьому способі деталі не нагріваються значно, тому хімічний склад і фізико-механічні властивості не змінюються. Охолоджувальна рідина забезпечує швидке формування,

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

загартування та захист металу від окислення, охолодження деталі й запобігання її деформації.

Можна наносити шари товщиною від 0,1 до 3 мм, чого не можна досягти іншими способами. Висока продуктивність (5–7 г/А·год), низьке енергоспоживання, можливість відновлення поверхонь без термообробки – все це сприяє широкому впровадженню [8, 16].

Установка для автоматичного наплавлення складається з:

- токарного верстата зі зниженим обертанням шпинделя;
- джерела струму;
- наплавної головки;
- пристрою для розподілу струму;
- системи подачі захисного середовища (рідини, газу).

Електродний дріт подається через мундштук, що коливається з частотою 50–110 Гц, торкаючись і відриваючись від поверхні деталі. Це викликає коротке замикання з імпульсом струму до 1300 А. У момент розриву виникає дуговий розряд, який плавить частинку металу. Напруга при замиканні – 12–22 В, при розриві – до 30–35 В [16].

Переваги вібродугового наплавлення:

- висока твердість і зносостійкість;
- можливість відновлення загартованих поверхонь без термообробки;
- вдвічі вища продуктивність порівняно з ручним дуговим наплавленням;
- можливість відновлення навіть при незначному зносі;
- застосовується для вуглецевих і низьколегованих сталей, сірого, ковкого та високоміцного чавуну;
- обробка після наплавлення можлива звичайним різальним інструментом;
- вартість відновлення у 2–3 рази нижча за ручне дугове наплавлення й не перевищує 25% вартості нової деталі.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

Недоліки:

- можливість утворення тріщин, пор і розтягувальних напружень через швидке охолодження;
- знижена втомна міцність (до 46%);
- нерівномірна твердість і мікроструктура металу.

Цей метод доцільно використовувати для деталей, які не зазнають великих змінних навантажень.

2.4.3 Високошвидкісне газовогняне напилення

Газотермічні технології нанесення покриттів є одним із методів обробки поверхні матеріалів, які використовуються вже протягом кількох десятиліть.

Процес високошвидкісного газовогняного напилення HVOF було винайдено у 1958 році в компанії «Union Carbide», але вперше застосований лише у 1980-х роках після того, як Джеймс Браунінг розробив установку для високошвидкісного напилення [19]. Після цього багато компаній запропонували власні версії установок: «Diamond Jet» від «Sulzer Metco», «JP-5000» від «TAF», «K2» від «GTV», що сприяло швидкому поширенню технології високошвидкісного газотермічного напилення [19].

Системи високошвидкісного напилення з використанням порошків застосовуються для нанесення практично всіх відомих матеріалів. У порівнянні з традиційними способами газотермічного напилення, при високошвидкісному способі досягається вища адгезія та щільність покриття [19].

Високошвидкісне (надзвукове) газове полум'я утворюється шляхом згоряння пального в кисні або повітрі у камері згоряння, що забезпечує високу швидкість продуктів згоряння і відповідно частинок розпилюваного матеріалу. Як паливо використовують газоподібні (водень, етилен, пропілен, пропан, газу суміш) або рідкі (гас) речовини. Тиск у камері згоряння підвищений і становить $0,3 \div 0,8$ МПа. За кордоном процес поділяють на два типи залежно від

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

типу окисника: з киснем – High-Velocity Oxygen-Fuel (HVOF) і з повітрям – High-Velocity Air-Fuel (HVAF). Крім того, розпилювачі системи HVOF поділяються на два типи залежно від виду використовуваного пального [19].

Температура у камері згоряння залежить від типу пального і становить $2370 \div 2930$ °С. Швидкість надзвукового газовогняного потоку становить $1100 \div 2300$ м/с і залежить від типу пального, витрати паливо-кисневої суміші, співвідношення кисню до пального газу та профілю сопла [19].

На рис. 2.14 показано типову конструкцію та схему процесу високошвидкісного напилення [16].

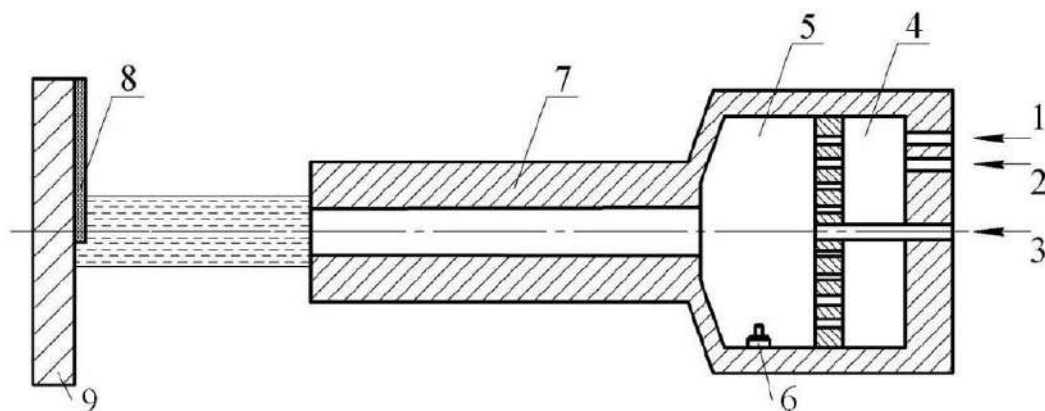


Рисунок 2.14 – Схема процесу і пристрою для високошвидкісного нанесення покриттів [16]:

- 1 – подача пального; 2 – подача окисника; 3 – подача порошку;
 4 – змішувальна камера; 5 – камера згоряння; 6 – свічка запалювання;
 7 – прискорювальне сопло; 8 – покриття; 9 – основа

Під час напилення до камери згоряння в строго визначеній пропорції подаються кисень і паливо, потім суміш запалюється електричною іскрою від свічки запалювання. При згорянні пального в кисні тиск у камері згоряння зростає і виділяється тепло. Високотемпературний газовий потік спрямовується в зону з нижчим (атмосферним) тиском, що значно збільшує його швидкість. Потік проходить через сопло і виходить з пального. Порошок подається за

допомогою азоту між соплом і камерою згоряння у разі радіальної подачі, або безпосередньо в камеру – у разі осьової подачі. Високотемпературний та високошвидкісний потік нагріває і прискорює частинки порошку, які осідають на поверхню деталі [19]. Розмір частинок порошку становить 10÷45 мкм [19].

Застосування: поверхні тертя, валки, деталі нафтохімічного і хімічного обладнання, насоси, шибери, кульові крани, механічні ущільнення тощо.

Призначення покриттів: поліпшення коефіцієнта тертя; підвищення твердості або пластичності поверхні; захист від корозії, ерозії, кавітації; термостійкість і жаростійкість; виправлення дефектних деталей і відновлення зношених до початкових розмірів.

Переваги: можна створити практично будь-який склад покриття товщиною від сотих часток до кількох міліметрів; при нанесенні основний матеріал зазвичай нагрівається до 100–150°C, не змінюючи структури й не викликаючи деформацій; нанесення можливе на різноманітні матеріали незалежно від розміру; тонкозернисте мікропористе покриття ідеальне для багатошарових технологій.

У цій кваліфікаційній роботі для нанесення зміцнювального покриття на зношену шийку розподільного вала двигуна КамАЗ-740 буде застосовано технологію високошвидкісного газовогняного напилення. Після напилення застосовується ультразвукове пластичне деформування для покращення характеристик шару.

2.4.4 Ультразвукове пластичне деформування

Ультразвукове наклепування – один з методів зміцнення пластичним деформуванням сталених деталей машин і інструмента, зокрема, тих, які мають високу початкову твердість [10].

Сутність методу ультразвукового пластичного деформування (УПД) полягає в інтенсивному деформуванні поверхневого шару виробу ударною

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		46

кулькою, що вібрує з ультразвуковою частотою, шляхом прокатування кульки по оброблюваній поверхні.

У результаті такого впливу в поверхневому шарі формуються залишкові напруження стиснення, що сприяють підвищенню контактної витривалості, межі втоми та твердості, а також зниженню шорсткості [16].

На рисунку 2.15 зображено базовий пристрій для УПД [8]. Ультразвукові коливання перетворюються з електричних коливань високої частоти за допомогою п'єзоелектричного перетворювача. Вібрації передаються на інструмент, який через кульку здійснює локальне вдавлювання в поверхню деталі. Пружна кулька прокатується по поверхні, викликаючи інтенсивну пластичну деформацію.

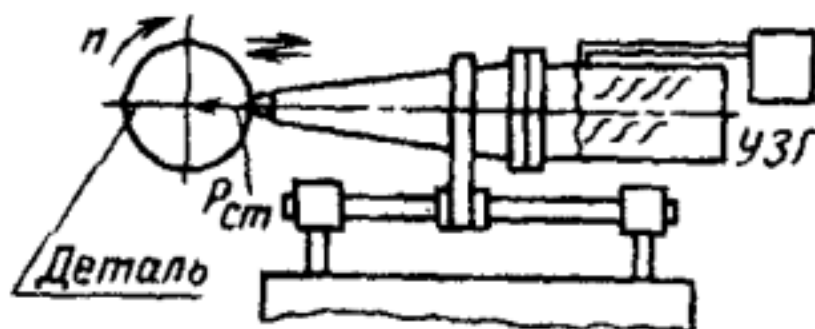


Рисунок 2.15 – Обладнання, оснащене ультразвуковим генератором і голівкою, для УПД

Основні переваги УПД:

- значне підвищення зносостійкості, втомної витривалості та міцності деталей;
- зменшення шорсткості обробленої поверхні;
- можливість обробки важкодоступних зон;
- сумісність із іншими методами зміцнення;
- висока точність контролю впливу;

					КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- мінімальне теплове навантаження.

Область застосування:

Метод широко застосовується в авіаційній, автомобільній, енергетичній, медичній та інших галузях для обробки деталей, що зазнають динамічних навантажень, втоми чи зношування.

У цій кваліфікаційній роботі ультразвукове пластичне деформування буде застосовуватись для зміцнення напиленого шару, нанесеного методом вискошвидкісного газовогняного напилення, з метою покращення експлуатаційних характеристик відновленої поверхні розподільного вала двигуна КамАЗ-740.

2.4.5 Відновлення деталей методом газовогневого напилення та УПД

У практиці ремонту машин широке застосування знайшло поєднання газовогневого напилення та ультразвукового пластичного деформування (УПД). Така комбінація дозволяє значно покращити експлуатаційні характеристики відновлених поверхонь, підвищити зносостійкість, міцність і довговічність деталей.

Послідовність процесу:

1. Підготовка поверхні.
2. Поверхню зношеної деталі очищають, знежирюють, проводять шорсткування (наприклад, піскоструминну обробку), що забезпечує краще зчеплення напилюваного матеріалу з основою.
3. Газовогневе напилення: на підготовлену поверхню наносять шар порошкового матеріалу, зазвичай зі сталі, карбідів або інших зносостійких сплавів. Частинки розплавляються та осаджуються під дією полум'я на поверхню.
4. Ультразвукове пластичне деформування: поверхня нанесеного шару обробляється інструментом, що коливається з ультразвуковою частотою. В

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

результаті відбувається зміцнення поверхневого шару, зменшення мікронерівностей, зниження залишкових напружень та утворення ущільненої структури.

Ефекти обробки УПД:

- значне підвищення твердості поверхні;
- поліпшення зчеплення між покриттям і основним металом;
- зниження пористості та мікротріщин у покритті;
- формування сприятливого залишкового напруженого стану;
- підвищення зносостійкості та втомної міцності.

Такий метод особливо ефективний для ремонту цапф, шийок валів, отворів, зокрема в умовах, коли стандартні методи наплавлення чи механічної обробки не забезпечують потрібної якості або призводять до перегріву деталі.

У даній роботі комбінований метод застосовується для відновлення шийки розподільного валу двигуна КамАЗ-740, де досягається покращення експлуатаційних характеристик відновленої поверхні.

2.5 Критерії вибору оптимального способу відновлення деталей

Для забезпечення можливості цілеспрямованого вибору оптимального способу відновлення розроблений ряд критеріїв. Рекомендовано три наступні критерії [6]:

1) критерій технологічного застосування, який враховує реальність виконання техпроцесу відновлення даним способом. За допомогою цього критерію відбирають усі способи, які можуть бути застосовані;

2) критерій довговічності K_D , який дозволяє оцінити спосіб відновлення з погляду відносної величини ресурсу деталі після її відновлення,

$$K_D = P_B / P_H,$$

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		49

де P_B, P_H – ресурс (довговічність) деталі відповідно після відновлення та нової деталі. Рекомендоване значення K_D для деталі, відновлюваної в перший раз, повинне становити не менш 0,8;

3) техніко-економічний критерій, який визначається за величиною відносних витрат на відновлення деталі.

Наприклад, вартість відновлення деталі хромованням у більшості випадків вище вартості нової, у той же час довговічність хромованої деталі в 2-3 рази більша, чим у нової. Хромовання, травлення й інші процеси, застосовувані при гальванічному осадженні покриттів при відновлюванні деталі, супроводжуються викидами в атмосферу кислотних пар, що отруюють навколишнє середовище [6].

На закордонних заводах до початку випуску автомобілів нової марки оцінюється номенклатура відновлюваних деталей, тобто завчасно підготовляється забезпечення процесу повторного використання автомобілів. Цей процес передбачає повну утилізацію застарілих або ушкоджених автомобілів і створення умов для відновлення всіх деталей, крім практично не відновлюваних [6, 1].

Висновки до розділу

1. Розподільний вал підлягає відновленню у разі наявності таких дефектів: згинання вала (в межах, придатних до виправлення); риски, задири та зношення таких елементів: опорних шийок; впускних і випускних кулачків (за висотою); шийки під розподільну шестерню; шпонкового паза (за шириною); різьбової частини (у випадку спрацювання або зірваної різьби).

2. Розподільний вал не підлягає ремонту у разі виявлення таких дефектів: сколів; тріщин; викришувань металу (особливо на кулачках та опорних шийках).

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50

3. В результаті проведеного аналітичного огляду літератури та інтернет джерел у цій кваліфікаційній роботі для відновлення деталей автомобілів було прийнято рішення використати надзвукове газовогняне напилення. Для подальшого пластичного деформування – ультразвукове пластичне деформування.

Зазначені два методи є на даний момент сучасними широко використовуваними способами модифікації та відновлення працездатності поверхонь деталей як за кордоном, так і в Україні.

Технологія відновлення розроблятиметься на прикладі розподільного валу двигуна КамАЗ-740.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		51

3 ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ПОВЕРХОНЬ РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛУ КОМБІНОВАНИМ МЕТОДОМ

3.1 Вибір устаткування та матеріалів для газополуменевого напилення

Для забезпечення якісного нанесення покриття методом газополуменевого напилення необхідно правильно підібрати обладнання та напилювані матеріали.

Обладнання:

1. Газополуменевий напилювальний апарат Kermetico (HVOF; HVOF) або аналогічний, призначений для роботи з порошковими або дротяними напилювальними матеріалами [20].
2. Газозварювальна установка – подає ацетилен та кисень у потрібному співвідношенні, забезпечуючи стабільне полум'я.
3. Піскоструминний апарат – для шорсткування поверхні перед напиленням.
4. Ультразвуковий деформатор – наприклад, апарат типу УПД-100, оснащений наконечником з твердого сплаву, що резонує на частоті 20–25 кГц.

Напилювальні матеріали [11, 19]:

У якості порошку для відновлення шийки розподільного валу двигуна КамАЗ-740 доцільно використовувати:

- порошок ППН-40Х13 – нержавіючий сплав, що забезпечує високу зносостійкість, корозійну стійкість та хорошу адгезію до сталеві основи;
- ППН-36ХН – як альтернатива, при необхідності підвищеної твердості та зносостійкості.

Хімічний склад і властивості порошків [11]:

- ППН-40Х13: вміст хрому ~13%, вуглецю ~0.4%, залізо — основа;
- твердість напилення після УПД: HRC 40–50.

Витратні матеріали:

					КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ацетилен та кисень (технічної чистоти);
- захисне зварювальне спорядження;
- піщаний абразив (корунд, електрокорунд) для підготовки поверхні.

3.2 Розрахунок товщини відновлюваного шару та витрати матеріалу

Вихідні дані:

- номінальний діаметр шийки розподільного валу: $D_n = 50$ мм;
- зношений діаметр (фактичний перед напиленням): $D_x = 49,2$ мм;
- допуск на діаметр після обробки: $\pm 0,02$ мм;
- кількість шийок, які потребують відновлення: $n = 4$;
- коефіцієнт втрат при напиленні (втрати при розпиленні, пиловидалення тощо): $K_s = 1,3$;
- густина порошку ППН-40Х13: $\rho = 7,4$ г/см³.

Обчислення:

1. Розрахунок товщини шару напилення:

$$\Delta = (D_n - D_x) / 2;$$

$$\Delta = (50 - 49,2) / 2 = 0,4 \text{ мм.}$$

2. Розрахунок об'єму напилюваного матеріалу на одну шийку:

Об'єм циліндричного шару:

$$V_1 = \pi \times D_n \times \Delta \times l;$$

(довжина шийки $l = 30$ мм)

$$V_1 = 3,14 \times 50 \times 0,4 \times 30 \approx 1884 \text{ мм}^3 = 1,884 \text{ см}^3.$$

3. З урахуванням 4 шийок:

$$V_4 = 1,884 \times 4 = 7,536 \text{ см}^3.$$

4. Маса необхідного порошку (з урахуванням втрат):

$$m = V_4 \times \rho \times K_s; m = 7,536 \times 7,4 \times 1,3 \approx 72,5 \text{ г.}$$

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

Отже, для відновлення чотирьох шийок розподільного валу методом газополуменевого напилення з подальшим ультразвуковим деформуванням потрібно близько 73 г порошку ППН-40Х13.

3.3 Визначення режимів газополуменевого напилення

Розглянемо технологічний процес газополуменевого напилення покриття з порошку ППН-40Х13, який є зносостійким та корозійностійким матеріалом. Основні параметри процесу залежать від типу пальника, виду порошку, діаметра деталі, необхідної товщини шару тощо [7, 8].

Вихідні дані для вибору режиму:

- тип порошку: ППН-40Х13;
- діаметр шийки валу: 50 мм;
- необхідна товщина шару: 0,4 мм;
- вид пальника – універсальний, наприклад УГП-6;
- тип подачі порошку – автоматична (пневматична подача);
- положення напилення – горизонтальне.

Орієнтовні параметри режиму напилення (для порошку типу ППН-40Х13) подані в таблиці 3.1.

Остаточна товщина покриття формується за кілька проходів. Після кожного проходу проводиться контроль зовнішнього вигляду шару та охолодження (природне або примусове повітрям).

Підготовка поверхні перед напиленням [21]:

1. Очищення поверхні від масла, бруду, окалини.
2. Абразивна обробка (піскоструменем або шліфуванням) для надання шорсткості $R_a \approx 6,3-12,5$ мкм.
3. Знежирення ацетоном або іншим органічним розчинником.
4. Попередній підігрів поверхні до температури 200–300 °С для покращення адгезії покриття.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		54

Таблиця 3.1 – Орієнтовні параметри режиму напилення
для порошку типу ППН-40Х13

Параметр	Значення
Тиск ацетилену	0,02–0,05 МПа
Тиск кисню	0,3–0,5 МПа
Витрата ацетилену	90–120 л/год
Витрата кисню	180–200 л/год
Витрата порошку	50–70 г/хв
Відстань до поверхні	120–150 мм
Швидкість переміщення пальника	10–20 м/год
Температура нагріву основи	до 250–300 °С
Кількість проходів пальника	4–6 (для отримання шару 0,4 мм)

Ультразвукова обробка напиленого шару – це технологічний процес, який полягає у впливі ультразвукових коливань на поверхню матеріалу, на яку нанесено тонкий напилений шар (покриття). Мета такої обробки – покращення властивостей покриття, таких як адгезія, міцність, зносостійкість, а також усунення дефектів.

Основні характеристики ультразвукової обробки напиленого шару:

1. Принцип дії. Ультразвукові коливання високої частоти (від 20 кГц і вище) створюють механічні вібрації, які передаються на поверхню напиленого шару. Ці коливання сприяють ущільненню матеріалу покриття, розподілу залишкових напруг і вирівнюванню структури.
2. Механізми впливу:
 - поліпшення контактної адгезії між підкладкою і напиленим шаром завдяки видаленню мікронерівностей і розподілу залишкових напружень;
 - ущільнення структури покриття, що знижує його пористість і проникність;

- стимуляція процесів дифузії на межі розділу, що підвищує міцність зчеплення;

3. Область застосування: ультразвукову обробку використовують для покращення експлуатаційних характеристик напилених металевих, керамічних, композитних покриттів у машинобудуванні, авіації, енергетиці, електроніці.

4. Переваги:

- збільшення терміну служби покриття;
- поліпшення корозійної та зносостійкості;
- можливість обробки складних геометричних форм без пошкодження;

5. Особливості технології:

- обробка зазвичай виконується на спеціальних ультразвукових пристроях із налаштуванням частоти, амплітуди і часу впливу;
- часто комбінується з іншими методами обробки (наприклад, термічною обробкою).

3.4 Високошвидкісна газотермічна установка

У цій КРБ для напилення застосовується комплекс високошвидкісного обладнання – модернізований аналог установки «Плазма-80», оснащений пальником (типу HVOF – High Velocity Oxy-Fuel) і призначений для нанесення зносостійких, жаростійких, теплозахисних та м'яких ущільнювальних покриттів методами високошвидкісного напилення [22].

До комплексу (рис. 3.1) [22] входить таке обладнання: пальник, порошковий живильник, пропановий випарник, блок керування та ряд допоміжних пристроїв. Конструктивно пальник складається з чотирьох основних частин: камери згоряння у зборі, розподільника суміші газів, розподільника «вторинного» пропану, корпусу сопла у зборі.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		56

Робота пальника ґрунтується на принципі високошвидкісного наплення з активною камерою згорання. Відповідно до алгоритму програми та параметрів, що задаються, система управління установки здійснює точне дозування повітря і пропану, що подаються в камеру згорання для забезпечення оптимальних параметрів газового струменя за швидкістю і температурою.

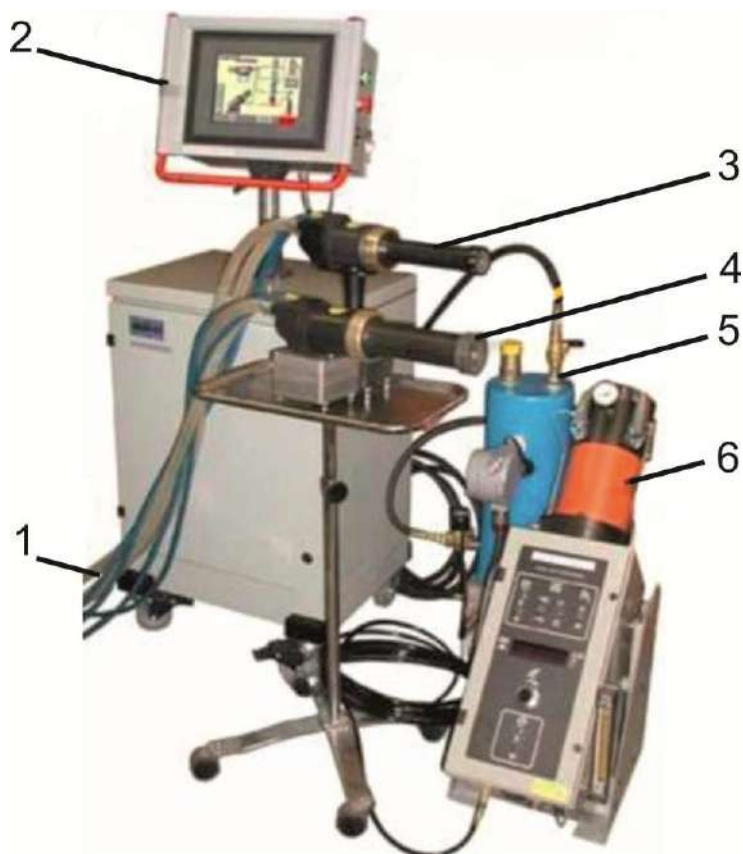


Рисунок 3.1 – Комплекс високошвидкісного газовогняного наплення [22]:
 1 – шланги і кабелі керування; 2 – панель керування; 3 – пальник типу HVOF;
 4 – пальник типу HVOF з блоком підпалення; 5 – випарник пропану;
 6 – живильник порошку;

Контролер отримує дані від датчиків тиску пропану і повітря через блок аналогово-цифрових перетворювачів, здійснює необхідні обчислення і видає керуючі сигнали на виконавче реле і диференціальні клапани.

Живильник порошку забезпечує точне дозування та безперервну подачу порошку в пальник. Дозування здійснюється за допомогою зміни числа обертів диска, з тарованими отворами. подача порошку відбувається під тиском транспортувального газу, в якості якого можуть виступати азот або аргон.

Випарник служить для фазового перетворення пропану з рідкої фази в газоподібну. Усередині випарника відбувається підготовка пропану за потрібними параметрами тиску та температури. Очищений газоподібний пропан через блок управління подається в пальник.

Процес наплення виконується автоматично. Панель управління з рідкокристалічним сенсорним екраном забезпечує дистанційне налаштування, регулювання та стабільність параметрів процесу нанесення покриттів [22].

Основні технічні характеристики використовуваної установки представлені таблиці 3.2 [22].

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики комплексу високошвидкісного газовогняного обладнання типу «Плазма-80»

Характеристики установки	Значення
Швидкість частинок порошку, м/с	до 800
Витрата горючого газу, л/хв.	250 (пропан)
Витрата транспортувального газу, л/хв.	40 (азот)
Витрата окиснювача, м ³ /хв.	7-9 (стиснене повітря)
Продуктивність, кг/год.	до 22;
Товщина напиленого шару, мм	0,03-10
Пористість покриття, %	1,0 менше
Адгезія, МПа	80 более
Споживана електрична потужність, кВт	5

Пальник встановлений на маніпуляторі, призначеному для її переміщення вздовж оброблюваної поверхні деталі із заданою швидкістю. Швидкість переміщення пальника залежить від діаметра деталі та швидкості обертання,

регулювання швидкості переміщення здійснюється на блоці керування маніпулятора. Пальник з маніпулятором встановлений у шумоізолюючій камері. Також у камері встановлено переобладнаний токарний верстат, призначений для обертання деталі.

3.5 Ультразвукова установка

Комплект призначений для механічної обробки виробів із металів та сплавів методом поверхнево пластичного деформування на ультразвуковій частоті. Комплект має можливість вбудовування в технологічні комплекси, наприклад, металообробні верстати токарної чи фрезерної групи. Схема ультразвукового комплексу подана на рис. 3.2 [23].

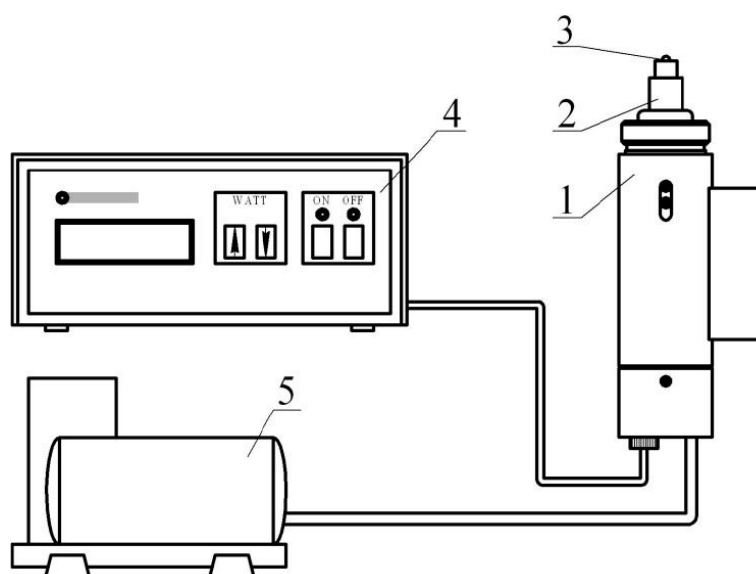


Рисунок 3.2 – Схема ультразвукового комплексу:

- 1 – корпус перетворювача для закріплення на верстаті; 2 – хвилевід;
3 – індензор; 4 – генератор; 5 – компресор

Комплекс складається з ультразвукового генератора та інструменту у складі магнітострикційного перетворювача та індензора. Для тривалої та

					КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

надійної роботи ультразвукового інструменту у кожному конкретному застосуванні має бути обов'язково передбачено примусове охолодження перетворювача повітрям.

Індентор під дією статичної та динамічної сили, що створюється коливальною системою, пластично деформує поверхневий шар деталі та модифікує поверхневий шар. У таблиці 3.3 наведено основні технічні характеристики ультразвукового технологічного комплексу.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики ультразвукового комплексу [23]

Характеристики	Значення
Напруга живлення, В	220
Частота живильної напруги, Гц	50
Споживана потужність, не більше, кВт	0,25
Тип ультразвукового перетворювача	Магнітострикційний
Робоча частота, кГц	22
Охолодження перетворювача	Повітряне
Витрата охолоджувального повітря, не менше, м ³	30
за тиску, не менше, МПа	0,3
Регулювання потужності генератора	Східчаста
Кількість ступенів потужності	20

Інструмент для ультразвукової обробки є магнітострикційним перетворювачем (магнітострикційний пакет, електрична обмотка, хвилевід) з індентором. Інструмент призначений для створення механічних коливань у резонансній системі перетворювач-хвильовод-індентор.

Ультразвукова обробка матеріалів ґрунтується на енергії механічних коливань інструмента-індентора. Коливання відбуваються з ультразвуковою частотою (24 кГц) та амплітудою коливань (0,5÷50) 10-6 м [23].

Енергія в зону обробки вводиться за допомогою статичного зусилля притиску інструменту поверхні оброблюваної деталі.

3.6 Маршрут відновлення розподільного валу

Розподільний вал належить до класу деталей «круглі стрижні» і отже послідовність його відновлення повинна містити такі операції, як виправлення центрових отворів, виправлення валу, механічна обробка відновлюваних поверхонь, яка спрямована на виправлення геометричної форми тіла, наплавлення поверхонь, механічна обробка наплавлених поверхонь.

Технологічний маршрут відновлення розподільного валу автомобіля КамАЗ: [24, 25].

005. Токарна операція: полірування поверхні передньої, середньої та задньої опорних шийок.

010. Пресова операція: виправлення валу до виведення погнутості.

015. Токарна операція: виправлення центрових отворів.

020. Горизонтально-фрезерна операція: фрезерування шпонки на ремонтний розмір.

025. Слюсарна операція: зачистка задирок після фрезерування шпонкового паза.

030. Круглошліфувальна операція: шліфування поверхні шийки, з витримуванням розмірів та шорсткості.

035. Круглошліфувальна операція: шліфування поверхні кулачка, з витримуванням розмірів та шорсткості.

040. Газовогняне напилення: напилення шийки до потрібного розміру.

045. Газовогняне напилення: напилення покриття на зношену поверхню кулачка.

050. Круглошліфувальна (чорнова) операція: шліфування напиленої шийки з витримуванням розмірів і шорсткості.

055. Круглошліфувальна (чорнова) операція: шліфування напиленого кулачка, з витримуванням розмірів і шорсткості.

060. Круглошліфувальна (чистова) операція: шліфування напилених шийки і кулачка до розміру за робочим кресленням.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		61

065. Круглошліфувальна (чистова) операція: шліфування напиленого кулачка, з витриманням розмірів і шорсткості.

070. Контрольна операція: вимірювання величини шийок та кулачків.

3.7 Вибір обладнання й оснащення

У таблиці 3.4 наведено необхідне технологічне обладнання.

Таблиця 3.4 – Технологічне обладнання для відновлення розподільного валу автомобіля КамАЗ

№	Назва	Модель	Габарити	Кількість	Вартість, грн
1	Токарний верстат з ЧПК	СКЕ 6156Z	2580×1750×1620	1	378 800
2	Високошвидкісний напівавтоматичний шліфувальний верстат для обробки розподільних валів	MBS 8312×12	4400×2450×2200	1	280 000
3	Прес гідравлічний для виправлення колінчастих, розподільних валів тощо	CP150	200×70×110	1	120 000
4	Горизонтальний фрезерний верстат	6Т83	2570×2252×1770	1	540 000
5	Верстат слюсарний	ВС-3МФ-ТДД-Э	1900×720×1100	1	17 200
6	Комплекс високошвидкісного газовогняного обладнання	SB-500	1400×2000	1	40 000
7	Ультразвукова установка	УЗО-300	300×80×90	1	80 000
8	Стіл для пристроїв		1200×600×920	1	4 800
9	Шафа для інструмента		670×630×1530	1	6 000

3.8 Розрахункова частина

3.8.1 Призначення припусків та допусків на оброблювані поверхні

Призначення припусків та допусків на оброблювані поверхні – це один із ключових етапів у процесі проектування та виготовлення деталей. Вони визначають, скільки матеріалу необхідно залишити для наступної обробки (припуск) та які допустимі відхилення розмірів і форми (допуски), щоб забезпечити працездатність і взаємозамінність виробів [26].

1. Припуски на обробку.

Припуск – це шар матеріалу, який спеціально залишають при попередніх операціях для подальшого його видалення більш точними або чистовими обробками (точінням, шліфуванням, фрезеруванням тощо).

Основні цілі припусків:

- усунути похибки попередньої обробки;
- забезпечити отримання потрібної точності та шорсткості;
- компенсувати деформації заготовки (наприклад, при термообробці).

Чинники, що впливають на розмір припуску:

- тип і точність попередньої обробки;
- вид матеріалу;
- жорсткість оброблюваної системи;
- технологічні можливості обладнання.

2. Допуски.

Допуск – це максимально допустиме відхилення фактичного розміру від номінального (заданого) розміру. Визначається для:

- лінійних розмірів (довжина, діаметр тощо);
- форми (прямолінійність, плоскість);
- взаємного розташування (перпендикулярність, співвісність).

Припуски на операції наведено у табл.3.5.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		63

Таблиця 3.5 – Припуски на обробку [26]

№ дефекту	Усувний дефект	Поверхня	Технологічні переходи обробки	Розмір, мм	Припуск, мм	Допуск, мкм
1	Виправлення центрових отворів		Точіння	15,5	–	–
2	Зношування проміжних опорних шийок	Б	Зношена поверхня	Ø 53,8	–	–
			Точіння	Ø 52,93 ^{-0,053}	0,94	53
			Шліфування попереднє	Ø 52,71 ^{-0,046}	0,22	46
			Напилення	Ø 54,22 ^{-0,1}	1,5	100
			Шліфування чорнове	Ø 54,00 ^{-0,085 -0,105}	0,25	85
			Шліфування чистове	Ø 53,80 ^{-0,085 -0,105}	0,15	85
3	Зношення задньої опорної шийки	Б	Зношена поверхня	Ø 41,90	–	–
			Точіння	Ø 41,01 ^{-0,08}	0,89	80
			Шліфування попереднє	Ø 40,81 ^{-0,07}	0,2	70
			Напилення	Ø 42,31 ^{-0,1}	1,5	100
			Шліфування чорнове	Ø 41,99 ^{-0,05}	0,32	50
			Шліфування чистове	Ø 41 ^{-0,085 -0,105}	0,19	85
4	Зношення кулачків по вершині	Г	Зношена поверхня	43,98	–	–
			Точіння	43,18 ^{-0,12}	0,8	120
			Шліфування попереднє	42,95 ^{-0,15}	0,23	150
			Напилення	44,45 ^{-0,1}	1,5	100
			Шліфування чорнове	44,16 ^{-0,25}	0,25	250
			Шліфування чистове	44,1 ^{-0,25}	0,06	250
	Зношування кулачків по профілю	Д	Зношена поверхня	36,68	–	–
			Точіння	36,28 ^{-0,12}	0,4	120
			Шліфування попереднє	36,17 ^{-0,15}	0,11	150
			Напилення	37,67 ^{-0,1}	1,5	100
			Шліфування чорнове	37,16 ^{-0,25}	0,51	250
			Шліфування чистове	37 ^{-0,05}	0,16	50
6	Змінання шпонкового паза	Е	Зношена поверхня	4,9	–	–
			Фрезерування шпонкового пазу на ремонтний розмір	5,5 ^{-0,010 -0,055}	0,5	10

3.8.2 Вибір різального інструменту

У таблиці 3.6 подано результати щодо вибору різального інструменту.

					КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Таблиця 3.6 – Різальний інструмент [27]

Номер операції	Операція	Назва інструменту	Матеріал резальної частини	Позначення
005	Токарна чистова	Шліфувальне полотно		Д2 725×50 ГОСТ 13344-79
		Шліфувальний папір водостійкий	15А-електрогрунт білий; 5-зернистість; НМ-твердість – м'яка	1Е 725×50 лог 15А5НМА ГОСТ 5009-75
015	Токарна чорнова	Різець прохідний упорний прямий із твердого сплаву	Титано-вольфрамовий сплав з вмістом 5% титану, 10% кобальту, інше – карбід вольфраму	Різець 2141-0201 Т5К10 ГОСТ 18884-73
020	Фрезерна	Фреза дискова пазова		Фреза 100x10x32 Р6М5 Z=20 2250-0011 ГОСТ 3964-69
025	Слюсарна	Напилек загального призначення		2820-0015 ГОСТ 1465-80
030	Круг. шліф. шийки	Круг шліфувальний загального застосування прямого профілю	23А-електрогрунт білий; 40-зернистість; СТ-твердість – середньотверда; номер структури – 5	ПП 600-63-305 23А 40-25 СТ16-К1 ГОСТ 8421-83
035	Круг. шліф. кулачка	Круг шліфувальний загального застосування прямого профілю	23А-електрогрунт білий; 40-зернистість; СТ-твердість – середньотверда; номер структури – 5	ПП 600-63-305 23А 40-25 СТ16-К1 ГОСТ 8421-83
050	Круг. Шліф. чорнове шийки	Круг шліфувальний загального застосування прямого профілю	23А-електрогрунт білий; 40-зернистість; СТ-твердість – середньотверда; номер структури – 5	ПП 600-63-305 23А 40-25 СТ16-К1 ГОСТ 8421-83
055	Круг. шліф. чорнове кулачка	Круг шліфувальний загального застосування прямого профілю	23А-електрогрунт білий; 40-зернистість; СТ-твердість – середньотверда; номер структури – 5	ПП 600-63-305 23А 40-25 СТ16-К1 ГОСТ 8421-83
060	Круг. шліф. чистове шийки	Круг шліфувальний загального застосування прямого профілю	23А-електрогрунт білий; 40-зернистість; СТ-твердість – середньотверда; номер структури – 5	ПП 600-63-305 23А 40-25 СТ16-К1 ГОСТ 8421-83
065	Кругл чистове кулачек	Круг шліфувальний загального застосування прямого профілю	23А-електрогрунт білий; 40-зернистість; СТ-твердість – середньотверда; номер структури – 5	ПП 600-63-305 23А 40-25 СТ16-К1 ГОСТ 8421-83

					КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

3.8.3 Розрахунок режимів різання та відновлення

Виправлення центрових отворів.

Свердло 2317-0117 Т5К10 ГОСТ 10903-77.

Глибина різання:

$$t = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ мм.}$$

Подача: $s = 0,1$ мм/об;

стійкість інструмента для швидкорізальної сталі (Р6М5 тощо): $T = 15$ хв.;

емпірична константа (коефіцієнт) береться з таблиць: $C_9 = 7$.

Швидкість різання (м/хв) [28]:

$$v = \frac{C_9 \cdot D^q}{T^m \cdot s^y} \cdot K_{M9} \cdot K_{U9} \cdot K_{I9} = \frac{7 \cdot 5^{0,4}}{15^{0,2} \cdot 0,1^{0,7}} \cdot 1,25 \cdot 0,65 \cdot 1 = 31$$

де K_{M9} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал;

K_{U9} – коефіцієнт, що враховує умови обробки;

K_{I9} – коефіцієнт, що враховує конструкцію інструмента або тип обладнання.

Частота обертання шпинделя (об/хв) [28]:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 31}{3,14 \cdot 5} = 1937$$

де D – діаметр обробки.

Прийнята частота обертання шпинделя: $n_{пр} = 1600$ об/хв.

Уточнена швидкість різання (об/хв) [28]:

$$v_0 = \frac{n_{пр} \cdot \pi \cdot D}{1000} = \frac{1600 \cdot 3,14 \cdot 5}{1000} = 25,2$$

Крутний момент [28]:

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 5^2 \cdot 0,1^{0,8} \cdot 0,846 = 1,1Н \cdot м.$$

Осьова сила [28]:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_{кр} = 10 \cdot 68 \cdot 5^1 \cdot 0,1^{0,7} \cdot 0,846 = 573 Н.$$

Необхідна потужність двигуна [28]:

$$N_p = \frac{M_{кр} \cdot n_{пр}}{9750} = \frac{1,1 \cdot 573}{9750} = 0,064 кВт.$$

Шліфування кулачка (чорнове):

Діаметр 44,665 мм.

За таблицями:

$$V_k = 20 \text{ м/с.}$$

$$V_3 = 20 \text{ м/хв.}$$

$$S_{ПР} = 0,025 \text{ мм/дв.х.}$$

Ширина круга В = 63 мм.

Розрахунок хвилинної подачі круга:

$$S = (0,3 \dots 0,7) В = 0,3 \cdot 63 = 18,9 \text{ мм / об.}$$

Розрахунок частоти обертання (об/хв.):

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 54} = 117$$

приймаємо n = 110 об/хв.

$$S_m = S \cdot n = 18,9 \cdot 110 = 2079 \text{ мм/хв.}$$

Ефективна потужність різання:

$$N_s = C_N \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot d^q = 1,3 \cdot 0,025^{0,85} \cdot 18,9^{0,7} \cdot 20^{0,75} \cdot 60^0 = 4,18 кВт.$$

					КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Шліфування шийки (чорнове):

Діаметр 54мм.

За таблицями:

$$V_k = 25 \text{ м/с.}$$

$$V_3 = 20 \text{ м/хв.}$$

$$S_{\text{ПР}} = 0,025 \text{ мм/дв.х.}$$

Ширина круга $B = 63 \text{ мм.}$

Розрахунок хвилинної подачі круга:

$$S = (0,3 \dots 0,7) B = 0,3 \cdot 63 = 18,9 \text{ мм / об.}$$

Розрахунок частоти обертання (об/хв.):

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 54} = 117$$

приймаємо $n = 110 \text{ об/хв.}$

$$S_M = S \cdot n = 18,9 \cdot 110 = 2079 \text{ мм/хв.}$$

Ефективна потужність різання:

$$N_s = C_N \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot d^q = 1,3 \cdot 0,025^{0,85} \cdot 18,9^{0,7} \cdot 20^{0,75} \cdot 60^0 = 4,18 \text{ кВт.}$$

Шліфування шийки (чорнове):

Діаметр 42 мм.

За таблицями:

$$V_k = 25 \text{ м/с.}$$

$$V_3 = 20 \text{ м/хв.}$$

$$S_{\text{ПР}} = 0,025 \text{ мм/дв.х.}$$

Ширина круга $B = 63 \text{ мм.}$

Розрахунок хвилинної подачі круга:

$$S = (0,3 \dots 0,7) B = 0,3 \cdot 63 = 18,9 \text{ мм / об.}$$

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

Розрахунок частоти обертання (об/хв.):

$$n = \frac{1000 \cdot \vartheta}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 42} = 151$$

приймаємо $n = 110$ об/хв.

$$S_m = S \cdot n = 18,9 \cdot 110 = 2079 \text{ мм/хв.}$$

Ефективна потужність різання:

$$N_s = C_N \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot d^q = 1,3 \cdot 0,025^{0,85} \cdot 18,9^{0,7} \cdot 20^{0,75} \cdot 60^0 = 4,18 \text{ кВт.}$$

Шліфування кулачка (чистове):

Діаметр 44,665 мм.

За таблицями:

$$V_k = 25 \text{ м/с.}$$

$$V_s = 20 \text{ м/хв.}$$

$$S_{\text{ПР}} = 0,025 \text{ мм/дв.х.}$$

Ширина круга $B = 63$ мм.

Розрахунок хвилинної подачі круга:

$$S = (0,3 \dots 0,7) B = 0,3 \cdot 63 = 18,9 \text{ мм / об.}$$

Розрахунок частоти обертання (об/хв.):

$$n = \frac{1000 \cdot \vartheta}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 54} = 117$$

приймаємо $n = 110$ об/хв.

$$S_m = S \cdot n = 18,9 \cdot 110 = 2079 \text{ мм/хв.}$$

Ефективна потужність різання:

$$N_s = C_N \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot d^q = 1,3 \cdot 0,025^{0,85} \cdot 18,9^{0,7} \cdot 20^{0,75} \cdot 60^0 = 4,18 \text{ кВт.}$$

					КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Шліфування шийки (чистове):

Діаметр 54мм.

За таблицями:

$$V_k = 30 \text{ м/с.}$$

$$V_3 = 20 \text{ м/хв.}$$

$$S_{\text{ПР}} = 0,01 \text{ мм/дв.х.}$$

Ширина круга $B = 63 \text{ мм.}$

Розрахунок хвилинної подачі круга:

$$S = (0,3 \dots 0,7) B = 0,3 \cdot 63 = 18,9 \text{ мм / об.}$$

Розрахунок частоти обертання (об/хв.):

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 54} = 117$$

приймаємо $n = 110 \text{ об/хв.}$

$$S_M = S \cdot n = 18,9 \cdot 110 = 2079 \text{ мм/хв.}$$

Ефективна потужність різання:

$$N_p = C_N \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot d^q = 1,3 \cdot 0,01^{0,85} \cdot 18,9^{0,7} \cdot 20^{0,75} \cdot 60^0 = 1,9 \text{ кВт.}$$

Шліфування шийки (чистове):

Діаметр 42мм.

За таблицями:

$$V_k = 30 \text{ м/с.}$$

$$V_3 = 20 \text{ м/хв.}$$

$$S_{\text{ПР}} = 0,01 \text{ мм/дв.х.}$$

Ширина круга $B = 63 \text{ мм.}$

Розрахунок хвилинної подачі круга:

$$S = (0,3 \dots 0,7) B = 0,3 \cdot 63 = 18,9 \text{ мм / об.}$$

Розрахунок частоти обертання (об/хв.):

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

$$n = \frac{1000 \cdot \vartheta}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 42} = 151$$

приймаємо $n = 110$ об/хв.

$$S_m = S \cdot n = 18,9 \cdot 110 = 2079 \text{ мм/хв.}$$

Ефективна потужність різання:

$$N_g = C_N \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot d^q = 1,3 \cdot 0,01^{0,85} \cdot 18,9^{0,7} \cdot 20^{0,75} \cdot 60^0 = 1,9 \text{ кВт.}$$

Фрезерування паза:

$$t = 8 \text{ мм}$$

$$S_z = 0,06 \text{ мм}$$

$$T = 60 \text{ хв}$$

Для паза = 5 мм.

Швидкість різання (м/хв.):

$$\vartheta = \frac{C_\vartheta \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^u \cdot z^p} \cdot K_\vartheta = \frac{75,5 \cdot 25^{0,25}}{60^{0,2} \cdot 8^{0,3} \cdot 0,06^{0,2} \cdot 13^{0,1} \cdot 12^{0,1}} \cdot 0,68 = 28,7$$

Число обертів (об/хв.):

$$n = \frac{1000 \cdot \vartheta}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 28,7}{3,14 \cdot 25} = 365$$

Число проходів: $i=1$.

Сила різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot V^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp} = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 8^{0,7} \cdot 0,06^{0,72} \cdot 5^1 \cdot 12}{25^{0,86} \cdot 365^0} \cdot 0,64 = 929 \text{ Н.}$$

Крутний момент:

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{200} = \frac{929 \cdot 25}{200} = 116 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність різання:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{980 \cdot 38.9}{1020 \cdot 60} = 0.62 \text{ Н} \quad \text{і} \quad N_z = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} = \frac{929 \cdot 28.7}{61200} = 0,43 \text{ кВт.}$$

3.8.4 Розрахунок норм часу

Під технічним нормуванням розуміється встановлення норм часу на виконання певної роботи або норм виробітку (шт/од. часу).

Норму часу визначають на основі технічного розрахунку та аналізу, виходячи з умов можливо повного використання технічних можливостей обладнання та інструменту у відповідності з вимогами до обробки деталі.

Норму штучного часу визначимо за [29, 30]:

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{то} + T_{п},$$

де T_o – основний час, хв;

T_d – допоміжний час, хв;

$T_{то}$ – час обслуговування робочого місця, хв;

$T_{п}$ – час перерв на відпочинок та особисті потреби, хв.

Основний час обчислюється на підставі прийнятих режимів різання за формулою:

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S};$$

де L – довжина робочого ходу, м;

n – прийнята частота обертання, об/хв;

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

S – прийнята подача, мм/об;

Допоміжний час T_d складається із витрат часу на окремі прийоми:

$$T_d = T_{в.з} + T_{з.в} + T_{кер} + T_{вим},$$

де $T_{в.з}$ – час на встановлення та зняття деталі, хв;

$T_{з.в}$ – час на закріплення та відкріплення деталі, хв;

$T_{кер}$ – час прийоми управління, хв;

$T_{вим}$ – час на вимірювання деталі, хв.

Сума основного часу та допоміжного утворює оперативний час:

$$T_{оп} = T_o + T_d.$$

Час на обслуговування робочого місця та час на перерви і відпочинок та індивідуальні потреби беруться у відсотковому співвідношенні від оперативного часу 5% та 3% відповідно [29].

Нижче наведено приклад розрахунку норм часу на операцію процесу відновлення розподільного валу двигуна КамАЗ-740.

030 Круглошліфувальна операція.

1. Основний час (хв.):

$$t_o = \frac{h \cdot \kappa}{n_d \cdot t}$$

де κ – коефіцієнт, що враховує точність шліфування та зношення круга, $\kappa = 1,7$.

Для обох шийок:

$$t_o = \frac{0,05 \cdot 1,7}{400 \cdot 0,001} = 0,21$$

$$T_o = t \cdot 2 = 0,21 \cdot 2 = 0,42$$

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

2. Допоміжний час.

на встановлення та зняття деталі $T_{в.з} = 0,3$ хв.

на перехід $T_{ПЕР} = 0,42$ хв.

$$T_d = 0,3 + 0,42 = 0,72 \text{ хв.}$$

3. Доданий час (хв.):

$$T_{ПР} = (T_o + T_d) \cdot \frac{П_{ПР}}{100} = (0,42 + 0,72) \cdot \frac{9}{100} = 0,10.$$

де $П_{ПР} = 9\%$ – відсоток доданого часу.

4. Штучний час (хв.):

$$T_{ш} = T_o + T_d + T_{ПР} = 0,42 + 0,72 + 0,10 = 1,24.$$

5. Підготовчо-заключний час (хв.) – час, витрачений на підготовку робочого місця, інструменту, обладнання, документів, а також на приведення їх у початковий стан після завершення роботи.

Підготовчо-заключний час – це час, який витрачається на підготовку та завершення роботи, незалежно від кількості продукції, але який впливає на загальну трудомісткість партії. Чим більша партія – тим менший вплив ПЗЧ на собівартість однієї деталі. Визначається нормативами (наприклад, за збірниками нормативів часу):

$$T_{ПЗ} = 0,9.$$

6. Штучний час з урахуванням ПЗЧ:

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		74

$$T_{шт\text{пз}} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{m} = 1,24 + \frac{0,9}{2} = 1,69.$$

де $T_{шт}$ – штучний час (на одну деталь);

$T_{пз}$ – підготовчо-заключний час;

m – кількість деталей у партії.

Норми часу, розраховані за зазначеними формулами, наведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Норми часу виконання технічного процесу

Операція	T_o	T_b	$T_{оп}$	$T_{то}$	$T_{п}$	$T_{шт}$
005 Токарна	0,3	0,72	1,02	1,3	0,9	0,74
010 Пресова	0,1	0,2	0,3	0,015	0,009	0,324
015 Токарна	0,11	0,84	0,95	0,05	0,03	1,03
020 Фрезерна	0,1	0,8	0,9	0,05	0,027	0,977
025 Слюсарна	1,5	0,2	1,7	0,09	0,05	1,84
030 Круглошліфувальна	0,42	0,72	1,14	1,3	0,9	0,85
035 Круглошліфувальна	0,46	0,56	1,02	1,3	0,79	1,01
040 Напилювання	3,75	15,3	19,05	1,5	0,65	21,2
045 Напилювання	29,8	15,3	45,1	1,5	1	47,5
050 Круглошліфувальна	0,42	0,72	1,14	1,3	0,9	0,85
055 Круглошліфувальна	0,46	0,56	1,02	1,3	0,79	1,01
060 Круглошліфувальна	0,3	0,72	1,02	1,3	0,9	0,74
065 Круглошліфувальна	0,4	0,56	0,96	1,3	0,79	0,89

3.8.5 Розроблення плану ділянки відновлення

Механічна ділянка призначена для відновлення деталей, механічної та слюсарної обробки. При розміщенні обладнання необхідно враховувати можливість використання підйомно-транспортних засобів [31, 32].

Розміщення (сітка) для виробничих будівель характеризується такими параметрами:

– прольотом L – відстань між осями двох рядів колон, що розміщуються поздовжньо до будівлі,

– кроком колон t – відстань між осями сусідніх колон в одному поздовжньому ряду.

Для одноповерхових будівель з підвісним підйомно-транспортним обладнанням вантажопідйомністю до 5 тонн сітку, проліт та крок колон рекомендується обирати наступних розмірів 24×6 ; 24×12 , 12×12 , відповідно.

Як правило, для дрібносерійного виробництва характерно поділ ділянки на зони, зокрема, зона слюсарних робіт, зона металорізального обладнання. Металорізальні верстати у своїй зоні зазвичай розміщують за типами груп: токарні, фрезерні, шліфувальні і т.д. Відстань між верстатами визначаються нормами, що забезпечують безпеку та зручність роботи [32].

На стадії техніко-економічного обґрунтування та попередніх розрахунків – укрупнено за питомими площами площа ділянки відновлення становить:

$$F_{TP} = f_a \cdot x_3 \cdot k_{\Pi}, \text{ м}^2$$

де $f_a = 6,7 \cdot 2,5 = 16,75 \text{ м}^2$ – площа, яку займає автомобіль у плані (за габаритними розмірами); $x_3 = 3$ – число постів; k_{Π} – коефіцієнт щільності розміщення постів ($k_{\Pi} = 4$ – при двосторонньому розташуванні постів).

Але оскільки в механічну ділянку надходять деталі для відновлення, а не автомобіль в цілому, то візьмемо площу в середньому на одного робітника при роботі з деталлю – $f_a = 4,5$ [31]. Тоді:

$$F_{TP} = 4,5 \cdot 3 \cdot 4 = 54 \text{ м}^2.$$

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки до розділу 3

Розділ містить теоретичний аналіз та інженерні розрахунки, пов'язані з розробкою технологічного процесу відновлення розподільчого валу двигуна КамАЗ-740, на підставі яких розроблена технологія відновлення відповідної сучасної техніки.

Визначено та реалізовано такі етапи проектування технологічного процесу відновлення:

- 1) діагностика та дефектація;
- 2) вибір методу відновлення;
- 3) технічні вимоги до відновленого валу;
- 4) технологічний маршрут відновлення;
- 5) вибір обладнання, інструментів, технологічного оснащення, призначення припусків, розрахунок режимів різання та норм часу, розроблення плану ділянки відновлення.

Відновлення розподільного валу КамАЗ-740 є доцільною альтернативою заміні, якщо знос не критичний. Грамотно спроектований процес забезпечує відновлення геометрії, механічних властивостей та довговічності вузла.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		77

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота на тему: «Розробка технології відновлення деталей автомобілів з подальшим зміцненням пластичним деформуванням» містить теоретичний аналіз та інженерні розрахунки, пов'язані з розробкою технологічного процесу відновлення розподільного валу двигуна КамАЗ-740, на підставі яких розроблена технологія відновлення відповідної сучасної техніки.

З аналізу літературних джерел та інформації з відкритих інтернет-ресурсів визначено:

1) розподільний вал підлягає відновленню у разі наявності таких дефектів: згинання вала (в межах, придатних до виправлення); риски, задири та зношення таких елементів: опорних шийок; впускних і випускних кулачків (за висотою); шийки під розподільну шестерню; шпонкового паза (за шириною); різьбової частини (у випадку спрацювання або зірваної різьби);

2) розподільний вал не підлягає ремонту у разі виявлення таких дефектів: сколів; тріщин; викришувань металу (особливо на кулачках та опорних шийках).

У розділі 2 докладно розглянуті та проаналізовані способи відновлення деталей автомобіля, що сприяло вибору раціонального способу за багатьма показниками.

У цій кваліфікаційній роботі обґрунтовано доцільність застосування надзвукового газовогняного напилення для відновлення зношених деталей автомобілів. Як завершальний етап обробки обрано метод ультразвукового пластичного деформування.

Обидві технології є сучасними, ефективними та активно використовуються у сфері відновлення та модифікації поверхонь автодеталей як в Україні, так і за її межами.

Розроблення проекту технологічного процесу відновлення реалізується на прикладі розподільного валу двигуна КамАЗ-740.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
						78
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Визначено та реалізовано такі етапи проєктування технологічного процесу відновлення:

- 1) діагностика та дефектація;
- 2) вибір методу відновлення;
- 3) технічні вимоги до відновленого валу;
- 4) технологічний маршрут відновлення;
- 5) вибір обладнання, інструментів, технологічного оснащення, призначення припусків, розрахунок режимів різання та норм часу, розроблення плану ділянки відновлення.

Результатом роботи є обґрунтовані рекомендації щодо застосування газовогняного методу з подальшим зміцненням пластичним деформуванням для відновлення зношених деталей розподільного валу двигуна серії КамАЗ-740.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		79

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Garje, Rahul. (2025). Automotive Camshaft Market Trends, and Growth Forecast. URL:

https://www.researchgate.net/publication/391522646_Automotive_Camshaft_Market_Trends_and_Growth_Forecast (дата звернення: 15.05.2025).

2 Camshaft Basics. URL: <https://www.hotrod.com/features/camshaft-basics-june-1976-982-754-62-1> (дата звернення: 15.05.2025).

3 Everything You Wanted to Know About Camshafts. URL: <https://www.jcwhitney.com/garage/performance-tuning/everything-you-wanted-to-know-about-camshafts/> (дата звернення: 15.05.2025).

4 Розподільний вал і його привод. URL: <https://greenway.com.ua/uk/dovidniki/pidruchnyk-po-vlashtuvannju-avtomobilja-single/rozdil13-gazorozpodilnyj-mehanizm/punkt-rozpodilchyj-val-i-jogo-pryvid> (дата звернення: 15.05.2025).

5 Карабиньош С., Новицький А. Відновлення газорозподільних валів двигунів. НУБіП України. URL: <https://agroexpert.ua/vidnovlenna-gazorozpodilnih-valiv-dviguniv-amz/>

6 Левкович М.Г., Босюк П.В., Радик М.Д. Ронспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей». ТНТУ імені Івана Пулюя. 2016 URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/18326/1/2016%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%81%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9%20%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%B4%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D0%B9%20%D0%9D.pdf> (дата звернення: 15.05.2025).

7 Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Технологія ремонту машин та обладнання» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія»/ уклад.: І.В. Шепеленко, М.В. Красота, Р.А. Осін. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 83 с.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

8 Основні технологічні процеси відновлення деталей. URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/11/other/4_1_.pdf (дата звернення: 15.05.2025).

9 Автомобільні двигуни : методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О. М. Маковкін, О. В. Диха, О. П. Бабак. – Хмельницький : ХНУ, 2019. – 46 с.

10 Відновлювальні технології на транспорті : методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни для студентів спеціальності «Автомобільний транспорт» / П. В. Каплун, В. А. Гончар. – Хмельницький : ХНУ, 2018. – 40 с.

11 Stojanovic B., Glisovic J. Automotive Engine Materials. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, Elsevier, 2016. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.01946-9>. (дата звернення: 15.05.2025).

12 Причини зношення розподільного вала. URL: <https://blog.japan-cars.com.ua/ua/prichinyi-iznosa-raspredelitelnogo-vala/> (дата звернення: 15.05.2025).

13 Ремонт розподільних валів вантажних автомобілів, сільгосп- та спецтехніки. URL: <https://www.olx.ua/d/uk/obyavlenie/remont-napilennya-rozpredvala-raspredvala-rozpodlchih-valv-IDS5KwR.html> (дата звернення: 15.05.2025).

14 Abu Rowin W, Xia Y, Wang S, Hutchins N. Accurately predicting turbulent heat transfer over rough walls: a review of measurement equipment and methods. Exp Fluid. 2024;65:86. <https://doi.org/10.1007/s00348-024-03812-1>.

15 Відновлення кулачків розподільного валу. URL: https://www.olx.ua/d/uk/obyavlenie/naplavka-kulachkov-raspredvala-vdnovlennya-kulachkv-rozpodlnogo-valu-IDTh07G.html?reason=ip%7Ccool_rec_platform (дата звернення: 15.05.2025).

16 Наплавлення та напилення матеріалів : методичні рекомендації до лабораторних робіт з дисципліни для здобувачів першого (бакалаврського)

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

рівня вищої освіти спеціальності 132 «Матеріалознавство» / В. А. Гончар, П. В. Каплун. Хмельницький : ХНУ, 2024. 27 с.

17 Відновлення деталей машин / М. В. Молодик, Б. А. Лангерт, А. К. Бредун. К. : Урожай, 1989. 256 с. URL: https://newlibrary.snau.edu.ua/cgi-bin/koaha/opac-detail.pl?biblionumber=105341&utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 15.05.2025).

18 Види і особливості плазмового зварювання. URL: https://zvarka.info/vidi-i-osoblivosti-plazmovogo-zvaryuvannya/#google_vignette (дата звернення: 15.04.2025).

19 Ramakrishnan P. 17 – Automotive applications of powder metallurgy, Editor(s): Isaac Chang, Yuyuan Zhao, In Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering, Advances in Powder Metallurgy, Woodhead Publishing, 2013, P. 493-519. <https://doi.org/10.1533/9780857098900.4.493>.

20 Kermetico HVOF and HVOF thermal spray equipment. URL: <https://kermetico.com/> (дата звернення: 15.05.2025).

21 Ковальчук Ю.О., Лісовий І.О. Лазерно-плазмове зміцнення попередньо термооброблених деталей автомобільного транспорту в АПК // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2021 вип. 51 54. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.54-60>

22 Завод ДОНМЕТ. URL: <https://donmet.com.ua/uk>. (дата звернення: 15.05.2025).

23 Ульянкін Д.І. Удосконалення технологічного процесу виготовлення осі 100.10.114-05 шляхом підвищення ефективності процесу поверхнево-пластичного деформування. Магістерська кваліфікаційна робота. Сум.ДУ. 2019. URL: [https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/75587/1/Uliankin_axis.pdf;jsessionid=C7B92E78CD1A631023759DE18774507D](https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/download/123456789/75587/1/Uliankin_axis.pdf;jsessionid=C7B92E78CD1A631023759DE18774507D) (дата звернення: 15.05.2025).

24 Толочин О.І., Похиленко Г.М. Проектування технологічного процесу механічної обробки деталі. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

курсу «Технології машинобудування» для студентів напрямку підготовки 133 «Галузеве машинобудування». 2017. URL:

https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/rekomendatsiyi_do_kursoвого_proektu2017.pdf (дата звернення: 15.05.2025).

25 Чабанний В.Я., Магопєць С.О., Мажейка О.Й. та ін. Ремонт автомобілів. Кн. 1 / за ред. В.Я. Чабанного. – Кропивницький: Центрально-Українське видавництво, 2007. – 720 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://library.kr.ua/wp-content/elib/chabannyi/Chabannyi_Remont_avto_kn1.pdf

26 Допуски та припуски на обробку/ URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/11/other/1_4.pdf (дата звернення: 15.05.2025).

27 Солодкий В.І., Плівак О.А. Металорізальні інструменти: конструкція, розрахунок, матеріали : навч. посіб. / В.І. Солодкий, О.А. Плівак. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 146 с. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/7ab91c27-5bf0-4321-8e0e-3180d83afa76/download> (дата звернення: 15.05.2025).

28 Теорія різання : Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/16c7fb99-be01-4570-99d7-0f7e979c48ff/content> (дата звернення: 15.05.2025).

29 Кирилович В.А., Мельничук П.П., Яновський В.А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ: навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / ред. В.А. Кирилович; Житомирський інженерно-технологічний інститут. – Житомир, 2001. – 599 с.

30 Гуржій О.Г. Нормування і оплата праці в машинобудуванні / О.Г. Гуржій. – Харків: ХНАДУ, 2008. – 320 с.

31 Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни «Проектування автотранспортних підприємств та станцій технічного

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

обслуговування» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»/ уклад.: І.В. Шепеленко, М.В. Красота, І.Ф. Василенко, Р.А. Осін. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 41 с.

32 Технічний сервіс автомобілів та проектування авторемонтних підприємств : методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О. П. Бабак, О. В. Диха, А. А. Вичавка. Хмельницький : ХНУ, 2024. 26.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		84

ДОДАТОК

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		85

Додаток А

Презентаційний матеріал



Кафедра трибології, автомобілів і
матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ З ПОДАЛЬШИМ ЗМІЦНЕННЯМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Виконав : студент групи МТВАз-20-1
Владислав КОРОЛЬ

Керівник : д.т.н., доцент Ілона ДРАЧ



Об'єкт дослідження – процеси газозогняного напilenня й ультразвукової пластичної деформації для відновлення зношених поверхонь автомобіля.

Предмет дослідження – закономірності, параметри та характеристики впливу газозогняного напilenня й ультразвукової пластичної деформації на якість відновлених поверхонь автомобільних деталей .

Мета дослідження – розроблення технології відновлення з подальшим зміцненням пластичним деформуванням деталей автомобіля на прикладі розподільного валу двигуна КамАЗ-740.

2



Завдання дослідження :

- 1) вивчити основні принципи та методи відновлювального зварювання і напilenня ;
- 2) проаналізувати можливі дефекти розподільного валу та визначити раціональний спосіб його відновлення ;
- 3) розробити технологічний процес відновлення зношених поверхонь розподільного валу комбінованим методом газозогняного напilenня з подальшим зміцненням пластичним деформуванням і провести технологічні розрахунки .

3

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1. Відновлення деталей автомобіля є важливим напрямом у забезпеченні надійності, безпеки та економічної ефективності експлуатації автотранспортних засобів .
2. Розподільний вал підлягає відновленню у разі наявності: згинання вала (в межах, придатних до виправлення); ризи, задири та зношення таких елементів: опорних шийок; впускних і випускних кулачків (за висотою); шийки під розподільну шестерню; шпонкового паза (за шириною); різьбової частини (у випадку спрацювання або зірваної різьби) .
3. Розподільний вал не підлягає ремонту у разі виявлення: сколів; тріщин; викришувань металу (особливо на кулачках та опорних шийках) .
4. У результаті проведеного аналітичного огляду літератури та інтернет джерел у кваліфікаційній роботі для відновлення деталей автомобілів було прийнято рішення використати надзвукове газозогняне напилення. Для подальшого пластичного деформування – ультразвукове пластичне деформування .
5. Зазначені два методи є сучасними, широко використовуваними способами модифікації та відновлення працездатності поверхонь деталей як за кордоном так і в Україні.

4

Маршрут відновлення розподільного валу

005. Токарна операція: полірування поверхні передньої, середньої та задньої опорних шийок.
010. Пресова операція: виправлення валу до виведення погнутості.
015. Токарна операція: виправлення центрових отворів.
020. Горизонтально-фрезерна операція: фрезерування шпонки на ремонтний розмір.
025. Слюсарна операція: зачистка задилок після фрезерування шпонкового паза.
030. Круглошліфувальна операція: шліфування поверхні шийки, з витриманням розмірів та шорсткості.
035. Круглошліфувальна операція: шліфування поверхні кулачка, з витриманням розмірів та шорсткості.
040. Газозогняне напилення: напилення шийки до потрібного розміру.
045. Газозогняне напилення: напилення покриття на зношену поверхню кулачка.
050. Круглошліфувальна (чорнова) операція: шліфування напиленої шийки з витриманням розмірів і шорсткості.
055. Круглошліфувальна (чорнова) операція: шліфування напиленого кулачка, з витриманням розмірів і шорсткості.
060. Круглошліфувальна (чистова) операція: шліфування напилених шийки і кулачка до розміру за робочим кресленням.
065. Круглошліфувальна (чистова) операція: шліфування напиленого кулачка, з витриманням розмірів і шорсткості.
070. Контрольна операція: вимірювання величини шийок та кулачків.

5

Розрахункова частина

Розрахунок товщини відновлюваного шару та витрати матеріалу

Номинальний діаметр шийки розподільного валу: $D_{\text{н}} = 50$ мм;
зношений діаметр (фактичний перед напиленням): $D_x = 49,2$ мм;
допуск на діаметр після обробки: $\pm 0,02$ мм;
кількість шийок, які потребують відновлення: $n = 4$;
коефіцієнт втрат при напиленні (втрати при розпиленні, пиловидалення тощо): $K_{\text{в}} = 1,3$;
густина порошку ППН-40X13:
 $\rho = 7,4$ г/см³.

Розрахунок товщини шару напилення:
 $\Delta = (D_{\text{н}} - D_x) / 2$;
 $\Delta = (50 - 49,2) / 2 = 0,4$ мм.
Розрахунок об'єму напилюваного матеріалу на одну шийку:
Об'єм циліндричного шару:
 $V_1 = \pi \times D_{\text{н}} \times \Delta \times l$;
(довжина шийки $l = 30$ мм)
 $V_1 = 3,14 \times 50 \times 0,4 \times 30 \approx 1,884$ см³.
З урахуванням 4 шийок:
 $V_4 = 1,884 \times 4 = 7,536$ см³.
Маса необхідного порошку (з урахуванням втрат):
 $m = V_4 \times \rho \times K_{\text{в}} =$
 $= 7,536 \times 7,4 \times 1,3 \approx 72,5$ г.

6

					КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Розрахункова частина

Розрахунок режимів різання та відновлення

Виправлення центрових отворів.

Свердло 2317-0117 Т5К10

ГОСТ 10903-77 .

Глибина різання:

$$t = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ мм.}$$

Подача: $s = 0,1$ мм/об;

стійкість інструмента для швидкорізальної сталі (Р6М5):

$T = 15$ хв.;

емпірична константа : $C_9 = 7$.

Швидкість різання (м/хв) :

$$v = \frac{C_9 \cdot D^q}{T^m \cdot s^y} \cdot K_{v\theta} \cdot K_{v\phi} \cdot K_{v\theta} = \frac{7 \cdot 5^{0,4}}{15^{0,2} \cdot 0,1^{0,7}} \cdot 1,25 \cdot 0,65 \cdot 1 = 31$$

Частота обертання шпинделя (об/хв) :

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 31}{3,14 \cdot 5} = 1937$$

Прийнята частота обертання шпинделя :

$n_{пр} = 1600$ об/хв.

Уточнена швидкість різання (об/хв) :

$$v_0 = \frac{n_{пр} \cdot \pi \cdot D}{1000} = \frac{1600 \cdot 3,14 \cdot 5}{1000} = 25,2$$

Крутий момент :

$$M_{сп} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_{сп} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 5^2 \cdot 0,1^{0,8} \cdot 0,846 = 1,1 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Осьова сила :

$$P_0 = 10 \cdot C_P \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_{сп} = 10 \cdot 68 \cdot 5^1 \cdot 0,1^{0,7} \cdot 0,846 = 573 \text{ Н.}$$

Необхідна потужність двигуна :

$$N_p = \frac{M_{сп} \cdot n_{пр}}{9750} = \frac{1,1 \cdot 573}{9750} = 0,064 \text{ кВт.}$$

7

Розрахункова частина

Розрахунок норм часу

030 Круглошліфувальна операція.

$$T_{шт} = T_0 + T_d + T_{го} + T_{п}$$

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

$$T_d = T_{в.з} + T_{з.в} + T_{кер} + T_{вим}$$

$$T_{оп} = T_0 + T_d$$

k – коефіцієнт, що враховує точність шліфування та зношення круга, $k = 1,7$

$P_{пр} = 9\%$ – відсоток Доданого часу

1. Основний час (хв.):

$$t_o = \frac{h \cdot k}{n_d \cdot t} \quad t_o = \frac{0,05 \cdot 1,7}{400 \cdot 0,001} = 0,21$$

Для обох шийок: $T_o = t_o \cdot 2 = 0,21 \cdot 2 = 0,42$

2. Допоміжний час.

на встановлення та зняття деталі $T_{в.з} = 0,3$ хв.

на перехід $T_{пер} = 0,42$ хв.

$T_d = 0,3 + 0,42 = 0,72$ хв.

3. Доданий час (хв.):

$$T_{пр} = (T_o + T_d) \cdot \frac{P_{пр}}{100} = (0,42 + 0,72) \cdot \frac{9}{100} = 0,10.$$

4. Штучний час (хв.):

$T_{ш} = T_o + T_d + T_{пр} = 0,42 + 0,72 + 0,10 = 1,24.$

5. Підготовчо-заклучний час (хв.): $T_{пз} = 0,9.$

6. Штучний час з урахуванням ПЗЧ:

$$T_{шм} = T_{ш} + \frac{T_{пз}}{m} = 1,24 + \frac{0,9}{2} = 1,69.$$

8

Розрахункова частина

Розроблення плану ділянки відновлення

Площа ділянки відновлення :

$$F_{ТР} = f_a \cdot x_3 \cdot k_{п}, \text{ м}^2$$

де $f_a = 6,7 \cdot 2,5 = 16,75 \text{ м}^2$ – площа, яку займає автомобіль у плані (за габаритними розмірами);

$x_3 = 3$ – число постів;

$k_{п}$ – коефіцієнт щільності розміщення постів

($k_{п} = 4$ – при двосторонньому розташуванні постів).

У механічну ділянку надходять деталі для відновлення, то $f_a = 4,5$

Тоді: $F_{ТР} = 4,5 \cdot 3 \cdot 4 = 54 \text{ м}^2.$

9

					КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88



Висновки

1. Проведено аналіз можливих дефектів розподільного валу та умов його відновлення.
2. У роботі подано критичний огляд технологій відновлення робочих поверхонь елементів розподільного валу. Та обґрунтовано вибір оптимального методу відновлення: застосування надзвукового газозогняного наплення і методу ультразвукового пластичного деформування.
3. Визначено та реалізовано такі етапи проектування технологічного процесу відновлення:
 - 1) діагностика та дефектація;
 - 2) вибір методу відновлення;
 - 3) технічні вимоги до відновленого валу;
 - 4) технологічний маршрут відновлення;
 - 5) вибір обладнання, інструментів, технологічного оснащення, призначення припусків, розрахунок режимів різання та норм часу, розроблення плану дільниці відновлення.
4. Розроблений проєкт технологічного процесу відновлення реалізується на прикладі розподільного валу двигуна КамАЗ-740.

10

					<i>КРБМТВАТАМ 25 20168. 000 ПЗ</i>	Арк.
						89
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		