



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

на тему *Застосування електроерозійного порошку швидкорізальної сталі при відновленні зношених деталей автомобілів*

Шифр: КРБМТВАТАМ 25.21152.000. ПЗ

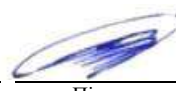
Галузь знань	<u>13 – Механічна інженерія</u> Шифр і назва галузі знань
Спеціальність	<u>132 – Матеріалознавство</u> Шифр і назва спеціальності
Рівень вищої освіти	<u>Перший бакалаврський</u> Рівень вищої освіти
Освітньо-професійна програма	<u>Відновлення та технічний сервіс автомобілів</u> Назва освітньої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

Виконав: студент 4 курсу, група МТВА-21-1  Микола КОВАЛЬЧУК
Курс, група виконавця Підпис Ім'я, прізвище

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

До захисту допускаю:

зав. кафедри ТАМ, д-р.техн.н., професор


Підпис

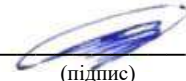
Олександр ДИХА
Ім'я, прізвище

6 червня 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства
Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 13 – Механічна інженерія
Спеціальність 132 – Матеріалознавство
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

Ковальчуку Миколі Степановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Застосування електроерозійного порошку швидкорізальної сталі при відновленні зношених деталей автомобілів»

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; матеріали переддипломної практики: технічні умови на технологію плазмово-порошкового наплавлення; річна програма ремонту деталей.

6. Зміст пояснювальної записки (перелік задач): провести аналіз предметної області, вивчити основи процесу плазмово-порошкового наплавлення: суть, мету, механізм процесу та основні технологічні параметри; порівняти особливості різних способів наплавлення: умови проведення, переваги та недоліки кожного способу; оцінити можливості застосування методу плазмово-порошкового наплавлення для відновлення та зміцнення робочих поверхонь колінчастого валу двигуна КамАЗ-740 з використанням порошкової швидкорізальної сталі; розробити технологію плазмово-порошкового наплавлення з додаванням твердосплавних порошків для колінчастих валів ДВЗ КамАЗ-740

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 – Плазмове напавлення: процес, недоліки і переваги</i>	<i>15.04.2025</i>	<i>виконано</i>
5	<i>Робота над розділом 3 – Застосування електроерозійного порошку швидкорізальної сталі для відновлення зношених деталей автомобілів</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 4 курсу, група МТВА-21-1

Курс, група виконавця



Підпис

Микола КОВАЛЬЧУК

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:

*Застосування електроерозійного порошку
швидкорізальної сталі при відновленні зношених
деталей автомобілів*

Виконавець кваліфікаційної роботи
бакалавра:

*студент групи МТВА-21-1
Ковальчук Микола Степанович*

Керівник кваліфікаційної роботи
бакалавра:

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

Кваліфікаційна робота бакалавра містить:



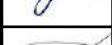

Пояснювальна записка				Кількість додатків
Сторінок	Рисунків	Таблиць	Джерел інформації	
55	23	3	32	1

Наведено результати дослідження плазмових покриттів колінчастого валу двигуна КамАЗ-740, отриманих з використанням електроерозійних матеріалів. Зазначено, що використання порошкових матеріалів, отриманих з відходів швидкорізальних сталей електроерозійним диспергуванням, для плазмово-порошкового наплавлення на противагу досить дороговартісним промисловим дозволить покращити якість плазмових покриттів з мінімумом витрат на порошкові матеріали.

Ключові слова: відходи швидкорізальних сталей, електроерозійне диспергування, порошкові матеріали, колінчастий вал, плазмово-порошкове наплавлення .

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Характеристика предметної області та постановка задачі.....	10
1.1 Аналіз предметної області	10
1.2 Сучасні способи наплавлення металів	16
1.3 Мета і задачі дослідження	19
2 Плазмове наплавлення: процес, недоліки і переваги	21
2.1 Суть та призначення процесу плазмового наплавлення.....	21
2.2 Переваги та недоліки плазмового наплавлення	23
2.3 Сучасне устаткування для плазмового наплавлення	26
2.4 Плазмове-порошкове наплавлення-напилення	31
Висновки до розділу 2	32
3 Застосування електроерозійного порошку швидкорізальної сталі для відновлення зношених деталей автомобілів.....	33
3.1 Матеріали і методики дослідження	33
3.2 Структура і властивості покриттів на основі сталі Р6М5, отриманих способом плазмового порошкового наплавлення.....	39
3.3 Підвищення якості ремонту та відновлення деталей транспортних систем	42
Висновки до розділу 3	48

					КРБМТВАТАМ 25.21152.000 ПЗ				
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Застосування електроерозійного порошку швидкорізальної сталі при відновленні зношених деталей автомобілів	Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.	Ковальчук							5	60
Перевір.	Драч								
Реценз.									
Н. Контр.	Бабак								
Затверд.	Диха					ХНУ група МТВА 21-1			

Висновки.....	49
Перелік посилань	52
Додаток.....	56

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

ВСТУП

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена дослідженню плазмових покриттів колінчастого валу двигуна КамАЗ-740, отриманих з використанням порошкових матеріалів, одержаних з відходів швидкорізальних сталей електроерозійним диспергуванням.

Актуальність.

Якісний капітальний ремонт агрегатів автомобілів має велике економічне значення. Основним чинником підвищення економічної ефективності капітального ремонту агрегатів автомобілів використання залишкового ресурсу деталей. Близько 75% деталей після розбирання агрегатів, що надійшли в капітальний ремонт, мають великий залишковий ресурс і можуть бути використані повторно без відновлення або після відновлення з витратами, що не перевищують 40...60% вартості нових деталей [1]. Все це повною мірою відноситься до колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Колінчастий вал – одна з основних деталей кривошипно-шатунного механізму, що разом з іншими деталями визначає ресурс роботи двигуна внутрішнього згоряння. Термін служби колінчастого валу залежить від умов його роботи та зношення.

Один з основних і добре опрацьованих способів відновлення деталей, у тому числі колінчастого валу, – це відновлення до наступного ремонтного розміру методом зняття металу. Для колінчастого валу є свої ремонтні розміри, до межі яких може проводитися механічна обробка [2].

Відновлення деталей за рахунок зняття металу з їх поверхонь здійснюється механічною обробкою. При досягненні межі, при якій шліфування неможливе, а також при появі на валу тріщин вал може бути відновлений за допомогою наплавлення шару металу. Цей спосіб досить дороговартісний – через спеціальні установки та матеріали, необхідні для наплавлення. Крім того, для його застосування необхідні спеціальні навички.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Способів наплавлення є декілька, і кожен має свої переваги та недоліки.

В даний час наплавлення здійснюють електродуговими методами або з використанням висококонцентрованих джерел енергії.

В результаті застосування електродугових способів, якість напавленої деталі не завжди є високою і стабільною, що пояснюється великою глибиною проплавлення і перемішуванням основного і металів, що наплавляються в зоні сплавлення [3].

У зв'язку з цим все більшого застосування знаходять методи наплавлення за допомогою висококонцентрованих джерел енергії. Це електронно-променевий, лазерний та плазмовий способи наплавлення, що сприяють отриманню мінімальної глибини проплавлення основного металу та малої ширини зони термічного впливу [2 – 4].

При використанні електронно-променевого способу наплавлення виникає необхідність створення вакууму, що утруднює застосування цього методу при відновленні і зміцненні поверхонь габаритних деталей і при роботі в польових умовах [2, 3].

При лазерному напавленні у зв'язку з надзвичайно високою швидкістю кристалізації розплаву, незважаючи на дисперсність кристалічної структури, велика ймовірність утворення кристалізаційних (гарячих) тріщин. Особливо схильні до гарячих тріщин при лазерній обробці високовуглецеві, леговані інструментальні сталі, що обмежує застосування цього способу при нанесенні покриттів на основі сталі Р6М5 [5].

У зв'язку з наявністю зазначених недоліків електронно-променевого та лазерного наплавлення широке застосування знаходить плазмовий спосіб, можливості якого не обмежені формою та розмірами оброблюваного виробу.

Для економії металу, зниження витрат на механічну обробку деталей, що наплавляються, а також отримання необхідного структурно-фазового стану при плазмовому напавленні використовують різні порошкові матеріали, серед яких поширені порошки сталі Р6М5 [6].

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Відповідно до досліджень [7] розмір зерна швидкорізальної сталі, наплавленої плазмово-порошковим методом на 20% менше, ніж розмір зерна литої швидкорізальної сталі, а рівень твердості наплавленого металу на 10...20% перевищує рівень твердості сталі Р6М5 після відпалу.

Перераховані переваги такого наплавного матеріалу роблять його застосування актуальним.

Метою цієї роботи є оцінювання можливості застосування електроерозійного порошку швидкорізальної сталі для відновлення зношених деталей автомобільних двигунів плазмово-порошковим наплавленням.

Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання дослідження:

- вивчити основні принципи та методи відновлювального наплавлення;
- порівняти особливості різних методів наплавлення: визначити переваги та недоліки кожного методу;
- оцінити можливості застосування методу плазмово-порошкового наплавлення для відновлення та зміцнення робочих поверхонь колінчастого валу двигуна КамАЗ-740 з використанням порошкової швидкорізальної сталі;
- розробити технологію плазмово-порошкового наплавлення з додаванням твердосплавних порошоків для колінчастих валів ДВЗ КамАЗ-740.

Об'єкт дослідження – процеси плазмово-порошкового відновлювального наплавлення.

Предмет дослідження – методи випробувань і досліджень мікротвердості зразків по поверхні та шліфу, коефіцієнта тертя та швидкості зношення поверхні.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз предметної області

Багато підприємств через високу вартість і дефіцит запасних частин широко застосовують відновлені деталі [1, 3].

Залежно від потреби у запасних частинах та технічної оснащеності підприємства роботи з відновлення деталей можуть виконуватися різними способами як власними силами, так і в ремонтних організаціях.

Наплавлення – найбільш доступний та поширений спосіб відновлення деталей. Процес відновлення деталі складається з наплавлення, відпалу та механічної обробки її на номінальний розмір [8].

Наплавлення дозволяє наростити на зношеній поверхні достатній шар металу, що має не меншу міцність, ніж метал відновлюваної деталі. Наплавлення може проводитися на циліндричних, плоских та фасонних поверхнях. Зносостійкість наплавленого шару може бути вищою за зносостійкість металу деталі, якщо електроди або присадні прутки виготовлені з твердих сплавів. Значна товщина шару, що наплавляється досягається багат шаровим наплавленням [9].

Недолік наплавлення – жолоблення деталей через напруги, що виникають внаслідок місцевого нагрівання деталі. Для усунення жолоблення проводять [9]:

- 1) підігрів деталі, що наплавляється, до температури 100 – 400°C;
- 2) накладання зварювальних валиків зворотноступінчастим швом на циліндричній деталі або врозкид невеликими ділянками на плоскій деталі;
- 3) термообробку після наплавлення.

Метод відновлення деталей наплавленням застосовується для сталевих, чавунних, бронзових, свинцевих деталей, а також для бабітових вкладишів

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
						10
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

підшипників ковзання. Наплавлення деталей із кольорових металів становить великі труднощі, оскільки ці метали інтенсивно окислюються. Однак при використанні захисного середовища (флюси, інертні гази) можливе наплавлення деталей із кольорових металів. Наприклад, алюмінієві деталі наплавляють електродуговим способом і газовим зварюванням при використанні в якості присадкового матеріалу стрижнів того ж складу, що і метал деталі, що наплавляється. Алюмінієві поршні компресорів наплавляють алюмінієм із застосуванням ручного аргонодугового зварювання [8].

Для запобігання утворенню тріщин у наплавленому шарі здійснюється підігрів деталі за допомогою газового пальника до температури 250 – 280°C. Для попередження утворення пор порошок дріт перед наплавленням прожарюється 1,5 – 2 години при температурі 200 – 250 °C [9].

Наплавлення тіл обертання проводиться окремими валиками вздовж твірної або круговими валиками. Для зменшення жолоблення деталі валики, що наплавляються, накладаються послідовно на діаметрально протилежних сторонах деталі. При автоматичному методі наплавлення ведеться по гвинтовій лінії з перекриттям наступним валиком попереднього на 1/2-1/3 його ширини [9].

Основні способи наплавлення: ручне дугове, під шаром флюсу, порошковими дротами, вібродугове, плазмове, лазерне, в середовищі захисних газів [9].

Наплавлення під шаром флюсу здійснюється сталевим дротом під плавленим флюсом, сталевим дротом під керамічним флюсом, порошковим дротом під плавленим флюсом, багатоелектродним дротом або стрічковим електродом.

При наплавленні під шаром флюсу електрична дуга утворюється в замкнутому просторі, що утворюється металом та флюсом.

Захист шва від окиснення дозволяє усунути вигорання легованих елементів. Розплавлений метал під шаром флюсу залишається тривалий час у

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

рідкому стані. Це сприяє виділенню газів та видаленню шлаку з розплаву. Метал, що наплавляється під флюсом, виходить більш однорідним і щільним, з низьким вмістом кисню. Цей вид наплавлення застосовується для деталей діаметром більше 50 мм, що отримують при експлуатації велике зношування. Товщина шару металу, що наплавляється, є практично необмеженою.

Плавлені флюси є силікатами складного складу і виходять сплавленням компонентів шихти в печах.

Легування шару, що наплавляється, можливе за рахунок використання легованого електродного дроту або легованого флюсу або одночасно легованих дроту і флюсу. Висока вартість легованого електродного дроту змушує використовувати легуючі керамічні флюси в парі з вуглецевим наплавочним дротом.

Керамічні флюси є сумішшю подрібнених легуючих, розкислювальних, модифікуючих та шлакоутворюючих компонентів, що зцементовані розчином рідкого скла. До складу керамічних флюсів можуть входити будь-які речовини незалежно від їхньої взаємної розчинності. Наплавлений метал легується за рахунок переходу легуючих речовин із флюсу у ванну розплавленого металу.

Стрічкові електроди виготовляють із сталеві стрічки (X18H10T, 65Г, 1X13 і т. д.) товщиною 0,4 – 1,0 мм та шириною 20 – 100 мм. Порошкова стрічка складається з двох сталевих стрічок (одна з яких виконана гофрованою з окремими осередками, а друга – плоскою) і шихти, котра заповнює осередки [7].

Наплавлення тонкостінних втулок утруднена тим, що після першого валика основний метал нагрівається до високої температури, в результаті чого метал і шлак, що наплавляється, повільно застигають. Наплавлення таких деталей проводиться з інтенсивним охолодженням повітрям або проточною водою.

Циліндричні деталі наплавляються на переобладнаних токарних верстатах, спеціальних маніпуляторах чи пристроях. На цих же пристроях наплавляються конічні деталі при використанні пристосувань для нахилу деталі

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

під таким кутом, щоб твірна конуса розташовувалась горизонтально або під кутом до горизонту не більше 20° [10].

Наплавлення шийок роторів для відновлення розмірів та часткового зміцнення поверхні здійснюється самозахисним порошковим дротом на постійному струмі [1].

Отвори та шпонкові канавки перед наплавленням заглушуються за допомогою мідних, азбестових або графітових вставок, а також пластичних мастил. Наприклад, при наплавленні порошковим дротом шийок колінчастого валу мастильні отвори шийок заглушуються графітною пастою (85% графіту та 15% рідкого скла) [3].

Зношування шнеків відбувається в основному по зовнішньому діаметру витків шнека. При ремонті шнеки проточуються по зовнішньому діаметру, по гребеню шнека здійснюється наплавлення твердого сплаву або приварювання металевого прутка зі сталі відповідної марки і наступне проточування до необхідного діаметру [1].

Наплавлення зовнішньої поверхні втулок і кілець проводиться з використанням двох центруючих дисків, що дозволяють встановлювати деталі, що наплавляються, по осі наплавної установки. При одночасному наплавленні кількох кілець між ними встановлюються азбестові прокладки для того, щоб кільця не зварювалися між собою [1].

При наплавленні циліндричних деталей для того, щоб розплавлений метал не стікав з поверхні деталі, електродний дріт розташовується з деяким ексцентриситетом від вертикальної осі в бік, протилежний напрямку обертання. Розмір ексцентриситету залежить від діаметра деталі [10].

Для захисту розплавленого металу від окиснення при наплавленні використовуються флюси. Деякі флюси, що мають хімічну дію, утворюють з окислами металів легкоплавкі сполуки меншої щільності, ніж розплавлений метал, і за рахунок цього спливають на поверхню у вигляді шлаку. До цієї групи

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
						13
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

флюсів належать такі склади: 1) бура – 50%, борна кислота – 50%; 2) бура – 50%, двовуглекислий натрій – 47%, кремнезем – 3%; 3) бура – 100% [11].

Деякі флюси, що мають фізичну дію, розчиняють оксиди металів і також спливають на поверхню у вигляді шлаку. До цієї групи флюсів належать такі склади: 1) хлористий натрій – 45%, хлористий калій – 30%, хлористий літій – 10%, фтористий калій – 15%; 2) хлористий натрій – 41%, хлористий калій – 51%, фтористий натрій – 8% [12].

Для наплавлення деталей із мало- та середньовуглецевих сталей застосовується зварювальний дріт марок Св-08 (0,08% вуглецю), Св-08А, Св-08Г. Для наплавлення деталей з якісних легованих сталей застосовується зварювальний дріт, що містить легуючі добавки [9].

Наплавлення порошкоподібних сумішей здійснюється постійним або змінним струмом за допомогою вугільних або графітових електродів.

Перед наплавленням суміш насипають на поверхню деталі шаром 3 – 5 мм. На циліндричну поверхню наносять її як пасту, приготовлену на водному розчині рідкого скла. Порошкоподібні суміші використовуються також як заповнювачі трубчастих електродів і як обмазка стрижневих електродів [9].

Стрижневі електроди для наплавлення твердих сплавів на зношені деталі зазвичай виготовляються із зварювального дроту марки Св-08А. Легуючі елементи вводяться до складу обмазки [9].

Найбільшого поширення набули такі стрижневі електроди [9]:

– електроди Т-500. До складу обмазки входять (за масою): ферохром – 90%; карбід бору – 5%; графіт сріблястий – 5%; рідке скло – 28-30% до загальної маси сухих компонентів. Застосовуються для наплавлення чавунних та сталевих деталей, що працюють в умовах абразивного зношування без ударного навантаження (шнеки, лопаті мішалок тощо);

– електроди Т-600. Склад обмазки (за масою): ферохром – 75%; феротитан – 15%; графіт сріблястий – 5%; карбід – 5%; рідке скло – 28-30% до загальної маси сухих компонентів. Рекомендуються для наплавлення сталевих

					КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

та чавунних деталей, що працюють в умовах абразивного зношування та помірних ударних навантажень.

– електроди Т-540. Склад обмазки (за масою): ферохром – 40%; феротитан – 45%; графіт сріблястий – 5%; крейда технічна – 10%; рідке скло – 28-30% до загальної маси компонентів. Використовуються для наплавлення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування та ударного навантаження.

Наплавлений шар має велику хвилястість (чергування виступів і западин, утворених наплавленими валиками). Через хвилястість припуск на шліфування виявляється великим, що потребує підвищеної витрати дефіцитних шліфувальних кругів. Для зменшення трудомісткості обробки зносостійких наплавок може застосовуватися наплавлення з одночасним фрезеруванням та пластичним деформуванням накатним роликком гарячого металу. Вздовж деталі наплавна головка, фреза та ролик переміщаються з однаковою швидкістю. Наплавлений метал при обертанні деталі обжимається накатним роликком і фрезерується торцевою фрезою. Така обробка зменшує припуск на шліфування та виключає подальшу термічну обробку. Литі сплави наплавляють ацетилено-кисневим полум'ям або зварювальною дугою вольфрамовим електродом серед аргону [9].

Для попередження дефектів при ручному електродуговому наплавленні здійснюється підігрів деталі у спеціальних електричних печах до температури 700-800 °С. При дуговому наплавленні електродами через велике проплавлення основного металу задані властивості і склад сплаву досягаються тільки в третьому та наступних шарах. Наплавлення ацетилено-кисневим полум'ям твердих сплавів унеможлиблює розведення наплавленого металу основним. Плазмове наплавлення також дає менше проплавлення основного металу, ніж дугове. Наплавлення проводиться не менше ніж у три шари. Щоб уникнути великого перемішування твердого сплаву зі сталлю деталі, перший шар наплавляється при зниженій силі струму. Наплавлення виконують на

					КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

постійному струмі оберненої полярності. Після закінчення наплавлення деталь поміщають у піч для здійснення відпалу при температурі 850°З подальшим повільним охолодженням [9].

Крім ручного широкого поширення набули способи механізованого та автоматичного наплавлення. Автоматичне наплавлення є безперервним процесом, що вимагає застосування верстатів або спеціальних пристроїв. Наприклад, наплавлення тіл обертання проводиться на токарному верстаті, в шпинделі якого встановлюється деталь, що наплавляється, а на супорті верстата кріпиться пристрій для автоматичної подачі електродного дроту [8].

Дефекти наплавлення проявляються в пористості наплавленого шару в результаті виділення газів з рідкого металу при кристалізації ванни. Газу утворюються за наявності у зоні дуги вологи, повітря, олії, іржі. Зменшення пористості досягається зниженням швидкості наплавлення, підвищенням температури деталі (тобто збільшенням сили струму), використанням постійного струму оберненої полярності, застосуванням розкислювачів (Ti, Al, Si, Mn). Тріщини можуть утворюватися при кристалізації металу, тобто при температурі 1000-1500 ° С (гарячі тріщини) та при охолодженні деталі до 200 ° С і нижче (холодні тріщини). Причиною утворення гарячих тріщин є великий вміст у наплавленому металі сірки, а зниження шкідливого впливу сірки досягається введенням марганцю [13].

1.2 Сучасні способи наплавлення металів

Наплавлення є найпоширенішим способом відновлення деталей на судноремонтних та машинобудівних підприємствах. Її широке застосування пояснюється високими техніко-економічними показниками. Наплавленням можна наростити шар практично будь-якої товщини, різного хімічного складу та фізико-механічних властивостей. Можливості наплавлення ще більше розширюються із застосуванням різних методів зміцнення.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
						16
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Основними різновидами способу наплавлення, що знайшли широке застосування у практиці відновлення деталей. є: електродугове, електроконтактне, вібродугове, газове, плазмове та лазерне [13].

Електродугове наплавлення включає види: під шаром флюсу, в середовищі захисних газів і відкритою дугою. Наплавлення під шаром флюсу рекомендується для відновлення деталей із значним зносом. Вона забезпечує стабільну якість наплавленого металу та високу продуктивність [8].

Наплавлення в середовищі захисних газів, в основному вуглекислого газу (CO₂), застосовується для відновлення різних деталей і має ряд переваг. Основними з них є простота, можливість наплавляти шар металу невеликої товщини, хороша видимість зони горіння дуги та ін. Як матеріал широко використовуються електродний дріт і стрічка. Для отримання зносостійких поверхонь застосовують порошковий дріт. Основним недоліком наплавлення у вуглекислому газі є значне розбризкування металу [13].

Наплавлення відкритою дугою має такі переваги перед способами наплавлення під шаром флюсу та в середовищі захисного газу в тому, що відпадає необхідність у спеціальному захисті зварювальної ванни. Це забезпечується застосуванням спеціальних матеріалів, наприклад порошкового дроту, до складу якого входять захисні газо- та шлакоутворювальні речовини [13].

Електроконтактне наплавлення полягає в спільному деформуванні металу, що наплавляється, і поверхневого шару деталі, нагрітих в місці деформації до пластичного стану короткими імпульсами струму. Має перед електродуговим наплавленням ряд переваг: підвищення продуктивності праці, меншу зону термічного впливу, сприятливі умови праці, низьку енергоємність, зменшення витрати металу внаслідок меншого припуску на механічну обробку. В якості матеріалу, що наплавляється, можуть використовуватися дріт, стрічка, порошки [9].

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вібродугове наплавлення засноване на використанні теплоти короткочасної дуги, що виникає в момент розриву ланцюга між вібруючим з постійною частотою і амплітудою електродом і поверхнею, що наплавляється. У порівнянні з електродуговим воно має меншу зону термічного впливу і значення деформацій, дозволяє отримувати тонкі шари металу, що наплавляється (0,5 – 1,0 мм) [13].

Газове наплавлення проводять шляхом розплавлення пруткового або порошкового наплавного матеріалу в газокисневому полум'ї пальника. При відновленні і зміцненні деталей широкого застосування набуває газове наплавлення твердих порошкоподібних матеріалів, що самофлюсуються. Перевагою цього способу відновлення є можливість отримання гладких рівномірних по товщині шарів металу, що наплавляється з мінімальним припуском на обробку [13].

Лазерне наплавлення деталей здійснюють за допомогою світлового лазерного променя, що випромінюється оптичним квантовим генератором. Завдяки вузькій спрямованості лазерного променя та високій щільності енергії в зоні його впливу на матеріал можна наплавляти практично будь-які матеріали. Найбільш простим є наплавлення порошкових матеріалів. Сутність цього процесу полягає в нанесенні порошкової суміші на зношену поверхню деталі і в подальшій обробці її потужним випромінюванням (лазером). Локальне фокусування випромінювання дозволяє проводити наплавлення важкодоступних місць. При цьому вихідна структура майже не змінюється і в такий спосіб вдається досягти високої зносостійкості та межі втоми. Локальність і швидкість наплавлення є істотною перевагою методу, оскільки виключає розігрів деталі та спотворення її форми. Низька енергоємність, висока продуктивність і незначні втрати матеріалу, що наплавляється роблять лазерне наплавлення перспективним способом відновлення зношених деталей [13].

Плазмове наплавлення. При такому методі як джерело теплоти використовують струмінь плазми, що є сильно іонізованим газом з

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
						18
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

температурою до 15000-20000 градусів за Цельсієм. Плазма утворюється шляхом вдування в електричну дугу плазмоутворюючого газу і обтискання його струменя водоохолоджуваним соплом. Може використовуватися інший потік газу, що оточує струмінь плазми для захисту шару, який наплавляється від впливу атмосфери. Як присадковий матеріал використовують дріт або металевий порошок. Останній знайшов широке застосування, сприяючи значному підвищенню зносостійкості та збільшенню терміну служби відновлених деталей [13].

1.3 Мета і задачі дослідження

Одним з найбільш перспективних способів наплавлення є плазмово-порошкове наплавлення (ППН), яке має такі переваги:

- висока якість металу, що наплавляється;
- мала глибина проплавлення основного металу за високої міцності зчеплення;
- можливість наплавлення тонких шарів.

За результатами досліджень [7] розмір зерна швидкорізальної сталі, напавленої плазмово-порошковим методом на 20% менше, ніж розмір зерна литої швидкорізальної сталі, а рівень твердості напавленого металу на 10 ... 20% перевищує рівень твердості сталі Р6М5 після відпалу.

Перелічені переваги такого напавного матеріалу роблять його застосування актуальним.

Відомо [13], що зміна швидкості охолодження в інтервалі кристалізації розплаву швидкорізальної сталі може значно впливати на розміри зерен і товщину сітки карбідів сталі і, як наслідок, властивості напавленого металу.

Ця обставина має особливе значення при виборі режиму напавлення плазми, оскільки плазмова дуга дозволяє в широких межах регулювати енергетичні характеристики нагріву.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
						19
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Метою цієї роботи є оцінювання можливості застосування електроерозійного порошку швидкорізальної сталі для відновлення зношених деталей автомобільних двигунів плазмово-порошковим наплавленням.

Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання дослідження:

– вивчити основні принципи та методи відновлювального наплавлення;
– порівняти особливості різних методів наплавлення: визначити переваги та недоліки кожного методу;

– оцінити можливості застосування методу плазмово-порошкового наплавлення для відновлення та зміцнення робочих поверхонь колінчастого валу двигуна КамАЗ-740 з використанням порошкової швидкорізальної сталі;

– розробити технологію плазмово-порошкового наплавлення з додаванням тврдосплавних порошків для колінчастих валів ДВЗ КамАЗ-740.

Результатом роботи є обґрунтовані рекомендації щодо застосування електроерозійного порошку швидкорізальної сталі для відновлення зношених деталей автомобілів плазмово-порошковим наплавленням.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2 ПЛАЗМОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ: ПРОЦЕС, НЕДОЛІКИ І ПЕРЕВАГИ

2.1 Суть та призначення процесу плазмового наплавлення

Наплавлення як процес призначене для відновлення зношених поверхонь, наприклад, шийок колінчастого валу, елементів ковша екскаватора, схильних до зносу при контакті із землею, штоків циліндра, валів прокатного стану тощо [1].

Також наплавлення може застосовуватися для надання поверхням деталей, що працюють у певних середовищах, певних властивостей.

Технологія наплавлення дозволяє суттєво економити, відновлюючи зношені частини виробів із необхідними параметрами твердості поверхневого шару замість дороговартісного випуску нових виробів.

Існує багато методів і технологій наплавлення, кожен з них знаходить своє застосування.

Загальний принцип формування плазмової дуги описаний у статті [13].

Плазмове наплавлення може виконуватися з дротом та порошком.

Схема плазмового наплавлення з дротом по суті – це схема плазмового зварювання з подачею дроту, тільки енергія дуги витрачається на розплавлення дроту і частково підігрів і плавлення верхнього шару деталі, на яку проводиться наплавлення.

Схема плазмового наплавлення з порошком трохи відрізняється. В ній теж вольфрамовий електрод, плазмове і зовнішнє сопло, але сопло має отвори для виходу порошку. Порошок подається зі спеціального накопичувача (порошкового живильника) каналами для подачі порошку в пальник, каналами пальника він рухається і виходить через отвори в плазмовому соплі та потрапляє в зону горіння дуги, розплавляється і переноситься на деталь, що наплавляється.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Порошок каналами пересувається завдяки так званому транспортному газу – аргону, який подається під невеликим тиском і з невеликою витратою в живильник.

Основна відмінність процесу з порошком від наплавлення дротом – порошок може мати різні фракції, його подавати можна в дуже невеликій кількості, досягаючи малої товщини шару, що наплавляється, тобто наплавлення може бути набагато акуратнішою, ніж дротом, може володіти таким складом, що після наплавлення поверхня може мати твердість до 65 HRC.

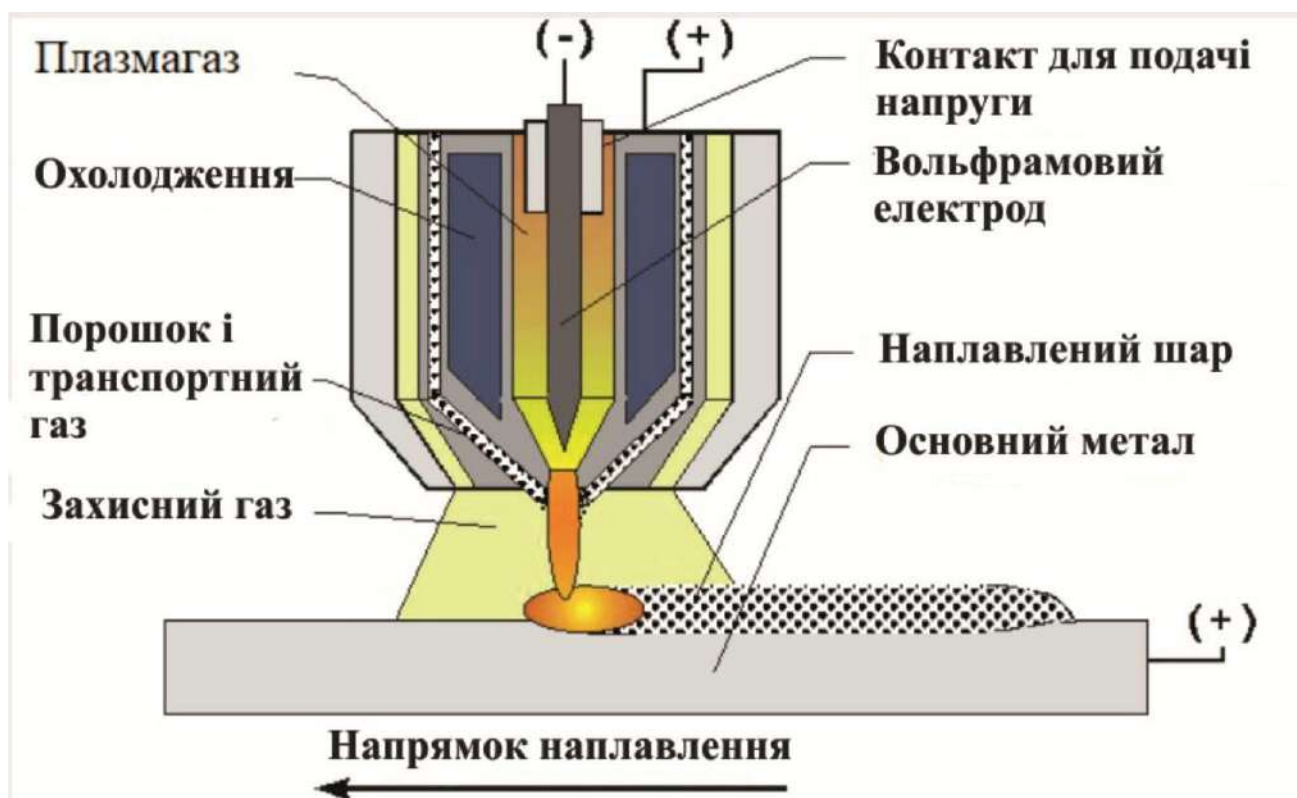


Рисунок 2.1 – Схема процесу плазмового наплавлення порошком

Наплавлювальні матеріали [9].

1. Плазма + дріт:

					КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- неіржавіючі сталі;
- низьковуглецеві сталі;
- титан;
- бронза, латунь;
- алюмінієві сплави (для джерела РМІ-350АС/DC).

2. Плазма + порошок [9]:

– порошкові матеріали з широким діапазоном фракцій та властивостями наплавленого шару, наприклад, порошки на основі нікелю або карбиду вольфраму.

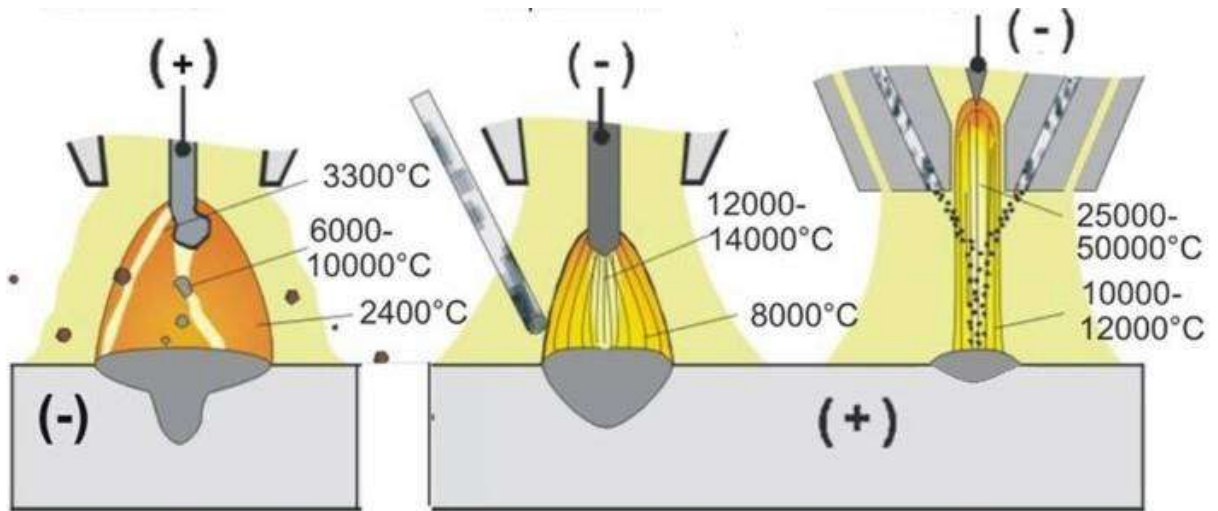
2.2 Переваги та недоліки плазмового наплавлення

Переваги плазмового наплавлення [13]:

- висока щільність енергії, вузька дуга, що дозволяє наплавляти максимально акуратно;
- висока швидкість подачі порошку 0,18 до 24 кг/год. (є живильники з подачею до 60 кг/год.);
- однорідне покриття, відсутність пор;
- мінімальний припуск на подальшу обробку (за потреби);
- незначне нагрівання основного матеріалу, у зв'язку з цим мале жолоблення після наплавлення;
- гарна повторюваність;
- забезпечення можливості 100% автоматизації;
- висока надійність запалювання дуги завдяки допоміжній дузі;
- невибагливість та простота процесу;
- відсутність проблем, властивих МІГ ((Metal Inert Gas) зварювання металу в середовищі інертного газу (частіше вуглекислота або суміші) [14 – 18]) та ТІГ ((Tungsten Inert Gas) [19 – 22] зварювання вольфрамовим електродом в

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

інертному газі) процесам – магнітне дуття, перегрів металу, невисока якість, мала продуктивність (рис. 2.2).



Утворення бризів, пор, великі витрати матеріалів, великий перегрів деталі, жолоблення

Широка дуга, пошкодження електрода під час наплавлення, нестабільність підпалу, жолоблення, низка продуктивність

Вузька дуга, що підвищує якість наплавлення, економія матеріалу, справний електрод, висока якість, велика продуктивність наплавлення, контрольованість проникнення в основний метал (рис.2.3)

а)

б)

в)

Рисунок 2.2 – Порівняння особливостей процесів МІГ, ТІГ та плазмового наплавлення:

- а) наплавлення зварювальним напівавтоматом МІГ (дротом);
- б) наплавлення аргонодугове ТІГ з дротом;
- в) наплавлення плазмове з порошком або дротом

Приклад виконання плазмово-порошкового наплавлення показано на рисунку 2.4. Наплавлена деталь – торець валу, на який методом плазмово-порошкового наплавлення нанесено зносостійкий шар.



Рисунок 2.3. Процес плазмового наплавлення



Рисунок 2.4 – Поверхня деталі з кільцевою геометрією, яка має характерний рельєф від плазмово-порошкового наплавлення металу

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

2.3 Сучасне устаткування для плазмового наплавлення

Компанія SBI (Австрія) [23] виробляє різні типи обладнання для плазмового наплавлення, від простих комплектів для ручного наплавлення до автоматичних наплавних комплексів:

1. Устаткування для ручного плазмового наплавлення (рис. 2.5, 2.6) – серія апаратів PMI-350 DC – 500 DC – 350 AC/DC



Рисунок 2.5 – Комплект обладнання для ручного наплавлення: апарат, порошковий живильник, плазмовий пальник [23]



Рисунок 2.6 – Використання комплекту обладнання для ручного наплавлення [23]

					КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Процеси наплавлення: плазмове наплавлення з подачею порошку або дроту, ТІГ наплавлення з подачею дроту.

Апарат універсальний, може також:

- здійснювати зварювання,
- підключатися до роботи або автоматизованої установки,
- вбудовуватись у автоматизовану лінію.

Характеристики:

- стабільна плазмове дуга;
- вбудована пам'ять – до 999 програм;
- рідкокристалічний сенсорний дисплей;
- зручне обслуговування;
- вбудована установка охолодження;
- великий термін служби.

2. Автоматичні установки для наплавлення [23].

Компанія SBI виробляє установки для наплавлення будь-якого компонування (рис.2.7, 2.8): колонного, порталного типу, так і спеціального типу за технічним завданням замовника.



Рисунок 2.7 – Установка автоматична UCD-400 [23]

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



Рисунок 2.8 – Використання установки UCD-400 [23]

Установка автоматична UCD-400 призначена для порошкового наплавлення або наплавлення з подачею дроту присадки плоских і просторових поверхонь різних виробів:

- робочих поверхонь запірної арматури,
- клапанів (суднових, автомобільних, клапанів електростанцій тощо),
- штампів, прес-форм, ливарних форм,
- зношених частин обладнання для гірничої промисловості та бурильного обладнання, наприклад, наплавлення бурових доліт, бурових лап,
- клинів та робочих поясів тощо.

Принцип дії: Оператор установки завантажує деталь вручну або за допомогою механізмів, далі процес наплавлення відбувається за програмою автоматичного режиму.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Стандартна UCD-400 наплавляє деталі з діаметром або максимальним габаритом по діагоналі – 400 мм, вага деталі з оснащенням – до 50 кг.

UCD-400 у стандартному компонуванні має шафу управління з вбудованим зварювальним обладнанням, пульт управління, плазмовий пальник, 3 осі переміщення пальника, механізм його нахилу, поворотний позиціонер з нахилом, захисні шторки.

3 Установка універсальна CWD 1000-3000 [23] (рис. 2.9, 2.10).

Застосовується для порошкового плазмового наплавлення та наплавлення дротом тіл обертання. Стандартні довжини 1-3 метри, діаметри та вага заготовки – за бажанням замовника.

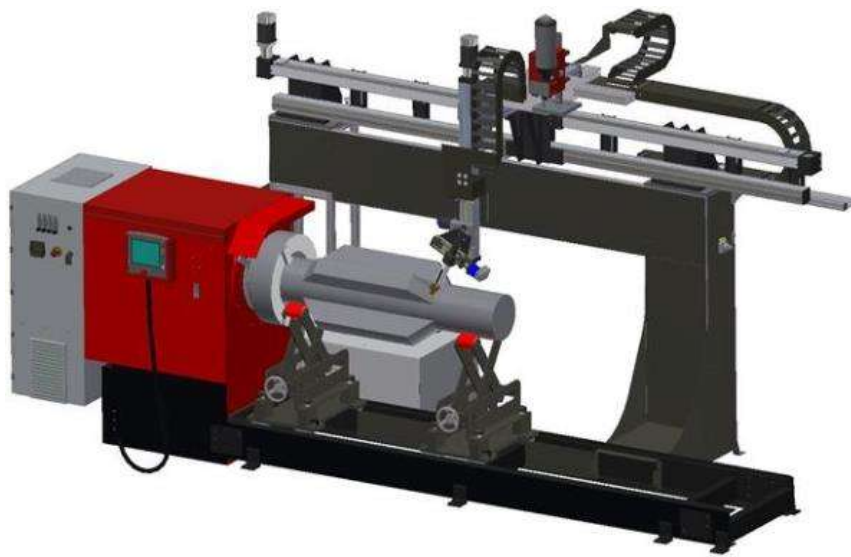


Рисунок 2.9 – Установка універсальна CWD 1000-3000 [23]



Рисунок 2.10 – Застосування установки універсальна CWD 1000-3000 [23]

					КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

4. Установка для наплавлення бурових труб [23] (рис.2.11). Виконуються індивідуально, згідно з завданням замовника.

Загальний опис:

- програмована установка з CNC керуванням;
- види наплавлення: плазма, ТПГ;
- присадка: порошок або дріт;
- довжина випущених установок: до 12 м може бути більше;
- діаметри та маса – відповідно до технічного завдання замовника.

Застосування для порошкової плазмового наплавлення на лопаті калібраторів та для наплавлення на замки бурильної труби та подібні тіла обертання.

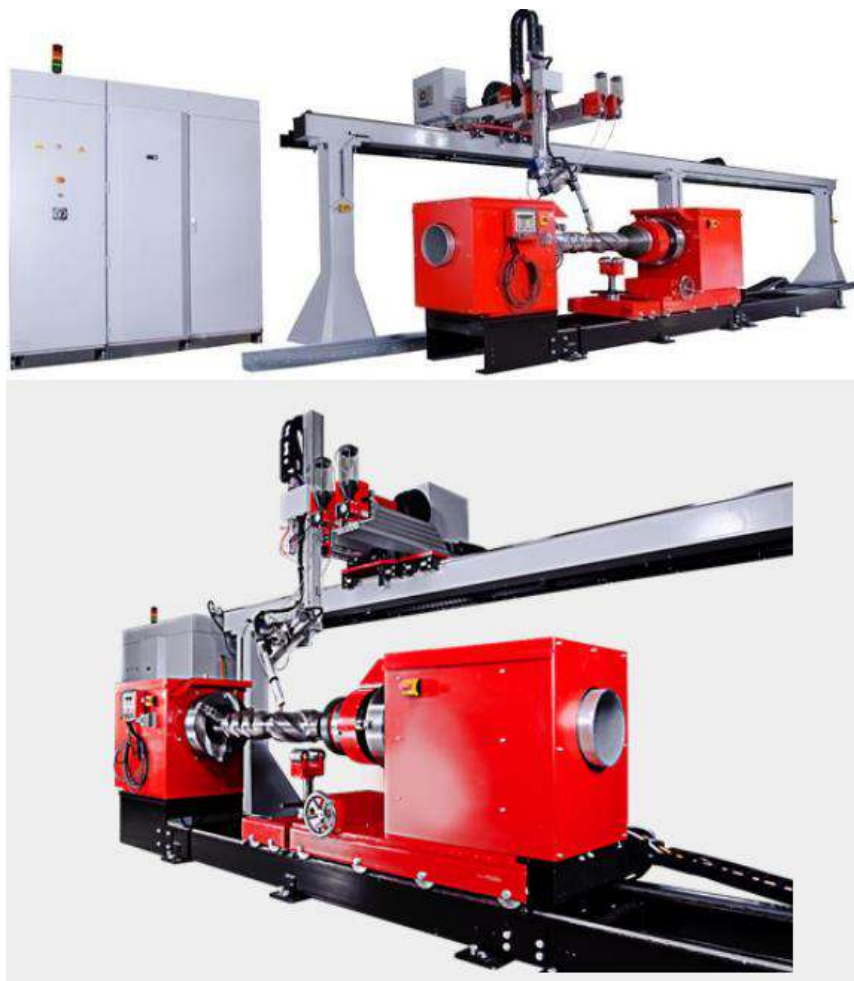


Рисунок 2.11 – Установка для наплавлення бурових труб [23]

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.4 Плазмово-порошкове наплавлення-напилення

При плазмово-порошковому наплавленні застосовується як процес, що використовує одну дугу прямої дії, так і дводуговий РТА процес (plasma transferred arc), де діє одночасно дуга прямої дії, що горить між електродом і виробом, і дуга непрямої дії, що горить між електродом і плазмоутворювальним соплом (рис. 2.12). У зв'язку з тим, що традиційно процес нанесення покриттів з використанням непрямої дуги називається плазмовим напиленням, а із застосуванням дуги прямої дії – плазмовим наплавленням, процес РТА отримав назву плазмове наплавлення-напилення [24].

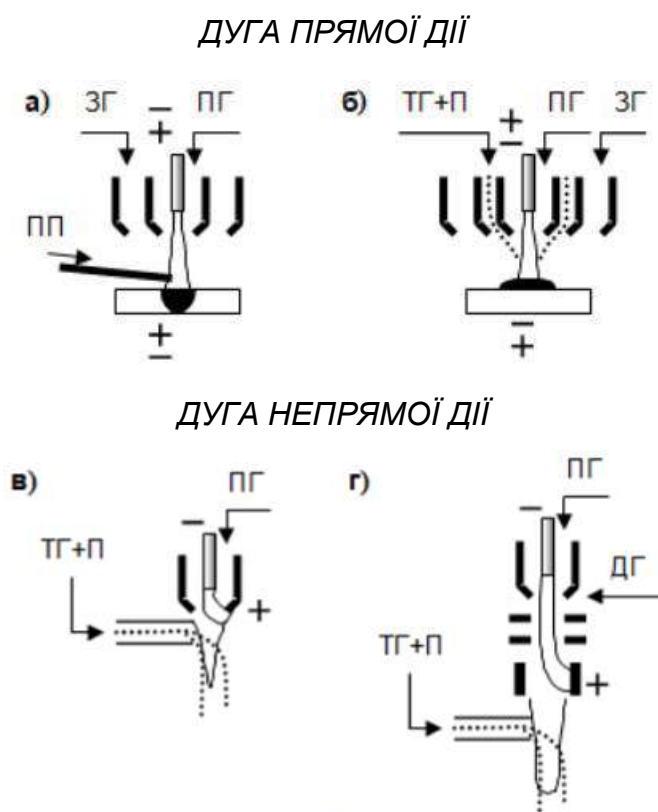


Рисунок 2.12 – Схеми плазмотронів для зварювання (а), наплавлення (а, б), напилення (в, г), фінішного плазмового зміцнення (г), загартування (а – без ПП):

ПГ – плазмоутворювальний газ, ЗГ – захисний газ, ТГ – транспортувальний газ, ДГ – фокусувальний газ; П – порошок або реагенти для зміцнення

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Процес плазмового наплавлення-напилення можна охарактеризувати як метод нанесення порошкових покриттів товщиною 0,5 – 4,0 мм з регульованим введенням тепла в порошок і виріб плазмотроном з двома дугами прямої і непрямої дії, що горять. Непряма (пілотна, чергова) дуга використовується для розплавлення порошку присадки, а основна дуга – для оплавлення поверхневого шару деталі та підтримки необхідної температури порошку на деталі. Роздільне регулювання параметрів основної та непрямої дуг забезпечує ефективне розплавлення порошку при мінімальному нагріванні поверхні деталі [24].

Висновки до розділу

Одним з найбільш перспективних способів наплавлення є плазмово-порошкове наплавлення (ППН), яке має такі переваги:

- висока якість металу, що наплавляється;
- мала глибина проплавлення основного металу за високої міцності зчеплення;
- можливість наплавлення тонких шарів.

Це обумовило подальші дослідження щодо застосування електроерозійного порошку швидкорізальної сталі при відновленні зношених деталей автомобілів плазмово-порошковим наплавленням.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

3 ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ПОРОШКУ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ

3.1 Матеріали і методики дослідження

Методом плазмово-порошкового наплавлення (ППН) отримано три зразки. Основою є металевий п'ятак діаметром 6 см із сталі 30ХГСА.

Як матеріал при ППН деталей, що працюють в умовах абразивного зношування, використовуються порошкові наплавні матеріали, в структурі яких містяться високотверді фази і відносно пластична матриця [1]. Таким матеріалом є порошкова швидкорізальна сталь (ПШС), отримана методом електроерозійного диспергування в гасі [3].

Електроерозійне диспергування (ЕЕД) в гасі – це спеціальний метод одержання наночастинок або дрібнодисперсних порошоків металів чи сплавів шляхом піддання їх електроерозійному впливу в рідкому середовищі, зокрема в гасі (вуглеводнева неполярна рідина) [10, 25].

Суть процесу.

Електроерозія – це руйнування (ерозія) електропровідного матеріалу внаслідок локалізованого теплового впливу електричних імпульсів (наприклад, електричних розрядів між електродами в рідині) [26].

Диспергування – подрібнення матеріалу до частинок нанометрового або мікронного розміру [26].

Гас як середовище використовується як діелектрик (не проводить струм, поки не відбувається пробій). Після пробію створюються мікробибухи, які й руйнують матеріал. Гас знижує реактивність частинок, тобто запобігає окисненню металів, сприяє стабілізації наночастинок.

Цей метод застосовують для отримання нанопорошків металів, керамік, композитів тощо, які потім використовують у: порошковій металургії;

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

електроніці; медицині (наприклад, як антимікробні наночастинки срібла); енергетиці (нанofлюїди для покращення теплопровідності); каталізі.

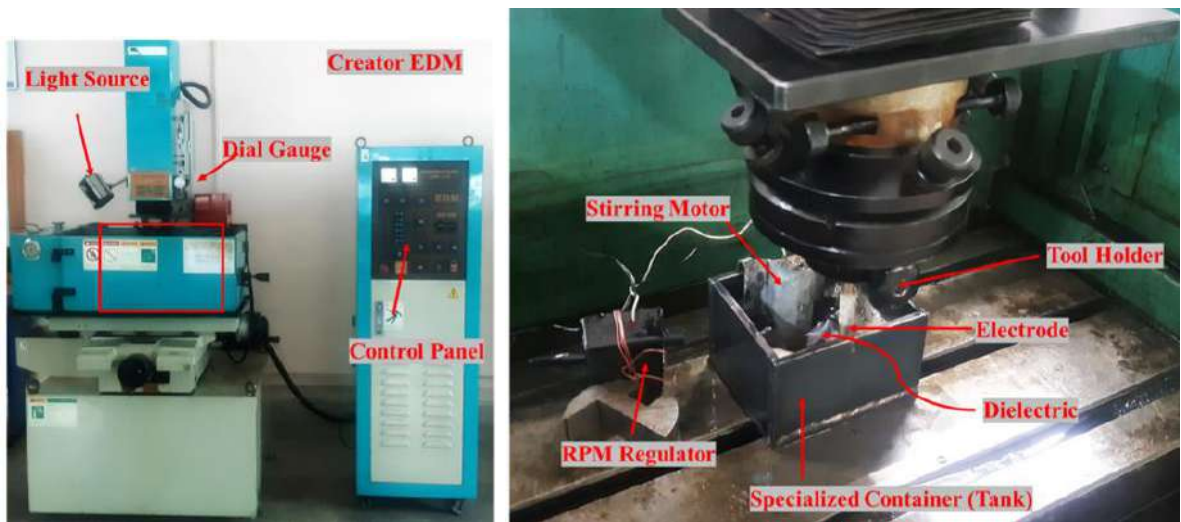


Рисунок 3.1 – Робоча установка електроерозійної обробки [26]

Матеріал для ППН отримували методом електроерозійного диспергування на установці для отримання електроерозійних порошків струмопровідних матеріалів (рис.3.1).

Диспергування відходів сталі Р6М5 проводили за таких параметрами установки: напруга 200 В, ємність розрядних конденсаторів 55 мкФ і частота імпульсів 100 Гц.

Випробування мікротвердості зразків по поверхні і шліфу проводили за допомогою автоматизованої системи аналізу мікротвердості DM-8 (рис. 3.2) за методом Віккерса при навантаженні на індентор 200 г за десятьма відбиткам з вільним вибором місця уколу (відповідно до ISO 6507-1: «Метод випробування на твердість за Віккерсом. Частина 1: Метод випробування» [27]). Час навантаження індентора становив 15 с.

Коефіцієнт тертя і швидкість зношування поверхні зразків і контртіла вимірювали на автоматизованій машині тертя (Tribometer, CSM Instruments, Швейцарія), керованої комп'ютером (рис. 3.3), за стандартною схемою

випробування "кулька – диск". Ці випробування дозволяють використовувати модель Герца, вони відповідають міжнародним стандартам ASTM G99-959 DIN50324 та можуть бути використані для оцінки зносостійкості зразка та контртіла. За основу застосовували диски із сталі 30ХГСА.



Рисунок 3.2 – Автоматизована система аналізу мікротвердості DM-8



Рисунок 3.3 – Схема автоматизованої машини тертя (Tribometer, CSM Instruments)

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Плазмові покриття наносили за допомогою багатоцільової установки для плазмової обробки [4] (рисунок 3.4). Установка складається з плазмового пальника (рисунок 3.5), встановленого на універсальному наплавному верстаті У-653, блока керування плазмотроном, джерела живлення ВД-306Ф.

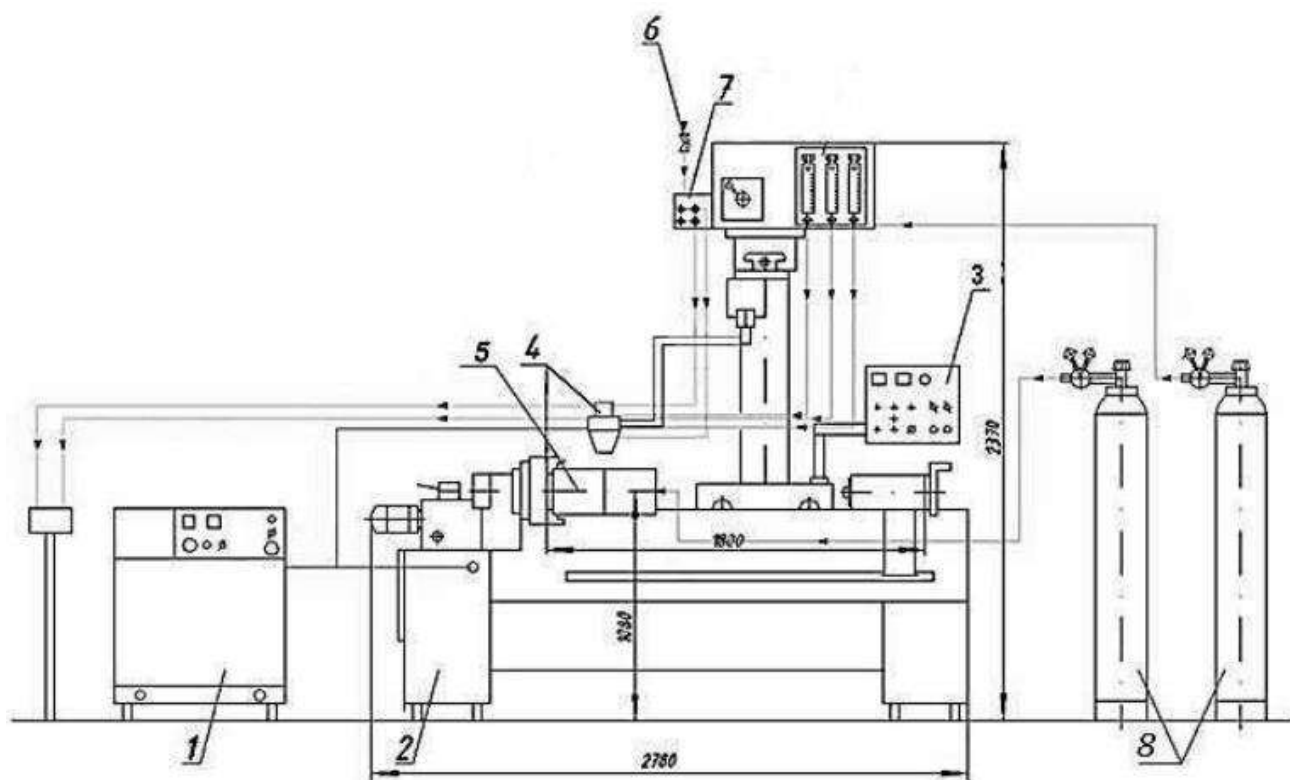


Рисунок 3.4 – Установка для плазмової обробки покриттів: 1 – джерело живлення ВД-306Ф; 2 – верстат наплавлення У-653; 3 – пульт керування; 4 – плазмотрон; 5 – виріб; 6 – вентиль; 7 – розподільник води; 8 – балони з аргеном [4]

Умови проведення досліджень:

- дослідження виконувалися при використанні струмів прямої та зворотної полярності;
- у режимі прямої полярності катодом слугував лантанований вольфрамовий пруток, який був запресований у мідний водоохолоджуваний електродотримач (рис. 3.5, а);

					КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

- під час роботи плазмотрона на зворотній полярності використовувався мідний водоохолоджуваний анод із вольфрамовою вставкою (рис. 3.5, б);
- конструкція плазмотрона передбачає тангенційну подачу плазмоутворювального газу, що забезпечує стабільність та концентрованість дуги;
- в якості як захисного, так і плазмоутворювального газу застосовувався аргон, який характеризується інертністю та високою здатністю до іонізації.

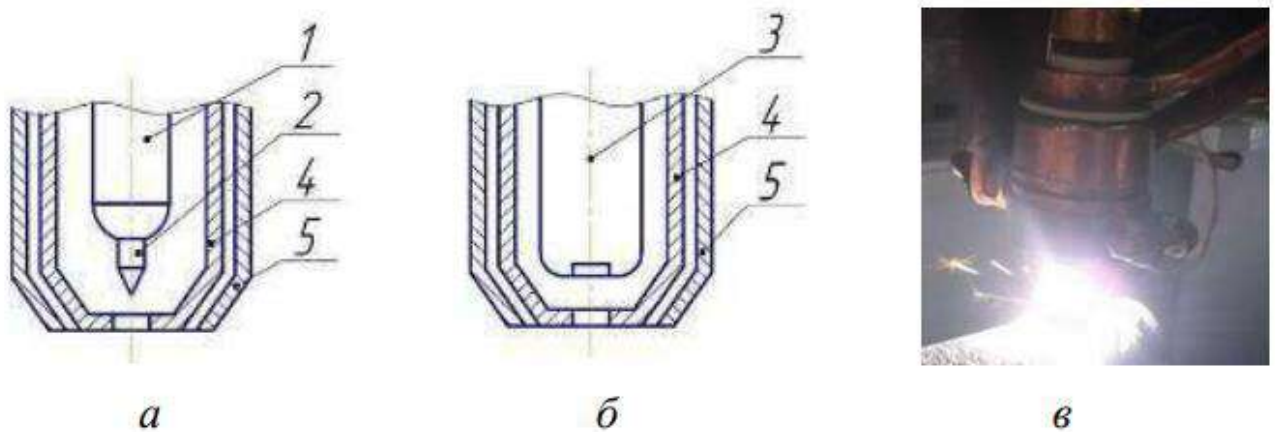


Рисунок 3.2 – Схеми плазмотронів: для роботи на прямій полярності – а; для роботи на зворотній полярності – б; плазмотрон у дії – в:

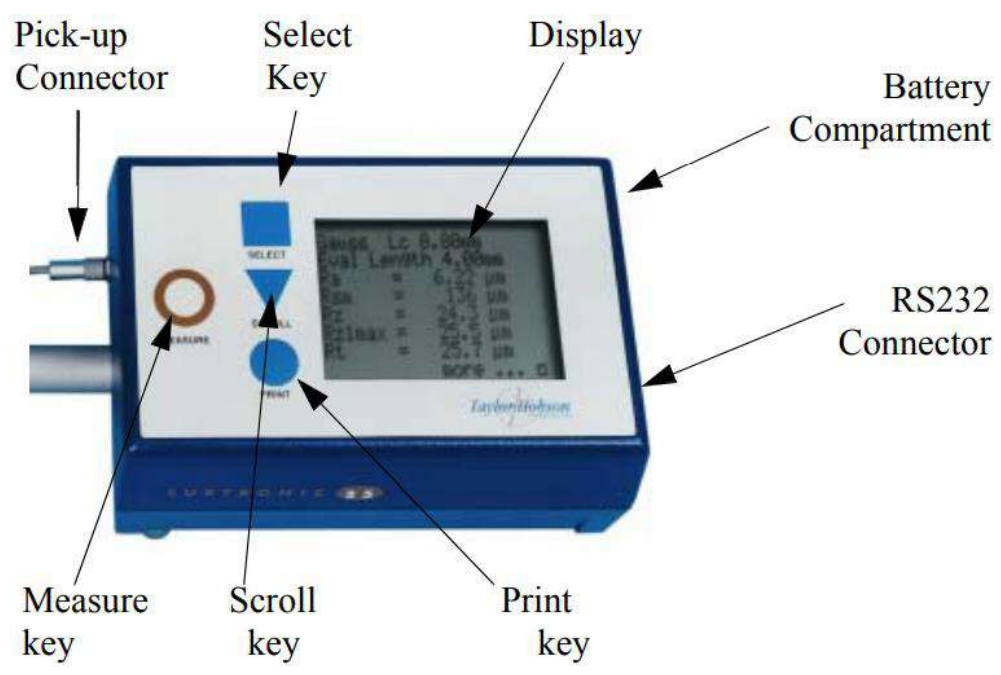
- 1 – мідний електродотримач; 2 – вольфрамовий електрод-катод; 3 – мідний електрод-анод із вольфрамовою вставкою; 4 – плазмоутворююче сопло; 5 – захисне сопло [4]

Коефіцієнт тертя та інтенсивність зносу поверхні зразка з нанесеним на нього плазмовим покриттям та контртіла досліджували на автоматизованій машині тертя (рис.3.3).

Шорсткість поверхні зразків досліджували на профілактометрі Surtronic S 25 (рис. 3.6).



a)



б)

Рисунок 3.6 – Загальний вигляд (а) та дисплей (б) профілометра Surtronic S 25

Аналіз мікроструктури матеріалів проводили за знімками знятими з електронного растрового мікроскопа РЕМ-106 [28](рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Растровий електронний мікроскоп РЕМ-106

3.2 Структура та властивості покриттів на основі сталі Р6М5, отриманих способом плазмового порошкового наплавлення

На рис. 3.8 подано знімок частинок електроерозійного порошку з електронного растрового мікроскопа.

З рисунка 3.8 видно, що в порошку, отриманому електроерозійним диспергуванням відходів сталі Р6М5 в гасі, присутні частинки, що мають правильну сферичну, еліптичну форму, агломерати.

Експериментально встановлено, що середній розмір частинок порошку, отриманого в гасі, становить 26,72 мкм, питома площа поверхні частинок складає 6725,95 см²/см³.

Результати вимірювань мікротвердості наведено у таблиці 3.1.

Розкид значень мікротвердості поверхнею пов'язаний з пробопідготовкою поверхні зразка.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

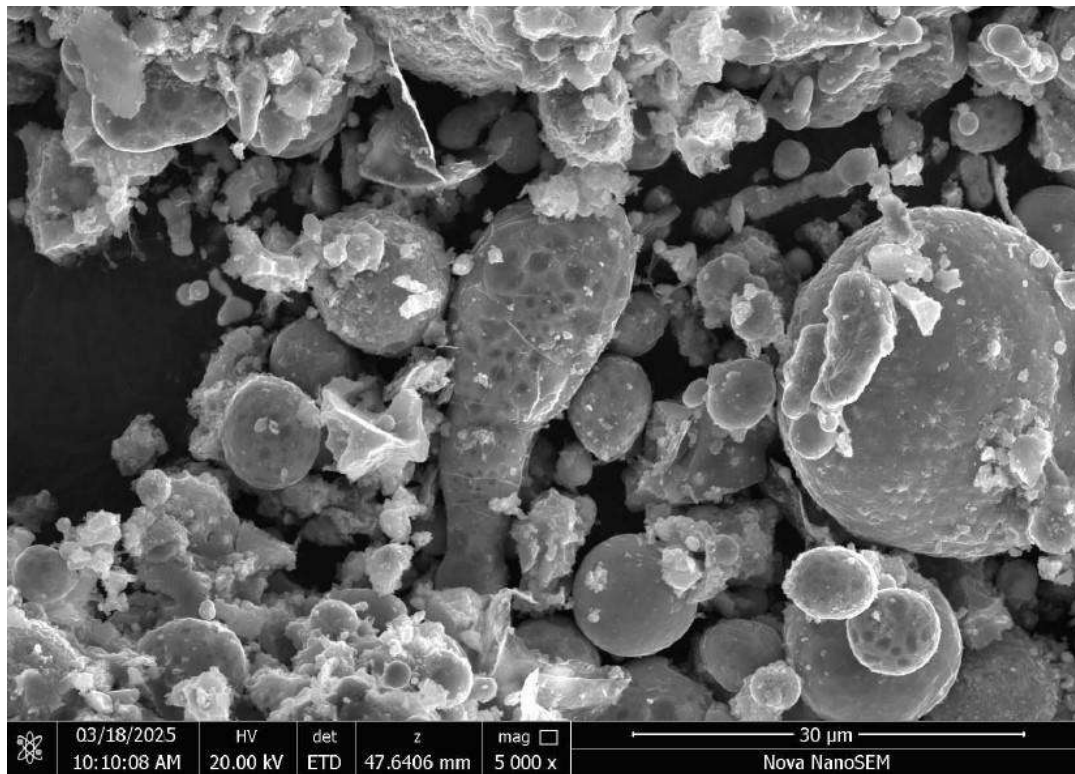


Рисунок 3.8 – Знімок частинок електроерозійного порошку з електронного растрового мікроскопа

Таблиця 3.1 – Мікротвердість зразків за Віккерсом (HV 0,2)

Номер відбитку	Зразок 1		Зразок 2		Зразок 3	
	Поверхня	Шліф (перед-поверхнева зона)	Поверхня	Шліф (перед-поверхнева зона)	Поверхня	Шліф (перед-поверхнева зона)
1	335	240	322	201	302	245
2	332	216	337	200	274	244
3	373	247	353	233	313	230
4	345	225	342	222	297	255
5	327	249	330	235	325	250
6	330	241	335	238	304	235
7	293	238	385	248	337	240
8	279	255	367	237	388	211
9	373	240	340	247	412	208
10	379	277	305	267	389	209
Середнє значення (одиниці вимірювання)						
HV	337,0	243,00	341,0	233,00	334,0	233,0
ГПа	3,370	2,430	3,410	2,330	3,340	2,330
Стандартне відхилення	33,16	16,50	22,57	20,70	46,49	17,59

За результатами випробувань трьох зразків видно, що зразок 2 має найбільше середнє значення мікротвердості наплавленої поверхні – 341 HV, що майже в 1,5 рази вище за мікротвердість базової поверхні.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що має місце збільшення середнього значення мікротвердості зміцненого матеріалу в 1,5 рази на поверхневому шарі.

Результати досліджень властивостей плазмових покриттів подано в таблиці 3.2 і на рис. 3.9.

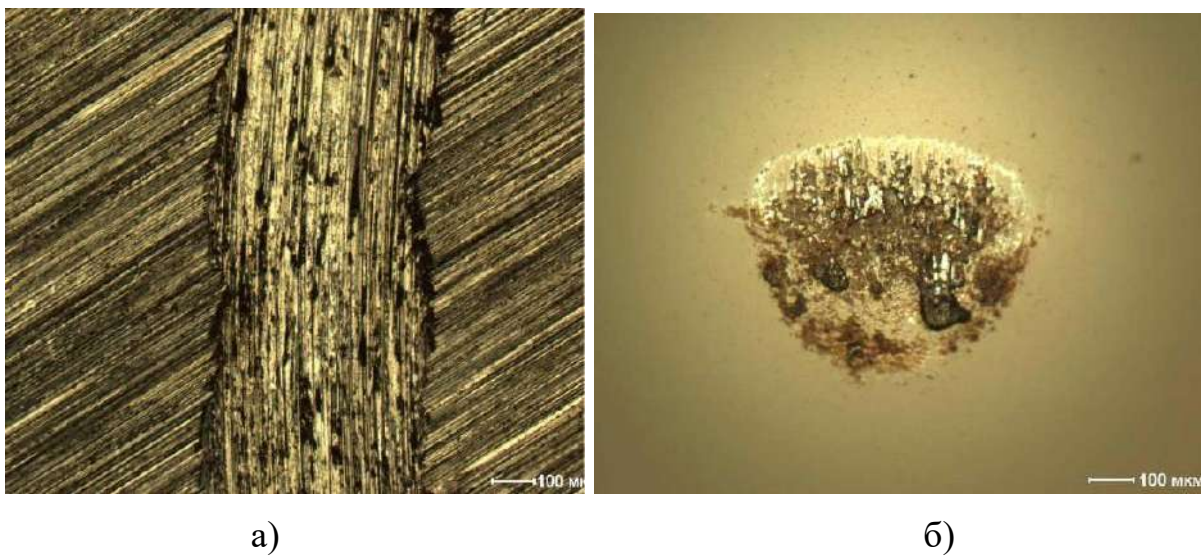


Рисунок 3.9 – Оптичне зображення доріжки зношування (а) та плями зношення (б) контртіла (кульки) після багаторазових проходів по досліджуваній поверхні експериментальних зразків (ширина доріжки зношкння – 469 мкм, контртіло – Al_2O_3)

Таблиця 3.2 – Трибологічні характеристики досліджуваних покриттів

№ зразка	Коефіцієнт тертя (μ)					Чинник зношення статистичного партнера, $мм^3 \cdot Н^{-1} \cdot м^{-1} \cdot 10^{-5}$	Чинник зношення зразка, $мм^3 \cdot Н^{-1} \cdot м^{-1} \cdot 10^{-5}$
	Початковий	Мінімальний	Максимальний	Середнє значення	Середнє відхилення		
1	0,358	0,180	0,778	0,709	0,088	0,131	5,263
2	0,206	0,175	0,854	0,704	0,068	0,396	6,821
3	0,097	0,097	0,804	0,665	0,143	0,108	7,789

Експериментально встановлені середні значення коефіцієнта тертя (μ) плазмового покриття: зразок 1 – 0,709; зразок 2 – 0,704; зразок 3 – 0,665. Відзначено, що зносостійкість зразка з плазмовим покриттям вище за зносостійкість підкладки.

Порівняння результатів випробувань зразків показує, що зносостійким є зразок 1 (найменше значення чинника зношення).

3.3 Підвищення якості ремонту та відновлення деталей транспортних систем

Організація відновлення зношених деталей автомобілів є не лише важливим резервом задоволення підприємств запасними частинами, а й істотним резервом підвищення якості ремонту, і навіть зниження витрат матеріальних і трудових ресурсів [1].

Застосування для відновлення зношених деталей автомобілів сучасних методів нанесення покриттів і, в першу чергу, з використанням твердих порошкових сплавів сприяє значному підвищенню їх довговічності.

Одним з найбільш складних у виготовленні та ремонті деталей автомобілів сімейства КамАЗ є колінчастий вал двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), основним дефектом якого є зношення корінних і шатунних шийок. Процес зношування корінних і шатунних шийок колінчастого валу ДВЗ є небажаним, але неминучим [29].

Типовий технологічний процес відновлення колінчастих валів ДВЗ КамАЗ-740 включає такі операції [29]: миття, розбирання та дефектацію колінчастого валу; перевірку биття по середній шийці; правку колінчастого валу на пресі (за потреби); установку пробок в отвори масляних каналів замість заглушок; шліфування корінних та шатунних шийок; контроль розмірів корінних, шатунних шийок та радіусу кривошипу; полірування корінних та шатунних шийок; збирання колінчастого валу.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Розбирання колінчастого валу включає такі операції: зняття шестерні приводу масляного насоса, переднього та заднього виносних противаг; вилучення заглушок та втулок відцентрового очищення масла та внутрішніх порожнин масляних каналів колінчастого валу. Виправлення колінчастого валу проводиться на пресі за наявності вигину валу більше 0,05 мм.

Шийки колінчастого валу шліфуються на круглошліфувальних верстатах 3А432. Насамперед шліфуються корінні шийки після встановлення колінчастого валу в центрах верстата. У другу чергу шліфуються шатунні шийки. Для шліфування шатунних шийок колінчастий вал на верстаті встановлюється в центрозміщувачах, що забезпечують зміщення осі валу на величину радіуса кривошипу, який має розмір $(60 \pm 0,5)$ мм, і поєднання осі шатунних шийок з віссю шпинделя верстата. Шліфування починається з першої шатунної шийки, для шліфування наступної шийки вал повертається на кут 90° . Усі корінні та шатунні шийки шліфуються під один ремонтний розмір.

Після шліфування шийки полірують протягом однієї хвилини на полірувальних верстатах полірувальною стрічкою ЕБ 220 або пастою ГОІ № 10.

Отже, на сьогодні колінчасті вали двигуна КамАЗ-740 успішно ремонтуються у межах своїх ремонтних розмірів шляхом шліфування. Коли розміри валу виходять за межі ремонтних, виникають проблеми з нарощуванням та зміцненням поверхонь.

Зношені вали з корінними і шатунними шийками, перешліфовані попри всі ремонтні розміри, але придатні відновленню шляхом нанесення покриттів до номінальних розмірів, становлять 65...75 % [29].

Тепер на ремонтних підприємствах для відновлення колінчастих валів ДВЗ використовують головним чином різновиди дугового способу наплавлення під шаром флюсу.

Одним з найбільш універсальних методів і гнучких технологічних прийомів впливу на властивості оброблюваних поверхонь як метод зміцнення виготовлених деталей машин і відновлення деталей з великим ступенем зносу

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

(0,5 мм і більше), що працюють в умовах інтенсивного зношування, є плазмово-порошкове наплавлення (ППН) [29].

У якості матеріалів при ППН колінчастих валів, що працюють в умовах абразивного зношування, використовуються зносостійкі порошкові наплавні матеріали, в структурі яких містяться високотверді (карбіди, бориди і т. д.) фази та відносно пластична матриця. Серед порошкових наплавних матеріалів, що мають твердість вище твердості абразиву і стійкість до абразивного зносу, одними з найбільш перспективних є порошки на основі систем WC-Co і WC-TiC-Co [30], що є основою твердих сплавів, переробка відходів і подальше використання яких є актуальною проблемою [29].

Одним з найбільш перспективних методів одержання порошку практично з будь-якого струмопровідного матеріалу, у тому числі і твердого сплаву, що відрізняється відносно невисокими енергетичними витратами та екологічною чистотою процесу, є метод електроерозійного диспергування (ЕЕД) – локальний вплив короткочасних електричних розрядів між електродами.

Основними регульованими (змінними) параметрами використаної установки ЕЕД [26], (рис. 3.1), які безпосередньо впливають на процес порошкоутворення, є:

- напруга на електродах (U),
- частота проходження імпульсів (f),
- ємність робочого накопичувача (C),
- відстань між електродами (l).

При проведенні експериментів з диспергування відходів спечених твердих сплавів відстань між електродами в реакторі залишалася сталою і становила 100 мм, напругу на електродах змінювали від 0 до 200 В, частоту проходження імпульсів – від 0 до 1000 Гц, ємність робочого накопичувача – від 2,5 до 40 мкФ.

Як робоча рідина використовувалася вода дистильована ДСТУ ГОСТ 6709:2004. В якості вихідного (диспергованого) матеріалу використовувалися

					КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

зношені, некондиційні і нові багатогранні пластини, що не переточуються, призначені для припаювання і механічного кріплення на різальний інструмент, зі сталі Р6М5.

3.3 Розробка технології відновлення зношених деталей автомобілів плазмово-порошковим наплавленням

За об'єкт реновації обрано колінчастий вал двигуна КамАЗ-740 (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Пошкоджена шийка колінчастого валу двигуна КамАЗ-740

На рис. 3.10 видима жовтувато-золота поверхня свідчить про залишки бронзового або мідного вкладиша (підшипника), який частково приварився або зносився. Блискучі сріблясто-сірі ділянки – це сліди здирання або задирів, які утворилися через недостатнє мастило або перегрів. На поверхні видно ознаки інтенсивного тертя та локального перегріву.

Ймовірні причини пошкодження [31]:

- вихід з ладу вкладиша (підшипника ковзання);
- масляне голодування (погане змащення);
- попадання бруду або сторонніх часток у мастило;
- надмірне навантаження або перевищення ресурсу двигуна.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це типовий приклад ситуації, коли виконується плазмово-порошкове або електродугове наплавлення шийки для відновлення її геометрії та функціональних властивостей.

Як порошковий наплавний матеріал використовувалася композиція порошоків, отриманих ЕЕД відходів швидкорізальних сталей.

На зношені шийки колінчастого валу, що підлягають відновленню методом плазмово-порошкового наплавлення, накладається низка вимог [31]:

1. Колінчасті вали з кільцевими тріщинами, поздовжніми тріщинами у вигляді волосин, тріщинами, що виходять на галтелі, підлягають вибраковуванню.

2. На відновлення плазмово-порошковим наплавленням приймаються вали з биттям по середній шийці не більше 0,5 мм.

3. Повторне відновлення плазмово-порошковим наплавленням допускається після шліфування до основного матеріалу.

4. Не допускається наявності тріщин на поверхнях відновленого валу.

Таблиця 3.3 – Порядок операцій наплавних робіт по колінчастому валу КамАЗ-740

Операція	Обладнання та пристрої	Інструменти та матеріали
1. Зачистити корінну шийку до металевого блиску	Верстат слюсарний	Щітка металева, шліфувальний шкір
2. Заглушити отвори масляних каналів, зачистити поверхню	Верстат слюсарний	Асбестоцементна суміш, молоток слесарний, шліфувальний шкір
3. Підігріти корінну шийку до 200 °С плазмовою дугою без подачі порошку	Установка для плазмово-порошкового наплавлення У-653, випрямляч зварювальний ВДУ-506	Аргон ДСТУ ГОСТ 10157:2019 [32]; магістральна вода ГОСТ 2844-82(чинний на території України)
4. Наплавити корінну шийку	Установка для плазмово-порошкового наплавлення У-653, випрямляч зварювальний ВДУ-506	Аргон ДСТУ ГОСТ 10157:2019 [32]; магістральна вода ГОСТ 2844-82; порошкові електроерозійні матеріали

Примітка. Наплавлення шатунних шийок колінчастого валу виконати в тій самій послідовності.

Після наплавлення вал проходить механічну обробку для досягнення необхідних розмірів та поверхневої якості, що дозволяє йому витримувати робочі навантаження та забезпечує довговічність.

При промисловому випробуванні твердосплавних порошоків слід користуватись технологією твердосплавного плазмового порошкового наплавлення для шийок колінчастих валів ДВС КамАЗ-740, що вийшли з останніх ремонтних розмірів, яка подана на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11 – Технологічний процес відновлення колінчастих валів плазмовим твердосплавним порошковим наплавленням

Висновки до розділу

Процес зношування корінних і шатунних шийок колінчастого валу ДВЗ є небажаним, але неминучим. Основний дефект колінчастих валів ДВЗ КамАЗ-740 – зношення корінних і шатунних шийок. Колінчасті вали успішно ремонтуються у межах своїх ремонтних розмірів шляхом шліфування.

Серед порошкових наплавних матеріалів для плазово-порошкового напавлення одними з найбільш перспективних є порошки на основі WC-Co та WC-TiC-Co, які є основою твердих сплавів, переробка відходів та подальше використання яких є актуальною проблемою.

Методом ЕЕД є можливість отримати придатні для використання порошки напавлення з відходів твердих сплаву марки Р6М5. Водночас вирішується проблема утилізації відходів.

Розроблено технологію плазово-порошкового напавлення з додаванням твердосплавних порошоків для колінчастих валів ДВЗ КамАЗ-740.

Проведені дослідження дозволяють об'єктивно оцінити можливість застосування методу ППН для відновлення та зміцнення робочих поверхонь деталей автомобільних двигунів з використанням порошкової швидкорізальної сталі.

У свою чергу використання порошкових матеріалів, отриманих з відходів швидкорізальних сталей електроерозійним диспергуванням, на противагу тим, що промислово випускаються (досить дорогівартісних), для плазово-порошкового напавлення дозволить поліпшити якість плазових покриттів з мінімумом витрат на порошкові матеріали.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

ВИСНОВКИ

Одним з найбільш поширених та доступних способів відновлення зношених деталей є спосіб ручного дугового наплавлення електродом. Переваги цього способу: простота, наявність необхідного обладнання, доступність витратних матеріалів. Недоліки – сильне нагрівання деталей і, як наслідок, у багатьох випадках їх викривлення, невисокі експлуатаційні властивості наплавленої поверхні.

Наплавлення під шаром флюсу характеризується високою продуктивністю, можливістю отримувати наплавлений шар завтовшки до 10 мм. Недоліки: високий нагрів, а також значне перемішування основного та присадного матеріалів.

Вібродугове наплавлення застосовується на багатьох підприємствах через простоту обладнання, можливість відновлювати як зовнішні, так і внутрішні поверхні. Однак якість наплавлення невисока, поверхня, що відновлюється, нерідко виходить з порами і неоднорідною твердістю.

Наплавлення в середовищі захисних газів електродом, що плавиться, набуло найбільшого поширення на ремонтних підприємствах через малу вартість, доступність витратних матеріалів, можливість відновлення не тільки сталевих і чавунних, а й бронзових і біметалічних деталей. До недоліків слід віднести підвищене розбризкування та значний термічний вплив.

Лазерне наплавлення – прогресивний, високотехнологічний спосіб. Він характеризується слабким нагріванням деталі, що наплавляється, і високою якістю наплавлення. Широке застосування обмежується через високу собівартість відновлення деталей, необхідність обслуговування персоналом високої кваліфікації та дотримання вимог з техніки безпеки.

Все більшого поширення набувають плазмові технології. Номенклатура відновлюваних деталей різноманітна: гусеничні пальці, осі балансирів, шворні, деталі гідронасосів, вали роторів електродвигунів, хрестовини та інші деталі.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
						49
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Незначна глибина плавлення основного металу (до 0,5 мм), його низький вміст у наплавленому шарі (до 5%) дозволяють зберегти практично без зміни вихідні властивості матеріалу, що наплавляється.

Залежно від вимог, що висуваються до поверхні відновлюваних деталей, наплавлення може здійснюватись високолегованими порошковими сплавами на основі заліза, сплавами або порошками на основі хрому, бору, нікелю і міді, що самофлюсуються.

Порошкові сплави на основі заліза в залежності від марки забезпечують твердість наплавленого шару в межах HRCe 44 – 62 і надають поверхні високу зносостійкість при роботі у звичайному та абразивному середовищі. Сплави, що самофлюсуються, залежно від марки забезпечують твердість наплавленого шару в межах HRCe 29 – 60 і надають наплавленому шару корозійну стійкість і зносостійкість.

За викидом шкідливих речовин в атмосферу технологія плазмового наплавлення близька до технології аргонодугового зварювання. Рівень шуму в межах у 35 – 60 дБ, шум виникає переважно через роботу джерела зварювального струму.

Базовим обладнанням для плазмового наплавлення є обертач (токарний верстат) і зварювальний випрямляч, які, як правило, вже є на підприємствах. Для відновлення різних деталей розроблено різні типи плазматронів, що відрізняються надійністю, довговічністю та простотою обслуговування.

Комбінації з різних порошків або порошку та дроту дозволяють широко змінювати експлуатаційні властивості наплавлених шарів.

Плазмове наплавлення дозволяє наносити шари завтовшки від 0,3 до 5 мм, що дає можливість відновлювати деталі з великим зношуванням.

Технологія плазмового наплавлення дозволяє підвищити втомну міцність гранично зношених колінчастих валів дизельних двигунів з 60 до 83 – 92% від міцності нових, зносостійкість наплавлених шарів не нижча за нові.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
						50
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Наплавлені поверхні колінчастих валів обробляються на круглошліфувальних або токарних верстатах.

Колінчасті вали, відновлені цим способом, можуть працювати в умовах великих знакозмінних та динамічних навантажень.

Методом ЕЕД є можливість отримати придатні для використання порошки наплавлення з відходів твердих сплаву марки Р6М5. Водночас вирішується проблема утилізації відходів.

Розроблено технологію плазово-порошкового наплавлення з додаванням твердосплавних порошків для колінчастих валів ДВЗ КамАЗ-740.

Проведені дослідження дозволяють об'єктивно оцінити можливість застосування методу ППН для відновлення та зміцнення робочих поверхонь деталей автомобільних двигунів з використанням порошкової швидкорізальної сталі.

У свою чергу використання порошкових матеріалів, отриманих з відходів швидкорізальних сталей електроерозійним диспергуванням, на противагу тим, що промислово випускаються (досить дороговартісних), для плазово-порошкового наплавлення дозволить поліпшити якість плазових покриттів з мінімумом витрат на порошкові матеріали.

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		51

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 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.

2 Щур В. Відновлення сталевих деталей адитивною технологією пошарового плазмового наплавлення. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/858c1c2a-30d3-4677-9863-cef16bad17d1/content> (дата звернення: 15.04.2025).

3 Основні технологічні процеси відновлення деталей. URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/11/other/4_1_.pdf (дата звернення: 15.04.2025).

4 Лашак В.В. Технологія плазмового оплавлення та підвищення абразивної зносостійкості електрометалізаційних покриттів. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8e04772b-b3ad-470e-b83f-7e6dceea2dc6/content> (дата звернення: 15.04.2025).

5 Nanthini, S., Veluswamy, P., & Shankar, H. (2023). Protective coatings for high-temperature thermoelectric materials. In Coatings for High-Temperature Environments: Anti-Corrosion and Anti-Wear Applications (pp. 311-349). Cham: Springer Nature Switzerland.

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

7 Белік А.Г. Оцінка абразивної стійкості наплавленого металу /А.Г.Белік, С.С. Вакула //Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій: III міжнародна інтернет-конференція, Вінниця, 23 грудня 2015 р. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 38.

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

					КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

9 Кузнецов В.Д., Степанов Д.В. Технологія та устаткування для наплавлення : навч. посіб.: – К: 2017. – 78 с.

10 Sun, Y.; Gong, Y.; Wen, X.; Xin, B.; Yin, G.; Meng, F.; Tang, B. (2022). Evaluation of Dimensional Accuracy and Surface Integrity of Cylindrical Array Microelectrodes and Cylindrical Array Microholes Machined by EDM. Archiv. Civ. Mech. Eng., 22, 46.

11 Milani, V., & Timelli, G. (2023). Solid salt fluxes for molten aluminum processing—a review. Metals, 13(5), 832.

12 Li, C., Li, J. G., Mao, Y. Z., & Ji, J. C. (2017). Mechanism to remove oxide inclusions from molten aluminum by solid fluxes refining method. China Foundry, 14, 233-243.

13 Khaskin, V. Y., Shelyagin, V. D., & Bernatsky, A. V. (2015). Modern Methods of Surfacing, Technologies of Surfacing and their Application.

14 TWI (The Welding Institute). Metal inert gas (MIG) welding process [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/mig-welding-004>

15 Gautam, N. et al. A Review on Optimization and Prediction of MIG Welding Process Parameters Using ANN // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2017. – Т. 6, №6. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/317956343>

16 Xiaodong Liu et al. Study on Evaluation Method of Aluminum alloy Pulse MIG Welding Stability Based on Arc Voltage Probability Density // Modern Mechanical Engineering, 2012. – №2(4). – С. 131–136. – Режим доступу: <https://www.scirp.org/journal/papercitationdetails?JournalID=339&paperid=6832>

17 Wang, L. et al. Welding process characteristics of pulse on pulse MIG arc brazing of aluminum alloy to stainless steel // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2017. – №91. – С. 2541–2550. – DOI: 10.1007/s00170-016-9820-9

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18 Rosnizam, R. et al. The Effect of Travel Speed and Electrical Current on MIG Welding Process // Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering). – 2016. – Т. 78, №6. – Режим доступу: <https://journals.utm.my/jurnalteknologi/article/view/21992>

19 Yadav, P. et al. Intelligent Modeling for Optimization of A-TIG Welding Process // Materials and Manufacturing Processes. – 2010. – Т. 25, №6. – С. 530–538. – DOI: 10.1080/10426914.2010.529584

20 Kim, J.H. et al. Pulse TIG welding: Process, Automation and Control // Journal of Welding and Joining. – 2020. – Т. 38, №5. – С. 421–432. – DOI: 10.5781/JWJ.2020.38.5.421

21 Zhang, Y. et al. TIG double-electrode welding: insights into electrical and geometric parameters // Welding in the World. – 2025. – Т. 69. – DOI: 10.1007/s40194-025-01927-5

22 Manickaraj, N. et al. An investigation on compression strength analysis of commercial aluminium tube to aluminium 2025 tube plate by using TIG welding process // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Т. 11, №1. – С. 329–333. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/291973741>

23 Company. About us. Who is behind SBI. URL: <https://www.sbi.at/en> (дата звернення: 15.04.2025).

24 Fridman, A. (2024). Plasma Science and Technology: Lectures in Physics, Chemistry, Biology, and Engineering. John Wiley & Sons.

25 Sahu, D.R.; Mandal, A. (2020). Critical Analysis of Surface Integrity Parameters and Dimensional Accuracy in Powder-Mixed EDM. Mater. Manuf. Process. 35, 430–441.

26 Ishfaq, K.; Sana, M.; Waseem, M.U.; Ashraf, W.M.; Anwar, S.; Krzywanski, J. Enhancing EDM Machining Precision through Deep Cryogenically Treated Electrodes and ANN Modelling Approach. Micromachines 2023, 14, 1536. <https://doi.org/10.3390/mi14081536>

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

27 ДСТУ ISO 6507-1:2007 Матеріали металеві. Визначення твердості за Вікерсом. Частина 1. Метод випробування (ISO 6507-1:2005, IDT) [Чинний від 2005-04- 01].

28 Alontseva, D., Ghassemieh, E., & Dzhes, A. (2019). The Application of Transmission Electron Microscopy to the Analysis of Powder Coatings Deposited on Metal Substrates by Plasma Method. *Acta Physica Polonica: A*, 135(5).

29 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>

30 Alaluss, K., & Mayr, P. (2019). Additive Manufacturing of complex components through 3D plasma metal deposition—A simulative approach. *Metals*, 9(5), 574.

31 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.

32 ДСТУ ГОСТ 10157:2019 «Аргон газоподібний та рідкий. Технічні умови».

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

ДОДАТОК

					<i>КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		56

Додаток А

Презентаційний матеріал

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ПОРОШКУ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ

Виконав : студент групи МТВА-21-1
Ковальчук М. С.

Керівник : д.т.н., доцент Драч І.В.

Кафедра трибології, автомобілів і матеріалознавства

ОБ'ЄКТ дослідження – процеси плазово-порошкового відновлювального наплавлення.

ПРЕДМЕТ дослідження – методи випробувань на мікротвердість зразків по поверхні та шліфу, на тертя та швидкість зношення поверхні.

МЕТА дипломної роботи полягає в оцінюванні можливості застосування електроерозійного порошку швидкорізальної сталі для відновлення зношених деталей автомобільних двигунів плазово-порошковим наплавленням.

ЗАВДАННЯ дипломної роботи :

- вивчити основні принципи та методи відновлювального наплавлення;
- порівняти особливості різних методів наплавлення; визначити переваги та недоліки кожного методу;
- оцінити можливості застосування методу плазово-порошкового наплавлення для відновлення та зміцнення робочих поверхонь колінчастого валу двигуна КамАЗ-740 з використанням порошкової швидкорізальної сталі.

2

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

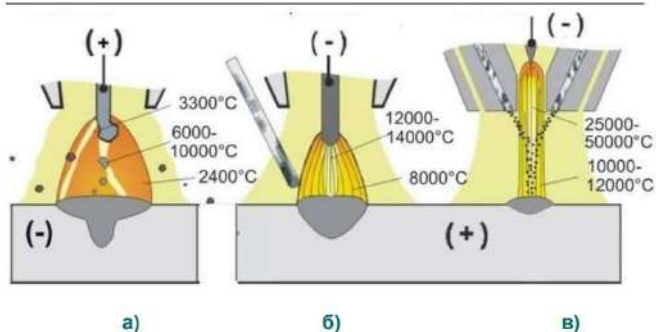
ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ ПЛАЗМОВОГО ПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ:

- висока щільність енергії, вузька дуга, що дозволяє наплавляти максимально акуратно;
- мала глибина проплавлення основного металу за високої міцності зчеплення;
- однорідне покриття, відсутність пор, можливість наплавлення тонких шарів;
- незначне нагрівання основного матеріалу, у зв'язку з цим мале жолоблення після наплавлення;
- невибагливість та простота процесу;
- розмір зерна швидкорізальної сталі, напавленої плазово-порошковим способом на 20% менший, ніж розмір зерна литої швидкорізальної сталі, а рівень твердості напавленого металу на 10 ... 20% перевищує рівень твердості сталі Р6М5 після відпалу;
- забезпечення можливості 100% автоматизації.

3

					КРБМТВАТАМ 25 2 1152. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

**ПОРІВНЯННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСІВ МІГ, ТІГ
ТА ПЛАЗМОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ**



- а) наплавлення зварювальним напівавтоматом МІГ (дротом);
- б) наплавлення аргонодугове ТІГ з дротом;
- в) наплавлення плазмове з порошком або дротом

4

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ПОРОШКУ
ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЗНОШЕНИХ
ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ
МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

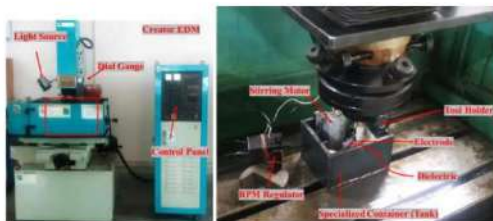


Рисунок 1 – Робоча установка електроерозійної обробки



Рисунок 2 – Автоматизована система аналізу мікротвердості DM-8

5

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ПОРОШКУ
ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ СТАЛІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЗНОШЕНИХ
ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ
МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ**



Рисунок 3 – Схема автоматизованої машини тертя



Рисунок 4 – Растровий електронний мікроскоп РЕМ-106



Рисунок 5 – Профілометр Surtronic S 25

6

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБМТВАТАМ 25 2 1152. 000 ПЗ

Арк.

58

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ПОРОШКУ ШВИДКОРИЗАЛЬНОЇ
СТАЛІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ**
СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ СТАЛІ Р6М5,
ОТРИМАНИХ СПОСОБОМ ПЛАЗМОВОГО ПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

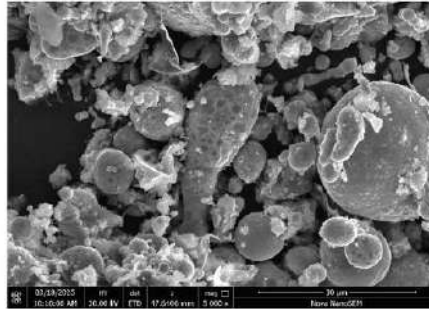


Рисунок 6 – Знімок частинок електроерозійного порошку

7

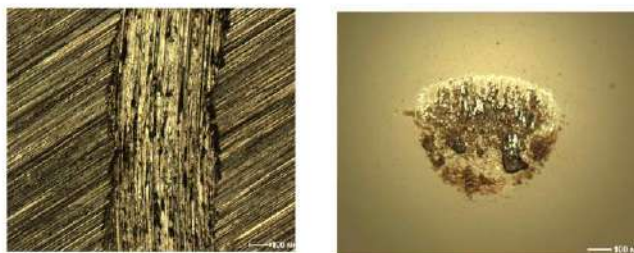
**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ПОРОШКУ ШВИДКОРИЗАЛЬНОЇ
СТАЛІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ**
СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ СТАЛІ Р6М5,
ОТРИМАНИХ СПОСОБОМ ПЛАЗМОВОГО ПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Таблиця 1 – Мікротвердість зразків за Віккерсом (HV 0,2)

Номер в'їбитку	Зразок 1		Зразок 2		Зразок 3	
	Поверхня	Шліф (перед- поверхнева зона)	Поверхня	Шліф (перед- поверхнева зона)	Поверхня	Шліф (перед- поверхнева зона)
1	335	240	322	201	302	245
2	332	216	337	200	274	244
3	373	247	353	233	313	230
4	345	225	342	222	297	255
5	327	249	330	235	325	250
6	330	241	335	238	304	235
7	293	238	385	248	337	240
8	279	255	367	237	388	211
9	373	240	340	247	412	208
10	379	277	305	267	389	209
Середнє значення (одиночі вимірювання)						
HV	337,0	243,00	341,0	233,00	334,0	233,0
GPa	3,370	2,430	3,410	2,330	3,340	2,330
Стандартне відхилення	33,16	16,50	22,57	20,70	46,49	17,59

8

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ПОРОШКУ ШВИДКОРИЗАЛЬНОЇ
СТАЛІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ**
СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ СТАЛІ Р6М5,
ОТРИМАНИХ СПОСОБОМ ПЛАЗМОВОГО ПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ



а)

б)

Рисунок 7 – Оптичне зображення доріжки зношування (а)
та плями зношення (б) контртіла (кульки)
після багаторазових проходів по досліджуваній поверхні експериментальних
зразків (ширина доріжки зношення – 469 мкм, контртіло – Al_2O_3)

9

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБМТВАТАМ 25 2 1152. 000 ПЗ

Арк.

59

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ПОРОШКУ ШВИДКОРІЗАЛЬНОЇ
СТАЛІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ
СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ СТАЛІ Р6М5,
ОТРИМАНИХ СПОСОБОМ ПЛАЗМОВОГО ПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ**

Таблиця 2 – Трибологічні характеристики досліджуваних покриттів

№ зразка	Коефіцієнт тертя (μ)					Чисник зношення етапметричного парнера, $\text{мм}^3 \cdot \text{H}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \cdot 10^{-5}$	Чисник зношення зразка, $\text{мм}^3 \cdot \text{H}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \cdot 10^{-5}$
	Початковий	Мінімальний	Максимальний	Середнє значення	Середнє відхилення		
1	0,358	0,180	0,778	0,709	0,088	0,131	5,263
2	0,206	0,175	0,854	0,704	0,068	0,396	6,821
3	0,097	0,097	0,804	0,665	0,143	0,108	7,789

10

**ПОРЯДОК ОПЕРАЦІЙ НАПЛАВНИХ РОБІТ ПО
КОЛІНЧАСТОМУ ВАЛУ КАМАЗ-740**

Таблиця 3 – Порядок операцій наплавних робіт по колінчастому валу КамАЗ-740

Операція	Обладнання та пристрої	Інструменти та матеріали
1. Зачистити корінну шийку до металевого блиску	Верстат слюсарний	Шітка металева, шліфувальний шкір
2. Заглушити отвори масляних каналів, зачистити поверхню	Верстат слюсарний	Асбестоцементна суміш, молоток слюсарний, шліфувальний шкір
3. Підігріти корінну шийку до 200 °С плазмовою дугою без подачі порошку	Установка для плазмово-порошкового наплавлення У-653, випрямляч зварювальний ВДУ-506	Аргон ДСТУ ГОСТ 10157:2019 [32]; магістральна вода ГОСТ 2844-82(чинний на території України)
4. Наплавити корінну шийку	Установка для плазмово-порошкового наплавлення У-653, випрямляч зварювальний ВДУ-506	Аргон ДСТУ ГОСТ 10157:2019 [32]; магістральна вода ГОСТ 2844-82; порошок електроерозійні матеріали

11

Висновки

- Процес зношування корінних і шатунних шийок колінчастого валу ДВЗ є небажаним, але неминучим. Основний дефект колінчастих валів ДВЗ КамАЗ-740 – зношення корінних і шатунних шийок. Колінчасті вали успішно ремонтуються у межах своїх ремонтних розмірів шляхом шліфування.
- Методом ЕЕД є можливість отримати придатні для використання порошки наплавлення з відходів твердих сплаву марки Р6М5. Водночас вирішується проблема утилізації відходів.
- Розроблено технологію плазмово-порошкового наплавлення з додаванням твёрдосплавних порошків для колінчастих валів ДВЗ КамАЗ-740.
- Проведені дослідження дозволяють об'єктивно оцінити можливість застосування методу ППН для відновлення та зміцнення робочих поверхонь деталей автомобільних двигунів з використанням порошкової швидкорізальної сталі.
- Використання порошкових матеріалів, отриманих з відходів швидкорізальних сталей електроерозійним диспергуванням, на противагу тим, що промислово випускаються (досить дорогавартісних), для плазмово-порошкового наплавлення дозволить поліпшити якість плазмових покриттів з мінімумом витрат на порошкові матеріали.

12

					КРБМТВАТАМ 25 21152. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60