ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

«Дослідження раціональних параметрів нанесення газотермічних покриттів на поверхні валів дизелів мобільної сільськогосподарської техніки у КАТП «Агробудавтосервіс» м. Кропивницький»

Виконав:
магістрант групи ТС-23М Владислав ЗАВОРОТНИЙ
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:
_докт. техн. наук, проф. Євген СОЛОВИХ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:
_канд. техн. наук, доц. Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)
«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

_____, _____ _____ _____
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
Галузь знань: 20 «Аграрні науки та продовольство»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»
Освітньо-професійна програма: «Технічний сервіс сільськогосподарської техніки»

«**ЗАТВЕРДЖУЮ»**
Завідувач кафедри «Експлуатація та ремонт машин»
_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 20___ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ

_____Заворотному Владиславу Олеговичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Дослідження раціональних параметрів нанесення газотермічних покриттів на поверхні валів дизелів мобільної сільськогосподарської техніки у КАТП «Агробудавтосервіс» м. Кропивницький»

керівник роботи _Солових Євген Костянтинович, докт. техн. наук. проф.,__
(прізвище, ім'я, по батькові) (науковий ступінь) (вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__»____20__ року №___

2. Строк подання здобувачем роботи «__» _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи

матеріали переддипломної практики, літературні джерела наукової інформації, патенти, нормативні акти з технічного обслуговування автомобілів_____

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

4.1 Розділ 1 Дослідження за тематикою магістерської роботи

4.2 Розділ 2 Методика експериментальних досліджень

4.3 Розділ 3 Результати теоретичних та експериментальних досліджень

5. Перелік ілюстративного матеріалу комплект

1. Мета, об’єкт та задачі досліджень; 2. Характеристика методів газотермічного напилювання покриттів; 3. Визначення параметрів нанесення порошкового покриття плазмовим напилюванням; 4. Методика та обладнання експериментальних досліджень; 5. Дослідження параметрів нанесення покриттів та їх фізико-механічних властивостей.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Розділ 1	25.10.2024	
	Розділ 2	15.11.2024	
	Розділ 3	5.12.2024	
	Оформлення ілюстративного матеріалу	15.12.2024	

Магістрант _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ _____
(підпис) (ім’я та прізвище)

Реферат

Магістерська робота виконана на базі підприємства ТОВ КАТП «Агробудавтосервіс» м. Кропивницький.

Робота складається з 62 аркушів пояснювальної записки, яка включає 3 розділи, ілюстративний матеріал.

Дана робота присвячена відновленню робочих поверхонь колінчастих валів автотракторної техніки в АПК, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, плазмовим напилюванням зносостійких покриттів.

Наукова новизна роботи:

1) розроблені технологічні режими плазмового напилювання дисперсно-наповненого композитного матеріалу, що відрізняються коригуванням параметрів залежно від дисперсності та порошку покриття;

2) отримані регресійні моделі, що зв'язують параметри напилювання з фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками сформованих покриттів;

Практична значимість роботи. Запропоновано склад порошкового матеріалу для напилювання на робочі поверхні колінчастих валів та забезпечує високі фізико-механічні та експлуатаційні властивості відновлених поверхонь.

Отримано аналітичні залежності кінематичних режимів плазмового напилювання від геометричних особливостей поверхонь шнека, товщини порошкового покриття, що формується, і температури нагрівання робочих поверхонь.

В роботі запропоновано склад порошкового матеріалу для плазмового напилювання, що забезпечує високу міцність зчеплення покриття з основою.

Визначено технологічні режими плазмового напилювання покриття для циліндричної поверхні колінчастого валу.

Зміст

Вступ……6
1. Аналіз стану питання……9
1.1. Аналіз причин зношування та руйнування колінчастих валів автотракторних двигунів……..10
1.2 Огляд методів відновлення працездатності автомобільних деталей…….14
1.3 Характеристика газотермічних методів напилювання……20
1.4 Характеристика плазмового методу напилювання…….35
2. Дослідне обладнання, методика та вибір матеріалу для напилювання…..40
3. Теоретичні та експериментальні дослідження плазмового напилювання порошкового матеріалу……47
3.1 Дослідження раціональних параметрів нанесення газотермічних покриттів на колінчасті вали мобільної сільськогосподарської техніки……..47
3.2 Експериментальне дослідження процесу нанесення композитних покриттів плазмовим напилюванням……49
4. Висновки……58
5. Список використаних джерел……59

Вступ

В процесі функціонування мобільної сільськогосподарської техніки спостерігається зміна її технічного стану, головними причинами якого є зношування, процеси втомного руйнування, пластична деформація деталей, корозійне зношування. Пластична деформація металу і втомне руйнування деталей є наслідком певних конструктивно-технологічних недоробок або як наслідок порушення правил експлуатації, а також відбувається внаслідок природнього зношування деталей.

Для зменшення витрат при експлуатації автотракторних двигунів внутрішнього згорання доцільно використовувати відновлення зношених деталей та повторне їх використання. В першу чергу це стосується базових деталей двигунів. До таких деталей відноситься зношений колінчастий вал, який часто становить майже половину вартості двигуна.

Актуальність теми дослідження. На сьогоднішній день в агропромисловому комплексі України (АПК) доцільне використання спеціального обладнання, що досягається своєчасним проведенням технічного обслуговування та високою якістю виконанням ремонтних робіт. При цьому необхідно врахувати, що вартість запасних деталей становить практично 70% загальної вартості проведення ремонту, а вартість відновлених деталей - 40...60% вартості нових. Отже, завдання відновлення з метою подальшого використання робочих вузлів та механізмів спеціального обладнання є актуальним.

Отже доцільним є розгляд таких шляхів вирішення підвищення ресурсу та відновлення працездатності, як модернізація існуючих зразків техніки, відновлення деталей, механізмів та вузлів зі зміцненням їх робочих поверхонь шляхом застосування нових технологічних процесів та матеріалів.

У сільському господарстві при транспортуванні зернових культур та інших матеріалів активно використовуються транспортні засоби, що як правило, оснащуються дизельними двигунами внутрішнього згорання. Ресурс

і працездатність двигуна безпосередньо залежать від ступеня зношування робочих поверхонь колінчатого валу, зокрема корінних та шатунних шийок.

Слід відмітити, що до 50% усіх проблем, пов'язаних із зносом деталей машин у секторі сільського господарства, припадає на абразивне зношування.

Для відновлення та зміцнення робочих поверхонь деталей машин та механізмів АПК активно застосовують газотермічні технології з нанесення покриттів, зокрема плазмове напилювання.

Проте на сьогоднішній день наукові дослідження з вибору раціональних режимів плазмового напилювання на сталеві робочі поверхні деталей, що експлуатуються в умовах абразивного зношування, недостатньо вивчені.

Дана робота присвячена відновленню робочих поверхонь колінчастих валів автотракторної техніки в АПК, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, плазмовим напилюванням зносостійких покриттів.

Об'єктом дослідження: процес плазмового напилювання порошкових покриттів.

Предметом дослідження є режими плазмового напилювання та покриття, нанесені газотермічним способом плазмового напилювання на робочі поверхні колінчастого валу мобільної сільськогосподарської техніки та транспортних засобів.

Мета роботи: підвищення зносостійкості в процесі відновлення робочих поверхонь колінчастих валів газотермічним способом плазмового напилювання захисного покриття.

Завдання дослідження:

1) отримати аналітичні вирази кінематичних параметрів плазмового напилювання від геометричних розмірів робочих поверхонь колінчастого валу для формування зносостійкого порошкового покриття;

2) визначити раціональні технологічні режими нанесення матеріалу плазмовим напилюванням;

3) побудувати регресійні моделі залежностей фізико-механічних

властивостей нанесених покриттів на робочі поверхні шнека від технологічних параметрів плазмового напилювання;

Наукова новизна роботи:

1. розроблені технологічні режими плазмового напилювання дисперсно-наповненого композитного матеріалу, що відрізняються коригуванням параметрів залежно від дисперсності та порошку покриття;
2. отримані регресійні моделі, що зв'язують параметри напилювання з фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками сформованих покриттів;

Практична значимість роботи. Запропоновано склад порошкового матеріалу для напилювання на робочі поверхні колінчастих валів та забезпечує високі фізико-механічні та експлуатаційні властивості відновлених поверхонь.

Розроблено технологічні режими плазмового напилювання дисперсно-наповненого композитного матеріалу, що забезпечують високу когезію та зносостійкість покриття, а також необхідну міцність його зчеплення з основою.

1. Аналіз стану питання

1.1. Аналіз причин зношування та руйнування колінчастих валів автотракторних двигунів

Колінчасті вали автомобільних двигунів зазвичай виготовляють з вуглецевих сталей, які, в порівнянні з легованими, менш схильні до виникнення різного роду дефектів і не вимагають складної термічної обробки. Якщо необхідні більш високі механічні властивості, застосовують низьколеговану сталь 40Х з підвищеною в'язкістю. Колінчасті вали, в залежності від ступеня напруженості, виготовляють з сталей 45, 40Х, 30ХМА, 40ХМА.

Поверхневу твердість і зносостійкість шийок валів із сталей 45, 40Х підвищують до 50-55 HRC високочастотним загартуванням. Твердість шийок і втомлену міцність всього вала іноді збільшують азотуванням.

Характерними дефектами колінчастих валів двигунів є знос і задири шийок, деформації, тріщини і поломки [1, 2, 3.]. Тріщини і поломки валів виникають як в шийках в області галтелей, так і в щоках. Причиною тріщин і поломок є циклічні напруження, що призводять до виникнення втомлених тріщин. В процесі експлуатації межа витривалості колінчастих валів знижується на 25-30%. Ресурс роботи колінчастого вала залежить від його межі витривалості і зносостійкості робочих поверхонь [4, 5, 6].

Основною причиною відмов колінчастих валів більшості двигунів є знос шийок [3, 4, 5.]. Знос має нерівномірний характер як по колу, так і по довжині шийки. В результаті зношування зазори в парі тертя «вкладиш - шийка колінчастого вала» і параметри шорсткості шийок зростають, що призводить до розриву мастильної плівки і задирам робочих поверхонь. Задири шийок в свою чергу призводять до провертання вкладишів, деформації валу і підплавлення

антифрикційного шару вкладишів.

Слід зазначити, що швидкість і нерівномірність зношування шийок більша, ніж швидкість і коефіцієнт нерівномірності зношування вкладишів [5].

Передчасне зношування робочих поверхонь колінчастих валів вище граничних значень веде, як правило, не тільки до значних витрат на ремонт або заміни валів, а й до збитків через простій автомобіля в ремонті. Через підвищення швидкості зношування робочих поверхонь колінчасті вали часто експлуатуються шліфованими під останній ремонтний розмір, або вибраковуються через зношування вище граничних значень, при цьому не відпрацювавши до нормативного ресурсу.

В роботі [6] підтверджено відомі положення про можливість розривання мастильної плівки при нестаціонарних режимах роботи, які спостерігаються в період пуску в роботу підшипникового вузла ковзання, що може привести до явищ задирання і, як наслідок, до катастрофічного руйнування підшипникового вузла колінчастого валу.

Оцінка надійності колінчастих валів дизелів після ремонту шляхом шліфування під ремонтний розмір показала, що вони мають низький ресурс внаслідок зниження межі витривалості, тому необхідно застосування методів їх зміцнення [7]. Крім того, при використанні технології перешліфування під ремонтний розмір часто знімається загартований або азотований поверхневий шар, що забезпечує необхідну зносостійкість шийки вала.

Таким чином, основною причиною відмов колінчастих валів двигунів є знос і задири шийок. Отже, підвищення довговічності колінчастих валів можливо тільки шляхом збільшення зносо- і задиростійкості шийок технологічними методами. Однак, в літературі недостатньо інформації за видами причин і наслідків відмов колінчастих валів.

Колінчастий вал двигуна внутрішнього згоряння працює в умовах дії змінних сил і моментів від тиску газів у циліндрі двигуна, інерційних сил через нерівномірність руху деталей шатунно-поршневої групи й вібрацій від

крутильних і згинаючих коливань вала [7].

Під впливом одночасного впливу тиску газів і сил інерції (а також їх моментів) у колінчастому валу виникають циклічно змінні напруження кручення й згину. Напруження кручення можуть досягати дуже великої величини, особливо у випадку співпадіння частоти зміни збуджучої їх сили із частотою власних крутильних коливань вала. Це приводить до утворення в найбільш напружених місцях втомлених тріщин, розвиток яких може викликати поломку вала.

Руйнування колінчастих валів від утоми починається, звичайно, біля вихідного отвору для мащення корінних і шатунних шийок і в галтелях у сполученнях шийок із щоками. Запас втомної міцності для автотракторних валів невеликий і рівний 1,5...3,0 [8]. Тому, утома може виявитися лімітуючим фактором, що визначає службову довговічність вала, його витривалість.

Зміни величин зазорів і овальності шийок вала по мірі зносу впливають на роботу підшипника (рис. 1.4) [9]. Встановлено, що в підшипниках двигунів мінімальна товщина мастильного шару може зменшуватися від 11,5 мкм при початкових умовах експлуатації до 5 мкм при граничних зазорах (0,35 мм) і максимальних рекомендованих в експлуатації температурах масла (до 67 ° С). При граничних зазорах і максимальних рекомендованих температурах масла на вході (75° С) середня мінімальна товщина мастильного шару зменшується до величин, коли не забезпечується рідинне тертя в вузлі. Ще більше зменшення товщини шару має місце в підшипниках.

В процесі роботи двигуна відбувається знос шийок валу і вкладишів. Причому знос нерівномірний по колу шийки, в результаті чого виникає овальність шийок вала, яка надає складного впливу на характеристики підшипників. У зонах найбільшого зносу радіус кривизни поверхні збільшується, що зменшує різницю радіусів і підвищує реакцію мастильного шару в цій зоні. Одночасно овальність викликає значні додаткові переміщення шийки уздовж лінії центрів з більшими, ніж у незношених вала, швидкостями, що призводить

до зменшення мінімальної товщини мастильного шару. Установлено [9], що зі збільшенням овальності шийок товщини мастильного шару в усіх вимірюваних точках шийки вала зменшуються.

По мірі збільшення *овальності* шийок зростає биття колінчастого вала, яке, в свою чергу, впливає на їх зношування. Встановлено [10], що між зносом шийок колінчастих валів і биттям є кореляційна залежність. Биття не тільки збільшує знос шийок, що в свою чергу ще більше збільшує биття, але і збільшує дисбаланс колінчастого вала і вібрацію двигуна, а це веде до зменшення втомної міцності вала.

Конусоподібність шийок веде до збільшення зносу деталей циліндро-поршневої групи внаслідок зростання непаралельності осі шатуна осям гільзи циліндра і поршня.

Таким чином, знос шийок валу викликає погіршення умов роботи підшипників і всієї циліндро-поршневої групи, тому величини овальності і конусоподібності слід обмежувати. Однак, як показує досвід, гранична овальність шийок встановлюється головним чином з міркувань забезпечення необхідного запасу міцності колінчастого вала.

Аналіз основних дефектів колінчастих валів дизельних двигунів КамАЗ-740 представлений на рис. 1.1.

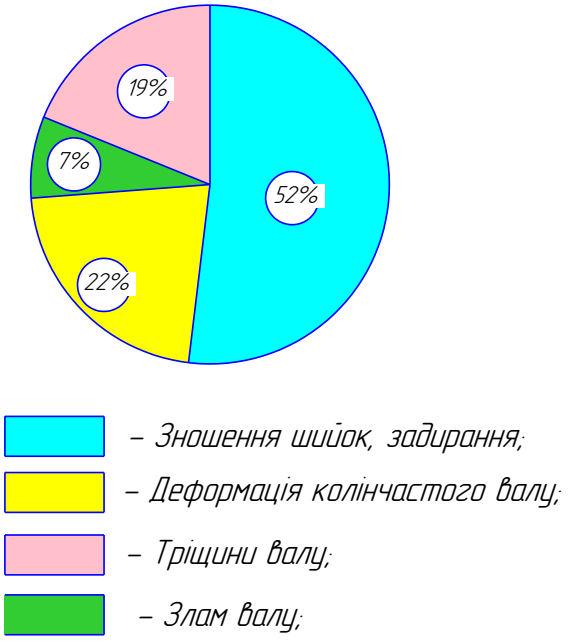
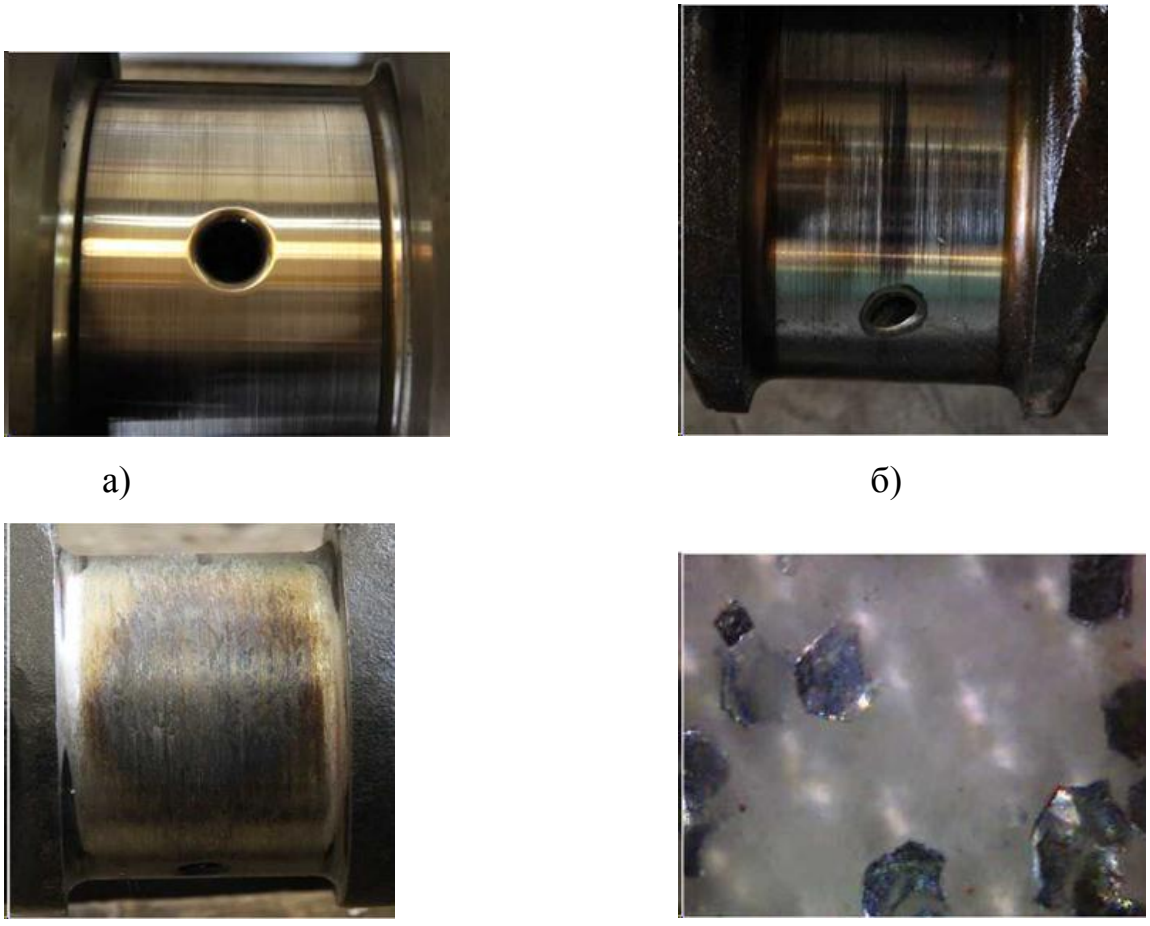


Рисунок 1.1 - Аналіз можливих дефектів колінчастого валу

Відзначено, що «середня величина відхилення від номінального діаметра в зоні найбільшого зносу (при нормальному зносі) корінних шийок становить 0,027 мм, а шатунних 0,029 м. Биття середньої шийки для нормально зношених валів знаходиться в межах від 0,02 мм до 0,17 мм, при цьому середня величина биття становить 0,054 мм, а для аварійного зносу в межах від 0,040 мм до 0,730 мм, при середній величині биття - 0,227 мм» [10].

Природа зношення шийок колінчастих валів може мати різний характер.

На рис. 1.2. показано основні прояви зношення шийок: риски задирання, прихоплення вкладишів та корозія.



а) б)

в) г)

Рисунок 1.2 – Зношення поверхонь шийок колінчастих валів

Таким чином, для підвищення довговічності та поліпшення умов

експлуатації підшипників колінчастих валів двигунів необхідно:

- підвищувати зносостійкість шийок валів;
- забезпечувати більш високу зносостійкість шийок в порівнянні з зносостійкістю антифрикційного шару вкладишів підшипників ковзання.

1.2 Огляд методів відновлення працездатності автомобільних деталей

Купувати нові колінчаті вали замість зношених економічно недоцільно через їх високу вартість. Рішення проблеми ресурсозбереження вимагає застосування прогресивних і високотехнологічних методів відновлення і зміцнення зношених поверхонь колінчастих валів. Для відновлення колінчастих валів двигунів застосовують три технологічні схеми [12, 13]:

- шліфування шийок на ремонтний розмір;
- шліфування шийок на ремонтний розмір з подальшим зміцненням;
- нанесення покриття для відновлення номінального розміру шийок з подальшим або одночасним зміцненням.

Колінчасті вали двигунів, відновлені, в основному, методом ремонтних розмірів або різними способами нанесення металопокриття на зношені поверхні шийок по надійності не відповідають вимогам нормативно-технічної документації. Це пов'язано з тим, що перед відновленням колінчастого вала не виявляється рівень накопичених пошкоджень в процесі попередньої експлуатації та комплексно не оцінюється його якість після відновлення. Тому, розробка і використання ефективної технології відновлення колінчастих валів двигунів пов'язана з оцінкою довговічності, що є актуальним завданням ремонтного виробництва.

В даний час застосовуються або знаходяться на стадії промислового впровадження наступні технології відновлення і зміцнення зношених поверхонь колінчастих валів двигунів:

1) Механотермічне формування поверхні
2) Наплавлення зносостійких шарів
3) Напилювання

4) Іонно-плазмове осадження

5) Плакування

6) Механічне зміцнення.

Метод *механотермічного формування* полягає в тому, що захисний шар кристалізується з розплаву металу в стиснутих умовах під навантаженням. При цьому в ньому відсутні порожнини і наскрізні пори, основний метал практично не плавиться і не потрапляє в наплавлений шар, що надійно з'єднується з основою. «Використовують дві технологічних схеми: фрикційне і електроконтактне формування.

Перша технологічна схема містить у собі притиснення з певним зусиллям до поверхні деталей з матеріалу майбутнього покриття. Можливий і інший варіант, коли за допомогою пуансона притискається брикет із гранул або стружки. Поверхня, що потім покривається, із заданою швидкістю приводиться в циклічний рух. Матеріал, який наноситься, треться по поверхні деталі і на межі виділяється теплота. У певний момент часу температура контакту досягає точки плавлення. Плавлення, а отже формування зносостійкого шару, відбувається під тиском від 5 до 100 МПа при швидкості ковзання 1...8 м/с. При цьому час формування шару складає 5...70 с» [15].

Цим способом створюється покриття товщиною від 0,5 до 10 мм. На сталеву основу наносяться шари з залізних, мідних, алюмінієвих та інших сплавів. Розглянутий технологічний метод має певні конструктивні обмеження, оскільки придатний виключно для циліндричних деталей, що перебувають у обертальному русі. Принциповою умовою застосування методу є температурна диференціація матеріалів: температура плавлення покривного шару повинна бути нижчою за температуру основного матеріалу. Науково доведено ефективність використання методу для формування міцного покриття на внутрішніх поверхнях циліндрів двигунів, що каталізує виникнення селективного трансферного механізму.

Електроконтактна технологія формування покриттів базується на теплогенеруючому ефекті проходження електричного струму крізь високоомний

гранульований матеріал, який фіксується з визначеним силовим навантаженням на поверхні виробу. Принципова перевага методу полягає в універсальності геометричних параметрів оброблюваних поверхонь та відсутності критичних температурних обмежень. Технологічний спектр передбачає нанесення широкого діапазону матеріалів: легованих сталей, твердосплавних композицій, зносостійких сполук.

Процес електроконтактного наплавлення реалізується за принципом контактного з'єднання. Матеріал (переважно стрічкового типу) фіксується електродом на поверхні виробу. Електрофізичні параметри характеризуються різницею потенціалів у діапазоні 2-12 В. Джерелом електричного струму слугує стандартний зварювальний трансформатор. У випадку обробки протяжних деталей конструктивною особливістю виступає електрод-ролик, який забезпечує безперервність нанесення захисного покриття.

Наплавлення зносостійких шарів є пріоритетним напрямком відновлення деталей машин. Сучасна технологічна парадигма презентує широкий спектр методологічних підходів, диференційованих за характером теплогенерації, способами протекційного захисту та рівнем автоматизації технологічних процесів.

У перебігу наплавлення розплавлений металургійний матеріал вступає в активну взаємодію з навколишнім середовищем, що супроводжується комплексом фізико-хімічних перетворень. Зокрема, відбуваються процеси випаровування окремих компонентів при високотемпературних режимах, утворення нерозчинних хімічних сполук. Зазначені трансформації характеризують як базовий, так і додатковий метали у зварювальній ванні.

Емпірично доведено, що додатковий метал зазнає більш суттєвих структурних модифікацій порівняно з основним металом через вищу питому контактну поверхню та інтенсивніші температурні режими. Модифікований у процесі зварювання метал дістав назву "наплавлений".

Найбільшого поширення набуло електродугове наплавлення, яке

реалізуєтьсяручним та частково автоматизованим способами. При механізованих технологічних процесах застосовують суцільнотягнутий дріт або стрічкові електродні матеріали.

Важливою характеристикою наплавленого металу є вміст вуглецю. За умови концентрації понад 0,4% з'являється можливість отримання варіативних гартівних структур (троостит, мартенсит) шляхом варіювання швидкісних режимів охолодження.

Твердісні характеристики наплавленого металу безпосередньо корелюють з його мікроструктурою. Наявність карбідних, нітридних та інших хімічних включень суттєво підвищує механічну твердість та зносостійкість металургійного матеріалу.

Диференціація методів наплавлення здійснюється за критерієм протекційного середовища: газозахисні технології, флюсові методики тощо.

Газотермічні технології формування захисних покриттів з порошкових матеріалів становлять пріоритетний напрямок інженерної модифікації поверхонь. Методологія напилювання демонструє високу ефективність створення зносостійких шарів. Технологічний процес передбачає введення дисперсних часток порошку або рідкого розплаву у високотемпературний газовий потік, внаслідок чого при контактній взаємодії з поверхнею відбувається їх пластична деформація та надійна адгезійна фіксація. Науково класифіковано чотири основні різновиди технологічної реалізації: газополуменеве напилювання, електродугова металізація, детонаційне та плазмове диспергування матеріалів.

Іонно-плазмові технологічні методи характеризуються підвищеною результативністю. Принципова особливість методики полягає у необхідності створення глибокого вакуумного середовища, що зумовлює техніко-економічні обмеження та селективність застосування переважно для високовідповідальних прецизійних виробів. У вакуумній атмосфері метал зазнає послідовних фазових перетворень: газифікація, парування, іонізація, плазмоутворення з подальшим осадженням у середовищі реакційного або інертного газу.

Технологічний арсенал включає варіативні способи нанесення покриттів:

термічне випаровування, катодне та іонно-плазмове розпилення, бомбардувальне осадження. Як ініціюючий реагент використовуються азотовмісні або вуглеводневі гази, результатом чого є формування нітридних або карбідних структур.

Плакувальні технології створення багатошарових покриттів мають широке функціональне призначення: виготовлення деталей, відновлення геометричних параметрів після експлуатаційного зношування. Товщина захисного шару може сягати декількох міліметрів. Особливого поширення метод набув у виробництві ковзних електричних контактів з метою раціонального використання дефіцитних високопровідних матеріалів.

Технологічний процес забезпечується різними методиками: прокатування, дифузійне та електроконтактне зварювання, наплавлення, паяння. Формуються біметалічні композиції: стрічки, кільця з використанням порошкових металевих та керамічних матеріалів. Альтернативні методики включають шлікерне лиття з попередньою підготовкою суспензійних композицій, термічну обробку в конвеєрних печах.

Механічне зміцнення поверхонь є економічно доцільним та технологічно простим методом підвищення експлуатаційних характеристик виробів. Методологія базується на ефекті деформаційного зміцнення, що супроводжується суттєвим зростанням межі текучості та підвищенням твердості матеріалу внаслідок інтенсивної пластичної деформації.

Технологічний інструментарій включає: обкатування поверхонь роликами або кульками, вигладжування сферичними алмазними наконечниками, обробку дисперсним струменем сталевих або скляних мікрочасток.

Прогресивним напрямком удосконалення поверхневого шару виступає вібронакатування (вібровигладжування). Науково-технічна сутність методу полягає в реалізації пластичних властивостей металів через локальну деформацію мікровиступів без порушення суцільності поверхневого шару.

Технологічна схема передбачає синхронізацію обертального руху закріпленої деталі та осцилюючого переміщення робочого інструменту (алмазний

вигладжувач, кулька) з прикладанням навантаження та забезпеченням повздовжньої подачі.

Результатом технологічної обробки є формування мікрорельєфу з частковою або повною регулярністю. Характеристики мікроструктури визначаються режимними параметрами та умовами обробки поверхневого шару.

Технологічний процес вібронакатування характеризується обробкою поверхні деталі за гвинтовою траєкторією з використанням вібруючого робочого інструменту. Амплітудні коливання інструменту створюють складну просторову кінематику, що супроводжується нашаруванням нескінченної синусоїдної кривої. Результатом технологічної дії є формування мікроканавок глибиною від десятків мікрометрів, параметри яких детерміновані фізико-механічними властивостями оброблюваного матеріалу.

Вібронакатування постає фінішною технологічною операцією, яка забезпечує створення оптимальної мікроструктури поверхні з урахуванням варіативних експлуатаційних умов. Технологія має комплексний вплив: підвищення втомної міцності, зростання контактної жорсткості, інтенсифікація зносостійкості. Супутніми ефектами виступають зміцнення поверхневого шару через наклеп, збільшення мікротвердості, поліпшення параметрів шорсткості, мінімізація припрацювання спряжених поверхонь.

При формуванні мікрорельєфу з частково регулярною структурою відбувається зміцнення ділянок западин та навислих зон. У разі повного перекриття поверхні канавками реалізується тотальне зміцнення як опуклих, так і увігнутих ділянок мікрорельєфу.

Принципова особливість вібронакатування полягає у формуванні мікрорельєфу з радіусами мікровиступів та мікровпадин на порядки більшими порівняно з традиційними механічними методиками обробки. Сформована мікроструктура характеризується розширеною опорною поверхнею, підвищеною маслоємністю та високим ступенем однорідності.

Утворені канавки виконують функцію мастильних резервуарів. Продукти зношування та абразивні мікрочастки акумулюються на дні канавок і

транспортуються разом з мастилом за межі зони контактної взаємодії. Технологічний ефект виявляється у зниженні температури тертя, зменшенні коефіцієнта та моменту тертя, суттєвому підвищенні зносостійкості спряжених поверхонь.

Альтернативним технологічним підходом виступає деформаційне формоутворення поверхонь з використанням зміцнюючого інструменту. Методика передбачає використання накатних роликів з периферійною системою клиноподібних інденторів, наприклад гексагональної конфігурації. Технологія реалізується у варіантах холодного та термічно активованого накочування.

Розроблено комплексний інструментарій для практичної реалізації методу, визначено сферу застосування, оптимізовано технологічні режими, створено допоміжне обладнання для обробки типорозмірів деталей циліндричної, сферичної та площинної геометрії [18, 19]. Оцінка методів відновлення показала, що однією з перспективних технологій відновлення колінчастих валів є плазмово-порошкове наплавлення.

1.3 Характеристика газотермічних методів напилювання

Газотермічні покриття наносять з метою захисту поверхні від зносу та високої температури. Більшість способів покриття є універсальними. Класифікацію технологій газотермічного напилення формою напилення матеріалу (рис. 1) [20, 21].

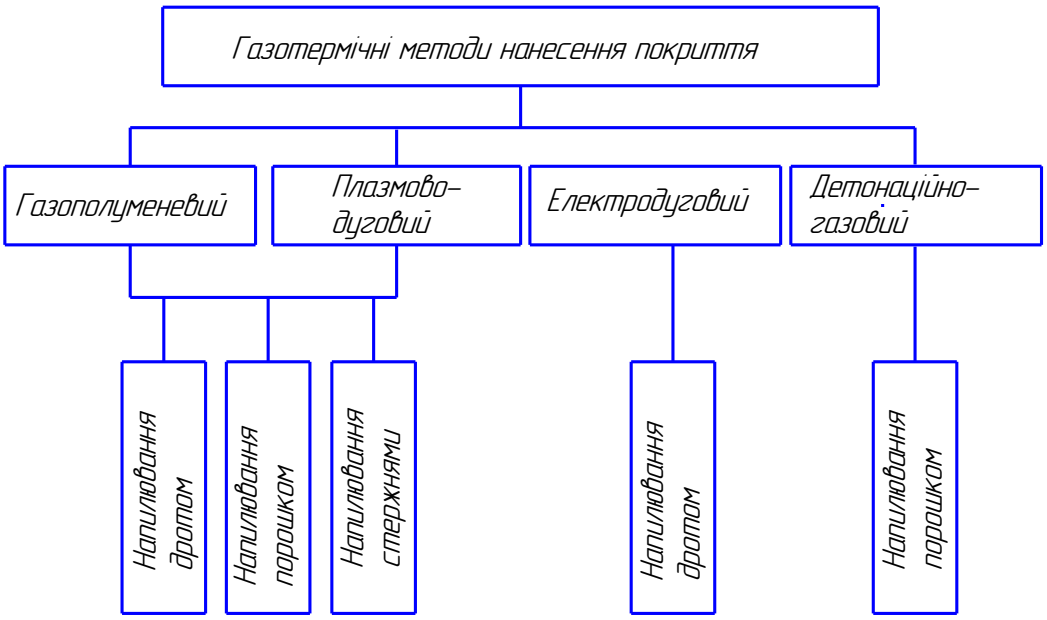
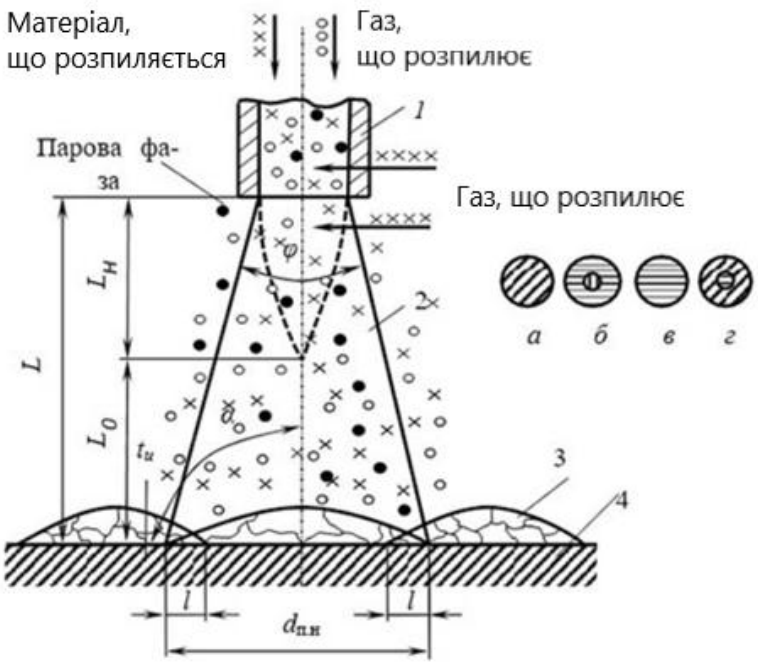


Рисунок 1.3 - Класифікація способів газотермічного напилення формою напилюваного матеріалу

Напилювання покриттів полягає в отриманні направленого потоку дисперсних частинок напилюваного матеріалу, що наноситься на деталь, що дає можливість створення зносостійкого шару покриття [22].

Покриття формується за рахунок зчеплення з поверхнею, що виникає при зіткненні частки з основою. Ці частинки являють собою порошок або можуть бути отримані розплавленням і газовим дробленням вихідного матеріалу (дрот, стрижні, пластифікована маса). Прискорення часток набувають у різних високотемпературних газових середовищах. Нагрів напилюваного матеріалу проводять для підвищення пластичності та адгезійної здатності частинок.

Схема процесу газотермічного напилення показано на рис. 1.4. Розпилюваний матеріал у вигляді порошку, дроту або стрижнів подається до зони нагрівання. Розрізняють радіальну та осьову подачу матеріалу. Нагріті частинки розпорошують газом, основне призначення якого - прискорення частинок, що напиляються в осьовому напрямку, але поряд з цим він може виконувати й інші функції. При подачі в зону нагріву дроту або стрижнів газ, що розпилює, диспергує розплавлений матеріал, у ряді методів напилювання він виконує і функцію нагріву [23].



(φ – кут розбіжності потоку; α – кут зустрічі потоку з поверхнею напилення; $d_{п\,н}$- Діаметр плями напилення;

t_i- Температура напилюваного виробу; l – перекриття проходів; L – дистанція напилення; $L_н$- Початковий ділянку;

L_0– основна ділянка струменя): 1 – соплова частина генератора частинок; 2 – двофазний струмінь;

3 – покриття; 4 – елемент поверхні напилення

Рисунок 1.4 - Схема процесу газотермічного напилення покриттів

Частинки, що надходять на поверхню формування покриття, повинні забезпечувати утворення міцних міжатомних зв'язків у процесі зчленування, для чого необхідне їхнє нагрівання та відповідна швидкість. Температура частинок зумовлює термічну активацію в області контакту, а швидкість частинок при ударі поверхню створює умови для механічної активації поверхневого контакту. При високих швидкостях частинок у момент наголосу частина кінетичної енергії перетворюється на теплову.

Методи газотермічного напилення класифікують:

- за видами енергії;
- за видами джерела теплоти;
- за видами матеріалу, що розпилюється;
- за видами захисту;
- за ступенем механізації та автоматизації;
- за періодичністю потоку частинок.

По виду енергії розрізняють методи з використанням електричної енергії та методи, у яких теплова енергія утворюється за рахунок згоряння горючих газів.

Для нагрівання матеріалу, що розпилюється, використовують джерела теплоти: дугу, плазму, високочастотні розряди і газове полум'я. Відповідно до цього методи напилення називають: електродугова металізація, плазмове напилення, високочастотна металізація, газополум'яне напилення, детонаційно-газове напилення. Перші три методи відносяться до газоелектричних, останні – до газополум'яних [23].

Поширені зараз методи напилення за видом захисту: без захисту процесу, з місцевим захистом та із загальним захистом у герметичних камерах.

Ступінь механізації та автоматизації процесу

При ручних способах напилення механізована подача матеріалу, що наноситься. У механізованих способах передбачено також переміщення розпилювача щодо виробу, що напилюється. Найчастіше використовують рух напилюваних виробів щодо нерухомого розпилювача. Більшість методів напилення здійснюється безперервним потоком частинок. Для деяких методів можливе лише циклічне ведення процесу.

Параметри матеріалу, що розпилюється, та умов його введення

Одні з ключових параметрів матеріалу, що розпилюється, такі: фізико-хімічні властивості розпилюваних матеріалів, діаметр дроту і порошкових частинок і швидкість їх подачі в зону нагрівання і розпилення.

При газотермічному напиленні використовують дріт діаметром 0,5-5 мм, подача дроту 2-10 мм/с. Для напилення порошками застосовують порошки з частинками діаметром 10 – 200 мкм. Зі збільшенням розмірів частинок їх прогріву необхідно підвищити потужності розпилювача.

Структура газотермічних покриттів

Пошарове напилення матеріалу відбувається в ході методичного накладання одна на одну окремих частинок (рис. 1.5). Нанесені шари зазвичай формують частинки розміром 10...150 мкм, які можуть мати різну швидкість та агрегатний стан. Тому матеріал покриття характеризується високим ступенем неоднорідності, шаруватою будовою та високою пористістю.

Удари частинок про тверду підкладку супроводжуються її деформацією. Процеси удару та деформації відбуваються одночасно із затвердінням частинки. При максимальній продуктивності напилення покриття має лускату структуру.

Формування газотермічних покриттів відбувається багатостадійно:

- формування напилюваного матеріалу є зближенням частинки і підкладки до відстані міжатомної взаємодії;
- утворення хімічного зв'язку між атомами внаслідок обміну електронами;
- відбувається об'ємна взаємодія, яка лімітується часом підтримання у зоні контакту високих температур.

Хімічні та теплові процеси, що відбуваються на всіх стадіях взаємодії частинки з підкладкою, визначають рівень зчеплення матеріалу покриття з основою.

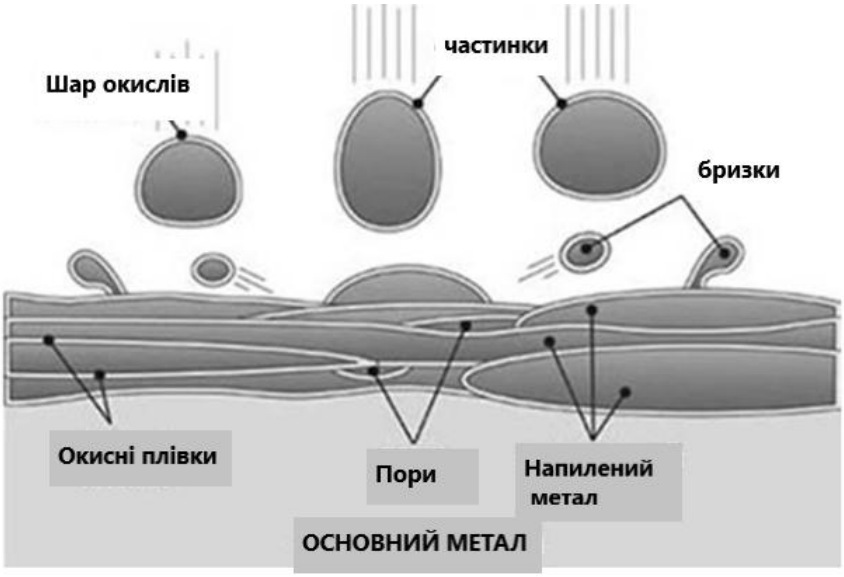


Рисунок 1.5 - Схема формування газотермічного покриття.

Напилюваний матеріал складається із структурних елементів: зерно, частка, шар. Через високі швидкості кристалізації в газотермічних покриттях можна отримати області з аморфною структурою. На поверхні відбувається адсорбція газів та осадження пилоподібної фракції. Кисень, що міститься у покриттях, сильно підвищує значення твердості напиленого матеріалу. Пори, заповнені газами, та конденсат негативно позначаються на розподілі та рівні залишкових напруг у покриттях.

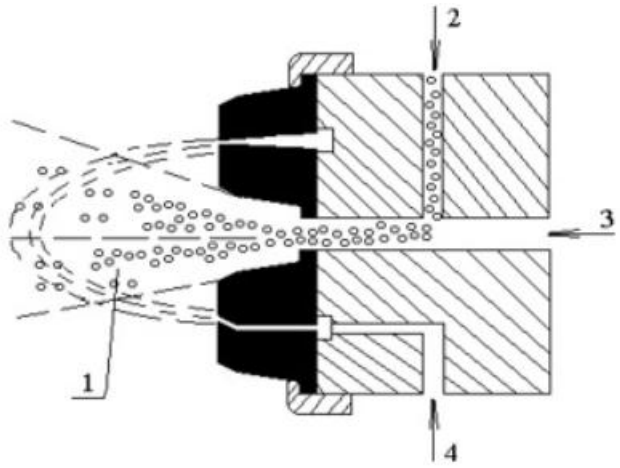
Газополуменеве напилення постає прогресивною технологією формування покривних шарів. Методологія базується на генерації спрямованого потоку дисперсних матеріальних часток з контрольованими параметрами температури та швидкості. Необхідний енергетичний потенціал забезпечується продуктами згоряння паливної суміші кисню та газу.

Технологічний процес передбачає подачу порошкового матеріалу у факел полум'я шляхом інжекції газовим струменем або під дією гравітаційних сил. Як робочі гази застосовуються ацетилен, кисень, пропан-бутан, азот або очищене стиснене повітря.

При цьому способі нанесення покриттів використовується тепло, що виділяється при згорянні: ацетилену, пропан-бутану, водню, метану,

природного газу в суміші з киснем або стисненим повітрям (рис. 4). Температура продуктів згоряння горючих газів досягає 3000°С, тому переважно використовувати, зважаючи на найбільшу ефективність теплового потоку ацетиленокисневе полум'я. Газ при витіканні в необмежений простір, заповнений повітрям або іншим газом, утворює струмінь, що називається факелом.

Периферійні ділянки струменя залучають до руху повітря чи інший газ із довкілля. У міру збільшення рушійної маси і зниження її швидкості переріз струменя безперервно збільшується, і весь струмінь набуває форми конуса, що розширюється. Кут розкриття струменя дорівнює 25°С.



1 – газове полум'я; 2 – подача порошку; 3 – подача стисненого повітря; 4 - підведення горючої суміші газів

Рисунок 1.6 - Схема процесу газополум'яного нанесення покриттів із порошкових матеріалів:

Температура палива ацетилену досягає 3200°С, а швидкість закінчення 150-160 м/с. Потрапляючи в струмінь, частинки порошку розплавляються або стають пластичними і набувають швидкості близько 80 м/с. Швидкість польоту частинок порошку залежить від співвідношення кисню і пального газу в суміші, витрати газу, що обдуває, відстані від зрізу сопла, витрати вводиться в полум'я порошку і його щільності.

Визначальними перевагами газополуменевого напилення виступають: висока продуктивність (до 8-10 кг/год), раціональне використання матеріалу (понад 95%), локальність термічного впливу, мінімальна деградація оброблюваної поверхні, можливість нанесення покриттів на великогабаритні вироби, технологічна гнучкість у виборі матеріалів покриття.

Критичний аналіз газополуменевої технології нанесення покриттів виявляє низку технологічних обмежень:

-температурні параметри плавлення матеріалу не перевищують 3000°С;

- недостатня адгезійна міцність з'єднання покриття з базовою поверхнею (5-25 МПа при стандартних випробуваннях на відрив);

- висока пористість утворених шарів (5-25%), що унеможливлює застосування в агресивних корозійних середовищах без додаткової технологічної обробки;

- низький коефіцієнт використання теплової енергії газового згоряння (2-12%) для нагрівання матеріалу.

Технологічний потенціал газополуменевого напилювання характеризується широким спектром функціональних застосувань:

- відновлення геометричних параметрів зношених конструктивних елементів;
- підвищення твердісних характеристик поверхонь;
- забезпечення зносостійкості та термічної стабільності;
- формування теплоізоляційних та декоративних покриттів.

Плазмове напилення постає найбільш універсальною газотермічною технологією модифікації поверхонь. Принципова методологія базується на формуванні захисного шару з дисперсних часток, які акумулюють специфічний енергетичний потенціал внаслідок взаємодії з плазмовим струменем.

Визначальні параметри плазмової технології:

- температура плазмового струменя сягає 5000°С;
- швидкість витікання плазми - до 1000 м/с;

- швидкість диспергованих часток становить 50-200 м/с.

Швидкісні характеристики часток детерміновані комплексом фізико-технологічних факторів:

- геометричні параметри часток;
- щільність матеріалу;
- електричний струм дугового розряду;
- природа та витратні характеристики плазмоутворюючого газу.

Генерація плазмових струменів реалізується у спеціалізованих технічних пристроях - плазмотронах. Конструктивна схема плазмотрону включає водоохолоджувальні електродні елементи: стрижневий катод, кільцевий анод та ізоляційний компонент.

Технологічний процес передбачає введення плазмоутворюючого газу (аргон, азот високої чистоти, гелій, водень) в електричну дугу, що формується між катодом і анодом. Нагрітий газ трансформується у плазмовий струмінь, який витікає через соплову частину пристрою.

Розпилюваний матеріал вводиться в плазмовий струмінь у вигляді порошку або дроту за анодною плямою.

При плазмовому напиленні порошок вдується транспортним газом у плазмовий струмінь безпосередньо через спеціальні отвори плазмотрона.

Перевагами способу є:

- • одержання покриттів без лімітування за температурою плавлення матеріалу;
- • спосіб застосування для утворення потоку дугової плазми газових середовищ різного роду: аргону, гелію, водню, азоту, аміаку, природного газу, водяної пари;
- • можливість гнучкого корегування електричного та газового параметрів роботи плазмотрона, зокрема в процесі створення покриття, що дає можливість керувати енергетичними параметрами часток, що напиляються, і умовами створення покриття;

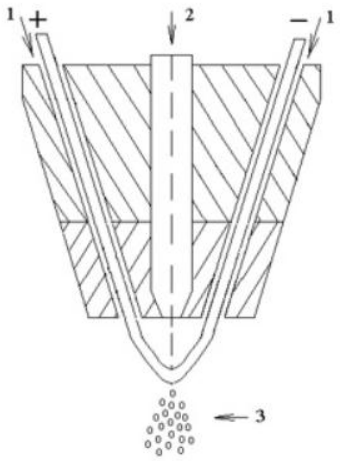
- • підвищена продуктивність процесу для плазмотронів із електричною потужністю 30-40 кВт.
- Досить високий коефіцієнт використання порошку 80%.

Недоліками способу:

- низька міцність зчеплення покриттів із підкладкою;
- висока пористість одержуваних покриттів;
- невисокий коефіцієнт корисного використання енергії плазмового струменя на нагрівання порошку;
- великий рівень шуму та випромінювання;
- Висока вартість обладнання.

Електродугова металізація. Ідея процесу електрометалізаційного напилення полягає в плавленні дроту електричною дугою та розпиленні розплавленого металу стисненим повітрям [28].

При електродуговій металізації (рис. 5) до дротів з матеріалу, що напилюється, 1 подається напруга від джерела постійного зварювального струму і збуджується електрична дуга. У дуговий проміжок через сопло 2 подається стиснене повітря, яке переносить розплавлений метал дроту у вигляді дрібних крапель до поверхні виробу, що напилюється. Деталь зазвичай знаходиться на відстані 20 см від сопла. Часто крім стисненого повітря використовують аргон, що дозволяє уникнути окислення матеріалу, що напилюється, і поліпшити якість покриття.



1 - дріт; 2 - сопло для подачі стисненого повітря; 3 - частинки, що розпиляються

Рисунок 1.7 - Схема електродугової металізації:

Дугова металізація на порядок перевершує газополум'яне напилювання, що дозволяє отримувати покриття з кращою адгезією.

Для електродугового методу напилювання застосвують дроти Нп-30, Нп-30ХГСА та Нп- 30Х13.

Основною перевагою даного методу напилювання є його висока універсальність та незалежність від природи матеріалу деталі. Можна отримувати покриття не лише на метали, але й на керамічні матеріали, дерево, бетон, полімери, тканини, папір. Це пояснюється тим, що напилювання не має істотного теплового впливу на основу. Аналогічно можна сказати і про матеріали, що напилюються. Виконують напилювання на кольорові метали і сплави, сталі, тверді сплави і кераміку, пластмаси, декоративні матеріали. Не важливі форма і розміри деталей.

Недоліками цього процесу є:

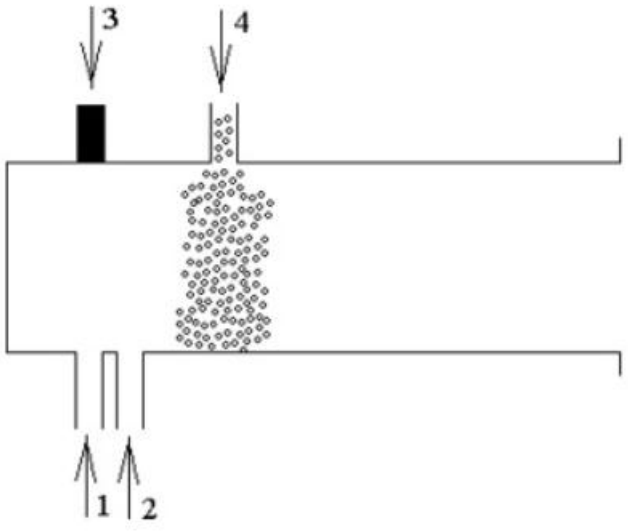
- можливість перегріву та окислення напилюваного матеріалу;
- формування покриттів з великою кількістю оксидів та високою пористістю;
- низька для низки умов експлуатації міцність зчеплення покриттів із підкладкою;
- значні втрати матеріалу, що розпилюється, через великий конус розпилу.

Детонаційний спосіб напилювання. Останнім часом для нанесення зносостійких твердосплавних покрить використовується метод *детонаційного напилювання* [29, 30]. Обладнання для детонаційного напилювання нагадує гармату, що вибухає порціями розігрітого порошкового матеріалу. У замкнутому обсязі камери згоряння, до якої монтується стовбур, подається

суміш кисню і пального газу (ацетилен, пропан-бутан і ін.). Ствол направляють на поверхню, що напилюється. Через завантажувальний отвір у камеру подається порошок. Суміш підпалюється електричною іскрою і вибухає. Розігріті частки разом із продуктами згоряння вдаряються об оброблювану поверхню і закріплюються на ній. Температура часток у момент удару досягає 4000 С. Частота вибухів - 3...4 за секунду. Недоліком методу є нерівномірний розподіл порошкового матеріалу по поверхні, який усувається методом оздоблювальної обробки шліфуванням. Так створюють покриття з окислів та карбідів вольфраму, титану і кобальту, нітридів титану і бору, окису алюмінію. Покриття володіють високою твердість і зносостійкість. Знос знижується до 10 разів.

Даний спосіб і розгін частинок матеріалу, що напилюється здійснюється за рахунок сил продуктів детонації газової суміші. Швидкість поширення детонаційної хвилі становить приблизно 4000 м/с, а температура 5500°С. Цим досягається швидкість частинок 500-1000 м/с.

Пристрій для напилювання (рис. 1.8) є каналом круглого або прямокутного перерізу, закритий з одного кінця. У канал через спеціальні механізми подається горючий газ та порошок. Для запалення використовують запали 3, які розташовані біля закритого торця.



1 – подача азоту; 2 – подача горючої суміші; 3 – блок ініціювання вибуху; 4 - подача порошку

Рисунок 1.8 - Схема детонаційного напилювання:

Робочий цикл детонаційного каналу складається з наступних процесів:

- заповнення камери пальним газом;
- подача порошку, що напилюється;
- займання та згоряння горючої суміші, що призводять до виникнення детонаційної хвилі;
- формування потоку частинок;
- вихід продуктів детонації за межі каналу та розрядження ударної хвилі;
- освіту на оброблюваної поверхні одиничної плями напилювання;
- заповнення каналу газом видалення продуктів горіння.

Як плазмоутворюючі гази застосовують: азот, кисень, ацетилен, пропан-бутан.

Габарити деталей при створенні покриттів обмежені лише технологічними здатностями приладів для пересуваннядеталей та розмірами звукоізольованої камери, в якому проводиться обробка.

Перевагами цієї технології є:

- спосіб одержання покриття з відмінною міцністю зчеплення;
- простота конструкції установки.

Спосіб має наступні недоліки:

- високий рівень шуму;
- технологічні лімітування на обробку маложорстких деталей, спричинені значними імпульсними тисками при дії струменя продуктів детонації на підкладку;
- обмеження по твердості поверхні, що напилюється.

Підготовка поверхні виробу до нанесення газотермічного покриття

Підготовча операція очищення поверхневого шару від забруднення збільшує ймовірність появи хімічних зв'язків між матеріалом, що напилюється, і деталлю.

Розрізняють такі етапи підготовки поверхні:

- механічні способи очищення та створення шорсткої поверхні;
- очищення та миття деталей перед напиленням;
- напилення підшару.

Від чистоти поверхні виробу залежить якість покриття, наявність на поверхні бруду, окисних та масляних плівок значно знижує адгезію. Забруднені деталі перед напиленням піддають ретельному очищенню.

Етапи очищення виробів від забруднення діляться:

- на механічне змивання;
- хімічні травлення в розчинах та розплавах;
- електрохімічні;
- ультразвукові;
- прожарювання в окисних, відновлювальних та нейтральних атмосферах;
- комбіновані.

Деталі, що працюють тривалий час в масляному середовищі, нагрівають у сушильних шафах, печах або газовими пальниками до 2500℃ для видалення масла з пор. Після цього деталі знежирюють, промивають водою і сушать.

Порошкові деталі, що містять велику кількість пір, та чавунні вироби можна обробляти парами спеціальних розчинів для видалення жирів та бруду.

Матеріали для газотермічного напилення

Для отримання покриттів методами газотермічного напилення застосовують матеріали у вигляді порошків, дроту, стрижнів. Часто використовуваними матеріалами покриття є порошки.

Порошкові матеріали є найпоширенішими у практиці газотермічного напилення. Порошки дозволяють формувати покриття з широким спектром

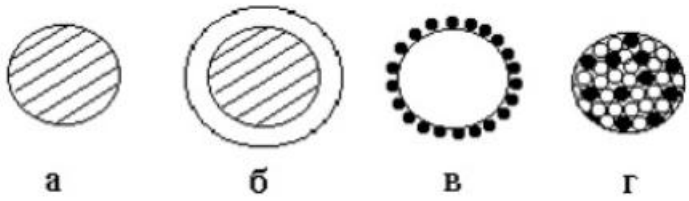
властивостей та різного призначення – зносостійкі, корозійностійкі, покриття для відновлення порушеної геометрії деталей, декоративні.

Для забезпечення рівномірної подачі та хороших аеродинамічних показників порошку використовують частинки округлої форми (10 мкм). Порошки для газотермічного напилення можна поділяються на такі групи:

- за типом будови частинок;
- характером поведінки при напиленні;
- за методами одержання;
- за призначенням.

За типом будови частинок розрізняють однорідні порошки різних матеріалів та гетерогенні композиційні (рис. 1.9). Плакована частка композиційного порошку складається з однорідної частинки і поверхневого шару з іншого матеріалу. Частинки композиційних конгломератних порошків складаються з окремих однорідних часток різнорідних матеріалів.

За характером поведінки частинок при напиленні порошки діляться на реагують при нагріванні та термонейтральні. До першого типу відносяться композиційні порошки, при напиленні яких відбувається синтез нових сполук речовин вихідного. При цьому кристалізація на підкладці супроводжується значним екзотермічним ефектом, що позитивно впливає на адгезію напиленого матеріалу. До реагуючих порошків відносять лише композиційні структури.



а – однорідний; б - композиційний плакований;

в, г - композиційні конгломератні

Рисунок 1.9 - Основні типи порошків для газотермічного напилювання.

Обробка газотермічних покриттів. Після газотермічного напилювання розміри деталі та якість поверхні не відповідають необхідним параметрам. Отже, після напилювання деталі з покриттями піддаються остаточній обробці. Для надання виробу необхідних розмірів для усунення шорсткості поверхні застосовують: різання, точіння та шліфування, свердління, стругання, фрезерування або обробку напилком [22].

Для зменшення пористості газотермічні покриття піддаються термічній обробці, просочення при підвищеній температурі, оплавлення або проплавлення. Оплавлення часто проводять тим самим джерелом, що і напилювання (газовим або іонізованим струменем).

Нагрів виробу з газотермічним покриттям може призвести до розвитку дифузії напиленого металу у виробі. В цьому випадку після остаточної обробки формується дифузійне покриття. Термічна обробка напиленого шару дозволяє знизити рівень залишкових напруг у покритті та підвищити міцність зчеплення покриття з основою.

Вироби з покриттями, що працюють у вузлах тертя, просочують оливою у ваннах за температури 80-100℃ протягом 5-10 годин.

1.4 Характеристика плазмового методу напилювання

Одночасно з удосконаленням сучасної техніки вимоги до якості матеріалів та поверхонь, пов'язані з необхідністю підвищення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей, стають дедалі жорсткішими. Їх зміни приводять до активного розвитку методів, що дозволяють отримувати найкращі показники якості поверхні, які можна досягти шляхом нанесення покриттів із заданими властивостями на вироби. Одним з перспективних методів нанесення покриттів є процес плазмового напилення, що дозволяє отримувати покриття широкого діапазону матеріалів з необхідними захисними, газодифузійними та іншими характеристиками.

Можна вказати наступні переваги плазмового напилення порівняно з аналогами - газополум'яним, електродуговим та детонаційним напиленням, процесами наплавлення та осадження [23]:

- гнучкість регулювання параметрів і режимів роботи плазмотрона дозволяють забезпечити ефективне управління енергетичними характеристиками частинок, що напиляються, і умовами формування покриття;

- можливість отримання покриттів із більшості матеріалів, при цьому за температурою плавлення обмежень немає;

- нанесення покриттів на вироби, виготовлені практично з будь-якого матеріалу;

- відсутність обмежень за розмірами напилюваних виробів, нанесення покриття на локальні поверхні;

- невисокий термічний вплив на поверхню, що дозволяє уникнути деформацій, змін розмірів виробів, небажаних структурних перетворень основного металу та ін.

Метод плазмового напилення дозволяє отримувати покриття з такими властивостями [24]:

- стійкість до абразивного, адгезійного зносу, зносу при терті та фреттингу;

- стійкість до утворення порожнин;

- електропровідність та електроізоляція поверхні;

- стійкість до хімічних впливів;

- корозійна стійкість;

- ударна стійкість;

- стійкість до окислення;

- теплопровідність та теплоізоляцію поверхні.

Суть процесу плазмового напилення полягає в тому, що у струмінь з плазми, яка має надвисокі температури і спрямований на оброблюваний об'єкт, подають дозовану кількість частинок металу. Останні розплавляються і

захоплюються струменем, осідають на поверхні деталі. До плазмового напилення вдаються у таких випадках:

- створення захисного шару на виробі. Це може бути механічне посилення, коли на менш міцну основу наносять міцніший метал. За допомогою дифузійної металізації також можна збільшити опір деталі корозійного впливу, якщо наносити плівку з оксидів або металів, мало схильних до окислення.

- відновлення зношених деталей. У цьому випадку за рахунок нового шару покриття можна усунути дефекти руйнування поверхні, щоб надати виробу початкового стану. Як матеріал для напилення тут використовують метал, ідентичний матеріалу основи.

Плазмове напилення відрізняється від інших видів напилення рядом особливостей: Завдяки тому, що плазма впливає на вихідну основу за допомогою надвисоких температур (5000-6000 градусів за Цельсієм), процес протікає в прискореному режимі. Іноді достатньо секунд, щоб отримати задану товщину напилення. Дифузійна металізація дозволяє наносити як моношар на поверхню, так і комбіноване напилення. За допомогою плазмового струменя можна доповнювати метал, що дифундується, елементами газу, необхідними для насичення шару елементарними частинками потрібних хімічних елементів.

При плазмовому напиленні практично відсутній ефект додаткового окислення основного металу. Це з тим, що реакція протікає серед інертних газів без залучення кисню. Фінальне покриття має високу якість за рахунок ідеальної однорідності та рівномірності проникнення атомів напилюваного металу в шар основи.

Методом дифузійної металізації плазмового типу можна отримувати шари завтовшки від кількох міліметрів до мікронів.

Технологія та процес напилення. При газоплазмовому напилюванні металів основою робочого газового середовища є інертні гази азот або аргон. Додатково за необхідністю технологічного процесу до основних газів може

бути доданий водень. Між катодом, в якості якого виступає електрод у вигляді гострого стрижня всередині пальника, і анодом, яким є сопло з міді, що піддається водяному охолодженню, в процесі роботи виникає дуга. Вона прогріває до необхідної температури робочий газ, який знаходить стан плазмового струменя. Одночасно до сопла подається металевий матеріал у вигляді порошку. Цей метал під впливом плазми перетворюється на субстанцію з високою здатністю до проникнення в поверхневий шар оброблюваного виробу. Розпилювальний під тиском розплавний матеріал осідає на підставі.

Сучасні плазмові пальники мають ККД у межах 50-70%. Вони дозволяють працювати з будь-якими металами, у тому числі й тугоплавкими металами. Плазмове напилення - повністю керований процес, що дозволяє регулювати швидкість подачі плазми, потужність та форму струменя. У разі відновлення форми деталі шляхом плазмового напилення технологічний процес має такі етапи:

- підготовка матеріалу, що напилюється. Суть процесу полягає в сушінні порошку в спеціальних шафах при температурі 150-200 градусів за Цельсієм. При необхідності порошок просіюють через сито для отримання однорідних за розміром гранул [23].

- підготовка підкладки чи основи. На цьому етапі з поверхні деталі видаляють усі сторонні включення. Це може бути окисли чи різні забруднення масляними речовинами. Для кращого зчеплення основа може бути піддана додатковому процесу утворення шорсткості. Якщо на виробі є ділянки, які не слід напилювати, їх закривають спеціальними екранами.

- напилення шару металу та операції із заключної обробки отриманої поверхні. До підкладки матеріал, що напилюється, може доходити в твердому стані, в пластичній формі або в рідкому вигляді. Це визначається режимом технологічного процесу.

Обладнання, що застосовується. Стандартний комплект установки плазмового напилення включає:

- джерело електричного живлення. Його призначення – живити схему формування високовольтного розряду та всіх систем;

- блок формування розряду. Залежно від пристрою схеми може генерувати іскрові розряди, високочастотні імпульсні напруги або суцільну електричну дугу;

- резервуари зберігання газу - це найчастіше звичайні газові балони;

- камера, де безпосередньо відбувається напилення. Всередину такого герметичного резервуару поміщають заготовку, що обробляється, і плазмотрон.

- встановлення вакуумного типу з насосом. Завданням цього агрегату є створення необхідного розрядження в камері та утворення тягового потоку для подачі робочого середовища.

- плазмотрон – пристрій, який має соплом для подачі робочого середовища та системою приводів для переміщення сопла в просторі.

- систему дозування порошку, що напилюється. Служить для точної подачі необхідної кількості матеріалу, що напилюється, в одиницю часу.

- охолоджувальну систему. Завданням цього елемента є відведення зайвого тепла від області сопла, через яке проходить розпечена плазма.

- апаратну частину. Вона включає комп'ютер, який управляє всім процесом плазмового напилення.

- систему вентиляції. Вона служить для відведення відпрацьованих газів із робочої камери.

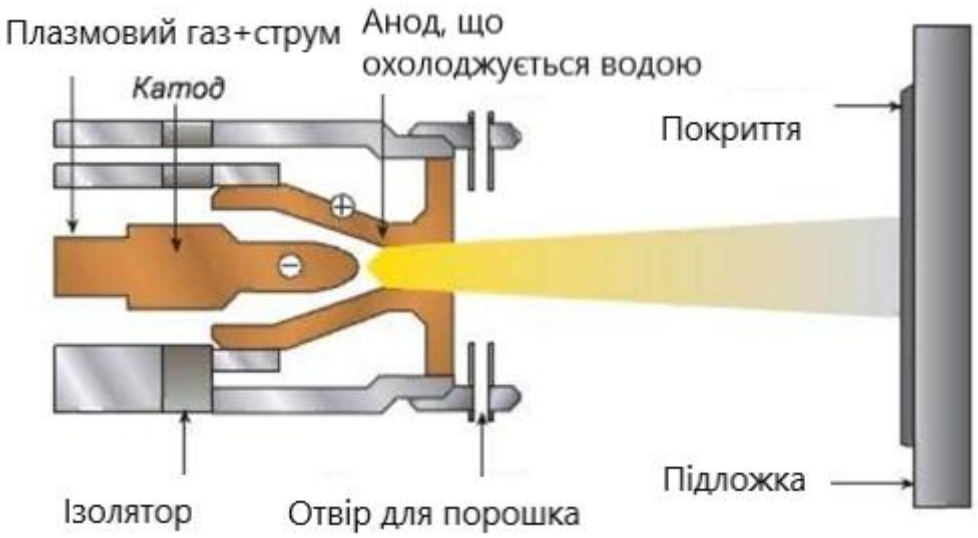


Рисунок 1.10 – Схема плазмового напилювання

2. Дослідне обладнання, методика та вибір матеріалу для напилювання

Дослідження проводилися на зразках виготовлені за ГОСТ 103-2006 товщиною 20 мм та шириною 75 мм із сталі 20Х (вуглець (С): 0,17-0,23 %, кремній (Si): 0,17-0,37 %, марганець (Mn): 0,5-0,8%, нікель (Ni) до 0,3%, сірка (S) до 0,035%, фосфор (P) до 0,035%, хром (Cr): 0,7-10%, мідь (Cu) до 0,3%) згідно з ГОСТ 4543-71.

Дисперсно-наповнений композитний матеріал, що використовується для напилювання на зношені поверхні шнека, заснований на порошку, що самофлюсується ПР-НХ17СР4 (ГОСТ 21448-75): (17 % хрому (Cr), 4,1 % кремнію (Si), 3,6 % бору (B), заліза (Fe) не більше 5% та 1% вуглецю (С)).

Наповнювачем композитного матеріалу під час проведених досліджень було обрано TiC (ТУ 304-2002).

В результаті напилювання формувалося зносостійке покриття, до складу якого входили основні елементи матриці порошку ПР-НХ17СР4 та TiC наповнювач.

При виконанні досліджень було застосовано дослідне обладнання та методики досліджень, використовуваних при відновленні і зміцненні зношених деталей автомобілів; методи дослідження напилених зразків; об'єкт реновації; методи дослідження покриттів, отриманих ППН на колінчасті вали; методика проведення експлуатаційних випробувань; оцінка достовірності при проведенні експлуатаційних випробувань.

За об'єкт відновлення був обраний колінчастий вал двигуна КамАЗ- 740.

Для нанесення покриттів використовувалася плазмова установка, напилювання зразків проводилося згідно з ГОСТ 28076-89 на установці плазмового напилювання УПУ-3Д з плазмотроном ПНК-50 з міжелектродною вставкою, що широко застосовуються на підприємствах, що спеціалізуються на ремонті та відновленні деталей машин та спеціального обладнання АПК рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Зображення установки для плазмового-порошкового

напилювання

Технічні характеристики установки представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика установки для плазмово-порошковго наплавлення.

Параметр	Значення
Застосовувані гази	$Ar+H_2$
Напруга живлення	400 V+50/60 Hz
Максимальна потужність	30 kVa
Струм плазми	280 A
Регулювання струму плазми	6-280 A
Напруга холостого ходу	80 V
Витрата плазмоутворюючого газу	0,1-5 л/хв
Витрата захисного газу	0,1-5 л/хв
Швидкість подачі порошку	3-80 гр/хв
Максимальний діаметр деталі, що наплавляється	500 мм
Максимальна довжина деталі, що наплавляється	1200 мм

При вирішенні поставлених завдань використовувалися сучасні методи випробувань і досліджень.

Мікроструктури порошків та покриттів. Для дослідження мікроструктури використовувався растрового електронного мікроскопа фірми «FEI» (виробництва Голландії) «Quanta 600 FEG» (рис. 2.2).

Металографічний аналіз проводився згідно з ГОСТ 1778-70 з використанням оптичного мікроскопа. З метою виявлення структурних складових покриття мікрошліфи досліджувалися без попереднього травлення.



Рисунок 2.2 - Растровий електронний мікроскоп «Quanta 600 FEG»

Мікротвердість.

Мікротвердість композитного покриття також вимірювалася на твердомірі ПМТ-3 при навантаженні 10 Н за ГОСТ 9450-76 (СТ РЕВ 1195-78) у поперечному перерізі зразка.

Твердість композитного покриття Hv (HRC) вимірювалася на твердомірі ПМТ-3 при навантаженні 50 Н ГОСТ 9013-59 (ІСО 6508-86) за методом Роквелла. Даний метод полягає у вдавлюванні алмазного конуса в попередньо зашліфовану поверхню зразка.

При обчисленні твердості користувались таблицями (додаток до ГОСТ 2999-75), в яких приведені значення макротвердості в залежності від залежного навантаження і довжини діагоналі відбитка (чим більша довжина діагоналі, тим менша твердість матеріалу).

Мікротвердість покриттів вимірювалася на твердомірі марки ПМТ - 3 по ГОСТ 9450-76.

При вимірюванні мікротвердості визначають твердість окремих фаз і структурних складових покриття, а не “середню” твердість, тому залежне навантаження відмітилось від вимірювання твердості дуже малими значеннями від 15 до 1000 гс і малими розмірами відбитка (ГОСТ 9450-76). Процес випробовування на приборі автоматизований, передбачена можливість

підключення цифроводрукуючого пристрою, тривалість витримки, під навантаженням від 5 до 45 с. Модель має таймери аналогового типу, які включають в себе програмований транзистор. Мікротвердість визначали по Віккерсу (рис. 2.3) на твердомірі марки ПМТ-3 (рис. 2.4).

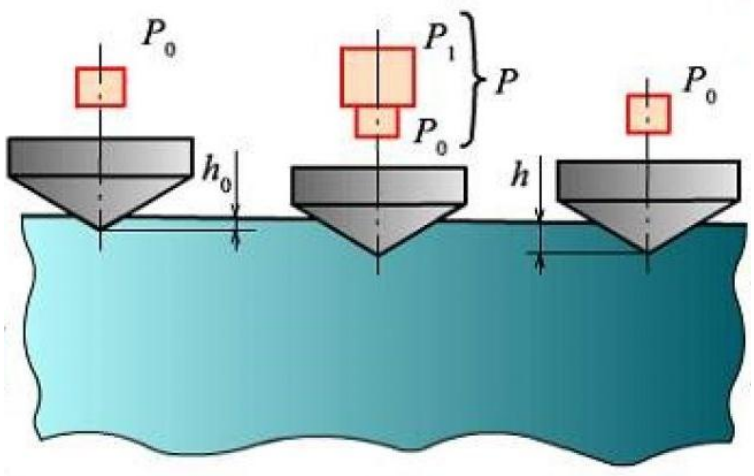


Рисунок 2.3 - Схема вимірювання мікротвердості по Роквелу.



Рисунок 2.4 - Твердомір марки ПМТ – 3.

Зносостійкість. Зносостійкість зразків досліджувалася відповідно до ГОСТ 23.20478 на триботехнічному комплексі, який включає в себе машину для випробування матеріалів на тертя на машині тертя СМЦ-2 (рис. 2.5).

Визначення зносостійкості композитного покриття проводилося на машині тертя СМЦ-2 згідно з ГОСТ 23.208-79. шорсткості та контуру деталей, профілактограф та аналітичні ваги.



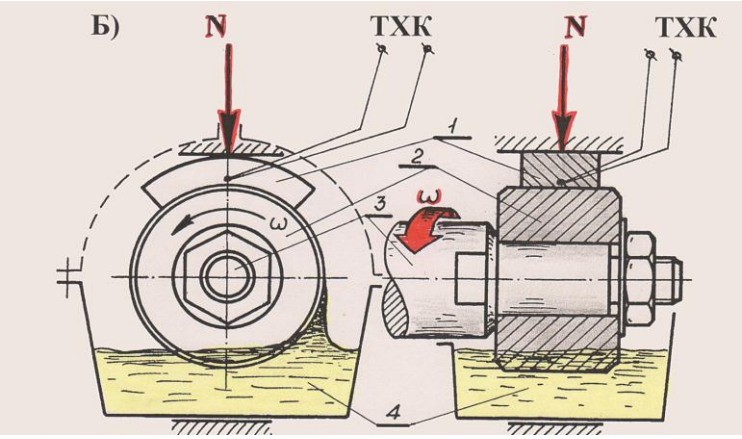
Рисунок 2.5 - Машина тертя СМЦ-2

Випробування проводилися за схемою «диск-колодка» (рис. 2.6) - при обертальному русі в режимі сухого тертя. В експериментах варіювали силу притискання колодки Р і окружну швидкість V.

Більшість вузлів тертя автомобільних та тракторних деталей працюють в умовах невеликих швидкостей ковзання, тому при проведенні досліджень швидкість ковзання змінювали перестановкою шестерень, і її величина складала від 0,13 до 2,77 м/с дослідження зразків на зносостійкість проводили за схемою "ролик-колодка" при змінному навантаженні.

В якості ролика служили зразки з покриттям отриманих наварюванням, а для проведення порівняльних характеристик використовували зразок з загартованої сталі 40. Розміри роликів: зовнішній діаметр 40 мм, ширина 10 мм. В якості контртіла були використані колодки з сталі 45 ГОСТ 1050-74. Розміри колодки: внутрішній діаметр 40 мм, площа контактної поверхні 10^{-4} м^2.

Перед початком досліджень зразки приробллялися протягом 0,5 год з метою досягнення сталого моменту тертя і температури в зоні тертя. Тривалість одного циклу досліджень складала близько 5 год. Величину зношення визначали мікрометричним методом за допомогою оптиметра.



1 – колодка; 2 – ролик; 3 – вісь; 4 – масляна ванна

Рисунок 2.6 – Вимірювання зносостійкості покриттів за схемою колодка-ролик

Вибір матеріалу для напилювання.

Вихідними технологічними матеріалами плазмового напилювання є порошки тугоплавких металів, оксидів, твердих сплавів, композиційних матеріалів дисперсністю 40-315 мкм, що зумовлено відносно низькою вартістю та простою технологією одержання порошків. До порошкових металевих матеріалів, що використовуються для напилювання основного захисного покриття, відносяться порошки кобальтових і нікелевих сплавів, що включають хром, вольфрам і залізо, що мають високу твердість, яка практично не знижується навіть при високих температурах, зносостійкості та антикорозійними властивостями. Такі сплави використовують для напилення з добавками бору і кремнію, утворюючи сплави, що самофлюсуються, покриття з яких виходять без порів, мають зносостійкість, ерозійну стійкість, корозійну стійкість, стійкість до окислення при високих температурах.

Вольфрам (W) може напилюватися на більшість металів. Покриття з вольфраму мають високу зносостійкість і корозійну стійкість. У нього висока температура плавлення (Тпл= 3683 К).

Молібден (Мо) добре зчепляється з поверхнею чорних металів, тому його часто використовують для напилення підшару, який потім наносять покриття

інших металів. Можуть використовуватися також сплави суміші на його основі (сплав Мо із залізом, титаном, кремнієм або суміші з добавками, наприклад, окису алюмінію або окису титану). Молібденові покриття мають високу зносостійкість.

Порошкові сплави на основі заліза з високим вмістом вуглецю мають низьку вартість, високу зносостійкість. Істотним недоліком таких порошків при напиленні є їхня схильність до окислення.

Група порошків на основі інтерметалідів (Ni-Ti; Ni-Al; Ni-Cr) внаслідок екзотермічних реакцій компонентів має гарні адгезійні властивості, забезпечує високі щільність і міцність.

Зважаючи на приведені групи порошкових матеріалів, при дослідженнях використовували 4 типи порошкових матеріалів: ПР-НХ17СР4, ПР-НХ17СР4+18%TiC, ПР-НХ17СР4+23,5% TiC, ПР-НХ17СР4+30% TiC .

3. Теоретичні та експериментальні дослідження плазмового напилювання порошкового матеріалу

3.1 Дослідження раціональних параметрів нанесення газотермічних покриттів на колінчасті вали мобільної сільськогосподарської техніки.

Розглянемо теоретичні передумови підвищення ефективності

відновлення деталей двигунів мобільної сільськогосподарської техніки плазмовим напилюванням композитних матеріалів.

При активній експлуатації автотракторних дизельних двигунів спостерігається сильний знос шийок валу. З метою усунення локального зношування та отримання якісного рівнотовщинного зносостійкого покриття, необхідно визначити швидкість переміщення плазмотрона щодо циліндричної поверхні v_1 (м/с) валу.

Вираз для розрахунку швидкості плазмотрону буде мати вигляд:

$$v_1 = \sqrt{r^2\left(\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)^2}, \qquad (1)$$

де $\frac{\partial\varphi}{\partial t}$ - швидкість обертання оброблюваної деталі, *м/с;*

$\frac{\partial z}{\partial t}$ - поздовжня швидкість переміщення плазмотрону, м/с.

r – радіус шийки валу, м/с.

В результаті переміщення плазмотрона щодо циліндричної поверхні колінчатого валу напилюваний матеріал осаджується у вигляді напіваликів з перекриттям сусідніх напіваликів.

Враховуючи отримане рівняння (1), виводимо рівняння для розрахунку товщини покриття на робочих поверхнях шийок колінчатого валу.

Товщина нанесеного шару на циліндричній поверхні валу Н (мкм)

$$H = \frac{\delta x\sqrt{\pi b}}{\sqrt{r^2\left(\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)^2}} x\left\{exp(-\frac{x^2}{b^2}) + exp\left[-\frac{1}{b^2}(x-A)^2\right] + exp\left[-\frac{(x+A)^2}{b^2}\right]\right\}, \qquad (2)$$

де δ - коефіцієнт, що характеризує швидкість збільшення товщини покриття в центрі плями розпилу;

А - відстань між рядами (крок зміщення), мкм;

b – радіус плями розпилення, мкм;

х – координата руху сопла плазмотрону щодо площини напилювання

деталі, мкм.

Одна з основних характеристик, що описують технологію плазмового напилювання - температура нагріву в різних точках зони термічного впливу деталі, що обробляється. Для аналізу теплових потоків, що приходять на гвинтову та циліндричну поверхні шнека, використовувалася модель променистого та конвективного теплообміну, яка ґрунтується на теорії прикордонного шару.

З метою недопущення короблення валу при його відновленні, а також для точного призначення робочого параметра плазмового напилювання - сили струму дуги плазмотрона проводилися дослідження в області нагрівання деталі при обробці плазми.

За результатами досліджень отримано рівняння температури нагрівання циліндричної Т (К) поверхні валу, а також величини зміщення ізотерми плавлення щодо ізотерми контакту Δт (м).

$$T = k_i \left[\frac{0.12\eta_u UI}{\pi\left(\frac{\lambda_{M1}+\lambda_{M2}}{2}\right)^{1-P} x\lambda_B^P x\sqrt{r^2\left(\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)^2}} x \frac{exp\left(\frac{z_1^2 c\rho_c}{4\lambda_0\tau}\right)}{\sqrt{(\tau(1/4ak+\tau)\pm const)}} + T_0 \right] x \frac{2\alpha_0}{c_0\rho_v L} + T_0$$

де η_u - ефективний ККД процесу нагрівання;

U - падіння напруги на дузі,

I – сила струму, А; ґ

λ_{M1} та λ_{M2} - коефіцієнти теплопровідності порошкового матеріалу;

$\lambda_в$ – коефіцієнт теплопровідності газу;

C_0 - теплопровідність транспортуючого газу, Вт/мК;

С - теплопровідність покриття, Вт/мК;

α_0 - коефіцієнт тепловіддачі (в загальному випадку він відображає спільну дію конвекції ($\alpha_к$) і випромінювання ($\alpha_р$), тобто $\alpha = \alpha_к + \alpha_р$;

ρ_v - щільність газу при відповідній температурі, кг/м3; м;

То - початкова температура матеріалу деталі, К;

λ_o - коефіцієнт теплопровідності двофазного композитного матеріалу; частинок у плазмовому струмені, сек;

a - коефіцієнт температуропровідності матеріалу деталі;

z – глибина плями нагрівання, м;

P – пористість покриття,

k – коефіцієнт зосередженості плазмового джерела нагрівання

ρ_c – густина покриття, кг/м^3

k_i – коефіцієнт зміни температури нагрівання поверхні деталі, що враховує відбиття теплових хвиль.

3.2 Експериментальне дослідження процесу нанесення композитних покриттів плазмовим напилюванням

При проведенні експериментальних досліджень щодо визначення раціональних технологічних режимів нанесення покриттів плазмовим напилюванням, а також їх впливу на фізико-механічні та експлуатаційні характеристики сформованих покриттів на робочих поверхнях колінчастого валу було отримано наступні результати.

У ході попередніх досліджень було виділено основні параметри плазмового напилювання (табл. 3.1) щодо багатофакторного експерименту.

Таблиця 3.1 - Основні характеристики багатофакторного експерименту

Найменування фактора	Діапазон факторів

Струм дуги плазмотрона I, А	200-250
Дистанція напилювання l, м	50-150
Швидкість обертання деталі n, об/хв.	35-55
Подача s, мм/об	4-6
Об'ємна витрата плазмо утворюючого газу, Qг, л/с	0,8-1,8
Масова витрата напилюваного матеріалу, mп г/с	0,3-0,5

Отримано рівняння регресії, що описує залежність адгезії від розміру (X1) та концентрації (X2) наповнювача (TiC) порошкового матеріалу

$$C = -324{,}83 + 5{,}89X_1 + 41{,}45X_2 - 0{,}04X_1^2 - 0{,}88X_2^2. \quad (2)$$

Центр оптимуму отриманої функції (2) визначався з використанням програмного комплексу MathCad. За основою аналізу двомірного перерізу (рис. 3.1) визначено область оптимуму критерію найвищої міцності зчеплення покриття з основою та обрано раціональний склад композитного матеріалу: карбід титану з дисперсною фазою 73,6 мкм (63-80 мкм) – 23,5 %; порошок ПР-НХ17СР4 (40-64 мкм) – 76,5 %.

Міцність зчеплення композитного покриття зі сталевою основою при даному складі порошку, що напилюється, досягає найбільшого значення - 380,093 МПа.

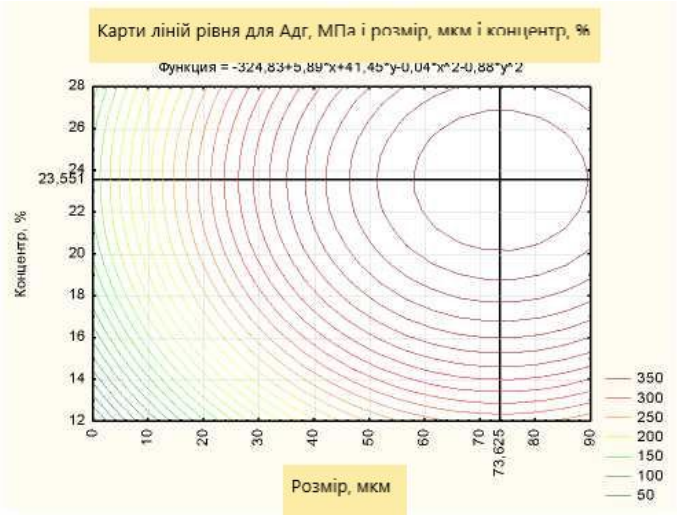


Рисунок 3.1 - Поверхня відгуку

За підсумками регресійного аналізу отримано залежності міцності зчеплення покриття з циліндричною основою СЦП (Па) від технологічних режимів напилювання.

$$\sigma зч = 93,86+1,11I-0,28l-0,42n \quad (3)$$

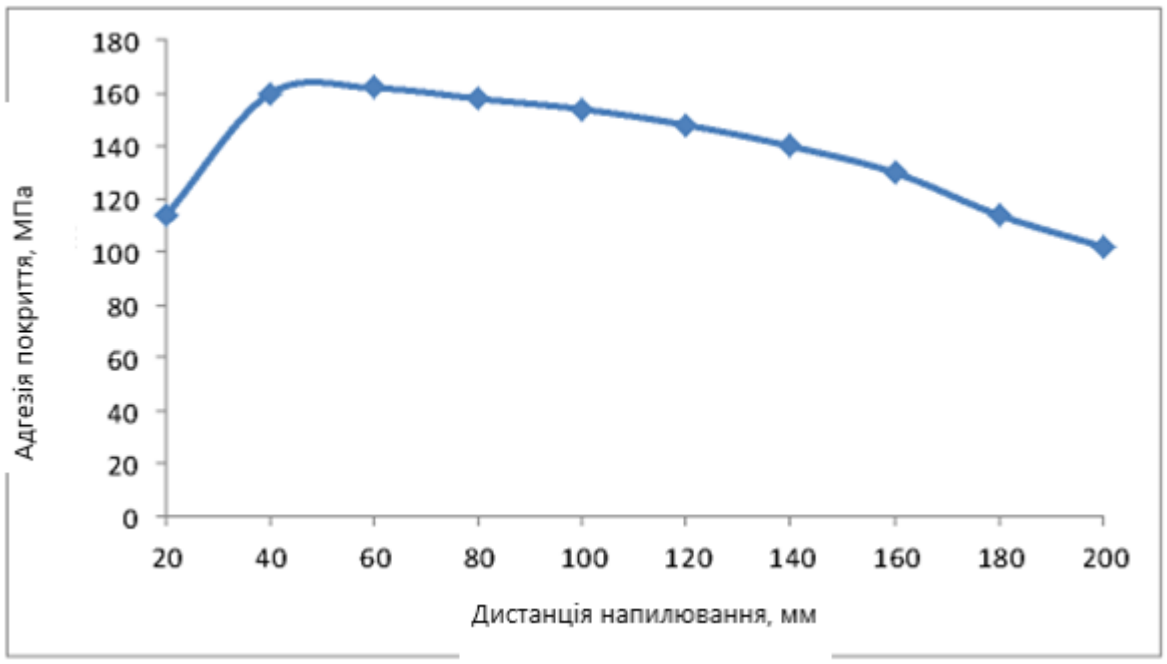


Рисунок 3.2 - Залежність міцності зчеплення порошкового покриття з основою від дистанції напилювання

Характер зміни міцності зчеплення покриття, що складається з порошку ПР-НХ17СР4 і TiC, з основою від дистанції напилювання показаний на рис. 3.2.

Видно, що на початковому етапі зі зростанням дистанції напилення в діапазоні, що досліджується відбувається незначне підвищення міцності зчеплення. Це пояснюється тим, що дистанція напилювання повинна вибиратися за певної умови, тобто підкладка має бути розташована в зоні, де починається остигання частинок, і при цьому не повинно відбуватися перегрів основи деталі плазмовим струменем.

Використовуючи програмний комплекс «Excel», було отримано раціональні технологічні режими плазмового напилювання при нанесенні на циліндричні поверхні колінчатих валів при напрузі на дузі 260 В (табл. 3.2).

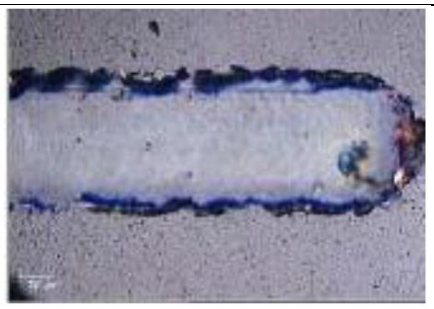
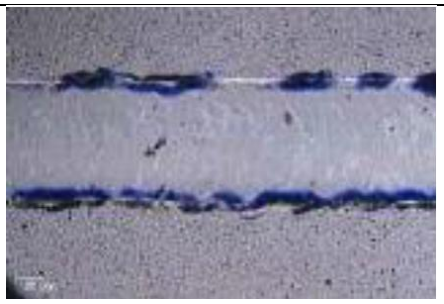
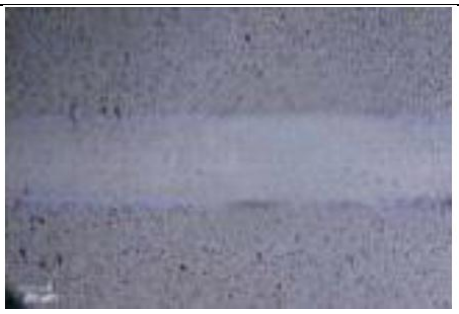
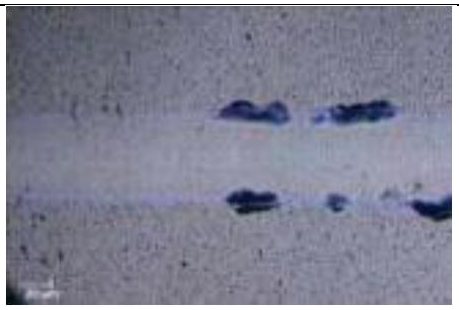
Таблиця 3.2 – Раціональні технологічні режими напилювання

Найменування фактора	Діапазон факторів
Струм дуги плазмотрона I, А	233-248
Дистанція напилювання l, м	81-83
Швидкість обертання деталі n, об/хв.	35-37
Подача s, мм/об	4-6
Об'ємна витрата плазмо утворюючого газу, Qг, л/с	0,8-1,8
Масова витрата напилюваного матеріалу, mп г/с	0,4-0,5

З метою підтвердження теоретичних досліджень про міцність зчеплення покриття з основою було проведено дослідження адгезійної міцності.

Руйнування у зразків № 1, 2, 4 відбувалося в напрямку від краю до центру, що виражалося в утворенні тріщин всередині при заданому навантаженні. У зразка № 3 тріщин не спостерігалося протягом усього випробувань.

№ зразка	Тип покриття	Навантаження, кН	Зовнішній вигляд покриття

1	ПР-НХ17СР4	34	
2	ПР-НХ17СР4+18%TiC	34	
3	ПР-НХ17СР4+23,5% TiC	34	
4	ПР-НХ17СР4+30% TiC	34	

Рівняння регресії, що описує залежність твердості Hv (HRC) від параметрів напилювання, має вигляд

$$Hv=59,02+0,0221+0,0064l+m. \quad (4)$$

На рис. 3.3 представлені результати проведених досліджень мікротвердості покриттів.

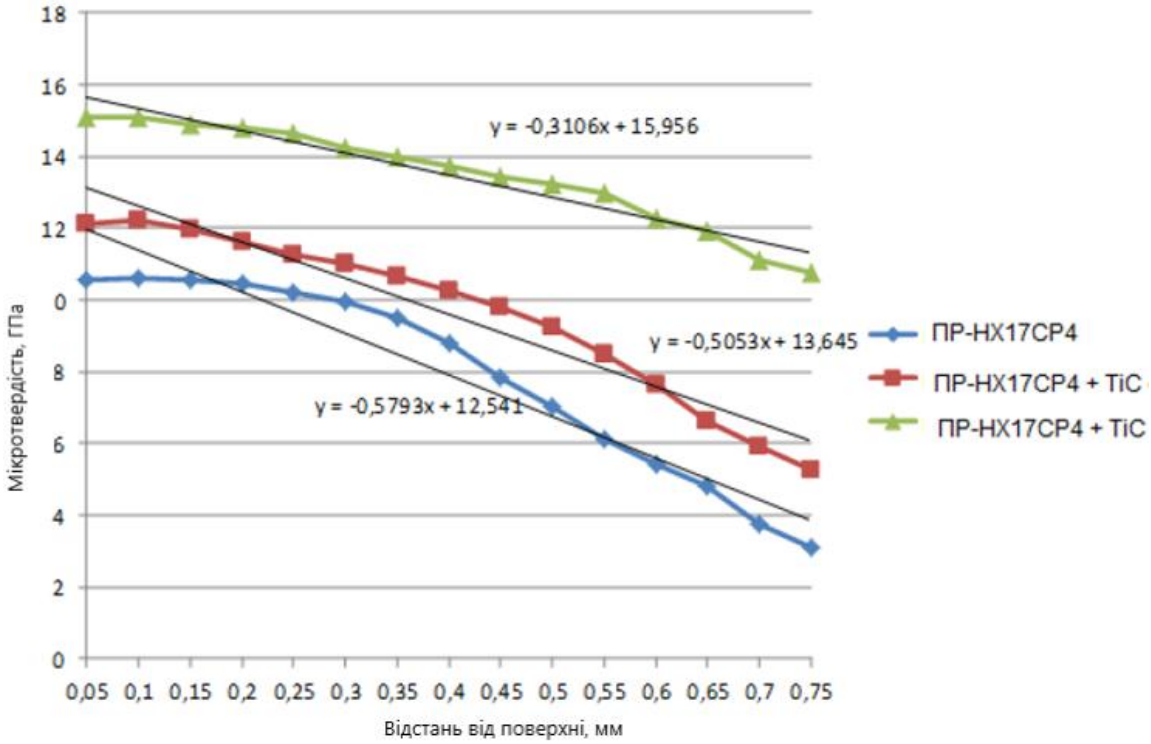
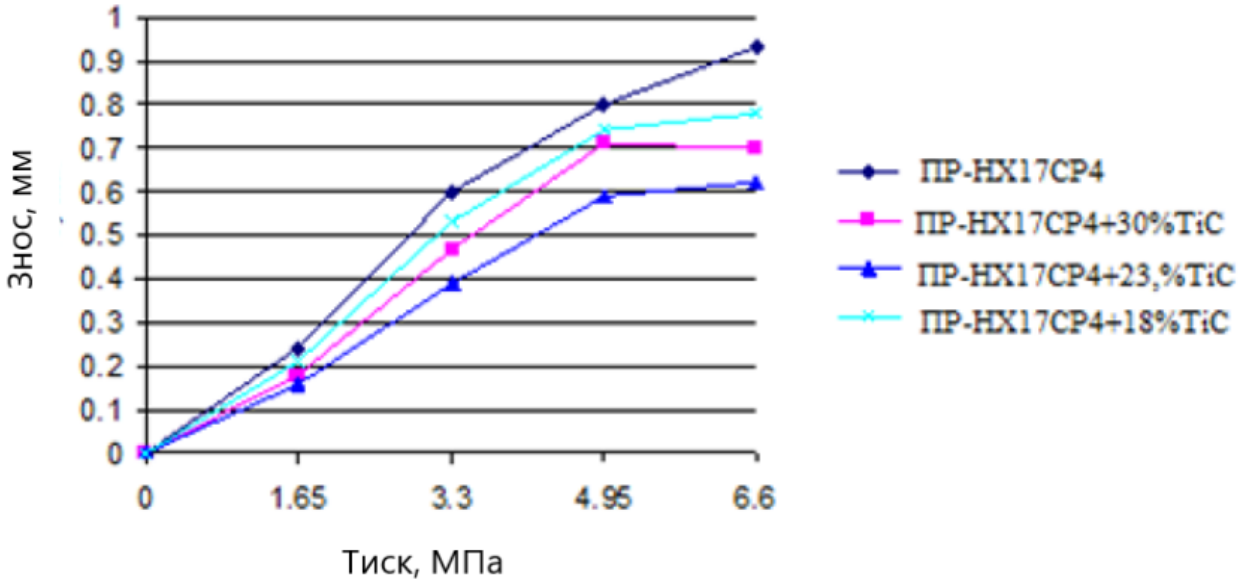


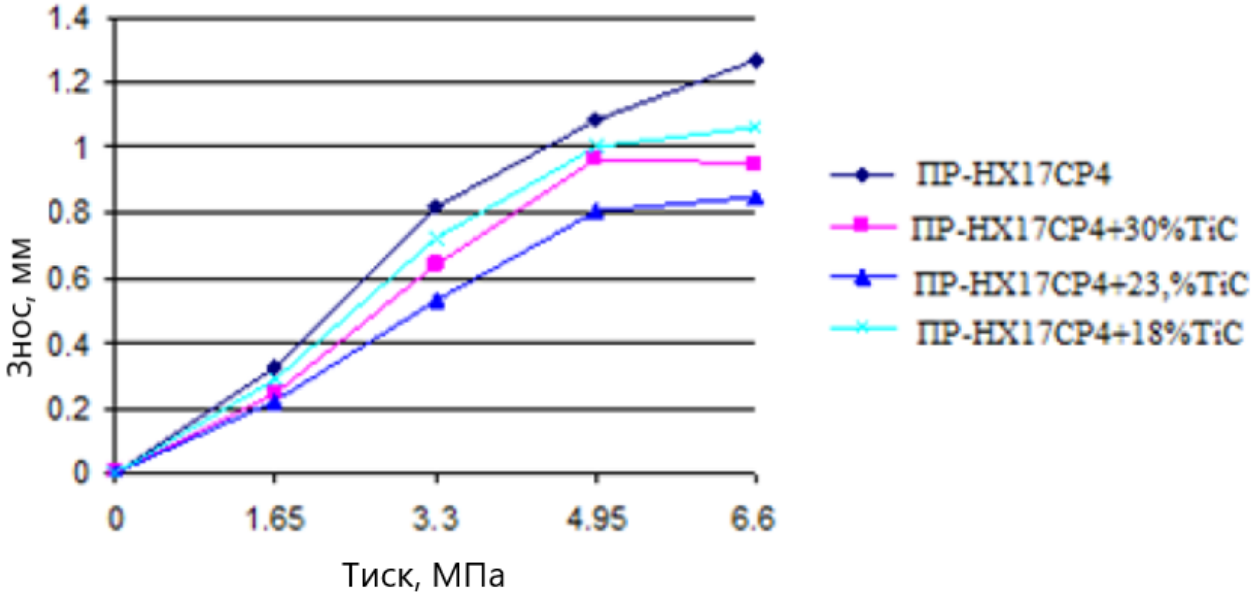
Рисунок 3.3 – Графічна інтерпретація проведених досліджень мікротвердості покриттів

Найкращою рівномірністю мікротвердості покриття за товщиною має покриття з ПР-НХ17СР4+TiC.

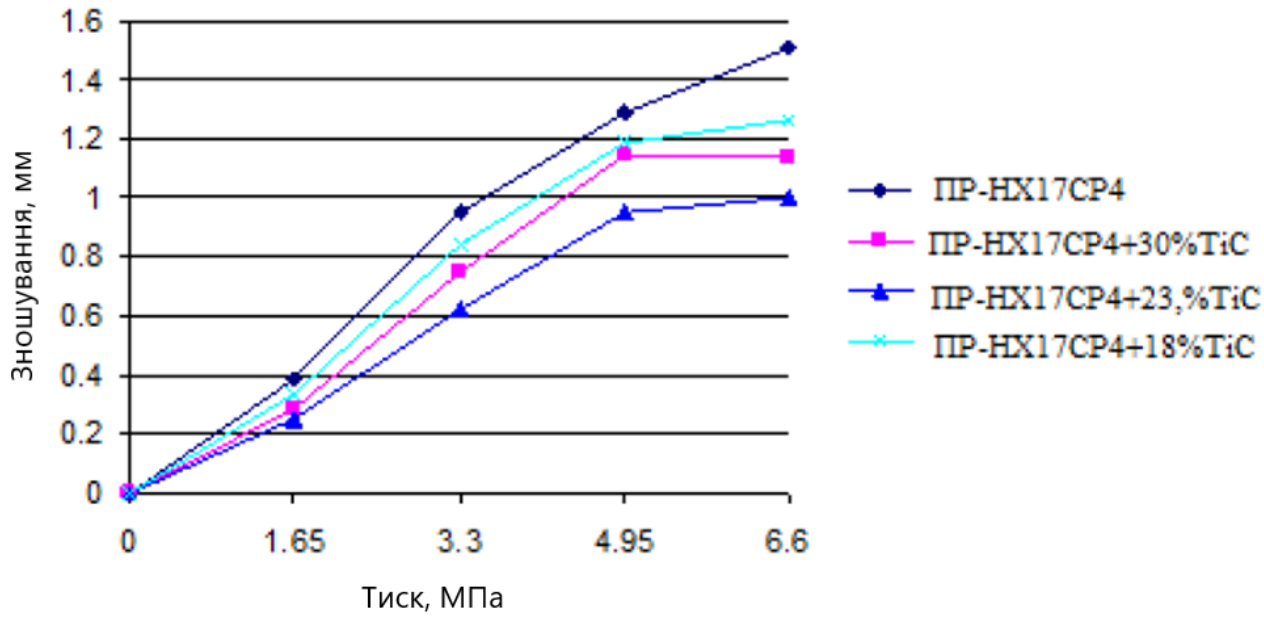
Дослідження зносостійкості покриттів проводились згідно з ГОСТ 23.208-79. Для кожного досліджуваного типу покриття було проведено три повторні досліди з різними зразками. На рис. 3.4 представлені графіки, що виражають залежність зношування випробуваних зразків від тиску при різних швидкостях ковзання.


Знос, мм
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
1.65
3.3
4.95
6.6
Тиск, МПа
ПР-НХ17СР4
ПР-НХ17СР4+30%TiC
ПР-НХ17СР4+23,%TiC
ПР-НХ17СР4+18%TiC

а)


Знос, мм
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
1.65
3.3
4.95
6.6
Тиск, МПа
ПР-НХ17СР4
ПР-НХ17СР4+30%TiC
ПР-НХ17СР4+23,%TiC
ПР-НХ17СР4+18%TiC

б)



в)

Рисунок 3.4 - Залежність зносу зразків від прикладеного навантаження та швидкості обертання ролика: а) - 0,3 м/с; б) – 0,5 м/с; в) – 0,7 м/с

Металографічні дослідження зразків з покриттям ПР-НХ17СР4 показали, що твердість зменшується від периферії углиб зразка. Отже, щойно відбувається зношування верхнього шару покриття, оголюється менш зміцнений шар і інтенсивність зношування різко зростає. Зразки з покриттям з матеріалу ПР-НХ17СР4+23,5% TiC мали значно меншу величину зношування у зв'язку з тим, що структура нанесеного шару по глибині мала твердість майже таку ж, як і верхній шар. Тому по мірі зношування верхніх шарів твердість покриття та інтенсивність пошарового зносу практично не змінювалися.

Проводячи аналіз зносу досліджуваних покриттів, можна стверджувати, що зносостійкість покриття з матеріалу ПР-НХ17СР4+23,5% TiC перевищує аналогічний показник покриття ПР-НХ17СР4 в 2,52 рази, покриття ПР-НХ17СР4+18% TiC покриття ПР-НХ17СР4+30% TiC у 1,25 рази.

Таким чином, теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що раціональним складом композитного покриття, що забезпечує найбільшу зносостійкість, є вміст у ньому 76,5 % порошку ПР-

НХ17СР4 та 23,5 % TiC.

На рис. 3.5 показаний поперечний шліф з нанесеним композитним покриттям ПР-НХ17СР4 + 23,5 % TiC.

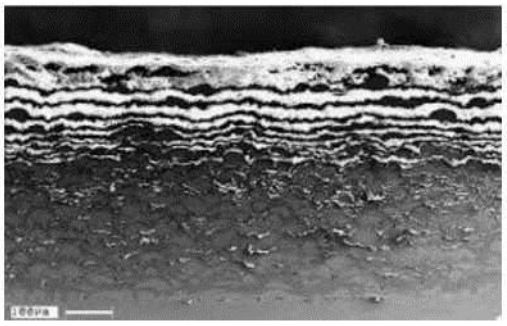


Рисунок 3.5 - Поперечний шліф покриття ПР-НХ17СР4+23,5% TiC

Відшарування покриттів від основи на всіх досліджуваних зразках не спостерігалося. Дефекти нанесеного шару у вигляді тріщин та великих пір на зразках не виявлено. Мікрошліф характеризується високою щільністю, рівномірністю структури, низькою пористістю та високою адгезією.

4. Висновки

1. Нанесення композитних покриттів плазмовим напилюванням на зношені поверхні деталі з метою її відновлення та збільшення ресурсу експлуатації представляє науковий та практичний інтерес у галузі відновлення транспортної техніки та спеціального обладнання АПК.

2. Отримано аналітичні залежності кінематичних режимів плазмового напилювання від геометричних особливостей поверхонь шнека, товщини композитного покриття, що формується, і температури нагрівання робочих поверхонь.

3. Теоретично обґрунтовано та експериментально доведено новий склад порошкового матеріалу: карбід титану 23,5 %, порошок ПР-НХ17СР4 - 76,5 %, що забезпечує високу міцність зчеплення покриття з основою.

4. Визначено технологічні режими плазмового напилювання композитного покриття 76,5 % ПР-НХ17СР4+23,5 %TiC для циліндричної поверхні колінчастого валу при напрузі на дузі 260 В - сила струму дуги плазмотрона 233...248 А, дистанція напилення 81...83 мм, масова витрата матеріалу, що напилюється 0,4...0,5 г/с, швидкість обертання деталі 35, подача 4.6 мм/об (для циліндричної поверхні), , об'ємна витрата плазмоутворюючого газу 0,8...1,8 л/с.

5. Експериментальні дослідження підтвердили коректність теоретичних положень, розроблених в дисертаційній роботі.

6. Експериментально встановлено, що зносостійкість отриманого покриття в 2,52 рази перевищує зміцнювальний шар легованого покриття з порошку ПР-НХ17СР4 та в 3,39 рази поверхневий шар деталі зі сталі 20Х без функціонального покриття. Мікротвердість порошкового покриття 76,5% ПР-НХ17СР4+23,5%TiC у 1,4 рази вища, ніж мікротвердість легованих покриттів ПР-НХ17СР4+ТІС та у 1,7 разу вища, ніж мікротвердість покриттів з порошку

ПР-НХ17СР4.

5. Список використаних джерел

1. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2007. – 348 с.
2. Горященко Д.В. Визначення показників надійності колінчатих валів двигунів / Горященко Д.В.// матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. Перспективи розвитку сучасної науки (частина І): Київ : МЦНД, 2021. – С. 47-49.
3. Нижняк Д.В. Визначення показників надійності колінчатих валів автотракторних двигунів / Нижняк Д.В., Калганков Є.В., Дирда В.І. // Inżynieria i technologia. 2014. osiągnięć, projekty hipotezę. (29.12.2014 - 30.12.2014) – Warszawa: – 2014. – С. 8-13.
4. Основи надійності і довговічності транспортних машин навчальнометодичний посібник з практичних робіт. Для студентів технологічного факультету / Укл. Л.М. Бивалькевич, Люлька В.С. Чернігів : НУЧК імені Т.Г. Шевченка, 2019. 120 с.
5. Практикум з ремонту машин. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин. Том 2 / Сідашенко О.І., Тіхонов О.В. Скобло Т.С. та інші./ За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова Навчальний посібник. – Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018 - 491с.
6. Гайдамак О.Л., Савуляк В.І. Вузли та деталі ремонтного виробництва автотракторної техніки. Лабораторний практикум. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 92 с
7. Технологія ремонту машин та обладнання. Курс лекцій. / Сідашенко О.І. Тіхонов О.І., Лузан С.О. та інші. Навч. посібник – Харків: ХНТУСГ, 2017.– 361 с.
8. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: підручник/ [Сідашенко О.І., Науменко О.А., Скобло Т.С., Тіхонов О.В., Черновол М.І., Ружило З.В., Войтов В.А., Аветісян В.К., Автухов А.К., Мартиненко О.Д., Бантковський В.А., Сиромятніков П.С., Сайчук О.В. та ін.].; за ред. проф. О.І.Сідашенка, О.А.Науменка.- Київ: Агроосвіта, 2014. - 665с.

9. Божидаркін В.В. Основи технології виробництва і ремонту автомобілів: навчальний посібник / В.В. Божидаркін, А.П. Гусєв. – Луцьк: Надстиря, 2007.-320 с.
10. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів / О.А. Лудченко. – К.: Знання – Прес, 2003. – 511 с.
11. Головчук А.Ф. Експлуатація і ремонт сільськогосподарської техніки: підручник: У 3 кн./ Головчук А.Ф., Орлов В.Ф., Строконов О.П.; – К.: Грамота, 2003 Кн.1: Трактори. – 336 с.
12. Форнальчик Є.Ю. Технічна експлуатація та надійність автомобілів / Є.Ю. Форнальчик, М.С. Оліскевич, О.Л. Мастикаш, Р.А. Пельо. – Львів «Афіша», 2004. – 492 с
13. Ремонт машин та обладнання: підручник для вищих навчальних закладів / [Дирда В.І., Мельянцов П.Т., Калганков, Є.В. та ін.]. – Дніпропетровськ: Журфонд, 2015. – 292 с.
14. Горященко Д.В. Обгрунтування раціонального технологічного процесу відновлення колінчатих валів автотракторних двигунів. Магіст. робота. – Дніпро: ДДАУ. -2021, 107 с.
15. Аулін В.В., Тихий А.А., Яценко В.Ю., Чумак В.М. Новітні технології відновлення колінчастих валів дизелів транспортної і мобільної сільськогосподарської техніки // Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 22-23 лют. 2024 р., м. Київ : МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України / Орган. ком. гол. орг. ком. С.М. Ніколаєнко [та ін.]. - К. : Видавничий центр НУБіП України, 2024. - С. 115 – 117.
16. Дьомін, А.Ю. Підвищення ресурсу колінчастих валів транспортних двигунів / Л.А. Тимофеєва, А.Ю. Дьомін // Міжнародний професійний журнал «Локомотивінформ». – 2015. – № 05-06(107-108). – С. 4 – 6.

Публікації у виданнях України, які включенні до міжнародних науковометричних баз:

17. Дьомін, А.Ю. Вдосконалення технологій відновлення працездатності колінчастих валів дизелів транспортного призначення / Л.А. Тимофеєва, С.С. Тимофєєв, А.Ю. Дьомін, Є.С. Ягодинський // Східноєвропейський журнал передових технологій. — 2014. — Т. 1, № 1 (67). — С. 60 — 64.

18. Дьомін, А.Ю. Підвищення працездатності відновлених колінчастих валів / Л.А. Тимофеєва, А.Ю. Дьомін // Науково-технічний журнал «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». — 2014. — №1. — С. 41 — 43.

19. Дьомін, А.Ю. Вибір технології відновлення деталей транспортного призначення / С.С. Тимофєєв, А.Ю. Дьомін // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. Технологія металів та матеріалознавство. — Харків: УкрДАЗТ, 2014. — Вип. 143. — С. 216 — 221.

20. Відновлення деталей машин. Молодик М. В., Лангерд, Бредун А. — К.: "Урожай". — 1989. — 256 с. 11. Молодик М.В., Зенкін М.А. Ремонт промислового обладнання: Підручник для учнів проф.-тех. навч. закладів освіти. — К.: Техніка, 2000. — 256с. 12. ГОСТ 2.602-95. Міждержавний стандарт. ЕСКД. Ремонтні документи. К.: Держстандарт України, 1997. — 36 с.

21. Відновлення деталей машин та конструкцій: Конспект лекцій для студентів напряму 6.050504 «Зварювання», спеціальності 6.050504.03 «Відновлення та підвищення зносостійкості машин і конструкцій» / Уклад.: І.В. Смирнов. — К. НТУУ «КПІ». — 2012 р. — 147 с.

22. Ющенко К.А. Інженерія поверхні / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнєцов, В.М. Корж. — К.: НВП Видавництво «Наукова думка України», 2007. — 557 с.

23. Корж В. М. Нанесення покриття : навчальний посібник / В. М. Корж. — К. : Арістей, 2005. — 204 с.

24. Кулик А.Я., Борисов Ю.С. та ін. Газотермічне напилення композиційних порошків: Машинобудування, 1985, 200 с.

25. Дубовий О.М. Технологія напилення покриттів: Підручник / ····О.М. Дубовий, А.М. Степанчук. – Миколаїв: НУК, 2007. – 236 с.

26. Рожков О.Д. Технологія нанесення покриттів: в 2 ч. Ч1: Навч. посібник/ О.Д. Рожков. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 51 с.

27. Рожков О.Д. Технологія нанесення покриттів: в 2 ч. Ч2: Навч. посібник/ О.Д. Рожков. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 38 с.

28. Камель Г. І. Технологічні процеси та комплекси відновлення і зміцнення деталей: конспект лекцій / Г. І. Камель, В. М. Мілютін. — Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. — 167 с.

29. Powlowski L. Applications and properties of thermally sprayed oxide ceramics //Powder Mat. Int, 1991, V. 23. № 6. P. 357 – 362

30. Xiang, J., Zhu, X., Chen, G. et al. (2009). Oxidation behavior of Fe40Al–xWC composite coatings obtained by high-velocity oxygen fuel thermal spray. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 19, 1545–1550.