



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА
ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективності відновлення колінчастих валів автотракторних
двигунів комбінованими технологіями у ТОВ «ГрейсАгро Тех» м. Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи ТС-23М Олександр НЕХ
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

канд. техн. наук, доц. Михайло КРАСОТА
(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 МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

_____ Неху Олександру Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення ефективності відновлення колінчастих валів автотракторних двигунів комбінованими технологіями у ТОВ «ГрейсАгро Тех» м. Кропивницький»

керівник роботи Красота Михайло Віталійович, канд. техн. наук. доц.,

(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 Аналіз виробничої діяльності бази дослідницької практики

4.2 Розділ 2 Дослідження за тематикою магістерської роботи _____

4.3 Розділ 3 Методика експериментальних досліджень

4.4 Розділ 4 Результати експериментальних досліджень _____

5. Перелік ілюстративного матеріалу комплект

1. Мета, об'єкт та задачі досліджень; 2. Існуючі методи відновлення колінчастих валів; 3. Методика досліджень; 4. Результати експериментальних досліджень властивостей покриттів; 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	Пр имітка
	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 «ГрейсАгро Тех» м. Кропивницький.

Робота складається з 60 аркушів пояснювальної записки, яка включає 4 розділи, ілюстративний матеріал.

В роботі розглянуто умови роботи колінчастих валів автотракторної техніки та встановлено основні дефекти валів та причини їх виникнення.

Аналіз стану проблеми відновлення шийок колінчастих валів автомобільних двигунів показав, що в даний час використовуються традиційні технології все ще не забезпечують необхідних продуктивності отримання і якості покриттів. Для них характерні такі основні недоліки, які знижують експлуатаційні властивості покриттів: низькі адгезійна і когезійна міцність, твердість і зносостійкість, високі залишкові напруги, неоднорідна структура, наявність пір, раковин і тріщин, деформація валів і ін. Ці недоліки пояснюються відсутністю або недосконалістю: нових ефективних способів та технологій відновлення і відповідного обладнання; обґрунтованих раціональних режимів і параметрів нанесення покриттів.

Запропоновано новий спосіб для відновлення шийок колінчастих валів, що дозволяє об'єднати в одному процесі дві технологічні операції - плазмового напилювання і електромеханічної обробки. Це дозволяє усунути недоліки, характерні при виконанні кожної операції окремо і забезпечує синергетичний ефект при їх об'єднанні.

Метою дослідження є вдосконалення технології відновлення шийок колінчастих валів автотракторних двигунів комбінованою технологією, яка включає плазмове напилювання та електромеханічну обробку.

Предметом досліджень є – комбінована технологія нанесення покриття методом плазмового напилювання з одночасною електромеханічною обробкою.

Об'єктом досліджень є – колінчасті вали автотракторних двигунів та покриття, що наносяться при їх відновленні.

Зміст

Вступ

1. Характеристика підприємства, на якому проходила дослідницька практика.....	
1.1 Загальна інформація про підприємство.....	
1.2 Схема та опис організаційної структури.....	
1.3 Основні економічні показники діяльності підприємства.....	
1.4. Склад та структура основних виробничих фондів.....	
2. Аналіз стану питання.....	
2.1 Умови роботи та причини виникнення дефектів колінчастих валів автотракторних двигунів	
2.2 Аналіз технологічних методів відновлення колінчастих валів.....	
2.3 Характеристика плазмового напилювання, як процесу нанесення покриттів.....	
2.4 Зв'язок стану поверхневого шару деталі з її функціональними властивостями	
2.5 Розробка комбінованої технології відновлення та зміцнення колінчастих валів	
3. Обладнання та методика експериментальних досліджень.....	
4. Результати експериментальних досліджень.....	
5. Висновки.....	
6. Список використаних джерел.....	

Вступ

Удосконалення ремонтного та машинобудівних виробництв неможливе без застосування нових перспективних технологічних процесів, що дають можливість збільшити ресурс і надійність, забезпечити працездатний стан деталей та вузлів самих важких умовах експлуатації, при досить високих температурах та відносно агресивних середовищах, впливу динамічних і контактних навантажень. Цим пояснюється поширення застосування технологічних процесів зміцнюючих технологій у ведучих галузях машинобудування і обсяжні дослідження проведені за кордоном. Проектуються нові методи і технології нанесення захисних покриттів, а саме, багатошарові багатокомпонентні, отримують поширення методи нанесення зносостійких покриттів, поверхневого насичення легуючими елементами і зміцнення, удосконалюються процеси поверхневого пластичного деформування (ППД) тощо.

Методи поверхневого зміцнення деталей значно відрізняються один від одного фізико-хімічною природою зміцнюючої дії, галуззю використання, технічними параметрами та ефективністю. В силу тих чи інших причин сфера використання багатьох, без сумніву ефективних процесів зміцнення, істотно обмежується. В подібних випадках поєднання їх з іншим способом зміцнення (які знижують шорсткість, підвищують втомлену міцність, усувають пористість тощо) можливо досягти необхідного стану поверхневого шару і тим самим забезпечити високий рівень експлуатаційних властивостей, розширити технологічні можливості. Комбінованою обробкою можливо вирішити також завдання підвищення міцності зчеплення покриттів з основою, зміцнення основи перед нанесенням покриття, отримання мастильних канавок тощо. Різноманіття зміцнюючих ефектів і способів зміцнення визначає ширину можливостей по їх комбінуванню.

Комбіновані технології зміцнення (відновлення) є ефективними, однак вони трудомісткі, і їх доцільно використовувати лише для відповідальних деталей автомобілів зокрема, колінчастих валів, і у випадках, коли традиційні технології не забезпечують необхідних експлуатаційних властивостей.

Актуальність теми. Найбільш характерними дефектами колінчастих валів автомобільних двигунів при ремонті є зношення корінних і шатунних шийок, обумовлене високими питомими поверхневими навантаженнями, а також тріщини втомленого характеру внаслідок знакозмінних і циклічних навантажень, що впливають на шийки. Відновлення колінчастого вала є складною проблемою, оскільки до якості і геометричних параметрів його робочих поверхонь висуваються високі вимоги.

Найбільш перспективним напрямком відновлення колінчастих валів автомобільних двигунів, є нанесення на зношені поверхні зміцнюючих покриттів.

Серед відомих способів нанесення покриттів при відновленні шийок колінчастих валів до прогресивних відносять плазмове напилювання, так як воно відрізняється: можливістю використання найбільш широкої номенклатури матеріалів покриттів на різні матеріали, високою продуктивністю процесу, відносною простотою технології, незначним термічним впливом на основну деталь, можливістю повної автоматизації процесу. Проте, покриття, отримані таким способом, мають недостатню міцність зчеплення з основою при значних знакозмінних навантаженнях, структурну неоднорідність, високі залишкові напруження розтягу, що призводять до розтріскування покриття, що наноситься на шийки колінчастих валів. Для усунення цих недоліків застосовують зміцнення покриттів, як в процесі напилювання, так і після нього, за допомогою різних видів енергетичних впливів. Одним з таких способів є подальша електромеханічна обробка напилених покриттів, що дозволяє підвищити адгезійну і когезійну міцність, мікротвердість, створити стискаючі залишкові напруги для підвищення опору втоми і отримати більш однорідне покриття.

Однак, подальша після напилювання електромеханічна обробка має обмеження по максимальній товщині покриттів, при яких вони не руйнуються. Ця обставина призводить до підвищення трудомісткості нанесення і зміцнення покриттів товщиною, порівнянної з різницею між діаметром шийок нового колінчастого вала і їх останнім ремонтним розміром. У зв'язку з цим дослідження, виконані в даній магістерській роботі є актуальними.

Метою дослідження є вдосконалення технології відновлення шийок колінчастих валів автомобільних двигунів комбінованою технологією, яка включає плазмове напилювання та електромеханічну обробку.

Завдання дослідження:

- обґрунтувати доцільність і визначити напрямок дослідження щодо вдосконалення технології відновлення і зміцнення шийок колінчастих валів автомобільних двигунів новим комбінованим способом плазмового напилювання з одночасною електромеханічною обробкою;
- визначити залежності критеріїв процесу плазмового напилювання з одночасною електромеханічною обробкою від його параметрів і знайти їх оптимальні значення;
- обґрунтувати технологічні режими відновлення шийок колінчастих валів новим способом, що забезпечують підвищення ефективності їх відновлення і експлуатаційних властивостей покриття.

Предметом досліджень є – комбінована технологія нанесення покриття методом плазмового напилювання з одночасною електромеханічною обробкою.

Об'єктом досліджень є – колінчасті вали автомобільних двигунів та покриття, що наносяться при їх відновленні.

Наукова новизна результатів роботи:

- розробка комбінованого методу що включає одночасне плазмове напилювання та електромеханічну обробку, яке здійснюється з метою створення більш міцного покриття і зменшення внутрішніх напруги в ньому;
- обґрунтовані режими і параметри нового комбінованого способу відновлення шийок колінчастих валів, що відрізняються раціональними значеннями і забезпечують вдосконалення технологічного процесу в напрямі підвищення зносостійкості і довговічності покриття.

Практична значимість полягає в удосконаленні технологічного процесу по відновленню і зміцненню шийок колінчастих валів автомобільних двигунів на основі нового способу плазмового напилювання з одночасною електромеханічною обробкою, а також в апробації і впровадженні розроблених обладнання та рекомендацій на підприємствах по ремонту двигунів і автомобілів.

1. Характеристика підприємства, на якому проходила дослідницька практика

1.1 Загальна інформація про підприємство

«Засновник і директор компанії «Grace Agro» - Оцабрик Дмитро Олексійович. Його накопичений багаторічний досвід у сфері роботи сільського господарства (а це і робота агрономом, і менеджером з продажу засобів захисту рослин, насіння, добрив, а також ініціатором, співзасновником і директором однієї з агрокомпаній з продажу ЗЗР, насіння, добрив на ринку України протягом 10 років) синтезувався у створення в грудні 2016 року якісно нової компанії «Grace Agro».

Грудень 2016р. засновано компанію і відкрито Кіровоградське представництво.

Березень 2017 р. започатковано напрямок з продажу сільгосптехніки та запчастин – «GraceAgroTech» і відкрито представництво компанії у м. Миколаїв.

У 2018 року відкрито представництво у м. Черкаси

У 2019 р. з'явився напрям - продаж техніки б/в з Європи і США та відкрито представництва у м. Київ та м. Львів.

У 2020 р. відкрито представництва компанії у Запорізькій обл., м. Вінниця .

На початку 2021 року відкрито Полтавське представництво компанії» [1].

«Принципи роботи підприємства. У назві компанії слово «grace» -з англ. «благодать» - відображає головний принцип роботи: працювати на благо сільгоспвиробника. Професійність менеджерів, якісний товар, грамотність підходу до технології вирощування є потужним комплексним інструментом у досягненні мети – високих врожаїв і гарних прибутків. ТОВ "АгроТорг" здійснює свою діяльність на підставі статуту та чинного законодавства України» [1].

Форма власності – приватна.

Мета діяльності підприємства – отримання прибутку.

Вид економічної діяльності підприємства – сільське господарство. Основними видами діяльності ТОВ "«Grace Agro»" є рослинництво; оптова торгівля зерном, насінням та кормами.

ТОВ "«Grace Agro»" є одним із провідних товаровиробників

агропромислового комплексу Кіровоградської області.

Основними споживачами продукції ТОВ "«Grace Agro»" є юридичні особи, які займаються рослинництвом.

Підприємство провадить діяльність як на території Кіровоградської області, так і за її межами.

Можливі негативні чинники, які можуть спричинити збут продукції: загальне зниження економічної активності країни, погіршення економічного становища підприємства, інфляція.

1.2 Схема та опис організаційної структури

ТОВ "«Grace Agro»" належить до лінійного типу організаційної структури.

Керівництво діяльністю ТОВ „«Grace Agro»” здійснює генеральний директор. У прямому підпорядкуванні перебувають комерційний директор, зам. ген. директора з інженерно-технічних питань, заст. ген. директора з господарської частини, заст. ген. директора з рослинництва, працівники юридичного відділу, інспектор відділу кадрів та секретар. Комерційний директор своєю чергою відстежує економічну діяльність організації.

Під його контролем перебуває діяльність бухгалтерії та рекламна діяльність. Зам. ген. директор з інженерно-технічних питань контролює роботу інженерно-технічного відділу. Даний відділ стежить за станом будівель, обладнання та транспорту організації – організують ремонтні роботи та оновлення майна. Зам. ген. директора з господарської частини контролює роботу тих. службовців, які забезпечують чистоту та порядок на робочих місцях (офіс та виробничі приміщення) співробітників. Зам. ген. директора з рослинництва контролює діяльність відділу рослинництва, співробітники якого своєю чергою всю роботу виробничого відділу. Їхня діяльність спрямована на донесення цілей та завдань, встановлених керівництвом, контроль та організацію їх виконання.

Таким чином, цей тип організаційної структури дозволяє генеральному директору контролювати всі сфери діяльності підприємства та залишає можливість

приймати самостійні рішення керівникам кожної сфери.

3. Аналіз основних виробничих та економічних показників

Динаміка чисельності працівників, їх складу та структури. Аналіз руху персоналу

Загалом на підприємстві за штатним розкладом налічується 86 працівників.

У 2023 р. порівняно з 2021 р. чисельність виробничого персоналу збільшилась на 3%, у тому числі робітників – на 4%. Середньооблікова чисельність працівників збільшилася на 4%. За 3 роки не було звільнено жодного працівника за порушення дисципліни, що свідчить про грамотно проведену політику роботи з кадрами.

Трудові ресурси організації та ефективність їх використання

Велике значення для аналізу трудових ресурсів має показник продуктивності праці, ефективності використання персоналу. Основним критерієм його оцінки є показник прибутку на одного працівника, значення якого показує наскільки доцільна праця окремого працівника. Продуктивність праці одного працівника за 2 роки знизилася на 84%, прибуток одного працівника зменшилася на 84%.

На зниження ефективності використання трудових ресурсів організації вплинула робота відділу рослинництва. Для обробки посівів було обрано інший засіб, який у умовах виявилося мало ефективним. Відсоток чистого відсортованого насіння порівняно з бур'янами та домішками почав знижуватися. Це збільшило навантаження на виробничий персонал: сортування проводилося в кілька етапів, відвантаження товару затримувалося і викликало невдоволення покупців. З урахуванням цих навантажень середньорічна заробітна плата одного працівника за 2 роки збільшилась на 22%. На підставі цього відділу рослинництва слід повернутися до колишнього способу обробки посівів від бур'янів та вказати нюанси у технології виробництва [1].

1.3 Основні економічні показники діяльності підприємства

Виробничі та економічні показники роботи підприємства – це система вимірювачів, що характеризує матеріально-виробничу базу підприємства та

комплексне використання ресурсів. Виробничі та економічні показники застосовуються для планування та аналізу організації виробництва та праці, рівня техніки, якості продукції, використання основних та оборотних фондів, трудових ресурсів тощо.

Розглянемо основні виробничі та економічні показники роботи ТОВ "«Grace Agro»".

На підставі таблиці 1 – Основні економічні показники діяльності підприємства виручка від продажу продукції у 2023 р. стосовно 2021 р. зменшилась на 11%.

Завдяки залученню молодих фахівців та підвищенню кваліфікації працівників виробництва зросла собівартість проданої продукції на 1%, а середньооблікова чисельність працівників зросла на 3%.

Можна відзначити невелике відхилення фактичних витрат на один карбованець продукції від їхнього рівня за їх затвердженим планом, яке пов'язане зі зміною рівнів відпускних цін на продукцію, що фактично діяли у 2023 році порівняно з їх рівнем, прийнятим при складанні плану у 2022 році.

Також порівняно з 2021 р. витрати на одну гривню виручки зросли на 12%. Показник ефективності виробництва, порівняно з 2011 р., зменшився на 40%. Чистий дохід, створений для підприємства за 2 роки знизився на 94%, а реальний приріст власного капіталу організації - на 84%.

Рентабельність витрат характеризує окупність витрат виробництва, на 2023 р. вона становить 10%. Рентабельність продажів є нормою прибутковості, на підприємстві вона має тенденцію до зниження, що говорить про зниження конкурентоспроможності продукції на ринку та скорочення попиту на продукцію. Підвищення рентабельності продажів досягається підвищенням цін на продукцію, що реалізується, а також зниженням собівартості реалізованої продукції. Якщо структурі реалізованої продукції збільшується питому вагу найрентабельніших видів виробів, це обставина також підвищує рівень рентабельності продажів [1].

1.4. Склад та структура основних виробничих фондів

Здійснення господарську діяльність комерційних фірм пов'язані з використанням різних засобів праці, необхідні переробки, просування, зберігання продукції і на послуг. Основні засоби безпосередньо впливають на ефективність торгово-технологічного процесу, обсяги реалізації та результати всієї організаційно-господарської діяльності підприємства. Основні засоби являють собою сукупність матеріально-речових об'єктів та цінностей. Основні засоби - це велика кількість засобів праці, яка, незважаючи на свою економічну однорідність, вирізняється цільовим призначенням, терміном служби. Основні фонди – матеріально-технічна база процесу обігу. Від їх наявності та рівня залежить потужність підприємства, рівень технічної озброєності праці.

Одним з найважливіших факторів підвищення ефективності виробництва на торгових підприємствах є забезпеченість їх основними фондами у необхідній кількості та асортименті та повніше їх використання.

У зв'язку з цим, актуальним питанням є аналіз використання основних фондів, оцінка динаміки показників основних фондів, обґрунтованість фактичних даних про утворення основних фондів, виявлення та зміна дії різних факторів на основні фонди, оцінка можливих резервів подальшого зростання фондівіддачі, на основі оптимізації обсягів реалізації та величини основних фондів

Важливе значення має аналіз вивчення руху та технічного стану основних виробничих фондів. З таблиці 8 - рух та технічний стан основних фондів організації:

коефіцієнт поновлення 0,34, тобто. частка виробничих фондів, що надійшли в загальному обсязі основних виробничих фондів, становить 34%.

зносу – 0,47, тобто. 47% – частка зношених основних фондів.

придатності – 0,5, тобто. частка придатних основних фондів у загальній величині виробничих фондів становить 50%.

Забезпеченість основними виробничими фондами та ефективність їх використання видно, що фондоозброєність за 2 роки збільшилася на 50%, а фондівіддача зменшилася на 42%, що свідчить про зниження ефективності використання основних фондів та негативно характеризує фінансовий стан підприємства [1].

2. Аналіз стану питання

2.1 Умови роботи та причини виникнення дефектів колінчастих валів автотракторних двигунів

Колінчастий вал - одна з важливих дорогих деталей двигуна, що значною мірою визначає його ресурс. Особливо швидко виходять з ладу колінчасті вали тракторних двигунів, що працюють у більш важких умовах порівняно з автомобільними. Якщо середнє експлуатаційне навантаження автомобільних двигунів становить 50...60 %, то тракторних – і під час багатьох сільськогосподарських робіт – 95...98 %. Питомий тиск на найбільш навантажені шатунні шийки колінчастих валів тракторних двигунів у 1,5...2 рази вище, ніж у автомобільних. У процесі експлуатації опір втомі тракторних колінчастих валів знижується на 25...30% [2].

Колінчасті вали автомобільних двигунів виготовляють із вуглецевих та легованих сталей або з високоміцного магнієвого чавуну. Корінні і шатунні шийки піддаються гартуванню СВЧ на глибину 1,5-3 мм, твердість шийок HRC 50 62 [10].

Зміцнення колінчастого валу для підвищення його втомної міцності досягається конструктивними заходами і технологічними методами, що передбачають поверхневе зміцнення за допомогою спеціальної механічної, а також термічної та хіміко-термічної обробки.

Хіміко-термічними та термічними способами загального поверхневого зміцнення є азотування та поверхневе загартування за допомогою СВЧ. При азотуванні, як і при поверхневому наклепі, на поверхні створюються залишкові напруги стиснення, внаслідок чого значно підвищується опір статичному руйнуванню при стисканні. Азотування валів, виготовлених з легованих сталей, супроводжується підвищенням межі витривалості: при вигині на 60% і при крученні на 35% [2].

У процесі експлуатації автотракторних двигунів періодично виникає порушення їх нормального функціонування через відмову трибовузла «шийка колінчастого валу – вкладиш підшипника». Причинами відмов є зношування та деградація поверхонь тертя внаслідок фізичних та хімічних процесів, що

відбуваються у трибовузлі, а також порушення правил технічної експлуатації двигуна або відмови фільтрів очищення мастила. Вжиття обґрунтованих заходів щодо запобігання раптовим відмовам підшипників колінчастого валу дозволяє забезпечити надійність та безпеку двигуна в цілому [3].

Складність вирішення цього завдання обумовлена слабкою формалізацією відомостей про відмову підшипників колінчастих валів, закономірності та залежності їх походження та розвитку. В джерелах наукової інформації відомості про пошкодження та аварії мають описовий характер. У зв'язку з цим тільки фахівець, який має великий досвід роботи в даній галузі та широкий кругозір, може обґрунтовано встановити причину конкретної відмови.

Розглянемо види, причини та наслідків відмов підшипників колінчастих валів автотракторних двигунів для розробки заходів щодо підвищення їх надійності [3].

Зношування поверхонь тертя трибовузла «шийка колінчастого валу – вкладиш підшипника» надають вирішального впливу на його довговічність, працездатність та виникнення аварійних ситуацій на двигуні.

Для виявлення причин відмов колінчастих валів автотракторних двигунів необхідно проаналізувати умови їх роботи та процеси, що відбуваються у трибосистемі «шийка колінчастого валу – вкладиш підшипника – мастило». Процеси, що відбуваються у трибосистемі та схема розвитку її відмови (дерево несправностей), заснована на логічній діаграмі, що відображає несправності системи, наведено на рис. 2.1.

Основними видами зношування шийок колінчастих валів та вкладишів підшипників є [2–4]: абразивне, втомне та окислювальне, рідше – зношування при заїданні (адгезійні) та ін. Різноманітність видів зношування та умов їх виникнення та розвитку визначається параметрами механічних впливів на триботехнічні властивості сполучення. До основних факторів, що визначають швидкість зношування та протікання фізико-хімічних процесів при терті в умовах граничного або змішаного мастила, належать: величина прикладеного навантаження, швидкість взаємного переміщення, мінімальна товщина масляного шару, кількість і дисперсність механічних домішок у моторному маслі, температура і сумісність і властивості матеріалів труться поверхонь.

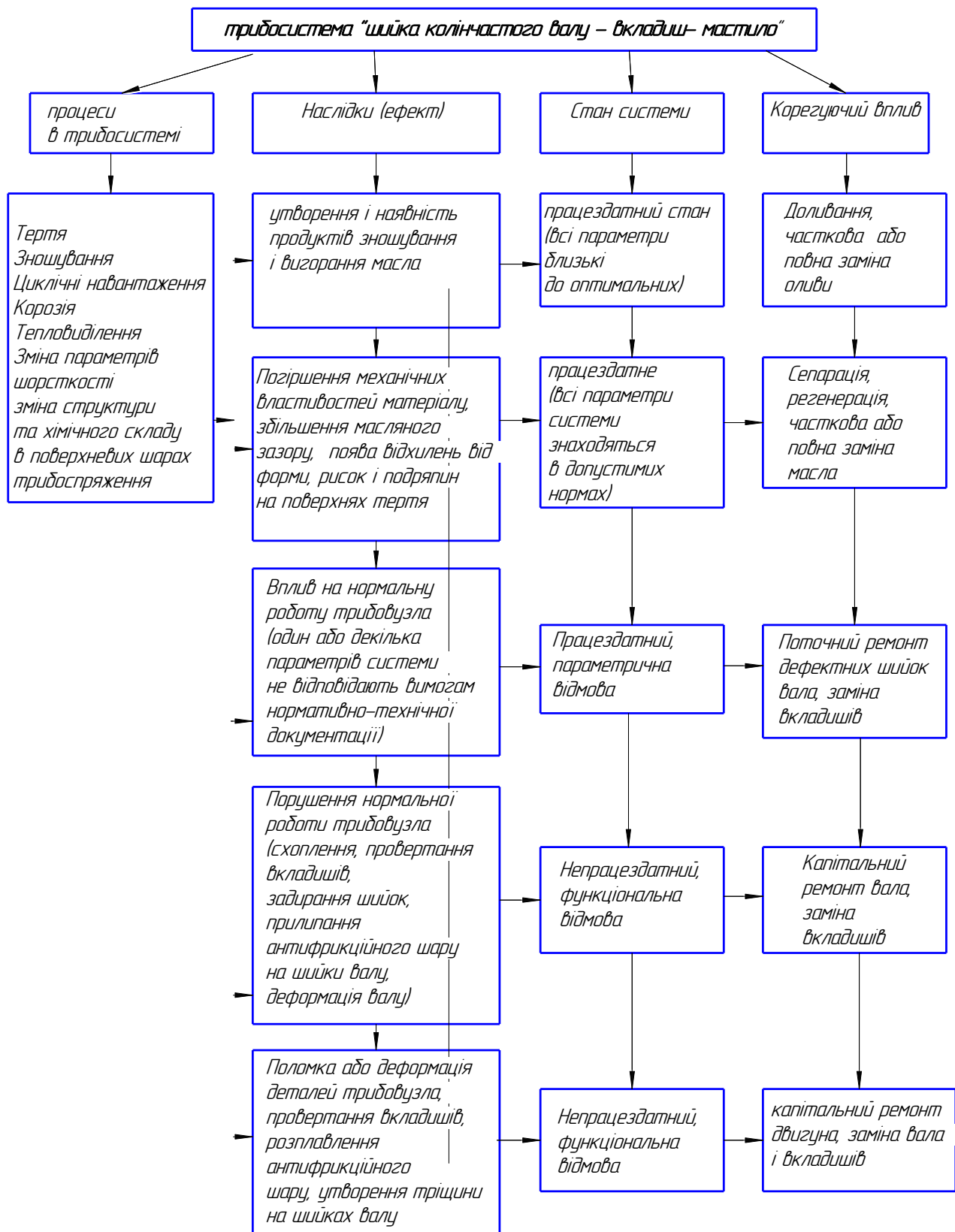


Рисунок 2.1 - Процеси, що відбуваються у трибосистемі «шийка колінчастого валу – вкладиш підшипника – олива» та схема розвитку її відмови (дерево несправностей)

Найважливішими факторами процесу тренування є циклічні механічні та температурні дії, пов'язані із взаємодією мікронерівностей злучених поверхонь, а також локальні деформації у поверхневому шарі [5].

Питоме навантаження при терті дуже істотно впливає на особливості і інтенсивність протікання фізико-хімічних процесів, що відбуваються у поверхневих шарах матеріалів трибосполучення, оскільки визначає площу фактичного контакту поверхонь, що труться в умовах тертя при граничному мастилі. Розмір зносів є пропорційним навантаженню. Збільшення питомого тиску призводить до зростання глибини поверхневих шарів, що приймають безпосередню участь в процесі тертя, що призводить до зростання інтенсивності зношування трибосполучення. При досягненні критичних значень питомого навантаження відбуваються якісні зміни процесів взаємодії контактуючих поверхонь і перехід від одних видів зношування до домінуючого адгезійного.

Інтенсивність зношування поверхонь тертя залежить від ряду факторів, що визначаються особливостями конструкції двигуна, умовами його експлуатації, технічним станом двигуна, якістю застосовуваного палива та оливи тощо.

Факторами оливи є в'язкість, концентрація механічних домішок, їх дисперсний склад, потрапляння палива в мастило, вигорання оливи тощо.

Абразивне зношування деталей ДВЗ відбувається внаслідок попадання твердих частинок забруднень у шари рідкого мастила, що розділяє поверхні тертя. Зі збільшенням концентрації та розмірів частинок у моторній оливі зростає зношування деталей двигуна.

Кількість механічних домішок та продуктів зношування у працюючій оливі автотракторних двигунів істотно залежить від виду палива, на якому працює двигун. При роботі дизелів на дизельному паливі в моторну оливу потрапляє значно більше механічних домішок (у середньому 0,51-1,0 мг/кг) порівняно з моторною оливою двигунів, що працюють на дизельному паливі (середньому 0,10-0,25 мг/кг) кг).

Швидкість зношування трибовузла також залежить від розміру абразивних частинок у моторній оливі, розмір яких знаходиться в межах 2,5-20,0 мкм. При

цьому зі збільшенням їх розміру до критичної величини швидкість зростає, та знижується внаслідок їх інтенсивного дроблення. Максимальне зношування спостерігається коли розмір частинок на 7-10 мкм перевищує мінімальну товщину масляного шару, тобто становить 8,5 мкм [4, 5].

Максимальне зношування в трибосполученні розташовується в зоні мінімальної товщини масляного шару в результаті формується овальність шийок колінчастого валу. Зі збільшенням масляного зазору мінімальна товщина олівного шару знижується і перевищує критичну (товщина шару, при якому поверхні тертя пов'язаних деталей починають стикатися вершинами мікровиступів). Товщина масляного шару перевищує критичну тільки за величини, що відповідає установочним зазорам у з'єднанні, причому часто лише за їх мінімальних значеннях.

Слід пам'ятати, що гранично допустимий зазор у з'єднанні становить 0,55 мм. Таким чином, нормальні умови роботи сполучення "шийка колінчастого валу - вкладиш підшипника" забезпечуються при зазорах до 0,22 мм.

Швидкість зношування шийок колінчастих валів автотракторних двигунів істотно залежить від напрацювання трибо системи.

Швидкості зношування шийок колінчастих валів після припрацювання мають значно менші величини порівняно зі швидкостями зношування вкладишів. Значний період припрацювання шийок колінчастого валу пояснюється тим, що основну частину години вали працюють в умовах тертя при гідродинамічному мащенні.

Слід зазначити, що між величиною зношування трибовузла та ймовірністю виникнення зношування при заїданні та подальшого задирання шийок колінчастого валу існує якісна зв'язок в умовах тертя напіврідинного та граничного мащення [6]. Аналіз аварійних ситуацій показав, що найчастіше заїдання і задирання шийок виникає під час пуску двигуна на оборотах 50–75 % номінальних, тобто, коли режим тертя при змішаному мащенні та масляному шарі менше критичного або в мастилі міститься підвищена кількість механічних домішок. Високі швидкості ковзання та навантаження в умовах контакту поверхонь призводить до підвищення температури в зоні тертя та до зниження механічних властивостей поверхневих шарів матеріалів

деталей, що з'єднуються, та їх триботехнічних параметрів, а також зношування оксидних плівок та схоплювання ювенільних поверхонь.

Таким чином, основною причиною відмов підшипників ковзання колінчастих валів автотракторних двигунів є абразивне зношування, в першу чергу шатунних шийок колінчастого валу і вкладишів з гальванічним антифрикційним покриттям, що обумовлено наявністю абразивних частинок у моторній оливі. навіть на номінальній та близькій до номінальної частоти обертання двигуна [6, 7].

Крім того, внаслідок збільшення параметрів шорсткості шийок через абразивне зношування (наявності рисок і подряпин) зростає величина критичного масляного шару, яка потрібна для уникнення контактування поверхонь тертя. Контактуючі поверхні тертя на частотах обертання двигуна понад 50% номінальної внаслідок високих швидкостей ковзання різко підвищує ймовірність схоплювання та переходу до адгезійного зношування і як наслідок - до задирання шийок, прокручування вкладишів, деформації колінчастого валу, рідше - до троянд.

Для підвищення надійності підшипників ковзання колінчастих валів автотракторних двигунів і зниження ймовірності аварій двигуна через задирання шийок необхідно формувати на їх поверхнях металокерамічні покриття, які дозволяють суттєво зменшити параметри шорсткості та коефіцієнта тертя, і як наслідок – до зниження енергетичного рівня контактної взаємодії поверхонь. знесення трибосполучення.

Дефекти колінчастого валу. «При проведенні поточного і особливо капітального ремонту двигунів важливе місце займає дефектування основних деталей. Від її ефективності багато в чому залежить ціна і вторинний ресурс двигунів. При виборі способу дефектування слід враховувати його достовірність, складність, кваліфікацію дефектувальників, вартість. В даний час найбільшого поширення на ремонтних підприємствах отримав магнітно-порошковий спосіб, який не позбавлений низки недоліків (потрібна висока кваліфікація дефектувальників, не виявляє внутрішні дефекти, висока трудомісткість і вартість)» [6, 7].

Основною причиною відмов у роботі двигунів автомобільної техніки є не їх поломка, а знос робочих поверхонь, що обумовлює актуальність проблеми надійності і збільшення ресурсу деталей.

Як показує практика, малогабаритні колінчасті вали, дешевше замінити на нові, а великогабаритні економічніше відновлювати. У цьому випадку відновлення дозволяє отримати значну економію матеріальних, виробничих і трудових ресурсів. «У зв'язку з цим підвищення технологічного забезпечення якості відновлення колінчастого валу на основі комплексного вивчення базової операції металопокриття, що служить для формування вторинної заготовки відновлюваної деталі, і подальшої механічної обробки стало актуальним завданням» [8, 9].

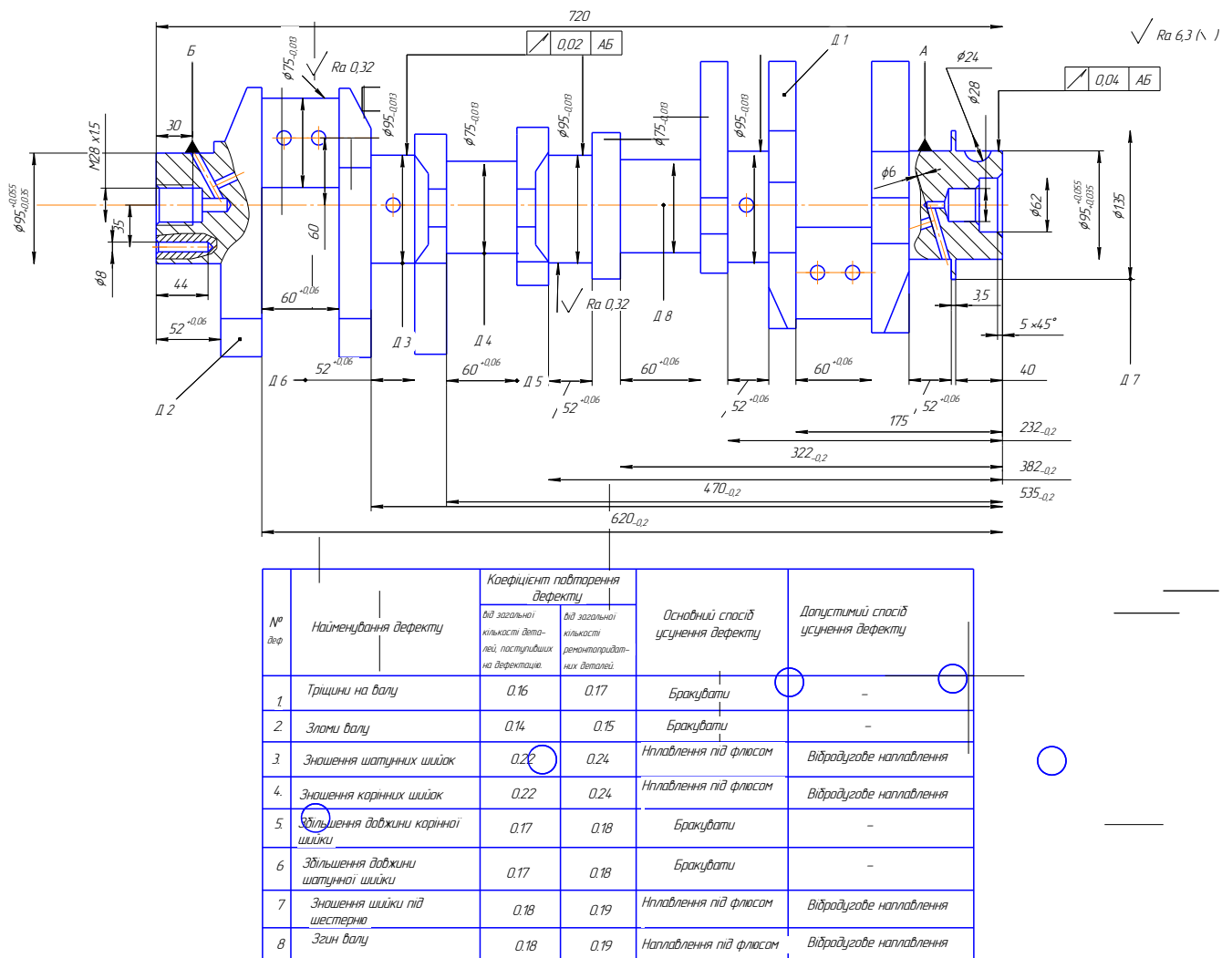


Рисунок 2.2 – Дефекти колінчастого валу

На рис. 2.2 показано основні дефекти колінчастого валу двигуна ЯМЗ-236. Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) мобільних машин мають високий розкид показників надійності і досить часто виходять з ладу незаплановано, несподівано. З'ясування причин передчасних відмов необхідне мінімізації їх повторення і є спільним завданням розробників, виробників та експлуатаційників.

Особливістю ДВЗ є багатфакторність показників надійності та великий діапазон умов та режимів експлуатації. Аварійний режим складається із сумарної дії багатьох, у тому числі випадкових факторів. Комбінацій факторів, здатних викликати відмову, нескінченного. Крім цього, першопричиною відмови може бути тріщина на деталі, а її поломка та безпосередня відмова двигуна зафіксуватися у будь-якому режимі роботи. Розробники та виробники мобільних машин фізично не в змозі дослідити всі можливі експлуатаційні ситуації [11].

Зношування шатунних та корінних шийок колінчастого валу. Зношування шатунного сполучення колінчастого валу характеризується (рис. 2.3) для багатоциліндрових двигунів рівним зносом шийок і вкладишів, що відносяться до різних циліндрів; нерівномірним зносом шийки; великим зносом вкладиша, що у шатуні — верхній вкладиш.

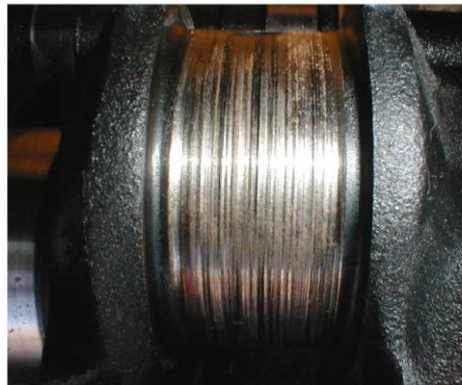


Рисунок 2.3 - Зношування шийок колінчастого валу

Природне зношування пар, що відносяться до різних циліндрів, пояснюється рівними навантаженнями і змащуванням. Нерівномірне зношування шийки і підвищене зношування верхнього вкладиша пояснюється змінно циклічним характером навантажень, що діють на сполучення.

Технологічними причинами неприродної форми зношування є порушення геометрії сполучення, включаючи зміну геометрії нижньої головки шатуна від забруднень між вкладишами та шатуном.

Експлуатаційним браком є несправності мастильної системи та використання неякісних мастильних матеріалів. При поганому очищенні олії абразивні частинки вдавлюються в м'який антифрикційний шар вкладишів, збільшуючи інтенсивність зношування шийки валу.

Зношування корінних сполучень колінчастого валу характеризується (див. рис. 2.4): нерівномірним зносом шийки; великим зносом вкладиша, розташованого в блоці, - нижня вкладка; нерівним зносом сполучень щодо один одного; меншими відхиленнями від округлості сполучення, що знаходяться поряд з маховиком [12].

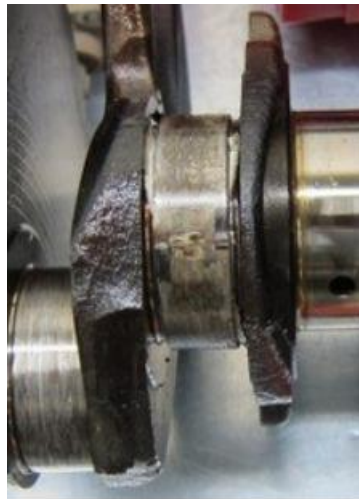


Рисунок 2.4 - Зношення корінної шийки

Нерівномірний знос шийки, а також більший знос нижньої вкладки, аналогічно шатунному сполучення, пояснюється змінним навантаженням протягом циклу. Нерівне знос сполучення щодо один одного визначається конструктивними особливостями КШМ і двигуна в цілому. Особливе зношування пар, розташованих поруч із маховиком, пояснюється негативним впливом маховика на працездатність корінних опор. Тут присутні два моменти: а) маховик має гіроскопічний ефект, що зменшує перекося колінчастого валу і зменшує пікові навантаження на близько

розташовані до нього опори; б) маховик згладжує крутильні коливання колінчастого валу і знижує інерційні навантаження на близько розташовані сполучення [13].

Дефекти виготовлення корінного з'єднання аналогічні шатунним. Додатковими технологічними причинами неприродного зносу є порушення балансування валу, неспіввісність колінчастого валу та блок-картера. Крім безпосередньо виготовлення, ці дефекти можуть бути наслідком неправильного зберігання та транспортування запасних частин.

Брак експлуатації корінних пар аналогічний шатунним.

Утворення задирань та тріщин на шийках колінчастого валу. При утворенні задирань на шийках колінчастих валів (рис. 2.5) зростає ймовірність утворення на них тріщин і деформації, статистичний зв'язок між утворенням тріщин і утворенням биття колінчастого валу слабка ($5=4$), а зв'язок між утворенням задирів на шийках валів і биттям колінчастого вала дуже сильна ($5 = 30$). Зі збільшенням прогину колінчастих валів зростає і кількість неремонтопридатних валів, їх вибраковування. При прогину колінчастого валу більше 0,9 мм його не доцільно відновлювати через утворення в ньому втомлених тріщин, при цьому до 90% валів з таким прогином підлягають вибраковування [12].



Рисунок 2.5 – Задирання на поверхні колінчастого валу [15].

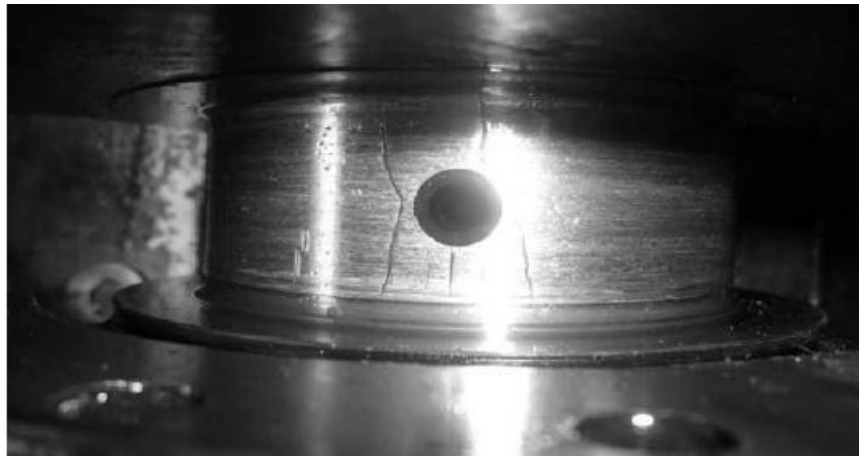


Рисунок 2.6 – Тріщини на шийка колінчастого валу

Основною причиною вибракування колінчастих валів є задирання шийок, тріщини на них (рис. 2.5) і деформація (биття) колінчастого валу при незначних зносах самих шийок, що знаходяться в полі допуску на розмір.

На опір втомним навантаженням значною мірою впливають однорідність матеріалу виробу і якість його виготовлення.

У процесі виготовлення колінчастих валів, при формуванні заготівлі (штампуванням) і наступної механічної обробки їх вибракування складає близько 3%, більшість яких мають тріщини, в основному по штамповому стику [5].

Утворення тріщин (рис. 2.6) на шийках колінчастих валів при виготовленні значно знижує їх експлуатаційний ресурс. Крім того, довговічність колінчастих валів, що відновлюються перешліфуванням під ремонтний розмір, залежить від точності геометричних та координатних розмірів. Невідповідність зазорів технічним умовам (ТУ) у поєднанні «шийка-вкладиш», зміна макро геометрії і шорсткості шийок ведуть до погіршення умов роботи сполучення, що викликає інтенсивне збільшення задирання сполучення в процесі припрацювання [13].

Зниження втомної міцності. Ще одним фактором, що характеризує довговічність колінчастого валу, є опір втомним навантаженням. Незважаючи на різний характер зовнішнього прояву відмов, обумовлених зношуванням і втомою, в їх основі лежать одні і ті ж фізичні процеси, що описуються закономірностями

механіки руйнування, згідно з якими більшість видів зношування носить втомний характер.



Рисунок 2.7 - Характерні види відмов та поломок колінчастих валів двигунів

Локальний характер руйнування колінчастих валів показує, що кінетика руйнування визначається розвитком тріщин. Механізм процесу руйнування при тривалому впливі навантаження зводиться до поступового зростання мікротріщин до критичного розміру. Виникнення тріщин на галтелях і на відстані до 10 мм від них значно знижує опір втоми, і вали з таким дефектом не підлягають відновленню. Що стосується можливості відновлення колінчастих валів з тріщинами на шийках, то вали, що мають на шийках тріщини довжиною не більше 10...12 мм, глибиною до 3 мм, можуть бути відновлені наступним наплавленням без суттєвого зниження опору

втоми. Зношені вали з корінними і шатунними шийками, перешліфовані попри всі ремонтні розміри, але придатні відновлення шляхом нанесення покриттів до номінальних розмірів, становлять 65...75 % [12–14].

Довговічність колінчастих валів значною мірою визначається опором втоми. Негативний вплив на опір втоми мають напруження, що розтягують, які викликаються неоднорідністю пластичної деформації, відмінністю коефіцієнтів розширення основного і наплавленого металів, структурними перетвореннями в наплавленому металі і зоні термічного впливу. Результатом виникнення залишкових напруг, що розтягують, є низька міцність і мала пластичність шару, що утворюється в процесі наплавлення на межі сплавлення основного і наплавного металів. Відновлення колінчастих валів тракторних двигунів плазовим наплавленням порошковими сплавами малогабаритним плазмотроном без заплавлення галтелей знижує втомну міцність до 45%.

З метою підвищення міцності втоми деталей застосовують технологічні процеси, засновані на зміні фізичних властивостей, хімічного складу, структури і напруженого стану поверхневих шарів матеріалу деталей [12; 14]. Найбільшого поширення набули механічні способи зміцнення методом поверхневого пластичного деформування (ППД) завдяки таким перевагам, як:

- Простота виготовлення;
- невисока вартість;
- застосування практично для всіх видів металів та для деталей будь-якої форми;
- створення глибини зміцненого шару до 20 мм;
- межі наклепаної поверхні не є зонами зниженої міцності;
- ефективність наклепу порівняно з іншими методами значно менше залежить від режиму наклепу;
- при підвищенні міцності втоми ударна в'язкість знижується значно менше, ніж при обробці іншими способами.

Аналіз дефектів колінчастих валів, що з'являються в процесі експлуатації, показує, що вихід з ладу колінчастих валів у більшості випадків відбувається (рис. 2.8):

- природне зношування корінних та шатунних шийок;
- через задирання та тріщини шийок;
- при домінуючому впливі вигину в плоскості кривошипу;
- через руйнування його внаслідок зниження втомної міцності, постійного зростання деформацій та тріщин та поступового накопичення локальних дефектів.

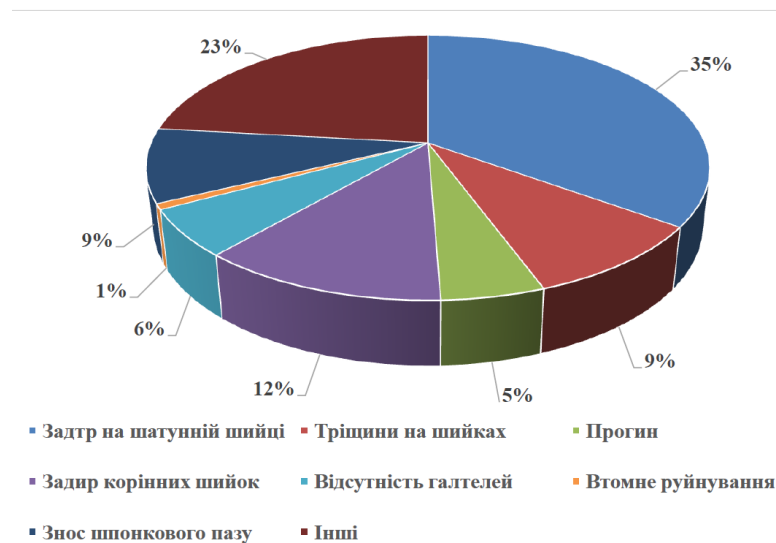


Рисунок 2.8 – Частота зустрічання дефектів колінчастого валу [15]

Таким чином, для підвищення довговічності колінчастих валів необхідно вдосконалювати систему змащення їх підшипників, особливо шатунних, контролювати формозміну сполучення, прибирати прогин колінчастого валу та зміцнювати робочі поверхні валу.

2.2 Аналіз технологічних методів відновлення колінчастих валів

Для відновлення колінчастих валів використовують, в основному, [16-19] декілька технологічних методів:

1. *Вібродугове наплавлення в рідині.* При цьому способі якість наплавленого

металу залежить від багатьох факторів і різко погіршується при зміні режимів наплавлення й хімічного складу електродного дроту. Тому навіть при добре налагодженому процесі відновлення на шийках чавунних колінчастих валів часто зустрічаються пори й тріщини. Кількість пор збільшується по глибині шару, тому відновлені чавунні колінчасті вали шліфують лише до третього ремонтного розміру, а потім вибраковуюють. Втомлена міцність чавунних колінчастих валів, відновлених вібродуговим наплавленням у рідині, знижується на 35-40% [16]. Однак завдяки дворазовому запасу міцності в експлуатації спостерігається незначна кількість їх поломок. Але застосування цього способу наплавлення для відновлення чавунних колінчастих валів двигунів вантажних автомобілів через значне зниження втомленої міцності є не прийнятним.

2. *Вібродугове наплавлення у водокисневому середовищі [17].* При цьому способі відновлення наплавлений метал має структуру троостита, що переходить у сорбитоподібний перліт із твердістю шару HRC 42-48. Такий метал по зносостійкості уступає високоміцному чавуну, проте, колінчасті вали відновлені цим способом, забезпечують термін служби двигунів відповідний до пробігу автомобіля 50-60 тис. км. Відомостей про втомлену міцність чавунних колінчастих валів, відновлених наплавленням у водо кисневому середовищі не має. У цілому експлуатаційні властивості таких валів вивчені не достатньо, але через низьку в порівнянні з високоміцним чавуном зносостійкість наплавленого металу цей спосіб наплавлення не може бути рекомендований до широкого використання.

3. *Одношарове наплавлення під флюсом.*

Цей спосіб наплавлення досліджувався в [16]. «Для наплавлення застосовували дріт різних марок, у тому числі пружинний 2 класу ГОСТ 1071-81, ОВС, НП-30ХГСА, Св-08, Св-10Х13, Св-12ГС ГОСТ 792-67 і інші. Наплавлення виконували під флюсами АН-348А, ОСЦ-45, АН-15, АН-20 ГОСТ 9087-81 без домішування й із домішуванням до флюсу графіту, ферохрому, феромарганцю, феромолібдену, алюмінієвого порошку й інших компонентів для одержання

наплавленого металу мартенситної структури із твердістю HRC 56-62 без пор і тріщин. Наплавлення робили при різному кроці, на прямій і зворотній полярності, різних напругах дуги й індуктивності зварювального ланцюга, швидкості подачі електродного дроту й обертання деталі. Усі різновиди одношарового наплавлення під флюсом не дали позитивних результатів. Наплавлений метал мав неоднорідну структуру й твердість, містив пори, тріщини й шлакові включення» [16].

4. Двошарове наплавлення дротом Св-08 під легуючим шаром флюсу.

Цей спосіб наплавлення розроблено в [17]. «Кращі результати із численних варіантів двошарового наплавлення виходять при використанні маловуглецевого дроту Св-08 діаметром 1,6 мм і легуючого флюсу АН-348А (2,5 частини графіту, 2 частини ферохрому №6 і 0,25 частин рідкого скла). Метал першого шару має аустенітну будову й твердість HRC 35-38. Другий шар має мартенситну будову й твердість HRC 56-62 і містить невелику кількість пор. Недоліком цього способу наплавлення є утворення великої кількості тріщин у наплавленому шарі, що викликають підвищене зношування з'єднаних вкладишів. Втомлена міцність чавунних колінчастих валів двигунів ЗМЗ 53-А, відновлених двошаровим наплавленням під легуючим флюсом, знижується на 26- 28% тобто менше, чим при вібродуговому наплавленні в рідині. Наявність на поверхні шийок великої кількості тріщин не дозволяє рекомендувати цей спосіб для широкого застосування» [17].

5. Двошарове наплавлення порошковим дротом.

Цей спосіб розроблений у Казахському науково-дослідному інституті автомобільного транспорту в 1966 році [2,18]. Наплавлений метал другого шару має структуру мартенситу й твердість HRC 56-60. Істотним недоліком цього способу наплавлення є наявність пор, раковин і тріщин у наплавленому шарі. Зносостійкість наплавлених шийок перебуває на рівні не наплавлених. Втомлена міцність відновлених чавунних колінчастих валів знижується на 44%. У зв'язку з вище перерахованими недоліками цей спосіб відновлення чавунних колінчастих валів рекомендувати не можна.

6. Наплавлення в середовищі вуглекислого газу.

Спосіб наплавлення розроблено [2, 19]. «Шийки чавунних колінчастих валів наплавлялися дротом різних марок, у тому числі Нп-2Х13, Св-12ГС, Нп-30ХГСА, Св-08 і іншими. У всіх випадках структура наплавленого металу була незадовільною, у шарі були пори й тріщини. Найменша кількість дефектів на поверхні шийок виходить при напавленні дротом Нп-2Х13, наплавлений метал при цьому має структуру аустеніту з карбідною сіткою й нерівномірну по довжині твердість, що коливається від HRC 51-60. Зношування шийок чавунних колінчастих валів, наплавлених у вуглекислому газі дротом Нп-2Х13, було більше ніж у не наплавлених шийок. Втомлена міцність при цьому способі знижується на 45-50%. Через зазначені недоліки таке наплавлення застосовувати недоцільно» [2, 19].

7. Лазерний спосіб відновлення [2,4].

Цей спосіб не може бути рекомендований до використання на даному етапі в силу високої вартості встаткування й високої вимогливості до обслуговуючого персоналу й культурі виробництва.

8. Наплавлення під легуючим флюсом по оболонці [2, 6].

«Цей спосіб відновлення чавунних колінчастих валів згадується у [6] й дозволяє одержати наплавлений метал без пор і тріщин при більш високій, у порівнянні з іншими способами, втомленій міцності відновлених чавунних колінчастих валів. Перевагою цього способу є відсутність пор і тріщин, високі міцносні характеристики й простому, але доступному за ціною, устаткуванні» [2, 6].

Сутність способу полягає в наступному. Деталь обгортають, металевою оболонкою з листової сталі, щільно притискають оболонку до поверхні деталі за допомогою спеціального пристосування й зварюванням у середовищі вуглекислого газу прихоплюють її в стику. Після видалення пристосування роблять автоматичне наплавлення деталі під флюсом по металевій оболонці безпосередньо.

Відомо [9], що для усунення тріщин у наплавленому металі необхідно зменшити в ньому вміст вуглецю, кремнію, марганцю, сірки й фосфору. Оскільки

високоміцний чавун містить значну кількість цих елементів, при експериментах застосовували оболонку зі сталі 08 і дріт Св-08, що містять їх у невеликій кількості.

При наплавленні під флюсами АН-348А, ОСЦ-45, АН-15, АН-20 краще формування шару й менша кількість дефектів отримується при використанні флюсу АН-348А. Зі збільшенням товщини [9] оболонки глибина проплавлення високоміцного чавуну зменшується, відповідно зменшується надходження у наплавлений метал вуглецю, кремнію, марганцю й інших елементів. Тому для одержання наплавленого металу мартенситної структури із твердістю HRC 56-62 у флюс додавали графіт і ферохром, забезпечуючи вміст у наплавленому металі вуглецю 0,6-0,8% і необхідна кількість хрому.

При товщині оболонки 0,8 мм тріщини й пори в наплавленому металі були відсутні, у той час як при звичайних способах наплавлення високоміцного чавуну при вмісті вуглецю 0,6-0,8% тріщин і пори уникнути не вдається [22, 23].

Зі збільшенням товщини оболонки зменшується глибина проплавлення чавуну й відповідно кількість окису вуглецю, що утворюється, який викликає утворення пор. При товщині оболонки 0,8 мм і більше невелика кількість окису вуглецю встигає виділитися з розплавленого металу, й пор у ньому не спостерігається. Усуненню тріщин при наплавленні по оболонці сприяє два фактори: зменшення надходження в наплавлений шар кремнію, марганцю, магнію й зменшення величини й швидкості наростання розтягувальних напружень у наплавленому валику в період його кристалізації завдяки зменшенню сил опору усадженню валика за рахунок переміщення або пластичної деформації оболонки. Доведено [9], що утворення гарячих тріщин відбувається в період знаходження розплаву у твердорідкому стані при певній величині й швидкості наростання внутрішніх напружень.

Із усіх методів відновлення колінчастих валів найбільш широке застосування одержало автоматичне наплавлення під шаром флюсу, це пояснюється рядом переваг у порівнянні з іншими методами відновлення.

До цих переваг можна віднести:

- надійний захист наплавленого шва від окиснення;
- невеликі втрати на вигар і розбризкування;
- можливість одержання шару заданого хімічного складу й властивостей;
- можливість автоматизації процесу наплавлення.

Існує три основні різновиди наплавлення шийок колінчастих валів під флюсом:

1. наплавлення по гвинтовій лінії;
2. наплавлення з поперечними коливаннями електрода, що плавиться, (широкошарове наплавлення);
3. багатоелектродне.

9. *Багатоелектродне наплавлення під шаром флюсу.* Цей спосіб використовується при централізованому відновленні колінчастих валів [21]. При цьому способі досягається висока якість формування валиків і стабільність процесу. Плоска й гладка поверхня зварного валика забезпечує малий припуск на наступну механічну обробку. Схема багатоелектродного наплавлення підвищує продуктивність процесу в кілька раз.

Незважаючи на численні переваги, цей спосіб має недоліки, властиві наплавленню під шаром флюсу.

Спосіб одержав поширення для централізованого відновлення сталевих колінчастих валів.

10. Плазмова металізація (напилювання) [24].

Серед нових технологічних процесів великий інтерес для процесу відновлення деталей автомобілів представляє способи нанесення металопокриттів з використанням плазмового струменя як джерела теплової енергії (рис. 2.1).

2.3 Характеристика плазмового напилювання, як процесу нанесення покриттів

Найбільш перспективним способом відновлення деталей нанесенням зносостійких металопокриттів є плазмове напилювання з наступним оплавленням покриття. При цьому в металі оплавленого покриття частка основного металу мінімальна. Покриття має високу зносостійкість, без пор і тріщин. Процес є високопродуктивним. Недоліком цього способу є високі початкові капіталовкладення в устаткування. У нинішніх умовах при відсутності обігових коштів у підприємств цей недолік не дозволяє рекомендувати спосіб до широкого використання [24, 25].

«При плазмовому способі нанесення покриттів напилюваний матеріал розігрівається до рідкого стану і переноситься на оброблювану поверхню за допомогою потоку плазми з високою температурою. Напилюваний матеріал випускається у вигляді прутків, порошоків або дроту. Порошковий спосіб найбільш поширений.

Унікальність методу плазмового напилювання полягає у високій температурі (до 50 тис. град. за Цельсієм) плазмового струменя і високій швидкості (до 500 м/с) руху частинок в струмені. Нагрівання самої поверхні, на яку наноситься покриття - невелике і складає не більше 200 °С.

Продуктивність плазмового напилювання становить 3-20 кг/год для плазмотронів установок потужністю 30...40 кВт і 50...80 кг/год для обладнання потужністю 150...200 кВт» [24, 25].

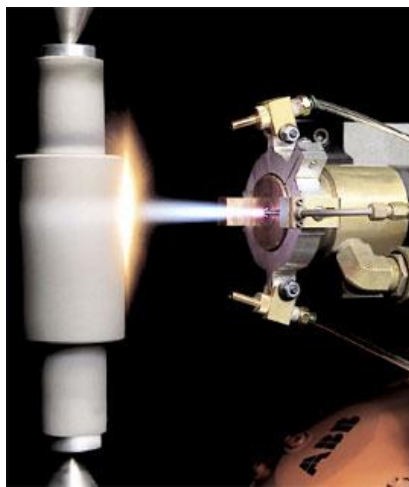


Рисунок 2.9 – Процес нанесення покриття плазмовим напилюванням

«Міцність зчеплення покриття з поверхнею деталі в середньому дорівнює 10-55 МПа на відривання, а деяких випадках - до 120 МПа. Пористість покриття знаходиться в межах 10...15%. Товщина покриття, як правило, не більше 1 мм, тому що при її збільшенні в напилюваному шарі виникають напруги, які прагнуть відокремити його від поверхні деталі» [24, 25].

«Плазмово-дугове напилювання в поєднанні з одночасною обробкою поверхні обертової металевої щіткою дозволяє зменшити пористість покриття до 1-4%, а загальну товщину напилювання збільшити до 20 мм.

Плазмоутворюючими газами служать азот, гелій, аргон, водень, їх суміші та суміш повітря з метаном, пропаном або бутаном.

Для плазмового напилювання використовують дріт, в тому числі порошкового типу, порошки з чорних і кольорових металів, нікелю, молібдену, хрому, міді, оксиди металів, карбіди металів і їх композиції з нікелем і кобальтом, сплави металів, композиційні матеріали (нікель-графіт, нікель-алюміній і ін.) і механічні суміші металів, сплавів і карбідів. Регулювання режиму напилювання дозволяє наносити як тугоплавкі матеріали, так і легкоплавкі» [24, 25].

«Основою для плазмового напилювання можуть служити метали і неметали (пластмаса, цегла, бетон, графіт і ін.). Для нанесення покриттів на невеликі поверхні застосовується мікроплазмовий спосіб напилювання, який дозволяє заощадити втрати напилюваного матеріалу (ширина напилення 1-3 мм).

З метою підвищення адгезії напилених покриттів, захисту від окислення, зменшення пористості використовується метод плазмового напилювання в захисному середовищі (вакуум, азот, суміш азоту з аргоном і воднем) і з застосуванням спеціальних сопел, що закривають область між розпилювачем і оброблюваною поверхнею» [24, 25].

«Процес плазмового напилювання включає 3 основних етапи:

- 1) Підготовка поверхні.
- 2) Напилювання і додаткова обробка покриття для поліпшення властивостей.
- 3) Механічна обробка для досягнення чистових розмірів.

Попередні розміри поверхонь під напилювання повинні бути визначені з урахуванням товщини напилювання і припуску на подальшу механічну обробку. Переходи поверхонь повинні бути плавними, без гострих кутів, щоб уникнути відшаровування покриття.

Деталі перед напилюванням повинні бути ретельно очищені і знежирені. Ремонтні деталі, що мають замаслені пази або канали, слід нагріти в печі при температурі 200-340 °С протягом 2-3 годин для випарювання масла.

Далі проводиться активація поверхні - надання їй певної шорсткості для забезпечення адгезії. Активацію виконують за допомогою обдування деталі стисненим повітрям з абразивом або нарізуванням рваної різьби» [24, 25].

«Абразив вибирають зернистістю 80...150 по ГОСТ3647, або застосовують чавунний/сталевий дріб ДЧК, ДСК №01...05 по ГОСТ 11964.

Металевий дріб не застосовується для обробки жаростійких, корозійностійких сталей і кольорових металів і сплавів, тому що може викликати їх окислення.

Шорсткість поверхні під плазмового напилювання повинна складати 10...60 Rz, поверхня повинна бути матовою» [26, 27].

«Поверхні, що не підлягають абразивній обробці, захищають екранами. Зона обдування на 5 +/- 2 мм повинна бути більше, ніж номінальний розмір напилювань поверхні.

Тонкі деталі закріплюють у пристосуваннях з метою запобігання їх викривлення під час обробки.

Відстань від сопла до деталі при абразивно-струменевій обробці має перебувати в межах 80 ... 200 мм, менших значень набувають для більш твердих матеріалів, великі - для м'яких. Після цього з деталі видаляють пил шляхом обдування стисненим повітрям.

Проміжок часу між очищенням і напилюванням повинен складати не більше 4 год, а при покритті алюмінію та інших швидко окислюються матеріалів - не більше години» [26, 27].

«Нарізування рваною різьбою замість абразивно-струменевої обробки застосовують для деталей з формою тіл обертання. Різьбу нарізають на токарному верстаті звичайним різьбовим різцем, зміщеним нижче осі деталі. Різьбу нарізають без охолодження за один прохід» [27]. «Крок різьби вибирають по табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Крок різьби при збільшенні шорсткості поверхні

Діаметр деталі, мм	Крок рваної різьби
до 20	0,5
25...50	0,8...1,0
60...100	1,5

Для плазмового напилювання слід застосовувати порошки однієї фракції, форма частинок - сферична. Оптимальний розмір часток для металів складає близько 100 мкм, а для кераміки - 50 ... 70 мкм. У разі, якщо порошки зберігалися в негерметичній тарі, їх потрібно прожарити при температурі 120 ... 130 градусів протягом 1,5-2 год в сушильній шафі [27].

«Ті частини деталі, що не піддаються напилюванню, захищають екранами з азбесту або металу, або обмазками.

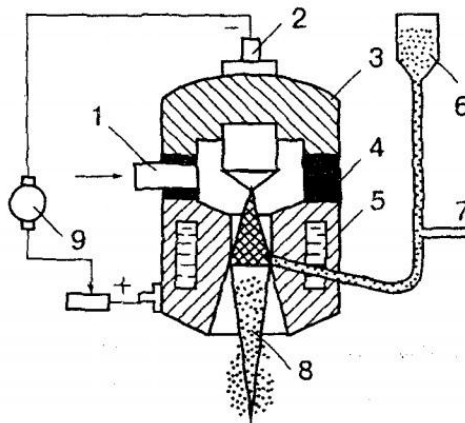
Попередній підігрів деталі перед напилюванням здійснюють плазмотроном до температури 150 ... 180 градусів.

Режими обробки визначають дослідним шляхом. Середні значення режимів плазмового напилювання наступні:

- 1) Відстань від сопла до деталі - 100 ... 150 мм.
- 2) Швидкість струменя - 3 ... 15 м / хв.
- 3) Швидкість обертання деталі - 10 ... 15 м / хв.
- 4) Кут напилювання - 60 ... 90 градусів» [27].

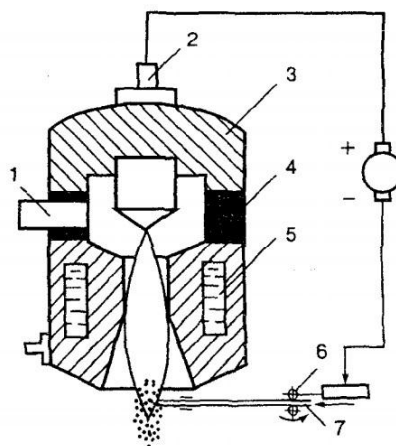
«Загальну товщину покриття набирають декількома циклами з перекриттям смуг напилювання на 1/3 діаметра плями напилювання.

Після напилювання деталь знімають з плазмотрона, видаляють захисні екрани і охолоджують до кімнатної температури» [28].

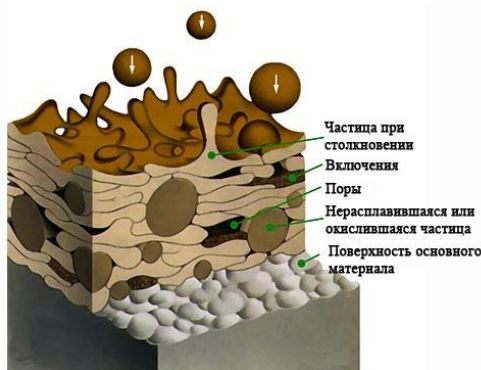


«1 - підведення плазмоутворюючого газу, 2 - катод плазмотрона, 3 - корпус катода, 4 - ізолятор, 5 - корпус анода, 6 - порошковий живильник, 7 - підведення газу-носія порошку, 8 - плазмова дуга, 9 - джерело живлення.

Рисунок 2.10 - Принципова схема плазмового порошкового напилювання» [27].



«Рисунок 2.11 - Принципова схема плазмового напилювання із застосуванням дроту: 1 - підведення плазмоутворюючого газу, 2 - катод плазмотрона, 3 - корпус катода, 4 - ізолятор, 5 - корпус анода, 6 - механізм подачі дроту, 7 - суцільна або порошковий дріт, 8 - плазмова дуга, 9 - джерело живлення» [27].



«Рисунок 2.12 - Структура покрытия, напыляемого плазмовым способом» [27].

«Для поліпшення якості напилених покриттів застосовують такі прийоми:

- 1) обкатка роликми під електричним струмом;
- 2) напилування з одночасною обробкою металевими щітками;
- 3) оплавлення покриттів з самофлюсуючі сплавів.

Оплавлення виробляють за допомогою печей, СВЧ, нагрітих розплавів солей і металів, плазмовим, лазерним або газополуменевим способом. Температура оплавлення покриття нікель-хром-бор-кремній-вуглець становить 900..1200 градусів.

Чистові розміри деталей після плазмового напилування отримують гострінням і шліфуванням з охолодженням водними розчинами і водно-олійними емульсіями. Шліфкруги вибирають з електрокорунду марки Е на керамічній зв'язці, зернистістю 36...46, твердістю СН. Режими шліфування наступні: швидкість обертання кола 25...30 м/с, подача кола 5...10 мм/об, швидкість обертання деталі 10...20 м/хв, подача деталі 0,015...0,03 мм/подв.х» [29, 30].

«Далі проводять остаточний контроль, в разі, якщо на поверхні деталі з напилуванням є тріщини, відшарування, ризики, чорнота, що не витримані чистові розміри, то деталь повертають на виправлення дефекту (не більше 1 рази), при цьому область напилування повинна бути збільшена на 10...15 мм по периметру» [29, 30].

2.4 Зв'язок стану поверхневого шару деталі з її функціональними властивостями.

Процеси, що протікають у поверхневому шарі деталі при експлуатації і її службові характеристики залежать від стану шару, отриманого при технологічній обробці поверхні, умов навантаження, особливостей контактної взаємодії [29, 30].

Взаємозв'язки перелічених факторів утворюють складну динамічну систему, в якій зміна стану поверхневого шару в процесі експлуатації тягне за собою зміну умов навантаження, особливостей контактної

Значення і характер навантажень залежать від конструкції вузла і умов його експлуатації. При неможливості або нераціональності зменшення діючих навантажень за допомогою конструкторських прийомів (зменшення габаритних розмірів, конструктивних елементів, матеріалів). Рівновісний стан системи «поверхневий шар – умови навантаження» забезпечується способами зміцнюючої технології через зміну стану поверхневого шару. Досить часто, в особливостей для з'єднань, що експлуатуються в умовах динамічного навантаження, рівноважний стан динамічної системи не досягається взагалі. У подібних випадках використання поверхневого зміцнення дозволяє знизити швидкість зношування і підвищити ресурс роботи вузла.

Комбіновані способи зміцнення можуть впливати як на мікрогеометрію, так і на фізико-механічні властивості при поверхневих об'ємах металу, їх структуру і фазовий склад, визначаючи стан поверхневого шару [31].

Використанням сучасних технологічних методів і засобів удається формувати стан поверхневого шару, який вимагається умовами експлуатації, керувати його фазовим складом і структурою, твердістю і рівнем остаточних напружень, мікрогеометрією, «заліковувати» пори, мікротріщини та інші дефекти, забезпечуючи поверхневе зміцнення.

Варіюючи температурою і часом термообробки, можливо активно змінювати структуру матеріалу. Досягаючи необхідних фазових перетворень. Значне зміцнення може бути досягнуте шляхом багатократного чередування холодної

деформації з низькотемпературним нагріванням. Така обробка дає підвищення густини дислокацій.

Отже, необхідні службові властивості деталей досягаються при технологічній дії на поверхневий шар, що супроводжується пластичним деформуванням, нагріванням, охолодженням, легуванням, поєднанням цих процесів, керуванням інтенсивністю та швидкістю їх протікання.

У виробничій практиці і науково-технічних публікаціях розглядаються різні приклади комбінованого зміцнення.

Можливо виділити декілька базових способів зміцнення, які найчастіше використовують у поєднанні з іншими методами зміцнюючи технологій. До таких базових способів відносяться, зокрема, наплавлення, напилювання, гальванічне осадження, застосовують у комбінації з поверхнево-пластичним деформуванням (ППД) [6], поверхневим легуванням, хіміко-термічною та термічною обробкою.

Можливе також поєднання самих технологічних варіантів одного й того ж способу, наприклад ППД, для зміцнення поверхневого шару на необхідну глибину з наступною фінішною обробкою для забезпечення низької шорсткості або формування регулярного мікрорельєфу. Подібною універсальністю володіють способи електроерозійного зміцнення, іонно-плазмового зміцнення та електромеханічна обробка (ЕМО) та інші.

За рахунок поєднання механізмів зміцнення, що мають різну природу (поверхнєве легування і пластичне деформування, поверхнєве загартування і нанесення антифрикційного покриття, нанесення покриття і формування на ньому мастильних канавок та інш.), комбіноване зміцнення найбільш ефективне, однак воно трудомістке, і його доцільно використовувати лише для відповідальних деталей (наприклад колінчастих валів), і у випадках, коли традиційна технологія не забезпечує необхідних експлуатаційних властивостей.

Нанесення покриттів є найбільш розповсюдженим способом захисту металів від корозії, підвищення зносостійкості, антифрикційних властивостей, жароміцності.

Широке застосування покриттів обумовлене різноманіттям наносимих матеріалів, способів нанесення, економією дорогих матеріалів і високою ефективністю.

Міцність зчеплення покриття, що наноситься, з деталлю залежить від числа частинок, що контактують з підложкою, їх форми та розмірів. Чим менші розміри частинки, тим більше елементарних контактів і вища адгезія. Для збільшення адгезії доцільно було б наносити покриття на поверхні з більшою шорсткістю.

Багато процесів нанесення покриттів проходять при динамічному впливі частинок на поверхню, при чому частинки можуть знаходитися в рідкій фазі та мати високу температуру.

Всім видам покриттів притаманна певна пористість, пов'язана з дискретним характером формування покриттів з окремих частинок. Пористість залежить від розмірів частинок і густини їх ущільнення.

З проведеного аналізу слідує висновок, що головними напрямками покращення експлуатаційних параметрів є деталей з покриттями є: збільшення міцності зчеплення з деталлю, поліпшення структури покриття, кінцева обробка поверхонь для отримання необхідної точності і мікрогеометрії. Ці завдання можуть бути вирішені застосуванням комбінованого зміцнення.

2.5 Розробка комбінованої технології відновлення та зміцнення колінчастих валів.

На підставі проведеного інформаційно-аналітичного дослідження: розглянуті традиційні і перспективні способи відновлення шийок колінчастих валів; обґрунтовано доцільність використання прогресивного процесу плазмового напилювання покриттів; розглянуті основні недоліки покриттів отриманих плазмовим напилюванням і способи підвищення їх якості; запропонований ефективний спосіб зміцнення плазмового покриття подальшої електромеханічної обробкою; виявлені недоліки даного способу; встановлено, що усунення цих недоліків можливо за рахунок об'єднання в одному технологічному процесі

операцій плазмового напилювання і електромеханічної обробки; поставлена мета і завдання дослідження.

Схема методу комбінованої обробки поверхні представлена на рис. 2.13. Спосіб реалізується плазмовим напилюванням покриття 1 на шийку колінчастого вала 2 за допомогою плазмового струменя 3 плазмотрона 4 з одночасною електромеханічною обробкою напилюваного покриття 1 за допомогою електрода-ролика 5, обкатувати покриття з притискним зусиллям F .

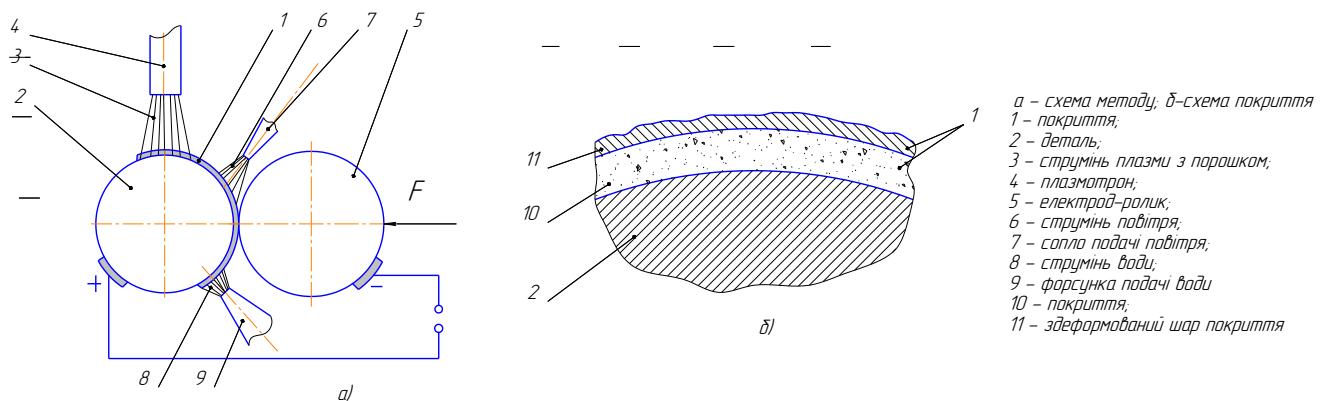


Рисунок 2.13 - Схема процесу плазмового напилювання покриття з його одночасною електромеханічною обробкою

За рахунок дії деформуючий сили відбувається високотемпературна пластична деформація покриття, в результаті якої заповнюються пори покриття, збільшується його щільність і міцність.

Процес здійснюється пошарово з товщиною кожного шару менше критичного значення, при якому залишкові напруги призводять до розтріскування і відшаровування нанесення необхідної сумарної товщини покриття. Для змивання залишків миючого розчину від струменя 6 охолоджувача 7 після зони електромеханічного впливу на покриття поверхня обробляється струменем води високого тиску 8 від форсунки 9. При проходженні електричного струму через перший шар покриття утворюються два джерела тепла. Перше - в зоні контакту деформуючого інструменту 5 з покриттям 1, який нагріває компоненти покриття та, внаслідок цього, збільшує

їх пластичні властивості, забезпечує пластичну деформацію до стану заповнення пор в покритті, і тим самим приводить до збільшення щільності і когезійної міцності покриття.

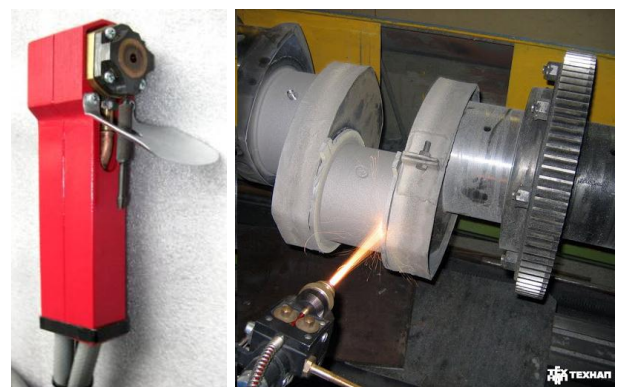
Друге теплове джерело утворюється на межі 10 покриття 1 і шийки колінчастого вала 2 внаслідок високого електричного опору в даній зоні і забезпечує необхідні умови високої адгезійної міцності покриття. При нанесенні другого і наступних шарів додаються межі між шарами 11, що представляють собою додаткові електричні опори і, відповідно, джерела тепла, що забезпечують більш сприятливі умови руйнування оксидів в межах 11 і високої міцності з'єднання шарів між собою, збільшує їх пластичні властивості, забезпечує пластичну деформацію до стану заповнення пор в покритті, і тим самим веде до збільшення щільності і когезійної міцності покриття.

3. Обладнання та методика експериментальних досліджень

При виконанні експериментальних досліджень використовувалися стандартні методики, експериментальне обладнання та засоби технологічного забезпечення процесу плазмового напилювання з одночасною електромеханічною обробкою (рис. 3.1), обґрунтований вибір робочих матеріалів.



а



б

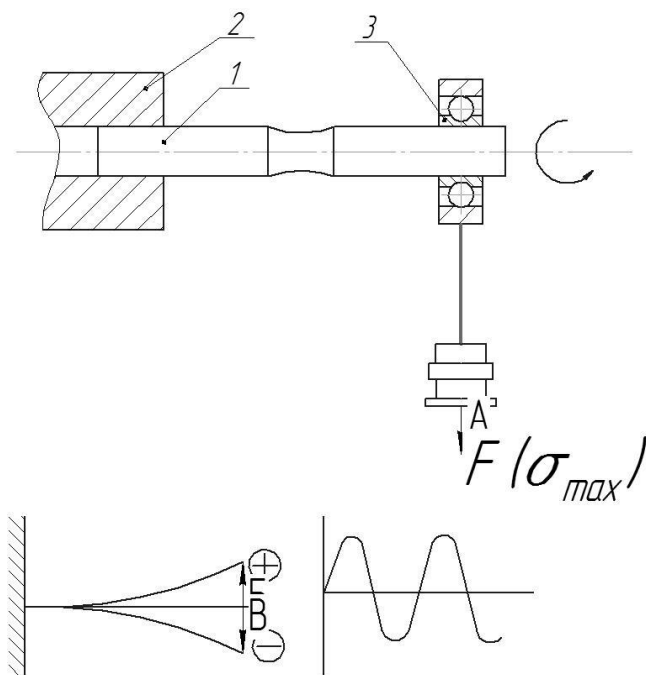
а - загальний вид обладнання; б - процес відновлення дослідних зразків

Рисунок 3.1 - Установка для здійснення процесу плазмового напилювання з одночасною електромеханічною обробкою на дослідних зразках

Процес плазмового напилювання з одночасною електромеханічної обробкою здійснюється плазмотроном з конструктивними параметрами: відстань до виносного анода-шайби 4 мм, кут заточки катода 65° , винос катода 1 мм; кінематичними параметрами: швидкість обертання зразків 10 об/хв, подача 1 мм/об; хімічним складом плазмоутворюючого і захисного газу (аргон), гранулометричним складом та формою частинок порошку для матеріалів підкладки сталь 45 і покриттів ПГСП-4; однаковою дистанцією напилювання 40 мм, що забезпечує необхідний проплавлення покриття без перегріву підкладки; кутом подачі порошку під зріз плазмотрона $25-35^\circ$. В процесі напилювання покриття його електромеханічна обробка проводиться роликком з твердого сплаву ВК-8 з радіусами робочого профілю $r=36$ мм і $R=4$ мм. Швидкість обкатки і подовжня подача забезпечується величинами, аналогічними для плазмового напилювання. Охолодження зони обкатки здійснюється 10% розчином емульсолу Екол-1 з витратою 0,5 л/хв, а змивання його залишків - струменем води високого тиску з параметрами: витрата 4,5 л / хв, тиск пальника 9 МПа.

Результати обробки оцінювали шляхом металографічного і рентгеноструктурного аналізу, вимірюванням: міцності з'єднання покриття з основою, пористості, мікротвердості на поверхні і по товщині покриття; випробуванням на знос і визначенням меж витривалості покриття.

Дослідження втомленої міцності. Порівняльні випробування на втомлену міцність проводилися за методикою на машині У-20, що дозволяє здійснювати вигин при обертанні консольно навантажених зразків (рис. 3.2). Відповідно до ГОСТ 2860-65 база випробувань була прийнята рівною $5 \cdot 10^6$ циклів.



1 – зразок; 2 - патрон; 3 – навантажувальний пристрій.

Рисунок 3.2 - Схема випробовування на втомлену міцність.

Зразки для випробувань виготовляли точінням і шліфуванням з нормалізованої сталі 45, з загартуванням СВЧ. Діаметр випробуваних зразків дорівнював 20 мм.

Випробовували 3 типа зразків: зі сталі 45 (еталонні); сталь 45 обкатані звичайним обкатником, обкатані відцентровим обкатуванням.

Зразки всіх серій були оброблені шліфуванням способом врізання абразивним кругом Э9А-25-СТ27-К5 при $V_{кр}=30$ м/сек; $V_{дет} = 20$ м/хв і ручній поперечній подачі.

Ефективність обробки ППД зразків оцінювали границею втомленою міцності, МПа.

Мікротвердість. Твердість є одним із загальнодоступних інтегральних критеріїв оцінки міцносних властивостей матеріалів

Розрізняють вимірювання твердості (макротвердості) і вимірювання мікротвердості. При вимірюванні макротвердості матеріал що випробовується вдавлюється в тіло, пронизуючи на порівняно велику глибину, в залежності від

навантаження, що прикладається. Вимірюєма твердість характеризує твердість всього матеріалу, що випробовується. Твердість визначали по ГОСТ 2999-75 методом Вікерса, так як вимірювальна алмазна піраміда має великий кут при вершині і діагональ її відбитку приблизно в сім раз більше глибини відбитку, що підвищує точність вимірювання. Твердість по Вікерсу визначається як зусилля, що приходить на одиницю поверхні відбитку.

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, що досліджується за зразком під навантаженням від 5 до 45 с. Модель має таймери аналогового типу, які включають в себе програмуємий транзистор. Мікротвердість визначали по Віккерсу.

Визначення мікротвердості твердості виконували стандартним методом Віккерса (рис. 3.3).

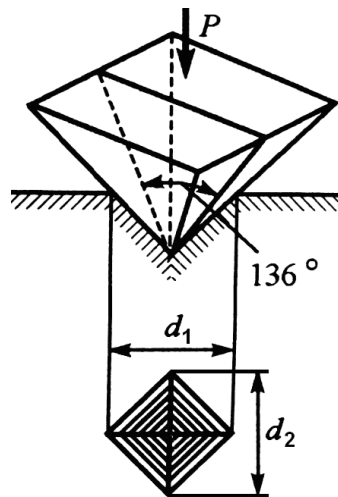


Рисунок 3.3 - Схема вимірювання мікротвердості по Віккерсу

Вимірювання *мікротвердості* наплавленого металу й основного металу в біляшовній зоні й зоні термічного впливу проводилося на приладі ПМТ-3 алмазною пірамідою при навантаженні 100 гс рис. 3.4. Вимірювання мікротвердості проводився через кожні 100 мкм або 0,1 мм.



Рисунок 3.4 – Твердоміри для вимірювання твердості та мікротвердості

Дослідження мікроструктури. Дослідження мікроструктури металу зразків проводилися на горизонтальному металографічному мікроскопі МІМ-8М. При збільшенні $\times 100$ визначалася величина дійсного зерна відповідно до вимог ГОСТ

5639-82. При збільшенні $\times 300$ і $\times 500$ визначалися основні складові й характер мікроструктури.

Дослідження загальної структури проводилося за допомогою оптичного мікроскопа. Дослідження тонкої структури і фазового складу матеріалів проводилося за допомогою растрового електронного мікроскопа.

При дослідженні загальної структури покриттів застосовувалося хімічне травлення 3% розчином азотної кислоти в етиловому спирті, а при дослідженні тонкої структури покриттів застосовували хімічне травлення протягом 5 хв. водним розчином 20% червоної кров'яної солі $K_3[Fe(CN)_6]$ і 20% КОН.

Дослідження зносостійкості. Зносостійкість зразків досліджувалася відповідно до ГОСТ 23.20478 на триботехнічному комплексі, який включає в себе машину для випробування матеріалів на тертя на машині тертя МИ-1М. Випробування проводилися за схемою «диск-колодка» - при обертальному русі в режимі сухого тертя. В експериментах варіювали силу притискання колодки P 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 нанесенням покриття, 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 » [24].

Перед початком досліджень зразки прироблялися протягом 0,5 год з метою досягнення сталого моменту тертя і температури в зоні тертя. Тривалість одного циклу досліджень складала близько 5 год.

Випробування зносостійкості проводилися на машині тертя СМЦ-2 за

схемою тертя «вал вкладиш».

На рис. 3.5 показана схема навантаження досліджуваної пари, а на рис. 3.6 машина тертя СМЦ-2, на рис. 3.7 – зразки для випробувань. Для проведення випробувань виготовляються зразки із вкладишів колодки [24].

Колодки вирізалися з комплекту стандартних вкладишів, виготовлених з тонкої триметалевої стрічки, що складається зі сталевий основи, металокерамічного підшару й антифрикційного шару СОС-6-6. Розмір колодок приймається рівним 10х8мм, площею тертя 0,8 см². Зразки вирізані з корінних шийок колінчастих валів.

У якості мастила застосовується веретенне масло. Підбирання мастила й вибір режимів випробування здійснювався дослідним шляхом, з метою одержання надійних і порівнянних результатів.

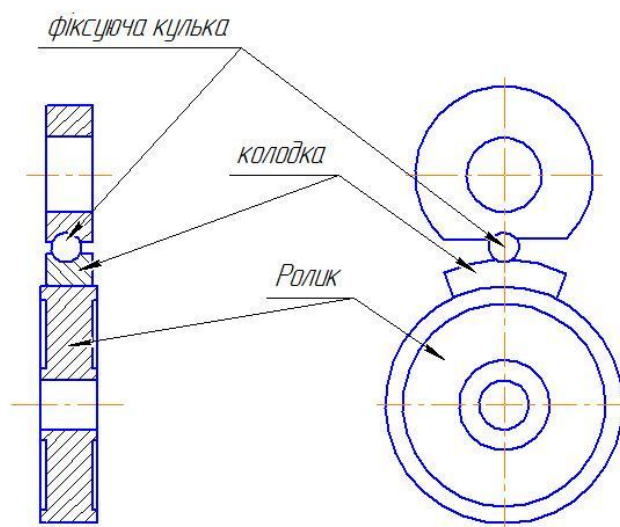


Рисунок 3.5 - Схема навантаження при випробовуванні на зношування деталей на машині тертя СМЦ-2



Рисунок 3.6 – Машина тертя СМЦ-2

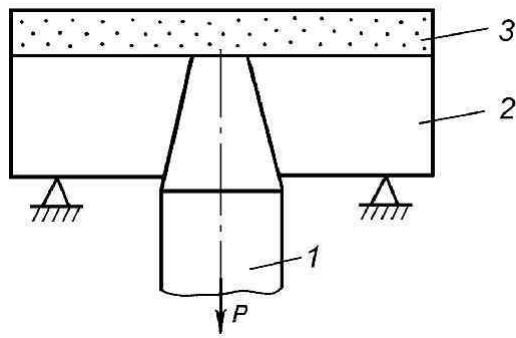


Рисунок 3.7 – Зразки для дослідження зносостійкості

Зношування колодок визначається зважуванням. Зважування проводилося на аналітичних вагах 2-го класу типу АД- 200. Перед кожним зважуванням, зразки обробляються технічним спиртом і витримуються в сушильній шафі при 800 °С протягом години [24].

Міцність зчеплення отриманих у роботі з'єднань контактного наварювання визначали за допомогою стандартних методик випробувань шляхом відривання сталевого конічного штифта.

Попередню оцінку якості проєктованих покриттів проводили макроструктурним аналізом на мікроскопі МБВ-2 при збільшенні $\times 30$ на поверхні макрошліфів, вирізаних і приготовлених із цих покриттів.



1 – штифт; 2 – зразок; 3 - покриття

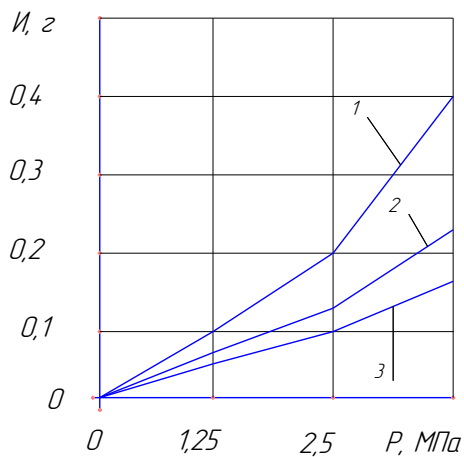
Рисунок 3.7 – Схема випробовування на міцність зчеплення

4. Результати експериментальних досліджень

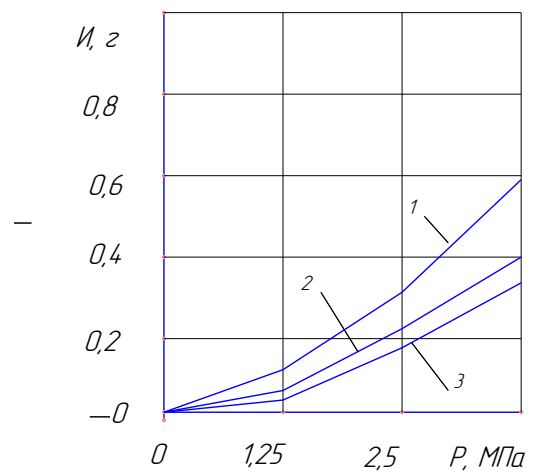
При виконанні експериментальних досліджень були отримані результати фізико-механічних і триботехнічних властивостей покриттів, отриманих плазмовим напилюванням з одночасною електромеханічної обробкою.

Встановлені раціональні технологічні режими нанесення покриття на зразки за допомогою комбінованого процесу, що забезпечують максимальну зносостійкість для завдається порошку.

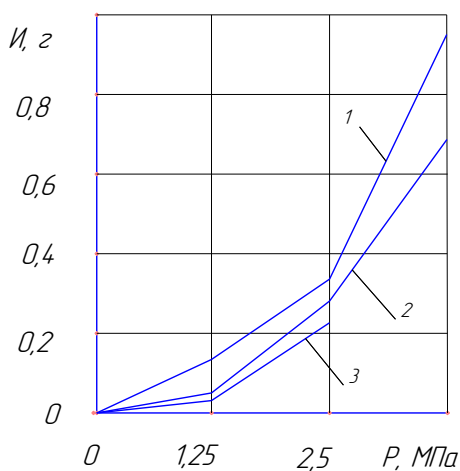
Зносостійкість покриттів, отриманих за технологією плазмового напилювання з одночасною електромеханічної обробкою, у всьому діапазоні досліджених навантажень і швидкостей виявилася вищою, ніж у покриттів, отриманих окремо по технологіям плазмового напилювання і плазмового напилювання з подальшою електромеханічної обробкою (рис. 4.1).



a)



б)



в)

1 – традиційна технологія плазмового напилювання;
 2 – плазмове напилювання з послідуною електромеханічною обробкою;
 3 – плазмове напилювання з одночасною електромеханічною обробкою при різних швидкостях обертання зразків:
 а – $V = 0.78$ м/с; б – $K = 1.3$ м/с; в – $V = 2.6$ м/с

1 – традиційна технологія плазмового напилювання;

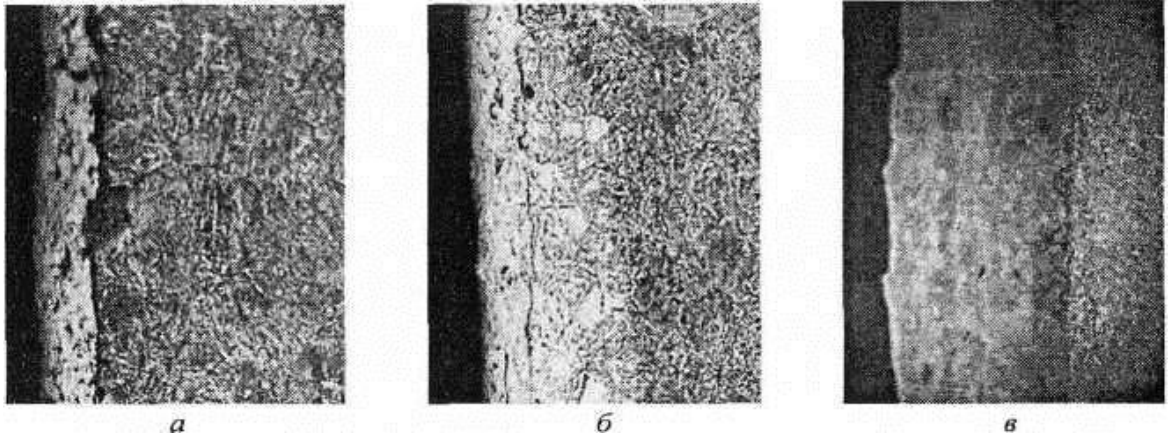
2 – плазмове напилювання з послідуною електромеханічною обробкою;

3 – плазмове напилювання з одночасною електромеханічною обробкою

а - $V = 0.78$ м/с; б - $K = 1.3$ м/с; в - $V = 2.6$ м/с

Рисунок 4.1 - Залежності зносу I покриття з порошку ПГСП-4 від питомого тиску P при різних швидкостях ковзання.

Було встановлено істотне поліпшення якості межі розділу між покриттям і основним матеріалом після електромеханічної обробки. На ділянках поверхні покриттів, отриманих за обома технологіями напилювання+наступна ЕМО та напилювання +одночасне ЕМО, така межа візуально стає слабо помітною, зливаючись зі структурою основного металу (рис. 4.2).



а – традиційна технологія плазмового напилювання; б – плазмове напилювання з наступною електромеханічною обробкою; в- комбінована обробка плазмове напилювання з одночасною електромеханічною обробкою

Рисунок 4.2 - Межі розділу між покриттям і основним металом для покриттів, отриманих за технологією.

Межа витривалості у зразків з покриттями при комбінованій технології склала 245 МПа, що в 1,3 рази вище, ніж при звичайному плазмовому напилюванні - 180 МПа і приблизно дорівнює такому значенню у при напилюванні та наступною електромеханічній обробці (рис. 4.3).

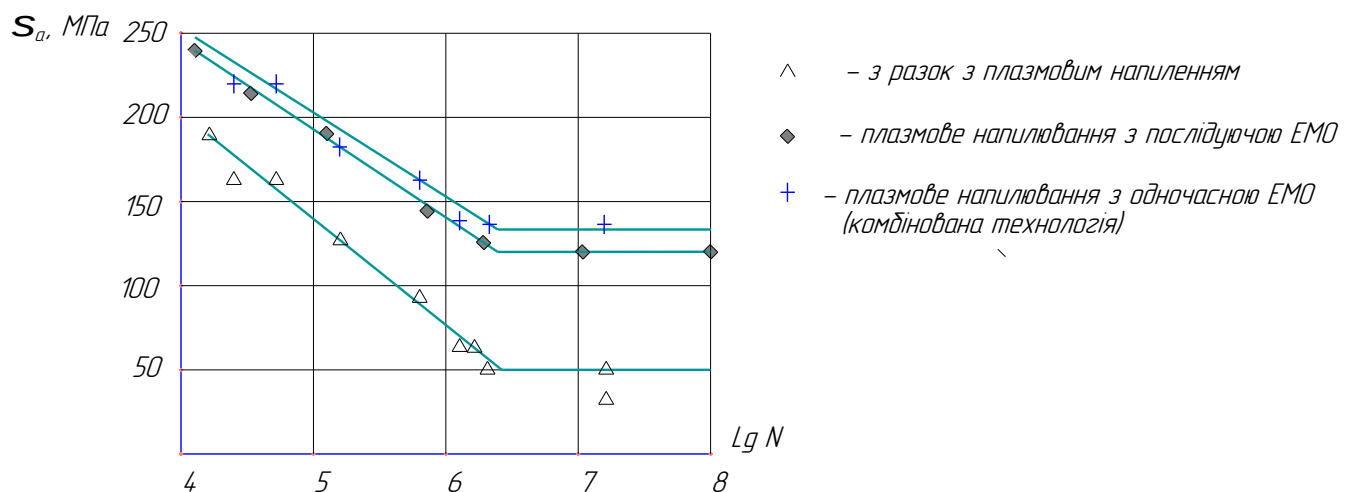


Рисунок 4.3 - Результати дослідження втомленої міцності

Міцність з'єднання покриття з основним металом у зразків, виконаних способом плазмового напилювання з одночасною ЕМО, в 2,9-3,2 і 1,12-1,23 рази вище, ніж у плазмового напилювання і плазмового напилювання + наступна електромеханічна обробка.

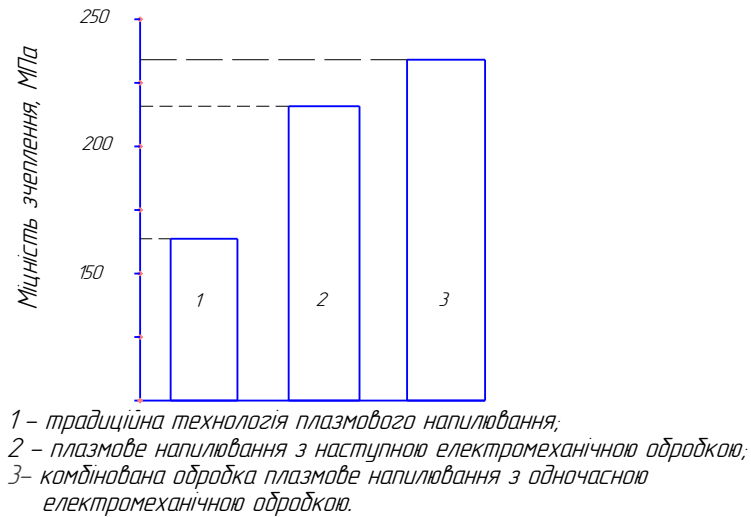


Рисунок 4.4 - Міцність зчеплення покриття з основою при різних технологічних варіантах

Відповідно; мікротвердість покриття ПГСР-4, отриманого за комбінованою технологією, склала 17486 МПа і була істотно вище, ніж плазмового напилювання - 12192 МПа і кілька перевищувала аналогічне значення у плазмового напилювання з послідуною ЕМО - 17200 МПа (рис. 4.5).

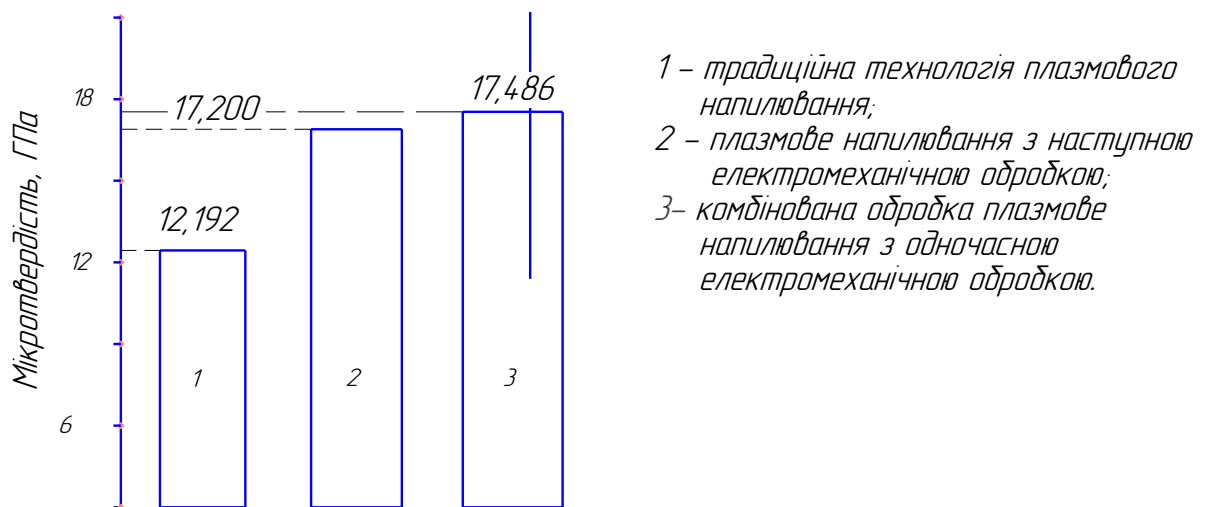


Рисунок 4.5 - Результати дослідження мікротвердості.

Пористість покриттів, виконаних за комбінованою технологією і та послідуною електромеханічною обробкою, на відміну від плазмового напилювання, практично відсутня.

Рентгеноструктурним аналізом встановлено фазовий склад покриттів, отриманих при комбінованій обробці і плазмовому напилюванні з наступною електромеханічною обробкою, що включає в себе твердий розчин на основі нікелю, карбіди, оксиди, бориди, силіциди.

Розроблений комбінований спосіб дозволив усунути недоліки відомих способів, пов'язані з його використанням для обмежених за величиною товщини покриттів і знизити витрати енергії за рахунок об'єднання в одній технологічній операції процесу плазмового напилювання і електромеханічної обробки.

5. Висновки

1 Аналіз стану проблеми відновлення шийок колінчастих валів автомобільних двигунів показав, що в даний час використовуються традиційні технології все ще не забезпечують необхідних продуктивності отримання і якості покриттів. Для них характерні такі основні недоліки, які знижують експлуатаційні властивості покриттів: низькі адгезійна і когезійна міцність, твердість і зносостійкість, високі залишкові напруги, неоднорідна структура, наявність пір, раковин і тріщин, деформація валів і ін. Ці недоліки пояснюються відсутністю або недосконалістю: нових ефективних способів та технологій відновлення і відповідного обладнання; обґрунтованих раціональних режимів і параметрів нанесення покриттів.

2 Запропоновано новий спосіб для відновлення шийок колінчастих валів, що дозволяють об'єднати в одному процесі дві технологічні операції - плазмового напилювання і електромеханічної обробки. Це дозволяє усунути недоліки, характерні при виконанні кожної операції окремо і забезпечує синергетичний ефект при їх об'єднанні.

3 Результати експериментів показали суттєву перевагу нового способу

одночасної обробки напилювання+ЕМО: міцність з'єднання покриття з основним металом зразків у 1,12-1,23 рази вище, ніж у при звичайному напилюванні або при напилюванні з послідуною обробкою, відповідно; мікротвердість покриття ПГСР-4, отриманого комбінованою обробкою, склала 17486 МПа і була істотно вище, ніж при плазмовому напилюванні - 12192 МПа і дещо перевищувала аналогічне значення для напилювання з послідуною обробкою ЕМО - 17200 МПа. Пористість покриттів при напилюванні та електро-механічною обробкою (одночасною або наступною), на відміну від традиційного плазмового напилювання, практично відсутня. Межа витривалості у зразків з покриттями комбінованою обробкою склала 245 МПа, що в 1,44 рази вище, ніж при плазмовому напилюванні - 170 МПа і приблизно дорівнює такому значенню у при напилюванні а наступній ЕМО. Зносостійкість покриттів, отриманих комбінованим способом в 1,22; 1,11 рази перевищувала зносостійкість покриттів, отриманих плазмовим напилюванням та наступною обробкою ЕМО, відповідно.

Список використаних джерел

1. <https://graceagro.com/>
2. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. - Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2007. - 348 с.
3. Горященко Д.В. Визначення показників надійності колінчатих валів двигунів / Горященко Д.В.// матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. Перспективи розвитку сучасної науки (частина I): Київ : МЦНД, 2021. – С. 47-49.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Гайдамак О.Л., Савуляк В.І. Вузли та деталі ремонтного виробництва автотракторної техніки. Лабораторний практикум. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 92 с
8. 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.
9. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: підручник/ [Сідашенко О.І., Науменко О.А.,Скобло Т.С.,Тіхонов О.В., Черновол М.І., Ружи́ло 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.
10. Божидаркін В.В. Основи технології виробництва і ремонту автомобілів: навчальний посібник / В.В. Божидаркін, А.П. Гусев. – Луцьк: Надстиря, 2007.-320 с.

11. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів / О.А. Лудченко. – К.: Знання – Прес, 2003. – 511 с.

12. 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.

13. Форнальчик Є.Ю. Технічна експлуатація та надійність автомобілів / Є.Ю. Форнальчик, М.С. Олісевич, О.Л. Мастикаш, Р.А. Пельо. – Львів «Афіша», 2004. – 492 с

14. 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.

15. Горященко Д.В. Обґрунтування раціонального технологічного процесу відновлення колінчатих валів автотракторних двигунів. Магіст. робота. – Дніпро: ДДАУ. -2021, 107 с.

16. 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.

17. Дьомін, А.Ю. Підвищення ресурсу колінчастих валів транспортних двигунів / Л.А. Тимофєєва, А.Ю. Дьомін // Міжнародний професійний журнал «Локомотивінформ». – 2015. – № 05-06(107-108). – С. 4 – 6. Публікації у виданнях України, які включенні до міжнародних наукометричних баз:

18. Дьомін, А.Ю. Вдосконалення технологій відновлення працездатності колінчастих валів дизелів транспортного призначення / Л.А. Тимофєєва, С.С.

Тимофєєв, А.Ю. Дьомін, Є.С. Ягодинський // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 1, № 1 (67). – С. 60 – 64.

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

20. 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.

21. 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. Межгосударственный стандарт. ЕСКД. Ремонтные документы. К.: Госстандарт Украины, 1997. – 36 с.

22. Відновлення деталей машин та конструкцій: Конспект лекцій для студентів напрямку 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.

23. 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.

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

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

26. Ronald W., Novak R. Advances and applications thermal spray technology. Technology and materials //Powder met. Int., 1991, № 3. P. 147 - 155.

27. Hao R.L. Thermal Spray Technology and its Applications in the iron & Steel

Industry in China //ASM International, 2007, P. 291 - 296.

28. Breitsameter M.J. JP - 5000, the HVOF of the 21st century //4th HVOF Colloquium at Erding. – Munchen. – 1997 y. P. – 119 - 125.

29. Disam J., Sicinger A., Wilms V. The effect of the chamber and spraying parameters of the LPPS method on the structure of mullite coatings //Thermal Spray Research and Application. USA -1990 y. P. – 533 - 538.

30. Masafumi Y., Akihiro U., Tetsuo Y. Laser thermal spraying //Thermal spray Research and Application. USA – 1990 y. P. – 485 - 490.

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