

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка до дипломної роботи

магістра
Освітньо-кваліфікаційний рівень

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»
Освітньо-професійна програма «Відновлення та технічний сервіс
автомобілів»

на тему: **«Відновлення деталей двигуна гідроструменевою
обробкою»**

Шифр ***МРТАМ 2318042. 000 ПЗ***

Виконав: студент 2-го курсу, група *МТВАм 22-1*



Підпис

V.S. Dziyany
Ініціали, прізвище

Керівник *к.т.н., доц. каф. ТАМ.*



Підпис

O.P. Babak
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.



Підпис

O.V. Dyko
Ініціали, прізвище

7 12 2023 р.

Хмельницький, 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри TAM

проф., д.т.н. Диха О.В.

21 жовтня 2023 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дзяному Владиславу Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проекту (роботи) _____

Відновлення деталей двигуна гідродруменевою обробкою

керівник проекту (роботи) Бабак Олег Петрович к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 15 серпня 2023р. № 28 (Д30)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру 10 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

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

Розділ 1 Відновлення колінчатого вала двигуна; Розділ 2 Вплив гідродруменевої обробки на поверхневе зміщення шийок колінчатих валів автомобілів; Розділ 3 Економічна ефективність гідродруменевої обробки шийок колінчатих валів автомобілів

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання_----

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>30.09.2023</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.10.2023</i>	
3	<i>Дослідницький розділ</i>	<i>15.11.2023</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>22.11.2023</i>	
5	<i>Оформлення презентації магістерської роботи</i>	<i>1.12.2023</i>	
6	<i>Нормоконтроль магістерської роботи</i>	<i>5.12.2023</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>10.12.2023</i>	

Студент


Підпис

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Дашний В.С.
Викладач, керівник

Бабак О.П.
Викладач, керівник

Реферат

Робота на тему: «Відновлення деталей двигуна гідроструменевою обробкою»

Обсяг пояснювальної записки –64 сторінок, кількість рисунків -12, таблиць - 18, додатків, кількість джерел згідно із переліком посилань - 17.

Колінчатий вал є базовою деталлю у двигуні внутрішнього згоряння, має велику масу з функціональним навантаженням. Коли встає питання, слід відновлювати або замінити колінчатий вал, то перевагу звичайно віддається більш економічно вигідному відновленню, особливо якщо мова йде про великогабаритні вироби зношування яких може не перевищувати 2% від його загальної маси.

Відновлення колінчатих валів має давні традиції, які перетерплюють зміни з появою й розвитком нових технологічних процесів.

Нанесення захисних і зносостійких покриттів, зокрема газополуменим напилюванням (ГПН) різних матеріалів, дозволяє вирішувати низка питань, пов'язаних з підвищенням ресурсу деталей вузлів тертя різних механізмів і відновленням зношених поверхонь.

У зв'язку з актуальністю питання відновлення зношених колінчатих валів, темою магістерського дослідження прийнята «Дослідження впливу гідродробоструменевої обробки на поверхневе зміцнення шийок колінчатих валів автомобілів».

Наукова новизна досліджень: полягає в дослідженні впливу гідродробоструменевої обробки на поверхневе зміцнення шийок колінчатих валів автомобілів, проведеної після відновлення шийок напилюванням.

Практична значимість дослідження полягає в розробці комплексної технології відновлення шийок колінчатого вала, у якій проводиться як відновлення первісних розмірів методом напилювання й наступного шліфування, так і зміцнення поверхневого шару гідродробоструменевою обробкою, результатом чого є поліпшення експлуатаційних характеристик відновленої деталі..





У першому розділі магістерської роботи розглядаються теоретичні питання, присвячені процесу відновлення колінчатого вала двигуна. Розглядаються основні характеристики конструкції й види зношування, визначаються можливі методи відновлення геометрії й проводиться їхній порівняльний аналіз. Другий розділ розглядає вплив гідродробоструменевої обробки на якість поверхні колінчатого вала. Проводиться дослідження процесу гідродробеструйної обробки, відповідно до експериментів, проведених у рамках дослідження. У третьому розділі магістерської роботи проводиться оцінка економічної ефективності запропонованих заходів.

У висновку викладаються основні результати проведеного дослідження, даються практичні рекомендації.

Перелік ключових слів: КОЛІНЧАТИЙ ВАЛ АВТОМОБІЛЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ГІДРОДРОБОСТРУМЕНЕВА ОБРОБКА, ВІДНОВЛЕННЯ ШИЙОК КОЛІНЧАТОГО ВАЛА, ГІДРОСТРУМЕНЕВА ОБРОБКА

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1 Відновлення колінчатого вала двигуна.....	10
1.1 Сутність здійснення процесу відновлення колінчатого вала.....	10
1.2 Аналіз методів проведення технологічного процесу відновлення колінчатого вала.....	15
Розділ 2 Вплив гідродробоструменевої обробки на поверхневе зміцнення шийок колінчатих валів автомобілів.....	34
2.1 Сутність процесу гідродробоструменевої обробки.....	34
2.2 Дослідження процесу проведення гідродробоструменевої обробки.....	38
2.3 Технологічний процес відновлення колінчатого вала двигуна.....	46
Розділ 3 Економічна ефективність гідродробоструменевої обробки шийок колінчатих валів автомобілів.....	55
3.1 Розрахунок економічної ефективності застосування гідродробоструменевої обробки.....	55
Висновок.....	60
Список використуваних джерел.....	62
Додатки.....	64

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ			
Змн	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	<i>Відновлення деталей двигуна гідроструменевою обробкою</i>	Літ	Арк.	Акрюшів
Розроб.		Дзяний						
Перевір.		Бабак					4	64
Реценз.								
Н. Контр.		Маковкін						
Затверд.		Діла			ХНУ група МТВАм 22-1			

Вступ

Колінчатий вал є базовою деталлю у двигуні внутрішнього згоряння, має велику масу з функціональним навантаженням. Коли встає питання, слід відновлювати або замінити колінчатий вал, то перевагу звичайно віддається більш економічно вигідному відновленню, особливо якщо мова йде про великогабаритні вироби зношування яких може не перевищувати 2% від його загальної маси.

Відновлення колінчатих валів має давні традиції, які перетерплюють зміни з появою й розвитком нових технологічних процесів. Технології відновлення колінчатих валів діляться на дві основні групи, перша містить у собі різноманітні способи наплавлення, а друга різні способи газотермічного напилювання (ГТН). І ті й інші способи мають промислове впровадження. Наплавлення рекомендоване для колінчатих валів зі сталі 45. Найбільш шадним процесом з погляду термічного впливу на матеріал основи є вібродугове наплавлення. Проте, ці способи не врятовані від дефектів (пори, раковини, різноманітні включення, що виявляються в процесі обробки).

Нанесення захисних і зносостійких покриттів, зокрема газополуменевим напилюванням (ГПН) різних матеріалів, дозволяє вирішувати низка питань, пов'язаних з підвищенням ресурсу деталей вузлів тертя різних механізмів і відновленням зношених поверхонь.

Напилювання матеріалів може бути зроблене такими способами:

1. Плазмовим методом. Цей метод дає якісне покриття, але дуже дорогий, тому що створення плазми вимагає певних умов.
2. Електролітичним методом. При відносній дешевині методу він має низьку продуктивність.
3. Газополуменевим методом. Цей метод найбільше підходить в даному випадку, тому що він недорогий і має щодо високої продуктивністю (приблизно в 20-30 раз швидше чим електролітичним методом).

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Газотермічне напилювання є одним зі способів нанесення покриттів на деталі машин з метою збільшення їх зовнішніх і зменшення внутрішніх розмірів. Цей вид покриттів зарекомендував себе як простий, економічний і надійний спосіб відновлення розмірів зношених поверхонь деталей машин.

У ряді випадків ГТН застосовується (або може застосовуватися) також при виготовленні деталей для нарощування їх розмірів з одночасним нанесенням матеріалів, що надають деталі необхідні властивості (підвищення твердості, зносостійкості, антифрикційних і інших властивостей). У такий спосіб створюються біметалічні й поліметалеві вироби, у яких основний метал і нанесене покриття мають різні властивості. Наприклад, в'язку серцевину та тверду робочу поверхню або міцну основу й антифрикційне покриття і т.д.

Газотермічне напилювання дає можливість наносити працездатні покриття практично будь-якої необхідної товщини (від 0,01 до 10 мм і більш).

Процес напилювання при нормальних умовах і режимах можна вести з нагріванням виробу до температури не більш 100°C. При необхідності ця температура може бути знижена додатковим охолодженням у процесі напилювання до 20—25°C. Таким чином, виключається небезпека шкідливих температурних впливів на основний метал виробу, що має місце при зварюванні, наплавленні та хіміко-термічній обробці. Зокрема, при нарощуванні деталей наплавленням у результаті термічного впливу виникають внутрішні напруження, що викликає залишкові деформації. Для зняття внутрішніх напружень потрібно загальний попередній підігрів і наступна термічна обробка наплавлених деталей. Це веде до їхнього жолоблення й зміні розмірів раніше оброблених поверхонь.

При газотермічним напилюванні покриттів нарощування деталей відбувається з порівняно великою швидкістю. Так, нанесення сталевих покриття електродуговим апаратом проводиться приблизно в 10—20 раз

					<i>MP TAM 23.18042. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

швидше, ніж електролітичне залізнення (осталювання), і приблизно в 100—200 раз швидше, ніж електролітичне хромування. Усі застосовувані технології відновлення деталей, у тому числі існуюча технологія газополуменеве напилювання, передбачають роздільні технології по підготовки поверхні і її наступного зміцнення на різному устаткуванні. Зміна базування великогабаритних колінчатих валів, сполучене з певними труднощами й вимагає застосування додаткового устаткування, для закріплення виробу в горизонтальному положенні, а також приводить до втрати адгезійних властивостей, геометрії і якості поверхні зміцненого виробу й втрати часу, отже, веде до зниження якості кінцевої деталі.

Створення ділянки по відновленню деталей допоможе розв'язати багато проблем, зокрема не прийдеться закуповувати нові деталі, а відновлення старих може зайняти мінімум часу. При цьому відновлені деталі повністю задовольняють технічним вимогам, а інколи в чомусь навіть перевершують нові, зокрема по міцністним характеристикам.

Але в кожному разі, після проведення процедури відновлення поверхні шийок колінчатого вала залишаються питання по довговічності подібного покриття і якості нанесеного покриття. Технологією, яка дозволяє розв'язати питання якості й надійності покриття є технологія гідроструменевого зміцнення поверхні колінчатого вала.

«Підвищення якості й надійності відновлених колінчатих валів, за рахунок створення впровадження нових ресурсозберігаючих технологічних процесів, підвищення їх продуктивності вимагає не стільки забезпечення точності розмірів, але й заданих фізико-механічних властивостей поверхневого шару; залишкових напруг, наклепу (ступінь і глибина), рельєфу мікрогеометрії, які мають в більшості випадків переважаюче значення в забезпеченні надійної роботи деталі й усього виробу. На сьогоднішній день найбільш актуальною проблемою є відновлення геометричних розмірів корінних і шатунних шийок без істотного зниження

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

втомної міцності колінчатих валів.» [28]

«Процес ГДО є досить багатограним, тому що він пов'язаний з такими найскладнішими явищами, як удар сферою, тертя, пружно-пластична деформація, теплофізичні процеси й ін. Тому з метою спроби створення основ теорії процес ГДО розглядається в досить різних аспектах, тією чи іншою мірою, що розкривають сутність природи цього процесу. В окремих випадках для створення зв'язку мікрозмін у металі із зовнішніми впливами, що визначають технологічні параметри, процес ГДО розглядається як з мікро-, так і з макро- точок зору.» [14]

У зв'язку з актуальністю питання відновлення зношених колінчатих валів, темою магістерського дослідження прийнята «Дослідження впливу гідродробоструменевої обробки на поверхневе зміцнення шийок колінчатих валів автомобілів».

Найбільше докладно процес гідродробоструменевої обробки в машинобудуванні й технологічних процесах відновлення деталей розглядаються в наукових працях таких авторів як Філонов І.П., Баршай І.Л., В.А. Горохів, Н.В. Біляків, А.Г. Схиртладзе, Петросов В.В. і ряд інших авторів. У рамках досліджень проблеми міського пасажирського транспорту розглядали й пропонували шляху їх ренію такі автори як Жирнов А.А., Андрушевич А. А., Анісович А.Г.

Теоретико-методологічну базу дослідження склали наукові праці й дослідження, присвячені питанням зміцнення поверхні виробів методами поверхнево-пластичного деформування, у тому числі, за допомогою дробеструменевої обробки.

«Основні інструменти дослідження: методи математичного й економічного моделювання, математико-статистичні методи, метод порівняння та аналогій, економетричні методи.» [13]

Інформаційна база досліджень представлена статистичними даними, зібраними при проведенні експериментальних дослідження, спрямованих на

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вивчення процесів при пластичному-поверхнево-пластичнім деформуванні шару металу деталі.

Наукова новизна досліджень: полягає в дослідженні впливу гідродробоструменевої обробки на поверхневе зміцнення шийок колінчатих валів автомобілів, проведеної після відновлення шийок напилюванням.

Практична значимість дослідження полягає в розробці комплексної технології відновлення шийок колінчатого вала, у якій проводиться як відновлення первісних розмірів методом напилювання й наступного шліфування, так і зміцнення поверхневого шару гідродробоструменевої обробки, результатом чого є поліпшення експлуатаційних характеристик відновленої деталі..

У першому розділі магістерської роботи розглядаються теоретичні питання, присвячені процесу відновлення колінчатого вала двигуна. Розглядаються основні характеристики конструкції й види зношування, визначаються можливі методи відновлення геометрії й проводиться їхній порівняльний аналіз..

Другий розділ розглядає вплив гідродробоструменевої обробки на якість поверхні колінчатого вала. Проводиться дослідження процесу гидробробеструйної обробки, відповідно до експериментів, проведених у рамках дослідження. Представлені математичні моделі вироблених експериментальних досліджень. Розроблений технологічний процес відновлення колінчатого вала автомобіля, у якому була застосована гідродробоструменева обробка, як частина технологічного процесу відновлення геометрії

У третьому розділі магістерської роботи проводиться оцінка економічної ефективності запропонованих заходів.

У висновку викладаються основні результати проведеного дослідження, даються практичні рекомендації.

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробки колінчатих валів на виготовлювачу-виготовлювачеві-заводі-виготовлювачі.» [19]

Колінвал працює в умовах циклічних знакозмінних навантажень. Температура вала при нормальних режимах роботи не перевищує 150 °С. «Колінчатий вал - деталь найбільш навантажена. Сили, що діють на нього, досить великі. Це сили тиску газів, передані при згорянні палива через шатуни від поршнів, а також сили інерції від їхнього поступального-зворотного-поступального (нагору-униз) руху.» [9] Вал перебуває в агресивній середовищі, і повинен мати корозійну стійкість.

Підвищене зношування, задири (рисунок 1.2) на шийках, забивання масляних каналів, биття й тріщини. Биття колінвала, звичайно виникає через вигин по перегрійтій шатунній шийці.



Рисунок 1.2 - Задир на шатунній шийці

При надмірному нагріванні в аварійній шийці виникають більші внутрішні напруження, які можуть при подальшій роботі двигуна привести до поломки вала.

« Найпоширеніші ушкодження валів - через недостатнє змащення. В основному це задири шийок, тобто «схоплювання» різнорідних металів у сполученні « шийку-вкладиш» з переносом і наволакуванням металу однієї деталі на іншу. Задири завжди супроводжуються збільшенням зазору в

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

підшипнику, зношуванням робочих поверхонь із глибокими кільцевими ризиками, а іноді – перегрівом і навіть розплавлюванням вкладишів.» [19]

Порушення співвісності корінних шийок вала, у результаті перегріву навантаженої сторони шатунної шийки.

Вал сильно перегрівався. Таке буває, зокрема, при провертанні вкладишів на шийці. Посадкові місця під передній і задній сальники. Іноді гумовому сальнику вдається проточити на їхніх поверхнях досить глибокі канавки.

Ще одним дефектом, який іноді можна виявити в колінвалу, є зношування хвостовика. Із-за нього шків починає гойдатися на валу, що звичайно приводить до розривів ременів привода генератора, кондиціонера, насоса гідропідсилювача й т.п. Як відомо, кондиціонер у найважчих режимах може забирати до 13% потужності мотора. Привод на кондиціонер здійснюється через шків, що сидить на хвостовику колінвала, на який, відповідно, впливає навантаження, пропорційна потужності, що відбирається.

Колінчатий вал виготовлений з конструкційної, легованої сталі 40X.

Замінник - сталі: 45X, 38XA, 40XF, 40XP.

«Призначення – осі, вали, вал-шестірні, плунжери, штоки, колінчаті й кулачкові вали, кільця, шпинделі, оправлення, рейки, зубчасті вінці, болти, півосі, втулки й інші, що поліпшуються деталі підвищеної міцності.» [4]

Хімічні, механічні властивості наведено в таблицях 1.1 – 1.7.

Таблиця 1.1 – Температура критичних точок, °C

Ac1	Ac3(Acm)	Ar3(Arem)	Ar1	Mh(105)
743	815	730	693	325

Таблиця 1.2 - Хімічний склад, % (ДСТУ 4543-71)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
				Не більше			
0.36-0.44	0.17-0.37	0.50-0.08	0.80-1.10	0.30	0.30	0.035	0.035

Таблиця 1.3 - Механічні властивості залежно від перетину

Перетин, мм	$\sigma_{0.2}$	σ_B	δ_5	φ	КСУ ₂ Дж/см ²	НВ
	МПа		%			
Гартування 840-860 С, вода, масло. Відпуск 580-650 °С, вода, повітря						
101-200	490	655	15	45	59	212-248
201-300	440	635	14	40	54	197-235
301-500	345	590	14	38	49	174-217

Таблиця 1.4 - Механічні властивості залежно від температури відпуску

Температура відпуску, °С	$\sigma_{0.2}$	σ_B	δ_5	φ	КСУ ₂ Дж/см ²	НВ
	МПа		%			
Гартування 850 °С,						
200	1560	1760	8	35	29	552
300	1390	1610	8	35	20	498
400	1180	1320	9	40	49	417
500	910	1150	11	49	69	326
600	720	860	14	60	147	265

Таблиця 1.5 - Механічні властивості при підвищених температурах

Температура дослідження, °С	$\sigma_{0.2}$	σ_B	δ_5	φ	КСУ ₂ Дж/см ²
	%				
200	700	880	15	42	118
300	680	870	17	58	-98
400	610	690	18	68	78
500	430	490	21	80	-----
700	140	175	33	78	-
800	54	98	59	98	
900	41	69	65	100	
1000	24	43	68	100	
1100	11	26	68	100	
1200	11	24	70	100	

Таблиця 1.6 - Границя витривалості

σ_{-1} , МПа	τ_{-1} , МПа	n	Стан сталі
363	-	10 ⁶	$\sigma_B = 690$ МПа
470	-	10 ⁶	
509	-	-	$\sigma_B = 940$ МПа
333	240	5 · 10 ⁶	$\sigma_{0.2} = 870$ МПа
372	-	-	
			$\sigma_B = 690$ МПа

Технологічні властивості колінчатого вала, узяті згідно з довідковими матеріалами, що пропонуються.

Температура кування, °С: початку 1250, кінця 800, перетину до 350 мм, прохолоджується на повітрі.

Зварюваність – важкозварювана. Способи зварювання: РДС, ЕШС, Необхідні підігрів і наступна термообробка.

Оброблюваність різанням – у гарячекатаному стані при НВ 163 – 168, $\sigma_B = 610$ МПа.

Флокеночуйність – чутлива. Схильність до відпускнуї крихкості – схильна.

Відновлення геометрії шийок колінчатого вала проводиться в випадку граничного відхилення їх розміру щодо однієї з перпендикулярних осей. При цьому, проведення процесу відновлення можливо двома шляхами:

1. Перешліфовка шийок колінчатого вала до ремонтного розміру. Як правило, конструкцією колінчатого вала передбачена перешліфовка на менший, так званий ремонтний розмір. При цьому, під кожний наступний ремонтний розмір виробник передбачав відповідні комплекти вкладишів. Однак, сучасні виробники не залишають такої можливості відновлення базових деталей і ремонтні розміри попросту відсутні. У цьому випадку, залишається винятково другий спосіб відновлення.

2. Відновлення геометрії колінчатого вала шляхом нанесення покриття, з наступної механічною обробкою з метою відновлення первісних геометричних розмірів. На практиці, в умовах сучасних умов, доводиться все частіше прибігати до цього методу.

Практика відновлення геометричних розмірів має на увазі проведення технологічного процесу відновлення зношеного шару матеріалу. як правило, використовується технологія наплавлення або нанесення покриття газоплазмовим методом. Потім проводиться шліфування, завданням якої є відновлення геометрії шийки колінчатого

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

вала до первісних значеннях. Заключним етапом процесу відновлення повинне з'явитися, на думку автора, використання гідрдробоструменевої обробки. Зазначений етап повинен позитивно позначитися на експлуатаційних характеристиках колінчатого вала, підвищивши його зносостійкість і довговічність.

1.2 Аналіз методів проведення технологічного процесу відновлення колінчатого вала

Ремонт і обслуговування своєї продукції стало стійкою тенденцією у сучаснім машинобудуванні. Об'єднання "Татра", "Шкода" у Чехії, Ростоцкий дизельмоторний завод у Німеччині відновлюють свої вироби в рамках фірмової мережі по обслуговуванню й ремонту. Завдяки своїм перевагам метод газотермічного напилення усе більш міцно входить у технологію ремонту деталей автомобіля.

Так компанія CPB industries, що традиційно займається відновленням колінчатих валів методом наплавлення під шаром флюсу порахувала більш доцільним відновлювати їхнім методом газотермічного напилювання (ГТН). Найбільше поширення серед методів ГТН мають: електродугова металізація та плазмове напилювання. Так, у промисловості Німеччини на три установки газоплазмового напилювання доводиться 10 установок для дугової металізації. Найбільше інтенсивно розвивається метод плазмового напилювання.

Досвід роботи фірми Public Service Inc (США) показує, що відновлення валів в 3 рази дешевше виготовлення нових деталей. Колінчатий вал традиційно входить у номенклатуру деталей, відновлюваних методом ГТН.

В ІЕЗ імені Патона розроблені технологія та устаткування для автоматичного наплавлення колінчатого вала двигуна ЗІЛ-130. Технологія

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

заснована на застосуванні самозахисного дроту й техніки наплавлення з поперечними па всю ширину шийки коливаннями електрода. Наплавлений метал типу 35X4ГСМ має твердість HRC 48-54, має підвищену стійкість при терті в умовах окисного зношування.

Значний тепловий вплив на матеріал основи виявляється при будь-якому способі наплавлення. Особливо виростає небезпеки виникнення тріщин при наплавленні чавуну. Виникнення тріщин веде до зменшення випуску продукції й збільшенню вартості відновлення. Ці причини змусили компанію CPR Industries із Сан Оль Нийте, Каліфорнія відмовитися від наплавлення під шаром флюсу й перейти до відновлення чавунних колінчатих валів методом електродугової металізації. Два фактори змусили компанію прийняти таке рішення: то, що напилений шар не створює зони, що зазнає впливу тепла, і то, що напилений шар забезпечує дуже гарні характеристики змащуваності. Через його унікальну здатність утримувати масла.

Компанія вибрала установку для електродугової металізації моделі VT-600, вироблену компанією Wall Colony Corp, Дейтрот, Мічиган [25]. Система моделі VT-600 комплектується джерелом постійного струму із твердої зовнішньої вольтамперної характеристикою з максимальним струмом дуги 600 А. Поверхні шийок відновлюваного вала занижували на глибину 0,64-0,7 мм шліфуванням. Потім поверхні зазнали чорновому шліфуванню на стрічково-шліфувальному верстаті наждаковим папером з розміром зерна 40 мкм. Шийки колінчатого валу промивалися ацетоном, а поверхні, які не підлягали напиленню, захищалися за допомогою звичайної захисної стрічки. Термічне напилювання здійснювалося з нанесення тонкого підстильного шару. Він наносився з того ж металу, що й основне покриття, але процес нанесення покриття протікав при більш низькому тиску повітря. Основний шар осаджувався зі швидкістю приблизно 13,6 кг/година при силі струму 300 А. У якості матеріалу для напилювання використовувався дріт з

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

мартенситної нержавіючої сталі. Ця сталь була обрана для процесу відновлення колінвалів через її високу зносостійкість і малої усадки з метою зменшення до мінімуму можливості появи тріщин. Остаточною операцією відновлення було шліфування шийок у розмір і полірування. На думку компанії іноді відновлені колінчаті вали одержують первісні технічні характеристики. Компанія СРК знайшла економічно вигідно продавати відновлені колінчаті вали (на основі взаємного обміну) за ціною на 30% менше, чим ціна нового колінвала. У Німеччині та Польщі також успішно відновлюються колінчаті вали методом ГТН.

У вітчизняній, практиці також відомі приклади успішного відновлення колінчатих валів методами ГТН . Багато дослідницьких робіт присвячені розробці устаткування й технологічних процесів для відновлення колінчатих валів методом ГТН. Перелік напиляємих матеріалів, рекомендованих для відновлення колінчатих валів великий : сталь У10, 40Х13, 11Х18МВС; Х20Н80, пружинний дріт.

Загальним для всіх газотермічних методів є те, що матеріал покриття нагрівається, розпорошується й прискорюється у високотемпературному газовому потоці (рисунок 1.3). На поверхню виробу основи напиляємий матеріал надходить у вигляді дрібних розплавлених часток, які вдаряються об неї, деформуються й, закріплюючись, накладаються один на одного, утворюючи шарувату структуру.

«У високотемпературне джерело нагрівання 1, напиляємий матеріал може подаватися у вигляді порошку або дроту (прутка) 2 (рисунок 1.3). У випадку нанесення покриттів із дроту, вона нагрівається, плавиться. При напилюванні порошоків, їх твердими вводять у високотемпературний потік, де вони нагріваються в період руху на деякій ділянці А. Одночасно частки розподіляються в газовому потоці й прискорюються їм на ділянці Б. Ділянка Б звичайно на ділянки А. Далі на ділянці В частки 3 направлено переміщуються до основи 5 і утворюють на ній покриття

					МР ТАМ 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

4. При напилюванні частки переплавляються, випаровуються й вступають у хімічну взаємодію з нагрітим газом і навколишнім середовищем. Удар і деформація часток призводить до них надзвичайно швидкій кристалізації й охолодженню. Більшою перевагою технології газотермічного напилювання є можливість регулювання в процесі напилювання складу матеріалу й структури покриття від звичайної до дрібнокристалічної й аморфної, що додатково повідомляє їм комплекс кошовних властивостей.» [32]

«Існують наступні види газотермічного напилювання:

1. газополуменеве напилювання (Flame spraying);
2. плазмове напилювання (Plasma spraying);
3. плазменно-дугове напилювання;
4. високочастотне плазмове напилювання;
5. електродугове напилювання (Electric arc spraying);
6. детонаційне напилювання (Detonation spraying);
7. напилювання в контрольованій атмосфері;
8. напилювання в динамічному вакуумі;
9. тигельне напилювання;
10. інертно плазмове напилювання;
11. внутрішнє плазмове напилювання.» [16]

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

швидкості обертання турбіни або електродвигуна.» [32]

« При використанні повітряної турбіни важко робити точне регулювання швидкості подачі дроту, однак у цьому випадку пальник більш компактний і має менші габарити. Тому повітряні турбіни використовують у пальниках, які призначені для ручного напилювання. Пальника з електричним двигуном дозволяють більш точно регулювати подачу дроту й підтримувати її постійну швидкість. Однак такі мають значну масу, тому їх встановлюють у механізованих установках для напилювання. Діаметр напиляемого дроту звичайно не перевищує 3 мм.» [21]

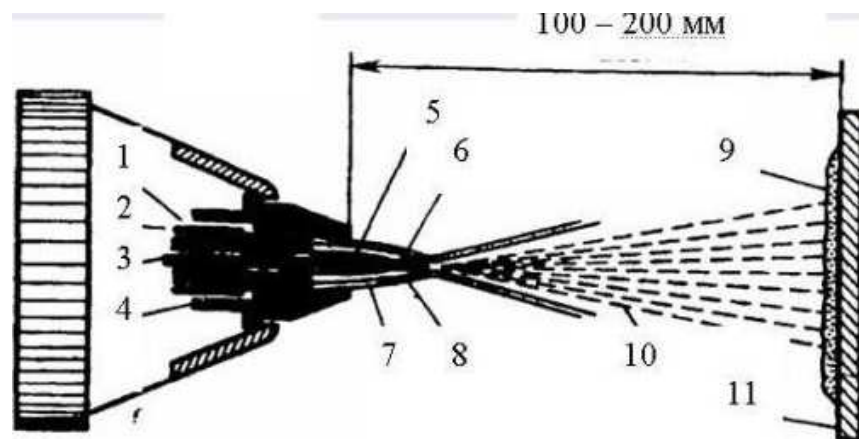


Рисунок 1.4 - Газополуменеве напилювання дротом

1 - стиснене повітря; 2 - ацетиленокиснева або пропано-киснева горюча суміш; 3 - дріт; 4 - насадок; 5 - ядро ацетиленокисневе полум'я; 6 - оплавляючий кінець дроту; 7 - факел полум'я; 8 - повітряний потік; 9 - покриття; 10 - потік часток напиленого матеріалу; 11 - основний матеріал.

«На рис. 1.5 показаний принцип газополуменеве напилювання порошкового матеріалу. Напиляемий порошок надходить у пальник зверху з бункера через отвір, розганяє потоком транспортуючого газу (суміш кисень – горючий газ) і на виході із сопла попадає в полум'я, де відбувається його нагрівання. Що захоплюються струменем гарячого газу частки порошку попадають на напиляему поверхню. У порошкових

пальниках, як і в дротових, подача напиляемого матеріалу в полум'я й розгін що утворюються розплавлених часток може проводитися за допомогою струменя стисненого повітря.

Редуктор знижує тиск стисненого повітря, що надходить із повітряної ємності, до 3,0-6,0 кгс/см², а осушувач видаляє з повітря вологу й масло.» [25]

«У більшості випадків як горючого газу використовують ацетилен. Можна також застосовувати пропан, водень або метилацетиленпропан, який попередньо піддають стабілізації.» [32]

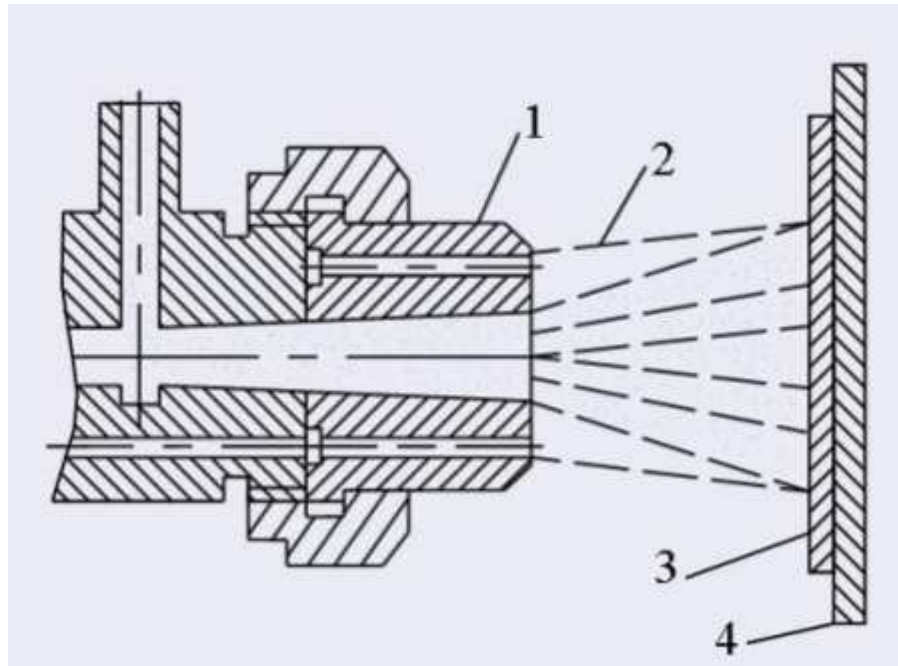


Рисунок 1.5 - Схема газополуменевого напилювання порошкового матеріалу за допомогою транспортуючого газу

1 — сопло; 2 — факел; 3 — покриття; 4 — подложка

Метод плазмового напилювання відрізняється високою температурою струменя. Пористість покриття становить від 2 до 15%, а адгезія близько 25 - 50 МПа. Даний метод нами використовується, як правило, для нанесення керамічних покриттів (антифрикційних, теплозахисних і ін.).

Товщина покриттів може бути забезпечено від 0,5 до 20 мм
Номенклатура оброблюваних деталей і агрегатів:

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

- штоки поршневих компресорів (покриття з карбіду вольфраму й ін.)
- плунжера насосів (покриття з карбіду вольфраму й ін.)
- колінчасті й інші вали (покриття з карбіду вольфраму й ін.)
- корпуса електродвигунів і нафтових глибинних насосів (хромонікелеві покриття)
- тверді підшипники ковзання (покриття з карбіду вольфраму та оксиду алюмінію)
- м'які підшипники ковзання (покриття з бабітів) – жаростійкі покриття
- інші високоякісні покриття

«Інертно плазмове напилювання (ІПН) використовується для високоякісного нанесення будь-яких порошкових матеріалів на поверхню виробів. Процес здійснюється залежно від вимог до покриттів у відкритій камері або в камері з контрольованим середовищем і тиском. Оригінальна конструкція плазмотрона дозволяє одержати досить високої потужності плазмовий струмінь із аргону при відносно низькому значенні струму дуги (до 300 А). Можна застосовувати суміші газів на основі аргону з додаванням азоту, водню, гелію. Створюються наповнені профілі температури й швидкості плазми. Рівномірне нагрівання й прискорення напиляемого матеріалу. Виключається небажаний ефект хімічної взаємодії матеріалу з активними складовими плазми. Забезпечуються висока якість покриттів і стабільність процесу напилювання.» [32]

Значний ресурс роботи плазмотрона - сотні годин. Потужність аргонового плазмотрона - 10 - 50 кВа. Витрата аргону - 1,5 - 7,0 м³/годин. Витрата води на охолодження - 0,7 м³/ч. Ресурс роботи катода й анода - 200 годин. Продуктивність по напиляємим матеріалам: NiCrBSi - 7 кг/год, Al₂O₃ - 2 кг/год. Швидкість напиляємих часток, у відкритій камері - до 600 м/с, у камері з розрідженим середовищем - до 800 м/с

«Область застосування. Зміцнення поверхні відповідальних вузлів і

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

деталей машин і механізмів. Нанесення легких матеріалів, що окисляються.

Створення виробів з композиційних матеріалів практично будь-якого складу співвідношення.» [32]

Метод високошвидкісного HVOF напилювання має дуже високу швидкість робочого струменя (до 5 швидкостей звуку), що забезпечує більшу кінетичну енергію часток напиляемого матеріалу. Покриття, нанесені цим методом характеризуються надвисокою щільністю (більш 99%) і адгезією більш 80 МПа. Товщина покриттів може бути забезпечено від 0,05 до 3 мм. Більш товсті покриття технологічно можуть бути отримані, але вони економічно недоцільні. Температура струменя становить близько 1800 °С.

«Підводимий до пальника кисень, проходячи через інжектор, створює на ньому розрядження, у результаті чого в кільцеву камеру засмоктується ацетилен і змішується з киснем. У камері є 8 сопів, розташованих симетрично. Киснево-ацетиленова суміш, фокусується з утворенням різкої границі в структурі полум'я.

Через центральний канал подається з певною швидкістю й певного складу напиляемий матеріал. Порошковий матеріал, залежно від призначення деталі, міняє свій хімічний склад (зміцнюючи та пластифікуюча фаза) аж до включення твердого змащення у вигляді плакованого графіту. Газополуменевий пальник може працювати в будь-якому просторовому положенні: вона може бути закріплена нерухомо або в спеціальному пристосуванні, яке переміщається уздовж обертового виробу. Подача кисню й ацетилену - від балонів через спеціальні редуктори та ротаметри. Установка дозволяє наносити покриття з різних металів, кераміки, а також з порошків самофлюсуючих й композиційних матеріалів.» [21]

У результаті застосування сопла Лавалю швидкість напиляемого потоку перевищує 330 м/с, тобто стає вище швидкості звуку.

Використання сопла Лавалю дозволить нам зробити й потік газового

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

полум'я, і потік повітря ламінарними, запобіжить розсіюванню й збільшить швидкість периферійних часток. Крім того, значно знизиться час впливу розплавленого напиляемого матеріалу з киснем, що позитивно позначиться на якості покриття.

«Температура оброблюваної деталі в процесі напилювання не перевищує 120-180 °С. Даний метод дозволяє одержувати високоякісні покриття практично із усіх металів, карбідів і металокераміки (з яких можливо виготовити порошок). Найбільш затребуваними на теперішній момент є зносостійкі покриття з карбиду вольфраму (твердість покриття 72-74 од. HRC) і корозійностійкі кулькові-нікелеві покриття.» [32]

«Даний спосіб дозволяє наносити на вали покриття, що володіють високою зносостійкістю, низьким коефіцієнтом тертя, корозійною стійкістю (у тому числі й в агресивних середовищах). При цьому покриття характеризуються дуже високою адгезією (більш 8 кг/мм²) і щільністю (щільність покриття не уступає щільності литого металу). Твердість покриттів визначається нанесеним матеріалом і може бути забезпечена до 74 од. HRC.» [25]

У процесі нанесення покриття оброблюваний виріб нагрівається до температури не більш 120-180⁰С, що дозволяє практично повністю уникнути термічних деформацій і хіміко-термічного впливу на деталь.

«Висока міцність зчеплення й мінімальна пористість, одержувані при використанні даного методу, дозволили успішно відновлювати зношені робочі поверхні валів, плунжерів, штоків, що вимагають високого класу чистоти поверхні при остаточній обробці. Ресурс роботи виробів з даними покриттями збільшується в кілька раз.» [32]

В області електродугової металізації ведуться роботи зі створення високочастотних систем електроживлення із частотою 2-3 МГц. Так само як і при газополуменевому напилюванні, усе більша увага починає приділятися формуванню потоку з метою збільшення швидкості часток напиляемого

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

матеріалу і його більшого роздрібнення. Роботи в цьому напрямку розвиваються по шляху створення систем із закритим соплом, у яких швидкості часток і стисненого повітря зростають в осьовому напрямку внаслідок взаємодії з радіальним повітряним потоком. Одночасно вдається краще сфокусувати пучок, регулювати його коефіцієнт зосередженості.

Перспективні роботи в області контролю хімічної активності потоку й середовища при електродуговій металізації. Традиційно вважалося, що при електродуговій металізації практично неможливо одержати покриття, вільні від оксидів. Особливо це складно при необхідності створення антикорозійних покриттів з металів (наприклад, титану, танталу), що активно реагують із киснем і азотом повітря. У таких випадках пропонувалося використовувати електродугове розпилення в камері, заповненої інертним газом, і розпилення вести не стисненим повітрям, а інертним газом. При цьому вдалося суттєво знизити вміст забруднюючих покриття продуктів реакцій, однак неминуче газонасичені покриття приводило до підвищеної пористості. Крім того, міцність зчеплення покриття з основою, а також часток у покритті між собою виявилася нижче, чим при напилюванні стисненим повітрям.

У зв'язку із цим з початку 80-х років почався розвиток систем електродугового розпилення при зниженому тиску інертної атмосфери в камері. Процес плавлення дротів переміщений у внутрішню камеру металізатора, де підтримується більш високий тиск, чим в обсязі камери напилювання. Це забезпечує надійне плавлення й наступне формування потоку високотемпературного газу й крапля. Профілювання сопла дозволяє прискорити потік газу до надзвукових швидкостей і відповідно забезпечити більші швидкості часток напилюемого матеріалу, а отже, підвищити міцність зчеплення покриття з основою й часток у покритті між собою. Крім того, очікується, що внаслідок зниженого тиску газів у робочій камері вдасться добитися дегазації металу й понизити пористість

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

покриття. Додаткові переваги можуть бути забезпечені, якщо збудити дуговий розряд між дротами, що подавати в камеру, і основою, на яку ведеться напилювання.

«Загальні вимоги до установок (апаратам) для газотермічного напилювання, полягають у наступному: одержання стабільного потоку напиляємих часток заданої форми; регулювання потоку напиляємих часток по продуктивності, температурі й швидкості; забезпечення високих значень енергетичних коефіцієнтів розпилення η ; можливість механізації й автоматизації процесу; висока довговічність і надійність; безпека й зручність експлуатації; екологічна прийнятність; висока продуктивність процесу й питома продуктивність апарата; мінімальна матеріалоемність і невелика вартість. Установки класифікують залежно від методу напилювання, виду підводимої енергії, рівня механізації й форми, що розпорошується матеріалу.» [32]

На теперішній час випускають ряд установок для газополуменевого напилювання дротовими й порошковими матеріалами. У якості енергетичних газів використовується ацетилен і пропанобутанова суміш. Подача до розпилювача ацетилену (або замітника), кисню, а в ряді випадків і додаткового газу (повітря) для розпилення здійснюється від вузла газопостачання. Вузол газопостачання, як правило, не входить у комплект апарата, що випускається. Його монтують безпосередньо на робочій ділянці. Апарати для газополуменевого напилювання звичайно комплектуються розпилювачем (пістолетом), механізмом подачі дроту або порошку й пультом керування. Часто механізм подачі дроту розташовують в одному корпусі з розпилювачем, а порошковий живильник закріплюють на ньому.

Газополуменеві розпилювачі. Основним елементом газополуменевого апарата є розпилювальна головка. Залежно від способу подачі горючого газу розрізняють інжекторні й безінжекторні розпилювальні головки. На рис. 1.6, а наведена зразкова конструктивна схема інжекторної головки. У корпусі

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

головки 1 розміщені кільцевий канал і, перпендикулярно йому, поздовжні по периферії. Центральний канал с наконечником 2 призначений для подачі матеріалу, що розпорошується. Корпус головки постачений газовим соплом 3 з розпилювачем горючої суміші. Для дротового й іноді порошкового напилювання передбачене повітряне обтискне сопло 5 з повітряним ковпаком 4 і відповідні комунікаційні канали. Для подачі горючого газу в змішувальну камеру 6 передбачений інжектор 7. До інжектора підводиться кисень під тиском 0,2-0,4 МПа. На виході з інжектора розвивається висока швидкість витікання кисню й відповідно до цього місцеве розрідження. Відбувається підсмоктування горючого газу через периферійні канали інжектора. При наявності інжектора розпилювач може працювати із застосуванням горючого газу, що перебуває під низьким тиском. Це важливо для ацетилену, одержуваного на місці вироблених робіт від переносних ацетиленових генераторів низького тиску (0.005-0.01 МПа). При більш високих тисках горючого газу роль інжекції знижується. У випадку рівних або близьких тисків кисню й горючого газу може проводитися без інжекторна подача (рис. 1.6, б).

Наявність інжектора робить розпилювач універсальним по тискові горючого газу. На виході з газового сопла утворюється полум'я, що є джерелом нагрівання, розпилення й прискорення напиляємих часток. Розпилюючу головку закріплюють у корпусі апарата. Для напилювання внутрішніх поверхонь застосовують змінні кутові головки з подовжувачами. На відміну від плазмових пальників розпилюючі головки становлять найчастіше невід'ємну частину газополуменевого апарата. Розпилюючі головки не взаємозамінні.

Установки для порошкового напилювання. У цей час в основному застосовують три типи установок: УГПТ, Л-5401 і УПТР-1-85. Головне їхнє призначення полягає в напилюванні покриттів із самофлюсуючих сплавів з наступним оплавленням. Тому установки комплектуються пальниками для

					МР ТАМ 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

оплавлення. Установки придатні також для напилювання покриттів металевими, керамічними, композиційними порошками з температурою плавлення до 2000 К. Для напилювання легкоплавких органічних і неорганічних матеріалів використовують установку УГПЛ.

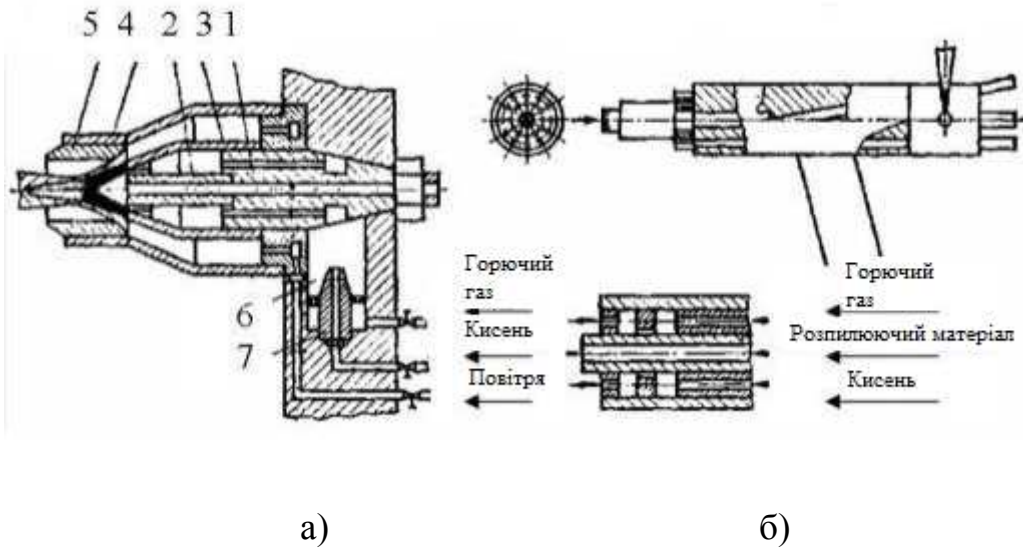


Рисунок 1.6 - Конструктивна схема газополуменевого розпилювача
а) інжекторного типу, б) без інжекторного типу

Установка УПН-6 призначена для нанесення покриттів тільки з органічних полімерів. Порошки із частками розміром 0,15-0,25 мм. Полум'я ацетиленове-повітряно-ацетиленове. Порошковий живильник спрощеної конструкції має малі масу й розміри.

УПН-6 використовується для газопорошкового напилювання самофлюсуючими та терморреагуючими сплавами з температурою плавлення до 2273—2473 К, таких, як оксид алюмінію, ніхром, нікелеалюмінієві сплави, нікелеборохромокремнієві сплави, карбідовмісткі композиції й ін. Крім операції газополуменевого напилювання передбачена можливість наступного оплавлення покриттів, наплавлених із твёрдосплавних порошків

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

типу Nicrbsi, Nicrbsi+карбід (наприклад, WC) полум'ям зварювального пальника.

Для оплавлення покриттів установка укомплектована газовим пальником ГС-3А и двома сітчастими мундштуками. Установка складається з бачка-живильника й розпилюючого пістолета з інжекторним пристроєм. Порошок захоплюється минаючим через бачок-живильник киснем і направляється в центральний канал пістолета, а потім у зону полум'я. Установка придатна для нанесення покриттів з окису алюмінію.

Принцип роботи металізатора полягає в розплавлюванні дроту при її безперервній подачі в потік продуктів згоряння горючої суміші й наступним розпиленні розплавленого металу (його крапля) газовим потоком.

Металізатор МГИ-4 (див. рис. 1.7) складається з наступних основних частин: турбінного привода 17 з індукційним регулятором подачі дроту; двоступінчастого черв'ячного редуктора (5, 7, 15, 14); механізму подачі дроту (2, 3, 4, 6, 10) і розпилюючої головки (19, 11).

Турбінний привод служить для безперервного обертання провідного ролика 3 механізму подачі дроту й плавного регулювання його частоти обертання.

Двоступінчастий редуктор (5, 7, 15, 14) розташований у герметичному відсіку корпусу металізатора (рис. 1.7). На вихідному валу 4 редуктора встановлена змінна шестірня 1. Натискний ролик 2 вільно обертається на осі, закріпленої на відкидній кришці 8. Зусилля, створюване натискним роликом, передається за допомогою пружинного пристрою, розташованого на кришці. Під час роботи кришку закривають і фіксують. Рукоятка дозволяє швидко пригорнути натискний ролик до дроту для її подачі або віджати його. В останньому випадку кришку необхідно відкрити.

Конструктивна відмінність металізаторов МГИ-4А и МГИ-4П полягає у відмінності перетинів каналів у розпилюючої головці, по яких транспортуються горючий газ і кисень.

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

штуцер, 7 і 15-колесо черв'ячне, 8-кришка верхня, 9-гачок, 10-гвинт регулювальний, 11-кран, 12-шайба спеціальна, 13-шайба регулювальна, 16-пробка, 17-турбінний привод, 19-головка розпилювача.

« Останнім часом при газотермічному напилюванні застосовують такий вид видаткових матеріалів, як гнучкі шнури Sfecord, які випускає в французько-українське підприємство "Технікорд" по know-how фірми SNMI (Societe Nouvelle De Metallisation Industries).

Гнучкі шнури розроблені для використання в газополумених металізаційних системах і являють собою композиційний матеріал дротового типу, що полягає з порошкового наповнювача й органічних сполучень, повністю зникає при нанесенні покриття (сублімує в процесі нагрівання при 400 °С без якого-небудь відкладання на підложку).» [16]

«Установка Технікорд ТОП-ЖЕТ/2. Устаткування СП "Технікорд" (Франція) має підвищену (до 10 кг/ч) продуктивністю розпилення. Для більшості матеріалів КІМ становить не менш 80 %. Струмień розпилу вузький (пляма становить 10—15 мм у діаметрі на відстані від 120 до 150 мм від зрізу сопла до підложки). Пористість покриттів залежно від марки матеріалів, режимів і дистанції напилювання складає від 3 до 10 %. Особлива перевага гнучка шнури цього типу мають при застосуванні сумішей.» [32]

В Україні та близькому зарубіжжі таке спеціалізоване устаткування. Установка складається з пістолета для металізації ТОП-ЖЕТ/2 (рис. 1.8), пульта керування, підставки для його установки і котушок зі шнуровими матеріалами.

СП "Технікорд" пропонує десятки спеціальних матеріалів: від стандартних сплавів і кераміки до спеціально створених нових матеріалів, таких як Me + Z (N8), Me + MeO + Z (MB).

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

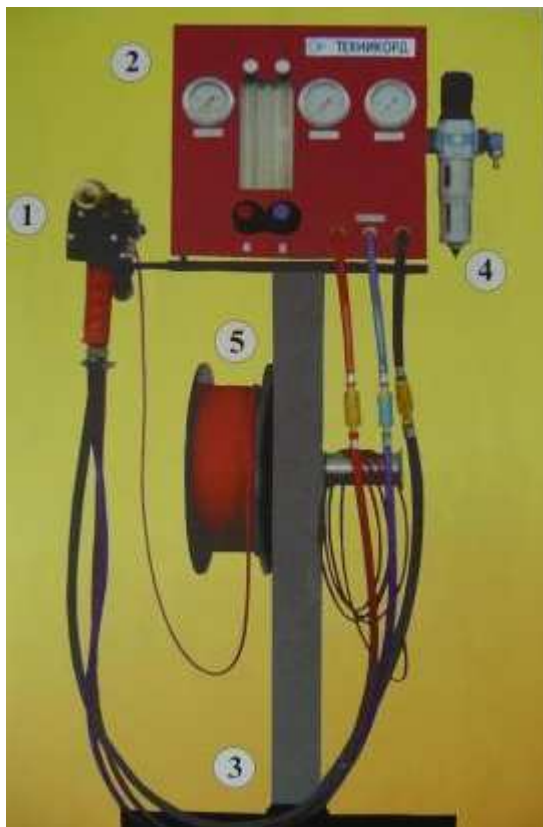


Рисунок 1.8 - Багатофункціональний апарат газополуменевого напилювання "ТЕХНОКОРД ТООП – ЖЕТ/2"

У цілому, напилювальні, що відновлюють і зміцнюють покриття повинні мати комплекс вимог: стійкістю в окисному зношуванні, когезійної і адгезійної міцністю, задовільною оброблюваністю. Певні обмеження на вибір технології виявляє вартість застосовуваного матеріалу, доступність устаткування для комплектування ділянки відновлення, а також рівень шкідливостей вироблених у процесі напилювання. Найбільше повно відповідає запропонованим вимогам для відновлення й зміцнення колінчатих валів технологія газополуменевого нанесення покриттів, як найпростіша та економічна, однак більше коштує проблема одержання високої адгезії нанесених покриттів, важливим фактором якої є швидкість напилюємих часток.

« При дуже малій відстані між соплом і основою, коли швидкість досить висока, виникає небезпека жолоблення основи під дією термічних напруг.

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Коли ж відстань занадто велика, температура й швидкість часток, що летять, знижується, що приводить до утворення пухкого покриття й зменшенню адгезії» [32]

Тому в розробленій установці пропонується застосовувати газополуменеву палик з надзвуковим потоком витікання робочої суміші конструкції. Сутність зміни полягає в застосуванні камери згоряння у вигляді сопла Лаваля й додаткових прискорювальних повітряних каналів, розташованих навколо камери, також у вигляді сопла Лаваля.

Усі застосовувані технології відновлення деталей, у тому числі існуюча технологія газополуменевого напилювання, передбачають роздільні технології по підготовки поверхні і її наступного зміцнення на різнім устаткуванні. Зміна базування великогабаритних колінчатих валів, тим більше складної геометрії, сполучене з певними труднощами й вимагає застосування додаткового устаткування, для закріплення виробу в горизонтальному положенні, а також приводить до втрати адгезійних властивостей, геометрії і якості поверхні зміцненого виробу й втрати часу, отже, веде до зниження якості кінцевої деталі.

Таким чином, провівши аналіз методів відновлення колінчатих валів, робимо висновок про метод газоплазмового напилювання як найбільш прогресивний і практично-застосовний. Оскільки, є устаткування для проведення таких операцій і необхідні видаткові матеріали.

Застосування дробеструменевої обробки в процесі відновлення припускає застосування обробки на етапі перед безпосередньо нанесенням покриття, для формування мікропрофілю поверхні, що поліпшує адгезію.

Після проведення шліфування поверхні, дробеструменева обробка проводиться з метою формування поверхневого наклепу шийок колінчатого вала, що дозволить підвищити експлуатаційні характеристики відновленої деталі.

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Розділ 2 Вплив гідродробоструменевої обробки на поверхневе зміцнення шийок колінчатих валів автомобілів

2.1 Сутність процесу гідродробоструменевої обробки

Технологія гідродробоструменевої обробки - це сучасний дробеструменевий метод обробки деталей, який широко застосовується в аерокосмічній, автомобільній і інших галузях промисловості для зняття дефектів механічної обробки, захисту від поверхневих втомних напруг, методом струминного впливу дробу на поверхню оброблюваної деталі, а так само для пластичного згинання поверхонь тонких листових матеріалів.

Обробка деталей може проводитися сталевією, пластиковією, скляною або керамічним дробом, рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Процес дробоструменевої обробки

Відмінність гідроструменевого методу полягає в тому, що середовище, що служить для переміщення дробу, є рідкої, відповідно, при зіткненні дробу в крапці безпосереднього контакту відбувається не сухе, а рідке тертя. У цьому випадку, знижується ймовірність перенаклепу, виключається пов'язане із цим шелушення металу і як результат – формування поверхні з найкращими показниками шорсткості поверхні.

Даний тип обробки шляхом впливу на поверхню металу дробу із силою, достатньої для створення пластичної деформації створює регульована напруга стиску в поверхневому шарі, що поліпшує механічні властивості поверхневих шарів, підвищує втомну міцність і збільшує термін служби деталі, запобігаючи появу задирів, тріщин і корозії на її поверхні.

Тип дробу: металеві, скляні, керамічні, пластикові кульки або сфероїдальна рубаний металевий дріт.

Сфери застосування гідродробоструменевого обробки наступні.

У промисловості: Деталі коробка передач, первинні й колінчаті вали, листові ресори й гвинтові пружини, торсіони, зірочки, шестірні й шестірні зубчастих передач, пружини зчеплення, деталі карданних валів, важільні механізми, пружини й деталі клапанів, елементи коробок передач, кільця синхронізатора, міжосьові диференціали, вал шестірні, осі й осьові чашки, роздавальні й передавальні механізми, шатуни, підшипники, ролики й опорні поверхні, поршні, поршневі пальці, пуансони, бурових штанги, деталі бурових верстатів, бурильний інструмент і ін.

В авіаційній і космічній промисловості: Лопатки авіаційних турбін і інші елементи авіатурбін, лопатки компресорів, моноколеса, деталі літаків, шасі й інші відповідальні елементи повітряного судна й вертольота, формування дизайну й обшивки крила літака, формування стрингерів і лонжеронів, додання необхідної геометрії, кривизни вигинів і аеродинамічної гладкості.

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

При такій обробці дефекти, що утворювалися в поверхневому шарі деталі на попередніх операціях різання, особливо при шліфуванні, значною мірою ліквідуються, шар зміцнюється, у ньому створюються стискаючі залишкові макронапруги, довговічність деталей зростає.

«Основними показниками зміцнюючої чистової обробки є товщина й ступінь наклепу, величина залишкових макронапруг стиску й шорсткість поверхні.

У цьому випадку товщина наклепаного шару становить 0,1 мм, шорсткість Rz20.» [20]

Для визначення часу t , потрібного на обробку деталі, і витрати дроби Q , залежно від інших параметрів процесу, застосовується формула:

$$t = k \frac{4D}{Vg \sin^2 \alpha}, \quad (2.1)$$

де k - коефіцієнт, що визначає умови одержання оптимальних результатів;

4 - відстань деталі від дробемета;

D - діаметр дроби;

V - швидкість польоту дроби;

α - кут атаки;

g - пропускна здатність дробемета (по вазі дроби).

При досить високій швидкості напиляємих часток, порядку 200 м/с можливий утворення наноградієнтних шаруватих покриттів (рис. 2.2, 2.3). Цьому свідчить наведений розрахунок:

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

адгезійних властивостей одержуваних наногradientних покриттів. Підвищення щільності дислокацій при К сприяє встановленню хімічного зв'язку покриття – основа.» [32]

2.2 Дослідження процесу проведення гідродробоструменевої обробки

Для впровадження якій або технології у виробництво потрібне проведення дослідницьких робіт з метою виявлення які відмінності будуть присутні при застосуванні даної технології в порівнянні з техпроцесом у відсутності технології. Метою даного розділу є виявлення за результатами випробувань наявності ефекту при зміцненні поверхонь дробом рідинною сумішшю.

На установці ГДЕУ були оброблено 27 еталонних пластин Альмана на різних режимах.

Потрібно виявити вплив режиму обробки на:

1. Зміна стріли прогину
2. Зміна шорсткості в поздовжньому й поперечному напрямках
3. Зміна твердості пластин

По кожному з видів досліджень проводяться відповідні випробування з наступним складанням математичної моделі експерименту і її наступним аналізом.

Аналіз впливу режимів обробки на зміну стріли прогину. Проводяться випробування пластин на установці ГДЕУ, після чого здійснюється вимір стріли прогину за допомогою вимірювальної головки годинного типу із ціною розподілу 0.01 мм. Результати вимірів для складання математичної моделі зводяться в таблицю 2.1

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 2.1 - Результати вимірів стріли прогину за результатами експерименту для складання математичної моделі

X_{0i}	X_{1i}	X_{2i}	X_{1i}	X_{2i}	$X_{1i}X_{2i}$	$X_{0i}Y_i$	$X_{1i}Y_i$	$X_{2i}Y_i$	$X_{1i}^2Y_i$	$X_{2i}^2Y_i$	$X_{1i}X_{2i}Y_i$
1	1	1	1/3	1/3	1	0.92	0.92	0.92	0.307	0.307	0.92
1	1	-1	1/3	1/3	-1	0.893	0.893	-0.893	0.297	0.298	-0.89
1	-1	1	1/3	1/3	-1	0.255	-0.255	0.255	0.085	0.085	-0.25
1	-1	-1	1/3	1/3	1	0.203	-0.203	-0.203	0.068	0.068	0.203
1	0	0	2/3	-2/3	0	0.717	0	0	-0.478	-0.478	0
1	1	0	1/3	-2/3	0	0.9	0.9	0	0.3	-0.599	0
1	-1	0	1/3	-2/3	0	0.277	-0.227	0	0.075	-0.151	0
1	0	1	-2/3	1/3	0	0.737	0	0.737	-0.491	0.245	0
1	0	-1	-2/3	1/3	0	0.673	0	-0.673	-0.448	0.224	0
9	0	0	0	0	0						
9	6	6	2	2	4						

На підставі даних таблиці 2.1 проводиться формування математичної моделі наступного виду:

$$Y = 0.70976 + 0.338X_1 + 0.0238X_2 - 0.14265 \cdot X_1^2 - 0.0115 \cdot X_2^2 - 0.00625X_1 \cdot X_2 \quad (2.2)$$

Проведемо перевірку відтворюваності експерименту по Кохрену, для чого зведемо результати в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Результат перевірки відтворюваності експерименту по Кохрену

№	X_0	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Y_3	Y_i	$S^2\{y\}$
1	1	1	1	0.91	0.94	0.91	0.92	0.0003
2	1	1	-1	0.89	0.9	0.89	0.893	0.000034
3	1	-1	1	0.26	0.255	0.25	0.255	0.000023
4	1	-1	-1	0.22	0.21	0.18	0.203	0.00043
5	1	0	0	0.71	0.72	0.72	0.717	0.000036
6	1	1	0	0.89	0.9	0.91	0.9	0.0001
7	1	-1	0	0.23	0.240	0.21	0.227	0.00023
8	1	0	1	0.73	0.75	0.78	0.737	0.000109
9	1	0	-1	0.68	0.66	0.68	0.637	0.000135
$\Sigma =$								0.001393

Потрібно перевірити однорідність при $\alpha = 0.05$:

1. Обчислюємо для кожного рядка середні арифметичні й коефіцієнт дисперсії для функції відгуку y_i ;
2. Обчислюємо відоме значення критерію Кохрена, рівне відношенню максимальної емпіричної дисперсії до суми дисперсії по всіх рядках, для нашого випадку $G_{0p} = 0,308$;
3. Теоретичне значення критерію Кохрена $G_{теор} = 0,47$;
4. Тому дослідне значення критерію Кохрена менше теоретичного, то гіпотеза про однорідність дисперсій виміру функції відгуку при рівні значимості $\alpha = 0,05$ за критерієм Кохрена не відкидається;
5. Загальна дисперсія експерименту буде рівна $S\{y\} = 0.0126$. Проведемо статистичну оцінку коефіцієнтів значимості регресії по Стьюденту.

Умовою значимості коефіцієнта буде: $\delta > V_i$ – коефіцієнт не значимо

$\delta < V_i$ – коефіцієнт значимо Розрахунок зведемо в таблицю 7.3.

Таблиця 2.3 - Статистична оцінка коефіцієнтів значимості регресії по Стьюденту

	Σx	Среднеквадратичне відхилення коефіцієнтів регресії	Величина інтервала	$V_i \pm \delta$	
B_0	9	$0.0126/3 = 0.0042$	$2.06 * 0.0042$	0.7097 ± 0.0086	+
B_1	6	$0.0126/2.4 = 0.051$	$2.06 * 0.0051$	0.338 ± 0.0105	+
B_2	6	$0.0126/2.4 = 0.051$	$2.06 * 0.0051$	0.0238 ± 0.0105	+
B_{11}	2	$0.0126/1.4 = 0.089$	$2.06 * 0.089$	0.1426 ± 0.0183	+
B_{22}	2	$0.0126/1.4 = 0.089$	$2.06 * 0.089$	0.0012 ± 0.0183	-
B_{12}	4	$0.0126/2 = 0.0063$	$2.06 * 0.0063$	0.00625 ± 0.0129	-

Після виведення нової матмоделі проведемо її перевірку на адекватність по Фішеру, результат у таблиці 2.4.

Залишкова дисперсія по $\Sigma = 0,000462 S^2 = 0.0001155$

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Загальна отримана дисперсія рівна 0,0001588.

Критерій Фішера перебуває як відношення цих двох дисперсій $F = 0,7273$.

$F_{теор} = 2,6$ матмодель адекватна.

Аналіз впливу режимів обробки на зміну поздовжньої шорсткості.

Проводяться випробування пластин на установці ГДЕУ, після чого здійснюється вимір шорсткості на дослідницькій базі ТГУ.

Дані по поздовжній шорсткості зводяться в таблицю 2.5

Таблиця 2.5 – Дані по поздовжньої шорсткості

X_{0i}	X_{1i}	X_{2i}	X_{1i}	X_{2i}	$X_{1i}X_{2i}$	$X_{0i}Y_i$	$X_{1i}Y_i$	$X_{2i}Y_i$	$X_{1i}Y_i$	$X_{2i}Y_i$	$X_{1i}X_{2i}Y_i$
1	1	1	1/3	1/3	1	0.35	0.35	0.35	0.117	0.117	0.35
1	1	-1	1/3	1/3	-1	0.36	0.36	-0.36	0.12	0.12	-0.36
1	-1	1	1/3	1/3	-1	0.31	-0.31	0.31	0.103	0.103	-0.31
1	-1	-1	1/3	1/3	1	0.37	-0.37	-0.37	0.123	0.123	0.37
1	0	0	2/3	-2/3	0	0.28	0	0	-0.187	-0.187	0
1	1	0	1/3	-2/3	0	0.39	0.39	0	0.13	-0.26	0
1	-1	0	1/3	-2/3	0	0.33	-0.33	0	0.11	-0.22	0
1	0	1	-2/3	1/3	0	0.28	0	0.28	-0.187	0.093	0
1	0	-1	-2/3	1/3	0	0.29	0	-0.29	-0.193	0.096	0
9	0	0	0	0	0						
9	6	6	2	2	4						

Одержуємо математичну модель на підставі даних таблиці 2.5:

$$Y = 0.28777 + 0.015 * X_1 - 0.0133 X_2 + 0.06834 * X_1 X_2 + 0.0067 * X_1 X_2 + 0.0125 * X_1 * X_2$$

Проведемо перевірку відтворюваності експерименту по Кохрену, для чого зведемо результати в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 - Перевірка відтворюваності експерименту по Кохрену

№	X ₀	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y _i	S ² {y}
1	1	1	1	0.32	0.4	0.34	0.35	0.00175
2	1	1	-1	0.39	0.37	0.32	0.36	0.0013
3	1	-1	1	0.31	0.3	0.33	0.31	0.00025
4	1	-1	-1	0.37	0.37	0.37	0.37	0
5	1	0	0	0.25	0.31	0.29	0.28	0.00095
6	1	1	0	0.38	0.36	0.42	0.39	0.00095
7	1	-1	0	0.28	0.41	0.29	0.33	0.00525
8	1	0	1	0.31	0.23	0.29	0.28	0.00215
9	1	0	-1	0.23	0.32	0.32	0.29	0.0027
Σ=								0.0152

Потрібно перевірити однорідність при $\alpha = 0.05$

1. Обчислюємо для кожного рядка середні арифметичні й дисперсії для функції відгуку у_i.

2. Обчислюємо дослідне значення критерію Кохрена, рівне відношенню максимальної емпіричної дисперсії до суми дисперсії по всіх рядках, для нашого випадку $G_{оп} = 0,34$

3. Теоретичне значення критерію Кохрена $G_{теор} = 0,47$ 4. Тому що дослідне значення критерію Кохрена менше теоретичного, то гіпотеза про однорідність дисперсій виміру функції відгуку при рівні значимості $\alpha = 0,05$ за критерієм Кохрена не відкидається.

5. Загальна дисперсія експерименту буде рівна $S\{y\} = 0.041$ Проведемо статистичну оцінку коефіцієнтів значимості регресії по Стьюденту.

Умовою значимості коефіцієнта буде: $\delta > V_i$ – коефіцієнт не значимо

$\delta < V_i$ – коефіцієнт значимо Розрахунок зведемо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 - Оцінка коефіцієнтів значимості регресії по Стьюденту

	Σx	Среднь оквадратичне відхилення коефіцієнтів Регресії	Величина інтервала	$B_i \pm \delta$	
B_0	9	$0.041/3 = 0.0136$	$2.06 * 0.0136$	0.28777 ± 0.028	+
B_1	6	$0.041/2.4 = 0.0167$	$2.06 * 0.0167$	0.015 ± 0.034	-
B_2	6	$0.041/2.4 = 0.0167$	$2.06 * 0.0167$	0.0133 ± 0.034	+
B_{11}	2	$0.041/1.4 = 0.029$	$2.06 * 0.029$	0.06834 ± 0.059	-
B_{22}	2	$0.041/1.4 = 0.029$	$2.06 * 0.029$	0.0067 ± 0.059	-
B_{12}	4	$0.041/2 = 0.0205$	$2.06 * 0.0205$	0.0125 ± 0.042	-

Математична модель буде виглядати в такий спосіб:

$$Y = 0.28777 + 0.06834X_{12}$$

Після виведення нової математичної моделі проводимо її перевірку на адекватність по Фішеру, таблиця 2.8.

Таблиця 2.8 – Перевірка математичної моделі на адекватність по Фішеру

Залишкова дисперсія: $S^2\{y\}_{ост} = 0,0009816$ Дисперсія експерименту: $S^2\{y\}_{общ} = 0,0017$

Досліджене значення критерію Фішера: $F_{оп} = 0,57 < F_{теор} = 2,6$
Математична модель адекватна.

Аналіз впливу режимів обробки на зміну твердості пластин. Проводяться випробування пластин на установці, після чого здійснюється вимір твердості на приладі марки ТПП-2.

Для побудови математичної моделі зведемо результати в таблицю 7.9.

Таблиця 2.9 – Результати виміру твердості пластин

X _{0i}	X _{1i}	X _{2i}	X' _{1i}	X' _{2i}	X _{1i} X _{2i}	X _{0i} Y _i	X _{1i} Y _i	X _{2i} Y _i	x' _{1i} Y _i	X' _{2i} Y _i	X _{1i} X _{2i} Y _i
1	1	1	0,33333	0,33333	1	4,11	4,11	4,11	1,37	1,37	4,11
1	1	-1	0,33333	0,33333	-1	8,89	8,89	-8,89	2,96333	2,96333	-8,89
1	-1	1	0,33333	0,33333	-1	8,79	-8,79	8,79	2,93	2,93	-8,79
1	-1	-1	0,33333	0,33333	1	5,6	-5,6	-5,6	1,86666	1,86666	5,6
1	0	0	-0,66666	-0,66666	0	6,23	0	0	-4,15329	-4,15329	0
1	1	0	0,33333	-0,66666	0	7,93	7,93	0	2,64333	-5,28661	0
1	-1	0	0,33333	-0,66666	0	8,69	-8,69	0	2,89666	-5,79328	0
1	0	1	-0,66666	0,33333	0	5,66	0	5,66	-3,7733	1,88666	0
1	0	-1	-0,66666	0,33333	0	7,23	0	-7,23	-4,81995	2,41	0
9	0	0	1,8E-05	1,8E-05	0	63,13	-2,15	-3,16	1,92345	-1,80653	-7,97
9	6	6	2	2	4						
B ₀	B ₁	B ₂	B ₁₁	B ₂₂	B ₁₂						
6,97547	-0,35833	-0,52667	0,96172	-0,90326	-1,9925						

Математична модель буде виглядати в такий спосіб:

$$\hat{Y} = 6.97547 - 0.3583 \cdot X_1 - 0.5267 \cdot X_2 + 0.96172 \cdot X_{12} - 0.9033 \cdot X_{22} - 1.9925 \cdot X_1 \cdot X_2$$

Проведемо перевірку відтворюваності експерименту по Кохрену, для чого зведемо результати в таблицю 2.10

Таблиця 2.10 - Перевірка відтворюваності експерименту по Кохрену

№	X ₀	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y _i	S ² {y}
1	1	1	1	2,8	2,53	7	4,11	5,43
2	1	1	-1	7,83	10,4	8,43	8,89	1,707
3	1	-1	1	9,07	7,3	9,99	8,79	1,87
4	1	-1	-1	6,07	6,17	4,57	5,6	0,8
5	1	0	0	3,95	8,04	6,69	6,23	4,34
6	1	1	0	6,84	13,88	3,09	7,93	30
7	1	-1	0	9,08	9,53	7,45	8,69	1,2
8	1	0	1	2,56	7,41	7,01	5,66	7,24
9	1	0	-1	10,69	2,39	8,59	7,23	18,56
							Σ=	71,13

Потрібно перевірити однорідність при $\alpha = 0.05$

1. Обчислюємо для кожного рядка середні арифметичні й дисперсії для функції відгуку y_i ;
2. Обчислюємо досліджене критерію Кохрена, рівне відношенню максимальної емпіричної дисперсії до суми дисперсії по всіх рядках, для нашого випадку $G_{оп} = 0,42$;
3. Теоретичне значення критерію Кохрена $G_{теор} = 0,47$;
4. Тому що досліджене значення критерію Кохрена менше теоретичного, то гіпотеза про однорідність дисперсій виміру функції відгуку при рівні значимості $\alpha = 0,05$ за критерієм Кохрена не відкидається;
5. Загальна дисперсія експерименту буде рівна $S\{y\} = 2,81$ Проведемо статистичну оцінку коефіцієнтів значимості регресії по Стьюденту.

Умовою значимості коефіцієнта буде: $\delta > V_i$ – коефіцієнт не значимо
 $\delta < V_i$ – коефіцієнт значимо Розрахунок зведемо в таблицю 2.11.

Таблиця 2.11 - Статистична оцінка коефіцієнтів значимості регресії по Стьюденту

	Σx	Среднь оквадратичне відхилення коэф. регресії	Величина інтервала	$V_i \pm \delta$	
V_0	9	$2,81/3 = 0,936$	$2,06 * 0,936$	$6,97 \pm 1,92$	+
V_1	6	$2,81/2,4 = 1,146$	$2,06 * 1,146$	$0,3583 \pm 2,36$	-
V_2	6	$2,81/2,4 = 1,146$	$2,06 * 1,146$	$0,5267 \pm 2,36$	-
V_{11}	2	$2,81/1,4 = 1,99$	$2,06 * 1,99$	$0,96172 \pm 4,09$	-
V_{22}	2	$2,81/1,4 = 1,99$	$2,06 * 1,99$	$0,9033 \pm 4,09$	-
V_{12}	4	$2,81/2 = 1,41$	$2,06 * 1,41$	$1,99 \pm 2,9$	-

Після виведення нової математичної моделі проводимо її перевірку на адекватність по Фішеру, таблиця 2.12.

Таблиця 2.12 – Перевірка математичної моделі на адекватність по Фішеру

X1	X2	Y_0X_0	Y	Y_i	Δ	Δ^2
1	1	6,97547	6,97547	4,11	2,86	8,18
1	-1	6,97547	6,97547	8,89	1,9	3,61
-1	1	6,97547	6,97547	8,79	1,8	3,24
-1	-1	6,97547	6,97547	5,6	1,37	1,88
0	0	6,97547	6,97547	6,23	0,74	0,54
1	0	6,97547	6,97547	7,93	0,95	0,9
-1	0	6,97547	6,97547	8,69	1,71	2,92
0	1	6,97547	6,97547	5,66	1,315	1,73
0	-1	6,97547	6,97547	7,23	0,25	0,0625

Залишкова дисперсія: $S^2\{y\}_{ост} = 4,61$ Дисперсія експерименту: $S^2\{y\}_{заг} = 7,9$

Дослідне значення критерію Фішера: $F_{оп} = 0,58 < F_{теор} = 2,6$
Математична модель адекватна.

Висновки

У результаті обробки експериментів і створення математичних моделей, можна зробити наступні висновки:

1. Зміна стріли прогину більшою мірою залежить від вибору тиску й у меншій від часу обробки, що дозволяє використовувати ці дані безпосередньо при плануванні режимів роботи.
2. Шорсткість не змінюється в процесі обробки й це є позитивною властивістю даного виду обробки.
3. Відсутність змін при вимірі стрибків твердості є наслідком того, що застосовується прилад з невисокими технічними характеристиками, що не дозволяє фіксувати ці відхилення.

2.3 Технологічний процес відновлення колінчатого вала двигуна

При відновленні колінчатого вала на підприємствах, існує ряд обмежень

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

(несправностей) при наявності яких колінчатий вал на відновлення не ухвалюється.

Технічні вимоги на приймання на відновлення колінчатого вала.

Не ухвалюються на відновлення при наявності хоча б одного з наступних дефектів:

- відколи;
- кільцеві тріщини й ризики;
- тріщини вихідні на жолобнику; – тріщини довгої більш 10 мм;
- діаметр корінних шийок менш 72.98 мм;
- діаметр шатунних шийок менш 63.98мм;
- радіальне биття поверхні середньої корінної шийки щодо загальної осі крайніх корінних шийок більш 1 мм;
- зсув осей шатунних шийок від площини минаючої через осі шатунних і корінних шийок більш 0.35 мм;
- биття посадкової поверхні під зірочку й підшипник переднього вала коробки передач більш 0.04 мм;

Додатково в маршрутний тех. процес відновлення колінчатого вала була введена операція ГДО, яка дозволяє забезпечити збільшення довговічності колінчатих валів в 1.5 рази.

Вимоги до поверхні: Необхідно розробити технологію одержання покриттів, що володіють рядом властивостей:

- високою адгезією більш 80 МПа – малою пористістю;
- високою твердістю НВ 220 47 – корозійною стійкістю;
- надвисокою щільністю (більш 99%) – високою ударною в'язкістю.

Крім того, дана технологія повинна забезпечити товщина покриттів від 0,05 до 3 мм. При цьому бути економічно доцільної.

Усі ці вимоги можна задовольнити за допомогою методу напилювання й проведення гідродробоструменевої обробки.

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

1. Прожиг маслoканалів

Дана операція проводиться з метою очищення маслoканалів від залишків змащення.

Досить проблематично вибити забруднення, тому буде використовуватися кисневий різак, що володіє дуже високою температурою струменя. Однак не можна забувати про те, що деталь не можна перегрівати вище, ніж 70 °С, тому прожиг повинен бути короткочасним.

Устаткування: різак кисневий Матеріали: ацетилен, кисень Режими:
температура деталі не більш 70 °С, $P_{\text{кисл}}=5$ атм.,
 $P_{\text{ацет}}=1$ атм.

Норма часу: 12 хв

2. Продувка маслoканалів

Необхідно вилучити продукти горіння, сажу, кіптяву. Устаткування:
Пістолет для роздачі повітря типу 199 PАРO Режими: $P_{\text{пов}}=8$ атм.

Норма часу: 7 хв

3. Ультразвукова мийка

Стан поверхні металу виробу. Якщо при візуальному огляді на поверхні виробу виявлені сліди забруднень (волога, оксиди, окалина), то слід здійснити відповідне очищення поверхні.

Як правило, колінчаті вали перед напилюванням потребують чищення, тому що на робочих поверхнях є залишки змащення, бруд, іржа. Для одержання якісного покриття поверхня деталі необхідно очистити.

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

5. Дефектовка та забивання маслосканалів

Не всі колінчаті вали можна відновити, існує ряд дефектів, не підлягаємих ремонту, описані вище.

До відновлення допускаються вали колінчаті з биттям третьої корінної шийки не більш 2 мм.

Устаткування: Верстат, Штангенциркуль, Мікрометр, Биенімір ПБМ-500

Норма часу: 8 хв.

6. Базування

Встановити вал на установку, затиснути нижнім фіксатором, за допомогою центровміщувача задати потрібний ексцентриситет, сполучити вісь напиляємої шийки з основною віссю установки. Вилучити верхній візок і зафіксувати вільний кінець вала.

Норма часу 8 хв.

7. Струйно-абразивна обробка

«Попередня обробка поверхні основи належить до найважливіших факторів, що визначають міцність зчеплення в напиляного покриття з основним металом. Адгезія покриття виникає під дією ряду механізмів, з яких визначальне значень для багатьох покриттів має механічне зчеплення напиляємого матеріалу з поверхнею основи. Отже, для того щоб напиляемі частки, які вдаряються й деформуються про основу, міцно зчіплювалися нерівностями поверхні, основа повинна бути досить шорсткуватої. У тих випадках, коли адгезія покриття безпосередньо залежить від сплавки

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

напиляемого матеріалу з матеріалом основи або від утворення хімічних сполук у перехідній зоні, попередня обробка виробу повинна включати - очищення поверхні. Попередня обробка поверхні виробу для додання їй шорсткості - важливий захід збільшення площі поверхні основи й створення більшої активності основи.» [21]

Для додання поверхні виробу шорсткості будемо застосовувати струйно-абразивну обробку, перевагу якої пов'язане з можливістю обробки більших площ.

«У якості абразивних часток використовують сталевий дріб (крихту), дріб вибіленого чавуну, силікатний пісок, річковий пісок, кремій, граніт, шлаки, плавлений глинозем, карбід кремнію й інші види матеріалів у формі куластих часток з гострими гранями.» [25]

« При обробці одним соплом дробоструменевого апарата з використанням одному й того ж обробного середовища продуктивність процесу обдування зростає при підвищенні тиску. Ефективність обробки підвищується при збільшенні розміру часток, при цьому зростає шорсткість оброблюваної поверхні. Малий розмір часток абразиву забезпечує невелику шорсткість. На практиці обробку поверхні матеріалу виробів здійснюють сумішшю великого й дрібного абразивного матеріалу, щоб повніше використовувати переваги тієї й іншої фракції, нанесення покриття слід починати незабаром після закінчення попередньої обробки поверхні, оскільки тривала витримка активованої поверхні з великою ефективною площею супроводжується активним її окисненням, що знижують міцність зчеплення покриття з основним металом. Після абразивної обробки перший шар необхідно напиляти не пізніше чим через 0,5 год, загальна тривалість від закінчення абразивної обробки до завершення процесу напилювання покриття не повинна перевищувати 4 год; у даній роботі передбачене, щоб процес абразивної обробки відбувався безпосередньо перед процесом напилювання.» [32]

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Струйно-абразивний апарат призначений для поверхневого наклепу основи й покриття з метою створення певного напруженого стану. Особливо він необхідний для зміни знака напруг, наприклад, з, тих що розтягуються в стискаючі. У нашому випадку дробоструменевий апарат застосовувався також для створення спеціального мікрорельєфу у вигляді “ласточкиного хвоста”.

Устаткування: проектна установка, дробоструменевий апарат Матеріали: електрокорунд 14А, 23А, зернистість 0.5 мм

Режими: тиск стисненого повітря 10 атм., відстань від пістолета до поверхні шийки 30 мм, частота обертання 60 об/хв Активація поверхні: обробка до матової поверхні Rz20, Норма часу: 10 хв.

8. Нанесення, що відновлюють зміцнюючі покриттів

Вибір режимів напилування. Дистанція напилування. Оптимальна відстань від зрізу сопла пальника до поверхні напилування звичайно не виходить за межі 75-200 мм, у нашому випадку 150 мм. При малій дистанції напилування створюється небезпека деформації основного металу під впливом термічних напруг; коли ж відстань занадто велика температура й швидкість напиляємих часток знижується, що приводить до утвору пухкого покриття й зменшенню міцності зчеплення з основою. В остаточному підсумку, може відбутися відшарування покриття від основи.

Кут напилування. Найбільша деформація напиляємих часток при зіткненні з поверхнею основи відбувається, якщо пальник установлений перпендикулярно до її поверхні. У випадках, коли неможливо забезпечити цей кут, допускається відхилення від вертикалі, але не більше ніж на 10-15°. При кутах напилування менш 90 ° трохи знижується якість покриття, погіршуються в першу чергу адгезійні властивості. Температура поверхні основного металу в процесі напилування. Перегрів поверхні основного металу в процесі напилування викликає зниження міцності зчеплення

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

покриття або стає причиною деформації. Теоретична температура поверхні основного металу не повинна перевищувати 70 °С. Більш раціонально проводити тільки локальне нагрівання й охолодження зони напилювання.

Рівномірність товщини покриття. По технічних умовах товщина покриття повинна перебуває в межах 70-100 мкм. При відпрацювання технології напилювання товщина напиляемого шару, за один оберт, не перевищувала 20 мкм.

Устаткування: Проектна установка, пальник для надзвукового напилювання, апарат для напилювання, газові балони, компресор.

Матеріал: Порошки 1) ХА17, 2) ПН-74Х19105 ДО, 3) ПН-62Х16Б20 До
Транспортуючий газ: Ацетилен, Кисень.

Режими: частота обертання 60 об/хв, Р(повітря) 6 кгс/мм², витрата повітря 3 м³/година, витрата порошку 3 кг/година, фракція 40-60 мкм, Р (кисню) 5кгс/мм², витрата кисню 1 м³/година, Р (ацетилену) 1.2 кгс/мм² витрата ацетилену 1м³/година, підшар ПН-85Ю15 (3 мкм),

Після нанесення підшару й кожного шару проводити гідродробоструменеву обробку у відповідності.

Розрахунок часу напилювання однієї шийки колінчатого вала Діаметр шийки: d=75мм. Довжина шийки: Н=57мм . Товщина напиляемого шару: h=1мм Щільність шару: Р=7.8 г/см³ Продуктивність: ПР=2 кг/година

- Довжина окружності шийки

$$L_{ш} = \pi \cdot d_{ш} \quad (2.3)$$

$$L\emptyset = 3.14 \cdot 75 = 235.5 \text{ мм.}$$

- Площа поверхні шийки

$$S_{ш} = L \cdot H \quad (2.4)$$

$$S\emptyset = 235.5 \cdot 57 = 13423.5 \text{ мм}^2.$$

- Обсяг напиляемого шару

					МР ТАМ 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$V_{\emptyset} = \Sigma \cdot \eta \quad (2.5)$$

$$V_{\emptyset} = 13423.5 = 13423.5 \text{ мм}^3.$$

- Маса напиляемого матеріалу

$$M_{\emptyset} = \zeta \cdot \Pi = 13423.5 \cdot 7.8 = 10470.3 \text{ гр} \quad (2.6)$$

Норма часу: Напилювання 2 мм шару проводиться в 4 шару, відповідно, 4 рази буде, проводиться проміжна обробка, з охолодженням у потоці повітря
 $T = T_{ш} \cdot 2 + T_{др} \cdot 4$

Час струйно-абразивної обробки з охолодженням. $T_{др} = 5.7$ хв $T = 23.7$ хв.
 Усього 11 шийок: Час машинний 261 хв.

Час напилювання 187 хв. Витрата порошку 3 кг/година.

Витрата матеріалу на виріб $H_{рпор} = 9$ кг/виріб.

9. Фінішна механічна обробка

Після напилювання очікується одержати геометричні розміри близькі до необхідних, проте, необхідно провести фінішну механічну обробку, для одержання необхідних розмірів, і необхідної шорсткості.

Устаткування: Верстат шліфувальний. Матеріали: Кола алмазні.

Режими: $V = 10-15$ м/хв 10.

ОТК.

Високі експлуатаційні властивості деталей зі зносостійкими покриттями забезпечуються, насамперед, стабільністю значень характеристик шару й основи, а також техпроцеса. Для зносостійких покриттів інструментальних матеріалів потрібно їхнє міцне зчеплення з основою, однорідна товщина покриття, мінімальна пористість, відсутність мікротріщин і т.д.

Контроль проводиться технологом і контролером. Перевірити інструмент на сплошність покриття (візуально).

Покриття повинне бути без шелушення, здуттів, тріщин і включень.

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Вакуумно-плазмове покриття на основі нітриду титану має золотаво-жовтий колір.

Перевірити твердість інструмента по Роквелу (HRC), Вона повинна відповідати твердості згідно з вимогами креслення.

Товщина та мікроструктуру нанесеного шару визначається на металографічному мікроскопі ММР-2 шляхом виміру поперечного металографічного шліфа.

Дослідження фазового складу проводиться на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-1,5. Адгезію покриття з основою визначають склерометричним методом, за допомогою зонда на покриття наноситься подряпини. При цьому збільшують навантаження доти, поки не відбудеться відділення матеріалу покриття від підложки. По критичному навантаженню визначають ступінь адгезії покриття з основою.

Шорсткість поверхні покриття повинна відповідати вимогам креслення на оброблюваний виріб.

Ударна в'язкість визначається при термоциклічним випробуваннях.
Устаткування: Верстат, мікрометр, скоби, штангенциркуль.

Режими: твердість HRC = 59-64, биття 0.03 мм, відхилення від номінального розміру радіуса шийки 0.02 мм.

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Розділ 3 Економічна ефективність гідродробоструменевої обробки шийок колінчатих валів автомобілів

3.1 Розрахунок економічної ефективності застосування гідродробоструменевої обробки

В умовах ринкової економіки значення економічного обґрунтування технічних і технологічних проектів підвищується. Загострення конкурентної боротьби виробників послуг, швидкі темпи морального старіння розробок підвищують ризик і можливі втрати від необґрунтованих рішень. Обґрунтування економічної ефективності є невід'ємною частиною технологічних і конструкторських розробок, дозволяючи вибрати оптимальне з економічної точки зору технічне рішення.

Обґрунтування доцільності проекту: витрати на виготовлення нової деталі значно перевищують витрати на ремонт (відновлення) зношеної деталі. Тому актуальною проблемою в цей час є відновлення зношеної деталі з наступною її обробкою й додання їй певних властивостей.

Таким чином, метою є обґрунтування економічної ефективності зроблених витрат. Однак, як правило, у процесі економічного обґрунтування проєктованих заходів розраховуються наступні показники:

- зниження трудомісткості;
- зниження непродуктивних втрат робочого часу;
- умови вивільнення чисельності робітників;
- скорочення чисельності робітників;
- ріст продуктивності праці;
- ріст обсягу виробництва;
- зниження собівартості послуг (продукції);
- економія умовно-річна від впровадження заходів;
- економічний ефект від впровадження заходів;

					<i>MP TAM 23.18042. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

- строк окупності додаткових капітальних витрат.

Будь-яке технічне рішення може бути визнане ефективним і прийняте до впровадження лише після того, як буде доведена його технічна прогресивність і економічна доцільність. Слід зазначити, що основними дефектами колінчатого вала є: вигин, зношування шатунних і корінних шийок, зношування отвору під підшипник провідного вала коробки передач і отворів фланця вала під болти кріплення маховика.

Вигин колінчатого вала двигуна перевіряють на стенді, на призмах, установлених на контрольній плиті або в центрах токарського верстата за допомогою індикатору. Вигин (биття середньої корінної шийки щодо крайніх) понад припустимий по технічних умовах усувають виправленням на пресі. Колінчатий вал установлюють на призми крайніми корінними шейками, а штоком преса через мідну або латунну прокладку давлять на середню шийку з боку, протилежної вигину. При цьому величина прогину повинна бути приблизно в 10 раз вигину, що більше усувається. Вал витримують під навантаженням на пресі протягом 2—4 хв. Після виправлення рекомендується вал піддати термічній обробці, тобто нагріти до 180—200 °С та витримати при цій температурі протягом 5—6 годин. Потім вал перевіряють на биття. Биття середніх шийок стосовно крайніх шийок не повинне перевищувати 0,05 мм.

У розділі необхідно обґрунтувати економічну ефективність розробки устаткування технології для відновлення й зміцнення колінчатих валів автомобілів.

Для рішення завдань обґрунтування економічної ефективності необхідно:

- розрахувати витрати на розробку проекту і його практичну реалізацію;
- оцінити економічний ефект;
- строк окупності проектних витрат;

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

– узагальнити результати розрахунків і зробити висновок про ефективність проектних витрат.

Економічна ефективність - складна категорія економічної науки. Вона пронизує всі сфери практичної діяльності людини, усі стадії суспільного виробництва, є основний побудови кількісних критеріїв цінності прийнятих рішень, використовується для формування матеріально-структурної, функціональної та системної характеристики господарської діяльності.

Сутність економічної ефективності більшістю економістів трактується як досягнення максимальних результатів в інтересах суспільства при мінімальних витратах. Тому визначення економічної ефективності виробництва та продуктивності суспільної праці повинне базуватися на зіставленні результату виробництва із сукупними витратами, що обумовили даний результат.

Економічна ефективність - результат раціональної витрати матеріальних, трудових і грошових ресурсів. На практиці визначається як співвідношення між одержуваними доходами організації, з одного боку, і витратами живого (робоча сила) і упередметненого (засобу виробництва) праці - з іншої сторони. Це відносний показник, що порівнює отриманий ефект із витратами або ресурсами, використаними для досягнення цього ефекту.

Результативність і ефективність господарської діяльності підприємства вимірюються різними абсолютними та відносними показниками: прибутком, рівнем валового доходу, рентабельністю й ін. Різні показники існують для виміру ефективності використання ресурсів підприємства (показники віддачі ресурсів). Дані показники звичайно не мають нормативних значень, вони залежать від безлічі факторів і суттєво варіюються по різних підприємствах у різних галузях.

Економічний ефект може бути виражений у натуральних, трудових, вартісних - кількісних і якісних показниках. Взаємозалежний процес

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

одночасного використання науково-технічних досягнень і внутрішньогосподарських резервів виступає як основного фактора підвищення ефективності виробництва.

Система показників економічної ефективності виробництва відбиває темпи росту кінцевих результатів і зниження витрат виробництва, разом з тим характеризують ступінь досконалості господарського механізму, включаючи механізм керування науково-технічним прогресом.

Впровадження технічних удосконалень в автосервіс автомобілів підвищує їхню конкурентоспроможність, безпеку та комфорт споживача, але встає питання про те, скільки часу й ресурсів було необхідно для створення й впровадження технічних розробок.

Розробка устаткування технології для відновлення й зміцнення колінчатих валів автомобілів вимагає витрат матеріальних, трудових, фінансових ресурсів.

Завдання обґрунтування економічної ефективності проекту:

1. Визначити вихідні дані проектування.
2. Сформулювати організаційну структуру керування проектом.
3. Визначити вартість розробки й впровадження проекту.
4. Розрахувати ефект від використання устаткування технології для відновлення й зміцнення колінчатих валів автомобілів.
5. Розрахувати показники економічної ефективності: коефіцієнт окупності витрат на впровадження проектних заходів, строк окупності проекту.

Розробка устаткування технологічного процесу відновлення робочих поверхонь колінчатого вала, забезпечує найбільшу довговічність і високу працездатність деталей машин при найменших витратах на їхнє відновлення. Щоб визначити економічний ефект необхідно зрівняти передбачувані економічні результати від проекту з відповідними витратами, тому в

наступному параграфі буде розрахована собівартість розробки додатка.

Технологічний процес відновлення колінчатих валів включає наступні операції:

- мийку, розбирання та дефектацію колінчатого вала;
- перевірку биття по середній шийці;
- правку колінчатого вала на пресі (при необхідності);
- установку пробок в отвори масляних каналів замість заглушок;
- шліфуванні корінних і шатунних шийок;
- контроль розмірів корінних, шатунних шийок і радіуса кривошипа;
- полірування корінних і шатунних шийок і складання

колінчатого вала.

					<i>MP TAM 23.18042. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>59</i>

Висновок

У рамках магістерської роботи була зроблена дослідження впливу гідродробоструменевої обробки на поверхневе зміцнення шийок колінчатих валів. У практичній частині роботи була розглянута технологія відновлення колінчатого вала автомобіля методом напилювання з наступною проміжною та фінішною обробкою поверхні гідродробеструменевим методом. Був зроблений комплекс робіт, у ході яких був вирішений ряд завдань, поставлених при розробці:

- проведений аналіз методик відновлення геометрії шийок колінчатого вала;
- проведено аналіз і сформульовані комплекси проблем, характерних для проведення технологічних операцій подібного роду;
- визначені відповідно до проведеного аналізу шляхи вирішення комплексу проблем у сфері технології;
- проведена серія експериментів, у ході яких встановлений вплив режимів гідродробоструменевої обробки на поверхневе зміцнення шийок колінчатих валів;
- проведена попередня оцінка ефективності запропонованих рішень у рамках магістерської роботи дослідження.

Рішення завдань проводилося в трьох главах дисертаційної роботи. У першому розділі магістерської дисертації були розглянуті теоретичні питання, присвячені питанням проведення відновлення колінчатих валів автомобілів. Зокрема, розглядалася технологія напилювання металу на зношені шийки колінчатих валів, як найбільше часто використовувана в умовах сучасного виробництва і відповідна до поточного рівня розвитку техніки та технології. Також у главі був зроблений аналіз проблем проведення технологічної операції відновлення колінчатого вала, серед яких автором були виділені ключові.

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

У другому розділі були розглянуті основи проведення гідродробоструменевої обробки поверхні. У главі був розкритий комплекс питань, присвячених суті процесу. Також у главі приводяться результати експериментів по дослідженню впливу гідродробоструменевої обробки на якість поверхні. Результат експериментів представлені у вигляді математичних моделей, що описують різні параметри, що характеризують якість поверхні.

У третьому розділі магістерської роботи була зроблена первинна оцінка економічної ефективності пропонованих заходів.

На підставі зроблених робіт можна зробити висновок про досягнення поставлених цілей у рамках дослідження.

					<i>MP TAM 23.18042. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>61</i>

Список використаних джерел

1. Филонов, І. П. Інновації в технології машинобудування: Навчальний посібник / Филонов І.П., Баршай І.Л. - Мн.:Вышэйшая школа, 2009. - 110 с. (ВУЗ)ISBN 978-985-06-1684-5.

2. Інноваційні центри високих технологій у машинобудуванні : монографія / В. І. Аверченков, А. В. Аверченков, В. А. Беспалов [і ін.]; під общ ред. В. І. Аверченкова, А. В. Аверченкова. - 2-е изд., стереотип. -М : Флінта, 2011.- 180 с. - ISBN 978-5-9765-1257-3.

3. Іванов, А. С. Курсове проектування за технологією машинобудування : навчальний посібник / А. С. Іванов, П. А. Давиденко, Н. П. Шамов. - М : ИЦ РИОР : НИЦ ИНФРАМ, 2019. - 276 с. - (Вища освіта). - ISBN 978-5-16-100268-1.

4. Матеріалознавство в машинобудуванні й промислових технологіях: Учбово-довідкове керівництво / В.А. Струк, Л.С. Пінчук, Н.К. Мишкін, П.А. Витязь. - Долгопрудний: Интеллект, 2010. - 536 с. ISBN 978-5-91559-068-6.

5. Шпаків, В. Ф. Основи технології машинобудування : навчальний посібник / В.Ф. Шпаків. — 2-е изд. — М : ИНФРАМ, 2020. — 330 с. + Доп. матеріали [Електронний ресурс]. — (Середня професійна освіта). - ISBN 978-5-16-108020-7.

6. Основи технології складання в машинобудуванні : учеб. посібник / І.В. Шрубченко, Т.А. Дуюн, А.А. Погонин [і ін.]. — М : ИНФРАМ, 2019. — 235 с. — (Середня професійна освіта). - ISBN 978-5-16-107680-4.

7. Погонин, А. А. Технологія машинобудування : підручник / А.А. Погонин, А.А. Афанасьєв, І.В. Шрубченко. — 3-е изд., доп. — М : ИНФРАМ, 2020. — 530 с. - ISBN 978-5-16-106238-8.

8. Аверьянова, В. О. Технологія машинобудування. Високоенергетичні й комбіновані методи обробки : навчальне посібник / В. О. Аверьянова, В. В. Клепиков. — М : ФОРУМ, 2020. — 304 с. — (Професійна освіта). —

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

9. Іванов, І. С. Технологія машинобудування: виробництво типових деталей машин : учеб. посібник / І.М. Іванов. — М. : ИНФРАНМ, 2019. — 224 с. — ISBN 978-5-16-100179-0. —

10. Технологія сільськогосподарського машинобудування : підручник / М.А. Федоренко, Т.А. Дуюн, Ю.А. Бондаренко, А.А. Погонин. — 2-е изд., стереотип. — М : ИНФРАНМ, 2018. — 467 с. — ISBN 978-5-16-106088-9.

11. Девятков, В. В. Deviatkov, V. V. Creation principals of universal modeling environment for simulation application development / V. V. Deviatkov, S. A. Vlasov, T. V. Deviatkov // 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, June 3-5, 2009, Moscow, Russia.

12. Chandler, A. Strategy and Strategik role for Purchasing rashekar [Text] / A. Chandler // The International Journal of Logistics Management 10, no. 2 (1999). — P. 27-40.

13. Chastain Clark E. How management Accountants Coped With the Recessin [Text]// Management Accounting. — 1985. — January. — P.34-38.

14. Coase, R. H. The Nature of the Firm [Text] / R. H. Coase // Economics — Vol. 4. — 1937. — P. 62-76. 178. Coopers & Lybrand Consultants, Survey of Benchmarking in the UK. - CBI Manufacturing Council, London, 1993, — P. 237.

15. Hitt, M. A., Ireland, R. D., Hoskisson, R. E. Strategis management: competitiveness and globalization [Text] / M. A. Hitt, R. D. Ireland, R.E. Hoskisson. — South-Western College Publishing, 2001. — P. 1044.

16. Kaplan, Robert S., Norton, David P. The strategy-focused organization: How balanced scorecard companies thrive in the new business environment. [Text] / Robert S. Kaplan, David P. Norton. — Harvard Business School Press, 2001.

17. Erik Oberg, Holbrook L. Horton Machinery's Handbook: A Reference Book for the Mechanical Engineer, Designer, Manufacturing Engineer, Draftsman, Toolmaker, and Machinist. [Text] / Erik Oberg, Holbrook L. Horton. - Industrial Press, 2008.

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Додаток

					MP TAM 23.18042. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64