

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу відновлення вала розподільного двигуна ЯМЗ-238.

Виконав: студент 4 курсу, групи МАС-42
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Іван ФРИЦЬКИЙ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Віктор ГУДЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Роман ХОРОШУН

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«21» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Фрицькому Івану Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу відновлення вала розподільного двигуна ЯМЗ-238.

Керівник роботи Гудь Віктор Зіновійович д.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «21» січня 2026 року № 4/9-42

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11 червня 2026

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес відновлення вала розподільного двигуна ЯМЗ-238.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Конструкція та основні дефекти розподільного валу – А1;

Вибір способу відновлення розподільного валу – А1;

Стенд для контролю профілю кулачків – 2А1;

Схема плазменого наплавлення – А1;

Установка плазмена – А1;

– А1;

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. | к.т.н. доц. Сенчишин В.С. | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 21.січня 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|--------------------------------|----------|
| 1 | Загально-технічний розділ | 28.01.2026 | |
| 2 | Технологічний розділ | 11.02.2026 | |
| 3 | Конструкторський розділ | 03.06.2026 | |
| 4 | Безпека життєдіяльності, основи охорони праці | 10.06.2026 | |
| 5 | Оформлення графічної частини | 10.06.2026 | |
| 6 | Захист кваліфікаційної роботи бакалавра | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

_____ (підпис)

Фрицький Іван Іванович

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Гудь Віктор Зіновійович

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: « Розроблення технологічного процесу відновлення вала розподільного двигуна ЯМЗ-238. ».

Робота виконана на кафедрі автотранспорту та логістики Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра д.т.н., доцент Гудь Віктор Зіновійович.

Пояснювальна записка складається з чотирьох розділів і 50 сторінок формату А4 та 6 аркушів формату А1 графічної частини.

Ключові слова дефектація, зношування, наплавлення, шліфування, ресурс деталей.

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| Вступ..... | 6 |
| | 8 |
| 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ..... | 8 |
| 1.1 Аналіз технічного стану спрацьованого розподільного вала..... | 9 |
| 1.2 Вибір доцільного способу відновлення деталі..... | 14 |
| 1.3 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра.... | 16 |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ..... | 16 |
| 2.1 Вибір схеми та оптимізація режимів наплавлення кулачків розподільних валів двигунів ЯМЗ-238..... | 16 |
| 2.1.1 Обґрунтування схеми та вибір пристроїв для наплавлення..... | 16 |
| 2.2 Технологія відновлення розподільних валів. Технологія наплавлення та вибір режимів..... | 21 |
| 2.3 Розрахунок норм часу на оброблення..... | 23 |
| 2.4 Вибір наплавлювального порошку, плазмоутворювального та транспортуючого газів..... | 26 |
| 2.5 Порядок роботи на установці..... | 29 |
| 2.6 Економічне обґрунтування доцільності відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238..... | 31 |
| 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ..... | 34 |
| 3.1 Вибір пристосування та принцип його роботи..... | 36 |
| 3.2 Регулювання установки та пристосування..... | 37 |
| 3.3 Розрахунок пружини..... | 41 |
| 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ..... | 41 |
| 4.1 Характеристика умов праці на ділянці відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238..... | 41 |
| 4.2 Вимоги охорони праці під час виконання операцій відновлення вала..... | 43 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... | 47 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... | 49 |
| ДОДАТКИ | |

ВСТУП

Надійність автомобільної та спеціальної техніки значною мірою залежить від технічного стану двигуна, оскільки саме він визначає працездатність машини, її тягові властивості, паливну економічність і стабільність експлуатації. У дизельних двигунах важливу роль відіграє механізм газорозподілу, який забезпечує своєчасне відкривання і закривання клапанів відповідно до робочого циклу. Однією з відповідальних деталей цього механізму є розподільний вал, від стану якого залежить точність фаз газорозподілу, повнота наповнення циліндрів повітрям і ефективність відведення відпрацьованих газів.

Під час роботи двигуна ЯМЗ-238 розподільний вал сприймає змінні механічні навантаження, зазнає тертя в опорних шийках і контакту кулачків із деталями клапанного приводу. Унаслідок тривалої експлуатації на його робочих поверхнях виникає зношування, що проявляється у зменшенні висоти кулачків, спрацюванні опорних шийок, пошкодженні посадкових поверхонь, шпонкових пазів і різьбових ділянок. Такі дефекти порушують нормальну роботу газорозподільного механізму, погіршують характеристики двигуна та можуть спричинити збільшення витрат на ремонт агрегату.

Заміна розподільного вала новою деталлю не завжди є економічно доцільною, особливо в умовах ремонтного виробництва, де значна частина деталей має достатній залишковий ресурс основного металу. Тому важливого значення набуває розроблення раціональних технологічних процесів відновлення, які дають змогу повернути деталі працездатність, забезпечити необхідну геометричну точність і підвищити зносостійкість робочих поверхонь. Відновлення деталей також сприяє зменшенню матеріальних витрат, скороченню потреби в нових запасних частинах і раціональному використанню ресурсів.

Серед сучасних способів відновлення деталей машин значне поширення отримали методи наплавлення. Для розподільних валів, які працюють в умовах змінних навантажень і контактного спрацювання, важливо не лише відновити розміри зношених поверхонь, а й сформувати шар із достатньою твердістю, міцністю зчеплення та стійкістю до подальшого зношування. У цьому

відношенні перспективним є плазмове наплавлення з використанням порошкових присадкових матеріалів. Воно забезпечує локальний тепловий вплив, можливість регулювання параметрів процесу, формування якісного наплавленого шару та зменшення витрати присадкового матеріалу.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає у необхідності підвищення ефективності ремонту двигунів ЯМЗ-238 шляхом удосконалення технології відновлення розподільного вала. Обґрунтований вибір способу відновлення, режимів наплавлення, матеріалів і подальшої механічної обробки дає змогу забезпечити необхідну якість ремонту та зменшити собівартість відновлення порівняно з придбанням нової деталі.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розроблення технологічного процесу відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238 із застосуванням плазмового наплавлення, що забезпечує відновлення геометричних параметрів, працездатності та зносостійкості робочих поверхонь деталі.

Об'єктом розроблення є технологічний процес відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238.

Предметом розроблення є режими плазмового наплавлення, наплавлювальні матеріали, технологічна послідовність операцій, пристосування для відновлення та показники економічної доцільності ремонту розподільного вала.

У роботі використано методи технічного аналізу дефектів, порівняльного оцінювання способів відновлення, технологічного проектування, розрахунку режимів оброблення, визначення норм часу, конструкторського розрахунку елементів пристосування та економічного порівняння варіантів ремонту.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонований технологічний процес може бути використаний на ремонтних підприємствах для відновлення розподільних валів двигунів ЯМЗ-238. Його застосування дає змогу зменшити витрати на ремонт, підвищити ресурс відновленої деталі, забезпечити стабільну якість наплавленого шару та раціонально використовувати наявне ремонтне обладнання.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз технічного стану спрацьованого розподільного вала

До характерних несправностей розподільних валів належать прогин осі, спрацювання опорних шийок і посадкової шийки під розподільну шестерню, зношування робочих поверхонь кулачків, пошкодження шпонкової канавки, а також дефекти різьбової частини.

Відновлення опорних шийок виконують у випадку, коли величина їх спрацювання перевищує 0,1...0,4 мм. Найбільш інтенсивне зношування кулачків спостерігається поблизу їх вершини. За межами ділянки 20°...25° від вершини кулачка спрацювання, як правило, не перевищує 0,05 мм. Гранично допустиме зношування визначається конструктивними особливостями двигуна і може становити 0,2...1,4 мм. Різьбову ділянку вала відновлюють за наявності значного спрацювання, викришування або зриву більше двох витків різьби. Правлення розподільного вала проводять тоді, коли його прогин перевищує 0,1...0,15 мм. Шпонкові пази підлягають ремонту у разі збільшення їх ширини внаслідок спрацювання понад 0,07...0,09 мм [3, 7, 8].

Таблиця 1.1 – Характерні дефекти розподільного вала двигуна.

| Дефект | ЯМЗ-238 |
|--|---------|
| Вигин вала | 0,3 |
| – спрацювання поверхонь опорних шийок у межах ремонтних розмірів; | 0,02 |
| – спрацювання опорних шийок із виходом за межі ремонтних розмірів; | 0,5 |
| – зношування кулачків за висотою; | 0,16 |
| – спрацювання шпонкового паза понад допустиме значення; | 0,04 |
| – зношування шийки під ексцентрик; | - |
| – зношування шийки під розподільну шестерню зубчасте колесо; | 0,01 |
| – пошкодження різьби або різьбового отвору. | 0,05 |

1.2 Вибір доцільного способу відновлення деталі

Забезпечення підвищеного ресурсу відновлених деталей значною мірою залежить від правильного вибору способу ремонту та обґрунтованого технологічного процесу. Це питання має важливе практичне значення, особливо за умов розвитку спеціалізованих ремонтних підприємств, де відновлення зношених деталей виконується централізовано. Тому визначення найбільш раціонального методу є одним із ключових етапів під час проєктування технології відновлення спрацьованих деталей.

Оцінювання методів відновлення деталей доцільно проводити за трьома основними критеріями:

- технологічним, який характеризує можливість застосування способу;
- технічним, що відображає довговічність відновленої деталі;
- техніко-економічним, який враховує ефективність використання обраного методу.

За технологічним критерієм спосіб відновлення підбирають з урахуванням можливості усунення конкретного дефекту деталі. При цьому враховують величину та характер спрацювання, матеріал виготовлення, форму, розміри та конструктивні особливості деталі. На цьому етапі визначають усі методи, які можуть бути використані для ліквідації виявленого дефекту.

Технічний критерій дає змогу оцінити працездатність деталі після відновлення різними способами, попередньо відібраними за технологічними ознаками [3, 11, 12]. Фактично він характеризує експлуатаційні властивості відремонтованої деталі залежно від застосованого методу. Оцінювання здійснюють за такими показниками:

- міцність зчеплення відновленого шару з основним металом;
- зносостійкість;
- опір втомному руйнуванню;
- мікротвердість;
- довговічність.

У таблиці 1.2 подано орієнтовні значення коефіцієнтів зносостійкості, витривалості та зчеплення, отримані за результатами досліджень найбільш поширених способів відновлення деталей.

Таблиця 1.2 – Коефіцієнти зносостійкості, витривалості та зчеплення.

| Способи відновлення | Значення коефіцієнтів | | |
|---|-----------------------------|-------------------------|------------------------|
| | Зносостійкість (K_i) | Надійність (K_B) | Зчеплення (K_C) |
| Наплавлення у середовищі вуглекислого газу | 0,85 | 0,9...1,0 | 1,0 |
| Вібродугове наплавлення | 0,85 | 0,62 | 1,0 |
| Наплавлення під шаром флюсу | 0,90 | 0,82 | 1,0 |
| Дугова металізація | 1,0...1,3 | 0,6...1,1 | 0,2...0,3 |
| Газополуменеве напилення | 1,0...1,3 | 0,6...1,1 | 0,3...0,4 |
| Плазмове напилення | 1,0...1,5 | 0,7...1,3 | 0,4...0,5 |
| Хромування електролітичне | 1,0...1,3 | 0,7...1,3 | 0,4...0,5 |
| Залізнення електролітичне | 0,9...1,2 | 0,8 | 0,65...0,8 |
| Контактне наплавлення приварювання металевого шару | 0,9...1,1 | 0,8 | 0,8...0,9 |
| Ручне наплавлення | 0,9 | 0,8 | 1,0 |
| Клейові композиції | 1,00 | — | 0,7 |
| Електромеханічна обробка висаджування та згладжування | до 3,00 | 0,8 | 1,0 |
| Обробка під ремонтний розмір | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Установлення додаткової деталі | 1,0 | 0,8 | 1,0 |
| Пластичне деформування | 0,8...1,0 | 1,0 | 1,0 |

Способи відновлення деталей найчастіше оцінюють за техніко-економічним критерієм, який є узагальнюючим показником. Саме на його основі приймають остаточне рішення щодо вибору найбільш раціонального методу

усунення конкретного дефекту деталі. Передусім цей критерій характеризує технічний рівень застосованої технології.

На основі проведеного аналізу можна зробити такі висновки.

Вибір раціонального методу відновлення деталей доцільно здійснювати за еколого-техніко-економічним критерієм. При цьому необхідно враховувати співвідношення ресурсу відновленої деталі з нормативним міжремонтним ресурсом агрегату, а також енергоємність і матеріалоємність відповідного способу ремонту.

Аналіз науково-технічних джерел показує, що питання комплексного врахування зазначених чинників під час вибору способу відновлення деталей опрацьоване недостатньо. Це зумовлено різною природою оцінюваних показників і специфікою окремих технологічних процесів. Тому актуальним залишається формування узагальненого підходу до порівняння та вибору найбільш ефективних методів відновлення.

З урахуванням технологічного критерію для ремонту розподільних валів можуть бути застосовані такі способи:

- вібродугове наплавлення;
- наплавлення в середовищі CO₂;
- плазмове наплавлення;
- газополуменеве напилення;
- плазмове напилення.

Подальше оцінювання вибраних методів виконуємо за технічним критерієм, тобто за критерієм довговічності K_D , відповідно до умови:

$$K_D = K_i \cdot K_B \cdot K_C, \quad (1.1)$$

$$K_D > 0,8; \quad (1.2)$$

вібродугове наплавлення: $K_D = 1,15 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 1,03$;

наплавлення в середовищі CO₂: $K_D = 1,4 \cdot 0,7 \cdot 1,0 = 1,0$;

плазмове наплавлення: $K_D = 1,6 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 1,45$;

газополуменеве напилення: $K_D = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 0,4$;

плазмове напилення: $K_D = 1,3 \cdot 0,9 \cdot 0,5 = 0,6$.

$K_D > 0,8$:

вібродугове наплавлення: грн/м²;

наплавлення в середовищі CO₂: грн/м²;

плазмове наплавлення: грн/м².

Вібродугове наплавлення не завжди забезпечує стабільну якість відновленого шару. У покритті можуть утворюватися пори, ділянки з різною твердістю та неоднорідною структурою. Це призводить до появи внутрішніх розтягувальних напружень і зменшення втомної міцності приблизно на 30–40 %. З огляду на значні динамічні навантаження, що сприймає розподільний вал під час роботи двигуна, застосування цього способу є недоцільним.

Методи напилення також не можна вважати раціональними для даної деталі. Їх основним недоліком є недостатня міцність з'єднання нанесеного шару з основним металом, що обмежує використання таких покриттів для деталей, які працюють за ударних або змінних навантажень. Крім того, зі збільшенням товщини покриття понад 1,0–1,3 мм міцність зчеплення знижується. Тому напилення доцільніше застосовувати для деталей, які не зазнають інтенсивних динамічних навантажень, зокрема виготовлених із чавуну, алюмінію або матеріалів, складних для відновлення іншими методами.

Наплавлення в середовищі CO₂ дає змогу отримувати відновлені шари належної якості та характеризується достатньо високою продуктивністю. Водночас за якістю сформованого шару цей спосіб поступається плазмовому наплавленню. Зносостійкість покриття після плазмового наплавлення є вищою, ніж після наплавлення в середовищі CO₂. Крім цього, для процесу наплавлення в CO₂ характерне підвищене розбризування електродного металу, яке може досягати 15 %, що погіршує економічні показники відновлення. Тому за сукупністю технічних і економічних ознак плазмове наплавлення є більш доцільним способом.

За результатами порівняльної оцінки встановлено, що плазмове наплавлення має вищу ефективність порівняно з наплавленням у середовищі CO₂ та вібродуговим способом. Це зумовлено тим, що під час відновлення розподільних валів даний метод забезпечує найбільше значення коефіцієнта довговічності покриття за відносно низької собівартості процесу. Для підвищення зносостійкості деталей, які працюють в умовах інтенсивного спрацювання, доцільно застосовувати плазмове наплавлення з подаванням

порошкового матеріалу у зону зварювальної ванни. Використання порошкової присадки дає змогу збільшити зносостійкість відновлених поверхонь у 6–8 разів. Особливо ефективним цей спосіб є під час ремонту розподільних валів, оскільки він дозволяє наносити як дорогі сплави на нікелевій і кобальтовій основі, так і більш доступні матеріали на основі заліза.

Важливою перевагою плазмового наплавлення є можливість його автоматизації із застосуванням електронного керування параметрами процесу. Крім цього, метод характеризується високою продуктивністю, широкими можливостями легування наплавленого шару, регулюванням теплового впливу на основний і присадковий метал, а також придатністю до використання різних типів наплавлювальних матеріалів.

Плазмове наплавлення належить до ефективних технологічних процесів, що дають змогу зменшити витрати дефіцитних і дорогих матеріалів, підвищити експлуатаційні властивості та відновити працездатність робочих поверхонь деталі [3, 11, 16]. За техніко-економічними показниками цей спосіб перевищує інші методи наплавлення завдяки меншій витраті присадкового металу та підвищенню ресурсу відновленої деталі.

Висока продуктивність процесу досягається, зокрема, у разі застосування порошкових присадкових матеріалів. Під час плазмового наплавлення з подаванням порошку в плазмовий струмінь продуктивність може досягати 6 кг/год. Такий спосіб особливо доцільний тоді, коли необхідно сформувати наплавлений шар невеликої висоти, оскільки це забезпечує економію наплавлювального металу порівняно з іншими технологіями.

Зазначені переваги плазмового наплавлення розширюють сферу його технологічного застосування та забезпечують помітний економічний ефект. Це досягається за рахунок формування покриття з мінімальною глибиною проплавлення, збереження вихідних фізико-механічних властивостей основного металу та зменшення витрати присадкового матеріалу. Додатковою перевагою є можливість виготовлення деталей із низьковуглецевих сталей із подальшим зміцненням робочих поверхонь твердими сплавами замість використання дорогих легованих сталей. Використання зносостійких порошкових матеріалів

підвищує строк служби відновлених деталей і дає змогу зменшити припуск на подальшу механічну обробку.

1.3 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

За результатами аналізу технологічного процесу відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238 встановлено, що дана деталь працює в умовах змінних навантажень, тертя та контактного спрацювання. Найбільш відповідальними поверхнями розподільного вала є кулачки та опорні шийки, оскільки саме вони визначають точність роботи механізму газорозподілу, стабільність відкривання клапанів і загальну працездатність двигуна. Тому під час розроблення технології відновлення необхідно забезпечити не лише повернення номінальних розмірів деталі, а й формування зносостійкого шару з достатньою міцністю зчеплення з основним металом.

Порівняння можливих способів відновлення показало, що для ремонту розподільного вала найбільш доцільним є плазмове наплавлення із застосуванням порошкових присадкових матеріалів. Такий спосіб дає змогу локально відновлювати зношені поверхні, регулювати тепловий вплив на деталь, забезпечувати необхідну товщину наплавленого шару та підвищувати зносостійкість робочих ділянок. Особливо важливою перевагою плазмового наплавлення є можливість оброблення фасонних поверхонь кулачків із використанням копіювального пристрою.

У роботі розглянуто декілька схем наплавлення кулачків. Найбільш раціонально прийнято схему двопрхідного наплавлення з коливанням плазмотрона, оскільки вона забезпечує стабільніше формування шару та зменшує ймовірність оплавлення торцевих ділянок кулачка. Для уточнення режимів процесу використано повний факторний експеримент, у якому основними параметрами прийнято силу струму, швидкість наплавлення та витрату порошку. Встановлено, що найбільший вплив на товщину наплавленого шару мають швидкість переміщення плазмотрона і подача порошкового матеріалу.

Актуальним завданням кваліфікаційної роботи бакалавра є розроблення технологічного процесу відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238 із застосуванням плазмового наплавлення, що забезпечить відновлення геометричних параметрів, підвищення зносостійкості робочих поверхонь і зменшення витрат на ремонт.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

проаналізувати характерні дефекти та умови роботи розподільного вала двигуна ЯМЗ-238;

обґрунтувати вибір способу відновлення з урахуванням технологічних, технічних та економічних критеріїв;

вибрати раціональну схему плазмового наплавлення кулачків розподільного вала;

визначити основні параметри режиму наплавлення та виконати їх оптимізацію;

підібрати наплавлювальний порошок, плазмоутворювальний і транспортуючий гази;

розробити послідовність виконання операцій відновлення розподільного вала;

розрахувати норми часу на основні технологічні операції;

розглянути будову та принцип роботи пристосування для наплавлення;

виконати розрахунок пружини копіювального механізму;

провести економічне порівняння вартості відновлення з придбанням нової деталі;

визначити основні вимоги безпеки праці під час виконання операцій відновлення.

Виконання зазначених завдань дасть змогу сформулювати обґрунтований технологічний процес відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238, який може бути використаний на ремонтних підприємствах для підвищення ресурсу деталей і зниження собівартості ремонту двигунів.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір схеми та оптимізація режимів наплавлення кулачків розподільних валів двигунів ЯМЗ-238

На ремонтних підприємствах механізоване відновлення кулачків розподільних валів переважно виконували із застосуванням копіювальних пристроїв [3, 11, 15]. Їх робота ґрунтувалася на зміні просторового положення розподільного вала при нерухомому розташуванні наплавлювальної головки.

Використання стисненої дуги та порошкових наплавлювальних матеріалів під час ремонту кулачків розподільних валів дає змогу змінити традиційний підхід до копіювання профілю. Завдяки рухомості плазмотрона процес можна організувати так, щоб розподільний вал обертався, а плазмотрон узгоджено переміщувався відносно його робочої поверхні.

Результати експериментального вивчення наплавлення фасонних поверхонь свідчать, що зміна кута нахилу суттєво впливає на глибину проплавлення, густину струму та коефіцієнт форми шва. Така залежність пояснюється різними умовами передавання теплоти від дуги до поверхні зразка. Якщо між поверхнею наплавлення та віссю плазмотрона утворюється гострий кут, у зоні дії дуги формується прошарок розплавленого присадкового металу з температурою близько 1400 °С. За таких умов теплопровідність металу зменшується, що спричиняє зниження глибини проплавлення та збільшення ширини наплавленого валика. У разі нахилу поверхні понад 90° основний метал плавиться інтенсивніше, внаслідок чого глибина проплавлення зростає, а ширина валика зменшується.

2.1.1 Обґрунтування схеми та вибір пристроїв для наплавлення

Вибір схеми наплавлення кулачків здійснювали шляхом порівняння трьох можливих варіантів. Перший варіант передбачав наплавлення всього профілю по гвинтовій траєкторії без поперечних коливань плазмотрона. За другим варіантом наплавлення виконували за один прохід із коливанням плазмотрона на всю

ширину кулачка, причому початок і завершення процесу припадали на ділянку вершини. Третій варіант передбачав двопрхідне наплавлення з коливанням плазмотрона: процес починали з вершини кулачка, а завершували на протилежній частині циліндричної поверхні. Другий прохід виконували за аналогічною схемою, але із частковим перекриттям раніше наплавлених шарів.

Наплавлення за першою схемою забезпечує прийнятну якість покриття, однак має істотний недолік – оплавлення торцевої частини кулачка, особливо в зоні вершини, де завершується процес. За другою схемою оплавлення торців є менш вираженим, проте під час переходу плазмотрона від циліндричної ділянки до вершини кулачка якість сформованого шару погіршується. Найбільш стабільні результати отримано за третьою схемою, тому саме її прийнято для подальшої оптимізації режимів наплавлення кулачків.

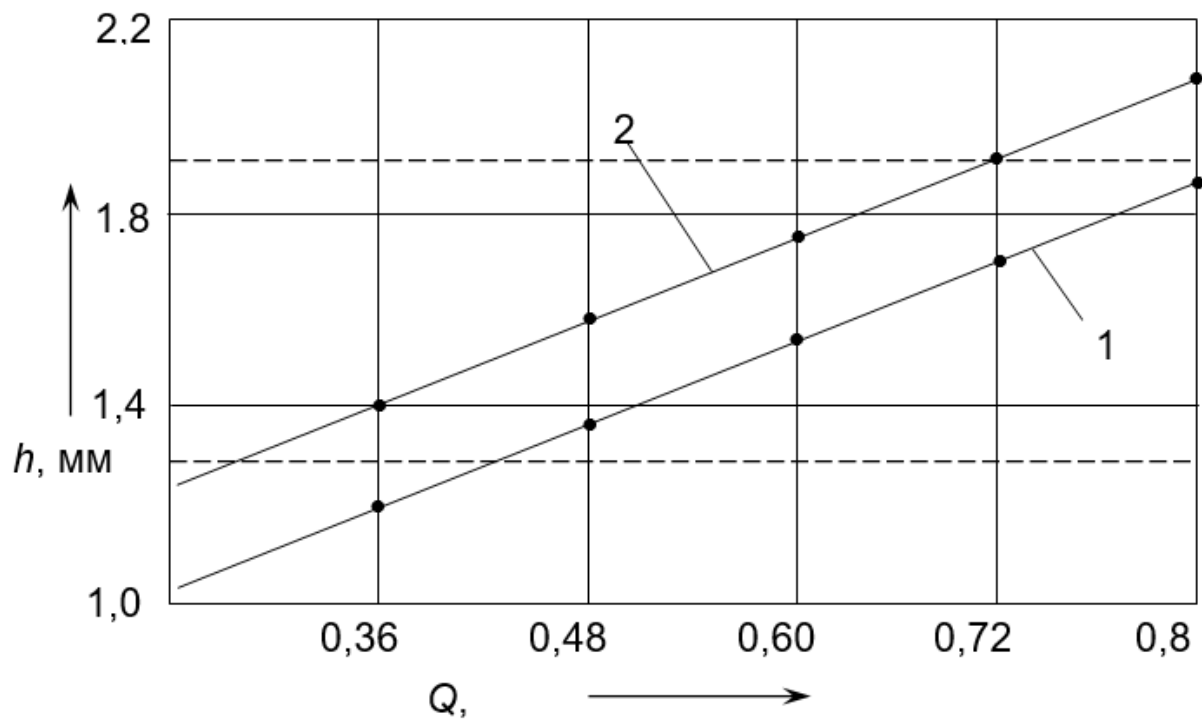
Пошукові дослідження показали, що для якісного відновлення кулачків необхідно регулювати три основні параметри процесу: силу струму наплавлення, швидкість переміщення та витрату порошкового матеріалу. Така необхідність пов'язана зі складною геометрією профілю кулачка. Водночас установлено, що інші параметри не мають визначального впливу на якість наплавлення.

Для оптимізації режимів наплавлення вершини та циліндричної частини кулачків розподільних валів двигунів ЯМЗ-238 було застосовано повний факторний експеримент ПФЕ 2^3 з рівномірним повторенням дослідів. Незалежними змінними прийнято силу струму наплавлення I , А, швидкість процесу V , мм/с, та витрату порошку Q , кг/год. Як параметр оптимізації використано товщину наплавленого шару h , мм.

На підставі попередніх досліджень, наведених на рис. 2.1 і 2.2, визначено інтервали та рівні варіювання факторів, подані в табл. 2.1. Варто зазначити, що діапазон зміни сили струму наплавлення є обмеженим, оскільки його підвищення спричиняє оплавлення торців кулачка, а зниження призводить до погіршення формування наплавленого шару.

Таблиця 2.1 – Рівні варіювання факторів.

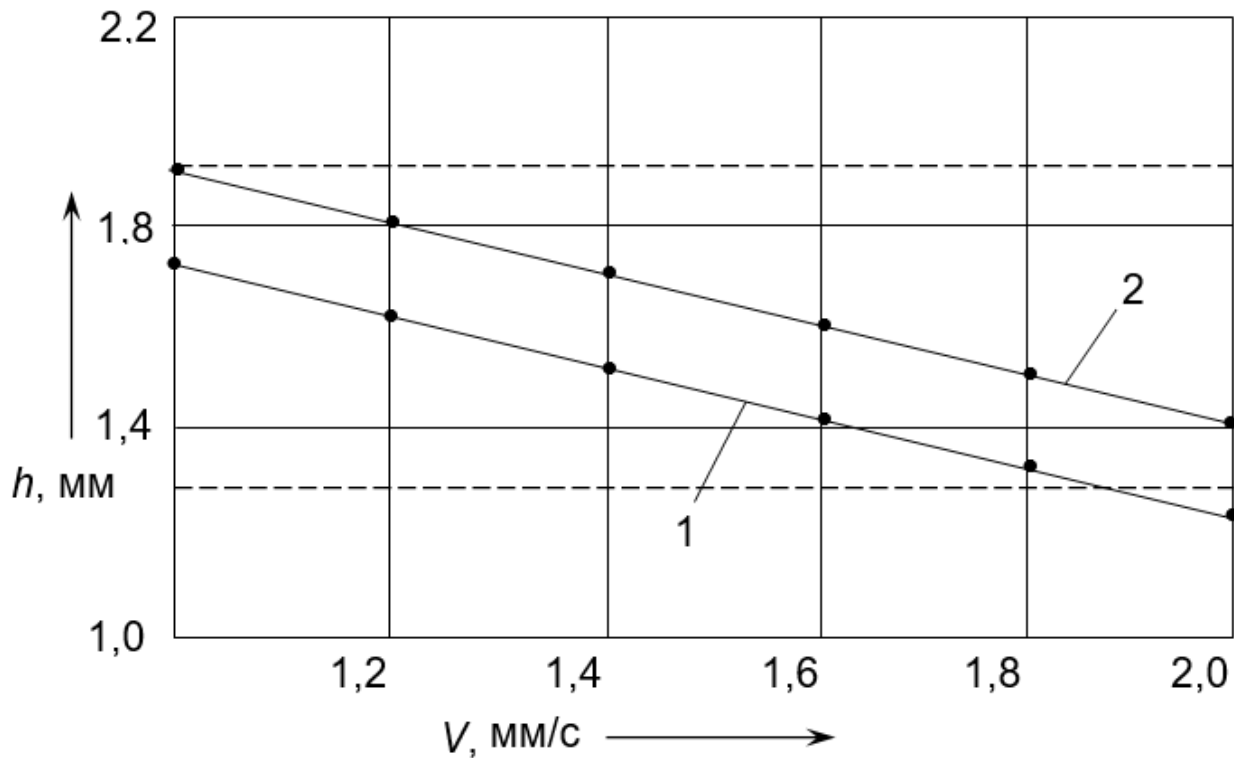
| Наплавлювана ділянка | Найменування фактора | Позначення фактора | Одиниця вимірювання | Інтервал варіювання | Рівні варіювання – | Рівні варіювання 0 | Рівні варіювання + |
|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Вершина кулачка | Струм | X ₁ | А | 15 | 150 | 165 | 180 |
| Вершина кулачка | Швидкість | X ₂ | ·10 ⁻³ м/с | 0,25 | 1,07 | 1,32 | 1,57 |
| Вершина кулачка | Витрата порошку | X ₃ | кг/год | 0,12 | 0,48 | 0,60 | 0,72 |
| Циліндрична частина | Струм | X ₁ | А | 15 | 170 | 185 | 200 |
| Циліндрична частина | Швидкість | X ₂ | ·10 ⁻³ м/с | 0,18 | 1,26 | 1,44 | 1,62 |
| Циліндрична частина | Витрата порошку | X ₃ | кг/год | 0,12 | 0,36 | 0,48 | 0,60 |



Швидкість наплавлення – $1,4 \cdot 10^{-3}$ м/с.

Рисунок 2.1 – Залежність товщини наплавленого шару на вершині кулачка від витрати порошку:

1 – I = 150 А; 2 – I = 180 А.



Витрата порошку – 0,6 кг/год.

Рисунок 2.2 – Залежність товщини наплавленого шару на вершині кулачка від швидкості наплавлення:

1 – $I = 150$ А; 2 – $I = 180$ А.

Під час проведення повного факторного експерименту сталими приймали такі параметри процесу [3, 11]:

напруга стисненої дуги – 35 В;

діаметр плазмоутворювального сопла – $4,0 \cdot 10^{-3}$ м;

витрата плазмоутворювального газу аргону – 1,5...2 л/хв;

витрата захисного аргону – 6...8 л/хв;

відстань від сопла плазмотрона до поверхні деталі – $8...10 \cdot 10^{-3}$ м;

амплітуда коливального руху – $15...16 \cdot 10^{-3}$ м;

частота коливань – 30...40 хв⁻¹.

Дослідження виконували на кулачках розподільних валів. Для формування відновлюваного шару застосовували порошкову суміш ПГ-ФБХ6-2 з додаванням 2...5 % алюмінію.

Згідно з прийнятим планом експерименту було проведено рандомізацію дослідів. Кожний дослід повторювали три рази, що дало змогу підвищити

достовірність отриманих результатів. Експериментальні дані подано в табл.

2.2. Оброблення результатів виконували у такій послідовності:

визначали дисперсію досліду та перевіряли однорідність дисперсійного ряду;

розраховували коефіцієнти регресійної залежності;

оцінювали статистичну значущість отриманих коефіцієнтів регресії;

перевіряли адекватність побудованої математичної моделі.

Отримані рівняння регресії достатньо точно характеризують досліджуваний процес і записуються у такому вигляді:

для вершини кулачка:

$$Y = 1,66 + 0,09X_1 - 0,13X_2 + 0,14X_3 + 0,08X_2X_3; \quad (2.1)$$

для циліндричної частини:

$$Y = 1,06 + 0,114X_1 - 0,326X_2 + 0,211X_3. \quad (2.2)$$

За результатами аналізу рівнянь (2.1 і 2.2) встановлено, що в межах прийнятих інтервалів варіювання основний вплив на товщину наплавленого шару чинять швидкість наплавлення та витрата порошкового матеріалу. Струм наплавлення, а також поєднана дія швидкості процесу і витрати порошку впливають менш істотно. Для циліндричної частини кулачка коефіцієнт регресії, який відображає спільний вплив зазначених факторів, є статистично незначущим. Оптимальними для наплавлення вершини кулачка та його циліндричної частини є режими, подані в 7-му рядку табл. 2.2.

Для практичних розрахунків рівняння регресії зручніше подавати у перетвореному вигляді. Перехід від кодованих значень факторів до натуральних виконують за такими формулами:

$$X_1 = (I - I_0) / \Delta I; \quad (2.3)$$

$$X_2 = (V - V_0) / \Delta V; \quad (2.4)$$

$$X_3 = (Q - Q_0) / \Delta Q, \quad (2.5)$$

де I_0, V_0, Q_0 – натуральні значення незалежних змінних на основних рівнях;
 $\Delta I, \Delta V, \Delta Q$ – значення інтервалів варіювання.

Таблиця 4.2 – План і результати повного факторного експерименту 2³.

| № дослід у | X ₁ | X ₂ | X ₃ | Середнє значення параметра оптимізації для вершини кулачка | Середня дисперсія для вершини кулачка | Розрахункові значення параметра оптимізації для вершини кулачка | Середнє значення параметра оптимізації для циліндричної частини | Середня дисперсія для циліндричної частини | Розрахункові значення параметра оптимізації для циліндричної частини |
|------------|----------------|----------------|----------------|--|---------------------------------------|---|---|--|--|
| 1 | – | – | – | 1,65 | 0,0028 | 1,64 | 1,03 | 0,0108 | 1,06 |
| 2 | + | – | – | 1,78 | 0,0039 | 1,82 | 1,20 | 0,0202 | 1,29 |
| 3 | – | + | – | 1,23 | 0,0028 | 1,22 | 0,39 | 0,0458 | 0,41 |
| 4 | + | + | – | 1,40 | 0,0038 | 1,40 | 0,77 | 0,0187 | 0,64 |
| 5 | – | – | + | 1,77 | 0,0013 | 1,76 | 1,56 | 0,0051 | 1,48 |
| 6 | + | – | + | 1,92 | 0,0063 | 1,94 | 1,75 | 0,0469 | 1,71 |
| 7 | – | + | + | 1,60 | 0,0112 | 1,66 | 0,80 | 0,0039 | 0,83 |
| 8 | + | + | + | 1,89 | 0,0111 | 1,84 | 0,97 | 0,0101 | 1,06 |

У результаті експериментальних досліджень отримано математичну модель оптимізації режимів плазмового наплавлення фасонних поверхонь, за якою товщина наплавленого шару наближається до оптимального значення $h \rightarrow h_{\text{опт}}$, такого вигляду:

$$h = 2,768 + 0,006I - 2,12V + 0,314Q, [\text{мм}] \text{ – для вершини кулачків}$$

$$h = 1,418 + 0,0076I - 1,811V + 1,758Q, [\text{мм}] \text{ – для циліндричної частини}$$

2.2 Технологія відновлення розподільних валів. Технологія наплавлення та вибір режимів

Розподільні вали під час роботи двигуна сприймають змінні за напрямом і величиною навантаження, тому для їх відновлення доцільно застосовувати порошкові тверді сплави з підвищеною зносостійкістю. У більшості випадків відновленню підлягає лише вершина кулачка. Якщо ж спрацювання має значну величину, наплавлення виконують по всьому профілю кулачка з подальшим шліфуванням до номінальних розмірів. Процес здійснюють із використанням

копіювального пристрою, змонтованого на токарному верстаті. Для забезпечення плавної зміни швидкості наплавлення привід верстата живиться від джерела постійного струму.

Для наплавлення кулачків сталевих розподільних валів використовують порошкові сплави ПГ-СР4 + 3 % Al, ПГ-ФБХ6-2 + 6 % Al та ПГ-С1 + 6 % Al. Для чавунних валів найбільш придатним є порошковий сплав ПГ-СР4 + 5 % Al. Рекомендована товщина напавленого шару становить 1,3–1,6 мм на вершині кулачка та 0,4–0,6 мм на його циліндричній поверхні. У разі застосування залізовмісних порошкових сплавів ПГ-ФБХ6-2 + 6 % Al і ПГ-С1 + 6 % Al для сталевих валів як транспортуючий газ допускається використовувати азот.

Кулачки, відновлені порошковим сплавом ПГ-СР4 із твердістю покриття $HRC_e = 45...50$, обробляють шліфувальними кругами з електрокорунду ЕБ16-25С1Б або ЕБ16-25С1К зернистістю 16–25, середньої твердості С1, на бакелітовій чи керамічній зв'язці. Кулачки, напавлені порошковими сплавами на основі заліза, доцільно шліфувати кругами з чорного або зеленого карбиду кремнію зернистістю 16–25, середньої твердості С1, на керамічній зв'язці.

Режими плазмового наплавлення для відновлення розподільних валів двигунів ЯМЗ-238 приймають за даними, наведеними у праці А. І. Сидорова «Відновлення деталей машин напиленням і напавленням». У процесі наплавлення сталими залишаються такі параметри: витрата плазмоутворювального газу – 1,2–2 л/хв; витрата транспортуючого газу – 7–9 л/хв; частота коливань плазмотрона – 0,4–0,5 Гц; відстань від плазмотрона до поверхні деталі – 9–12 мм.

Таблиця 2.3 – Режими плазмового наплавлення.

| Параметри | ПГ-СР4 + 3 % Al | ПГ-ФБХ6-2 + 3 % Al |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------|
| Наплавлення вершини кулачка | | |
| Сила струму, А | 120–140 | 125–150 |
| Напруга, В | 25 | 30 |
| Частота обертання вала, $хв^{-1}$ | 0,45–0,50 | 0,30–0,45 |
| Витрата порошку | 20–22 | 18–20 |

| Наплавлення циліндричної поверхні кулачка | | |
|---|-----------|----------|
| Сила струму, А | 160–170 | 180–190 |
| Напруга, В | 30 | 30 |
| Частота обертання вала, хв ⁻¹ | 0,65–0,70 | 0,5–0,6 |
| Витрата порошку, г/хв | 14–16 | 12–14 |
| Наплавлення опорної шийки вала | | |
| Сила струму, А | 170–180 | 190–200 |
| Напруга, В | 30 | 35 |
| Частота обертання вала, хв ⁻¹ | 0,7–0,8 | 0,6–0,65 |
| Витрата порошку | 12–14 | 10–12 |

Таблиця 2.4 – Режими чорнового та чистового шліфування

| Оброблюване покриття, параметри оброблення | Круг ПП600 × 25 × 305 ЕБ16-25С1Б, ЕБ16- 25С1К | ПП600 × 25 × 305 КЧ16-25С1К, КЗ16- 25С1К |
|---|---|--|
| ПГ-СР4 + 3 % Al | | |
| Чорнове шліфування | | |
| v_k , м/с | 34 | 34 |
| v_d , м/с | 2,3 | 2,3 |
| $S_{\text{поп}}$, м/хв | 0,60–0,64 | 0,60–0,64 |
| R_a , мкм | 2,5 | 2,5 |
| Чистове шліфування | | |
| v_k , м/с | 34 | 34 |
| v_d , м/с | 4,6 | 4,6 |
| $S_{\text{поп}}$, м/хв | 0,25–0,55 | 0,25–0,55 |
| R_a , мкм | 0,63–0,32 | 0,63–0,32 |

2.3 Розрахунок норм часу на оброблення

Плазмове наплавлення. Час наплавлення одного розподільного вала визначають за формулою (2.7):

$$T_H = t_{OCH} + t_{BCП} + t_{ДОП} + \frac{T_{П.З}}{n}, \text{ хв}; \quad (2.7)$$

де t_{OCH} – основний час;

$t_{ДОП}$ – допоміжний час;

$t_{ДОД}$ – додатковий час;

$T_{ПЗ}$ – підготовчо-заключний час;

n – кількість деталей, що наплавляються в партії.

$$t_{OCH} = \frac{\pi D \cdot l}{1000 \cdot V_H \cdot S}, \text{ хв} \quad (2.8)$$

$t_{OCH} = 4,7$ хв.

Швидкість наплавлення визначають за формулою:

$$V_H = \frac{\alpha_H \cdot I}{h \cdot S \cdot \gamma}, \quad (2.9)$$

де α_H – коефіцієнт наплавлення, г/(А·год); $\alpha_H = 12$ г/(А·год);

γ – густина нанесеного покриття; $\gamma = 7,4$ г/см³;

I – сила струму, А; $I = 150$ А;

d – діаметр деталі, мм;

h – товщина наплавленого шару, мм.

$$h = \frac{I}{2} + z_1 + z_2, \quad (2.10)$$

де I – зношування деталі, мм;

z_1 – припуск на оброблення перед нанесенням покриття, мм; $z_1 = 0,1$ мм;

z_2 – припуск на механічне оброблення після нанесення покриття, мм; $z_2 = 0,4$ мм.

$$h = 1,5 / 2 + 0,1 + 0,4 = 1,25 \text{ мм.}$$

$$t_{OCH} = \frac{3,14 \cdot 51 \cdot 70}{1000 \cdot 34 \cdot 0,7} = 4,7 \text{ хв}$$

Частоту обертання визначають за формулою:

$$n_D = \frac{1000 \cdot V_H}{60 \cdot \pi \cdot d}, \quad (2.11)$$

де V_H – швидкість наплавлення.

$$n_D = \frac{1000 \cdot 34}{60 \cdot 3,14 \cdot 51} = 3,4$$

Норма часу на наплавлення розподільного вала складається з таких елементів витрат часу [2, 3, 8]:

$$T_H = T_{ОСН} + T_{ВСП} + T_{ДОП} + \frac{T_{П.З}}{n}, \text{ хв} \quad (2.12)$$

де $T_{ОСН}$ – основний час;

$T_{ВСП}$ – допоміжний час; приймається за таблицею $T_{ВСП} = 0,54$ хв;

$T_{ДОП}$ – додатковий час; приймається у розмірі 3 % від $T_{ОП}$;

$T_{ОП}$ – оперативний час, що визначається як сума $T_{ОСН} + T_{ВСП}$, звідси $T_{ДОП} = 0,12$ хв;

$T_{П.З}$ – підготовчо-заклучний час; $T_{П.З} = 15$ хв;

n – кількість деталей, що наплавляються в партії.

Виходячи з наведених даних, визначають норму часу на наплавлення див. формулу 2.12:

$$T_H = 4,7 + 0,54 + 0,12 + 15 / 20 = 6,11 \text{ хв.}$$

Токарне оброблення [2, 15]

$$T_H = T_{ОСН} + T_{ВСП} + T_{ДОП} + \frac{T_{П.З}}{n}, \text{ хв}$$

$$T_{ОСН} = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i, \text{ мин} \quad (2.13)$$

де L – розрахункова довжина оброблення в напрямку подачі, мм;

n – частота обертання, хв^{-1} ;

S – подача, мм/об.

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3, \text{ мм} \quad (2.14)$$

$$L = 70 + 0,8 + 9 + 5 + 1 = 79,8 \text{ мм}$$

Частоту обертання визначають за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}, \quad (2.15)$$

$$T_{ОСН} = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i, \text{ хв,}$$

$$T_{ОСН} = \frac{79,8}{20 \cdot S}; T_{ОСН} = 5,4 \text{ хв,}$$

$$T_H = 5,4 + 0,54 + 0,12 + 10 / 20 = 6,56 \text{ хв.}$$

2.4 Вибір наплавлювального порошку, плазмотворювального та транспортуючого газів

Для відновлення зношених поверхонь застосовують присадкові матеріали з підвищеною зносостійкістю, які за хімічним складом і структурою відрізняються від основного металу деталі. При цьому важливо забезпечити мінімальну зону плавлення, достатню міцність з'єднання та пластичність перехідного шару, що дає змогу зменшити деформації й запобігти появі тріщин.

Під час ремонту деталей, що працюють в умовах змінних навантажень, не завжди доцільно використовувати максимально тверді сплави. Висока твердість часто супроводжується крихкістю та утворенням слабких прошарків у зоні сплавлення. Тому в окремих випадках перевагу надають матеріалам із дещо нижчою міцністю та зносостійкістю, але з кращою пластичністю і стабільнішою роботою під навантаженням.

Застосування високолегованих порошкових твердих сплавів пояснюється їх високою зносостійкістю та особливостями дисперсної структури. Порівняно із суцільними дротами такі матеріали мають нижчу температуру плавлення і більшу питому поверхню, що активізує металургійні процеси у зварювальній ванні. Це сприяє формуванню якіснішого наплавленого шару за нижчого теплового впливу. За зносостійкістю порошкові тверді сплави приблизно у 1,5 раза перевищують традиційні наплавлювальні матеріали, зокрема електродні дроти, порошкові дроти та стрічки. Деталі, відновлені такими матеріалами, часто мають ресурс, що перевищує ресурс нових виробів.

Для плазмового наплавлення застосовують порошкові сплави на нікелевій основі ПР-Н70Х17С4Р4, ПР-Н77Х15С3, ПР-Н73Х16С3Р3, а також сплави на залізній основі ПГ-С27, ПГ-УС25, ПГ-ФБС6-2, ПГ-С1. Твердість нікелевих сплавів становить $HRC_e = 35-58$, а залізновмісних – $HRC_e = 42-60$. Розмір частинок порошку для наплавлення повинен бути не меншим ніж 100 мкм, оскільки дрібні фракції інтенсивніше окиснюються, частково виносяться з потоку та можуть засмічувати сопло плазмотрона [3, 11].

Для відновлення робочих поверхонь розподільних валів доцільно використовувати тверді сплави на залізній основі: УС-25, сормайт-1, ФБХ-6-2 +

3 % Al, ПГ-СП4 + 3 % Al. Ці матеріали характеризуються порівняно невисокою вартістю, достатньою зносостійкістю та доступністю у промислового виробництва. Водночас тверді сплави мають підвищену крихкість, тому під час наплавлення можливе утворення тріщин. Додавання порошкового алюмінію до сплавів сормайт-1 і УС-25 у кількості близько 8 % за масою сприяє зменшенню тріщиноутворення у наплавленому шарі. При цьому зносостійкість покриття не погіршується, а в окремих випадках навіть дещо підвищується.

Плазмове наплавлення є доцільним способом відновлення розподільних валів із використанням порошкових твердих сплавів на залізній або нікелевій основі. Як плазмоутворювальний газ застосовують аргон із витратою 1,5–2 л/хв. Для подавання порошку в зварювальну ванну та її захисту можуть використовувати аргон із витратою 6–10 л/хв або азот із витратою 10–16 л/хв. Аргон забезпечує високу якість наплавлення, однак для відновлення розподільних валів, особливо посадкових поверхонь, економічно доцільнішим є використання азоту.

Застосування азоту під час наплавлення порошками на залізній основі з обов'язковим додаванням порошкового алюмінію дає змогу отримати якісні зносостійкі покриття за нижчих витрат [3, 11, 16]. Хімічний склад наплавлювальних порошків наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Хімічний склад хромонікелевих порошків і порошків на залізній основі.

| Марка | Нікель | Вуглець | Хром | Кремній | Бор | Залізо | Марганець | Вольфрам | Молибден |
|-----------------------|--------|----------|-------|---------|---------|--------|-----------|----------|----------|
| Хромонікелеві порошки | | | | | | | | | |
| ПР-Н77Х15С3Р2 | Основа | 0,35–0,8 | 14–16 | 2,8–3,5 | 1,8–2,3 | до 5 | — | — | — |
| ПР-Н73Х16С3Р3 | Основа | 0,6–0,9 | 15–17 | 2,7–3,7 | 2,3–3,0 | до 5 | — | — | — |
| ПР-Н77Х17С4Р4 | Основа | 0,8–1,2 | 16–18 | 3,8–4,5 | 3,1–4,0 | до 5 | — | — | — |
| ПР-Н67Х18С5Р5 | Основа | 0,9–1,5 | 16–19 | 4,0–5,0 | 4,0–4,7 | до 5 | до 1 | — | — |

| | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------|---------|-------|---------|---------|--------|---------|---------|------|
| Порошки на залізній основі | | | | | | | | | |
| ПГ-С27 | 2–4 | 3,3–4,5 | 25–28 | 1,0–2,0 | — | Основа | 0,8–1,5 | 0,2–0,4 | 0,08 |
| ПГ-СР4 | 3–5 | 3,1–4,3 | 27–31 | 1,0–3,0 | — | Основа | 0,5–1,3 | 0,4–0,7 | 0,15 |
| ПГ-С1 | 3–5 | 2,5–3,3 | 32–37 | 2,8–4,2 | — | Основа | 0,4–1,5 | 0,4–1,5 | — |
| ПГ-ФБХ-6-2 | 1,3–2,5 | 3,5–6,5 | 32–37 | 1,0–2,5 | 1,3–2,0 | Основа | 0,4–1,5 | 1,5–4,0 | — |
| ПГ-УС25 | 1,0–1,8 | 4,4–5,4 | 35–41 | 1,6–2,6 | < 2,5 | Основа | — | — | — |

Таблиця 2.6 – Результати наплавлення із застосуванням різних порошкових композицій.

| Склад порошкових композицій | Сила струму, А | Захисний газ | Твердість | Характер наплавленого металу |
|----------------------------------|----------------|-----------------|---------------------------|---|
| ПГ-СР2 | 140 | Аргон | 38–42 HRC _e | Формування шарів задовільне; на поверхні спостерігаються окремі раковини; у зоні сплавлення – пори |
| ПГ-СР2 95 % + Al 5 % | 110–115 | CO ₂ | 36–42 HRC _e | Шар формується незадовільно |
| ПГ-СР2 95 % + Al 5 % | 140 | Аргон | 36–40 HRC _e | Формування шарів добре, наявні окремі пори |
| ПГ-СР2 95 % + Al 5 % | 145 | Аргон | HB 250–270 | Якість наплавлення незадовільна; наявні раковини та пори |
| ПГ-СР2 60 % + Cu 40 % | 150 | Аргон | 36–40 HRC _e | Якість наплавлення задовільна |
| ПГ-С1 90 % + Al 10 % | 155 | Аргон | 48–52 HRC _e | Якість наплавлених шарів задовільна; наявні поодинокі пори |
| ПГ-С1 90 % + Al 10 % | 115 | CO ₂ | 46–50 HRC _e | Якість наплавлення висока |
| ПГ-С1 60 % + Al 10 % + Cu 30 % | 115 | CO ₂ | 48–50 HRC _e | Якість наплавлення добра. У наплавленому покритті помітні два окремі шари: зверху мідь, знизу сормайт-1 |
| Cu 70 % + Al 10 % + ПГ-С1 20 % | 115 | CO ₂ | 27–32 HRC _e | Якість наплавлення добра. У наплавленому покритті помітні два окремі шари: зверху мідь, знизу сормайт-1 |
| Cu 70 % + Al 10 % + ПГ-С1 20 % | 115 | Аргон | HB 190–220 | Якість наплавлення незадовільна |
| ПГ-С1 96 % + FeSi 2 % + FeMn 2 % | 110 | CO ₂ | 48–52 HRC _e | Якість добра, пори відсутні |

| | | | | |
|------------------------------------|-----|-----------------|---------------------------|---|
| Cu 100 % | 160 | Аргон | HB 180– 200 | Якість незадовільна |
| Cu 100 % | 120 | CO ₂ | HB 170– 190 | Якість задовільна; поверхня наплавлення груба |
| Сплав ЛГС 95 % + Al 5 % | 160 | Аргон | 38–42 HRC _e | Якість низька; спостерігається суцільна пористість |
| НПЧ 100 % | 140 | Аргон | HB 180– 210 | Якість незадовільна; суцільне формування шару по ширині не відбувається |
| НПЧ 100 % | 110 | CO ₂ | HB 175– 200 | Якість задовільна, але наплавлена поверхня груба |
| НПЧ 95 % + Al 5 % | 110 | CO ₂ | HB 180– 230 | Якість задовільна |
| НПЧ 50 % + ПГ-С1 48 % + Al 2 % | 155 | Аргон | 36–40 HRC _e | Якість незадовільна; значна кількість пор |
| НПЧ 50 % + ПГ-С1 48 % + Al 2 % | 115 | CO ₂ | 32–38 HRC _e | Якість задовільна, поверхня наплавлення груба |
| НПЧ 60 % + Cu 30 % + Al 10 % | 115 | CO ₂ | HB 190– 200 | Якість добра; пори відсутні |
| НПЧ 60 % + Cu 30 % + Al 10 % | 135 | Аргон | HB 190– 220 | Якість незадовільна |
| НПЧ 40 % + Al 20 % + ПГ-С1 40 % | 140 | Аргон | 38–40 HRC _e | Якість незадовільна |

2.5 Порядок роботи на установці

У цьому підпункті наведено рекомендовану послідовність підготовки та виконання плазмового наплавлення розподільних валів на спеціалізованій установці.

Перед початком роботи просушений присадковий порошок засипають у ємність порошкового живильника. Розподільний вал установлюють у центрах токарного верстата та надійно закріплюють, після чого плазмовий пальник виставляють на необхідну робочу висоту відносно поверхні деталі.

Далі відкривають вентилі газових балонів і за допомогою редукторів задають потрібний тиск газів, які подаються до пульта керування. Після цього вмикають подачу охолоджувальної води та перевіряють її проходження через пальник і відведення у зливну магістраль. Пульт керування підключають до електромережі.

Перед наплавленням вмикають токарний верстат, очищають ділянку відновлення металевою щіткою або абразивною шкуркою, встановлюють задану частоту обертання розподільного вала та крок наплавлення. Потім налаштовують струм чергової і прямої дуг, вмикають місцеву витяжну вентиляцію та джерело живлення.

Після відкриття подачі плазмоутворювального і транспортуючого газів за показами манометра та ротаметра встановлюють необхідну їх витрату [3, 11, 15]. Перемикачем вмикають пульт керування, а кнопкою «Пуск» запускають порошковий живильник і задають потрібну витрату наплавлювального порошку.

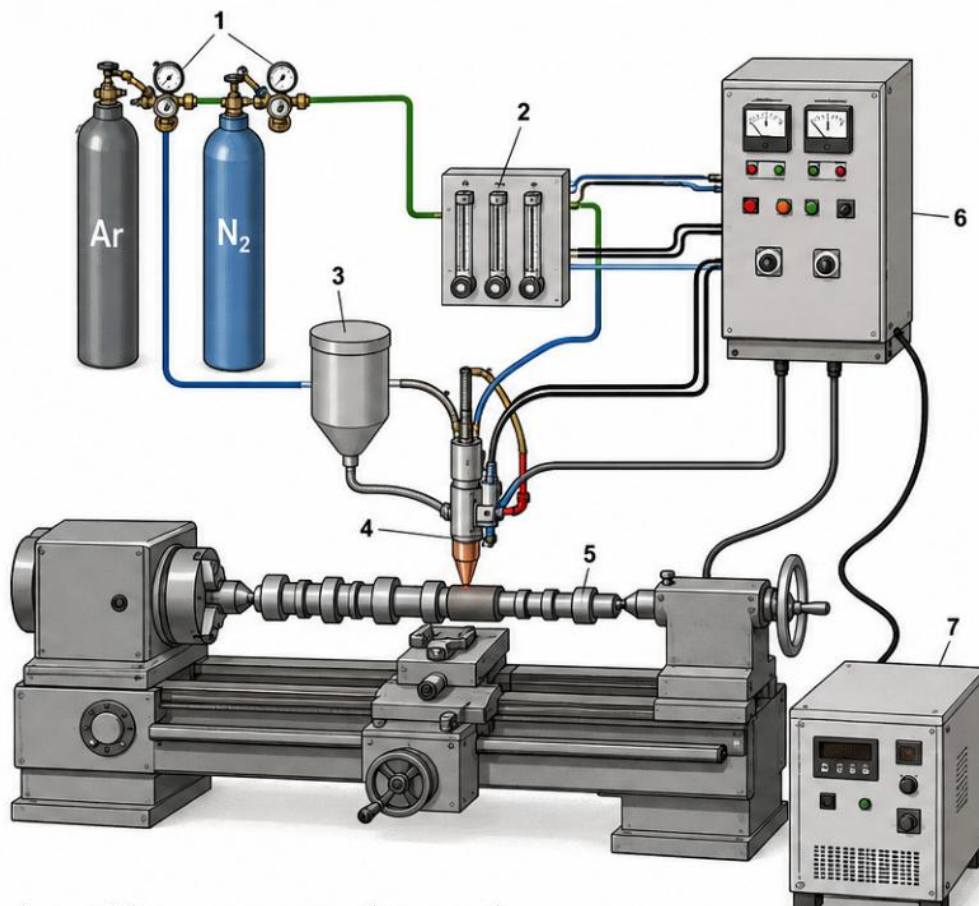


Рисунок 2.3 – Схема установки для плазмового наплавлення розподільного вала:

1 – газові балони з редукторами (аргон, азот); 2 – блок ротаметрів (витратоміри газів); 3 – бункер порошкового живильника; 4 – плазмовий палик; 5 – розподільний вал; 6 – пульт керування; 7 – джерело живлення плазмової установки.

Далі вмикають коливальний механізм плазмового палика та регулюють частоту його коливань. Пряму дугу вмикають контактором або рубильником,

після чого розпочинають процес наплавлення. За необхідності силу струму уточнюють за допомогою реостатів. Після стабілізації процесу вмикають поздовжню подачу верстата.

Після завершення наплавлення установку зупиняють у зворотній послідовності: відключають подачу порошку, перекривають подачу газів у пальник, вимикають контактор прямої дуги, зупиняють коливальний механізм, після чого знімають відновлений розподільний вал із центрів верстата.

2.6 Економічне обґрунтування доцільності відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238

Економічну ефективність технології відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238 визначаємо шляхом порівняння розрахункової вартості ремонту з вартістю придбання нової деталі. Відновлення передбачає дефектацію, підготовче токарне оброблення, плазмове наплавлення зношених поверхонь, подальше шліфування та контроль якості [16].

Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані: відновлюється один розподільний вал; наплавлення виконується порошковим сплавом на залізній основі; вартість нового розподільного вала ЯМЗ-238 приймається 15 700 грн; тривалість основних технологічних операцій становить 2,15 год; тарифна ставка робітника – 180 грн/год; нарахування на оплату праці – 22 %; вартість електроенергії – 8,5 грн/кВт·год.

Витрати на оплату праці визначаємо за формулою [16]:

$$C_{зп} = T_{заг} \cdot C_{год}$$

де $T_{заг}$ – загальна трудомісткість відновлення одного вала, год;

$C_{год}$ – годинна тарифна ставка робітника, грн/год.

$$C_{зп} = 2,15 \cdot 180 = 387 \text{ грн.}$$

Нарахування на заробітну плату становлять:

$$C_{н} = C_{зп} \cdot 0,22 = 387 \cdot 0,22 = 85 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на оплату праці з нарахуваннями:

$$C_{зп.заг} = 387 + 85 = 472 \text{ грн.}$$

Вартість витратних матеріалів для відновлення одного розподільного вала наведено в таблиці.

Таблиця 2.7 – Вартість витратних матеріалів для відновлення одного розподільного вала.

| Стаття витрат | Прийняте значення | Вартість, грн |
|--|--------------------------------|---------------|
| Наплавлювальний порошок | 0,55 кг · 1400 грн/кг | 770 |
| Плазмоутворювальний і транспортуєчий газ | умовно на 1 вал | 120 |
| Шліфувальні круги, абразиви, охолоджувальна рідина | умовно на 1 вал | 180 |
| Електроенергія | 10,5 кВт·год · 8,5 грн/кВт·год | 89 |
| Разом матеріали та енергія | | 1159 |

Витрати на експлуатацію обладнання приймаємо з урахуванням роботи плазмової установки, токарного верстата, шліфувального обладнання та засобів контролю.

Таблиця 2.8 – Витрати на експлуатацію обладнання.

| Обладнання | Тривалість роботи, год | Вартість машино-години, грн/год | Вартість, грн |
|----------------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------|
| Установка плазмового наплавлення | 0,60 | 450 | 270 |
| Токарний верстат | 0,45 | 260 | 117 |
| Шліфувальний верстат | 0,55 | 260 | 143 |
| Контрольно-вимірювальні засоби | 0,15 | 120 | 18 |
| Разом | | | 548 |

Прямі витрати на відновлення одного розподільного вала становлять:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{зп.заг}} + C_{\text{мат}} + C_{\text{обл}},$$

$$C_{\text{пр}} = 472 + 1159 + 548 = 2179 \text{ грн.}$$

Накладні витрати приймаємо у розмірі 25 % від прямих витрат [16]:

$$C_{\text{накл}} = C_{\text{пр}} \cdot 0,25 = 2179 \cdot 0,25 = 545 \text{ грн.}$$

Виробнича собівартість відновлення:

$$C_{\text{вир}} = C_{\text{пр}} + C_{\text{накл}} = 2179 + 545 = 2724 \text{ грн.}$$

З урахуванням адміністративних витрат і прибутку підприємства у розмірі 15 % розрахункова вартість відновлення становить:

$$C_{\text{відн}} = C_{\text{вир}} \cdot 1,15 = 2724 \cdot 1,15 = 3133 \text{ грн.}$$

Орієнтовна вартість відновлення одного розподільного вала двигуна ЯМЗ-238 за запропонованою технологією становить 3133 грн.

Економічний ефект від відновлення порівняно з придбанням нової деталі визначаємо за формулою:

$$E = C_{\text{нов}} - C_{\text{відн}},$$

де $C_{\text{нов}}$ – вартість нового розподільного вала, грн;

$C_{\text{відн}}$ – розрахункова вартість відновлення, грн.

$$E = 15700 - 3133 = 12567 \text{ грн.}$$

Відносна економія становить:

$$E\% = E / C_{\text{нов}} \cdot 100,$$

$$E\% = 12567 / 15700 \cdot 100 = 80,0 \text{ \%}.$$

Коефіцієнт економічної доцільності відновлення:

$$K_e = C_{\text{нов}} / C_{\text{відн}},$$

$$K_e = 15700 / 3133 = 5,01.$$

Відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238 за технологією плазмового наплавлення є економічно доцільним. Розрахункова вартість ремонту приблизно у 5 разів нижча за вартість нової деталі, а економія на одному валі становить близько 12 567 грн. Крім зменшення витрат, відновлення дає змогу повторно використати придатну основу деталі, скоротити потребу в нових запасних частинах і знизити матеріальні витрати ремонтного підприємства.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вибір пристосування та принцип його роботи

Для відновлення розподільних валів методом плазмового наплавлення використовується установка ОКС-11233, виконана на базі токарного верстата 16К20, попередньо модернізованого для проведення таких операцій.

Модернізація верстата передбачає:

монтаж порошкового живильника;

установлення плазмотрона з механізмом коливального руху;

переобладнання приводу поздовжнього супорта та розміщення на ньому блока керування робочими механізмами.

Плазмоутворювальний блок виконано на основі установки плазмового напилення УПП-5-68, адаптованої для процесу наплавлення. Відновлення кулачків розподільного вала має певні технологічні складності, оскільки необхідно забезпечити рівномірне нанесення шару на поверхню складного профілю. Для цього застосовується спеціальне пристосування з копіювальним механізмом, яке дає змогу виконувати наплавлення кулачка по всій робочій поверхні. Пристосування встановлюється на обертачі установки [14, 15].

Принцип роботи пристосування полягає в такому див. рис. 3.1.

Розподільний вал, що підлягає відновленню, вкручують у різьбовий отвір базувального вала. Копір 12 фіксують гвинтом у шпонковому пазу та закріплюють у патроні обертача 1. Вільний кінець вала підтримується заднім центром, що забезпечує його стійке положення під час обертання. Копіювальна поверхня за допомогою пружини і пазів у втулці встановлюється на валу відносно ділянки деталі, яка потребує наплавлення.

До копіра 12 підводять каретку 4 з опорним елементом, після чого її опускають на копіювальну поверхню. Опорний елемент може мати форму конуса, піраміди або клина та контактувати з копіром у точці або по лінії, забезпечуючи відтворення заданого профілю під час наплавлення.

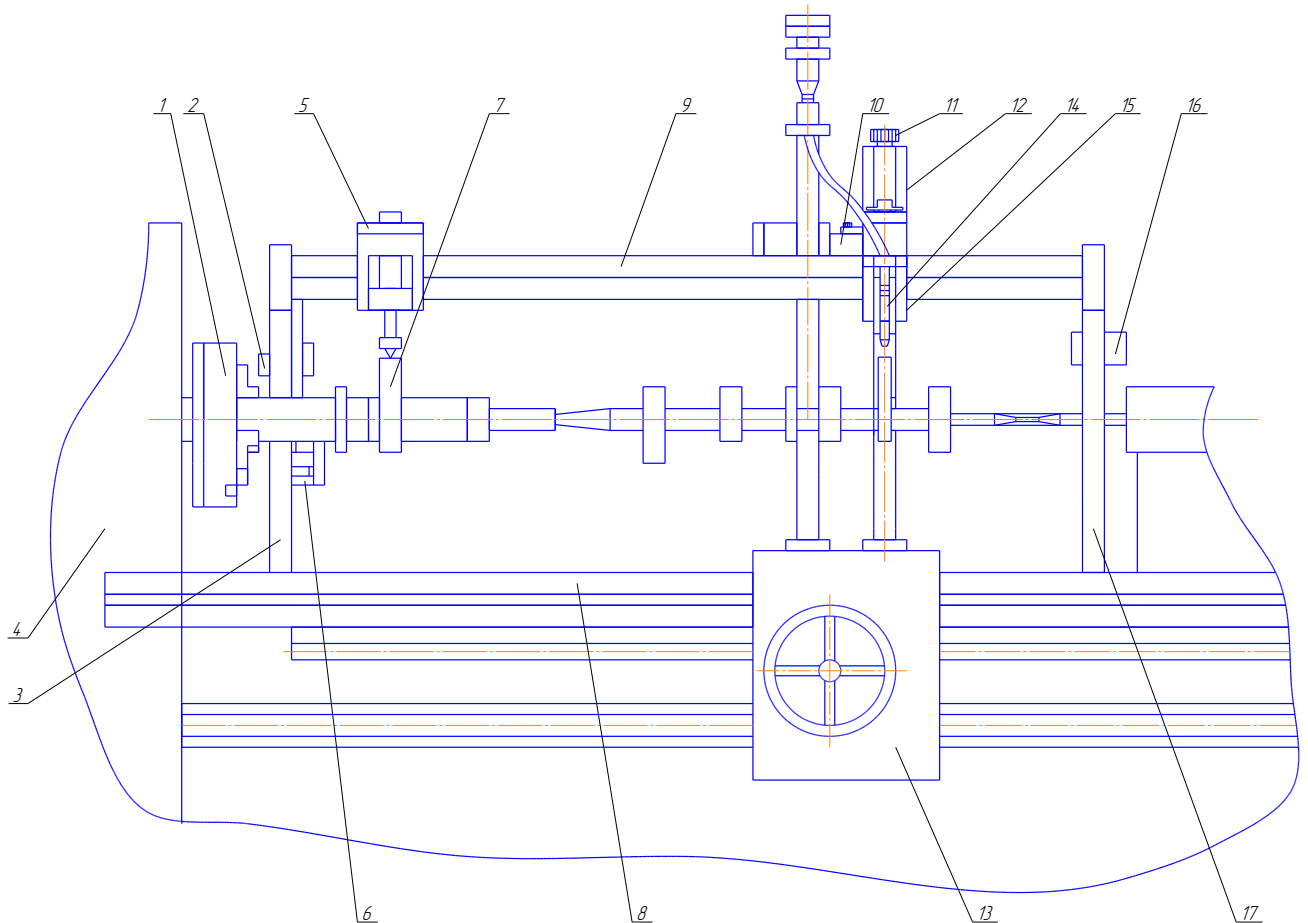


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд установки для плазмового наплавлення розподільного вала.

Робоча каретка 4 обладнана плазмовим пальником 10. За допомогою поздовжнього супорта 9 і встановленого на ньому механізму коливань 7 з повідковим елементом 11 вона переміщується по напрямній 13 уздовж розподільного вала до ділянки, що підлягає наплавленню.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика установки.

| Найменування показників | Характеристика |
|---|----------------|
| 1. Частота обертання приводу, об/хв | 0–12 |
| 2. Характер регулювання | плавний |
| 3. Діаметр оброблюваної циліндричної деталі, мм | 10–100 |
| 4. Довжина оброблюваної деталі, мм | 1400 |
| 5. Максимально можлива висота кулачків, мм | 10 |
| 6. Час заміни копіра, хв | 0,45 |

| | |
|--|---------|
| 7. Максимально можливий ексцентриситет оброблюваної поверхні, мм | 10 |
| 8. Витрата порошкового матеріалу, г/хв | 8–30 |
| 9. Амплітуда коливань плазмотрона, мм | до 25 |
| 10. Частота коливань за хвилину | 40–80 |
| 11. Характер регулювання коливань | плавний |

Обертальний рух від патрона 1 передається до оброблюваної деталі через копір 12. Опорний елемент, взаємодіючи з обертовою копіювальною поверхнею, переміщує раму 6 разом із напрямною 13, а та, у свою чергу, задає відповідний рух плазмовому пальнику 10. Відтворення профілю відновлюваної поверхні забезпечується узгодженням вертикального переміщення пальника з обертанням розподільного вала.

Коливальний рух робочої каретки 4 здійснюється від механізму коливань 7 через повідковий елемент 11. Для передавання руху на повідковому елементі передбачені пази, які входять у зачеплення з циліндричними пальцями каретки. Конструкція повідкового елемента дає змогу йому повертатися навколо поздовжньої осі, що необхідно для компенсації сил, які виникають у зоні контакту пазів із пальцями. Присадковий порошок із живильника подається до плазмотрона по спеціальній трубці.

Автоматичне регулювання кутової швидкості виконується за допомогою командоапарата 5. Противаги зменшують навантаження опорного елемента на копіювальну поверхню копіра 12.

3.2 Регулювання установки та пристосування

Положення плазмотрона відносно деталі регулюють його вертикальним переміщенням у робочій каретці за допомогою гвинтового механізму. Відстань від торця захисного сопла до поверхні деталі повинна перебувати в межах 10–12 мм.

Поздовжні осі плазмотрона й опорного елемента мають проходити через вісь розподільного вала. Їх взаємне положення встановлюють за допомогою

регулювального гвинта. Коливальний механізм на супорті розміщують так, щоб він забезпечував передавання коливань робочій каретці як під час наплавлення циліндричної частини, так і під час відновлення кулачка [14, 15].

Для цього опорний елемент установлюють на циліндричну частину кулачка-копіра, а нижню частину П-подібної вилки розташовують із зазором 1,5–2 мм від нижньої площини робочої каретки. Верхня частина вилки при цьому повинна взаємодіяти з верхнім пальцем каретки, а нижня – з нижнім пальцем. Після цього кулачок-копір повертають до моменту контакту опорного елемента з його вершиною. У цьому положенні пази вилки мають залишатися в зачепленні з пальцями каретки, а верхня частина вилки не повинна торкатися її поверхні.

Налаштування командоапарата полягає у виборі такого положення кінцевого вимикача, за якого режим оброблення змінюється автоматично. Це положення відповідає моменту переходу опорного елемента з циліндричної ділянки на поверхню, що формує початок профілю кулачка.

Переналагодження пристрою виконують шляхом заміни копіра в патроні 1 обертача, а також уточнення положення опорного елемента і плазмотрона за допомогою передбачених регулювальних механізмів.

3.3 Розрахунок пружини

Пружина стиску використовується для створення необхідного підтискання центрів, у яких установлюється розподільний вал під час оброблення на верстаті. Її основне призначення полягає у забезпеченні стабільного контакту опорних елементів із копіювальною поверхнею та запобіганні їх відриву під час переміщення по профілю копіра [14].

Початкове зусилля пружини має бути достатнім для надійного притискання опорних гвинтів до копіювальної поверхні, але водночас не повинно створювати надмірного навантаження на елементи пристосування. Правильно підібрана пружина забезпечує плавність роботи механізму, сталість положення вала та точніше відтворення профілю під час плазмового наплавлення

$$P_{нач} = P_1 = \frac{Q_{ВП}}{2} + \frac{Q_T}{2} = \frac{10}{2} + \frac{4}{2} = 7 \text{ кг.} \quad (3.1)$$

Для виготовлення пружини приймається дріт П-П.

Механічна характеристика матеріалу визначається тимчасовим опором розтягуванню:

$$[\sigma_B] = 145 \text{ кг/мм}^2.$$

Допустиме напруження при роботі пружини на кручення приймається залежно від тимчасового опору матеріалу:

$$[\tau] = 0,44[\sigma_B].$$

$$[G_{BP}] = 0,44 \cdot 145 = 63,8 \text{ кг/мм}^2.$$

Визначаємо максимальне дотичне напруження, що виникає у небезпечних точках поперечного перерізу витків пружини, тобто на внутрішньому волокні [14]:

$$\tau_{\max} = k \cdot \frac{M_K}{W_P} = \frac{2 \cdot k \cdot P \cdot R}{\pi \cdot r^3}, \text{ кг/мм}^2 \quad (3.2)$$

де k – поправковий коефіцієнт, який враховує вплив додаткових чинників, зокрема згинання стрижня пружини, поздовжні деформації та інші особливості її роботи:

$k = 1,16$ – для індексу пружини $c = 36 / 4 = 9$;

P – сила, що стискає пружину;

R – середній радіус пружини, мм; $R = 18$ мм;

r – радіус дроту пружини, мм; $r = 2$ мм.

$$\tau_{\max} = \frac{2 \cdot 1,16 \cdot 7 \cdot 18}{3,14 \cdot 2^3} = 11,6 \text{ кг/мм}^2$$

Визначаємо діаметр дроту:

$$d = 1,6 \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P_{\max} \cdot C}{[\tau]}} = 1,6 \cdot \sqrt{\frac{1,16 \cdot 38,4 \cdot 9}{63,8}} = 4 \text{ мм.} \quad (3.4)$$

Визначаємо значення середнього діаметра пружини:

$$D = c \cdot d = 9 \cdot 4 = 36 \text{ мм} \quad (3.5)$$

Крок витків пружини приймаємо в таких межах:

$$h = 36 / 3 = 12 \text{ мм.} \quad (3.6)$$

Повна кількість витків пружини:

$$i_0 = 9,5 \text{ витків.}$$

Робоча кількість витків пружини:

$$i = i_0 - 2 = 9,5 - 2 = 7,5 \text{ витків.} \quad (3.7)$$

Визначаємо довжину пружини у стисненому стані, коли її витки дотикаються один до одного [14]:

$$Hd = (i_0 - 0,5) \cdot d = (9,5 - 0,5) \cdot 4 = 36 \text{ мм.} \quad (3.8)$$

Допустима довжина пружини за дії найбільшого стискального навантаження визначається з урахуванням рекомендованого проміжку між витками. При зазорі $\delta p = 0,1 \cdot d = 0,4 \text{ мм}$ довжина пружини у навантаженому стані становить 40 мм.

Довжина пружини без прикладеного навантаження:

$$H_0 = Hd + i \cdot (n - d) = 36 + 7,5 \cdot (12 - 4) = 96 \text{ мм} \quad (3.9)$$

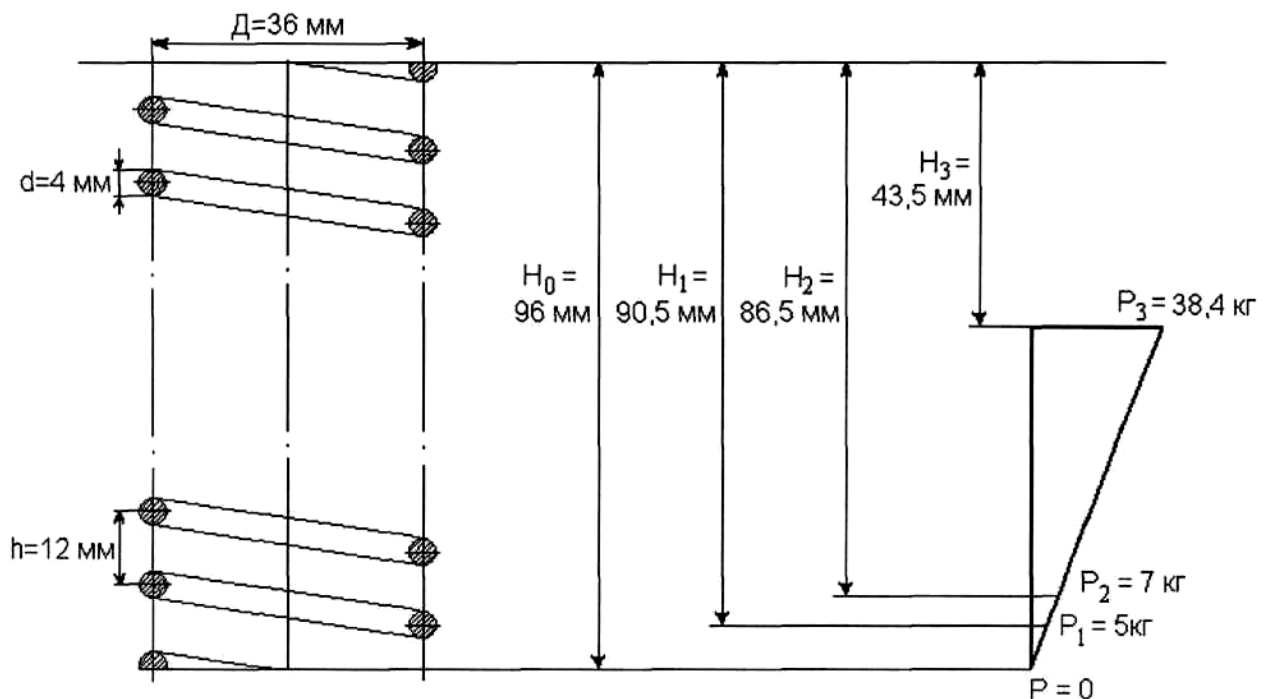


Рисунок 3.2 – Епюра навантажень пружини.

Визначаємо величину осьового переміщення λ за дії навантаження $P_1 = 5 \text{ кг}$:

$$\lambda_1 = \frac{8 \cdot P \cdot c^3 \cdot i}{G \cdot d} = \frac{8 \cdot 5 \cdot 9^3 \cdot 7,5}{8 \cdot 10^3 \cdot 4} = 6,8 \text{ мм,} \quad (3.10)$$

де $G = 8 \cdot 10^3 \text{ кг/мм}^2$ – модуль зсуву матеріалу пружини.

Визначаємо значення осьового переміщення пружини за навантаження

$P_2 = 7$ кг:

$$\lambda_2 = \frac{8 \cdot 7 \cdot 9^3 \cdot 7,5}{8 \cdot 10^3 \cdot 4} = 9,6 \text{ мм.} \quad (3.11)$$

Визначаємо кінцеве зусилля стискання пружини P_3 за умови, що осьове переміщення становить $\lambda_3 = 52,5$ мм:

$$P_3 = \frac{\lambda_3 \cdot G \cdot d}{8 \cdot c^3 \cdot i} = \frac{52,5 \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 4}{8 \cdot 9^3 \cdot 7,5} = 38,4 \text{ кг.} \quad (3.12)$$

У результаті проведеного розрахунку визначено основні конструктивні параметри пружини стиску, яка використовується у пристосуванні для забезпечення стабільного притискання опорних елементів до копіювальної поверхні. Прийнятий матеріал дроту та розраховані геометричні характеристики пружини забезпечують її працездатність під час навантаження. Встановлено повну та робочу кількість витків, середній діаметр, довжину у стисненому й вільному стані, а також величини осьових переміщень за різних навантажень. Отримані результати підтверджують, що вибрана пружина здатна забезпечити плавну та надійну роботу копіювального механізму під час плазмового наплавлення розподільного вала.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Характеристика умов праці на дільниці відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238

Відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238 виконується на спеціалізованій ремонтній дільниці, обладнаній установкою для плазмового наплавлення, токарним і шліфувальним обладнанням, пристосуваннями для закріплення деталі та засобами контролю геометричних параметрів. Основними операціями технологічного процесу є дефектація вала, підготовка зношених поверхонь, установлення деталі в центрах верстата, плазмове наплавлення кулачків і шийок, механічна обробка після відновлення та остаточний контроль якості.

Умови праці на такій дільниці характеризуються поєднанням механічних, термічних, електричних і хімічних виробничих чинників. Під час плазмового наплавлення працівник перебуває поблизу джерела високої температури, інтенсивного світлового випромінювання та зони утворення газопилових виділень [18, 20, 21]. Додаткову небезпеку створюють рухомі частини верстата, обертовий розподільний вал, патрон, копіювальний пристрій і механізм переміщення плазмотрона.

Під час механічної обробки після наплавлення виникають інші шкідливі чинники: шум, вібрація, металева стружка, абразивний пил, можливе розлітання частинок шліфувального круга або оброблюваного матеріалу. Тому організація робочого місця повинна забезпечувати зручне розташування обладнання, достатнє освітлення, справність захисних кожухів, наявність місцевої витяжної вентиляції та вільний доступ до органів керування.

Основні виробничі чинники, що можуть впливати на працівника під час відновлення розподільного вала, наведено в таблиці 4.1.

Раціональна організація робочого місця має важливе значення для безпечного виконання операцій. Обладнання необхідно розміщувати так, щоб працівник міг безперешкодно виконувати установлення та зняття розподільного вала, регулювання плазмотрона, контроль режимів наплавлення і вимірювання

параметрів деталі після обробки. Проходи між обладнанням не повинні захарачуватися інструментом, заготовками або відходами виробництва.

Таблиця 4.1 – Характеристика умов праці на дільниці відновлення розподільного вала.

| Виробничий чинник | Джерело виникнення | Можливий вплив на працівника | Основні заходи захисту |
|--|---|--|--|
| Підвищена температура | Плазмова дуга, нагріта деталь, зона наплавлення | Опіки, перегрівання організму | Спецодяг, рукави-ці, щиток, дотри-мання безпечної відстані |
| Світлове та ультрафіолетове випромінювання | Плазмове наплавлення | Ураження очей і шкіри | Захисна маска зі світлофільтром, екрани |
| Пил і гази | Наплавлювальний порошок, продукти наплавлення, шліфування | Подразнення органів дихання | Місцева витяжна вентиляція, респіратор за потреби |
| Рухомі частини обладнання | Патрон, вал, копір, механізм подачі | Механічні травми | Захисні огороження, надійне кріплення деталі |
| Електричний струм | Джерело живлення плазмової установки, електроприводи | Ураження електричним струмом | Заземлення, справна ізоляція, перевірка кабелів |
| Шум і вібрація | Верстати, шліфувальне обладнання | Втома, зниження уваги, порушення слуху | Справність обладнання, засоби захисту слуху |

| | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| Абразивні частинки та стружка | Шліфування, токарна обробка | Травмування очей і шкіри | Захисні окуляри, кожухи, прибирання стружки інструментом |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--|

Освітлення робочої зони повинно забезпечувати чітку видимість поверхні деталі, органів керування, шкал приладів і контрольних інструментів. Недостатнє освітлення може спричинити помилки під час установлення деталі, регулювання пристосування або контролю профілю кулачків. Вентиляція має забезпечувати видалення пилю, аерозолів і газів безпосередньо із зони їх утворення.

Під час роботи з розподільним валом ЯМЗ-238 потрібно враховувати його видовжену форму та необхідність точного базування. Ненадійне закріплення або неправильне центрування можуть спричинити биття деталі, погіршення якості наплавлення та створення аварійної ситуації. Тому перед запуском обладнання обов'язково перевіряють фіксацію вала, положення копіра, справність центрів і відсутність сторонніх предметів у зоні обертання.

Умови праці на ділянці відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238 належать до таких, що потребують підвищеної уваги до організації робочого місця, справності обладнання та застосування засобів індивідуального захисту. Дотримання цих вимог забезпечує безпечне виконання технологічного процесу, знижує ризик травмування працівника та сприяє отриманню якісно відновленої деталі.

4.2 Вимоги охорони праці під час виконання операцій відновлення вала

Під час виконання операцій відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238 необхідно дотримуватися вимог охорони праці, оскільки технологічний процес пов'язаний із використанням плазмової установки, токарного та шліфувального обладнання, порошкових матеріалів, газових балонів і електричних джерел живлення. Безпечне виконання робіт забезпечується правильною організацією робочого місця, справністю обладнання,

застосуванням засобів індивідуального захисту та дотриманням установленної послідовності операцій.

До роботи допускаються працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці, ознайомлені з будовою обладнання та правилами безпечного виконання плазмового наплавлення, механічної обробки і контролю якості. Перед початком роботи необхідно перевірити справність установки, стан електричних кабелів, наявність заземлення, герметичність газових з'єднань, роботу системи охолодження плазмотрона та місцевої витяжної вентиляції.

Під час установлення розподільного вала в центрах верстата необхідно забезпечити його правильне базування та надійне закріплення. Перед запуском обладнання перевіряють відсутність биття, перекосу, послаблення кріплення та сторонніх предметів у зоні обертання. Патрон, центри, копір і притискні елементи повинні бути справними та надійно зафіксованими.

Під час плазмового наплавлення працівник повинен використовувати захисний щиток або маску зі світлофільтром, рукавиці, спецодяг із щільної тканини, захисне взуття та, за необхідності, засоби захисту органів дихання [19, 20, 21]. Забороняється торкатися нагрітої деталі, плазмотрона, струмопровідних частин і рухомих механізмів під час роботи установки. Зону наплавлення доцільно відокремлювати захисними екранами, щоб запобігти впливу випромінювання на інших працівників.

Порошковий матеріал потрібно зберігати в сухій закритій тарі. Засипання порошку в живильник необхідно виконувати обережно, не допускаючи його розсипання та утворення пилу. Під час роботи порошкового живильника забороняється відкривати його рухомі частини або виконувати очищення без повної зупинки обладнання.

Після завершення наплавлення деталь залишається нагрітою, тому її знімання або переміщення дозволяється виконувати лише після охолодження або із застосуванням спеціального інструмента та захисних рукавиць. Різка охолодження вала не допускається, якщо воно не передбачене технологічним процесом, оскільки це може спричинити появу внутрішніх напружень або тріщин.

Під час токарної обробки відновлених поверхонь забороняється торкатися обертової деталі, вимірювати її під час руху, знімати стружку руками або працювати без захисних кожухів. Прибирання стружки необхідно виконувати спеціальною щіткою або гачком тільки після зупинки верстата. Інструмент має бути справним, правильно закріпленим і відповідати режимам оброблення.

Під час шліфування кулачків і шийок розподільного вала необхідно перевірити стан шліфувального круга, його кріплення та наявність захисного кожуха [20, 21]. Працівник повинен користуватися захисними окулярами або щитком. Не допускається робота з пошкодженим кругом, підвищеною вібрацією верстата або несправною системою охолодження.

Основні вимоги охорони праці під час виконання операцій відновлення наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Вимоги охорони праці під час відновлення розподільного вала.

| Операція | Можлива небезпека | Вимоги безпеки |
|----------------------|--|---|
| Установлення вала | Падіння деталі, перекус, травмування рук | Надійно закріпити вал у центрах, перевірити фіксацію копіра та патрона |
| Плазмове наплавлення | Опіки, випромінювання, ураження струмом, пил | Використовувати ЗІЗ, увімкнути вентиляцію, перевірити заземлення і подачу газів |
| Подача порошку | Запилення, потрапляння порошку в механізми | Засипати порошок обережно, не відкривати живильник під час роботи |
| Токарна обробка | Стружка, обертові частини, захоплення одягу | Працювати із захисними кожухами, не торкатися деталі під час обертання |
| Шліфування | Абразивний пил, розліт частинок круга | Перевірити круг, користуватися окулярами, застосовувати охолодження |

| | | |
|-----------------|-------------------------------------|---|
| Контроль якості | Опіки, випадкове переміщення деталі | Проводити контроль після зупинки обладнання та охолодження вала |
|-----------------|-------------------------------------|---|

Дотримання вимог охорони праці під час відновлення розподільного вала двигуна ЯМЗ-238 забезпечує безпечну роботу персоналу, зменшує ризик травмування, запобігає пошкодженню обладнання та сприяє стабільному виконанню технологічного процесу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У процесі виконання роботи розглянуто характерні дефекти деталі, обґрунтовано доцільний спосіб її відновлення, визначено технологічні режими наплавлення та механічної обробки, виконано розрахунок елементів пристосування, проведено економічне оцінювання запропонованої технології та розглянуто вимоги безпеки праці.

У загально-технічному розділі встановлено, що основними дефектами розподільного вала є прогин осі, спрацювання опорних шийок, зношування кулачків за висотою, пошкодження шпонкового паза, зношування посадкових поверхонь і дефекти різьбових ділянок. Найбільш суттєвими для працездатності вала є зношування робочого профілю кулачків і опорних шийок, оскільки саме ці поверхні безпосередньо впливають на фазу газорозподілу, стабільність роботи двигуна та ресурс механізму газорозподілу.

На основі порівняння можливих способів ремонту за технологічним, технічним і техніко-економічним критеріями обґрунтовано застосування плазмового наплавлення. Цей метод забезпечує формування зносостійкого покриття з достатньою міцністю зчеплення з основним металом, дає змогу регулювати тепловий вплив на деталь і використовувати порошкові присадкові матеріали з необхідними експлуатаційними властивостями. За результатами оцінювання плазмове наплавлення має переваги порівняно з вібродуговим наплавленням, наплавленням у середовищі CO₂ та методами напилення.

У технологічному розділі розглянуто схеми наплавлення кулачків розподільного вала. Найбільш доцільною прийнято схему двохпрохідного наплавлення з коливанням плазмотрона, яка забезпечує стабільніше формування шару та зменшує небезпеку оплавлення торців кулачка. Для оптимізації режимів використано повний факторний експеримент, у якому основними керованими параметрами прийнято силу струму, швидкість наплавлення та витрату порошкового матеріалу. Встановлено, що найбільший вплив на товщину наплавленого шару мають швидкість переміщення плазмотрона та витрата порошку.

Для відновлення робочих поверхонь розподільного вала обґрунтовано застосування порошкових сплавів на залізній основі з додаванням алюмінію, що сприяє підвищенню якості наплавленого шару та зменшенню ймовірності утворення тріщин. Визначено режими плазмового наплавлення для вершини кулачка, циліндричної частини кулачка та опорних шийок, а також наведено режими подальшого чорнового і чистового шліфування. Це забезпечує отримання необхідної геометрії, твердості та шорсткості відновлених поверхонь.

У роботі розраховано норми часу на виконання основних операцій. Для плазмового наплавлення одного розподільного вала визначено норму часу 6,11 хв, а для токарного оброблення – 6,56 хв. Отримані значення можуть бути використані для планування завантаження обладнання, визначення продуктивності ремонтної дільниці та оцінювання собівартості відновлення деталі.

У конструкторському розділі розглянуто пристосування для наплавлення розподільних валів на установці ОКС-11233, змонтованій на базі токарного верстата 16К20. Описано принцип роботи копіювального механізму, який забезпечує узгоджене переміщення плазмотрона відповідно до профілю кулачка. Виконано розрахунок пружини стиску, що забезпечує стабільне притискання опорних елементів до копіювальної поверхні. За результатами розрахунку прийнято середній діаметр пружини 36 мм, повну кількість витків 9,5, робочу кількість витків 7,5 і довжину пружини у вільному стані 96 мм.

Економічне обґрунтування підтвердило доцільність застосування запропонованої технології. Розрахункова вартість відновлення одного розподільного вала становить 3133 грн, тоді як вартість нової деталі прийнято 15700 грн. Економічний ефект від відновлення одного вала становить 12567 грн, відносна економія – 80 %, а коефіцієнт економічної доцільності – 5,01. Це свідчить про те, що відновлення є значно вигіднішим порівняно з придбанням нової деталі.

У розділі з безпеки життєдіяльності та охорони праці визначено основні небезпечні й шкідливі чинники, що виникають під час плазмового наплавлення, токарної та шліфувальної обробки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, Гупка А.Б., Хорошун Р.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальність 274 «Автомобільний транспорт». – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.
2. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів / Уклад. Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 550 с.
3. Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» / Укладачі: Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 136 с.
4. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни: підручник. – К.: Арістей, 2005. – 476 с.
5. Шапко В.Ф., Шапко С.В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів: підручник. – Харків: Точка, 2016. – 232 с.
6. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: підручник. – К.: Либідь, 2018. – 400 с.
7. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. – К.: Знання-Прес, 2003. – 511 с.
8. Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигиринець А.Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 1: Теоретичні основи. Технологія: підручник. – К.: Вища школа, 1994. – 342 с.
9. Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигиринець А.Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 2: Організація, планування і управління: підручник. – К.: Вища школа, 1994. – 383 с.
10. Форнальчик Є.Ю., Качмар Р.Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів. – Львів: Львівська політехніка, 2017. – 324 с.

11. Сукач М.К. Технічний сервіс машин: навчальний посібник. – К.: Ліра-К, 2017. – 288 с.
12. Ткаченко І.Г., Левкович М.Г. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність транспортних засобів». – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 118 с.
13. Мигаль В.Д., Мигаль В.П. Методи технічної діагностики автомобілів: навчальний посібник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2014.
14. Кіркач Н.Ф. Розрахунок і проектування деталей машин. – Харків, 1991. – 274 с.
15. Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: навчальний посібник. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007. – 252 с.
16. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП: підручник / І.Б. Гевко, О.Л. Ляшук, І.В. Луциків, У.М. Плекан, В.М. Клендій. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2021. – 264 с.
17. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранс України, 1998. – 16 с.
18. Закон України «Про охорону праці». – Харків: Вид-во «ФОРТ», 2003. – 32 с.
19. НАОП 60.2-3.06-98 «Типові норми видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам автомобільного транспорту».
20. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М., Туряб Л.В., Лико Х.В. Практикум з охорони праці: навчальний посібник / За ред. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.
21. Войналович О.В., Марчинишин Є.І., Кофто Д.Г. Охорона праці в галузі (автомобільний транспорт): навчальний посібник. – Харків: ХНАДУ, 2020. – 695 с.