МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Жуковський Нікіта Русланович

УДК 621.43.004.67:621.357.7

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення технологічного процесу відновлення опорних шийок розподільних валів двигунів з розробкою установки для нанесення гальванопокриттів

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Жуковський Н.Р.

Керівник роботи
Грудовий Р.С.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Жуковський Нікіта Русланович. Удосконалення технологічного процесу відновлення опорних шийок розподільних валів двигунів з розробкою установки для нанесення гальванопокриттів. *– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення технологічного процесу відновлення опорних шийок розподільних валів автомобільних двигунів із розробкою установки для нанесення гальванічних покриттів. Проаналізовано роботу газорозподільного механізму, умови експлуатації розподільного вала та основні дефекти, що виникають у процесі роботи двигуна. Встановлено, що найбільш поширеними пошкодженнями є зношування опорних шийок, порушення геометричної форми, утворення подряпин, задирів, корозійних уражень і зниження якості робочих поверхонь. У роботі розглянуто існуючі способи відновлення деталей типу валів, зокрема механічну обробку, наплавлення, металізацію, плазмове нанесення покриттів і гальванічне хромування. Обґрунтовано доцільність застосування контактного хромування, яке дозволяє локально відновлювати зношені поверхні, забезпечуючи високу твердість, зносостійкість і рівномірність покриття. Запропоновано конструкцію установки для нанесення гальванічного покриття та розроблено технологічний процес відновлення опорних шийок розподільного вала. Практичне значення роботи полягає у підвищенні якості ремонту, зменшенні витрат на відновлення деталей і продовженні ресурсу автомобільних двигунів.

Ключові слова: розподільний вал, опорні шийки, газорозподільний механізм, гальванічне покриття, контактне хромування, відновлення деталей.

ANNOTATION

Nikita Ruslanovich Zhukovsky. Improvements to the manufacturing process for the restoration of engine camshaft journal necks, including the development of a plant for applying electroplated coatings. *– Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This thesis examines the improvement of the manufacturing process for the restoration of camshaft journal necks in automotive engines, including the development of a system for applying electroplated coatings. It analyses the operation of the gas distribution mechanism, the operating conditions of the camshaft, and the main defects that arise during engine operation. It has been established that the most common types of damage are wear of the journal surfaces, distortion of the geometric shape, the formation of scratches, gouges and corrosion damage, and a deterioration in the quality of the working surfaces. The paper examines existing methods for the restoration of shaft-type components, in particular machining, hardfacing, metallisation, plasma coating and electroplating with chromium. The feasibility of using contact chromium plating is justified, as it allows for the localised restoration of worn surfaces, ensuring high hardness, wear resistance and uniformity of the coating. A design for an electroplating unit is proposed, and a process for restoring camshaft journal necks has been developed. The practical significance of this work lies in improving the quality of repairs, reducing the cost of component restoration and extending the service life of car engines.

Keywords: *camshaft, journal bearings, valve train, electroplating, contact chromium plating, component restoration.*

ЗМІСТ

ВСТУП……6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОБОТИ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ, ДЕФЕКТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ ТА СПОСОБИ ЇХ УСУНЕННЯ……9
1.1 Призначення та умови роботи газорозподільного механізму……9
1.2 Робота розподільного вала та навантаження його опорних шийок…..11
1.3 Дефекти розподільних валів сучасних двигунів……12
1.4 Фотоілюстрації характерних пошкоджень розподільних валів……...14
1.5 Дефектування та контроль технічного стану розподільного вала……15
1.6 Способи усунення дефектів розподільних валів……..17
Висновки по розділу……20
РОЗДІЛ 2. УСТАНОВКА ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ОПОРНИХ ШИЙОК РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ МЕТОДОМ НАНЕСЕННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ ПОКРИТТІВ……21
2.1 Аналіз наявних конструкцій обладнання для відновлення опорних шийок розподільного вала……..21
2.2 Установка для нанесення гальванічних покриттів……...30
2.3 Перевірний розрахунок міцності опори пристосування……..35
2.4 Перевірка міцності напрямної пристосування……38
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ОПОРНИХ ШИЙОК РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ……41
3.1 Вихідні умови для розробки технологічного процесу……..41
3.2 Обґрунтування вибору технологічного маршруту……..43
3.3 Розробка послідовності підготовчих операцій……44
3.4 Розрахунок припусків і товщини гальванічного покриття……..46
3.5 Визначення режимів контактного хромування……47
3.6 Операційна технологія відновлення опорних шийок……..49
3.7 Розрахунок орієнтовної трудомісткості процесу……51
3.8 Контроль якості відновлених опорних шийок……..52
3.9 Організація робочого місця та вимоги до виконання процесу……...54
Висновки по розділу……55

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..…….56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..58

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Надійна та довговічна робота автомобільного двигуна значною мірою залежить від технічного стану деталей газорозподільного механізму. Одним із найвідповідальніших його елементів є розподільний вал, який забезпечує своєчасне відкривання і закривання впускних та випускних клапанів відповідно до робочого циклу двигуна. Від точності його виготовлення, стану кулачків, опорних шийок і посадкових поверхонь залежать потужність двигуна, економічність, рівномірність роботи, токсичність відпрацьованих газів та загальний ресурс силового агрегату.

У процесі експлуатації розподільні вали працюють у складних умовах. На їх робочі поверхні діють змінні контактні навантаження, сили тертя, підвищена температура, вібрації, а також продукти зношування, що потрапляють у моторну оливу. Найбільш поширеними дефектами розподільних валів є зношування опорних шийок, утворення подряпин, задирів, овальності, конусності, корозійних пошкоджень, а також спрацювання профілю кулачків. Особливо важливим є відновлення опорних шийок, оскільки саме вони забезпечують правильне положення розподільного вала в опорах і стабільність роботи всього газорозподільного механізму.

Заміна зношеного розподільного вала новою деталлю не завжди є економічно доцільною, особливо в умовах ремонтних підприємств, станцій технічного обслуговування та автогосподарств, де важливе значення має зниження собівартості ремонту. Тому актуальним напрямом є удосконалення технологічних процесів відновлення зношених поверхонь із застосуванням сучасних способів нанесення зносостійких покриттів. Одним із ефективних методів відновлення опорних шийок розподільних валів є гальванічне хромування, яке дозволяє отримати тверде, зносостійке та рівномірне покриття без значного теплового впливу на основний метал деталі.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності підвищення якості ремонту розподільних валів автомобільних двигунів,

зменшення витрат на придбання нових деталей, продовження ресурсу відновлених вузлів та удосконалення технологічного оснащення для нанесення гальванічних покриттів. Використання спеціалізованої установки для контактного хромування дає змогу локально відновлювати зношені опорні шийки, зменшити витрати електроліту, скоротити тривалість технологічного процесу та забезпечити необхідні експлуатаційні властивості відновлених поверхонь.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення технологічного процесу відновлення опорних шийок розподільних валів автомобільних двигунів із розробкою установки для нанесення гальванічних покриттів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:** проаналізувати роботу газорозподільного механізму автомобільних двигунів; визначити основні дефекти розподільних валів і причини їх виникнення; розглянути існуючі способи відновлення зношених поверхонь деталей типу валів; обґрунтувати доцільність застосування гальванічного хромування для відновлення опорних шийок; розробити конструктивне рішення установки для нанесення гальванічних покриттів; спроєктувати технологічний процес відновлення опорних шийок розподільного вала; визначити основні технологічні режими, операції контролю та вимоги до якості відновлених поверхонь.

Об’єктом дослідження є технологічний процес відновлення розподільних валів автомобільних двигунів.

Предметом дослідження є відновлення опорних шийок розподільних валів методом нанесення гальванічного хромового покриття із застосуванням спеціалізованої установки.

У роботі використано методи аналізу технічної літератури, порівняння існуючих способів відновлення деталей, технологічного проєктування, розрахунку режимів обробки, узагальнення виробничого досвіду ремонту деталей двигунів, а також методи оцінювання якості відновлених поверхонь за геометричними та експлуатаційними параметрами.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грудовий Р.С., **Жуковський Н.Р.** Герасимчук Д.В Технологічні особливості нанесення гальванічних покриттів при відновленні зношених деталей сільськогосподарських машин. Збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 168-171.

2. Грудовий Р.С., Хоменко С.М., **Жуковський Н.Р.,** Карпенко М.С. Застосування гальванічних покриттів при відновленні деталей сільськогосподарської техніки. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/hrudovyj_26-2.pdf (дата звернення 07.06.2026).

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонований технологічний процес і установка для нанесення гальванічних покриттів можуть бути використані на ремонтних підприємствах, у майстернях автотранспортних господарств та на станціях технічного обслуговування. Їх застосування дозволяє підвищити якість відновлення розподільних валів, зменшити витрати на ремонт двигунів, забезпечити раціональне використання матеріальних ресурсів і продовжити строк служби деталей газорозподільного механізму.

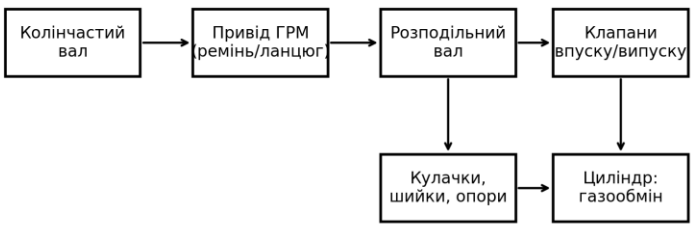
Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 31 найменуваня. Загальний обсяг роботи становить 60 сторінок комп’ютерного тексту, містить 25 рисунків, 14 таблиць та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ РОБОТИ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ, ДЕФЕКТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ ТА СПОСОБИ ЇХ УСУНЕННЯ

1.1 Призначення та умови роботи газорозподільного механізму

Газорозподільний механізм автомобільного двигуна призначений для своєчасного відкривання і закривання впускних та випускних клапанів відповідно до робочого циклу. Через нього забезпечується наповнення циліндрів свіжим зарядом, видалення відпрацьованих газів, герметизація камери згоряння під час стиску та робочого ходу, а також стабільна робота двигуна на різних режимах навантаження. Від точності роботи ГРМ залежать потужність, паливна економічність, токсичність відпрацьованих газів і ресурс двигуна в цілому.

У сучасних бензинових і дизельних двигунах переважають схеми з верхнім розташуванням одного або двох розподільних валів. Така компоновка скорочує кількість проміжних деталей між кулачком і клапаном, зменшує інерційність приводу та дає змогу застосовувати електрогідравлічні або електромеханічні системи зміни фаз газорозподілу. Разом з тим підвищення частоти обертання, зменшення маси деталей, застосування турбонаддуву і жорсткі екологічні вимоги збільшують питомі контактні навантаження на кулачки, опорні шийки та пари тертя розподільного вала.



Синхронізована робота елементів ГРМ визначає фази газообміну та навантаження на розподільний вал

Рис. 1.1. Узагальнена схема взаємодії елементів газорозподільного механізму.

Розподільний вал є центральною ланкою ГРМ. Його кулачки перетворюють обертальний рух на поступальний рух клапанного механізму. Контур кулачка визначає момент відкривання клапана, величину підйому, тривалість відкритого стану і швидкість переміщення клапана. У працях з аналізу довговічності кулачкових пар зазначається, що саме геометрія профілю кулачка значною мірою формує характеристики газообміну, а зношування кулачка зменшує фактичний підйом клапана та погіршує наповнення циліндра [2].

Під час роботи розподільний вал зазнає дії змінних контактних, згинальних і крутильних навантажень. На кулачок передається сила пружини клапана, інерційні сили штовхача або коромисла, а також сили тертя у парі «кулачок — штовхач». Опорні шийки працюють у підшипниках ковзання або безпосередньо в постелях головки блока циліндрів. Для них вирішальне значення має стабільність масляної плівки, правильність геометрії постелей, чистота моторної оливи та відсутність перекосу під час складання.

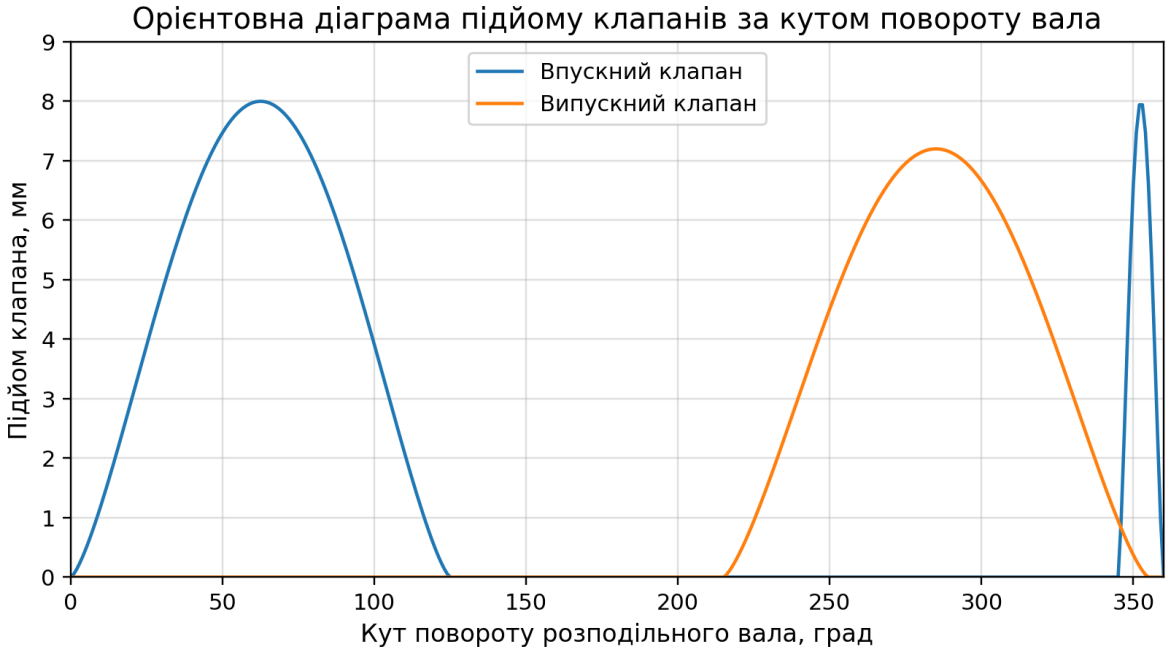


Рис. 1.2. Орієнтовна діаграма підйому клапанів залежно від кута повороту розподільного вала.

Таблиця 1.1 – Порівняння основних схем газорозподільного механізму автомобільних двигунів

Схема ГРМ	Конструктивна ознака	Переваги	Характерні недоліки
OHV	Розподільний вал у блоці, клапани приводяться штовхачами і коромислами	Компактність головки блока, проста конструкція	Велика кількість проміжних деталей, підвищена інерційність
SOHC	Один верхній розподільний вал у головці блока	Менші втрати в приводі, простіше регулювання	Обмежені можливості незалежного керування впуском і випуском
DOHC	Два верхні розподільні вали: окремо для впускних і випускних клапанів	Добра керованість фазами, можливість багатоклапанної схеми	Вища складність приводу і вимоги до точності змащення
VVT/VVL	Система зміни фаз або висоти підйому клапанів	Поліпшення наповнення циліндрів у широкому діапазоні режимів	Чутливість до якості оливи, ускладнення діагностики

1.2 Робота розподільного вала та навантаження його опорних шийок

Розподільний вал працює у режимі багатопозиційного контакту. Його поверхні одночасно виконують різні функції: кулачки сприймають імпульсне навантаження від клапанного механізму, опорні шийки забезпечують обертання вала з мінімальним тертям, а торцеві поверхні та елементи приводу передають крутний момент від ременя, ланцюга або шестерень. Для забезпечення довговічності всі ці поверхні повинні зберігати геометричну точність, твердість і задану шорсткість.

Опорні шийки розподільного вала є особливо важливими для даного проекту, оскільки саме їх відновлення передбачається удосконалити шляхом нанесення гальванічного покриття. Зношування шийок призводить до збільшення радіального зазору, падіння тиску оливи в головці блока, порушення співвісності вала, підвищення шумності та прискореного руйнування кулачків. Якщо вал починає працювати з перекосом, контакт між кулачком і штовхачем стає нерівномірним, у зоні тертя виникають локальні перегріви, задири і втомне викришування.

У перші секунди після холодного пуску умови змащення розподільного вала є найгіршими. Камери головки блока розташовані у верхній частині двигуна, тому олива надходить до них пізніше, ніж до нижніх опор. За даними технічного аналізу пошкоджень двигунів, недостатній тиск оливи, висока частота обертання відразу після пуску, волога в оливі та засмічення каналів можуть спричиняти пошкодження як кулачків, так і опорних поверхонь розподільного вала [1].

Для стабільної роботи опорної шийки потрібний гідродинамічний режим мащення. У такому режимі вал відокремлений від підшипникової поверхні шаром оливи, а металевий контакт практично відсутній. Якщо в'язкість оливи недостатня, рівень оливи знижений, масляний канал забруднений або зазор перевищує допустиму величину, шар оливи руйнується. Тоді виникає змішане або граничне тертя, яке супроводжується нагріванням, мікрозварюванням виступів шорсткості та подальшим вириванням металу.

1.3 Дефекти розподільних валів сучасних двигунів

Дефекти розподільних валів можна поділити на геометричні, поверхневі, структурні та експлуатаційні. Геометричні дефекти проявляються у вигляді овальності, конусності, биття, викривлення або зменшення висоти кулачка. Поверхневі дефекти включають задири, риски, пітинг, корозійні раковини, викришування, припікання та відшарування зміцненого шару. Структурні дефекти пов'язані з тріщинами, перегрівом, порушенням термообробки або втомним руйнуванням. Експлуатаційні дефекти найчастіше спричинені недостатнім змащенням, забрудненням оливи, неправильним складанням головки блока або використанням невідповідних деталей клапанного механізму.

На практиці пошкодження рідко виникає ізольовано. Наприклад, збільшення зазору в опорній шийці може призвести до падіння тиску оливи, а воно, у свою чергу, спричинить задири на сусідніх шийках і прискорений знос кулачків. Пітинг на кулачку часто починається як втомне

мікротріщиноутворення, але після викришування верхнього шару поверхня стає абразивною для штовхача. Тому під час дефектування потрібно оцінювати не лише окрему пошкоджену поверхню, а й весь ланцюг причин, що призвів до дефекту.

Таблиця 1.2 – Класифікація дефектів розподільних валів та їх експлуатаційні наслідки

Дефект	Зовнішні ознаки	Основні причини	Можливі наслідки
Знос опорних шийок	Зменшення діаметра, овальність, поздовжні риски, зміна кольору	Нестача оливи, абразивні частинки, перекіс постелі, збільшений зазор	Падіння тиску оливи, шум ГРМ, перекіс вала, прискорений знос кулачків
Знос кулачків	Зменшення висоти профілю, сплощення вершини, матові плями	Порушення змащення, надмірний тиск пружин, несправні штовхачі	Зменшення підйому клапана, втрата потужності, нестійка робота двигуна
Пітинг і викришування	Дрібні раковини, кратери, відшарування металу	Втома поверхневого шару, корозія, циклічні контактні напруження	Швидке руйнування шару, потрапляння металевих частинок в оливу
Задири та схоплювання	Глибокі борозни, перегріті темні ділянки, налипання металу	Руйнування масляної плівки, перегрів, забруднення оливи	Заклинювання, руйнування підшипникової постелі, аварійний ремонт двигуна
Биття або викривлення	Відхилення осі обертання, нерівномірний контакт	Неправильне зняття кришок, удар, перегрів, залишкові напруження	Порушення фаз газорозподілу, шум, вібрація, місцевий знос
Тріщини	Видимі або приховані розриви металу, відколи біля торців	Втома, ударні навантаження, порушення складання	Ризик поломки вала, пошкодження ГБЦ та клапанного механізму



Рис. 1.3. Орієнтовна структура дефектів розподільних валів, що враховується під час вибору способу відновлення

Діаграма на рисунку 1.3 має узагальнений характер і використовується для технічного обґрунтування напряму роботи. Вона показує, що знос опорних шийок і кулачків становить основну частку пошкоджень, тобто саме ці поверхні доцільно розглядати як першочергові об’єкти ремонту. Для опорних шийок важливо не лише відновити номінальний діаметр, а й забезпечити достатню зносостійкість, адгезію покриття, мінімальну шорсткість та стабільність геометрії після механічної обробки.

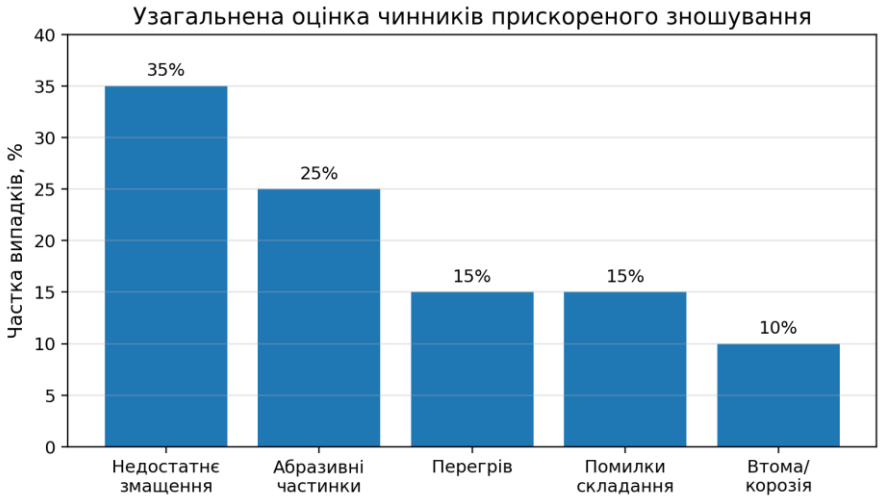


Рис. 1.4. Узагальнена оцінка основних причин прискореного зношування розподільних валів

Найбільш небезпечним є поєднання нестачі змащення і наявності абразивних частинок. У цьому випадку на поверхнях шийок виникають поздовжні риски, які швидко збільшують шорсткість і прискорюють втрату матеріалу. Перегрів і висока частота обертання без достатнього масляного клина сприяють утворенню задирів. Помилки складання проявляються через порушення співвісності опор, неправильну послідовність затягування кришок, переплутування постелей або встановлення вала без перевірки зазорів.

1.4 Фотоілюстрації характерних пошкоджень розподільних валів

Для наочності в розділі наведено фотоілюстрації дефектів розподільних валів сучасних двигунів. Зображення демонструють типові ознаки пошкоджень: корозійно-втомні раковини, знос кулачків, глибокі риски на опорних шийках і пошкодження від втрати оливи. Такі дефекти не можна оцінювати лише за

зовнішнім виглядом: після візуального огляду обов’язково виконують вимірювання діаметрів, овальності, конусності, биття, а також контроль тріщин.



а) Пошкодження розподільних валів у головці блока за наявності вологи та забруднень в оливі [1]



б) Глибокі риски та знос опорної шийки вала після втрати масляної плівки [1]



в) Значне спрацювання кулачка розподільного вала [1]



г) Пітинг і викришування робочої поверхні кулачка [1]

Рис. 1.5. Фотоілюстрації характерних дефектів розподільних валів сучасних автомобільних двигунів.

На фото видно, що дефекти опорних і робочих поверхонь мають різну природу. Риски на шийці вказують на абразивне спрацювання або схоплювання, а пітинг на кулачку свідчить про втому поверхневого шару. У разі зменшення висоти кулачка двигун втрачає фактичний підйом клапана, що знижує наповнення циліндра й може спричинити пропуски запалювання, збільшення витрати пального та нерівномірну роботу на холостому ходу.

1.5 Дефектування та контроль технічного стану розподільного вала

Дефектування розподільного вала повинно виконуватися за послідовною схемою. Спочатку деталь очищують від оливи, нагару та продуктів

зношування. Після цього проводять візуальний огляд у достатньому освітленні, звертаючи увагу на опорні шийки, вершини кулачків, торці, різьбові отвори, шпонкові пази та поверхні під зубчасте або ланцюгове колесо. Візуальний контроль дає змогу виявити грубі пошкодження, але не є достатнім для прийняття рішення про придатність деталі до ремонту.

Основними вимірювальними операціями є визначення діаметрів опорних шийок мікрометром, перевірка овальності і конусності у двох взаємно перпендикулярних площинах, вимірювання висоти кулачків, контроль радіального биття на призмах або в центрах, а також перевірка торцевого биття. Якщо вал має приховані тріщини або працював у режимі перегріву, застосовують капілярний, магнітопорошковий або інший неруйнівний контроль. Після нанесення відновлювального покриття обов’язково перевіряють товщину шару, адгезію, твердість, шорсткість і відсутність відшарувань.

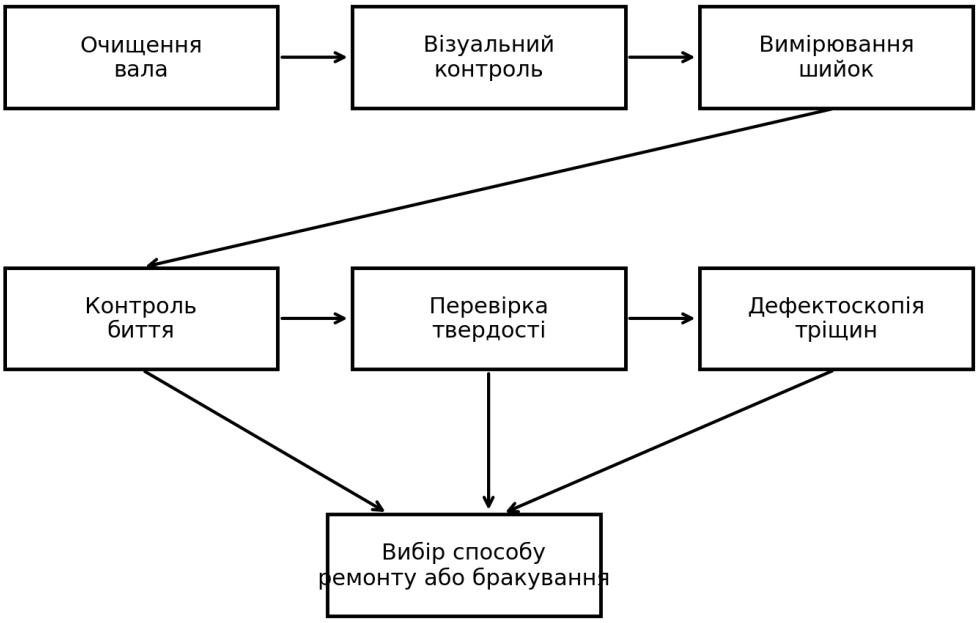


Рис. 1.6. Рекомендована послідовність дефектування розподільного вала перед вибором способу ремонту.

Таблиця 1.3 – Основні операції контролю розподільного вала

Операція контролю	Засоби контролю	Що визначається	Рішення за результатом
Візуальний огляд	Лупа, освітлювач, очищувальні матеріали	Риски, задири, пітинг, корозія, відколи	Попереднє сортування: придатний, ремонтний, брак
Вимірювання шийок	Мікрометр, індикаторна скоба	Діаметр, овальність, конусність	Вибір товщини покриття або ремонтного розміру
Контроль кулачків	Мікрометр, шаблон, індикатор	Висота кулачка, симетрія профілю, локальний знос	Шліфування, наплавлення або заміна
Контроль биття	Призми, центри, індикатор годинникового типу	Викривлення вала, неспіввісність опор	Правка, шліфування або бракування
Контроль тріщин	Капілярні або магнітопорошкові матеріали	Поверхневі й підповерхневі тріщини	Бракування або спеціальний ремонт за допустимості
Контроль після відновлення	Мікрометр, профілометр, твердомір	Розмір, шорсткість, твердість, якість покриття	Передача на механічну обробку або повторне нанесення шару

Важливо, щоб результати дефектування фіксувалися у карті контролю. Це дозволяє порівнювати фактичний стан вала з технічними вимогами, визначати економічну доцільність відновлення та обирати оптимальний маршрут ремонту. Для валів із незначним зносом достатнім може бути полірування або шліфування, але за значної втрати діаметра опорних шийок потрібне нарощування матеріалу. У такому випадку перевагу слід надавати способам, які забезпечують мінімальний термічний вплив і високу точність розмірів.

1.6 Способи усунення дефектів розподільних валів

Спосіб відновлення розподільного вала обирають з урахуванням типу дефекту, глибини спрацювання, матеріалу деталі, допустимого термічного впливу, необхідної твердості та економічної доцільності. Найпростішим способом є шліфування до ремонтного розміру. Воно забезпечує високу точність форми і шорсткості, але не відновлює номінальний діаметр, якщо знос перевищує припустимі межі. Для кулачків шліфування профілю потребує

спеціального обладнання, оскільки помилка геометрії змінює фази газорозподілу.

Для нарощування металу застосовують наплавлення, напилення, металізацію, гальванічні покриття та комбіновані технології. Наплавлення забезпечує значну товщину шару, але супроводжується нагріванням, ризиком деформації, зміною структури металу і необхідністю значної подальшої механічної обробки. Електродугове або газотермічне напилення дає змогу наносити покриття з невеликим тепловим впливом, однак якість зчеплення суттєво залежить від підготовки поверхні та режиму нанесення. Для точних шийок невеликого діаметра особливо важливими є рівномірність шару й стабільність розміру.

Гальванічні способи відновлення, зокрема хромування, мають переваги для опорних шийок розподільних валів. Вони дають змогу наносити тонкий, твердий і зносостійкий шар при відносно низькій температурі процесу. Це зменшує ризик викривлення вала та дозволяє виконувати локальне відновлення тільки пошкоджених поверхонь. Саме тому для подальшого проектування доцільно розглядати установку для нанесення гальванічних покриттів на опорні шийки, а після нарощування виконувати точне шліфування або полірування до потрібного розміру і шорсткості.

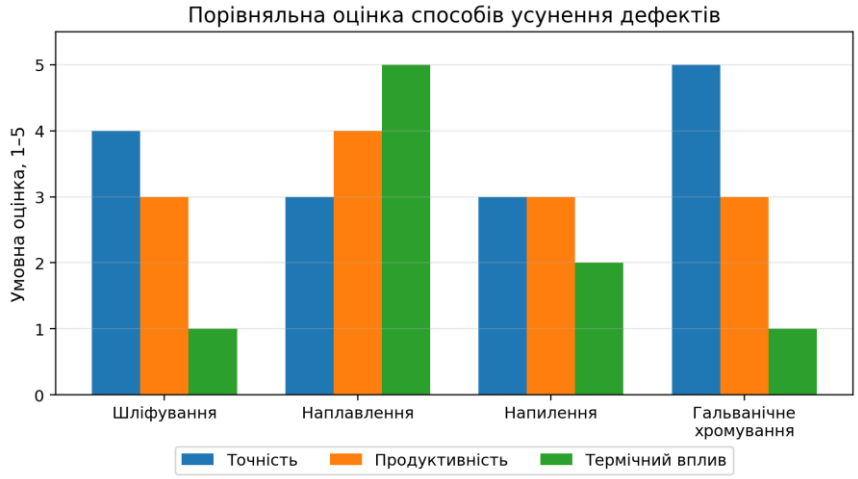


Рис. 1.7. Порівняльна умовна оцінка способів усунення дефектів розподільних валів.

Таблиця 1.4 – Порівняння способів відновлення опорних шийок і кулачків розподільних валів

Спосіб	Сфера застосування	Переваги	Обмеження
Шліфування та полірування	Невеликий знос, риски малої глибини, фінішна обробка після нарощування	Висока точність, добра шорсткість, проста організація процесу	Не відновлює номінальний розмір при значному зносі
Вібродугове або дугове наплавлення	Велика втрата металу, невідповідальні або масивні поверхні	Висока продуктивність, можливість значного нарощування	Термічні деформації, зниження втомної міцності, потреба у припуску
Газотермічне/плазмове напилення	Локальні поверхні, підвищення зносостійкості, ремонт складних деталей	Невеликий нагрів деталі, широкий вибір матеріалів покриття	Вимоги до шорсткої підготовки поверхні, можливість пористості
Гальванічне хромування	Опорні шийки, посадочні поверхні, місцевий знос до середньої глибини	Висока твердість, малий нагрів, точне локальне нарощування	Потрібна підготовка поверхні, контроль електроліту та режиму струму
Заміна вала	Тріщини, значне викривлення, руйнування кулачків або постелей	Найвища надійність за критичних дефектів	Висока вартість, залежність від доступності деталі



Рис. 1.8. Приклад розподільних валів після відновлення або виготовлення на заміну зношеним деталям [4].

Висновки по розділу

У результаті аналізу встановлено, що газорозподільний механізм працює в умовах високих контактних навантажень, циклічного тертя та значної залежності від якості змащення. Розподільний вал забезпечує фази газообміну, тому навіть незначне зношування його кулачків або опорних шийок погіршує роботу двигуна. Особливо небезпечним є збільшення зазору в опорах, оскільки воно знижує тиск оливи, порушує співвісність обертання і прискорює руйнування суміжних поверхонь.

Основними дефектами розподільних валів є знос опорних шийок, зменшення висоти кулачків, пітинг, задири, корозійні раковини, биття, викривлення та тріщини. Найчастіше вони виникають через нестачу оливи, забруднення мастильної системи, порушення правил складання, перегрів або втомне руйнування поверхневого шару. Для якісного ремонту необхідно поєднувати візуальний огляд із точними вимірюваннями геометрії та неруйнівним контролем.

Порівняння способів усунення дефектів показало, що шліфування ефективне лише за малих припусків, а наплавлення та напилення мають обмеження через термічний вплив, пористість або складність забезпечення рівномірного шару. Для відновлення опорних шийок розподільних валів доцільним є застосування гальванічного хромування, яке забезпечує твердий зносостійкий шар при мінімальному нагріванні деталі. Це створює технічні передумови для подальшої розробки установки для нанесення гальванопокриттів і вдосконалення технологічного процесу відновлення розподільних валів.

РОЗДІЛ 2
УСТАНОВКА ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ОПОРНИХ ШИЙОК РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ МЕТОДОМ НАНЕСЕННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ ПОКРИТТІВ

2.1 Аналіз наявних конструкцій обладнання для відновлення опорних шийок розподільного вала

Опорні шийки розподільного вала працюють у складних умовах: вони сприймають змінні навантаження, перебувають у контакті з підшипниковими поверхнями та зазнають інтенсивного тертя за наявності мастильного середовища. У процесі експлуатації на цих поверхнях виникають зношування, риски, овальність, конусність, місцеві задири й корозійні пошкодження. Відновлення таких елементів має забезпечувати не лише повернення номінального розміру, а й отримання поверхневого шару з достатньою твердістю, рівномірністю, корозійною стійкістю та доброю припрацьовуваністю.

Для відновлення валів у ремонтному виробництві використовують різні групи обладнання: металорізальні верстати для остаточної механічної обробки, установки наплавлення, обладнання для газозахисного та плазмового нанесення покриттів, металізатори, а також гальванічні установки. Кожен із зазначених способів має власну область раціонального застосування, тому перед вибором конструкції установки для опорних шийок розподільних валів необхідно оцінити технологічні можливості найбільш поширених рішень.

Круглошліфувальний верстат моделі 3151. Круглошліфувальний верстат 3151 належить до обладнання, яке застосовують для обробки зовнішніх циліндричних, конічних і торцевих поверхонь деталей, установлених у центрах. Для відновлених розподільних валів такий верстат є важливим на заключних операціях, оскільки саме шліфування дає змогу довести опорні шийки до потрібної точності, геометричної форми та заданої шорсткості поверхні.

Основні технічні параметри верстата наведено в таблиці 2.1. Вони показують, що обладнання має достатній робочий простір для обробки валів автомобільних двигунів, забезпечує регулювання швидкості поздовжнього руху столу та дозволяє виконувати як чорнове, так і чистове шліфування.

Таблиця 2.1 — Технічні характеристики круглошліфувального верстата 3151

Показник	Значення
Найбільший діаметр оброблюваного виробу, мм	200
Найбільша відстань між центрами, мм	750
Максимальне переміщення столу, мм	780
Граничний кут повороту столу, град	±6
Найбільше поперечне переміщення шліфувальної бабки, мм	200
Частота обертання шліфувального круга, хв$^{-1}$	1050
Кількість швидкостей обертання патрона бабки виробу	3
Діапазон частоти обертання патрона, хв$^{-1}$	75…300
Швидкість поздовжнього переміщення столу, м/хв	0,1…10
Радіальна подача шліфувальної бабки на хід столу, мм	0,01…0,03
Потужність головного електродвигуна, кВт	7

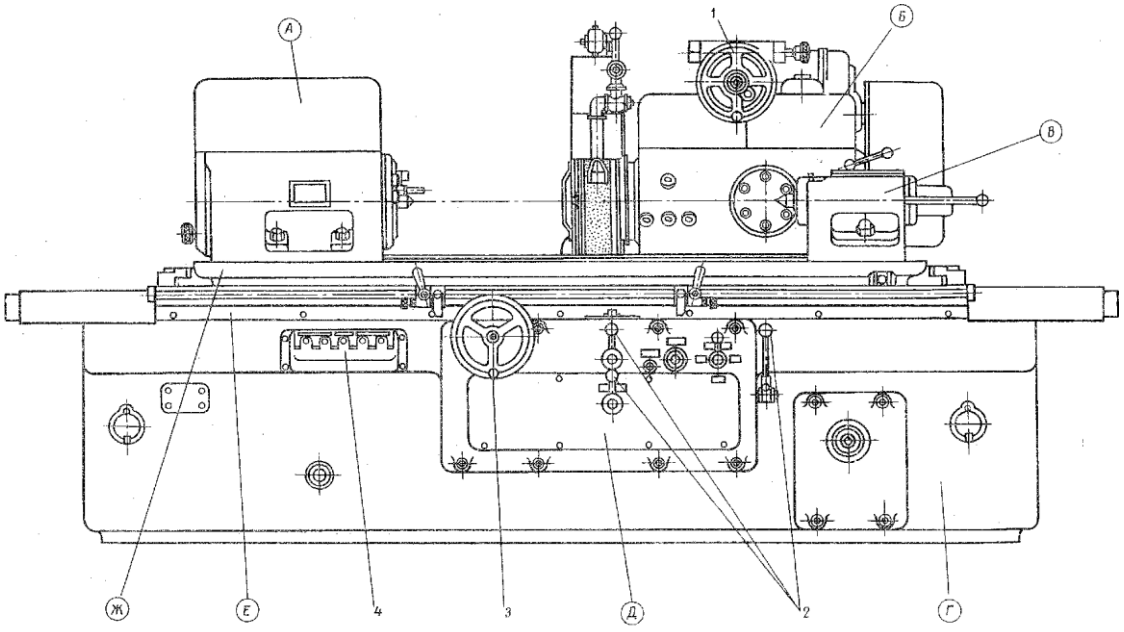


Рис. 2.1. Загальний вигляд круглошліфувального верстата 3151.

Робочий процес верстата формується кількома узгодженими рухами. Головним рухом є обертання абразивного круга, закріпленого на шпинделі шліфувальної бабки. Оброблювана деталь отримує кругову подачу від поводкового патрона передньої бабки. Стіл із деталлю здійснює зворотно-

поступальний поздовжній рух, а шліфувальна бабка періодично переміщується в радіальному напрямку, створюючи поперечну подачу. До допоміжних рухів належать ручні переміщення столу й бабки, а також прискорене відведення інструмента від деталі.

Під час обробки розподільний вал установлюють у центрах передньої та задньої бабок. Обертання валу передається через поводковий патрон, а шліфувальний круг знімає припуск із поверхні шийки. Якщо шліфують циліндричну поверхню, вісь центрів розміщують паралельно напрямним столу. Для конічних поверхонь поворотну плиту встановлюють під кутом, що відповідає половині кута конусності деталі.

На верстаті 3151 можуть застосовуватися три основні схеми шліфування. Перша схема передбачає поздовжню подачу: за один оберт деталі стіл зміщується на частину ширини круга, а після проходу бабка отримує мікроподачу на глибину різання. Такий варіант доцільний для точного шліфування поверхонь із прямолінійною твірною. Друга схема ґрунтується на врізному шліфуванні, коли круг не переміщується вздовж осі деталі, а його ширина перекриває всю зону обробки. Цей варіант продуктивний і придатний для коротких циліндричних, конічних або фасонних ділянок. Третя схема — глибинне шліфування, при якому круг із забірною частиною одразу встановлюють на повний припуск. Його застосовують переважно для жорстких валів, коли не висуваються підвищені вимоги до точності.

Конструктивна особливість верстата полягає у розділенні приводів подачі. Один привод забезпечує обертання деталі, другий відповідає за поздовжній рух столу та поперечне переміщення шліфувальної бабки. Рух круга створюється електродвигуном потужністю 7 кВт через клинопасову передачу. Кругова подача деталі здійснюється окремим приводом потужністю 0,8 кВт; зміна передавального відношення забезпечується ступінчастими шківами. Для поздовжньої подачі використовується гідропривід, що дає змогу плавно змінювати швидкість столу, забезпечувати реверс у крайніх положеннях та швидко зупиняти рух у разі потреби.

Гідросистема верстата працює за принципом почергового подавання оливи у порожнини робочого циліндра. Під час реверсу перемикання золотника змінює напрям руху потоку, внаслідок чого стіл переміщується у протилежний бік. Поперечна періодична подача шліфувальної бабки пов’язана з реверсуванням столу: у цей момент через дроселі та крани олива діє на поршень, з’єднаний із храповим механізмом. Через зубчасті передачі та гвинтову пару цей механізм передає невеликий радіальний рух шліфувальній бабці.

Отже, круглошліфувальний верстат є необхідним обладнанням для фінішної обробки, але сам по собі не усуває значного зношування. Якщо діаметр шийки зменшений понад допустимі межі, перед шліфуванням потрібно сформувати ремонтний шар. Для цього можуть застосовуватися наплавлення, напилення або гальванічне нарощування металу.

Вібродугове наплавлення. Вібродугове наплавлення використовують переважно для деталей типу валів із діаметром понад 20 мм, а також для відновлення внутрішніх поверхонь отворів порівняно великого діаметра. Суть процесу полягає у подачі електродного дроту до поверхні деталі з одночасним наданням дроту коливальних рухів. Унаслідок цього зварювальний ланцюг періодично замикається й розмикається, що забезпечує перенесення розплавленого металу невеликими порціями.

Коливання електрода зазвичай мають частоту близько 50…110 Гц і амплітуду до 4 мм. До електродного дроту та деталі підводять струм 80…300 А за напруги 12…20 В. У зону наплавлення може подаватися охолоджувальна рідина, захисний газ або флюс. Як охолоджувальну рідину застосовують водні розчини кальцинованої соди або гліцерину. Цикл наплавлення включає коротке замикання електрода з деталлю, запалювання дуги після відриву дроту та проміжок холостого ходу до наступного контакту.

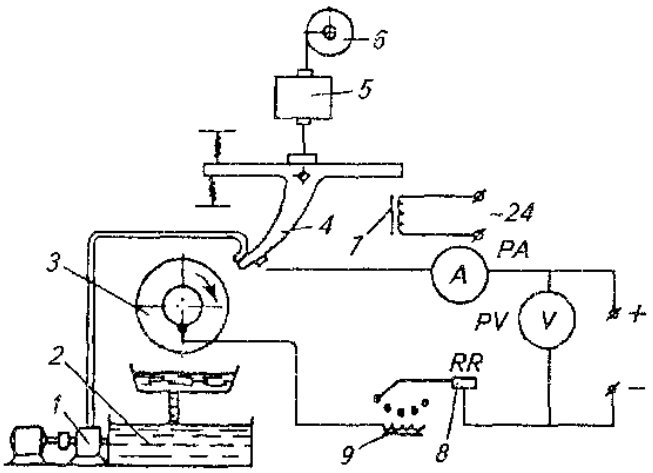


Рис. 2.2. Схема установки для вібродугового наплавлення: 1 – насос; 2 – бак; 3 – деталь; 4 – мундштук; 5 – механізм подачі; 6 – касета; 7 – вібратор; 8 – реостат; 9 – дросель.

Типова установка для вібродугового наплавлення базується на токарному верстаті. Деталь закріплюють у патроні або центрах, а на супорті монтують наплавлювальну головку. До її складу входять механізм подачі дроту з касетою, мундштук та електромеханічний вібратор. Джерело живлення напругою близько 24 В через реостат і дросель забезпечує необхідний режим дуги. Дросель згладжує імпульси струму та підвищує стабільність горіння дуги.

Якість шару залежить від полярності струму, кроку наплавлення, кута підведення дроту, підготовки поверхні й товщини нанесеного металу. Добрі результати отримують за зворотної полярності, коли «плюс» підключений до електрода, а «мінус» — до деталі. Рекомендований крок наплавлення становить 1,5…3,5 мм/об, а кут підведення дроту — приблизно 15…30°. Як присадочний матеріал використовують вуглецеві та леговані дроти типу Св-08, Нп-65Г, Нп-30ХГСА, У7, Нп-30, Нп-50 та інші діаметром 1…3 мм.

Перевагами вібродугового наплавлення є висока продуктивність, можливість формування шару різної товщини, підвищена твердість і зносостійкість наплавленого металу, а також порівняно невелика зона термічного впливу. Водночас метод має суттєві обмеження для опорних шийок розподільних валів. Через локальне нагрівання можуть утворюватися загартовані структури, залишкові розтягувальні напруження, пористість і

неоднорідність твердості. Для високоточних деталей це небажано, оскільки зростає ризик зниження втомної міцності та появи деформацій.

Наплавлення у середовищі захисного газу. Іншим поширеним способом відновлення деталей є напівавтоматичне або автоматичне наплавлення у середовищі захисного газу. Найчастіше в ремонтній практиці застосовують вуглекислий газ, оскільки він дешевший за інертні гази й забезпечує прийнятний захист зварювальної ванни. Цей метод використовують у випадках, коли наплавлення під флюсом є складним, незручним або економічно невиправданим.

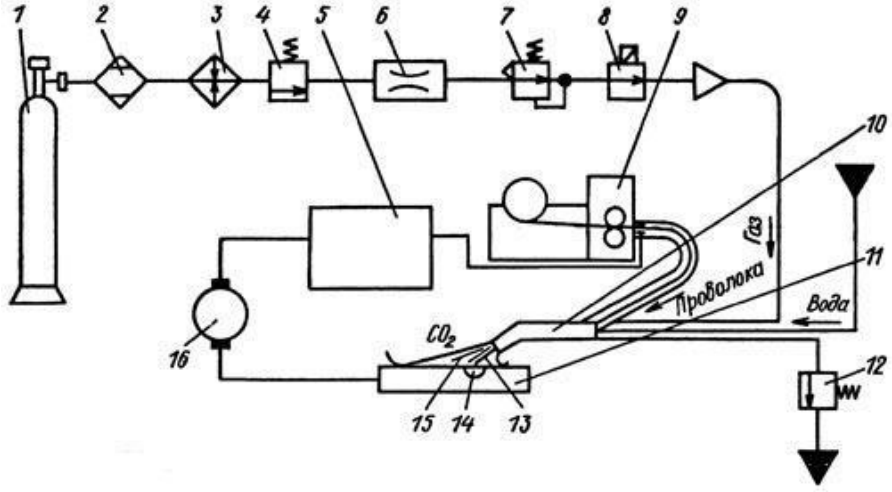


Рис. 2.3. Схема установки для напівавтоматичного наплавлення в середовищі CO_2

Під час роботи газ із балона проходить через осушувач, підігрівач, редуктор, витратомір та електромагнітний клапан, після чого надходить до пальника. Потік CO_2 омиває електродний дріт і витісняє повітря із зони дуги, зменшуючи вплив кисню та азоту на розплавлений метал. Механізм подачі забезпечує рівномірне переміщення дроту, а джерело зварювального струму підтримує необхідні електричні параметри процесу.

Перевагами цього способу є добра видимість місця наплавлення, відсутність шлакової кірки, простота автоматизації та можливість виконувати шви складної конфігурації. Використання тонкого дроту діаметром 0,5…1,2 мм дає змогу працювати на відносно малих струмах, тому метод широко

застосовується під час ремонту тонкостінних елементів, кузовних деталей, кабін та інших конструкцій.

Для опорних шийок розподільного вала цей спосіб має обмежене застосування. Висока температура дуги може спричинити локальне перегрівання та зміну структури основного металу. Крім того, у вуглекислому газі за високих температур відбувається частковий розклад CO_2 з утворенням атомарного кисню, що сприяє вигоранню легуючих елементів і може погіршувати якість наплавленого шару. Для зменшення цих негативних явищ використовують дроти з підвищеним вмістом розкислювачів — марганцю, кремнію, хрому, титану та інших елементів.

У деяких випадках як захисне середовище замість CO_2 застосовують пару. Вона дешевша, але не забезпечує стабільної якості відповідальних покриттів, оскільки підвищується імовірність пор і тріщин. Тому парове захисне середовище доцільніше використовувати для менш відповідальних деталей, які не потребують високої точності й довговічності поверхневого шару.

Плазмове наплавлення металевим порошком. Плазмове нанесення покриттів належить до універсальних і технологічно гнучких способів відновлення поверхонь. Матеріал покриття подається у плазмовий потік у вигляді порошку або дроту. У високотемпературному струмені частинки нагріваються, розплавляються або переходять у пластичний стан, після чого переносяться на поверхню деталі та формують шар із заданими властивостями.

Перевага плазмового джерела теплоти полягає у можливості створення дуже високої температури й керованого теплового впливу. Завдяки цьому можна наносити тугоплавкі матеріали, формувати багатошарові покриття, поєднувати сплави з різними властивостями та отримувати захисні шари з високою жаростійкістю, корозійною стійкістю або зносостійкістю. Спосіб не має жорстких обмежень щодо форми деталі, хоча для якісного результату необхідні точне дозування порошку й стабільні параметри газового потоку.

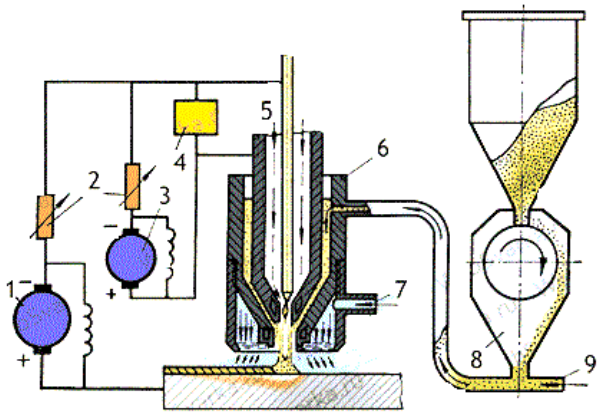


Рис. 2.4. Схема установки для плазмового наплавлення металевим порошком

Для наплавлення порошком часто застосовують плазмотрон комбінованої дії. У ньому незалежна дуга між вольфрамовим електродом і соплом розплавляє присадочний матеріал, а дуга між електродом та виробом підігріває поверхню деталі. Така схема зменшує глибину проплавлення основного металу й обмежує його перемішування з присадочним шаром. Це важливо для отримання покриттів, властивості яких визначаються насамперед матеріалом порошку.

Захист зони наплавлення забезпечується інертним газом, який подається через зовнішнє сопло плазмотрона. Порошок надходить із живильника за допомогою транспортуючого газу. Залежно від призначення покриття можуть використовуватися сплави на основі нікелю, кобальту, заліза, а також тугоплавкі метали, оксиди, карбіди, бориди та інші матеріали. При плазмовому напиленні частинки рухаються з великою швидкістю, деформуються під час удару об поверхню та заповнюють її мікронерівності.

Висока якість плазмового покриття можлива лише за умови ретельної підготовки поверхні. Перед нанесенням виконують знежирення, струминну або піскоструминну обробку, сушіння та контроль чистоти. Важливими параметрами є відстань від сопла до деталі, витрата газу, струм дуги, напруга, швидкість переміщення плазмотрона та фракційний склад порошку. Проте складність обладнання, підвищена енергоємність і висока вартість порошкових

матеріалів роблять цей спосіб менш доцільним для локального відновлення невеликих опорних шийок розподільних валів у звичайних ремонтних умовах.

Електродугове напилення. Електродугове напилення, або електродугова металізація, полягає у розплавленні двох електродних дротів електричною дугою та розпиленні розплавленого металу потоком стисненого повітря. Частинки металу з великою швидкістю спрямовуються на підготовлену поверхню й утворюють покриття. На відміну від наплавлення, основний метал деталі при цьому практично не розплавляється, а температура поверхні зазвичай не перевищує 150 °С.

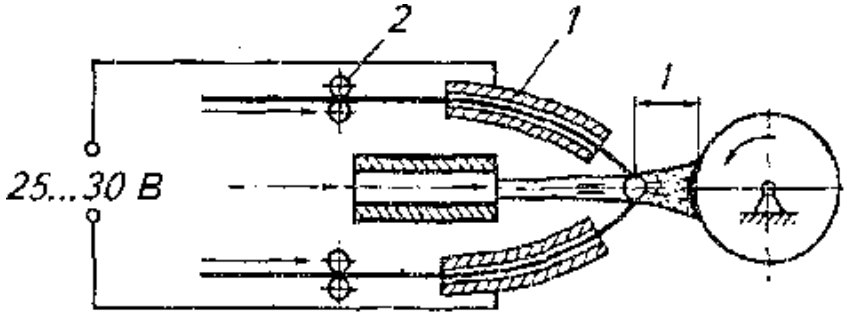


Рис. 2.5. Схема електродугової металізації: 1 – дріт; 2 – ролики.

Основними елементами металізатора є джерело струму, ролики для подачі дроту, напрямні наконечники та повітряне сопло. За достатнього зближення дротів між ними виникає дуга, яка розплавляє метал. Стиснене повітря під тиском приблизно 0,45…0,6 МПа розпилює розплав на дрібні частинки, що рухаються зі швидкістю 120…300 м/с. Невелика відстань від осередку плавлення до деталі сприяє тому, що частинки зберігають пластичність і добре заповнюють мікронерівності поверхні.

Електродугове напилення дає змогу отримувати покриття значної товщини. Практично доцільними є шари 1…1,5 мм для тугоплавких металів і 2,5…3 мм для легкоплавких. Покриття має певну пористість, що в окремих випадках є перевагою, оскільки пори можуть утримувати мастило. При нагріванні зони тертя мастильний матеріал виходить із пор і додатково змащує контактні поверхні, тому такі покриття мають антифрикційний ефект.

Надійність електродугового покриття значною мірою залежить від попередньої підготовки. Щоб зруйнувати оксидну плівку й підвищити адгезію, застосовують корундоструминну або дробоструминну обробку, а також нарізання шорсткої «рваної» різьби. Для нерухомих з’єднань використовують дріт зі сталей 08, 10, 15, 20, а для деталей, що працюють на тертя, — високовуглецеві й леговані дроти типу У7, У8, У10, 40Х15 та інші. Обробка напилених шарів виконується точінням твердосплавним інструментом або шліфуванням.

Під час контролю не допускаються тріщини, вм’ятини, відшарування, сліди припікань та інші дефекти. Незважаючи на технологічні переваги, електродугове напилення не завжди забезпечує достатню щільність і рівномірність тонкого шару на малих опорних шийках. Для розподільних валів важливо отримати покриття з мінімальним припуском на наступну обробку, без перегрівання та без суттєвого впливу на структуру основного металу. Саме тому доцільно розглянути гальванічне нарощування, зокрема контактне хромування.

2.2 Установка для нанесення гальванічних покриттів

Аналіз можливих способів відновлення показує, що для опорних шийок розподільних валів найбільш придатним є метод контактного хромування. Він дозволяє локально нарощувати зношені ділянки, отримувати зносостійкий поверхневий шар, зменшувати тепловий вплив на деталь і скорочувати обсяг наступної механічної обробки. Запропонована установка орієнтована на відновлення окремих шийок без занурення всього вала у стаціонарну гальванічну ванну.

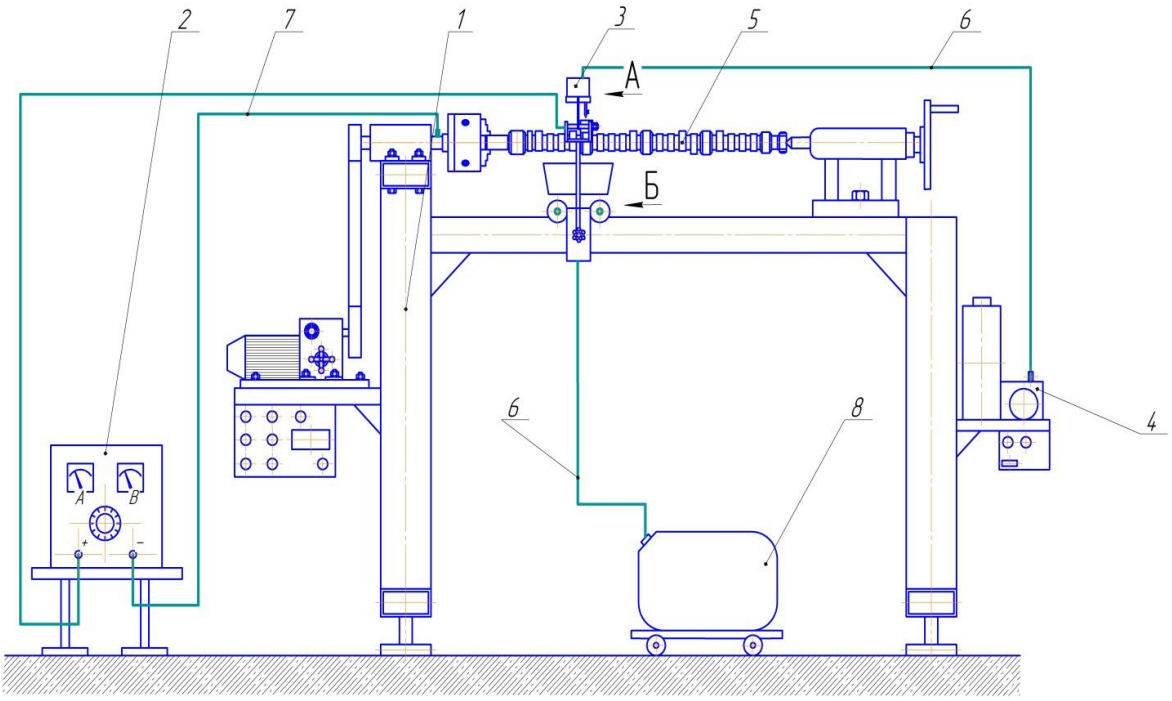


Рис. 2.6. Установка для відновлення опорних шийок розподільних валів: 1 – обертач; 2 – випрямляч ВСА-5; 3 – пристосування для контактного хромування; 4 – пристрій контролю рівня електроліту; 5 – розподільний вал; 6 – з’єднувальні шланги; 7 – електричні проводи; 8 – ємність для збирання електроліту.

До складу установки входять обертач, випрямляч ВСА-5, пристосування для контактного хромування, система подавання й контролю рівня електроліту, з’єднувальні шланги, електричні проводи та ємність для збирання відпрацьованого розчину. Обертач виконує дві функції: фіксує розподільний вал у робочому положенні та забезпечує його обертання із заданою окружною швидкістю. Крім того, на його станині передбачене переміщення пристосування для хромування вздовж осі вала, що дозволяє послідовно обробляти всі опорні шийки.

Установка працює у ручному режимі. Оператор задає обертання деталі, стежить за положенням анодної головки, контролює рівень електроліту й перемикає технологічні операції. Конструктивно обертач складається зі станини, опорних плит, електродвигуна, редуктора, механізму обертання вала, вузла горизонтального переміщення пристосування та пристрою контролю електроліту. Таке компонування робить установку придатною для ремонтної

дільниці, де потрібна універсальність і швидке переналагодження під різні типорозміри валів.

Ключовою відмінністю запропонованої схеми є використання обертової анодної головки замість нерухомого або ковзного тампона. У традиційних контактних способах тампон ковзає по поверхні деталі, що призводить до швидкого зношування матеріалу, місцевого перегрівання електроліту, підвищеного газовиділення та нерівномірності осадження. У запропонованій конструкції анодна головка обертається від контакту з валом, тому ковзання замінюється коченням.

Перехід від ковзного контакту до кочення зменшує механічне руйнування анодного тампона та стабілізує умови електроосадження. Електроліт менше перегрівається у зоні контакту, газові бульбашки легше відводяться з поверхні, а шар хрому формується більш рівномірно. Крім того, зменшується шорсткість нарощеного шару, що знижує припуск на шліфування та підвищує продуктивність усієї технології відновлення.

Технологічний цикл роботи установки складається з кількох послідовних етапів. Спочатку розподільний вал установлюють у центрах обертача та надійно фіксують. Пристосування з анодною головкою переміщують до першої шийки й закріплюють фіксувальним гвинтом. У ємність системи подають робочий електроліт, який через шланги заповнює простір анодної головки до потрібного рівня. Після цього поверхню шийки знежирюють, промивають і готують до електрохімічної обробки.

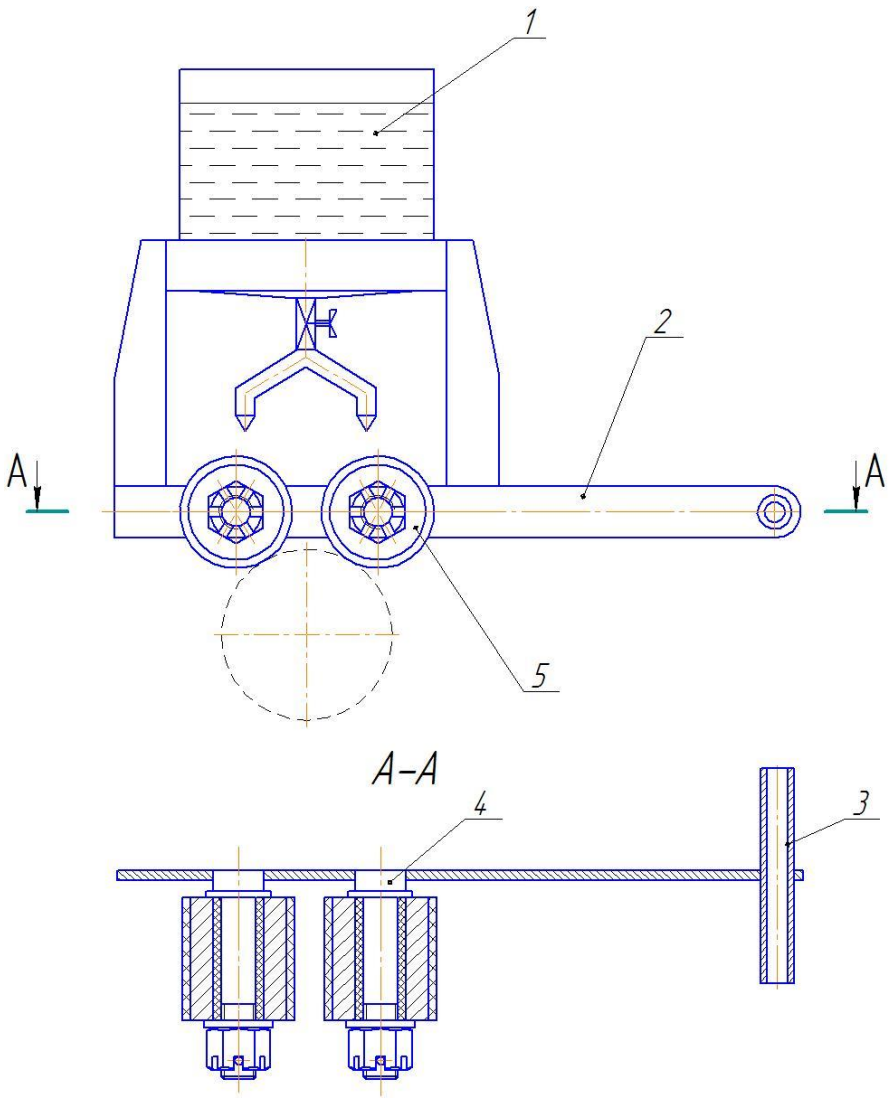


Рис. 2.7. Пристосування для контактного хромування: 1 – ємність для електроліту; 2 – тримач; 3 – напрямна; 4 – вісь ролика; 5 – обертові анодні головки

Перед основним нарощуванням виконується травлення струмом зворотної полярності. Для цієї операції може застосовуватися розчин такого складу: сірчана кислота — 150 г/л, сірчанокислий натрій — 50 г/л. Травлення видаляє тонкі оксидні плівки, активує метал поверхні та покращує зчеплення майбутнього хромового шару з основою. Після підготовки запускають процес контактного хромування відповідно до розрахованої тривалості обробки.

У роботі установки передбачено застосування періодичного струму зі зміною полярності. Його сутність полягає в тому, що протягом катодного періоду хром осаджується на поверхні шийки, а протягом короткого анодного періоду частина щойно осадженого металу розчиняється. Після цього напрям

струму знову змінюється, і цикл повторюється. Такий режим часто називають реверсивним. Він характеризується величиною катодного та анодного струмів, тривалістю прямого й зворотного періодів, а також повним часом одного циклу.

Реверсування струму поліпшує умови електроосадження. Завдяки частковому розчиненню виступів шару зменшується поляризація, вирівнюється концентрація іонів біля катода, знижується імовірність утворення грубозернистої структури. Це дозволяє підвищити допустиму густину струму, прискорити процес і сформувати щільніше, рівномірніше покриття. Для опорних шийок це особливо важливо, оскільки після хромування поверхня повинна мати стабільну товщину по всьому периметру та довжині.

Під час відновлення оператор контролює рівень електроліту та за потреби поповнює його. Відпрацьований розчин збирається у спеціальній ванні або ємності, після чого зливається вручну відповідно до вимог безпеки та екологічного поводження з хромовмісними розчинами. Після обробки однієї шийки пристосування переміщують до наступної ділянки, і цикл повторюють. Коли всі опорні шийки відновлені, вал знімають з обертача та передають на механічну обробку.

Для контактного хромування пропонується електроліт на основі сполук хрому з такими робочими параметрами:

– оцтовокислий хром – 260…280 г/л;

– мурашина кислота амонію – 375…400 г/л;

– виннокислий калій-натрій — 13…17 г/л;

– pH електроліту – 5,5…5,7;

– катодна густина струму – 270…300 А/дм²;

– температура електроліту на вході – близько 15 °С;

– витрата електроліту – 0,28 л/хв;

– окружна швидкість обертання деталі – 3…4 м/хв.

За вказаних умов вихід хрому за струмом може досягати приблизно 25 %, а мікротвердість хромового шару становить 9300…10000 МПа. Покриття рівномірно формується за товщини близько 0,1 мм, а за правильно підібраних

режимів можливо отримати якісний шар до 0,5 мм. Після нарощування опорні шийки шліфують до ремонтного або номінального розміру. Завершальна механічна обробка повинна забезпечити таку шорсткість, за якої поверхня добре утримує мастило й працює без прискореного зношування.

Таким чином, конструкція установки дає змогу поєднати локальність обробки, порівняно невеликі витрати електроліту та контрольоване осадження хрому. Застосування обертової анодної головки підвищує стабільність процесу й зменшує дефекти, які можуть виникати під час традиційного тампонного хромування.

2.3 Перевірний розрахунок міцності опори пристосування

Працездатність пристосування для контактного хромування залежить від достатньої жорсткості та міцності його опорних елементів. Під час роботи на державку діє вага вузла, а також додаткові зусилля від контакту анодної головки з деталлю. Для спрощеної перевірки приймаємо розрахункову схему у вигляді балки з опорами, навантаженої силою F = 40 Н. Розміри плечей приймаємо згідно з конструктивною схемою: l_1 = 195 мм, l_2 = 40 мм.

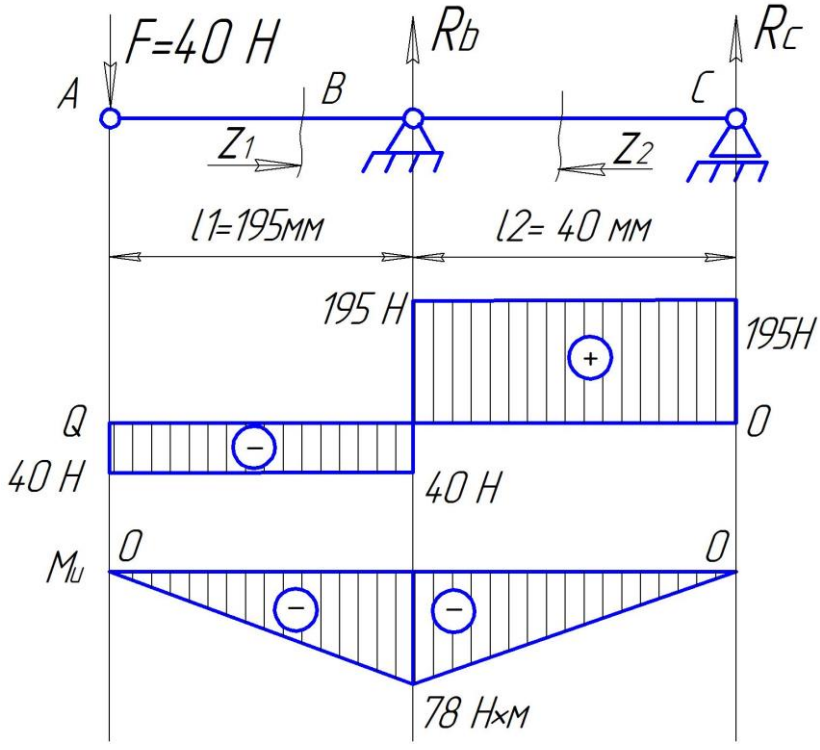


Рис. 2.8 Розрахункова схема опори.

За додатний напрям моментів приймаємо обертання проти годинникової стрілки. Спочатку визначаємо реакції опор. Для опори C рівняння моментів відносно точки B матиме вигляд:

$$\Sigma m_B = 0; \quad F \cdot l_1 + RC \cdot l_2 = 0. \tag{2.1}$$

Звідси вертикальна реакція опори C дорівнює:

$$R_C = -F \cdot l_1 / l_2 = -40 \cdot 195 / 40 = -195 \text{ Н}.$$

Для визначення реакції опори B складаємо рівняння моментів відносно точки C:

$$\Sigma m_C = 0; \quad -R_B \cdot l_2 + F \cdot (l_1 + l_2) = 0.$$

$$R_B = F \cdot (l_1 + l_2) / l_2 = 40 \cdot (195 + 40) / 40 = 235 \text{ Н}. \tag{2.1}$$

Правильність визначення реакцій перевіряємо рівнянням рівноваги сил за вертикаллю:

$$\Sigma FY = 0; \quad -F + R_B + R_C = 0; \tag{2.2}$$

$$-40 + 235 - 195 = 0.$$

Отримана тотожність підтверджує коректність розрахунку реакцій. Далі визначаємо поперечні сили на ділянках балки. Розглядаємо дві ділянки: AB, де $0 \le z_1 \le 1{,}95$ м, та CB, де $0 \le z_2 \le 0{,}40$ м. Для першої ділянки поперечна сила становить:

$$Qz_1 = -F; \quad Q_A = Q_B = -40 \text{ Н}. \tag{2.3}$$

Для другої ділянки:

$$Qz_2 = R_C; \quad Q_C = Q_B = 195 \text{ Н}. \tag{2.4}$$

Згинальні моменти визначаємо через відповідні координати ділянок. Для ділянки AB:

$$Mz_1 = -F \cdot z_1, \quad 0 \le z_1 \le 1{,}95 \text{ м}. \tag{2.5}$$

$$\text{при } z_1 = 0: \ MA = 0;$$

$$\text{при } z_1 = 1{,}95 \text{ м}: \ MB = -40 \cdot 1{,}95 = -78 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Для ділянки CB:

$$Mz_2 = -RC \cdot z_2, \quad 0 \le z_2 \le 0{,}40 \text{ м}.$$

$$\text{при } z_2 = 0: \ M_C = 0;$$

$$\text{при } z_2 = 0{,}40 \text{ м}: \ MB = -195 \cdot 0{,}40 = -78 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Максимальний за модулем згинальний момент виникає у точці B і дорівнює 78 Н·м. Саме цей переріз приймаємо небезпечним та виконуємо для нього перевірку міцності за нормальними напруженнями.

$$\sigma_{max} = M_{max} / W_x \leq [\sigma],$$

де σ_{max} – розрахункове напруження у небезпечному перерізі, МПа; M_{max} – максимальний згинальний момент, Н·м; W_x – осьовий момент опору перерізу, мм³; [σ] – допустиме напруження матеріалу, МПа.

Допустиме напруження визначаємо за межею плинності сталі 20. Для цієї сталі приймаємо σТ = 200 МПа, а коефіцієнт запасу міцності n = 3:

$$[\sigma] = \sigma_T / n = 200 / 3 = 67 \text{ МПа}.$$

Державка має прямокутний переріз. Його розміри прийняті з конструктивних міркувань і наведені на рисунку 2.9.

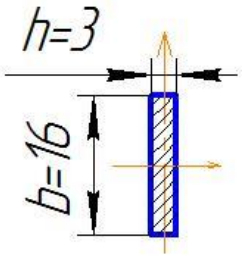


Рис. 2.9. Переріз напрямної державки.

Осьовий момент опору прямокутного перерізу приймаємо за формулою:

$$W_x = b^2 \cdot h / 6, \quad (2.6)$$

де b і h — сторони перерізу, мм. Після підстановки прийнятих розмірів отримуємо:

$$W_x = 16^2 \cdot 3 / 6 = 128 \text{ мм}^3.$$

Максимальне напруження у небезпечному перерізі становить:

$$\sigma_{max} = 78 / 128 = 6{,}1 \text{ МПа}.$$

Порівняння з допустимим значенням показує:

$$\sigma_{max} = 6{,}1 \text{ МПа} < [\sigma] = 67 \text{ МПа}.$$

Отже, умова міцності для опори виконується. Прийняті розміри державки забезпечують достатній запас міцності під дією заданого навантаження.

2.4 Перевірка міцності напрямної пристосування

Другою важливою деталлю пристосування є напрямна, що забезпечує положення анодної головки відносно опорної шийки. Під час експлуатації напрямна сприймає навантаження від маси та притискання вузла, тому її також необхідно перевірити на згин. Розрахунок виконуємо за схемою консольного елемента, навантаженого силою F = 40 Н на відстані 0,65 м від закріплення.

Розглядаємо ділянку ВА, для якої $0 \leq z_1 \leq 0{,}65$ м. Поперечна сила на цій ділянці стала й дорівнює прикладеному навантаженню:

$$Qz_1 = F = \text{const};$$

$$Q_B = Q_A = F = 40 \text{ Н}.$$

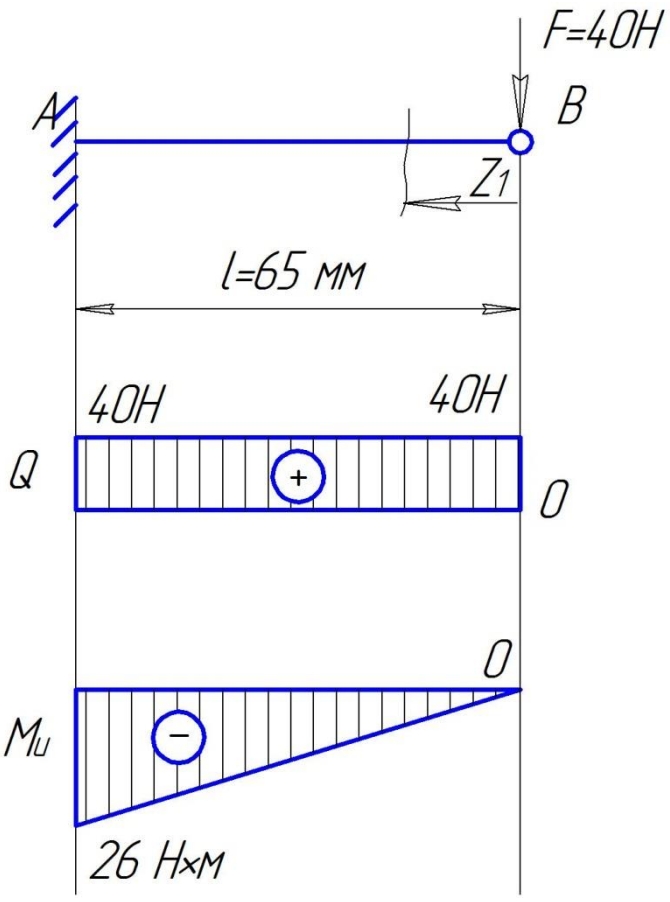


Рис. 2.10. Розрахункова схема напрямної.

Розглядаємо ділянку ВА, для якої $0 \leq z_1 \leq 0{,}65$ м. Поперечна сила на цій ділянці стала й дорівнює прикладеному навантаженню:

$$Qz_1 = F = \text{const};$$

$$Q_B = Q_A = F = 40 \text{ Н}.$$

Згинальний момент визначаємо за виразом:

$$Mz_1 = -F \cdot z_1.$$

У закріпленні, при $z_1 = 0$, момент дорівнює нулю:

$$MB = 0 \text{ Н·м}.$$

У точці А за $z_1 = 0{,}65$ м отримуємо:

$$M_A = -F \cdot 0{,}65 = -40 \cdot 0{,}65 = -26 \text{ Н·м}.$$

Небезпечним є переріз у точці А, де модуль згинального моменту найбільший і становить 26 Н·м. Перевірку виконуємо за умовою:

$$\sigma_{max} = M_{max} / W_x \leq [\sigma].$$

Напрямна має кільцевий переріз, розміри якого обрано з урахуванням компонування пристосування. Геометричну форму перерізу показано на рисунку 2.11.

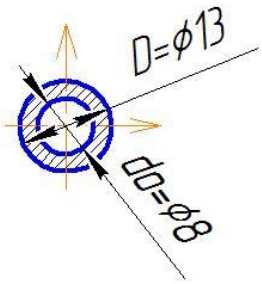


Рис. 2.11. Кільцевий переріз напрямної.

Для кільцевого перерізу відношення внутрішнього діаметра до зовнішнього визначається як:

$$c = d_0 / D,$$

де D – зовнішній діаметр тримача, мм; d_0 - внутрішній діаметр державки, мм. За прийнятими розмірами:

$$c = 8 / 13 = 0{,}6.$$

Осьовий момент опору перерізу приймаємо за розрахунковим значенням:

$$W_x = 6032 \text{ мм}^3.$$

Допустиме напруження для сталі 20 за коефіцієнта запасу $n = 3$ дорівнює:

$$[\sigma] = \sigma_T / n = 200 / 3 = 67 \text{ МПа}.$$

Тоді максимальне напруження у напрямній становить:

$$\sigma_{max} = 26 \cdot 10^3 / 6032 = 4{,}3 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо умову міцності:

$$\sigma_{max} = 4{,}3 \text{ МПа} < [\sigma] = 67 \text{ МПа}.$$

Отримане значення напруження значно менше допустимого, тому напрямна має достатню міцність для роботи у складі пристосування. Розрахунки опори та напрямної підтверджують можливість застосування запропонованої конструкції установки для контактного хромування опорних шийок розподільних валів.

РОЗДІЛ 3
ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ОПОРНИХ ШИЙОК РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ

Відновлення розподільного вала є відповідальною ремонтною операцією, оскільки від точності геометрії його опорних шийок залежить стабільність обертання вала, положення кулачків відносно штовхачів або коромисел, рівень шуму газорозподільного механізму та ресурс підшипникових опор. Опорні шийки працюють у режимі граничного або змішаного тертя, сприймають циклічні радіальні навантаження, контактують з моторною оливою і забрудненнями, а тому поступово втрачають номінальний розмір, набувають овальності, конусності, рисок, задирів і місцевих корозійних ушкоджень.

Метою проектування технологічного процесу є формування такої послідовності ремонтних операцій, яка забезпечує відновлення номінального або ремонтного розміру опорних шийок, отримання необхідної твердості та чистоти поверхні, збереження прямолінійності вала і мінімальну трудомісткість виконання робіт. У даному проекті основним способом нарощування прийнято контактне хромування, що дає змогу локально наносити зносостійке покриття на окремі шийки без занурення всього вала у ванну та без значного теплового впливу на деталь.

3.1 Вихідні умови для розробки технологічного процесу

Розподільний вал сучасного автомобільного двигуна виготовляють з легованої сталі або спеціального чавуну. Його робочі поверхні можуть мати поверхневе зміцнення, а опорні шийки потребують високої точності форми, оскільки встановлюються у розточеннях головки блока, в окремих підшипниках ковзання або у змінних вкладишах. Після демонтажу з двигуна деталь не можна одразу направляти на відновлення: спочатку необхідно встановити її фактичний технічний стан і визначити, чи доцільно застосовувати ремонтний маршрут.

Для проектованого процесу прийнято типову деталь - розподільний вал легкового автомобільного двигуна з п’ятьма опорними шийками. Номінальний діаметр шийки в розрахунковому прикладі прийнято 45,00 мм, допустиме биття середніх шийок відносно крайніх не повинно перевищувати 0,03 мм, а після остаточної обробки поверхня повинна забезпечувати стабільне утримання мастильної плівки. Залежно від конструкції конкретного двигуна наведені значення можуть уточнюватися за ремонтною документацією заводу-виробника.

Таблиця 3.1 – Основні вихідні дані для проектування процесу відновлення

Показник	Прийняте значення для проекту	Призначення у технологічному процесі
Тип деталі	розподільний вал двигуна внутрішнього згоряння	встановлює вимоги до точності, зносостійкості та балансування
Кількість опорних шийок	5 шт.	визначає повторюваність операцій і сумарну тривалість відновлення
Номінальний діаметр шийки	45,00 мм	база для розрахунку припуску і товщини покриття
Матеріал поверхні	сталь або спеціальний чавун з поверхневим зміцненням	впливає на режим шліфування, травлення і адгезію покриття
Основний дефект	знос, риски, овальність, конусність опорних шийок	визначає необхідність попередньої механічної обробки
Спосіб нарощування	контактне хромування періодичним струмом	забезпечує локальне нанесення зносостійкого шару
Фінішна операція	чистове шліфування і полірування	формує точний розмір і шорсткість поверхні

Під час проектування доцільно розглядати не лише фактичний знос, а й сукупність супутніх пошкоджень. Якщо на шийці є глибокі задири, поверхневі тріщини, сліди перегріву або значне порушення твердості, то нанесення покриття без попередньої підготовки не забезпечить потрібного ресурсу. Тому технологічний процес має починатися з очищення, дефектування і сортування деталей за ремонтопридатністю.

Таблиця 3.2 – Класифікація стану опорних шийок та рішення щодо ремонту

Група стану	Ознаки дефекту	Рекомендоване рішення
I	знос до 0,03 мм, відсутні глибокі риски і тріщини	полірування або контроль без нарощування
II	знос 0,03...0,15 мм, наявні риски, невелика овальність	попереднє шліфування, контактне хромування, чистове шліфування
III	знос понад 0,15 мм, задири, локальні корозійні плями, допустиме биття	нарощування збільшеної товщини з обов'язковим контролем адгезії
IV	тріщини, значне викривлення, руйнування кулачків або посадкових місць	бракування або заміна деталі

3.2 Обґрунтування вибору технологічного маршруту

Для відновлення валів можуть застосовуватися наплавлення, металізація, плазмове напилення, залізнення, хромування, полімерні композиції та ремонтні втулки. Проте опорні шийки розподільних валів мають відносно невеликі розміри, високі вимоги до геометрії та працюють у тонкому шарі оливи. Через це способи, які супроводжуються значним нагріванням, можуть призвести до деформації вала, зміни структури поверхневого шару або появи залишкових напружень. Контактне хромування є доцільним, оскільки шар формується локально, має високу твердість, добру зносостійкість і може наноситися на конкретну шийку без обробки всього вала.

Таблиця 3.3 – Порівняння способів відновлення опорних шийок розподільних валів

Спосіб	Переваги	Обмеження	Придатність для проекту
Вібродугове наплавлення	висока продуктивність, можливість нарощування значного шару	тепловий вплив, ризик деформації і зниження втомної міцності	обмежена
Плазмове напилення	можна наносити зносостійкі сплави, невелика зона нагрівання	складне обладнання, потреба у порошках і газах	середня
Електродугова металізація	невелике нагрівання деталі, добра продуктивність	пористість, потреба в інтенсивній підготовці поверхні	середня

Продловження таблиці 3.3

Гальванічне хромування у ванні	висока твердість і рівномірне покриття	потрібна ванна, ізоляція великої частини деталі, значна витрата електроліту	добра
Контактне хромування	локальне нанесення, мала витрата електроліту, зручність для окремих шийок	необхідний стабільний контакт анодної головки і контроль подачі електроліту	найбільш доцільна

У проектованому маршруті контактне хромування поєднується з попереднім і чистовим шліфуванням. Попереднє шліфування видаляє пошкоджений шар, усуває овальність і створює правильну геометричну базу для осадження. Хромування відновлює діаметр і підвищує зносостійкість. Чистове шліфування після нарощування забезпечує потрібний розмір, шорсткість та співвісність усіх опорних шийок.

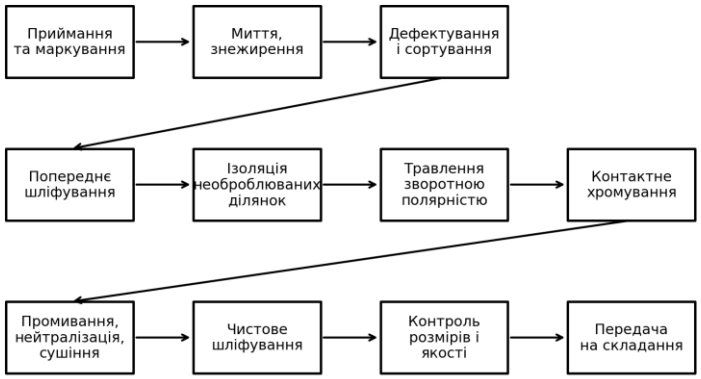


Рис. 3.1. Загальна схема проектованого технологічного маршруту відновлення розподільного вала

3.3 Розробка послідовності підготовчих операцій

Підготовчі операції визначають якість подальшого осадження хрому. На поверхні опорної шийки не повинно залишатися оливи, нагару, абразивних частинок, оксидів, залишків мийного розчину або слідів корозії. Наявність забруднень зменшує адгезію покриття, спричиняє пористість, плямистість і

відшарування. Тому маршрут підготовки складається з миття, знежирення, сушіння, огляду, вимірювання і попередньої механічної обробки.

Під час дефектування вал встановлюють у призми або центри і послідовно перевіряють діаметри шийок у двох взаємно перпендикулярних площинах. Для кожної шийки визначають мінімальний діаметр, овальність, конусність, наявність рисок і задирів. Окремо контролюють радіальне биття. Якщо биття перевищує допустиме значення, вал перед хромуванням підлягає правці або бракується, оскільки нарощування покриття не усуває викривлення основи.

Таблиця 3.4 – Послідовність підготовки розподільного вала до хромування

Операція	Зміст виконання	Обладнання та оснащення	Контрольний параметр
Миття	видалення оливи, бруду, нагару, продуктів зношування	мийна ванна, щітки, стиснене повітря	поверхня без забруднень
Знежирення	обробка лужним або органічним знежирювачем з наступним промиванням	ванна або ручне протирання	відсутність водовідштовхувальної плівки
Дефектування	візуальний огляд, вимірювання діаметра, овальності, конусності	мікрометр, індикатор, призми	відповідність групі ремонту
Попереднє шліфування	зняття пошкодженого шару і вирівнювання форми шийки	круглошліфувальний верстат, центри	dпш, відсутність задирів
Ізоляція	закриття поверхонь, які не підлягають нарощуванню	лаки, стрічки, гумові втулки	відкритою залишається лише робоча зона
Травлення	активація поверхні струмом зворотної полярності	пристрій контактного хромування, випрямляч	рівномірна матова поверхня

Попереднє шліфування виконують із мінімально необхідним зняттям металу. Надмірне зменшення діаметра призводить до збільшення товщини нарощуваного шару, подовження часу хромування і зростання ризику внутрішніх напружень у покритті. Після шліфування поверхня повинна мати рівномірний слід обробки без припікань, а радіуси галтелей не повинні мати гострих переходів, які можуть стати концентраторами напружень.

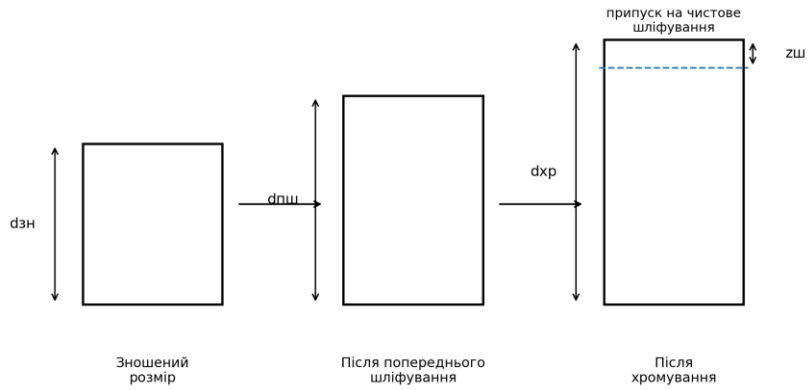


Рис. 3.2. Схема формування ремонтного припуску на опорній шийці.

3.4 Розрахунок припусків і товщини гальванічного покриття

Розрахунок товщини покриття проводять для найбільш зношеної опорної шийки, оскільки саме вона визначає максимальний час хромування. Для інших шийок час може бути зменшений або деталі обробляють окремо за групами розмірів. У проектному процесі приймаємо, що після дефектування найменший діаметр шийки становить 44,88 мм. Для усунення рисок і вирівнювання форми виконується попереднє шліфування до діаметра 44,82 мм. Номінальний розмір після чистової обробки повинен становити 45,00 мм. Припуск на фінішне шліфування приймаємо 0,03 мм на сторону, тобто 0,06 мм на діаметр.

Необхідну товщину шару хрому на сторону визначаємо за формулою:

$$h = (d_н + 2z_ш - d_{пш}) / 2, \text{ мм},$$

де dн - номінальний діаметр шийки, мм; zш - припуск на чистове шліфування на сторону, мм; dпш - діаметр шийки після попереднього шліфування, мм. Для прийнятого прикладу:

$$h = (45{,}00 + 2 \cdot 0{,}03 - 44{,}82) / 2 = 0{,}12 \text{ мм}.$$

Отже, для найбільш зношеної шийки необхідно нанести хромовий шар товщиною приблизно 0,12 мм. Таке значення не перевищує технологічно доцільного діапазону для якісних покриттів і дає змогу після шліфування отримати номінальний діаметр. Для шийок з меншим зносом розрахункова товщина шару буде меншою, однак з метою уніфікації процесу допускається групування шийок за близькими розмірами.

Таблиця 3.5 – Приклад розрахунку товщини покриття для п’яти опорних шийок

Номер шийки	Діаметр до ремонту, мм	Діаметр після попереднього шліфування, мм	Потрібна товщина h, мм	Орієнтовний час, хв
1	44.93	44.89	0.085	16.2
2	44.90	44.86	0.100	19.0
3	44.88	44.82	0.120	22.8
4	44.91	44.87	0.095	18.1
5	44.94	44.90	0.080	15.2

У таблиці наведено приклад розрахунку за умови однакового припуску на чистове шліфування. У реальному ремонтному виробництві для кожної деталі заповнюють карту дефектування, а остаточний розмір попереднього шліфування вибирають з урахуванням глибини рисок, фактичної овальності і допустимого нарощування. Якщо розрахункова товщина перевищує прийнятний діапазон, деталь доцільно перевести на інший спосіб відновлення або забракувати.

3.5 Визначення режимів контактного хромування

Режим контактного хромування повинен забезпечити рівномірне осадження металу на циліндричній поверхні, стабільну роботу анодної головки, постійне змочування зони контакту електролітом та відведення продуктів електрохімічної реакції. Для проектованого процесу прийнято електроліт на основі солей тривалентного хрому з органічними комплексоутворювачами. Такий склад доцільний для локального хромування, оскільки дає можливість працювати за помірної температури електроліту і забезпечувати високу мікротвердість покриття.

Таблиця 3.6 – Прийнятий склад електроліту та основні параметри хромування

Параметр	Прийняте значення	Технологічне значення
Оцтовокислий хром	260...280 г/л	джерело іонів хрому
Мурашина кислота амонію	375...400 г/л	підвищує стабільність електроліту
Виннокислий калій-натрій	13...17 г/л	комплексоутворювач і стабілізатор
pH електроліту	5,5...5,7	забезпечує стійкість осадження
Катодна густина струму	270...300 А/дм2	визначає швидкість нарощування
Температура електроліту	близько 15 °С на вході	зменшує перегрів у зоні контакту
Витрата електроліту	0,28 л/хв	підтримує змочування і відведення тепла
Окружна швидкість деталі	3...4 м/хв	сприяє рівномірності шару

Швидкість нарощування шару можна оцінити за законом Фарадея. Для практичних розрахунків товщину покриття зручно визначати через густину струму, електрохімічний еквівалент хрому, густину металу та вихід за струмом:

$$v = 100 \cdot k \cdot Dк \cdot \eta / \rho, \text{ мкм/год},$$

де k – електрохімічний еквівалент хрому, г/(А·год); Dк - катодна густина струму, А/дм^2; η - вихід металу за струмом; ρ – густина хрому, г/см^3. Для проектного режиму прийнято k = 0,324 г/(А·год), $D_к$ = 280 А/дм^2, η = 0,25, ρ = 7,19 г/см3. Тоді швидкість нарощування становить:

$$v = 100 \cdot 0{,}324 \cdot 280 \cdot 0{,}25 / 7{,}19 = 315 \text{ мкм/год}.$$

Для шару 0,12 мм розрахункова тривалість осадження дорівнює приблизно 23 хв. З урахуванням підготовки, встановлення анодної головки, промивання та контрольних переходів фактичний час обробки однієї найбільш зношеної шийки приймається 24...25 хв. На рисунку 3.3 показано графік нарощування шару для прийнятої густини струму.

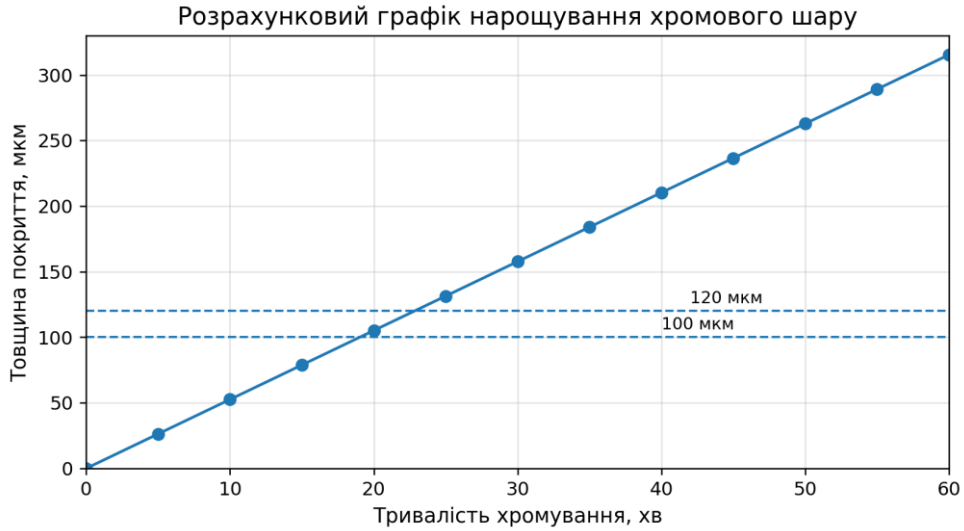


Рис. 3.3. Розрахунковий графік залежності товщини хромового покриття від тривалості процесу

Для забезпечення рівномірності шару важливо підтримувати сталість контакту анодної головки з шийкою. Деталь обертається з окружною швидкістю 3...4 м/хв, а анодна головка повинна притискатися без ривків і перекосів. Надмірне зусилля притискання призводить до інтенсивного зношування тампона, підвищення температури електроліту та нерівномірної шорсткості. Недостатнє зусилля погіршує електричний контакт і може спричинити плямистість покриття.

3.6 Операційна технологія відновлення опорних шийок

Операційний маршрут складається так, щоб кожна наступна операція виправляла або контролювала результат попередньої. Особливістю відновлення розподільного вала є наявність декількох шийок, розташованих на одній осі. Тому базування деталі під час попереднього і чистового шліфування необхідно виконувати в центрах або по крайніх опорних поверхнях, що забезпечує співвісність усіх робочих ділянок.

Технологічна карта наведена для партії ремонтних валів, однак може застосовуватися і для одиничного ремонту за умови коригування часу на підготовчо-заключні переходи. Усі розміри після попереднього шліфування і

після нарощування заносяться до карти контролю, що дозволяє простежити якість процесу та виявити відхилення ще до фінішної обробки.

Таблиця 3.7 – Технологічна карта відновлення опорних шийок розподільного вала.

№	Операція	Обладнання	Інструмент і матеріали	Режим / параметр	Контроль
1	Приймання і маркування	верстак ремонтної дільниці	маркер, карта дефектування	ідентифікація деталі	повнота даних
2	Миття і сушіння	мийна ванна, компресор	мийний розчин, щітки	до повного видалення забруднень	візуально
3	Дефектування	призми, контрольна плита	мікрометр, індикатор, лупа	вимірювання у 2 площинах	карта дефектів
4	Попереднє шліфування шийок	круглошліфувальний верстат	абразивний круг, СОЖ	зняття 0,03...0,08 мм на діаметр	dпш, овальність
5	Знежирення після шліфування	ванна або пост	знежирювач, серветки	поверхня без жирової плівки	проба змочування м
6	Ізоляція необроблюваних ділянок	верстак	кислотостійкий лак, стрічки	залишити відкритою лише шийку	суцільність ізоляції
7	Монтаж на установці	обертач, центри	затискачі, струмопідводи	співвісне встановлення	відсутність биття
8	Травлення зворотною полярністю	установка хромування	електроліт для травлення	2...5 хв	активована поверхня
9	Контактне хромування	анодна головка, випрямляч	робочий електроліт	Dк = 270...300 А/дм2; v = 3...4 м/хв	товщина шару
10	Промивання і нейтралізація	ванна, ємність збору	вода, нейтралізуючий розчин	до видалення залишків електроліту	відсутність плям
11	Чистове шліфування	круглошліфувальний верстат	дрібнозернистий круг	припуск 0,02...0,03 мм на сторону	dн, Ra
12	Остаточний контроль	контрольна плита	мікрометр, індикатор, профілометр	100 % контроль шийок	придатність

Після контактного хромування поверхня має підвищену твердість, але не завжди відповідає вимогам щодо точності і шорсткості. Тому чистове шліфування є обов’язковою операцією. Під час шліфування не допускається перегрів покриття: поява кольорів мінливості, припіків або мікротріщин

свідчить про порушення режиму. Фінішну шорсткість доцільно забезпечувати в межах Ra 0,32...0,63 мкм, що сприяє формуванню сталої мастильної плівки в опорі.

3.7 Розрахунок орієнтовної трудомісткості процесу

Тривалість процесу залежить від ступеня зношування, кількості шийок, способу базування, фактичної продуктивності хромування та прийнятої організації робочого місця. Для оцінки завантаження дільниці прийнято орієнтовні витрати часу на відновлення одного розподільного вала з п’ятьма шийками, одна з яких має максимальний знос. Найбільш тривалими етапами є механічна обробка та власне електрохімічне нарощування. Підготовчі операції є менш тривалими, але саме вони суттєво впливають на стабільність якості покриття.



Рис. 3.4. Діаграма тривалості основних операцій відновлення одного розподільного вала.

Загальний штучний час для наведеного прикладу становить 121 хв, тобто близько 2,0 год на один вал без урахування міжопераційного транспортування та організаційних перерв. Якщо партія деталей має близький характер зношування, частину підготовчих операцій можна виконувати паралельно, що зменшує середню трудомісткість на одну деталь.



Рис. 3.5. Діаграма структури трудомісткості проектованого процесу.

Таблиця 3.8 – Орієнтовна норма часу на виконання технологічного процесу

Група операцій	Склад робіт	Час, хв	Частка, %
Підготовчі	приймання, миття, знежирення, ізоляція	33	27,3
Контрольні до обробки	дефектування, вимірювання, сортування	15	12,4
Електрохімічні	травлення, контактне хромування, промивання	36	29,8
Механічні	попереднє і чистове шліфування	40	33,1
Остаточний контроль	вимірювання, огляд, оформлення результатів	12	9,9

3.8 Контроль якості відновлених опорних шийок

Якість відновлення оцінюють не лише за діаметром. Покриття повинно мати достатню адгезію з основним металом, рівномірну товщину, відсутність тріщин, відшарувань, пор, темних плям і припікань після шліфування. Геометрична точність включає контроль овальності, конусності, радіального биття і співвісності шийок. Якщо хоча б один з параметрів не відповідає вимогам, деталь повторно шліфують у межах припуску або відправляють на повторне нарощування.

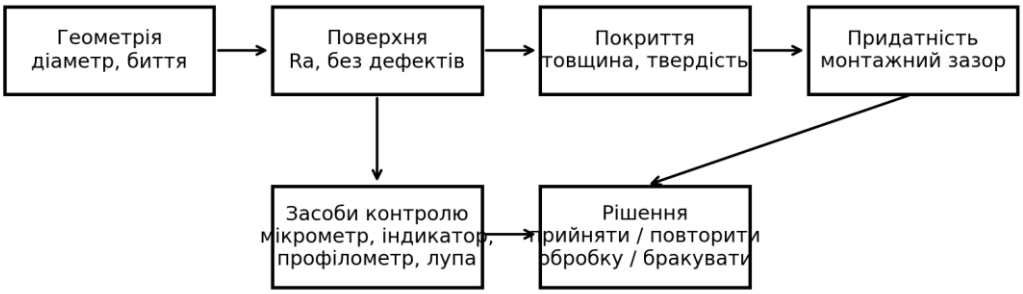


Рис. 3.6. Схема контролю якості після відновлення опорних шийок

Таблиця 3.9 – Контрольні параметри відновлених шийок

Параметр	Засіб контролю	Рекомендована вимога	Дія при відхиленні
Діаметр шийки	мікрометр 0,01 мм	відповідність номінальному або ремонтному розміру	додаткове шліфування або повторне нарощування
Овальність	мікрометр у двох площинах	не більше 0,01...0,02 мм	повторне чистове шліфування
Конусність	вимірювання по краях шийки	не більше 0,01...0,02 мм	корекція режиму шліфування
Радіальне биття	індикатор годинникового типу	не більше 0,03 мм	правка або бракування
Шорсткість	профілометр або еталони	Ra 0,32...0,63 мкм	полірування або повторне шліфування
Зовнішній вигляд покриття	лупа 4...10 крат	без пор, тріщин, відшарувань і припікань	зачистка, повторне хромування або бракування
Твердість шару	мікротвердомір	підвищена, стабільна по довжині шийки	перевірка режиму електроліту і струму

Особливу увагу необхідно приділяти контролю переходів між хромованою ділянкою та галтелями. У цих місцях покриття може мати підвищену товщину або, навпаки, недостатнє нарощування через зміну густини струму. Для зменшення крайового ефекту потрібно правильно встановлювати анодну головку, рівномірно подавати електроліт і не допускати тривалого простою під струмом без обертання деталі.

3.9 Організація робочого місця та вимоги до виконання процесу

Робоче місце для відновлення повинно включати зону миття і дефектування, кругло-шліфувальний верстат, установку контактного хромування, місце для приготування і контролю електроліту, ємність для збору відпрацьованого розчину, вентиляцію та комплект контрольно-вимірювального інструменту. Потоки деталей бажано організувати так, щоб чисті та забруднені деталі не перетиналися, а операції з електролітом виконувалися окремо від шліфувальної зони.

Для стабільності процесу необхідно вести журнал режимів, у якому фіксують склад електроліту, pH, температуру, густину струму, час хромування, номер деталі та результати контролю. Такий підхід дозволяє виявляти причини браку, коригувати режими та накопичувати статистику для подальшого удосконалення технології. При зниженні швидкості осадження, появі темних ділянок або підвищенні шорсткості покриття слід перевірити забруднення електроліту, стан анодного тампона, надійність струмопідводів і правильність підготовки поверхні.

Таблиця 3.10 - Типові відхилення процесу та заходи усунення

Ознака відхилення	Ймовірна причина	Коригувальна дія
Плямисте або темне покриття	забруднення поверхні, нестабільна подача електроліту	повторне знежирення, перевірка витрати електроліту
Відшарування шару	недостатнє травлення або залишки оксидів	повторна активація поверхні, корекція часу травлення
Підвищена шорсткість	перегрів зони контакту, надмірний притиск анодної головки	зменшити притиск, перевірити охолодження і витрату електроліту
Нерівномірна товщина	перекіс головки, зміна швидкості обертання	відрегулювати положення головки, перевірити обертач
Недостатня товщина шару	занижена густина струму або час процесу	перевірити випрямляч, збільшити тривалість у межах розрахунку
Припікання після шліфування	надмірна подача або тупий круг	зменшити глибину різання, правити круг, збільшити подачу СОЖ

Виконання операцій з електролітами потребує дотримання правил охорони праці: використання окулярів, рукавиць, фартуха, місцевої вентиляції,

справного заземлення електрообладнання та окремого зберігання хімічних речовин. Відпрацьований електроліт не допускається зливати у каналізацію без нейтралізації та передачі на утилізацію відповідно до вимог підприємства.

Висновки по розділу

У розділі розроблено технологічний процес відновлення опорних шийок розподільних валів двигунів із застосуванням контактного хромування. Запропонований маршрут охоплює приймання деталі, миття, дефектування, попереднє шліфування, ізоляцію необроблюваних поверхонь, травлення, локальне хромування, промивання, чистове шліфування та остаточний контроль. Така послідовність дозволяє усунути зношування і поверхневі дефекти без значного теплового впливу на вал.

Проведено розрахунок ремонтного припуску і визначено, що для найбільш зношеної шийки за прийнятих вихідних даних необхідна товщина хромового шару становить 0,12 мм. За густини струму 280 А/дм^2 і виходу хрому за струмом 25 % розрахункова швидкість нарощування становить близько 315 мкм/год, а тривалість осадження шару 0,12 мм – близько 23 хв. Розроблені таблиці, графіки і діаграми можуть бути використані як основа для операційної карти ремонтної дільниці та подальшого техніко-економічного обґрунтування проекту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення технологічного процесу відновлення опорних шийок розподільних валів автомобільних двигунів із розробкою установки для нанесення гальванічних покриттів. Актуальність обраної теми зумовлена тим, що розподільний вал є одним із найважливіших елементів газорозподільного механізму, від технічного стану якого залежить своєчасність відкривання і закривання клапанів, стабільність роботи двигуна, потужність, паливна економічність та довговічність силового агрегату. У процесі експлуатації опорні шийки розподільних валів працюють в умовах тертя, змінних навантажень, недостатнього змащування, дії абразивних частинок і підвищених температур, що спричиняє їх зношування, появу задирів, подряпин, овальності, конусності та інших дефектів.

У першому розділі було проаналізовано роботу газорозподільного механізму сучасних автомобільних двигунів, визначено призначення розподільного вала та умови роботи його основних поверхонь. Встановлено, що найбільш характерними дефектами розподільних валів є спрацювання опорних шийок, зношування кулачків, пошкодження робочих поверхонь, порушення геометричної форми, тріщини, викришування та корозійні ураження. Розглянуто причини виникнення цих дефектів, серед яких важливе місце займають забруднення моторної оливи, недостатній тиск у системі мащення, порушення режимів експлуатації двигуна, використання неякісних мастильних матеріалів і несвоєчасне технічне обслуговування.

У другому розділі проведено аналіз існуючих способів відновлення зношених поверхонь розподільних валів. Розглянуто механічну обробку, шліфування, вібродугове наплавлення, наплавлення в середовищі захисного газу, плазмове наплавлення, електродугову металізацію та гальванічні способи нанесення покриттів. Встановлено, що для відновлення опорних шийок розподільних валів доцільним є використання гальванічного хромування,

оскільки цей спосіб дозволяє отримати тверде, зносостійке та рівномірне покриття з незначним тепловим впливом на основний метал деталі. Це особливо важливо для деталей типу валів, у яких небажані термічні деформації та зміна структури матеріалу.

У роботі запропоновано установку для відновлення опорних шийок розподільних валів методом контактного хромування. Її використання дає змогу локально наносити покриття на зношені ділянки без занурення всієї деталі у гальванічну ванну. Конструкція установки передбачає обертання розподільного вала, подачу електроліту в зону обробки, використання анодної головки та контроль рівня електроліту. Застосування обертової анодної головки замість тертьової дозволяє зменшити перегрів електроліту, знизити шорсткість поверхні, підвищити рівномірність осадження хрому та покращити якість відновленого шару.

У третьому розділі розроблено технологічний процес відновлення опорних шийок розподільних валів. Запропонована послідовність операцій включає приймання і дефектацію деталі, очищення, миття, вимірювання зношених поверхонь, підготовчу механічну обробку, знежирення, травлення, контактне хромування, промивання, остаточну механічну обробку, контроль якості та передачу деталі на складання або подальше використання. Особливу увагу приділено вибору режимів нанесення гальванічного покриття, розрахунку припусків, визначенню тривалості осадження шару та контролю геометричних параметрів відновлених шийок.

Розроблений технологічний процес забезпечує відновлення працездатності розподільного вала за рахунок нарощування зношених опорних шийок до ремонтного або номінального розміру. Після нанесення хромового покриття та остаточного шліфування поверхня набуває необхідної точності, шорсткості, твердості та зносостійкості. Це дозволяє продовжити ресурс деталі, зменшити потребу в придбанні нових розподільних валів і скоротити витрати на ремонт двигунів внутрішнього згоряння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. MVW Automotive. Engine damage: camshaft damage, forms of camshaft wear. URL: https://www.mvwautomotive.com/engine-damages/ (дата звернення: 19.06.2026).

2. Escobar J. A. Stress and Fatigue Analysis of SVI-Tested Camshaft Lobes. Virginia Polytechnic Institute and State University, 1996. URL: https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/36656/etd.pdf

3. Highway and Heavy Parts. Camshaft Failure Analysis: Causes of Excessive Lobe Wear. URL: https://highwayandheavyparts.com/blog/camshaft-failure-analysis-what-causes-excessive-lobe-wear/

4. Warsztat.pl. Części zamienne pojazdów samochodowych – ich zużycie i regeneracja. URL: https://warsztat.pl/dzial/7-czesci-i-regeneracja/artykuly/czesci-zamienne-pojazdow-samochodowych-ich-zuzycie,55966.

5. Борак К. В., Ткачук Б. М., Торгонський В. С. Перспективи розвитку технічного сервісу МТП в АПК. Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України. С. 61-62.

6. Митко М. В., Шиліна О. П., Цимбал С. В. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Організація самостійної та практичної роботи : навчальний посібник. 2-ге вид., перероб. та доп. Вінниця : ВНТУ, 2025. 119 с.

7. Левкович М. Г. Відновлення деталей машин : конспект лекцій. Тернопіль : ТНТУ, 2016.

8. Основи технології відновлення деталей : конспект лекцій. Дніпро : ДВНЗ УДХТУ, 2016.

9. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин : навчальний посібник / за ред. В. С. Попова. Запоріжжя : Мотор Січ, 2006. 420 с.

10. Канарчук В. Є., Чигринець А. Д. Технічне обслуговування, ремонт і зберігання автотранспортних засобів : підручник : у 3 кн. Київ : Вища шк., 1992. 390 с.

11. Відновлення та зміцнення типових деталей : навчальний посібник. Кропивницький : ЦНТУ, 2018.

12. Косенко В. А. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання : навчальний посібник. Харків : ХНАДУ, 2017.

13. Ремонт машин та обладнання : навчальний посібник / уклад. О. В. Деркач, В. В. Бондаренко. Дніпро : ДДАЕУ, 2020.

14. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / за ред. В. І. Сологуба. Київ : Вища школа, 2002. 374 с.

15. Бойко М. Ф. Трактори та автомобілі. Ч. 2. Електрообладнання, паливна апаратура, технічне обслуговування і ремонт : навчальний посібник. Київ : Вища освіта, 2001.

16. Коваленко В. М., Мельник О. В. Діагностування та технічне обслуговування автомобілів : навчальний посібник. Київ : Ліра-К, 2017.

17. Bosch Automotive Handbook / Robert Bosch GmbH. 11th ed. Cham : Springer, 2022.

18. Heywood J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2nd ed. New York : McGraw-Hill Education, 2018. 1056 p.

19. Pulkrabek W. W. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. 2nd ed. Upper Saddle River : Pearson Prentice Hall, 2004.

20. Stone R. Introduction to Internal Combustion Engines. 4th ed. Warrendale : SAE International, 2012. 494 p.

21. Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body / ed. by D. Crolla. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2009. 834 p.

22. Schlesinger M., Paunovic M. Modern Electroplating. 5th ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2010. 752 p.

23. Paunovic M., Schlesinger M. Fundamentals of Electrochemical Deposition. 2nd ed. Hoboken : John Wiley & Sons, 2006. 392 p.

24. ASM Handbook. Vol. 5: Surface Engineering. Materials Park : ASM International, 1994.

25. ASM Handbook. Vol. 18: Friction, Lubrication, and Wear Technology. Materials Park : ASM International, 1992.

26. Davis J. R. Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance. Materials Park : ASM International, 2001.

27. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.

28. Bayer R. G. Mechanical Wear Fundamentals and Testing. 2nd ed., rev. and exp. Boca Raton : CRC Press, 2004.

29. Stolarski T. A. Tribology in Machine Design. Oxford : Butterworth-Heinemann, 1990.

30. Martyr A. J., Plint M. A. Engine Testing: Theory and Practice. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2007.

31. Taylor C. M. Automobile Engine Tribology — Design Considerations for Efficiency and Durability. Wear. 1998. Vol. 221, Iss. 1. P. 1–8.