

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу відновлення розтискного кулака автомобіля MAN M2000

Виконав: студент 4 курсу, групи МА-41
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Ілля

ПАЛЬЧЕВСЬКИЙ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Роман ХОРОШУН

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Тетяна ПИНДУС

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

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

Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«21» січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Пальчевському Іллі Ярославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу відновлення розтискного кулака автомобіля MAN M2000

Керівник роботи Хорошун Роман Васильович доктор філософії
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «21» січня 2026 року № 4/9-40

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11 червня 2026

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес відновлення розтискного кулака автомобіля MAN M2000

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

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

4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Вантажопідійомник гідравлічний – А1;

Технологічний процес відновлення розтискного кулака автомобіля MAN M2000 – А1;

Установка для наплавлення розтискного кулака – А1;

Пристосування для контролю якості розтискного кулака – А1;

Гальмівний стенд – А1;

Привідний механізм стенду – А1.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 21.січня 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	29.01.2026	
2	Технологічний розділ	12.02.2026	
3	Конструкторський розділ	04.06.2026	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	11.06.2026	
5	Оформлення графічної частини	11.06.2026	
6	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра		

Студент

_____ (підпис)

Пальчевський Ілля Ярославович

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Хорошун Роман Васильович

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: « Розроблення технологічного процесу відновлення розтискного кулака автомобіля MAN M2000 ».

Робота виконана на кафедрі автотранспорту та логістики Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра доктор філософії, старший викладач Хорошун Роман Васильович.

Пояснювальна записка складається з чотирьох розділів і 65 сторінок формату А4 та 6 аркушів формату А1 графічної частини.

Ключові слова відновлення деталей, дефектація, наплавлення, механічна обробка.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Конструктивно-технологічні особливості розтискного кулака.....	8
1.2 Технологічний процес дефектації розтискного кулака гальмівного механізму.....	11
1.3 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра....	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Аналіз існуючих способів відновлення деталей.....	17
2.2 Структурно-послідовний технологічний процес відновлення розтискного кулака вибраними способами.....	25
2.3 Обґрунтування і вибір технологічного обладнання, ріжучого, вимірювального та контрольного інструменту.....	28
2.4 Розрахунок режимів технологічних операцій відновлення розтискного кулака.....	32
2.5 Економічний розрахунок вартості ремонту розтискного кулака та порівняння з новою деталлю.....	41
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	45
3.1 Розроблення пристосування для контролю якості відновлення розтискного кулака.....	45
3.2 Розрахунок основних елементів пристосування для контролю якості відновлення розтискного кулака.....	48
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	56
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час відновлення розтискного кулака.....	56
4.2 Заходи з охорони праці та безпеки виконання технологічного процесу відновлення деталі.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	63
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Одним із відповідальних елементів барабанного гальмівного механізму вантажного автомобіля є розтискний кулак. Його основне призначення полягає у перетворенні зусилля, що надходить від гальмівного приводу, у переміщення гальмівних колодок до внутрішньої поверхні барабана. Від технічного стану цієї деталі безпосередньо залежить ефективність гальмування, рівномірність спрацювання колодок, стійкість автомобіля під час зниження швидкості та загальна безпека руху. Навіть незначне порушення геометрії робочих поверхонь розтискного кулака може спричинити нерівномірне притискання колодок, збільшення гальмівного шляху, перегрів елементів механізму та прискорене зношування суміжних деталей.

У процесі експлуатації розтискний кулак працює в умовах змінних механічних навантажень, тертя, вібрацій і дії забрудненого середовища. Найбільш характерними дефектами цієї деталі є зношування опорних шийок, спрацювання профільних робочих поверхонь кулачка, поява задирів, корозійних пошкоджень, порушення посадкових розмірів, а також зниження точності взаємного розташування поверхонь. У разі досягнення граничного зношування деталей втрачає здатність забезпечувати нормальну роботу гальмівного механізму, тому потребує заміни або відновлення.

Заміна зношених деталей новими не завжди є економічно доцільною, особливо для автомобілів, які тривалий час перебувають в експлуатації. Вартість оригінальних запасних частин, терміни їх постачання та необхідність підтримання працездатності рухомого складу зумовлюють актуальність застосування ремонтно-відновлювальних технологій. Відновлення розтискного кулака дозволяє продовжити строк служби деталі, зменшити витрати на ремонт, раціонально використовувати матеріальні ресурси та забезпечити належний технічний стан гальмівної системи автомобіля.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності розроблення раціонального технологічного процесу відновлення розтискного кулака автомобіля MAN M2000, який забезпечуватиме відновлення геометричних параметрів, міцності та працездатності деталі відповідно до вимог

технічної експлуатації. При цьому важливим є не лише вибір способу усунення дефектів, а й обґрунтування послідовності ремонтних операцій, підбір обладнання, інструменту, матеріалів, засобів контролю та визначення умов, за яких відновлена деталь буде придатною до подальшої експлуатації.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення технологічного процесу відновлення розтискного кулака автомобіля MAN M2000 з урахуванням характеру його зношування, конструктивних особливостей, умов роботи та вимог до надійності гальмівної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати призначення, конструкцію та умови роботи розтискного кулака; визначити основні дефекти, які виникають під час експлуатації; обґрунтувати вибір способів відновлення зношених поверхонь; розробити послідовність технологічних операцій ремонту; підібрати необхідне обладнання, пристосування, інструмент і матеріали; передбачити методи контролю якості відновленої деталі; розглянути питання організації робіт і забезпечення безпечних умов праці.

Об'єктом дослідження є процес відновлення деталей гальмівної системи вантажного автомобіля. Предметом дослідження є технологічний процес відновлення розтискного кулака автомобіля MAN M2000.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонований технологічний процес може бути використаний на ремонтних підприємствах, станціях технічного обслуговування та в умовах автотранспортних господарств, які виконують ремонт гальмівних механізмів вантажних автомобілів. Його впровадження дає змогу підвищити якість ремонту, скоротити витрати на придбання нових деталей, зменшити простой автомобілів і забезпечити безпечну подальшу експлуатацію транспортного засобу.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Конструктивно-технологічні особливості розтискного кулака

Розтискний кулак є одним з основних виконавчих елементів барабанного гальмівного механізму заднього моста НУ 1175 автомобіля MAN M2000. Його призначення полягає у перетворенні обертального руху вала, що надходить від регулювального важеля гальмівного приводу, у розведення гальмівних колодок. Під час повороту кулачкова частина діє на кінці колодок або проміжні ролики, унаслідок чого фрикційні накладки притискаються до внутрішньої поверхні гальмівного барабана.

Конструктивно розтискний кулак виконаний як суцільна деталь типу «вал-кулак». На одному кінці розміщена профільна кулачкова частина, яка безпосередньо взаємодіє з гальмівними колодками. Середня частина деталі має циліндричну форму та працює як вал, що обертається в опорних втулках. На протилежному кінці передбачена шліцьова або посадкова ділянка для встановлення регулювального важеля. Така будова забезпечує передавання крутного моменту від пневматичної гальмівної камери до робочої частини механізму.

До основних конструктивних елементів розтискного кулака належать: кулачкова головка, опорні шийки, основна циліндрична частина вала, посадкова або шліцьова частина під регулювальний важіль, а також канавки чи отвори, які можуть використовуватися для фіксації, мащення або встановлення стопорних елементів. Найбільш відповідальною є профільна кулачкова поверхня, оскільки саме вона визначає характер розведення гальмівних колодок і рівномірність їх притискання до барабана.

У процесі роботи розтискний кулак сприймає значні контактні та згинальні навантаження [15, 20]. При кожному гальмуванні на кулачкову поверхню діють сили реакції від гальмівних колодок, а опорні шийки вала працюють в умовах тертя ковзання у втулках. Через це найбільш характерними дефектами деталі є зношування кулачкової поверхні, спрацювання опорних шийок, поява задирів,

корозійних пошкоджень, порушення геометрії посадкової частини та збільшення люфту у з'єднанні з регулювальним важелем.

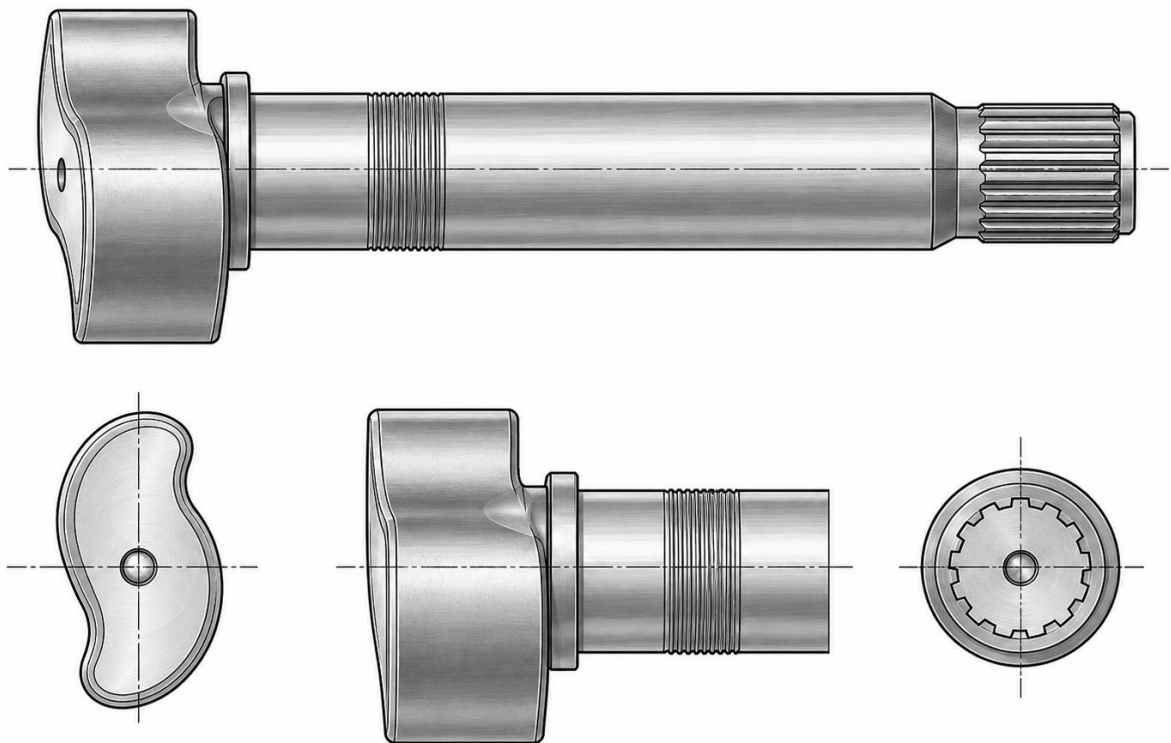


Рисунок 1.1 – Вал розтискного кулака гальмівного механізму заднього моста НУ 1175.

З технологічної точки зору розтискний кулак належить до деталей, які потребують підвищеної точності відновлення робочих поверхонь. Особливо важливо забезпечити правильну форму кулачкового профілю, співвісність опорних шийок і відповідність посадкових розмірів технічним вимогам. Порушення цих параметрів може спричинити нерівномірне розведення колодок, збільшення ходу штока гальмівної камери, зниження ефективності гальмування та прискорене зношування фрикційних накладок.

Під час дефектації розтискного кулака контролюють стан кулачкової частини, діаметри опорних шийок, наявність тріщин, задирів, корозії, деформацій і спрацювання посадкової частини під важіль. Для цього застосовують зовнішній огляд, вимірювання мікрометром або штангенциркулем, контроль биття в центрах, а за необхідності – капілярний або магнітопорошковий контроль для виявлення поверхневих тріщин.

Відновлення розтискного кулака доцільно виконувати шляхом наплавлення або металізації зношених поверхонь із подальшою механічною обробкою до номінальних чи ремонтних розмірів. Опорні шийки після відновлення обробляють точінням і шліфуванням, а кулачкову частину доводять до заданого профілю. Завершальним етапом є контроль геометричних параметрів, якості поверхні та правильності взаємного розташування робочих ділянок.

Розтискний кулак гальмівного механізму заднього моста НУ 1175 є відповідальною деталлю, від технічного стану якої залежить надійність і стабільність роботи гальмівної системи автомобіля MAN M2000. Його конструкція є відносно простою, однак умови роботи потребують високої точності виготовлення та якісного відновлення зношених поверхонь.

Для розтискного кулака гальмівного механізму заднього моста НУ 1175 доцільно приймати матеріал як леговану конструкційну сталь типу 40Х або її закордонний аналог 40Cr / 41Cr4 [5, 15]. У відкритих джерелах для НУ 1175 переважно подаються дані про сам задній міст MAN НУ-1175, але точна марка сталі розтискного кулака виробником, як правило, не вказується. Водночас для гальмівних S-camshaft / розтискних валів виробники вказують матеріал загально як steel, тобто конструкційну сталь, що відповідає характеру роботи цієї деталі.

Розтискний кулак гальмівного механізму заднього моста НУ 1175 працює у складі барабанного гальмівного механізму та призначений для перетворення обертального руху гальмівного вала у поступальне розведення гальмівних колодок. У процесі експлуатації деталь сприймає значні крутні навантаження, контактні напруження в зоні робочого профілю кулачка, а також циклічні навантаження, що виникають під час багаторазового гальмування автомобіля. Тому матеріал кулака повинен мати достатню міцність, в'язкість, опір зношуванню та здатність зберігати працездатність в умовах ударних і змінних навантажень.

Найбільш доцільним матеріалом для виготовлення такої деталі є сталь 40Х. Це середньовуглецева легована конструкційна сталь, яка добре піддається термічній обробці, має підвищену міцність і достатню в'язкість після поліпшення. Наявність хрому в її складі підвищує прогартовуваність, твердість

поверхневих шарів і зносостійкість робочих ділянок. Завдяки цьому сталь 40Х широко застосовують для виготовлення валів, осей, шестерень, кулачків, пальців та інших деталей, що працюють при підвищених контактних і крутних навантаженнях.

Для розтискного кулака особливо важливою є працездатність робочої кулачкової поверхні, яка безпосередньо контактує з роликками або опорними елементами гальмівних колодок. У цій зоні виникає локальне зношування, тому після механічної обробки деталей доцільно піддавати термічному поліпшенню, а за потреби – додатковому поверхневому зміцненню робочого профілю. Орієнтовно твердість робочої поверхні після зміцнення може становити HRC 40–50, тоді як серцевина деталі повинна залишатися достатньо в'язкою, щоб запобігати крихкому руйнуванню під дією ударних навантажень.

Шліцьовий хвостовик кулака також повинен мати підвищену міцність, оскільки через нього передається крутний момент від гальмівного важеля. Для цієї ділянки важливими є точність профілю шліців, відсутність задирок, тріщин і слідів зминання. Посадкові шийки вала повинні мати якісно оброблену поверхню, оскільки вони працюють у втулках або опорах і сприймають радіальні навантаження під час повороту кулака.

1.2 Технологічний процес дефектації розтискного кулака гальмівного механізму

Розтискний кулак гальмівного механізму заднього моста НУ 1175 є відповідальною деталлю, від технічного стану якої залежить рівномірність розведення гальмівних колодок, ефективність гальмування та безпека руху автомобіля. Деталь має складну форму: кулачкову головку, циліндричну шийку, різьбову ділянку, робочу частину вала та шліцьовий хвостовик, через який передається крутний момент від важеля гальмівного приводу.

Дефектацію розтискного кулака виконують після його демонтажу із гальмівного механізму, очищення від бруду, продуктів корозії, залишків мастила та пилу від накладок. Основною метою дефектації є встановлення придатності

деталі до подальшої експлуатації, визначення можливості її відновлення або необхідності заміни [6, 7, 28].

На першому етапі проводять зовнішній огляд деталі. Особливу увагу звертають на стан кулачкової головки, оскільки саме вона безпосередньо контактує з роликками або опорними поверхнями гальмівних колодок. На робочих поверхнях кулачка не допускаються глибокі задири, тріщини, викришування металу, значне спрацювання профілю та сліди перегріву. Нерівномірний знос кулачкової частини призводить до порушення синхронності розведення колодок і зменшення ефективності гальмування.

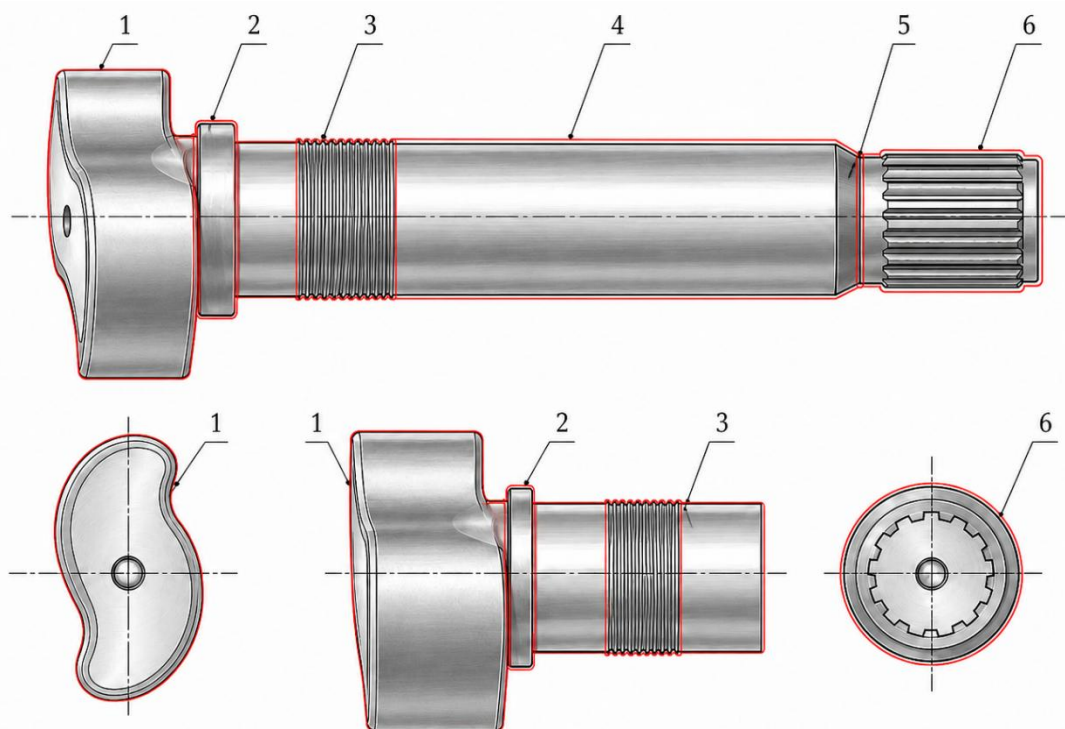


Рисунок 1.2 – Вал розтискного кулака з зображенням даних контрольованих зон:

1 – кулачкова головка. 2 – шийка під втулку. 3 – різьбова ділянка. 4 – циліндрична робоча поверхня вала. 5 – перехідні радіуси (галтелі) біля головки та перед шліцами. 6 – шліцевий хвостовик

Далі перевіряють циліндричні шийки вала, які працюють у втулках або опорах гальмівного механізму. На цих поверхнях можливе утворення кільцевого зносу, рисок, корозійних раковин і овальності. Контроль виконують за допомогою мікрометра або штангенциркуля з вимірюванням діаметра у декількох перерізах і взаємно перпендикулярних площинах [5, 13]. Якщо знос

перевищує допустиме значення, деталь підлягає відновленню наплавленням, металізацією, установленням ремонтної втулки або заміні.

Окремо контролюють стан різьбової ділянки. Різьба повинна мати чіткий профіль без зривів, забоїв, змінання витків і слідів корозійного пошкодження. Наявність пошкодженої різьби ускладнює надійне кріплення елементів гальмівного приводу та може спричинити самовільне послаблення з'єднання під час роботи.

Важливим етапом є перевірка шліцьового хвостовика. Шліці повинні мати правильну форму, без значного бокового зносу, сколів і деформацій. Спрацювання шліців призводить до появи люфту у з'єднанні з регульовальним важелем, що погіршує точність передачі зусилля і збільшує вільний хід гальмівного механізму. Стан шліців оцінюють візуально, а також за посадкою контрольної деталі або відповідного важеля.

Після зовнішнього огляду перевіряють геометричну форму вала. Для цього деталь встановлюють у призми або центри та індикатором годинникового типу контролюють радіальне биття. Надмірне викривлення вала є небезпечним дефектом, оскільки воно викликає нерівномірну роботу кулачка, підвищене навантаження на втулки та прискорене спрацювання елементів гальмівного приводу.

Для виявлення прихованих тріщин, особливо в зоні переходу від кулачкової головки до вала, доцільно застосовувати капілярний або магнітопорошковий контроль [13, 20, 26]. Ці ділянки є найбільш навантаженими, тому навіть незначні тріщини можуть розвиватися під дією циклічних навантажень під час гальмування.

Результати дефектації заносять у дефектну відомість, де вказують характер пошкодження, місце його розташування та прийняте рішення щодо подальшого використання деталі.

Таблиця 1.1 - Результати дефектації деталі.

Контрольована зона	Можливі дефекти	Спосіб контролю	Рішення
Кулачкова головка	знос профілю, задири, тріщини, викришування	зовнішній огляд, шаблон, капілярний або магніто-порошковий контроль	відновлення або заміна
Циліндричні шийки	спрацювання, овальність, корозійні раковини	мікрометр, штангенциркуль, індикатор	відновлення розміру або заміна
Різьбова ділянка	зрив витків, забоїни, корозія	огляд, різьбовий калібр	прогонка різь-би або заміна
Шліцьовий хвостовик	боковий знос, сколи, деформація	огляд, контрольна посадка важеля	заміна при значному зносі
Вал по довжині	прогин, радіальне биття	індикатор годинникового типу	правка або заміна
Перехідні радіуси	втомні тріщини	магнітопорошковий або капілярний контроль	заміна деталі

1.3 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

Проведений аналіз конструктивно-технологічних особливостей розтискного кулака автомобіля MAN M2000 показав, що дана деталь належить до відповідальних елементів барабанного гальмівного механізму. Її основне призначення полягає у передаванні зусилля від гальмівного приводу до гальмівних колодок шляхом їх розведення до внутрішньої поверхні барабана. Від справності кулачкової головки, опорних шийок, різьбової ділянки та шліцьового хвостовика залежить рівномірність роботи гальмівного механізму,

величина вільного ходу приводу, ефективність гальмування та безпека руху автомобіля.

Установлено, що в процесі експлуатації розтискний кулак працює в умовах змінних контактних і згинальних навантажень, тертя, вібрацій, дії пилю, вологи та продуктів зношування. Найбільш характерними дефектами є спрацювання кулачкової поверхні, зношування опорних шийок, поява задирів, корозійних пошкоджень, деформацій, тріщин у перехідних радіусах, пошкодження різьби та збільшення люфту у шліцьовому з'єднанні. Такі пошкодження погіршують працездатність деталі та можуть призвести до нерівномірного розведення гальмівних колодок, підвищеного зношування спряжених елементів і зниження ефективності гальмування.

У результаті дефектації розтискного кулака необхідно контролювати стан кулачкової головки, діаметри опорних шийок, різьбову ділянку, шліцьовий хвостовик, радіальне биття вала та наявність прихованих тріщин. Для цього доцільно застосовувати зовнішній огляд, вимірювання штангенциркулем і мікрометром, перевірку індикатором годинникового типу, контроль за шаблоном, а також капілярний або магнітопорошковий методи виявлення поверхневих дефектів.

На основі виконаного аналізу встановлено, що заміна розтискного кулака новою деталлю не завжди є економічно доцільною, особливо за умови локального зношування окремих робочих поверхонь. Тому актуальним є розроблення технологічного процесу його відновлення, який забезпечить повернення необхідних геометричних параметрів, працездатності та надійності деталі при менших витратах порівняно з придбанням нової запасної частини. Тема та зміст роботи відповідають завданню КРБ, де передбачено розроблення загально-технічного, технологічного, конструкторського розділів і розділу з безпеки життєдіяльності та охорони праці для відновлення розтискного кулака автомобіля MAN M2000.

З урахуванням цього в кваліфікаційній роботі бакалавра необхідно вирішити такі завдання:

Проаналізувати призначення, конструкцію та умови роботи розтискного кулака гальмівного механізму автомобіля MAN M2000.

Визначити основні дефекти деталі, характер їх виникнення та вплив на працездатність гальмівного механізму.

Розробити технологічний процес дефектації розтискного кулака із зазначенням контрольованих зон, можливих пошкоджень і способів контролю.

Проаналізувати існуючі способи відновлення деталей типу «вал» і обґрунтувати вибір найбільш раціональних методів для відновлення розтискного кулака.

Сформуванати структурно-послідовний технологічний процес ремонту деталі, що включає очищення, дефектацію, підготовку поверхонь, наплавлення, зварювання, механічну обробку, контроль якості та консервацію.

Обґрунтувати вибір технологічного обладнання, ріжучого, допоміжного, вимірювального та контрольного інструменту для виконання запропонованого процесу.

Провести розрахунок режимів основних технологічних операцій відновлення розтискного кулака.

Виконати економічне обґрунтування доцільності ремонту деталі шляхом порівняння вартості відновлення з вартістю нової деталі.

Розробити контрольне пристосування для перевірки якості відновлення розтискного кулака та виконати розрахунок його основних елементів.

Розглянути небезпечні й шкідливі виробничі фактори під час виконання ремонтних операцій та запропонувати заходи з охорони праці.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз існуючих способів відновлення деталей

За конструктивним виконанням і характером роботи розтискний кулак гальмівного механізму належить до деталей типу «вал». Тому під час вибору технології ремонту доцільно розглядати способи, які застосовуються для відновлення зношених валів, посадкових шийок і циліндричних робочих поверхонь.

Для таких деталей можуть використовуватися різні методи відновлення: вібродугове наплавлення, електроконтактне наварювання, осталювання, газова металізація, дугове наплавлення під шаром флюсу, а також наплавлення в середовищі вуглекислого газу [6, 28]. Кожний із цих способів має власну область застосування, переваги та технологічні обмеження, які необхідно враховувати під час ремонту відповідальних деталей гальмівної системи.

Вібродугове наплавлення являє собою різновид переривчастого дугового процесу, за якого електродний дріт здійснює коливальний рух уздовж своєї осі. Унаслідок цього в електричному колі періодично виникають короткі замикання, після яких на короткий проміжок часу утворюється дуга. Подача дроту в зону наплавлення здійснюється електромагнітним або механічним пристроєм, а його зворотно-поступальний рух може відбуватися з частотою до 100 коливань за секунду при амплітуді 0,5...3,0 мм.

Оскільки дуга існує лише протягом незначної частини робочого циклу, тепловий вплив на основний метал є порівняно малим. Це забезпечує невелику глибину проплавлення та обмежену зону термічного впливу. Така особливість є важливою при відновленні деталей типу «вал», оскільки зменшується ймовірність викривлення осі деталі та порушення її геометричної точності.

У практиці ремонту вібродугове наплавлення часто виконують у рідинному середовищі. Як охолоджувальні та захисні розчини можуть застосовуватися водні розчини кальцинованої соди або технічного гліцерину. Наявність рідини сприяє інтенсивному охолодженню наплавленого шару,

знижує деформацію деталі та водночас підвищує твердість сформованого металевого покриття.

Зазначені властивості дають змогу використовувати вібродугове наплавлення для відновлення деталей невеликих розмірів, у яких величина зносу не перевищує приблизно 1 мм. Для розтискного кулака цей спосіб може бути застосований переважно при відновленні посадкових або циліндричних поверхонь за умови відсутності тріщин і значних деформацій.

Типові режими вібродугового наплавлення передбачають силу струму в межах 100...200 А та напругу дуги 18...25 В. Продуктивність процесу становить приблизно 1...2 кг наплавленого металу за годину. Втрати електродного матеріалу внаслідок вигорання та розбризкування можуть досягати 11...30 %, а коефіцієнт наплавлення зазвичай перебуває в межах 8...10 г/(А·год).

До основних недоліків вібродугового наплавлення належить імовірність утворення дефектів у наплавленому шарі. Найчастіше це дрібні газові пори, мікротріщини, а також нерівномірний розподіл твердості по поверхні відновленої ділянки. Через це втомна міцність деталі після такого ремонту може знижуватися, що особливо небажано для елементів гальмівного механізму, які працюють під дією змінних навантажень.

Зазначені недоліки найбільш помітні під час відновлення деталей із незначним зносом. У таких випадках товщина шару, який наноситься, часто перевищує фактичну потребу у відновленні розміру. Аналіз способів наплавлення показує, що кожен із них має певні технологічні обмеження щодо мінімальної товщини покриття. Наприклад, при наплавленні під шаром флюсу складно отримати шар менший ніж 3 мм, а при вібродуговому наплавленні в рідині або захисному газовому середовищі мінімальна товщина зазвичай становить близько 2 мм.

Крім того, більшість процесів наплавлення супроводжується підвищеним тепловиділенням, виділенням аерозолів і газів, що погіршує умови праці та потребує додаткових заходів захисту робітника. Саме тому під час ремонту відповідальних деталей доцільно розглядати не лише дугові способи, а й технології нанесення покриттів із використанням зварювання тиском, які меншою мірою впливають на структуру основного металу.

При наплавленні в середовищі вуглекислого газу зона плавлення захищається струменем CO₂. Газ витісняє повітря із зони дуги та обмежує контакт розплавленого металу з киснем і азотом, що зменшує ризик окиснення та погіршення якості наплавленого шару. Такий спосіб є доступним і може застосовуватися для відновлення окремих ділянок валів, однак він також пов'язаний із нагріванням деталі та потребою в подальшій механічній обробці.

Наплавлення під шаром флюсу досить поширене при ремонті валів, оскільки забезпечує високу продуктивність і стабільний захист металу від впливу навколишнього середовища. Проте цей метод має й суттєві недоліки. Наплавлений метал може відрізнитися за хімічним складом у різних ділянках шару, що створює передумови для появи пор, тріщин і неоднорідної твердості.

Ще одним обмеженням є надмірна товщина наплавленого шару. У багатьох випадках вона значно перевищує припуск, необхідний для відновлення номінального розміру. Через це збільшується обсяг токарної та шліфувальної обробки. Для забезпечення потрібної твердості поверхні після наплавлення інколи застосовують загартування струмами високої частоти, що додатково ускладнює технологічний процес і підвищує собівартість ремонту.

Приварювання сталевих стрічки або дроту також може використовуватися для нарощування зношених поверхонь, однак цей спосіб потребує складного спеціалізованого обладнання. Крім того, підготовка поверхні вала і присадкового матеріалу є досить трудомісткою. Для відновлення деталей типу розтискного кулака цей метод не можна вважати універсальним, оскільки він потребує точного дотримання режимів і не завжди забезпечує раціональне співвідношення між витратами та отриманим технічним результатом.

Аналіз розглянутих способів відновлення шийок валів свідчить, що традиційні методи наплавлення не завжди забезпечують необхідну якість ремонту. Основними їх недоліками є недостатня зносостійкість відновлених поверхонь, можливе викривлення вала внаслідок теплового впливу, а також утворення пор і тріщин у нанесеному шарі. Крім того, такі технології часто характеризуються значною трудомісткістю та підвищеною собівартістю виконання ремонтних операцій.

З урахуванням зазначених факторів застосування звичайних способів наплавлення для відновлення відповідальних валових деталей не завжди є раціональним. Особливо це стосується деталей, які працюють у вузлах із підвищеними вимогами до точності, міцності та стабільності геометричної форми.

Перспективним напрямом відновлення зношених поверхонь є газотермічне напилення, зокрема газополуменеве нанесення порошкових матеріалів і газова металізація. Ці методи дають змогу формувати на поверхні деталі покриття з потрібними експлуатаційними властивостями без значного нагрівання основного металу.

Газова металізація полягає в нагріванні присадкового металу до розплавленого стану з подальшим його розпиленням газоповітряним потоком на попередньо підготовлену поверхню. У результаті на деталі утворюється шар покриття, який компенсує знос і відновлює необхідні розміри робочої поверхні.

Перевагою цього способу є можливість нанесення покриттів на різні за формою та призначенням поверхні. Обладнання для металізації є порівняно компактним, може використовуватися в умовах ремонтного підприємства та не потребує складної організації виробничої дільниці. Сам технологічний процес є доступним і може бути впроваджений на більшості ремонтних баз.

Важливою особливістю газової металізації є незначний тепловий вплив на деталь. Завдяки цьому практично усувається небезпека її деформації, а несуча здатність основного металу зберігається на рівні, близькому до початкового. Це має особливе значення при відновленні валів, для яких порушення співвісності або поява биття є неприпустимими.

Разом з тим покриття, отримані методом газової металізації, мають певні обмеження. Вони добре сприймають звичайні статичні навантаження, однак через відносно пластичну структуру не завжди придатні для деталей, що працюють в умовах ударної дії або високих контактних навантажень.

Найбільш поширеними різновидами газової металізації є електродугова та газополуменева металізація. Проте покриття, сформовані цими методами, можуть мати недостатню міцність зчеплення з основою, підвищену пористість і помітні втрати присадкового матеріалу під час нанесення. Тому під час вибору

цього способу для відновлення розтискного кулака необхідно враховувати умови роботи конкретної зони деталі та характер навантаження.

Наварюванням називають процес нанесення додаткового металевого шару на поверхню зношеної деталі із використанням тиску. На відміну від традиційного дугового наплавлення, цей спосіб ґрунтується не лише на тепловій дії, а й на пластичному деформуванні матеріалів у зоні контакту.

Найбільший практичний інтерес для відновлення валових деталей становить електроконтактне наварювання. При цьому способі тепло утворюється безпосередньо в місці контакту між поверхнею деталі та присадковим матеріалом під час проходження електричного струму. У результаті метал нагрівається до пластичного стану, після чого під дією зусилля притиску забезпечується його надійне з'єднання з основою.

Застосування електродугових способів для відновлення такої поверхні не завжди є раціональним [6, 17, 29]. Наплавлення під шаром флюсу, у середовищі захисних газів або вібродугове наплавлення зазвичай формують шар металу товщиною 2...3 мм і більше. Це потребує значного обсягу подальшої механічної обробки для доведення поверхні до потрібного розміру та шорсткості. Крім того, інтенсивне нагрівання деталі під час дугових процесів може спричинити її деформацію, зміну геометрії та появу залишкових напружень.

Сутність електроконтактного наварювання полягає у спільному пластичному деформуванні присадкового металу і поверхневого шару основної деталі, які попередньо нагріваються електричним струмом. Завдяки локальному тепловому впливу цей спосіб дає змогу зменшити ризик викривлення деталі та отримати покриття з достатньою міцністю зчеплення з основним металом.

Процес електроконтактного наварювання стрічки здійснюється за такою схемою: присадкова стрічка подається на зношену поверхню деталі та притискається роликівим електродом. Через контактну зону між роликом, стрічкою і деталлю пропускається електричний струм від зварювального трансформатора. Параметри імпульсів струму, зокрема їх амплітуда та тривалість, задаються і контролюються спеціальним регулятором. У зоні контакту виникає локальне нагрівання, після чого під дією тиску стрічка міцно з'єднується з основним металом деталі.

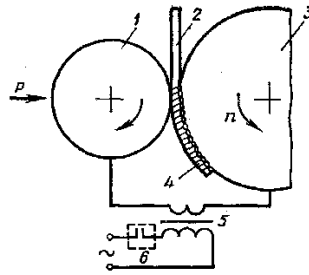


Рисунок 2.1 – Схема процесу електроконтактного наварювання зношеної поверхні вала:

1 – електрод-ролик; 2 – дріт; 3 – деталь, що відновлюється; 4 – наварене покриття; 5 – зварювальний трансформатор; 6 – преривач

До основних переваг електроконтактного наварювання належить можливість формування шару з наперед заданими експлуатаційними властивостями. Завдяки правильному вибору присадкового матеріалу можна підвищити зносостійкість, корозійну стійкість та інші робочі характеристики відновленої поверхні. Висока швидкість перебігу процесу дає змогу виконувати наварювання без застосування флюсів і захисних газів, що спрощує технологію та знижує витрати на допоміжні матеріали.

Міцне з'єднання присадкового шару з основою забезпечується за рахунок часткового розігріву тонких поверхневих шарів у зоні контакту, їх пластичного деформування та дифузійної взаємодії металів. При цьому процес характеризується високою продуктивністю, малими втратами присадкового матеріалу та обмеженим тепловим впливом на деталь, що зменшує ймовірність її деформації.

Разом з тим електроконтактне наварювання має певні недоліки. Насамперед це порівняно невисока стійкість роликів електродів, що може впливати на стабільність процесу та якість нанесеного шару. Крім того, перед наварюванням необхідно ретельно підготувати поверхню деталі, що підвищує трудомісткість ремонтної операції.

Як присадковий матеріал для електроконтактного наварювання можуть застосовуватися дроти типу Нп-40, Нп-50, Нп-65, Нп-40Х13 відповідно до вимог

ГОСТ 10543-82. Вибір конкретного матеріалу залежить від умов роботи відновлюваної поверхні, необхідної твердості та зносостійкості покриття.

Обладнання для електроконтактного наварювання зазвичай складається з механізму приводу обертання деталі, зварювальної головки, роликів електродів, системи подачі присадкового матеріалу та джерела зварювального струму. На ремонтних підприємствах для виконання таких операцій можуть застосовуватися напівавтоматичні установки типу А-537, ПШ-5 та ПШ-54.

Залежно від форми та виду присадкового матеріалу електроконтактне наварювання може виконуватися із застосуванням стрічки, дроту, порошкових або гранульованих матеріалів, а також стрічок, армованих твердосплавними порошками. У разі використання порошкових матеріалів процес фактично належить до технологій припикання, які пов'язані з методами порошкової металургії.

Контактне наварювання стрічки виконують на спеціалізованих установках, де присадковий матеріал і поверхневий шар деталі одночасно нагріваються короткочасними імпульсами струму та деформуються під дією притискного зусилля. Тривалість таких імпульсів зазвичай становить 0,02...0,16 с, а сила струму може перебувати в межах 7...30 кА. У результаті на поверхні утворюються окремі зварні точки, які розміщуються по гвинтовій лінії та частково перекривають одна одну.

Таке розташування точок забезпечується обертанням деталі та поздовжнім переміщенням зварювальної головки. Швидкість обертання узгоджується з частотою подачі імпульсів струму, завдяки чому формується суцільний наварений шар із необхідною щільністю покриття.

Для керування процесом використовують регулятори циклу зварювання або конденсаторні джерела живлення, які дають змогу точно задавати параметри імпульсів. Щоб зменшити нагрівання деталі та підвищити твердість нанесеного шару, у зону контакту можуть подавати охолоджувальну рідину.

Найчастіше контактне наварювання стрічки застосовують для відновлення посадкових поверхонь під підшипники у корпусних деталях і на валах. Для розтискного кулака цей спосіб може бути корисним під час ремонту зношених циліндричних ділянок або шийок, які працюють у спряженні з втулками.

Контактне наварювання дроту переважно використовують для відновлення різьбових частин валів. Діаметр присадкового дроту підбирають так, щоб під час наварювання він повністю заповнював западину різьби та утворював необхідний припуск для подальшої механічної обробки. З урахуванням зношування витків цей припуск доцільно приймати близьким до величини кроку різьби.

За результатами аналізу існуючих способів відновлення для ремонту розтискного кулака можна рекомендувати застосування вібродугового наплавлення при відновленні опорних шийок та ремонті шліцьової частини. Для усунення сколів і тріщин на профільній поверхні кулачкової головки доцільно використовувати ручне дугове зварювання покритим електродом із подальшою механічною обробкою відновленої ділянки.

Залежно від типу та геометричної форми присадкового матеріалу розрізняють кілька різновидів електроконтактного наварювання. Найчастіше застосовують наварювання стрічкою або дротом, а також нанесення порошкових і гранульованих матеріалів. Окрему групу становлять армовані стрічки, до складу яких входить тврдосплавний порошок. При використанні порошкоподібних матеріалів процес фактично є різновидом припікання, що належить до технологій порошкової металургії.

Контактне наварювання стрічки виконують на спеціальних установках шляхом одночасного нагрівання і пластичного деформування присадкового металу та поверхневого шару деталі. Нагрівання здійснюється короткими імпульсами струму тривалістю 0,02...0,16 с при силі струму 7...30 кА. У місцях контакту утворюються окремі зварні точки, які розміщуються по гвинтовій траєкторії та частково перекривають одна одну як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках.

Таке формування шару забезпечується узгодженим обертанням деталі та поздовжнім переміщенням зварювальної головки. Швидкість обертання вибирають відповідно до частоти імпульсів струму, що дає змогу отримати рівномірне покриття по всій відновлюваній поверхні.

Для регулювання режиму використовують пристрої керування циклом зварювання, які застосовуються у серійних контактних машинах, або

конденсаторні джерела живлення. Щоб зменшити перегрів деталі та підвищити твердість нанесеного шару, у зону наварювання подають охолоджувальну рідину.

Найбільш поширене застосування контактне наварювання стрічки отримало при відновленні посадкових місць під підшипники у корпусних деталях і на валах. Для розтискного кулака цей спосіб може бути використаний під час ремонту зношених опорних шийок або циліндричних поверхонь, які працюють у спряженні з втулками.

Контактне наварювання дротом здебільшого застосовують для відновлення різбових ділянок валів. Діаметр присадкового дроту підбирають так, щоб у процесі наварювання він повністю заповнював западини різьби та створював необхідний припуск для подальшої механічної обробки. З урахуванням зношення витків цей припуск доцільно приймати приблизно рівним кроку різьби.

За результатами аналізу розглянутих способів для відновлення розтискного кулака доцільно застосовувати вібродугове наплавлення при ремонті опорних шийок і шліцьової частини. Пошкодження профільної поверхні кулачкової головки у вигляді сколів або тріщин раціонально усувати ручним дуговим зварюванням покритим електродом із подальшим доведенням форми робочої поверхні механічною обробкою [6, 20, 25].

2.2 Структурно-послідовний технологічний процес відновлення розтискного кулака вибраними способами

Відновлення розтискного кулака гальмівного механізму доцільно виконувати за комбінованою технологією, оскільки окремі зони деталі мають різний характер зношування та працюють в неоднакових умовах навантаження. Опорні шийки та шліцьову частину доцільно відновлювати вібродуговим наплавленням, а локальні пошкодження профільної поверхні кулачкової головки – ручним дуговим зварюванням покритим електродом із подальшою механічною обробкою [3, 6, 28].

2.2 - Технологічний процес відновлення деталі.

№ операції	Назва операції	Зміст виконуваних робіт
005	Приймання деталі в ремонт	Розтискний кулак надходить на ремонтну дільницю після демонтажу з гальмівного механізму. Виконується попередній огляд, перевіряється комплектність і наявність видимих пошкоджень.
010	Очищення деталі	Поверхню деталі очищають від бруду, мастила, продуктів корозії та залишків абразивного пилю. Особливу увагу приділяють кулачковій головці, опорним шийкам, різьбовій і шліцьовій частинам.
015	Дефектація	Проводять візуальний і вимірювальний контроль. Визначають знос опорних шийок, стан шліців, наявність сколів, тріщин або задирів на профільній поверхні кулачкової головки.
020	Підготовка опорних шийок до наплавлення	Зношені шийки проточують або зачищають до отримання чистої металевої поверхні. Видаляють корозійні раковини, задири та залишки старих пошкоджених шарів.
025	Вібродугове наплавлення опорних шийок	На поверхню шийок наносять шар металу вібродуговим способом. Наплавлення виконують рівномірно по колу з урахуванням припуску на подальшу механічну обробку.
030	Підготовка шліцьової частини	Шліцьовий хвостовик очищають, зношені або пошкоджені ділянки зачищають. Поверхні, які підлягають відновленню, готують до нанесення металу.
035	Вібродугове наплавлення шліців	Зношені грані або ділянки шліців відновлюють наплавленням із забезпеченням необхідного припуску для подальшого формування профілю. Після наплавлення контролюють відсутність перегріву та деформації хвостовика.

040	Підготовка кулачкової головки	Пошкоджені ділянки профільної поверхні кулачка зачищають до чистого металу. Кромки сколів розкривають, а тріщини видаляють до повного усунення дефектної зони.
045	Ручне дугове зварювання кулачкової головки	Сколи та локальні пошкодження профілю заварюють покритими електродами. Наплавлений метал наносять невеликими валиками, щоб уникнути перегріву та зміни форми кулачка.
050	Попередня механічна обробка	Після наплавлення та зварювання видаляють надлишок металу. Опорні шийки проточують, шліцьову частину обробляють до наближеного профілю, а кулачкову головку доводять до початкової геометричної форми.
055	Термічне або локальне зміцнення за потреби	За необхідності виконують місцеве зміцнення робочих поверхонь, щоб забезпечити потрібну твердість і зносостійкість відновлених ділянок.
060	Остаточна механічна обробка	Опорні шийки шліфують до заданого ремонтного або номінального розміру. Профіль кулачкової головки доводять за шаблоном, а шліці остаточно формують відповідно до спряження з важелем гальмівного приводу.
065	Контроль геометрії	Перевіряють діаметри шийок, радіальне биття вала, правильність профілю кулачка, стан шліцьового з'єднання та якість різьбової ділянки.
070	Контроль якості відновлених поверхонь	Виконують візуальний контроль, вимірювання шорсткості, перевірку твердості та контроль на відсутність тріщин у зонах наплавлення і зварювання.
075	Консервація та передача на складання	Відновлену деталь очищають від технологічних забруднень, покривають захисним мастилом і передають на складання гальмівного механізму.

2.3 Обґрунтування і вибір технологічного обладнання, ріжучого, вимірювального та контрольного інструменту

Для забезпечення розробленого технологічного процесу відновлення розтискного кулака гальмівного механізму необхідно підібрати обладнання та інструмент, які дають змогу якісно виконати очищення, дефектацію, підготовку поверхонь, вібродугове наплавлення опорних шийок і шліцьової частини, ручне дугове заварювання пошкоджень кулачкової головки, а також остаточну механічну обробку та контроль відновленої деталі[1, 17, 28].

Оскільки розтискний кулак належить до деталей типу «вал», основну увагу потрібно приділити збереженню його співвісності, правильності профілю кулачкової головки, точності опорних шийок і стану шліцьового хвостовика. Тому обладнання повинно забезпечувати не лише нанесення відновлювального шару, а й подальше доведення поверхонь до заданих розмірів.

Для очищення деталі перед дефектацією доцільно застосовувати мийну установку камерного типу або ванну для промивання деталей у технічному мийному розчині. Це дає змогу видалити мастило, пил, продукти корозії та забруднення з важкодоступних ділянок, зокрема з різьби, шліців і перехідних радіусів. Після миття деталь висушують стисненим повітрям і передають на огляд.

Для підготовки зношених поверхонь до наплавлення вибирається токарно-гвинторізний верстат [5, 17]. Він необхідний для попереднього проточування опорних шийок, зняття нерівномірного зносу, видалення корозійних пошкоджень і формування правильної циліндричної поверхні перед нанесенням металу. Також цей верстат використовується після наплавлення для чорнової та чистової обробки відновлених ділянок.

Вібродугове наплавлення опорних шийок і шліцьової частини доцільно виконувати на спеціальній установці для вібродугового наплавлення деталей типу «вал». Така установка повинна мати механізм обертання деталі, пристрій подачі електродного дроту, вібраційний механізм, джерело зварювального струму та систему охолодження або подачі технологічної рідини. Вибір цього обладнання обґрунтовується тим, що вібродугове наплавлення забезпечує

порівняно малу глибину проплавлення, невелику зону термічного впливу та можливість відновлення деталей із незначним зносом.

Для усунення сколів і локальних пошкоджень кулачкової головки вибирається зварювальний випрямляч або інвертор для ручного дугового зварювання покритими електродами. Ручне дугове зварювання є доцільним для цієї зони, оскільки профіль кулачка має складну форму, а пошкодження часто мають локальний характер. Зварник може точно сформувати наплавлений валик у потрібному місці, не перегріваючи всю деталь.

Остаточне доведення опорних шийок до потрібного розміру виконується на круглошліфувальному верстаті. Його застосування необхідне для забезпечення точного діаметра, правильної геометричної форми, мінімального биття та потрібної шорсткості поверхні. Профіль кулачкової головки після зварювання доводиться шліфуванням або обробкою за шаблоном, оскільки від правильності його форми залежить рівномірність розведення гальмівних колодок.

Для механічної обробки застосовується такий ріжучий інструмент: прохідні та підрізні токарні різці з твердосплавними пластинами, канавкові різці для обробки переходів, різьбовий різець або плашка для відновлення різьбової ділянки, шліфувальні круги для чистової обробки шийок, слюсарні напилки та абразивні бруски для зачищення локальних дефектів. Для підготовки тріщин і сколів на кулачковій головці можуть використовуватися шліфувальна машинка, абразивні круги та борфрези.

Вимірювальний інструмент підбирається з урахуванням контрольованих зон деталі [5, 13, 17]. Для перевірки діаметрів опорних шийок використовують мікрометр, для загального контролю довжин і діаметрів – штангенциркуль, для перевірки биття вала – індикатор годинникового типу з установленням деталі у призми або центри. Різьбову ділянку контролюють різьбовим калібром або відповідною гайкою, а шліцьову частину – шліцьовим калібром чи контрольним важелем гальмівного приводу.

Для контролю якості відновлення необхідно застосовувати візуально-вимірювальний контроль, перевірку твердості, контроль шорсткості та методи виявлення поверхневих тріщин. Особливу увагу приділяють перехідним

радіусам, зоні кулачкової головки та місцям наплавлення. Для виявлення прихованих поверхневих дефектів доцільно застосовувати капілярний або магнітопорошковий контроль.

Таблиця 2.3 – Технологічного обладнання для забезпечення даної технології ремонту.

№ операції	Технологічне обладнання	Ріжучий та допоміжний інструмент	Вимірювальний і контрольний інструмент
005	Верстак слюсарний, стелаж для деталей	Щітка, ганчір'я, маркер	Візуальний огляд
010	Мийна установка або ванна для промивання деталей	Металева щітка, скребок, стиснене повітря	Візуальний контроль чистоти поверхні
015	Верстак, призми, контрольна плита	Лупа, щупи	Штангенциркуль, мікрометр, індикатор годинникового типу, різьбовий і шліцьовий калібри
020	Токарно-гвинторізний верстат	Прохідний різець, підрізний різець, абразивна шкурка	Мікрометр, штангенциркуль
025	Установка для вібродугового наплавлення валів	Електродний дріт, пристрій подачі дроту	Візуальний контроль шару, шаблон припуску
030	Верстак, шліфувальна машинка	Металева щітка, борфреза, абразивний круг	Шліцьовий калібр, контрольний важіль
035	Установка для вібродугового наплавлення	Електродний дріт, пристрій локального наплавлення	Візуальний контроль, контроль профілю шліців

040	Верстак, ручна шліфувальна машинка	Абразивний круг, борфреза, зубило, напилки	Лупа, капілярний або магнітопорошковий контроль
045	Зварювальний інвертор для РДЗ	Покриті електроди, молоток зварника, щітка	Візуальний контроль шва, контроль відсутності тріщин
050	Токарно-гвинто-різний верстат, слюсарний верстак	Токарні різці, напилки, абразивні бруски	Штангенциркуль, мікрометр, шаблон профілю кулачка
055	Установка ТВЧ або термічна піч	Пристрої для нагрівання та охолодження	Твердомір, візуальний контроль
060	Круглошліфувальний верстат, токарний верстат	Шліфувальний круг, чистові різці, різьбовий різець	Мікрометр, індикатор, різьбовий калібр
065	Контрольна плита, призми, центри	—	Індикатор годинникового типу, мікрометр, штангенциркуль, шаблон кулачка
070	Контрольний пост	—	Твердомір, профілометр, капілярний або магнітопорошковий комплект
075	Верстак, тара для готових деталей	Щітка, мастильниця, захисне мастило	Остаточний візуальний контроль

2.4 Розрахунок режимів технологічних операцій відновлення розтискного кулака

Розрахунок режимів виконуємо для основних операцій технологічного процесу: очищення, попередньої механічної обробки, вібродугового наплавлення опорних шийок і шліцьової частини, ручного дугового заварювання кулачкової головки, токарної та шліфувальної обробки після відновлення [1, 2, 17].

Для розрахунку приймаємо, що розтискний кулак є деталлю типу «вал» із локальним зносом опорних шийок, пошкодженням окремих граней шліцьового хвостовика та місцевими дефектами профільної поверхні кулачкової головки.

010 Режими очищення деталі. Очищення виконується в мийній установці з використанням лужного мийного розчину.

Приймаємо:

температура мийного розчину – 70...80 °С;

тривалість миття – 10...15 хв;

тиск струменя мийної рідини – 0,25...0,35 МПа;

тривалість сушіння стисненим повітрям – 3...5 хв.

Для розрахунку приймаємо середній час очищення:

$$t_{\text{оч}} = 15 + 5 = 20 \text{ хв}$$

Отже, орієнтовна тривалість операції очищення розтискного кулака становить 20 хв.

020 Режими попереднього точіння опорних шийок. Перед вібродуговим наплавленням опорні шийки необхідно проточити для видалення зношеного шару, корозії та задирів.

Приймаємо:

діаметр шийки до обробки:

$$D = 42 \text{ мм}$$

довжина оброблюваної шийки:

$$L = 45 \text{ мм}$$

глибина різання:

$$t = 0,5 \text{ мм}$$

подача:

$$S = 0,25 \text{ мм/об}$$

швидкість різання для сталі при чорновому точінні:

$$V = 35 \text{ м/хв}$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 42} = 265 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстата:

$$n = 250 \text{ об/хв}$$

Основний час точіння:

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n}$$

$$T_o = \frac{45}{0,25 \cdot 250} = 0,72 \text{ хв}$$

З урахуванням підходу та виходу різця приймаємо:

$$T_o = 1,0 \text{ хв на одну шийку}$$

Для двох опорних шийок:

$$T_{\text{о заг}} = 1,0 \cdot 2 = 2,0 \text{ хв}$$

Отже, основний час попереднього точіння двох шийок становить 2,0 хв.

025 Режими вібродугового наплавлення опорних шийок. Вібродугове наплавлення застосовується для нарощування зношених опорних шийок з мінімальним тепловим впливом на деталь.

Приймаємо такі режими:

діаметр електродного дроту – 1,6 мм;

сила струму:

$$I = 160 \text{ А}$$

напруга дуги:

$$U = 22 \text{ В}$$

швидкість наплавлення:

$$V_{\text{н}} = 0,18 \text{ м/хв}$$

товщина наплавленого шару з припуском:

$$h = 1,5 \text{ мм}$$

коефіцієнт наплавлення:

$$\alpha_H = 9 \text{ г/(А\год)}$$

Масу наплавленого металу за годину визначаємо:

$$G = \alpha_H \cdot I$$

$$G = 9 \cdot 160 = 1440 \text{ г/год} = 1,44 \text{ кг/год}$$

Площа поверхні однієї шийки:

$$F = \pi \cdot D \cdot L$$

$$F = 3,14 \cdot 42 \cdot 45 = 5935 \text{ мм}^2$$

Об'єм металу для наплавлення однієї шийки:

$$V_m = F \cdot h$$

$$V_m = 5935 \cdot 1,5 = 8902 \text{ мм}^3 = 8,9 \text{ см}^3$$

Маса наплавленого металу:

$$m = V_m \cdot \rho$$

де густина сталі:

$$\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$$

$$m = 8,9 \cdot 7,85 = 69,9 \text{ г}$$

Час наплавлення однієї шийки:

$$T_H = \frac{m \cdot 60}{G}$$

$$T_H = \frac{69,9 \cdot 60}{1440} = 2,9 \text{ хв}$$

Для двох шийок:

$$T_{H,заг} = 2,9 \cdot 2 = 5,8 \text{ хв}$$

Приймаємо з урахуванням встановлення деталі та коригування режиму:

$$T_{H,заг} = 8 \text{ хв}$$

Отже, вібродугове наплавлення двох опорних шийок виконується орієнтовно за 8 хв.

035 Режими вібродугового наплавлення шліцьової частини.

Шліцьовий хвостовик відновлюють локально, лише в місцях зношування бокових граней. Повне наплавлення всієї шліцьової частини недоцільне, оскільки це ускладнює подальше формування профілю.

Приймаємо:

сила струму:

$$I = 140 \text{ A}$$

напруга дуги:

$$U = 20 \text{ В}$$

діаметр дроту – 1,2...1,6 мм;

коефіцієнт наплавлення:

$$\alpha_{\text{н}} = 8,5 \text{ г/(А\год)}$$

орієнтовна маса металу для відновлення шліців:

$$m = 35 \text{ г}$$

Продуктивність наплавлення:

$$G = I \cdot \alpha_{\text{н}}$$

$$G = 140 \cdot 8,5 = 1190 \text{ г/год}$$

Основний час наплавлення:

$$T_{\text{н}} = \frac{m \cdot 60}{G}$$

$$T_{\text{н}} = \frac{35 \cdot 60}{1190} = 1,76 \text{ хв}$$

З урахуванням переривчастого характеру роботи, очищення між проходами та контролю приймаємо:

$$T_{\text{н}} = 5 \text{ хв}$$

Отже, тривалість вібродугового відновлення шліцьової частини становить приблизно 5 хв.

045 Режими ручного дугового зварювання кулачкової головки. Ручне дугове зварювання застосовується для зварювання сколів і локальних пошкоджень профільної поверхні кулачкової головки.

Приймаємо електрод діаметром:

$$d_e = 3 \text{ мм}$$

Силу зварювального струму визначаємо за наближеною залежністю:

$$I = (35...45)d_e$$

$$I = 40 \cdot 3 = 120 \text{ А}$$

Приймаємо:

сила струму – 110...120 А;

напруга дуги – 22...26 В;

діаметр електрода – 3 мм;

довжина заварюваної ділянки – 25...35 мм;

кількість валиків – 2...3.

Для розрахунку приймаємо:

$$L = 30 \text{ мм}$$

Швидкість ручного дугового зварювання:

$$V_{зв} = 6 \text{ м/год} = 100 \text{ мм/хв}$$

Основний час зварювання одного валика:

$$T_o = \frac{L}{V_{зв}}$$

$$T_o = \frac{30}{100} = 0,3 \text{ хв}$$

Для трьох валиків:

$$T_{о\text{заг}} = 0,3 \cdot 3 = 0,9 \text{ хв}$$

З урахуванням зміни електрода, очищення шлаку та огляду приймаємо:

$$T_{зв} = 6 \text{ хв}$$

Отже, зварювання локальних пошкоджень кулачкової головки виконується орієнтовно за 6 хв.

050 Режими чорнового точіння після наплавлення. Після наплавлення опорні шийки обробляють на токарному верстаті для видалення надлишкового металу.

Приймаємо:

діаметр після наплавлення:

$$D = 45 \text{ мм}$$

кінцевий діаметр після чоргової обробки:

$$D_1 = 42,4 \text{ мм}$$

глибина різання:

$$t = 0,8 \text{ мм}$$

подача:

$$S = 0,3 \text{ мм/об}$$

швидкість різання:

$$V = 30 \text{ м/хв}$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 45} = 212 \text{ об/хв}$$

Приймаємо:

$$n = 200 \text{ об/хв}$$

Основний час обробки однієї шийки:

$$T_o = \frac{45}{0,3 \cdot 200} = 0,75 \text{ хв}$$

Для двох шийок з урахуванням двох проходів:

$$T_{\text{озаг}} = 0,75 \cdot 2 \cdot 2 = 3,0 \text{ хв}$$

Отже, основний час чорнового точіння двох наплавлених шийок становить 3,0 хв.

055 Режими чистового точіння. Чистове точіння виконується перед шліфуванням для наближення поверхні до остаточного розміру.

Приймаємо:

глибина різання:

$$t = 0,2 \text{ мм}$$

подача:

$$S = 0,12 \text{ мм/об}$$

швидкість різання:

$$V = 45 \text{ м/хв}$$

діаметр обробки:

$$D = 42,4 \text{ мм}$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot 45}{3,14 \cdot 42,4} = 338 \text{ об/хв}$$

Приймаємо:

$$n = 315 \text{ об/хв}$$

Основний час обробки однієї шийки:

$$T_o = \frac{45}{0,12 \cdot 315} = 1,19 \text{ хв}$$

Для двох шийок:

$$T_{\text{озаг}} = 1,19 \cdot 2 = 2,38 \text{ хв}$$

Приймаємо:

$$T_{\text{озаг}} = 2,4 \text{ хв}$$

060 Режими шліфування опорних шийок. Шліфування забезпечує точний розмір, правильну геометрію та необхідну шорсткість робочої поверхні.

Приймаємо:

діаметр шийки:

$$D = 42 \text{ мм}$$

довжина шліфування:

$$L = 45 \text{ мм}$$

швидкість обертання деталі:

$$V_d = 18 \text{ м/хв}$$

поздовжня подача:

$$S_{\text{позд}} = 0,4B$$

де ширина круга:

$$B = 25 \text{ мм}$$

$$S_{\text{позд}} = 0,4 \cdot 25 = 10 \text{ мм/об}$$

поперечна подача на хід – 0,005...0,01 мм;

припуск під шліфування – 0,2 мм.

Частоту обертання деталі визначаємо:

$$n = \frac{1000 \cdot 18}{3,14 \cdot 42} = 136 \text{ об/хв}$$

Приймаємо:

$$n = 125 \text{ об/хв}$$

Основний час шліфування однієї шийки орієнтовно приймаємо:

$$T_o = 2,5 \text{ хв}$$

Для двох шийок:

$$T_{\text{озаг}} = 2,5 \cdot 2 = 5,0 \text{ хв}$$

Отже, шліфування двох опорних шийок триває приблизно 5 хв.

065 Режими механічного доведення профілю кулачкової головки.

Після заварювання кулачкову головку обробляють шліфуванням або абразивним інструментом за шаблоном.

Приймаємо:

припуск на обробку – 0,5...1,0 мм;

швидкість обертання шліфувального круга – 25...35 м/с;

подача вручну – плавна, без перегріву поверхні;

контроль профілю – за шаблоном.

Орієнтовний час доведення профілю:

$$T = 8...12 \text{ хв}$$

Приймаємо:

$$T = 10 \text{ хв}$$

070 Режими контролю відновленої деталі. Після завершення механічної обробки виконують контроль геометричних параметрів і якості поверхонь.

Контролюють:

діаметр опорних шийок – мікрометром;

биття вала – індикатором годинникового типу;

профіль кулачкової головки – шаблоном;

стан шліців – шліцьовим калібром або контрольним важелем;

наявність тріщин – капілярним або магнітопорошковим контролем.

Приймаємо тривалість контролю:

$$T_k = 10...15 \text{ хв}$$

Для відповідальної деталі гальмівної системи приймаємо:

$$T_k = 15 \text{ хв}$$

Таблиця 2.4 - Режимів технологічних операцій.

№ операції	Назва операції	Основні режими	Розрахунковий час, хв
010	Очищення деталі	70...80 °С; 0,25...0,35 МПа	20
020	Попереднє точіння шийок	V = 35 м/хв; n = 250 об/хв; S = 0,25 мм/об; t = 0,5 мм	2

025	Вібродугове наплавлення шийок	$I = 160 \text{ A}; U = 22 \text{ B};$ дріт 1,6 мм; $h = 1,5$ мм	8
035	Вібродугове наплавлення шліців	$I = 140 \text{ A}; U = 20 \text{ B};$ дріт 1,2...1,6 мм	5
045	Ручне дугове зварювання кулачкової головки	$d_e = 3 \text{ мм}; I =$ $110...120 \text{ A}; U =$ $22...26 \text{ B}$	6
050	Чорнове точіння після наплавлення	$V = 30 \text{ м/хв}; n = 200$ об/хв; $S = 0,3 \text{ мм/об}; t$ $= 0,8 \text{ мм}$	3
055	Чистове точіння	$V = 45 \text{ м/хв}; n = 315$ об/хв; $S = 0,12 \text{ мм/об};$ $t = 0,2 \text{ мм}$	2,4
060	Шліфування шийок	$V_d = 18 \text{ м/хв}; n = 125$ об/хв; $S_{\text{позд}} = 10$ мм/об	5
065	Доведення профілю кулачка	Шліфування за шаблоном; припуск $0,5...1,0 \text{ мм}$	10
070	Контроль якості	Мікрометр, індикатор, шаблон, контроль тріщин	15

Загальна тривалість основних технологічних операцій:

$$T_{\Sigma} = 20 + 2 + 8 + 5 + 6 + 3 + 2,4 + 5 + 10 + 15 = 76,4 \text{ хв}$$

Приймаємо:

$$T_{\Sigma} = 77 \text{ хв}$$

Орієнтовна тривалість основних операцій відновлення одного розтискного кулака становить 77 хв, без урахування часу на міжопераційне транспортування, очікування, оформлення документації та можливі додаткові контрольні операції.

2.5 Економічний розрахунок вартості ремонту розтискного кулака та порівняння з новою деталлю

Економічну доцільність відновлення розтискного кулака визначаємо шляхом порівняння собівартості ремонту з орієнтовною ринковою вартістю нової деталі. Оскільки точну вартість саме розтискного кулака заднього моста НУ 1175 у відкритих джерелах знайти складно, для порівняння приймаємо ціну аналогічних розтискних кулаків вантажних автомобілів. На українських торгових майданчиках розтискні кулаки гальмівного механізму для вантажної техніки пропонуються орієнтовно від 1490 грн до 3700 грн, залежно від моделі, виробника та виконання [1, 2, 29].

Для розрахунку приймаємо середню орієнтовну вартість нової деталі:

$$C_n = 3000 \text{ грн}$$

Тривалість основних операцій відновлення, згідно з попереднім розрахунком, становить:

$$T = 77 \text{ хв} = 1,28 \text{ год}$$

Розрахунок заробітної плати виконавця. Приймаємо годинну тарифну ставку ремонтного робітника:

$$C_{\text{год}} = 170 \text{ грн/год}$$

Основна заробітна плата:

$$Z_{\text{осн}} = T \cdot C_{\text{год}}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1,28 \cdot 170 = 217,6 \text{ грн}$$

Приймаємо:

$$Z_{\text{осн}} = 218 \text{ грн}$$

Нарахування на заробітну плату приймаємо на рівні 22 %:

$$Z_{\text{нар}} = 218 \cdot 0,22 = 48 \text{ грн}$$

До матеріальних витрат належать електродний дріт для вібродугового наплавлення, покриті електроди для ручного дугового зварювання, мийний розчин, абразивні матеріали та захисне мастило [1, 2, 29].

Таблиця 2.5 - Використаних матеріалів і їх вартість.

Матеріал	Вартість, грн
----------	---------------

Електродний дріт для наплавлення	32
Покриті електроди	12
Мийний розчин	15
Абразивні круги, шкурка, бруски	40
Захисне мастило	8
Разом матеріали	107

Приймаємо з урахуванням технологічних втрат:

$$C_M = 120 \text{ грн}$$

Витрати електроенергії враховують роботу мийної установки, токарного верстата, установки вібродугового наплавлення, зварювального інвертора, шліфувального верстата та допоміжного інструменту.

Орієнтовно приймаємо споживання електроенергії:

$$W = 3,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість 1 кВт·год для виробничих умов приймаємо:

$$C_e = 8 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$$

$$C_{ел} = W \cdot C_e$$

$$C_{ел} = 3,2 \cdot 8 = 25,6 \text{ грн}$$

Приймаємо:

$$C_{ел} = 26 \text{ грн}$$

Витрати на експлуатацію обладнання. До цієї статті належать витрати на амортизацію, обслуговування та поточний ремонт обладнання. Приймаємо умовну вартість експлуатації обладнання:

$$C_{об.год} = 120 \text{ грн/год}$$

$$C_{об} = T \cdot C_{об.год}$$

$$C_{об} = 1,28 \cdot 120 = 153,6 \text{ грн}$$

Приймаємо:

$$C_{об} = 154 \text{ грн}$$

Загальновиробничі витрати приймаємо у розмірі 60 % від суми основної заробітної плати та витрат на експлуатацію обладнання:

$$C_{заг} = 0,6(Z_{осн} + C_{об})$$

$$C_{заг} = 0,6(218 + 154) = 223 \text{ грн}$$

Загальна собівартість ремонту

$$C_{\text{рем}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{нар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{ел}} + C_{\text{об}} + C_{\text{заг}}$$

$$C_{\text{рем}} = 218 + 48 + 120 + 26 + 154 + 223 = 789 \text{ грн}$$

Орієнтовна виробнича собівартість ремонту одного розтискного кулака становить:

$$C_{\text{рем}} = 789 \text{ грн}$$

Для умов ремонтного підприємства з урахуванням прибутку 20 %:

$$C_{\text{рем.п}} = 789 \cdot 1,2 = 947 \text{ грн}$$

Якщо враховувати ПДВ 20 %, кінцева договірна вартість може становити:

$$C_{\text{рем.к}} = 947 \cdot 1,2 = 1136 \text{ грн}$$

Таблиця 2.6 - Порівняння з вартістю нової деталі.

Показник	Значення, грн
Орієнтовна вартість нової деталі	3000
Виробнича собівартість ремонту	789
Орієнтовна договірна вартість ремонту без ПДВ	947
Орієнтовна договірна вартість ремонту з ПДВ	1136

Економія при порівнянні виробничої собівартості ремонту з купівлею нової деталі [6, 7, 29]:

$$E = C_{\text{н}} - C_{\text{рем}}$$

$$E = 3000 - 789 = 2211 \text{ грн}$$

Відносна економія:

$$E_{\%} = \frac{E}{C_{\text{н}}} \cdot 100$$

$$E_{\%} = \frac{2211}{3000} \cdot 100 = 73,7\%$$

Якщо порівнювати нову деталь із договірною вартістю ремонту з ПДВ:

$$E = 3000 - 1136 = 1864 \text{ грн}$$

$$E_{\%} = \frac{1864}{3000} \cdot 100 = 62,1\%$$

Проведений розрахунок показує, що відновлення розтискного кулака вибраними способами є економічно доцільним. Виробнича собівартість ремонту становить близько 789 грн, що приблизно у 3,8 раза менше за орієнтовну вартість

нової деталі. Навіть з урахуванням прибутку підприємства та ПДВ ремонт залишається дешевшим приблизно на 62 %. Отже, за відсутності глибоких тріщин, критичного зносу шліців і значного порушення геометрії деталі її відновлення є раціональним рішенням для ремонтного виробництва.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розроблення пристосування для контролю якості відновлення розтискного кулака

Для забезпечення якісного виконання технології відновлення розтискного кулака гальмівного механізму доцільно розробити спеціальне контрольне пристосування, яке дає змогу перевіряти геометрію деталі після наплавлення, зварювання та механічної обробки [13, 17]. Основним призначенням такого пристосування є контроль співвісності вала, радіального биття опорних шийок, правильності профілю кулачкової головки та стану шліцьового хвостовика.

Запропоноване пристосування являє собою контрольний стенд настільного типу, на якому розтискний кулак встановлюється в опорні призми або центри. Фіксація деталі виконується притискними планками, що забезпечують її нерухоме положення під час вимірювання. На напрямній плиті розміщується індикатор годинникового типу, який може переміщуватися вздовж осі вала та встановлюватися навпроти потрібної контрольованої зони.

Конструктивно пристосування складається з таких основних елементів: основної плити, двох регульованих призм, притискного механізму, індикаторної стійки, змінного шаблону профілю кулачкової головки, контрольної втулки для шийок та шліцьового калібра для перевірки хвостовика. Така будова дає змогу виконувати комплексний контроль однієї деталі без її багаторазового переустановлення.

Основна плита служить базовим елементом пристосування. Вона повинна мати достатню жорсткість і рівну робочу поверхню, щоб виключити похибки під час контролю. На плиті закріплюються призми, у які вкладається вал розтискного кулака. Призми бажано виконати регульованими, щоб пристосування можна було використовувати для деталей із незначними відмінностями за діаметром опорних поверхонь [5, 17].

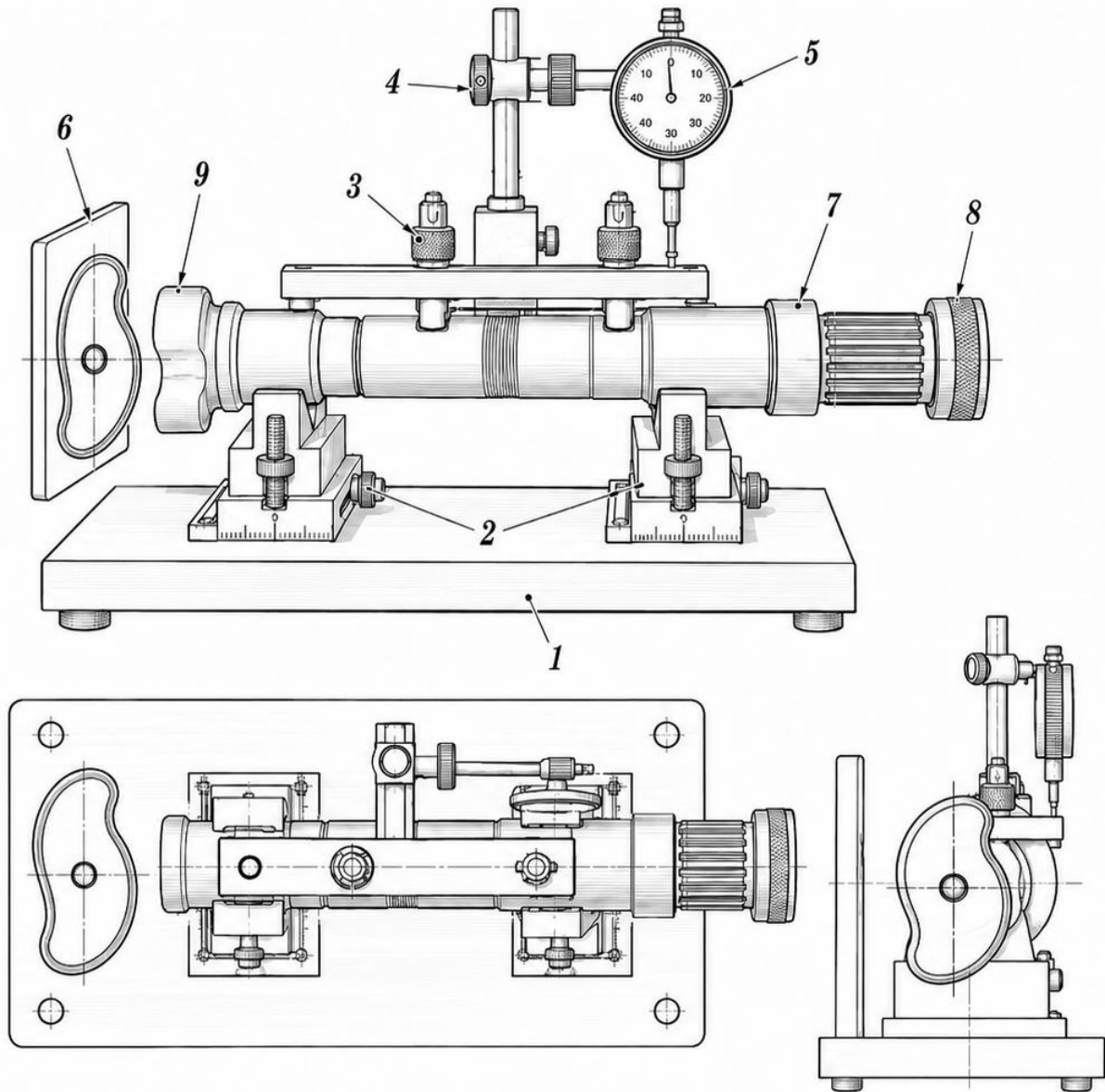


Рисунок – Пристосування для контролю якості відновлення розтискного кулака:

1 - Основна плита. 2 - Регульовані призми. 3 - Притискна планка. 4 - Індикаторна стійка. 5 - Індикатор годинникового типу. 6 - Шаблон профілю кулачка. 7 - Контрольна втулка. 8 - Шліцьовий калібр. 9 - Розтискний кулак.

Притискний механізм забезпечує надійну фіксацію деталі під час вимірювання. Він може бути виконаний у вигляді гвинтового або ексцентрикового притиска. Для запобігання пошкодженню відновлених поверхонь на притискній планці доцільно передбачити м'яку змінну накладку з міді, латуні або полімерного матеріалу.

Індикатор годинникового типу використовується для контролю радіального биття опорних шийок і циліндричної частини вала. Під час перевірки

деталь плавно повертають у призмах, а наконечник індикатора встановлюють на контрольовану поверхню. За відхиленням стрілки визначають величину биття. Якщо покази перевищують допустиме значення, деталь направляють на додаткову правку або повторну механічну обробку.

Для перевірки профілю кулачкової головки використовується змінний шаблон, виготовлений за номінальною формою робочої поверхні кулачка. Шаблон прикладають до відновленої поверхні після механічного доведення. Наявність просвітів, нерівномірного контакту або відхилення форми свідчить про необхідність додаткового шліфування. Такий контроль є важливим, оскільки неправильний профіль кулачка може спричинити нерівномірне розведення гальмівних колодок.

Шліцьовий хвостовик перевіряється за допомогою контрольної втулки або шліцьового калібра. Калібр повинен входити на хвостовик без заїдань, але й без відчутного бокового люфту. Це дозволяє оцінити якість відновлення шліців і придатність деталі до роботи у з'єднанні з важелем гальмівного приводу.

Контроль діаметрів відновлених шийок виконується мікрометром або спеціальною прохідною контрольної втулкою. Втулка дозволяє швидко перевірити відповідність посадкової поверхні заданому розміру. Якщо втулка не встановлюється або має надмірний люфт, поверхню необхідно повторно обробити.

Послідовність роботи з пристосуванням передбачає встановлення розтискного кулака у призми, фіксацію притискною планкою, перевірку биття опорних шийок індикатором, контроль діаметрів мікрометром або втулкою, перевірку профілю кулачкової головки шаблоном і контроль шліцьового хвостовика калібром. Після завершення вимірювань результати заносять у карту контролю якості відновлення [4, 13, 25].

Застосування такого пристосування дає змогу скоротити час контролю, зменшити кількість похибок під час вимірювання та забезпечити стабільну якість відновлення розтискного кулака. Його використання особливо доцільне на ремонтних дільницях, де відновлення деталей гальмівного механізму виконується серійно або дрібносерійно.

3.2 Розрахунок основних елементів пристосування для контролю якості відновлення розтискного кулака

Розрахунок виконуємо для контрольного пристосування, призначеного для встановлення розтискного кулака після відновлення, перевірки биття вала, посадкових шийок, профілю кулачкової головки та шліцьового хвостовика [5, 15, 17].

Для орієнтовного розрахунку приймаємо такі вихідні дані:

діаметр контрольованої шийки вала – $d = 42\text{мм}$;

загальна довжина деталі – $L = 480\text{мм}$;

маса розтискного кулака – $m = 6\text{кг}$;

сила ваги деталі:

$$G = m \cdot g = 6 \cdot 9,81 = 58,9 \text{ Н}$$

З урахуванням зусилля притиску та запасу приймаємо розрахункове навантаження на пристосування:

$$P = 300 \text{ Н}$$

Коефіцієнт запасу міцності приймаємо:

$$n = 2,5$$

Основна плита є базовим елементом пристосування. На ній закріплюються призми, притискна планка, індикаторна стійка та допоміжні контрольні елементи. Плита повинна мати достатню жорсткість, щоб під час вимірювання не виникали прогини, які можуть впливати на точність контролю [5, 17].

Приймаємо розміри плити:

$$L_{\text{п}} = 600 \text{ мм}; B_{\text{п}} = 220 \text{ мм}; h_{\text{п}} = 25 \text{ мм}$$

Матеріал плити – сталь Ст3 або чавун СЧ20.

Перевіримо плиту на згин. Умовно розглядаємо її як балку, навантажену посередині силою $P = 300\text{Н}$ при відстані між опорами $l = 500\text{мм}$.

Максимальний згинальний момент:

$$M = \frac{P \cdot l}{4}$$

$$M = \frac{300 \cdot 500}{4} = 37500 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Момент опору прямокутного перерізу:

$$W = \frac{B_{\Pi} \cdot h_{\Pi}^2}{6}$$

$$W = \frac{220 \cdot 25^2}{6} = 22917 \text{ мм}^3$$

Напруження згину:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

$$\sigma = \frac{37500}{22917} = 1,64 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження для сталі Ст3 значно вище:

$$[\sigma] = 120 \text{ МПа}$$

Оскільки:

$$1,64 < 120 \text{ МПа}$$

міцність плити забезпечена. Приймаємо основну плиту розміром:

$$600 \times 220 \times 25 \text{ мм}$$

Регульовані призми служать для встановлення вала розтискного кулака та забезпечують його стійке базування під час контролю. Приймаємо дві призми з кутом робочої поверхні:

$$\alpha = 90^\circ$$

Навантаження на одну призму:

$$P_1 = \frac{P}{2}$$

$$P_1 = \frac{300}{2} = 150 \text{ Н}$$

Сила реакції на одну похилу грань призми:

$$R = \frac{P_1}{2 \cdot \sin 45^\circ}$$

$$R = \frac{150}{2 \cdot 0,707} = 106 \text{ Н}$$

Приймаємо ширину контакту призми:

$$b = 30 \text{ мм}$$

довжину опорної частини:

$$l = 45 \text{ мм}$$

Площа контакту:

$$F = b \cdot l$$

$$F = 30 \cdot 45 = 1350 \text{ мм}^2$$

Контактний тиск:

$$p = \frac{R}{F}$$

$$p = \frac{106}{1350} = 0,079 \text{ МПа}$$

Для сталеві призми допустимий контактний тиск значно більший, тому прийняті розміри є достатніми.

Приймаємо призми розміром:

$$80 \times 50 \times 50 \text{ мм}$$

з можливістю регулювання по висоті в межах 10...15 мм.

Притискна планка фіксує розтискний кулак у призмах і запобігає його зміщенню під час вимірювання. Зусилля притиску приймаємо:

$$Q = 250 \text{ Н}$$

Приймаємо довжину планки:

$$L = 260 \text{ мм}$$

ширину:

$$b = 30 \text{ мм}$$

товщину:

$$h = 10 \text{ мм}$$

Перевіряємо планку на згин. Умовно вважаємо, що вона навантажена посередині силою Q , а відстань між опорами становить:

$$l = 180 \text{ мм}$$

Максимальний згинальний момент:

$$M = \frac{Q \cdot l}{4}$$

$$M = \frac{250 \cdot 180}{4} = 11250 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Момент опору перерізу:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$W = \frac{30 \cdot 10^2}{6} = 500 \text{ мм}^3$$

Напруження згину:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

$$\sigma = \frac{11250}{500} = 22,5 \text{ МПа}$$

Для сталі Ст3:

$$[\sigma] = 120 \text{ МПа}$$

Оскільки:

$$22,5 < 120 \text{ МПа}$$

міцність притискної планки забезпечена.

Приймаємо притискну планку:

$$260 \times 30 \times 10 \text{ мм}$$

Індикаторна стійка призначена для закріплення індикатора годинникового типу та його переміщення відносно контрольованої поверхні. Основною вимогою до неї є жорсткість, оскільки навіть незначне відхилення стійки може впливати на точність вимірювання.

Приймаємо висоту стійки:

$$l = 180 \text{ мм}$$

зусилля від індикатора та ручного встановлення:

$$F = 20 \text{ Н}$$

діаметр стійки:

$$d = 16 \text{ мм}$$

Максимальний згинальний момент:

$$M = F \cdot l$$

$$M = 20 \cdot 180 = 3600 \text{ Нмм}$$

Момент опору круглого перерізу:

$$W = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$W = \frac{3,14 \cdot 16^3}{32} = 402 \text{ мм}^3$$

Напруження згину:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

$$\sigma = \frac{3600}{402} = 8,96 \text{ МПа}$$

Оскільки:

$$8,96 < 120 \text{ МПа}$$

стійка має достатню міцність.

Приймаємо індикаторну стійку діаметром:

$$d = 16 \text{ мм}$$

і висотою:

$$l = 180 \text{ мм}$$

Індикатор годинникового типу використовується для перевірки радіального биття вала, опорних шийок і правильності встановлення деталі у призмах [13, 17].

Для контролю розтискного кулака приймаємо індикатор з такими параметрами:

ціна поділки:

$$0,01 \text{ мм}$$

діапазон вимірювання:

$$0 \dots 10 \text{ мм}$$

допустима похибка:

$$\pm 0,01 \dots 0,02 \text{ мм}$$

Такий індикатор забезпечує достатню точність для контролю биття, оскільки для валових деталей гальмівного механізму важливо виявляти навіть невеликі відхилення від співвісності.

Приймаємо:

$$\text{ГЧ} - 10, \text{ ціна поділки } 0,01 \text{ мм}$$

Шаблон профілю кулачка застосовується для перевірки правильності форми кулачкової головки після зварювання і шліфування. Він повинен повторювати номінальний профіль робочої поверхні кулачка.

Приймаємо товщину шаблону:

$$s = 4 \text{ мм}$$

Матеріал – сталь 45 або інструментальна сталь У8.

Шаблон під час контролю не сприймає значних силових навантажень, тому його товщина визначається переважно умовами жорсткості та зручності користування. Для ручного контролю приймаємо зусилля притискання:

$$F = 30 \text{ Н}$$

Площа умовного контакту:

$$A = 4 \cdot 20 = 80 \text{ мм}^2$$

Контактний тиск:

$$p = \frac{F}{A}$$

$$p = \frac{30}{80} = 0,375 \text{ МПа}$$

Це значення є малим для сталевого шаблону, тому прийнята товщина забезпечує достатню жорсткість.

Приймаємо шаблон товщиною:

$$s = 4 \text{ мм}$$

з термічним зміцненням робочої кромки до твердості:

$$HRC 45...50$$

Контрольна втулка призначена для перевірки діаметра та якості посадкової шийки після відновлення. Вона виконується як прохідна контрольна деталь.

Номінальний діаметр контрольованої шийки:

$$d = 42 \text{ мм}$$

Для забезпечення вільного, але точного контролю приймаємо внутрішній діаметр втулки:

$$D_{\text{вн}} = 42,03 \text{ мм}$$

Радіальний контрольний зазор:

$$\Delta = \frac{D_{\text{вн}} - d}{2}$$

$$\Delta = \frac{42,03 - 42,00}{2} = 0,015 \text{ мм}$$

Приймаємо зовнішній діаметр втулки:

$$D_{\text{зов}} = 60 \text{ мм}$$

Товщина стінки втулки:

$$\delta = \frac{D_{\text{зов}} - D_{\text{вн}}}{2}$$

$$\delta = \frac{60 - 42,03}{2} = 8,985 \text{ мм}$$

Прийнята товщина стінки близько 9 мм забезпечує достатню жорсткість втулки та не допускає її деформації під час контролю.

Приймаємо контрольну втулку:

$$D_{\text{вн}} = 42,03 \text{ мм}; D_{\text{зов}} = 60 \text{ мм}; L = 35 \text{ мм}$$

Шліцьовий калібр використовується для перевірки якості відновлення шліцьового хвостовика. Він повинен забезпечити контроль входження по шліцах без заїдань і без надмірного люфту.

Приймаємо параметри шліцьового хвостовика:

зовнішній діаметр шліців:

$$D = 38 \text{ мм}$$

внутрішній діаметр шліців:

$$d = 32 \text{ мм}$$

кількість шліців:

$$z = 16$$

довжина шліцьової частини:

$$L = 55 \text{ мм}$$

Кутовий крок шліців:

$$\varphi = \frac{360^\circ}{z}$$

$$\varphi = \frac{360^\circ}{16} = 22,5^\circ$$

Орієнтовна ширина одного шліца по ділительному колу:

$$b = \frac{\pi \cdot D_m}{2z}$$

де середній діаметр:

$$D_m = \frac{D + d}{2}$$

$$D_m = \frac{38 + 32}{2} = 35 \text{ мм}$$

$$b = \frac{3,14 \cdot 35}{2 \cdot 16} = 3,43 \text{ мм}$$

Для калібра приймаємо робочий зазор на сторону:

$$\Delta = 0,03 \text{ мм}$$

Тоді ширина западини калібра:

$$b_k = b + 2\Delta$$

$$b_k = 3,43 + 2 \cdot 0,03 = 3,49 \text{ мм}$$

Приймаємо шліцьовий калібр-втулку з параметрами:

$$D = 38,05 \text{ мм}; d = 32,05 \text{ мм}; z = 16; L = 35 \text{ мм}$$

Калібр повинен надягатися на шліцьовий хвостовик вручну, без ударів, при цьому не допускається відчутний боковий люфт.

Таблиця 2.7 – Зведені розрахунки елементів пристосування.

Поз.	Елемент пристосування	Прийняті розміри / параметри	Матеріал
1	Основна плита	600 × 220 × 25мм	Ст3 або СЧ20
2	Регульовані призми	80 × 50 × 50мм, кут 90°	Сталь 45
3	Притискна планка	260 × 30 × 10мм	Ст3 або сталь 45
4	Індикаторна стійка	$d = 16\text{мм}, l = 180\text{мм}$	Сталь 45
5	Індикатор годинникового типу	ІЧ-10, ціна поділки 0,01 мм	Стандартний виріб
6	Шаблон профілю кулачка	товщина 4 мм, за профілем кулачка	Сталь 45 або У8
7	Контрольна втулка	$D_{\text{вн}} = 42,03\text{мм}; D_{\text{зов}} = 60\text{мм};$ $L = 35\text{мм}$	Сталь 45
8	Шліцьовий калібр	$D = 38,05\text{мм}; d = 32,05\text{мм};$ $z = 16; L = 35\text{мм}$	Сталь 45 або У8

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час відновлення розтискного кулака

Відновлення розтискного кулака автомобіля MAN M2000 пов'язане з виконанням комплексу ремонтно-відновлювальних операцій, серед яких основними є очищення деталі, дефектація, підготовка зношених поверхонь, вібродугове наплавлення опорних шийок і шліцьової частини, ручне дугове зварювання пошкоджень кулачкової головки, механічна обробка та контроль якості. Кожна з цих операцій супроводжується певними небезпечними та шкідливими виробничими факторами, які необхідно враховувати під час організації робочого місця [10, 11, 30, 31].

На етапі очищення деталі працівник може контактувати з залишками мастильних матеріалів, пилом, продуктами корозії та мийними розчинами. За недостатньої вентиляції можливе накопичення парів технічних рідин, що негативно впливає на органи дихання. Крім того, під час ручного очищення металевими щітками або абразивними інструментами існує ризик травмування рук, потрапляння частинок бруду або іржі в очі.

Під час дефектації розтискного кулака безпека переважно пов'язана з ручним переміщенням деталі, її встановленням у призми або на контрольну плиту, а також використанням вимірювального інструменту. Оскільки деталь має виступаючі елементи, шліцьову частину і кулачкову головку складної форми, необережне поводження з нею може призвести до порізів, забоїв або защемлення пальців. Тому встановлення деталі необхідно виконувати обережно, з використанням справного оснащення та стійких опор.

Найбільш небезпечними є операції вібродугового наплавлення та ручного дугового зварювання. Під час їх виконання на працівника діє інтенсивне світлове та ультрафіолетове випромінювання електричної дуги, висока температура розплавленого металу, бризки металу, зварювальні аерозолі та газу. У разі порушення правил експлуатації зварювального обладнання виникає безпека ураження електричним струмом. Особливу увагу слід приділяти справності

ізоляції зварювальних кабелів, надійності заземлення обладнання, правильному підключенню джерела живлення та використанню засобів індивідуального захисту.

Під час вібродугового наплавлення додатковим фактором є локальне нагрівання відновлюваної поверхні. Незважаючи на відносно малу зону термічного впливу, існує небезпека опіків при дотику до деталі або пристроїв кріплення відразу після завершення операції. Якщо наплавлення виконується із застосуванням охолоджувальної рідини, необхідно запобігати її потраплянню на електричні частини установки, оскільки це може створити умови для короткого замикання або ураження струмом [10, 11, 30, 31].

Ручне дугове зварювання кулачкової головки також потребує підвищеної уваги до пожежної безпеки. Бризки розплавленого металу можуть потрапляти на легкозаймисті матеріали, промаслене ганчір'я або залишки мийних рідин. Тому робоче місце зварника має бути очищене від сторонніх предметів, а поруч повинні знаходитися первинні засоби пожежогасіння.

Під час токарної та шліфувальної обробки відновлених поверхонь небезпеку становлять обертові частини верстатів, різальний інструмент, стружка, абразивний пил і можливе руйнування шліфувального круга. Неправильне закріплення розтискного кулака в патроні або центрах може призвести до зміщення деталі, появи вібрацій і травмування працівника. При шліфуванні необхідно використовувати захисний екран, окуляри та перевіряти шліфувальний круг на відсутність тріщин перед установленням на верстат.

Контроль якості відновленої деталі виконується із застосуванням індикатора годинникового типу, шаблона профілю кулачка, контрольної втулки та шліцьового калібра. На цьому етапі основними небезпеками є травмування рук під час установлення деталі у контрольне пристосування, падіння деталі з опор, а також пошкодження вимірювального інструменту через неправильне закріплення. Тому контроль необхідно проводити на справному пристосуванні з надійною фіксацією розтискного кулака.

Основними небезпечними та шкідливими факторами під час відновлення розтискного кулака є електрична напруга, випромінювання зварювальної дуги, висока температура, бризки розплавленого металу, зварювальні аерозолі, шум,

вібрація, обертові частини верстатів, гострі кромки деталі та підвищена запиленість. Їх вплив можна зменшити шляхом правильного вибору обладнання, раціональної організації робочого місця, застосування вентиляції, захисних огорожень і засобів індивідуального захисту.

4.2 Заходи з охорони праці та безпеки виконання технологічного процесу відновлення деталі

Для безпечного виконання технологічного процесу відновлення розтискного кулака необхідно передбачити комплекс організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів. Їх основною метою є запобігання травмуванню працівників, зменшення впливу шкідливих факторів і забезпечення стабільних умов праці на ремонтній дільниці.

До виконання робіт допускаються працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці, пожежної безпеки та правил експлуатації обладнання [10, 30, 31]. Робітник повинен знати порядок безпечного виконання мийних, зварювальних, наплавлювальних, токарних, шліфувальних і контрольних операцій. Перед початком роботи необхідно перевірити справність обладнання, наявність захисних кожухів, заземлення, вентиляції, освітлення та засобів пожежогасіння.

Робоче місце для очищення деталі має бути обладнане витяжною вентиляцією або місцевим відсмоктуванням. Мийні розчини слід зберігати у закритій тарі з відповідним маркуванням. Працівник повинен використовувати гумові або комбіновані рукавиці, захисні окуляри та спецодяг. Після миття деталей необхідно просушити, оскільки залишки вологи можуть негативно впливати на якість подальшого наплавлення і створювати небезпеку при роботі з електрообладнанням.

Під час вібродугового наплавлення опорних шийок і шліцьової частини необхідно забезпечити справне заземлення установки, цілісність ізоляції кабелів і надійне закріплення деталі у пристрої. Забороняється виконувати регулювання обладнання під напругою або торкатися відкритих струмопровідних частин. Зварювальні кабелі не повинні мати пошкоджень, перегинів і слідів перегріву. Усі з'єднання мають бути щільними, без іскріння та нагрівання контактів.

Зварник повинен працювати у захисній масці зі світлофільтром, рукавицях, спецодязі з негорючої тканини та захисному взутті. Для захисту інших працівників від випромінювання дуги зварювальне місце слід відокремити переносними екранами або щитами. У зоні виконання наплавлення не допускається зберігання легкозаймистих речовин, промасленого ганчір'я, дерев'яних підставок і відкритої тари з горючими рідинами.

При ручному дуговому зварюванні пошкоджень кулачкової головки необхідно використовувати електродотримач із справною ізоляцією та електроди, що відповідають технологічним вимогам. Перед заварюванням дефектної ділянки поверхню потрібно очистити від мастила, фарби, іржі та вологи. Після накладання кожного валика шлак видаляють тільки після охолодження металу, використовуючи молоток зварника і захисні окуляри. Дотик до нагрітої деталі без рукавиць забороняється.

Під час механічної обробки відновлених поверхонь на токарному верстаті деталь необхідно надійно закріплювати в патроні, центрах або спеціальному пристосуванні. Перед пуском верстата потрібно перевірити відсутність ключа у патроні, справність огорожень і правильність установа рiзального інструменту. Забороняється вимірювати деталь, видаляти стружку руками або змінювати режим різання під час обертання шпинделя. Стружку необхідно прибирати спеціальним гачком або щіткою.

Під час шліфування опорних шийок і доведення профілю кулачкової головки працівник повинен користуватися захисним екраном або окулярами. Шліфувальний круг перед роботою перевіряють на відсутність тріщин, правильність установа та балансування. Надмірне натискання на круг не допускається, оскільки це може спричинити його руйнування або перегрів поверхні деталі. Для запобігання опікам і змінам структури металу шліфування необхідно виконувати з помірною подачею та періодичним охолодженням.

Контроль якості відновлення слід виконувати на спеціальному пристосуванні, яке забезпечує стійке положення розтискного кулака. Призми, притискна планка, індикаторна стійка, контрольна втулка та шліцьовий калібр повинні бути справними, чистими та не мати пошкоджень робочих поверхонь.

Під час установлення деталі необхідно уникати перекосу і різких ударів, оскільки це може пошкодити як саму деталь, так і вимірювальний інструмент.

Важливе значення має організація освітлення. Робочі місця для дефектації, зварювання, механічної обробки і контролю повинні мати достатню освітленість, щоб працівник міг чітко бачити дефекти, кромки, риски, покази індикатора та розмітку. Недостатнє освітлення підвищує втомлюваність і збільшує ймовірність помилок під час контролю.

Для забезпечення пожежної безпеки ремонтна дільниця повинна бути оснащена вогнегасниками, ящиком із піском, протипожежним інвентарем і засобами сигналізації [11, 30, 31]. Після завершення зварювальних і наплавлювальних робіт необхідно оглянути робочу зону та переконатися у відсутності тліючих матеріалів або залишків розпеченого металу. Відходи металу, використані абразивні матеріали та промаслене ганчір'я слід збирати у спеціально відведену тару.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Розроблення технологічного процесу відновлення розтискного кулака автомобіля MAN M2000» вирішено практичне інженерне завдання, пов'язане з відновленням відповідальної деталі гальмівного механізму. Встановлено, що розтискний кулак забезпечує перетворення зусилля гальмівного приводу в розведення гальмівних колодок, тому його технічний стан безпосередньо впливає на ефективність гальмування, рівномірність спрацювання колодок і безпеку руху автомобіля.

У загально-технічному розділі розглянуто конструкцію розтискного кулака заднього моста НУ 1175 автомобіля MAN M2000. Визначено основні робочі зони деталі: кулачкову головку, опорні шийки, різьбову ділянку, циліндричну частину вала, перехідні радіуси та шліцьовий хвостовик. Установлено, що найбільш характерними дефектами є знос профільної поверхні кулачка, спрацювання шийок, пошкодження шліців, корозійні раковини, тріщини та радіальне биття вала.

Розроблено технологічний процес дефектації розтискного кулака, який передбачає очищення деталі, зовнішній огляд, вимірювання діаметрів шийок, перевірку різьби, шліців, профілю кулачкової головки та контроль биття. Для виявлення прихованих тріщин у перехідних радіусах запропоновано застосовувати капілярний або магнітопорошковий контроль.

У технологічному розділі проаналізовано основні способи відновлення деталей типу «вал»: вібродугове наплавлення, дугове наплавлення, електроконтактне наварювання, осталювання та газову металізацію. За результатами аналізу для відновлення опорних шийок і шліцьової частини вибрано вібродугове наплавлення, а для усунення локальних пошкоджень кулачкової головки – ручне дугове зварювання покритим електродом з подальшою механічною обробкою.

Сформовано структурно-послідовний технологічний процес відновлення деталі, який охоплює приймання в ремонт, очищення, дефектацію, підготовку зношених ділянок, наплавлення, заварювання пошкоджень кулачкової головки, попередню та остаточну механічну обробку, контроль геометрії, контроль якості

й консервацію. Така послідовність забезпечує відновлення основних розмірів і працездатності розтискного кулака.

Для реалізації технологічного процесу обґрунтовано вибір обладнання, ріжучого, вимірювального та контрольного інструменту. Передбачено використання мийної установки, токарного і круглошліфувального верстатів, установки для вібродугового наплавлення, зварювального інвертора, мікрометрів, штангенциркуля, індикатора годинникового типу, шаблона профілю кулачка, контрольної втулки та шліцьового калібра.

Проведено розрахунок режимів основних технологічних операцій. Для вібродугового наплавлення опорних шийок прийнято силу струму 160 А, напругу дуги 22 В, дріт діаметром 1,6 мм і товщину наплавленого шару 1,5 мм. Для ручного дугового зварювання кулачкової головки прийнято електрод діаметром 3 мм, силу струму 110...120 А та напругу 22...26 В. Орієнтовна тривалість основних операцій відновлення становить 77 хв.

Економічний розрахунок показав доцільність відновлення деталі порівняно із заміною на нову. Виробнича собівартість ремонту становить близько 789 грн, а договірна вартість з урахуванням прибутку та ПДВ – орієнтовно 1136 грн. Порівняно з вартістю нової деталі близько 3000 грн економія становить понад 60 %, що підтверджує ефективність запропонованого технологічного процесу.

У конструкторському розділі розроблено пристосування для контролю якості відновлення розтискного кулака. Воно дає змогу перевіряти радіальне биття, діаметри опорних шийок, профіль кулачкової головки та стан шліцьового хвостовика. Розрахунок основних елементів пристосування підтвердив достатню міцність і жорсткість його конструкції.

У розділі з безпеки життєдіяльності та охорони праці визначено небезпечні й шкідливі фактори, що виникають під час очищення, наплавлення, зварювання, механічної обробки та контролю деталі. Запропоновано заходи щодо захисту працівників від електричного струму, випромінювання дуги, бризок металу, пилу, шуму, вібрацій і травмування обертовими частинами верстатів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Канарчук В. Є. та ін. Організація виробничих процесів на транспорті в ринкових умовах. – К.: Логос, 1996. – 348 с.
2. Канарчук В. Є. та ін. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. У 3-х кн. Кн. 2. Організація, планування й управління: підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигринець. – К.: Вища шк., 1994. – 383 с.
3. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 1: Теоретичні основи. Технологія: підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець. – К.: Вища школа, 1994. – 342 с.
4. Кисликов В. Ф., Луцик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: підручник. – 8-ме вид. – К.: Либідь, 2018. – 400 с.
5. Кіркач Н. Ф. Розрахунок і проектування деталей машин. – Харків, 1991. – 274 с.
6. Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» / уклад.: Левкович М. Г., Гупка А. Б., Сіправська М. Д. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 136 с.
7. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. – К.: Знання-Прес, 2003. – 511 с.
8. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О. Л. Ляшук, Ю. І. Пиндус, М. Г. Левкович, А. Б. Гупка, Р. В. Хорошун. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.
9. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранс України, 1998. – 16 с.
10. НАОП 60.2-3.06-98. Типові норми видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам автомобільного транспорту.
11. Практикум з охорони праці: навчальний посібник / за ред. В. Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.

12. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів. – Львів: Львівська політехніка, 2017. – 324 с.
13. Технічний контроль стану дорожніх машин / Малишев В., Кущевська Н., Петренко Т., Докуніхін В. – Університет «Україна», 2022. – 252 с.
14. Підручник з будови автомобіля. Видання третє, виправлене й доповнене. – Моноліт, 2021. – 288 с.
15. Кошель С. О., Березін Л. М., Кошель Г. В. Технічна механіка. Розділ «Теорія механізмів і машин». – Центр навчальної літератури, 2020. – 156 с.
16. Сукач М. К. Технічний сервіс машин: навчальний посібник. – К.: Ліра-К, 2017. – 288 с.
17. Коробочка О. М., Скорняков Е. С., Сасов О. О. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: навчальний посібник. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007. – 252 с.
18. Кукурудзяк Ю. Ю., Біліченко В. В. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 198 с.
19. Строков О. П., Макаренко М. Г., Фролов В. Ф. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів: підручник: у 2 кн. – К.: Грамота, 2005.
20. Ткаченко І. Г., Левкович М. Г. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність транспортних засобів». – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 118 с.
21. Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. B. Sokil, O. Lyashuk, M. Sokil, Y. Vovk, I. Lebid, I. Hevko, M. Levkovych, R. Khoroshun, A. Matviyishyn. - COMMUNICATIONS, 2022. - Vol. 24, № 3, P. 247-258.
22. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2023, 118, 161-172. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.11>.
23. Mathematical modelling of hybrid powertrain systems for improved energy efficiency. O. Lyashuk, V. Aulin, R. Rohatynskyi, I. Gevko, A. Hupka, D. Mironov,

V. Martyniuk, A. Lutsyk, N. Denysiuk. - COMMUNICATIONS, 2025. - Vol. 27, № 2, P. 36-52.

24. Liashuk O., Hevko I., Hud V., Khoroshun R., Hevko B., Matviishyn A., Sipravska M. Stands for car suspension research. Bulletin of Lviv National Environmental University. Agroengineering Research, No. 26 (2022). С 93-103.

25. Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Левкович М.Г., Клендїй В.М., Гупка В.В. Структурний синтез гальмівних систем з техніко-економічним обґрунтуванням // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". Вип. 71. Луцьк. Ред.-вид. відділ ЛТНУ.- 2021. – С. 228-233.

26. Міронов Д.В., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Гупка А.Б., Слободян Л.М., Гевко Б.Р., Хорошун Р.В. Розробка моделі узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля з використанням математичних методів теорії планування експерименту. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – № 2 (21). Луцьк: 2023. - С. 135 – 144.

27. Ляшук О.Л., Рогатинський Р.М., Гевко І.Б., Хорошун Р.В., Кашканова Г.Г., Антонюк О.П. Модель проходження повороту автомобілем. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця, 2023. Випуск №2(18) І. С. 87-93.

28. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.

29. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП: Підручник. – / [І.Б. Гевко, О.Л. Ляшук, І.В. Луциків, У.М. Плекан, В.М. Клендїй].Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2021. - 264 с.

30. Закон України «Про охорону праці». – Харків: Вид-во «ФОРТ», 2003. – 32 с.

31. Войналович О. В., Марчиниша Є. І., Кофто Д. Г. Охорона праці в галузі: автомобільний транспорт: навчальний посібник. – Харків: ХНАДУ, 2020. – 695 с.