Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Інженерії машин, споруд та технологій
(назва факультету)
Автотранспорту та логістики
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу ремонту головки блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110.

Виконав: студент 4 курсу, групи МАс-41
спеціальності 274
«Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Роман ПІНАЄВ (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Іван ГЕВКО (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) Роман ХОРОШУН (прізвище та ініціали)

Зав. кафедри (підпис) Олег ЦЬОНЬ (прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2026

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.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Пінаєву Роману Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу ремонту головки блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110.

Керівник роботи Гевко Іван Богданович д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «21» січня 2026 року № 4/9-39

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11 червня 2026

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес ремонту головки блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110.

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)
Головка блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110 – А1;
Стенд для розбирання і складання головки блоку циліндрів автомобіля – А1;
Технологічний процес ремонту головки блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110 – А1;
Спеціальне пристосування ремонту головки блока циліндрів двигуна – А1;
Розрахунок різьбового з'єднання поворотного пристосування – А1;
Пристосування для перевірки зазору між стержнем клапана і втулкою – 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	27.01.2026	
2	Технологічний розділ	10.02.2026	
3	Конструкторський розділ	02.06.2026	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	11.06.2026	
5	Оформлення графічної частини	11.06.2026	
6	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра		

Студент _____ Пінаєв Роман Русланович
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Гевко Іван Богданович
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: « Розроблення технологічного процесу ремонту головки блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110. ».

Робота виконана на кафедрі автотранспорту та логістики Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра д.т.н., професор Гевко Іван Богданович.

Пояснювальна записка складається з чотирьох розділів і 66 сторінок формату А4 та 6 аркушів формату А1 графічної частини.

Ключові слова дефектування, діагностування, розбирання, контроль геометричних параметрів, відновлення деталей.

ЗМІСТ

Вступ…….…. 6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ……..……...…….. 8
1.1 Призначення та конструктивні особливості головки блока циліндрів…… 8
1.2 Умови роботи та навантаження головки блока циліндрів……. 11
1.3 Основні несправності та дефекти головки блока циліндрів…….. 12
1.4 Технічні вимоги до відремонтованої головки блока циліндрів…… 14
1.5 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра…. 15
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ…..……..……..…. 17
2.1 Технологічні карти розбирально-складальних операцій під час ремонту головки блока циліндрів……. 17
2.2 Технологічні карти виконання ремонтних операцій з усунення дефектів головки блока циліндрів і газорозподільного механізму двигуна…….. 21
2.3 Норми часу на виконання технологічних операцій…… 26
2.4 Технологічні карти виконання регулювальних операцій газорозподільного механізму автомобільного двигуна…… 38
2.5 Розрахунок і обґрунтування вибору технологічного обладнання дільниці ремонту головок блока циліндрів…… 42
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ……..……..…… 47
3.1 Визначення пріоритетних напрямів проєктних розробок……. 47
3.2 Проєктні та перевірні розрахунки елементів конструкції запропонованих пристосувань 53
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ…… 58
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників під час ремонту головки блока циліндрів……. 58
4.2 Організаційно-технічні заходи безпечного виконання ремонтних операцій 60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... 63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ…….……..…... 65
ДОДАТКИ

ВСТУП

Справний технічний стан автомобільного двигуна значною мірою визначає надійність, економічність і безпечність експлуатації транспортного засобу. Одним із найбільш відповідальних його складників є головка блока циліндрів, яка формує верхню частину камер згоряння, забезпечує розміщення деталей газорозподільного механізму та містить впускні, випускні, мастильні й охолоджувальні канали. Порушення геометричних параметрів, герметичності або працездатності окремих елементів ГБЦ безпосередньо впливає на компресію, потужність, витрату палива, тепловий режим і загальний ресурс двигуна.

Для головки блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110 зазначені несправності мають особливе значення, оскільки її корпус виготовлено з алюмінієвого сплаву. Такий матеріал характеризується високою теплопровідністю і невеликою масою, проте є чутливим до перегрівання, різких температурних змін і порушення технології механічного та зварювального оброблення. Відновлення алюмінієвої ГБЦ потребує обґрунтованого вибору способів ремонту, точного базування деталі, дотримання встановлених температурних режимів і застосування спеціалізованого обладнання.

Заміна пошкодженої головки блока циліндрів новою деталлю не завжди є технічно та економічно доцільною. За умови правильно проведеного дефектування більшість поширених пошкоджень може бути усунена відновлювальними методами. Заварювання тріщин, механічне оброблення привалкової поверхні, заміна напрямних втулок, відновлення фасок клапанних сідел і різьбових отворів дають змогу повернути деталі необхідні геометричні та функціональні властивості. Водночас якість ремонту залежить від чіткості технологічної послідовності, правильності вибору режимів оброблення, оснащення робочих місць і завершального контролю.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності вдосконалення технології ремонту головки блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110 на основі раціонального поєднання розбирально-складальних, контрольних, термічних, зварювальних, пресових і механічних операцій.

Розроблений процес повинен забезпечувати відновлення герметичності, площинності привалкової поверхні, точності спряжень клапанного механізму та нормативних теплових зазорів із мінімальними витратами часу й матеріальних ресурсів.

Важливим напрямом підвищення якості ремонту є використання сучасного спеціалізованого обладнання. Застосування верстатів для оброблення напрямних втулок, клапанних сідел і фасок клапанів, а також стенда для гідравлічного випробування дає змогу зменшити вплив суб'єктивних чинників, підвищити точність базування та забезпечити стабільність результатів. Окремого значення набуває технологічне оснащення для надійного закріплення ГБЦ, безпечного розсухарювання клапанів і точного контролю зазорів у газорозподільному механізмі.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення технологічного процесу ремонту головки блока циліндрів бензинового двигуна автомобіля Богдан 2110, який забезпечує відновлення її геометричних параметрів, герметичності та працездатності газорозподільного механізму із застосуванням сучасного технологічного обладнання і спеціального оснащення.

Об'єктом дослідження є процес ремонту головки блока циліндрів восьмиклапанного бензинового двигуна автомобіля Богдан 2110 робочим об'ємом 1,6 л.

Предметом дослідження є технологічні операції, режими, обладнання, пристосування та методи контролю, що застосовуються під час дефектування, відновлення, складання і регулювання головки блока циліндрів та деталей газорозподільного механізму.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Призначення та конструктивні особливості головки блока циліндрів

Головка блока циліндрів є одним із найбільш відповідальних елементів автомобільного двигуна. Вона формує верхню частину камер згоряння, забезпечує розміщення деталей газорозподільного механізму та утворює канали для руху паливоповітряної суміші, відпрацьованих газів, охолоджувальної рідини й моторної оливи.

У бензиновому двигуні автомобіля Богдан 2110 робочим об’єктом є головка блока циліндрів восьмиклапанного двигуна робочим об’ємом 1,6 л. Її корпус виготовлено з алюмінієвого сплаву, що забезпечує невелику масу та ефективне відведення теплоти від камер згоряння. Водночас алюмінієва конструкція чутлива до перегрівання, нерівномірного затягування кріпильних елементів і порушення режиму роботи системи охолодження [2, 3].

У корпусі головки виконано камери згоряння, впускні та випускні канали, мастильні канали, порожнини сорочки охолодження, отвори під свічки запалювання, клапани, напрямні втулки та інші елементи. На верхній частині ГБЦ розташований розподільний вал, який керує відкриванням і закриванням клапанів відповідно до порядку роботи циліндрів.

Основні елементи головки блока циліндрів наведено на рисунку 1.1.

Герметичність з’єднання головки з блоком забезпечується прокладкою, яка затискається між їхніми привалковими поверхнями. Якість цього з’єднання безпосередньо залежить від площинності ГБЦ, стану поверхні та правильності затягування кріпильних болтів.

Газорозподільний механізм забезпечує своєчасне наповнення циліндрів свіжим зарядом і видалення відпрацьованих газів. Робота механізму узгоджується з переміщенням поршнів і положенням колінчастого вала.

До основних деталей механізму належать розподільний вал, впускні та випускні клапани, напрямні втулки, сідла, клапанні пружини, штовхачі й

регулювальні шайби. Обертання від колінчастого вала передається до розподільного вала приводом газорозподільного механізму.

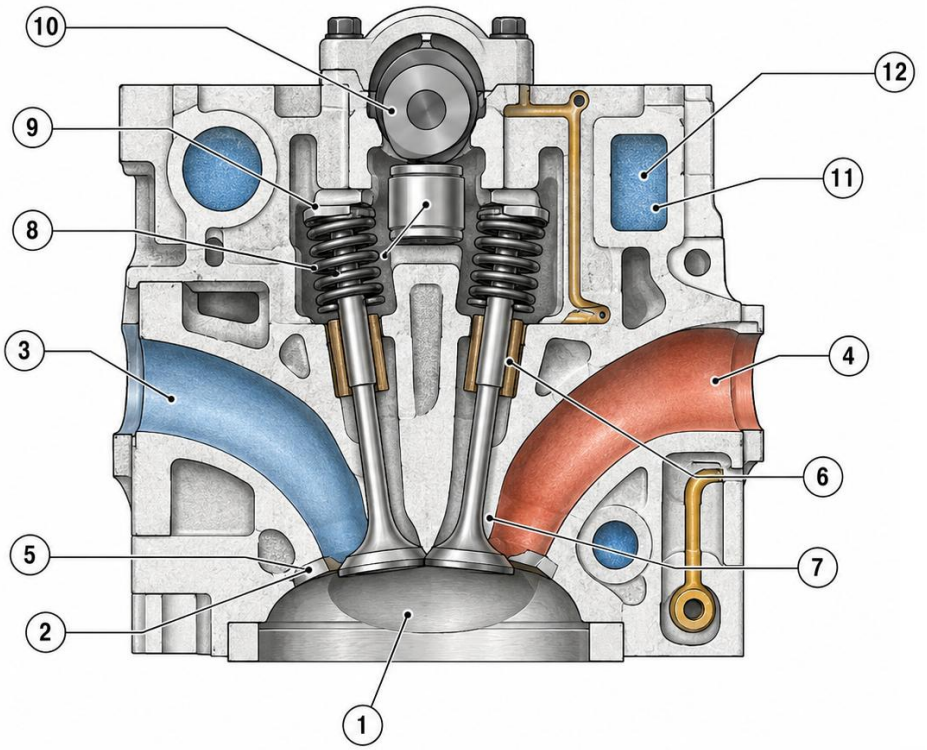


Рисунок 1.1 – Загальна будова головки блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110:

1 – корпус головки блока циліндрів; 2 – камера згоряння; 3 – впускний канал; 4 – випускний канал; 5 – сідло клапана; 6 – напрямна втулка; 7 – клапан; 8 – клапанна пружина; 9 – штовхач; 10 – розподільний вал; 11 – канал системи охолодження; 12 – мастильний канал.

Основні конструктивні елементи ГБЦ та їхнє функціональне призначення наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Функціональне призначення елементів головки блока циліндрів.

Елемент конструкції	Основне призначення
Корпус головки блока циліндрів	Об’єднання деталей газорозподільного механізму та формування камер згоряння
Привалкова поверхня	Забезпечення герметичного з’єднання головки з блоком циліндрів
Камери згоряння	Формування робочого об’єму для згоряння паливоповітряної суміші
Впускні канали	Підведення паливоповітряної суміші до циліндрів

Випускні канали	Відведення продуктів згоряння
Сідла клапанів	Герметичне закривання впускних і випускних каналів
Напрямні втулки	Спрямування переміщення стрижнів клапанів
Сорочка охолодження	Відведення теплоти від нагрітих ділянок головки
Мастильні канали	Підведення моторної оливи до опор розподільного вала та інших деталей

Під час обертання кулачок розподільного вала діє на штовхач, переміщуючи клапан у напрямку камери згоряння. Після проходження вершини кулачка клапан повертається у вихідне положення під дією пружини. Його тарілка притискається до сідла та герметично перекриває відповідний канал [2, 3].

Принципову схему роботи клапанного механізму доцільно подати на рисунку 1.2.

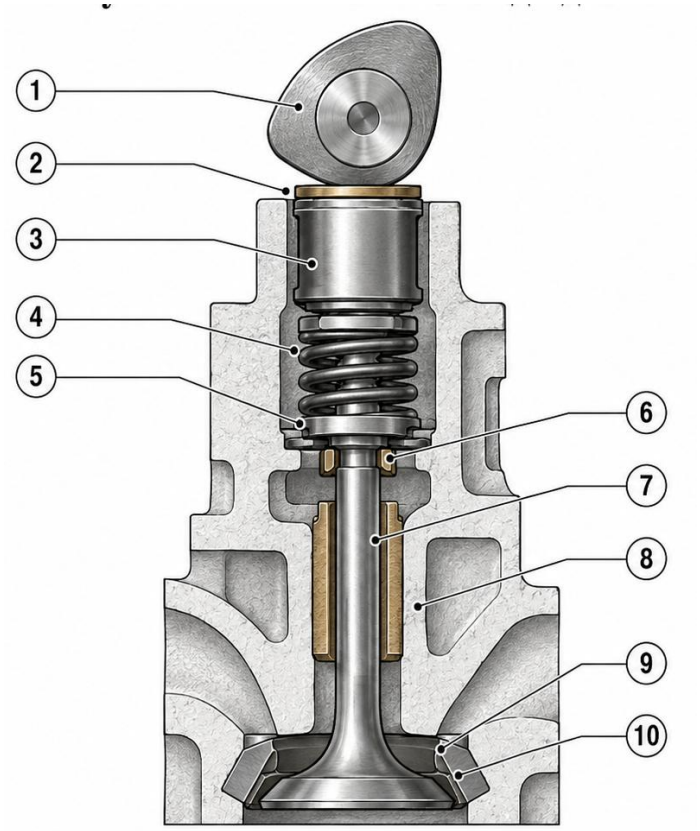


Рисунок 1.2 – Схема взаємодії деталей клапанного механізму:
1 – кулачок розподільного вала; 2 – регулювальна шайба; 3 – штовхач; 4 – клапанна пружина; 5 – тарілка пружини; 6 – сухарі; 7 – стрижень клапана; 8 – напрямна втулка; 9 – сідло; 10 – тарілка клапана.

Між кулачком розподільного вала і штовхачем передбачено тепловий зазор. Його наявність компенсує температурне розширення деталей під час роботи двигуна. Недостатній зазор перешкоджає повному закриванню клапана, погіршує герметичність камери згоряння та спричиняє перегрівання робочої фаски. Надмірний зазор супроводжується ударними навантаженнями, підвищеним шумом і прискореним зношуванням деталей [2, 3].

Регулювання теплового зазору здійснюють установленням шайби необхідної товщини. Точність цієї операції значною мірою визначає стабільність роботи двигуна після ремонту.

1.2 Умови роботи та навантаження головки блока циліндрів

Під час експлуатації головка блока циліндрів зазнає одночасної дії механічних, теплових і хімічних навантажень. Циклічне згоряння паливоповітряної суміші створює значний тиск у камерах згоряння та спричиняє періодичне нагрівання поверхонь.

Найбільш інтенсивно нагріваються ділянки між сідлами клапанів, зона випускних каналів і поверхні біля свічкових отворів. Нерівномірне розподілення температури викликає внутрішні напруження в матеріалі та може призводити до деформації головки, утворення тріщин і порушення площинності привалкової поверхні [3, 5].

На клапани та їхні напрямні втулки діють сили від клапанних пружин, кулачків розподільного вала, тиску газів і сил інерції. За наявності збільшеного зазору між стрижнем клапана та втулкою порушується співвісність клапана із сідлом. Унаслідок цього робочі фаски зношуються нерівномірно, а герметичність камери згоряння погіршується.

Основні види навантажень, що діють на ГБЦ, наведено на рисунку 1.3.

До експлуатаційних факторів, що прискорюють появу дефектів головки блока циліндрів, належать:

недостатній рівень охолоджувальної рідини;

несправність термостата, водяного насоса або вентилятора;

застосування охолоджувальної рідини незадовільної якості;

порушення моменту та послідовності затягування болтів ГБЦ;

детонаційне згоряння палива;

несвоєчасне регулювання теплових зазорів;

недостатнє мащення опор розподільного вала;

тривала робота двигуна з підвищеним тепловим навантаженням.

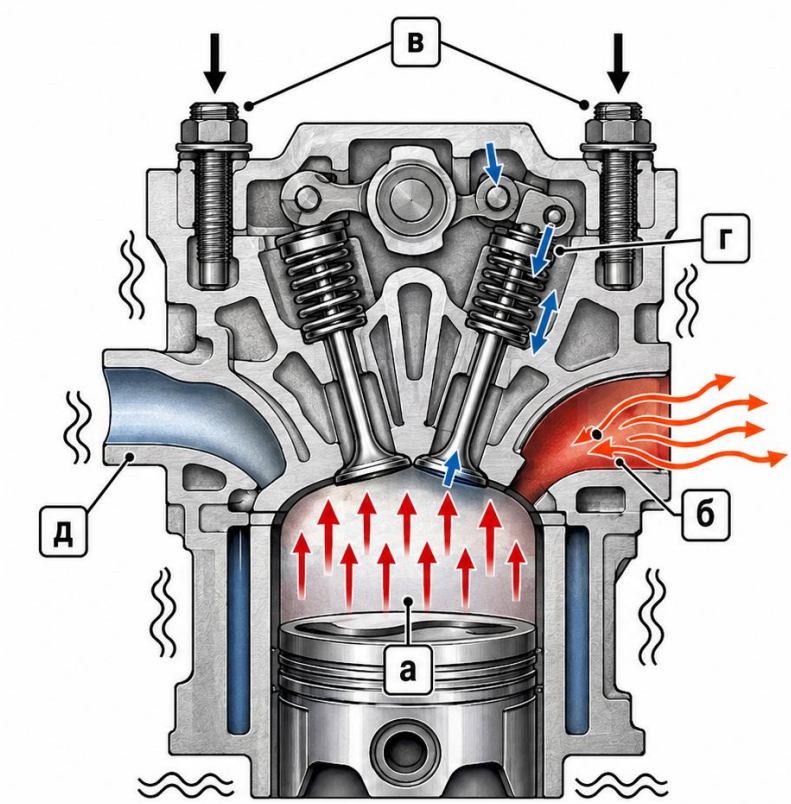


Рисунок 1.3 – Основні чинники навантаження головки блока циліндрів: а – тиск газів у камері згоряння; б – температурні потоки від випускних каналів; в – зусилля від кріпильних болтів; г – сили в клапанному механізмі; д – вібраційні навантаження.

1.3 Основні несправності та дефекти головки блока циліндрів

Тривала експлуатація двигуна, порушення теплового режиму та природне зношування деталей призводять до появи дефектів корпусу ГБЦ і деталей газорозподільного механізму.

Найпоширенішими пошкодженнями корпусу є тріщини, раковини, викривлення привалкової поверхні, пошкодження різьбових отворів і порушення герметичності каналів. У клапанному механізмі найчастіше спостерігаються

зношування напрямних втулок, фасок клапанів і сідел, зменшення пружності клапанних пружин та відхилення теплових зазорів від нормативних значень.

Розташування характерних дефектних зон головки блока циліндрів наведено на рисунку 1.4.

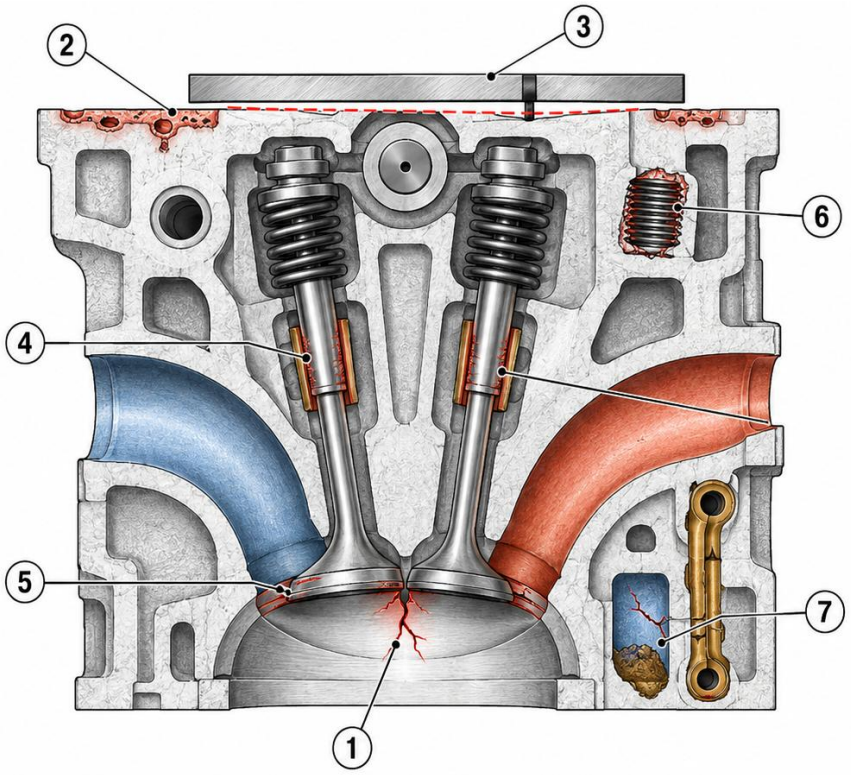


Рисунок 1.4 – Характерні зони виникнення дефектів головки блока циліндрів: 1 – тріщини між сідлами клапанів; 2 – раковини на привалковій поверхні; 3 – деформація площини; 4 – зношення напрямних втулок; 5 – зношення фасок сідел; 6 – пошкодження різьбових отворів; 7 – дефекти мастильних і охолоджувальних каналів.

Взаємозв’язок дефектів, причин їх виникнення та зовнішніх проявів наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні дефекти головки блока циліндрів і газорозподільного механізму.

Дефект	Основна причина	Характерний прояв	Можливий наслідок
Тріщини корпусу ГБЦ	Перегрівання, різке охолодження, високі термічні напруження	Витік охолоджувальної рідини, зниження компресії	Порушення герметичності та відмова двигуна

Раковини та корозійні пошкодження	Низька якість охолоджувальної рідини, тривала експлуатація	Нерівності поверхні, витоки	Пошкодження прокладки та зниження герметичності
Деформація привалкової поверхні	Перегрівання або неправильне затягування болтів	Пробивання прокладки, змішування технічних рідин	Втрата компресії та перегрівання
Зношення напрямних втулок	Недостатнє мащення, абразивне зношування	Збільшений боковий люфт клапана	Підвищена витрата оливи, нерівномірне зношування сідел
Зношення фасок клапанів і сідел	Перегрівання, ударні навантаження, порушення зазорів	Низька компресія, нестійка робота двигуна	Прогар клапана або сідла
Пошкодження різьбових отворів	Надмірний момент затягування, перекошування кріплення	Неможливість надійного закріплення деталей	Послаблення з’єднання
Порушення теплових зазорів	Зношення деталей або неправильне регулювання	Стук клапанів, зниження потужності	Прискорене зношування механізму

Оцінювання технічного стану головки блока циліндрів повинно охоплювати візуальний контроль, вимірювання геометричних параметрів, перевірку герметичності та визначення стану клапанного механізму [4, 5, 7].

1.4 Технічні вимоги до відремонтованої головки блока циліндрів

Якість ремонту визначається відповідністю геометричних, герметичних і функціональних параметрів установленим вимогам. Перед складанням усі поверхні та канали повинні бути очищені від стружки, абразивних частинок, залишків ущільнювальних матеріалів і технологічних забруднень [4, 5, 6].

Привалкова поверхня не повинна мати тріщин, задирок, глибоких рисок і вибоїн. Допустиме відхилення від площинності становить не більше 0,05 мм на довжині 100 мм.

Напрямні втулки мають бути надійно закріплені в корпусі, а зазор між їхніми отворами та стрижнями клапанів повинен відповідати встановленим нормативам. Фаски клапанів і сідел повинні контактувати рівномірно по всьому колу [4, 5].

Різьбові отвори очищають і перевіряють контрольним інструментом. Пошкодження більше двох витків різьби не допускається.

Головка блока циліндрів після ремонту повинна бути герметичною. Під час випробування не допускається утворення бульбашок повітря, падіння тиску або поява вологи на зовнішніх поверхнях.

Після складання та встановлення деталей газорозподільного механізму виконують контроль і регулювання теплових зазорів. Ця операція завершує відновлення працездатності клапанного механізму та забезпечує його правильну роботу в усьому діапазоні температурних режимів двигуна.

1.5 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення технологічного процесу ремонту головки блока циліндрів бензинового двигуна автомобіля Богдан 2110, спрямованого на відновлення її геометричних параметрів, герметичності та працездатності газорозподільного механізму із застосуванням сучасного обладнання і спеціального технологічного оснащення.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз конструкції головки блока циліндрів і клапанного механізму, розглянути умови їх роботи та встановити основні причини виникнення експлуатаційних пошкоджень. На підставі отриманих результатів потрібно визначити характерні дефекти корпусу ГБЦ, напрямних втулок, клапанів, сідел і різьбових отворів, а також обґрунтувати раціональні способи їх усунення.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно розв’язати такі завдання:

розглянути призначення, конструкцію та умови роботи головки блока циліндрів і клапанного механізму;

визначити характерні несправності ГБЦ, причини їх появи та вплив на працездатність двигуна;

установити технічні вимоги до відремонтованої головки блока циліндрів;

розробити технологічну послідовність розбирання, дефектування, відновлення та складання ГБЦ;

обґрунтувати способи усунення тріщин, деформацій привалкової поверхні, зношення напрямних втулок, клапанів і сідел, а також пошкоджень різьбових отворів;

підібрати технологічне обладнання, інструмент і контрольні засоби для виконання ремонтних операцій;

визначити норми часу та загальну трудомісткість технологічного процесу;

розробити технологію перевірки і регулювання теплових зазорів клапанного механізму;

обґрунтувати склад обладнання спеціалізованої ремонтної дільниці;

розробити універсальне пристосування для закріплення та ремонту ГБЦ і виконати перевірні розрахунки його елементів;

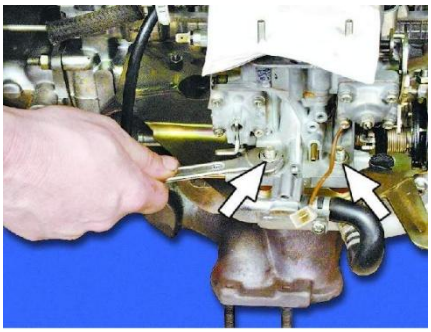
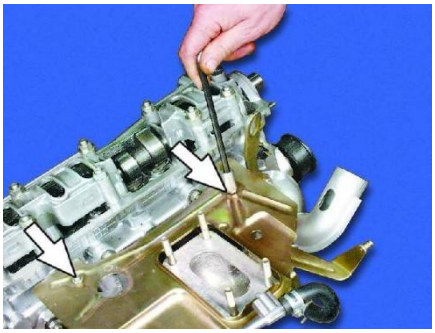
проаналізувати небезпечні та шкідливі чинники й передбачити заходи безпечного виконання ремонтних робіт.

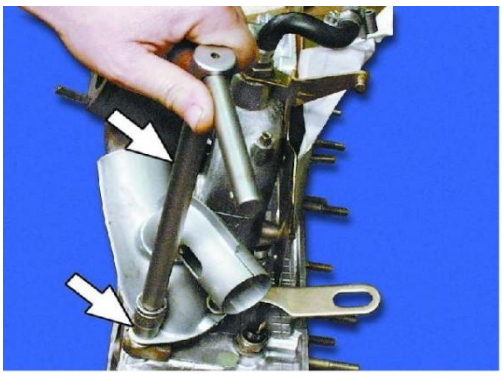
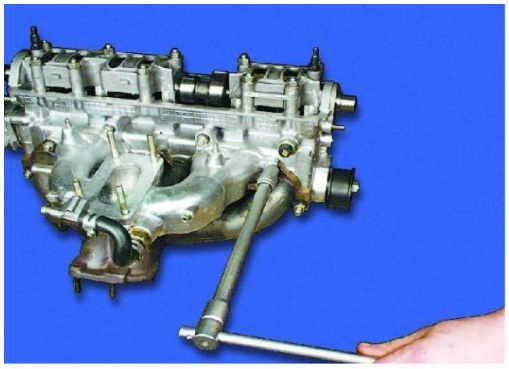
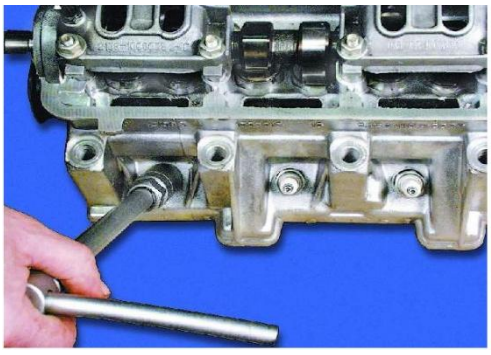
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

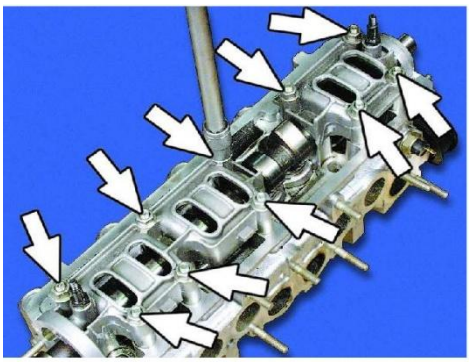
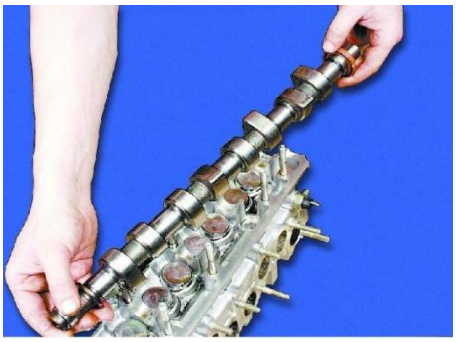
2.1 Технологічні карти розбирально-складальних операцій під час ремонту головки блока циліндрів

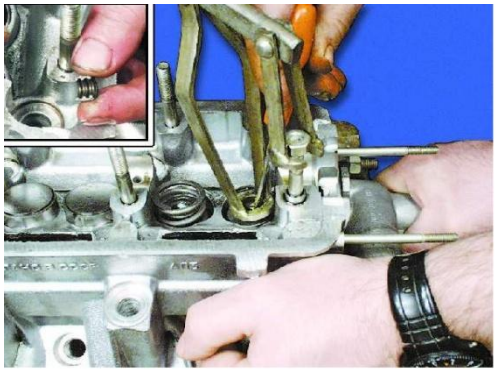
Послідовність виконання операцій з розбирання головки блока циліндрів бензинового двигуна легкового автомобіля, сформована з урахуванням чинних нормативних вимог, наведена в таблиці 2.1 [4, 6, 8].

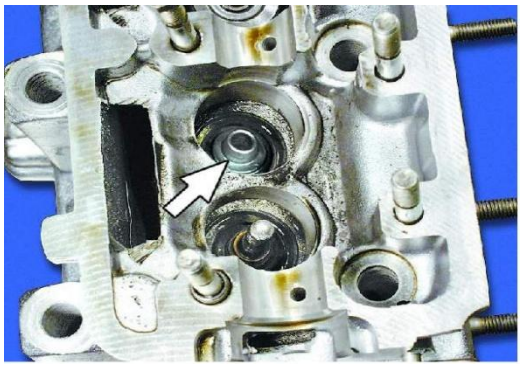
Таблиця 2.1 – Технологічна карта розбирання головки блока циліндрів бензинового двигуна автомобіля Богдан 2110 об'ємом 1,6 л із восьмиклапанним газорозподільним механізмом.

№ опер.	Перелік та послідовність дій при виконанні технологічної операції	Обладнання, інструмент та технічні умови
005	Установити головку блока циліндрів на спеціальне пристосування та надійно зафіксувати. Відвернути чотири гайки кріплення карбюратора, після чого зняти його з впускного колектора. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку. Ключ гайковий накидний двоїсторонній 13 мм.
010	Відвернути дві гайки кріплення теплозахисного щитка, після чого зняти його. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку. Ключ торцевий 10 мм з подовженим воротком.

015	Відвернути дві гайки кріплення патрубка подачі підігрітого повітря, після чого демонтувати його разом із транспортувальною скобою. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку. Ключ торцевий 10 мм з подовженим воротком.
020	Відвернути дев'ять гайок кріплення впускного та випускного колекторів, після чого відокремити їх від головки блока циліндрів разом із ущільнювальними прокладками. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку. Ключ торцевий 13 мм з подовженим воротком.
025	Вивернути чотири свічки запалювання, датчик температури охолоджувальної рідини та датчик тиску моторної оливи. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку. Ключ торцевий свічний 17 мм з набору автомеханіка з подовженим воротком.

030	Відвернути десять гайок кріплення верхньої кришки корпусу підшипників розподільного вала, після чого зняти кришку. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку. Ключ торцевий 13 мм з подовженим воротком.
035	Демонтувати розподільний вал. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку.
040	Відвернути гайку кріплення та демонтувати натяжний ролик приводу газорозподільного механізму разом з упорною шайбою. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку. Ключ гайковий накидний двоїсто-ронній на 13 мм.
045	Вийняти вісім штовхачів клапанів разом із відповідними регулювальними шайбами. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку.

050	Позначити керном клапани відповідно до номерів циліндрів, щоб забезпечити їх установлення на попередні місця під час складання після виконання відновлювальних операцій. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку. Молоток. Керн.
055	Установити упори під тарілки клапанів, після чого за допомогою знімача стиснути клапанні пружини та звільнити сухарі. Вийняти сухарі з канавок стрижнів клапанів магнітним щупом. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку. Додаткове пристосування для видалення сухарів клапанів. Упори під клапаи. Щуп магнітний.
060	Демонтувати вісім клапанних пружин разом із їхніми опорними тарілками.. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку.

065	Вийняти клапани з напрямних втулок головки блока циліндрів. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку.
070	Обережно зняти викруткою вісім масловідбивних ковпачків із напрямних втулок клапанів, не допускаючи їх пошкодження. Вийняти вісім опорних шайб клапанних пружин. 	Верстак слюсарний. Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ на верстаку. Викрутка з плоским жалом.

2.2 Технологічні карти виконання ремонтних операцій з усунення дефектів головки блока циліндрів і газорозподільного механізму двигуна

За результатами аналізу поширеності дефектів головки блока циліндрів, наведених у таблиці 1.2 загального розділу, а також їхнього впливу на якість ремонту та подальшу надійність вузла сформовано раціональний маршрут відновлення. Він передбачає усунення таких пошкоджень: поверхневих тріщин і раковин на привалковій поверхні; деформації та порушення площинності привалкової поверхні; зношення отворів напрямних втулок клапанів; порушення геометричних параметрів фасок клапанів і їхніх сідел; пошкодження різьбових отворів [4, 5].

Загальну послідовність операцій технологічного процесу усунення дефектів головки блока циліндрів наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Структурна послідовність операцій технологічного процесу ремонту головки блока циліндрів бензинового двигуна автомобіля Богдан 2110 об’ємом 1,6 л із восьмиклапанним газорозподільним механізмом.

№ операції	Назва операції	Зміст операції та технічні умови її проведення
005	Контрольна	Визначення кількості тріщин на привалковій поверхні головки блока циліндрів, їхньої форми та протяжності.
010	Свердлувальна	Засвердлювання обох кінців кожної виявленої тріщини.
015	Слюсарна	Оброблення тріщини по всій довжині на глибину 3,0–5,0 мм і ширину 3,0–4,0 мм з формуванням ручною фрезерною машинкою канавки трикутного профілю з кутом 90°.
020	Термічна	Рівномірне нагрівання головки блока циліндрів у термічній печі до температури 180–200 °С із подальшою витримкою протягом щонайменше 2 год.
025	Зварювальна	Дугове заварювання підготовлених тріщин електродним дротом за допомогою напівавтоматичного інверторного апарата в середовищі аргону.
030	Випробувальна	Випробування головки блока циліндрів на герметичність методом опресування.
035	Контрольна	Перевірка натягу посадки клапанних напрямних втулок і вимірювання діаметрів посадкових отворів у головці блока циліндрів.
040	Пресова	Випресовування зношених напрямних втулок клапанів.
045	Термічна	Охолодження нових клапанних напрямних втулок у рідкому азоті до температури –196 °С із

		витримуванням не менше 3 хв для зменшення їхнього зовнішнього діаметра.
050	Слюсарна	Запресовування охолоджених напрямних втулок у посадкові отвори головки блока циліндрів.
055	Шліфувальна	Перехід 1. Розгортання внутрішніх поверхонь отворів напрямних втулок клапанів. Перехід 2. Шліфування робочих фасок клапанних сідел.
060	Слюсарна	Відновлення профілю різьби в отворах проганянням відповідного інструмента.
065	Фрезерувальна	Фрезерування привалкової поверхні головки блока циліндрів для усунення термічної деформації.
070	Контрольна	Контроль якості виконаних відновлювальних операцій і перевірка головки блока циліндрів на відсутність залишкових дефектів.

Наведена в таблиці 2.2 технологія ремонту головок блока циліндрів, виготовлених з алюмінієвих сплавів, передбачає раціональну кількість операцій і помірну складність їх виконання. Застосування сучасного обладнання та ефективних способів відновлення забезпечує належну якість ремонту й економічну доцільність подальшої експлуатації ГБЦ. Для підприємства це сприяє збільшенню обсягів ремонтних робіт, а для власників автомобілів – зниженню витрат на придбання нової деталі. Технічні характеристики обладнання та інструменту, передбачених для виконання операцій розробленого технологічного процесу, наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристика технологічного обладнання та інструменту для виконання операцій технологічного процесу відновлення дефектів головки блока циліндрів.

№ операції	Найменування операції	Перелік технологічного обладнання та його характеристики
005	Контрольна	Візуальний огляд. Мірні лінійки. Кольоровий маркер.
010	Свердлувальна	Верстак слюсарний (власного виготовлення). Оригінальне пристосування для закріплення ГБЦ.

		Вертикально-свердлувальний верстат 2Р135Ф2-1: потужність - 3,7 кВт; діапазон обертів шпинделя – 0…6000 об/хв.; діаметр свердла - ∅1,0…15,0 мм.
015	Слюсарна	Верстак слюсарний (власного виготовлення). Пряма шліфувальна машина Bosch GGS28LCEProfessional: максимальний діаметр цанги – 8,0 мм; потужність – 650,0 Вт; частота обертання – 10000…28000 об/хв.; вага – 1,6 кг.
020	Термічна	Термопіч SNOL 30/1300: номінальна потужність - 4,6 кВт; напруга живлення – 230 В; кількість фаз – 1; температурний діапазон нагріву – 50,0…1300,0 ^{0}С; час розігріву до номінальної температури – 150 хв.; розміри робочої камери – 200×440×290 мм; габаритні розміри - 640×870×840 мм; Маса – 120,0 кг.
025	Зварювальна	Напівавтоматична установка для зварювання дротом в середовищі захисного газу (аргону) КП-02: джерело живлення - ПДГ-516М; номінальна напруга мережі – 380,0 В; номінальний зварювальний струм – 480,0 А; регулювання подачі дроту – плавне; витрата захисного газу – 350,0…1300,0 л/год.; потужність електродвигуна – 5,5 кВт; габаритні розміри - 780×650×820 мм.
030	Випробувальна	Випробувальний стенд для гідравлічного обпресування ГБЦ SERDI SPT 1600 XL: потужність нагрівального елементу (тенів) – 1600,0 Вт; тиск рідини – 0…5 кг/см^2; максимальний розмір деталі – 1350×460×410 мм; максимальна вага деталі – 300 кг; контроль рівня води; гідравлічний підйом та обертання поворотної рами для полегшення установки ГБЦ; термостат із електронним контролем температури;

		система підтримання постійної температури з електронним керуванням; габаритні розміри - 1450×600×1260 мм.
035	Контрольна	Верстак слюсарний (власного виготовлення).
040	Пресова	Верстат спеціалізований універсальний для ремонту ГБЦ SERDI 4,5: розміри робочого столу - 2000×1150×2320 мм; переміщення шпинделю – 290,0 мм; максимальні розміри ГБЦ – не обмежені×500×750 мм; максимальна вага ГБЦ – 350,0 кг; діаметр мотор-шпинделю – 80,0 мм; потужність електродвигуна – 2,2 кВт; тип двигуна – реверсний; швидкість обертання шпинделю – 40,0…840,0 об/хв.; тиск в пневмосистемі – до 6,0 МПа; максимальна витрата повітря – 400,0 л/хв.; діаметр сідел клапанів – 16,0…120,0 мм; діаметр отворів напрямних втулок – 4,0….12,0 мм; пневматичний затискний пристрій; точність глибини обробки – 0,01 мм; максимальне переміщення робочого столу – 160,0 мм; вага – 1650,0 кг; Зусилля ви пресування-запресування напрямних втулок при тиску стисненого повітря 4,0 МПа – 1000,0 Н
045	Термічна	Балон ємкістю 20 л із рідким азотом (N_2). Температура – 273 ^{0}C.
050	Слюсарна	Робочий стіл верстату SERDI 4,5. Зусилля запресування при тиску повітря 4,0 МПа – 350,0 Н
055	Шліфувальна	Верстат універсальний SERDI 4,5
060	Слюсарна	Робочий стіл верстату SERDI 4,5
065	Фрезерувальна	Верстат консольно-фрезерний моделі 6М13П: розміри поверхні столу – 400,0×1600,0 мм; максимальний хід столу - 800,0×320,0×420,0 мм; частота обертання шпинделю – 100,0…2800,0 об/хв. подача столу -

		0,1…5200,0 мм/об; номінальна потужність електродвигуна – 10,0 кВт; габаритні розміри - 2280×1965×2265 мм; маса – 3400,0 кг.
070	Контрольна	Робочий стіл верстату SERDI 4,5

У таблиці 2.3 не наведено окремого переліку різального та контрольно-вимірювального інструменту, оскільки основну частину високоточних операцій виконують на спеціалізованому верстаті SERDI 4.5. Його комплектація містить необхідні допоміжні, установлювальні, затискні, контрольні та вимірювальні пристрої, пристосовані до конструктивних особливостей головок блока циліндрів двигунів різних типів і моделей. Виконавців робіт також забезпечують відповідними засобами індивідуального захисту [4, 5].

2.3 Норми часу на виконання технологічних операцій

Відповідно до чинних методик і нормативних вимог подальшими розрахунками визначаємо норми часу на виконання технологічних операцій, наведених у таблицях 2.2 і 2.3. На підставі отриманих значень встановлюємо загальну тривалість ремонту головки блока циліндрів.

005 Контрольна операція – виявлення кількості, форми та розмірів тріщин, раковин і сколів на привалковій поверхні ГБЦ.

Норму часу для цієї операції визначаємо методом спостереження за роботою слюсаря [4, 6, 10].

Тривалість оцінювання одного дефекту, зокрема тріщини, раковини або сколу, становить близько 2,0 хв. За умови наявності на привалковій поверхні головки блока циліндрів не більше п’яти пошкоджень, серед яких одна тріщина та чотири раковини, норма часу на виконання операції становитиме:

$$T_{н(005)} = 5 \cdot 2{,}0 = 10{,}0\ хв.$$

010 Свердлильна операція – виконання ручним електричним дрилем двох отворів діаметром 4,0 мм і глибиною 4,0 мм на кінцях кожної тріщини для запобігання її подальшому поширенню.

Норму часу на свердління отворів визначаємо за такою залежністю:

$$T_{н.свердл.} = T_{нш} + T_{ву} + \frac{T_{пз}}{n_{шт}},$$

де $T_{нш}$ - неповний штучний час на свердлування отворів; свердлування одного отвору у деталях із сплавів на основі алюмінію триває $T_{нш} = 0,3\,хв.$;

$T_{ву}$ - час, який витрачається на встановлення та закріплення ГБЦ на столі верстату та приймається із врахуванням ваги деталі; приймаємо при вазі ГБЦ 15,2 кг - $T_{ву} = 0,7\,хв.$;

$T_{пз}$ - так званий підготовчо-заключний час, який визначається рівнем складності роботи й для робіт середньої складності становить - $T_{пз} = 4,0\,хв.$;

$n_{шт.}$ - партійна кількість деталей; приймаємо - $n_{шт.} = 1,0\,деталь$.

За наведених вихідних даних норма часу на виконання свердлильної операції становитиме:

$$T_{н.(010)} = 0,3 + 0,7 + \frac{4,0}{1} = 5,0\,хв.$$

015 Слюсарна операція – механічне оброблення однієї тріщини ручною фрезерною машинкою на глибину 4 мм і умовну довжину 25,0 мм.

За такого способу формування канавки основний час виконання операції визначаємо з урахуванням таких умов:

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

де $L = l + y_1 + y_2$ - довжина фрезерування при довжині тріщини l, мм.

Розрахункова довжина фрезерування тріщини становить:

$$L = 25,0 + 3,2 = 28,2\,мм.$$

Для фрезерування тріщини потрібно здійснити один прохід фрези - $i = 1,0$

.

Приймаючи швидкість обертання фрези $n = 1500\,об/хв$ визначаємо необхідну подачу - $S = 0,2\,мм/об$.

Отже, за таких даних основний час на фрезерування тріщини буде:

$$T_o = \frac{28,2 \cdot 1,0}{1500,0 \cdot 0,2} = 0,09\,хв.$$

Допоміжний час на закріплення та зняття деталі у спеціальному пристосуванні встановленому на верстаку - $T_{д(у)} = 0,6\,хв.$; а допоміжний час пов'язаний із самою операцією (проходом) - $T_{д(пр)} = 1,0\,хв.$

Таким чином, допоміжний час виконання фрезерувальної операції становитиме:

$$T_д = T_{д(у)} + T_{д(пр)} = 0,6 + 1,0 = 1,6\,хв.$$

Оперативний час, є сумою основного та допоміжного часів:

$$T_{оп} = T_o + T_д = 0,09 + 1,6 = 1,69\,хв.$$

Додатковий час визначаємо так:

$$T_{дод} = K \cdot T_{оп},$$

де $K = 0,07$ - співвідношення додаткового часу та номінального для свердлувальних операцій,

$$T_{дод} = K \cdot T_{оп} = 0,07 \cdot 1,8 = 0,13\,хв.$$

Підготовчо-заключний час, складає $T_{п.з} = 11,0\,хв.$

Отже, норма часу на фрезерувальну операцію буде наступною:

$$T_н = T_{оп} + T_{дод} + {T_{п.з}}/{n},$$

де $n = 1$ - партійна кількість деталей.

$$T_{н(015)} = 1,69 + 0,13 + {11,0}/{1} = 12,82\,хв.$$

020. Термічна - нагрів ГБЦ та витримка її впродовж 2-ох год. у камері печі при температурі 200 ^{0}C

Норма часу на дану операцію була визначена наступним чином:

$$T_н = T_{оп} + T_{пз},$$

де $T_{оп}$ - оперативний час, який складається із 20,0 хв. часу витраченого безпосередньо на нагрів ГБЦ до температури 200 ^{0}C та 120,0 хвилин (2 год.) її витримки; отже, $T_{оп} = 20,0 + 120,0 = 140,0\,хв$

$T_{пз}$ - час пов'язаний із розміщенням та видаленням ГБЦ з камери печі, який

називається я підготовчо-заключним й складає $T_{пз} = 10,0\,хв$.

Норма часу на термічну операцію дорівнює:

$$T_{н(025)} = 140,0 + 10,0 = 150,0 хв.$$

025 Зварювальна операція – заповнення підготовленої канавки завдовжки 28,2 мм і завглибшки 4,0 мм, утвореної під час оброблення тріщини, ручним напівавтоматичним зварюванням у середовищі аргону із застосуванням дроту марки АМг6 діаметром 1,2 мм.

Основний час виконання зварювальної операції становить:

$$T_o = \frac{G}{V_н},$$

де G - маса Al, що наплавляється, вирахувана за виразом:

$$G = LF\gamma,$$

де F - площа поперечного перерізу шва, приймаємо $F = 0,4 \cdot 0,4 = 0,16\,см^2$

;

γ - щільність Al-електродів; приймаємо для дроту марки АМг6 $\gamma = 7,5 г / см^3$.

$$G = 28,2 \cdot 0,16 \cdot 7,5 = 33,8\,гр.$$

$V_н$ - швидкість зварювання, яка складає $V_н = \alpha \cdot I = 11 \cdot 260 = 2860,0 \frac{г}{А \cdot год.}$

.

За наведених вихідних даних основний час заварювання підготовленої канавки з урахуванням коригувального коефіцієнта, що залежить від довжини зварного шва, становитиме:

$$T_o = \frac{60 \cdot 33,8}{2860,0} \cdot 1,2 = 0,85 хв.$$

Допоміжний час на розміщення ГБЦ вагою до 15,2 кг за допомогою кран-балки та підготовку зварювального обладнання до роботи, прийнятий $T_д = 1,2 хв.$

Оперативний час, визначаємо за вже наведеною залежністю:

$$T_{оп} = 0,85 + 1,2 = 2,05 хв.$$

Додатковий час із урахуванням позиціювання зварювальника буде:

$$T_{дод} = \frac{T_{оп} \cdot K}{100} = \frac{2,05 \cdot 13}{100} = 0,27\ хв.$$

Підготовчо-завершальний час для виконання нескладної зварювальної операції, встановлений у розмірі 2 % від основного часу, становитиме:

$$T_{пз} = \frac{T_{оп} K_{пз}}{100} = \frac{2,05 \cdot 2}{100} = 0,04\ хв.$$

Норма часу на проведення операції заварювання канавки складе:

$$T_{н(025)} = 2,05 + 0,27 + 0,04 = 2,36\ хв.$$

030 Випробувальна операція – перевірка герметичності головки блока циліндрів методом опресування на спеціалізованому стенді після заварювання тріщини.

У технічній документації стенда SERDI SPT 1600 XL тривалість безпосередньої перевірки герметичності ГБЦ становить 3,0–5,0 хв без урахування часу, необхідного для її встановлення та підготовки обладнання. Загальну методику нормування цієї операції не наведено, витрати часу визначаємо шляхом спостереження та хронометражу роботи виконавців на зазначеному стенді. Отримані результати подано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Норми часу на перевірку герметичності головки блока циліндрів, визначені методом фотографування робочого процесу на стенді SERDI SPT 1600 XL.

Затрати робочого часу на перехід	№ робітника	Час на проведення переходу операції	
		Тривалість дій, хв.	Усереднена величина, хв.
Установлення заглушок і трубки для подавання повітря в отвори сорочки охолодження, розташовані на бічній поверхні головки блока циліндрів.	1	2 хв. 15 сек.	2 хв. 22 с.
	2	2 хв. 35 сек.	
	3	2 хв. 20 сек.	
	4	2 хв. 10 сек.	
	5	2 хв. 30 сек.	
	1	1 хв. 20 сек.	
	2	1 хв. 15 сек.	

Закріплення головки блока циліндрів на рухомій монтажній рамі випробувального стенда.	3	1 хв. 35 сек.	1 хв. 29 сек.
	4	1 хв. 50 сек.	
	5	1 хв. 25 сек.	
Герметизація ущільнювальними прокладками каналів системи охолодження, що виходять на привалкову поверхню головки блока циліндрів.	1	2 хв. 25 сек.	2 хв. 33 сек.
	2	2 хв. 35 сек.	
	3	2 хв. 50 сек.	
	4	2 хв. 35 сек.	
	5	2 хв. 20 сек.	
Установлення прозорої плити з органічного скла та її щільне притискання струбцинами.	1	3 хв. 10 сек.	3 хв. 08 сек.
	2	3 хв. 35 сек.	
	3	2 хв. 55 сек.	
	4	2 хв. 50 сек.	
	5	3 хв. 10 сек.	
Подавання стисненого повітря з подальшим контролем місць утворення повітряних бульбашок.	1	3 хв. 00 сек.	3 хв. 00 сек.
	2	3 хв. 00 сек.	
	3	3 хв. 00 сек.	
	4	3 хв. 00 сек.	
	5	3 хв. 00 сек.	
Зняття головки блока циліндрів зі стенда у зворотній послідовності.	1	6 хв. 10 сек.	6 хв. 08 сек.
	2	6 хв. 30 сек.	
	3	5 хв. 50 сек.	
	4	6 хв. 00 сек.	
	5	6 хв. 10 сек.	
Норма часу на операцію		18 хв. 40 сек. (18,67 хв.)	

Норма часу на проведення випробувальної операції складає:

$T_{н(030)} = 18,67$ *хв.*

035. Контрольна - контроль щільності посадки напрямних втулок (8 шт.) у отворах ГБЦ та розмірів внутрішніх отворів напрямних втулок (8 отв.) $\varnothing 11^{+0,5}$ мм - $\varnothing 11^{+0,5}$ мм на довжині втулок (65,0 мм) для визначення можливості їх подальшого відновлення або вибраковування.

Норму час на цю операцію визначаємо застосовуючи вже описаний у попередній операції метод хронометрування часу. Величина норми часу складає $T_{н.(035).} = 11,54\ хв.$

040 Пресова операція – випресовування восьми напрямних втулок клапанів із головки блока циліндрів.

Випресовування напрямних втулок виконують у холодному стані за температури 25±5 °С із використанням пневматичної системи стенда SERDI 4.5, робочий тиск якої становить 4,0 МПа. За таких параметрів обладнання створює зусилля випресовування 1,0 кН, а оперативний час видалення однієї напрямної втулки дорівнює 1,2 с.

Підготовчо-заключний час, пов'язаний із закріпленням ГБЦ на столі стенду та підготовкою фіксуючого пристосування за технічними характеристиками стенду - $T_{пз} = 2,0\ хв.$.

Таким чином, норма часу на випресовування повного комплекту напрямних втулок клапанів із головки блока циліндрів становитиме:

$$T_{н.(040)} = 8 \cdot T_{оп} + T_{пз} = 8 \cdot 1,2 + 2,0 = 11,6\ хв.$$

045 Термічна операція – охолодження комплекту нових напрямних втулок у посудині з рідким азотом (N_2) за температури –196 °С із витримуванням протягом 3 хв.

Підготовчо-завершальний час, необхідний для розміщення восьми напрямних втулок на оправці та їх транспортування до посудини з рідким азотом на відстань до 10 м, відповідно до нормативних даних становить 3,5 хв.

Отже, норма часу на виконання термічної операції дорівнюватиме:

$$T_{н.(045).} = 3,5 + 3,0 = 6,5\ хв.$$

050 Слюсарна операція – установлення охолоджених напрямних втулок клапанів у посадкові отвори головки блока циліндрів.

Норму часу на виконання операції визначаємо методом хронометражних спостережень за роботою виробничих працівників. Середня тривалість установлення однієї напрямної втулки в головку блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110 становить 2,51 хв.

Норма часу на виконання слюсарної операції становитиме:

$$T_{н.(050).} = 8 \cdot 2,51 = 20,08\,хв.$$

055. Шліфувальна. Перехід 1. - Розгортання внутрішніх отворів напрямних втулок клапанів під стрижні клапанів на верстаті SERDI 4,5 (8 шт.) для впускного клапану з ∅10,70 мм до ∅10,80 мм, а для випускного клапану – з ∅10,690 мм до ∅10,790 мм на довжині 89 мм (для 8-ми напрямних).

Величину припуску, що знімається розгорткою із внутрішньої поверхні напрямної втулки приймаємо однаковою для втулок впускних і випускних клапанів - 0,1 мм на діаметр.

Глибина різання визначається формулою:

$$t = \frac{D_{св} - d_{отв}}{2} = \frac{10,80 - 10,70}{2} = 0,05\,мм.$$

Величину подачі ріжучого інструменту приймаємо за діаметром розгортки (∅10,8 мм) $S = 1,0\,мм/об$.

Швидкість різання при цьому - $V = 9,2\,мм/об$. Разом з тим, за паспортом верстату проведення даної операції супроводжується швидкістю різання 14,3 мм/об, що пояснюється застосуванням більш стійких і міцних матеріалів розгортки із комплекту інструменту стенду.

Частота обертів шпинделю стенду становитиме:

$$n = 318\frac{V_д}{d} = 318\frac{14,3}{10,8} = 421\,хв^{-1}.$$

Приймаємо за паспортом стенду стандартне значення - $n = 500\,хв^{-1}$.

Основний час цього переходу із врахуванням довжини поверхні різання (із врахуванням врізання та перебігу) - $L = 55,0\,мм$ складе:

$$T_о = \frac{55,0}{500 \cdot 1,0} = 0,11\,хв.$$

Основний час, необхідний для оброблення восьми отворів напрямних втулок, становитиме:

$$T_о = 8 \cdot 0,11 = 0,88\,хв.$$

Допоміжний час на встановлення, базування та фіксацію ГБЦ на столі стенду SERDI 4,5 й забезпечення співвісності отворів, що підлягають обробці й шпинделю стенду, приймаємо за хронометражем - $T_{д(у)} = 3,2\,хв.$

Допоміжний час пов'язаний із проходом при першому розгортанні - $T_{д(пр)} = 0,12 хв.$

Загальний допоміжний час, необхідний для виконання цього переходу, становитиме:

$$T_д = T_{д(у)} + T_{д(пр)} = 3,2 + 0,12 = 3,32 хв.$$

Оперативний час виконання технологічного переходу становитиме:

$$T_{оп} = 0,88 + 3,32 = 4,2 хв.$$

Додатковий час із врахуванням $K = 0,06$ - коефіцієнту співвідношення додаткового та номінального часів:

$$T_{дод} = K \cdot T_{оп} = 0,06 \cdot 4,2 = 0,25 хв.$$

Підготовчо-заключний час із врахуванням особливостей здійснення технологічного процесу роботи верстату, який залежить від технічного рівня його конструкції, складе - $T_{пз} = 2,2 хв.$

Таким чином, норма часу на розгортання восьми отворів напрямних втулок становитиме:

$$T_{н1(055)} = 4,2 + 0,25 + {}^{2,2}\!/_{1} = 6,7 хв.$$

055 Шліфувальна операція. Перехід 2 – оброблення фасок сідел клапанів на універсальному верстаті SERDI 4.5 із видаленням припуску 0,1 мм до повного усунення слідів зношення та овальності робочих поверхонь.

Технологічні можливості верстата SERDI 4.5 забезпечують одночасне оброблення трьох фасок сідла клапана: верхньої, основної та нижньої допоміжної. Операцію виконують спеціальною профільною фрезою з точно сформованою геометрією різальних кромок. Оскільки кути основних фасок сідел впускних і випускних клапанів становлять відповідно 45° і 60°, для їх оброблення застосовують дві окремі фрези.

За технічними характеристиками верстату кількість обертів шпинделів при шліфуванні становить - $n = 680 об/хв$. Основний час на шліфування фасок одного сідла - $T_{o1} = 0,12 хв.$ Підготовчо-заключний час на базування інструменту за технічними характеристиками стенду - $T_{пз} = 2,3 хв.$

Таким чином, норма часу на шліфування фасок одного сідла клапана становитиме:

$$T_{н1} = 0,12 + 2,3 = 2,42 \, хв.$$

Відповідно, норма часу на шліфування фасок восьми сідел клапанів становитиме:

$$T_{н2(055)} = 8 \cdot T_{н1} = 8 \cdot 2,42 = 19,36 \, хв.$$

Загальна норма часу на виконання двох переходів шліфувальної операції становитиме:

$$T_{н.(055)} = T_{н1} + T_{н2} = 6,7 + 19,36 = 26,06 \, хв.$$

060 Слюсарна операція – ручне відновлення різьби М8×1,0–6Н у чотирьох отворах на глибину 10,0 мм.

Норму часу на проганяння різьби визначаємо за методикою, передбаченою для її нарізування.

Неповний штучний час на прогонку різьби М8 з кроком 1,0 при довжині нарізної частини 10,0 мм становить $T_{нш1} = 1,41 \; хв /$ на один різьбовий отвір.

Отже, неповний штучний час, необхідний для проганяння різьби у чотирьох отворах, становитиме:

$$T_{нш1} = 1,41 \cdot 4 = 5,64 \, хв.$$

Таким чином, норма часу на виконання слюсарної операції становитиме:

$$T_{н.(060)} = 5,64 \, хв.$$

065 Фрезерна операція – оброблення привалкової поверхні головки блока циліндрів на глибину 0,3 мм для усунення неплощинності, спричиненої дією термічних і динамічних навантажень. Після фрезерування глибина камери згоряння повинна становити не менше 18,7 мм.

Діаметр фрези обираємо з урахуванням габаритів оброблюваної поверхні. Застосування інструмента діаметром 250,0 мм забезпечує фрезерування привалкової площини головки блока циліндрів за один прохід.

Чистове оброблення виконують торцевою фрезою зі зняттям припуску 0,3 мм. Відповідно, глибина різання становить $t = 0,3 \, мм$.

$$S_{об} = 0,54 \, мм / об.$$

Основний час на операцію при довжині різання $L = 520\,мм$ (із врахуванням врізання та перебігу) та одному ($i = 1$) проходу фрези та швидкості різання $V = 57,2\,^{об}/_{хв}$ при $n = 165\,хв^{-1}$:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S_{об}} = \frac{520 \cdot 1}{165 \cdot 0,54} = 5,84\,хв.$$

Допоміжний час на встановлення та зняття ГБЦ із врахуванням її вагу та характеру закріплення – на столі із вивірення середньої складності - $T_{вс} = 3,0\,хв$.

Допоміжний час пов'язаний із проходом при обробці площини на перший прохід із одною пробною стружкою - $T_{пр} = 0,7\,хв$.

Тоді сумарний допоміжний час складе: $T_д = T_{вс} + T_{пр} = 3,0 + 0,7 = 3,7\,хв$., а оперативний час - $T_{оп} = T_o + T_д = 5,84 + 3,7 = 9,54\,хв$.

Додатковий час із врахуванням $K_{дод} = 0,07$ складе:

$$T_{дод} = 9,54 \cdot 0,07 = 0,67\,хв.$$

Підготовчо-заключний час операції при закріпленні ГБЦ на столі верстату та установці фрези становитиме - $T_{пз} = 24,0 + 2,0 = 26,0\,хв$.

Отже, норма часу на фрезерну операцію буде:

$$T_{н.(065).} = 9,54 + 0,67 + {}^{26}/_{2} = 23,21\,хв.$$

070 Контрольна операція – перевірка геометричних параметрів відновлених поверхонь і дефектних ділянок головки блока циліндрів.

За виробничими даними, зібраними під час проходження переддипломної практики на підприємстві, норма часу на виконання контрольної операції становить $T_{н.(070).} = 12,50\,хв$.

Відновлені поверхні головки блока циліндрів повинні відповідати встановленим технічним вимогам, дотримання яких забезпечує надійну та довговічну роботу пов'язаних із нею деталей. Під час завершального контролю перевіряють такі основні показники якості ремонту:

перед установленням клапанів перевіряють довжину їхніх стрижнів; різниця між отриманими значеннями не повинна перевищувати 0,5 мм, а всі клапани мають належати до однієї розмірної групи;

відхилення від площинності привалкової поверхні головки блока циліндрів допускається не більше 0,05 мм на довжині 100 мм;

різьбові отвори очищають від металевої стружки та інших забруднень; пошкодження понад двох витків різьби не допускається;

привалкова поверхня ГБЦ, площина під кришку клапанного механізму, отвори напрямних втулок і робочі фаски сідел клапанів мають бути чистими, без рисок, задирок і вибоїн;

на поверхнях каналів систем охолодження та мащення, а також на зовнішніх ділянках головки блока циліндрів не допускаються тріщини, відколи, раковини й корозійні пошкодження;

мастильні канали повинні бути очищені від відкладень, ретельно промиті та продуті стисненим повітрям;

після завершення відновлювальних операцій канали головки блока циліндрів перевіряють на герметичність;

герметичність спряження «фаска клапана – сідло» контролюють із застосуванням спеціальної технологічної рідини.

Розраховані норми часу на виконання окремих операцій і загальну величину штучно-калькуляційного часу ремонту головки блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110 за розробленою технологією наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Норми часу на виконання операцій ремонту головки блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110 об’ємом 1,6 л із восьмиклапанним газорозподільним механізмом.

№ опер.	Назва операції	Основний час операції T_{oi}, хв.	Норма часу на операцію T_{ni}, хв.
005	Контрольна	10,0	10,0
010	Свердлувальна	0,30	5,0
015	Слюсарна	0,09	12,82
020	Термічна	140,0	150,0
025	Зварювальна	0,85	2,36
030	Випробувальна	3,00	18,67

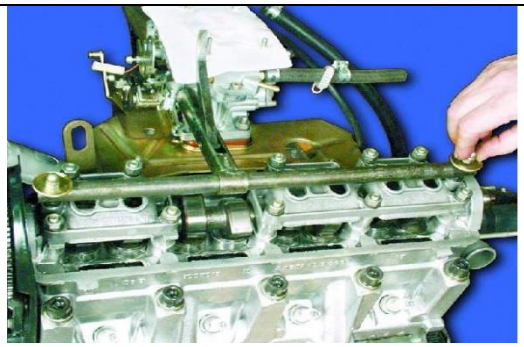
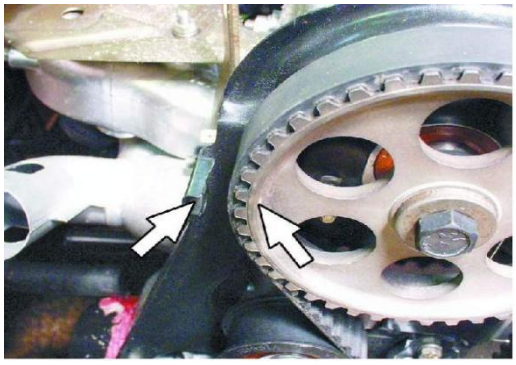
035	Контрольна	11,54	11,54
040	Пресова	2,00	11,60
045	Термічна	6,50	6,50
050	Слюсарна	20,08	20,08
055	Шліфувальна	23,56	26,06
060	Слюсарна	5,64	5,64
065	Фрезерувальна	9,54	23,21
070	Контрольна	12,5	12,50
Разом			316,0 хв. (5 год. 16 хв.)

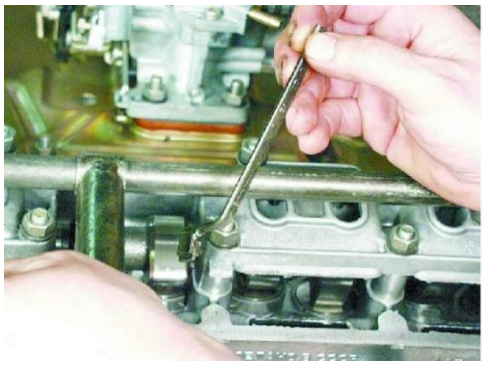
2.4 Технологічні карти виконання регулювальних операцій газорозподільного механізму автомобільного двигуна

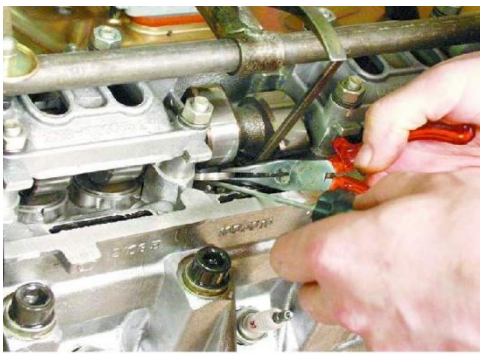
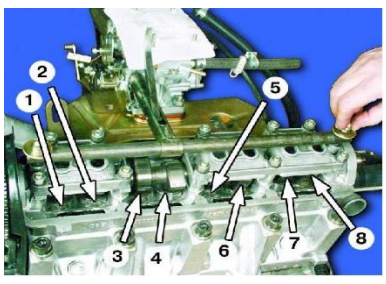
Послідовність операцій з перевірки та регулювання теплових зазорів у клапанному механізмі двигуна автомобіля Богдан 2110 наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Технологічна карта перевірки та регулювання теплових зазорів у газорозподільному механізмі бензинового двигуна автомобіля Богдан 2110 об’ємом 1,6 л із вісьмома клапанами.

№ операції	Перелік та послідовність дій при виконанні технологічної операції	Обладнання, інструмент та технічні умови	Трудомісткість операції,
005	Установити пристосування для переміщення штовхачів клапанів на шпильки кріплення клапанної кришки та закріпити його двома гайками.	Пристосування для переміщення клапанів із штовхачами. Ключ накидний двосторонній 13 мм.	0,02

			
010	Установити поршень першого циліндра у верхню мертву точку, після чого додатково повернути колінчастий вал на 40–50° за годинниковою стрілкою. 	Ключ торцевий з трищіткою 17 мм.	0,02
015	Виміряти теплові зазори першого і другого клапанів першого циліндра, третього клапана другого циліндра та п’ятого клапана третього циліндра. 	Оригінальне індикаторне пристосування або набір щупів мірних з кроком 0,05 мм.	0,10

020	У разі відхилення виміряного теплового зазору від номінального значення активувати пристосування та перемістити відповідний штовхач клапана вниз. 	Пристосування для переміщення клапанів із штовхачами.	0,02
025	Утримуючи штовхач у нижньому положенні, установити спеціальний фіксатор, який запобігає його зворотному переміщенню. 	Пристосування для переміщення клапанів із штовхачами. Фіксатор штовхача.	0,01
030	Відвести пристосування для опускання штовхача, після чого за допомогою викрутки вийняти з нього регулювальну шайбу. 	Пристосування для переміщення клапанів із штовхачами. Фіксатор штовхача. Тонка викрутка з плоским жалом.	0,02

035	Установити у штовхач нову регулювальну шайбу розрахункової товщини. 	Пристосування для переміщення клапанів із штовхачами. Фіксатор штовхача. Тонка викрутка з плоским жалом. Пласкогубці із подовженими губками.	0,05
040	Повторно виміряти тепловий зазор. Якщо отримане значення не відповідає номінальному, регулювальну операцію виконати повторно. 	Оригінальне індикаторне пристосування або набір щупів мірних з кроком 0,05 мм.	0,10
045	Повернути колінчастий вал на 360° за годинниковою стрілкою, після чого відрегулювати теплові зазори четвертого клапана другого циліндра, шостого клапана третього циліндра, а також сьомого і восьмого клапанів четвертого циліндра відповідно до послідовності операцій 015–040. 	Ключ торцевий з трищіткою 17 мм. Пристосування для переміщення клапанів із штовхачами. Фіксатор штовхача. Тонка викрутка з плоским жалом. Пласклгубці із подовженими губками.	0,40
Разом			0,74

Загальна трудомісткість ремонту однієї головки блока циліндрів з урахуванням розбирально-складальних, відновлювальних і регулювальних операцій, наведених у таблицях 2.1, 2.5 та 2.6, становить 8,69 люд.-год [2, 3, 7].

2.5 Розрахунок і обґрунтування вибору технологічного обладнання дільниці ремонту головок блока циліндрів

Виконання запланованої на 2026 рік виробничої програми за розробленим технологічним процесом потребує застосування спеціалізованого обладнання, пристосувань та інструменту, перелік яких наведено в таблицях 2.1, 2.3 і 2.6 технологічного розділу. Реалізація передбаченого обсягу робіт трудомісткістю 2224,5 люд.-год можлива лише за умови відповідності типорозмірного та кількісного складу оснащення потребам ремонтної дільниці.

Згідно з чинними методиками й нормативними положеннями технологічне обладнання добирають у два етапи. Спочатку розраховують мінімальну кількість одиниць основного устаткування відповідно до планової трудомісткості закріплених за ним робіт. На другому етапі визначають потребу в допоміжному обладнанні, інструменті, підйомно-транспортних засобах і виробничому інвентарі.

Мінімально необхідну кількість верстатів для ремонту головок блока циліндрів з урахуванням коефіцієнта їх використання за часом визначаємо за формулою:

$$N_{мв} = \frac{266{,}94 + 177{,}96 + 112{,}31 + 333{,}67 + 244{,}70}{1425 \cdot 0{,}30} = 2{,}66 \, верстати$$

Для виконання запланованої виробничої програми 2026 року дільницю необхідно додатково укомплектувати трьома верстатами, не враховуючи наявного металорізального обладнання.

Аналіз професійного устаткування, представленого на українському ринку, обґрунтовує вибір продукції італійської компанії SERDI. Обладнання цього виробника характеризується високою точністю, стабільною якістю виконання технологічних операцій і прийнятною вартістю.

Для оброблення робочих фасок клапанів та їхніх стрижнів застосовують універсальний верстат SERDI HVR90 (рис. 2.1). Особливістю обладнання є конструкція затискного механізму та приводу обертання клапана, яка забезпечує відновлення деталей різних типорозмірів незалежно від діаметра і довжини стрижня та розміру тарілки.

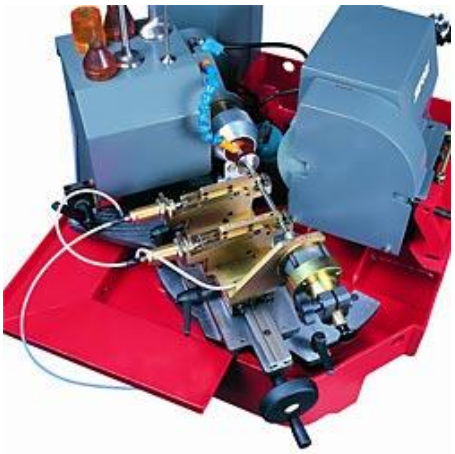


Рисунок 2.1 – Універсальний верстат для відновлення тарілок та стрижнів клапанів ГРМ «SERDI HVR90» (Італія).

Відновлення робочих поверхонь головки блока циліндрів виконують на універсальному верстаті SERDI 4.5 Power (рис. 2.2). Обладнання вирізняється високою потужністю і точністю та забезпечує оброблення деталей у діапазоні діаметрів від 14 до 120 мм. Верстат придатний для ремонту ГБЦ двигунів мотоциклів, легкових і вантажних автомобілів, а також тракторної техніки.

Рисунок 2.2 – Універсальний верстат для відновлення ГБЦ «SERDI 4,5 Power» (Італія).

Для перевірки герметичності головок блока циліндрів використовують стенд гідравлічного опресування SERDI SPT 1600 XL (рис. 2.3). Розміри його

робочої ванни дають змогу розміщувати великогабаритні ГБЦ, а вбудовані нагрівальні елементи забезпечують попереднє підігрівання води. Автоматизована система контролю та керування підтримує необхідні параметри випробування й сприяє зменшенню споживання електроенергії.

Рисунок 4.3. Універсальний стенд для гідравлічного випробування ГБЦ «SERDI SPT 1600 XL» (Італія).

Кількість потрібного зварювального обладнання для заварювання тріщин, сколів та кратерів на поверхнях ГБЦ при прийнятому коефіцієнті його завантаженості - $k = 0,25$ складе:

$$N_{зв} = \frac{289,18}{1425,3 \cdot 0,25} = 0,81 \, установки .$$

Для виконання зварювальних робіт під час усунення дефектів головки блока циліндрів передбачено одну зварювальну установку. Раціональним варіантом є напівавтоматичний комплекс українського виробництва ПАТОН КП-02, призначений для зварювання дротом у середовищі аргону та укомплектований джерелом живлення ПДГ-516М.

Повний перелік технологічного й допоміжного устаткування, необхідного для оснащення дільниці ремонту головок блока циліндрів, наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Номенклатура технологічного обладнання дільниці ремонту головок блока циліндрів двигунів внутрішнього згоряння.

Позиція	Тип та назва та обладнання	Кількість		Марка та модель	Габаритні розміри та особливості розміщення, мм	Площа підлоги під облад-нанням, $м^2$	Паспортна потужність електро-двигуна, кВт
		обчислена	прийнята				
1	Кран консольний	-	1	Вл. виготов	-	0,00	0,7
2	Верстат консольно-фрезерний	-	1	6М13П	2280×1965 ×2265	4,48	10,0
3	Верстат токарно-гвинторізний	-	1	16Б16А	2280×1060	2,42	2,8
4	Верстат вертикально-свердлувальний	-	1	2Р135Ф2-1	1800×2170	3,91	3,7
5	Верстат універсальний для відновлення ГБЦ	1	1	SERDI 4,5	1650×660 ×1850	1,09	5,5
6	Верстат універсальний для відновлення клапанів ГБЦ	1	1	SERDI HVR90	440×600 ×320 (настільний)	0,00	0,6
7	Стенд для гідравлі-чного випробування ГБЦ	1	1	SERDI SPT 1600 XL	1450×600 ×1260	0,87	1,6
8	Напівавтомат зварюва-льний для зварювання алюмінію у середовищі аргону	1	1	КП-02 з трансф. ПДГ-516М	780×650 ×820	0,00	5,5
9	Термопіч	-	1	SNOL 30/1300	640×870 ×840	0,56	4,6
10	Ванна мийна	-	1	Вл. виготов	1200×800	0,96	0,0
11	Пристосування для закріплення та ремонту ГБЦ	-	1	Вл. виготов	890×450× 450 (настільний)	0,00	0,0
12	Пристосування для визначення величин	-	1	Вл. виготов	240×180 ×260 (настільне)	0,00	0,0

	теплових зазорів в приводі клапанів ГРМ						
13	Верстак слюсарний	-	2	Вл. виготов	1400×800	4,24	0,0
14	Тумба інструментальна	-	3	ОРГ-43-22	532×600	0,96	0,0
15	Стелаж секційний	-	4	2247	1400×450	2,52	0,0
16	Прийомно-пересувний стіл	-	3	Вл. виготов	400×660	0,79	0,0
17	Візок для міжопераційного транспортування деталей	-	2	Вл. виготов	1400×800	2,24	0,0
18	Балон із N_2	-	1	-	∅200×600	0,03	0,0
19	Ящик із піском	-	1	Вл. виготов	400×665	0,27	0,0
Разом						25,34	35,0

Таким чином, мінімальна площа, необхідна для розміщення обладнання дільниці ремонту головок блока циліндрів, становить 25,34 м², а загальна встановлена потужність електроспоживачів – 35,0 кВт.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Визначення пріоритетних напрямів проєктних розробок

Важливими етапами ремонту головки блока циліндрів, що передують її відновленню, є розбирально-складальні операції та регулювання теплових зазорів у газорозподільному механізмі.

Запобігання додатковим пошкодженням деталей ГБЦ і газорозподільного механізму можливе лише за умови дотримання технологічних карт і нормативних вимог, застосування спеціального обладнання, пристосувань та відповідного інструменту [4, 13, 15].

Точність ремонтних операцій і якість отриманих результатів залежать не лише від технічного рівня обладнання, а й від правильності базування та надійності закріплення головки блока циліндрів під час оброблення.

Стенд для гідравлічного опресування SERDI SPT 1600 XL і універсальний верстат SERDI 4.5 у базовій комплектації оснащені необхідними установлювальними пристроями. Водночас під час розбирання та складання ГБЦ на слюсарному верстаку її просторове положення доводиться неодноразово змінювати. Для утримання деталі слюсарю потрібна допомога іншого працівника, що збільшує тривалість і вартість робіт, ускладнює їх виконання та знижує якість операцій.

Для усунення зазначених недоліків доцільно застосувати універсальне пристосування, призначене для закріплення головок блока циліндрів різних типів. З його використанням також можна контролювати зношення отворів напрямних втулок, виконувати розсухарювання клапанів і регулювати теплові зазори клапанного механізму. Для проведення цих операцій конструкцію оснащують змінними допоміжними модулями.

Пристосування складається з окремих деталей, об’єднаних у три основні вузли: опорну стійку, поворотну платформу та траверсу (рис. 3.1).

Опорна стійка пристосування містить основу у вигляді плити (2), вертикальні стійки (3) та стопорний гвинт (4). Поворотну платформу формують елементи, позначені на рисунку 3.1 позиціями 5–9 [15].

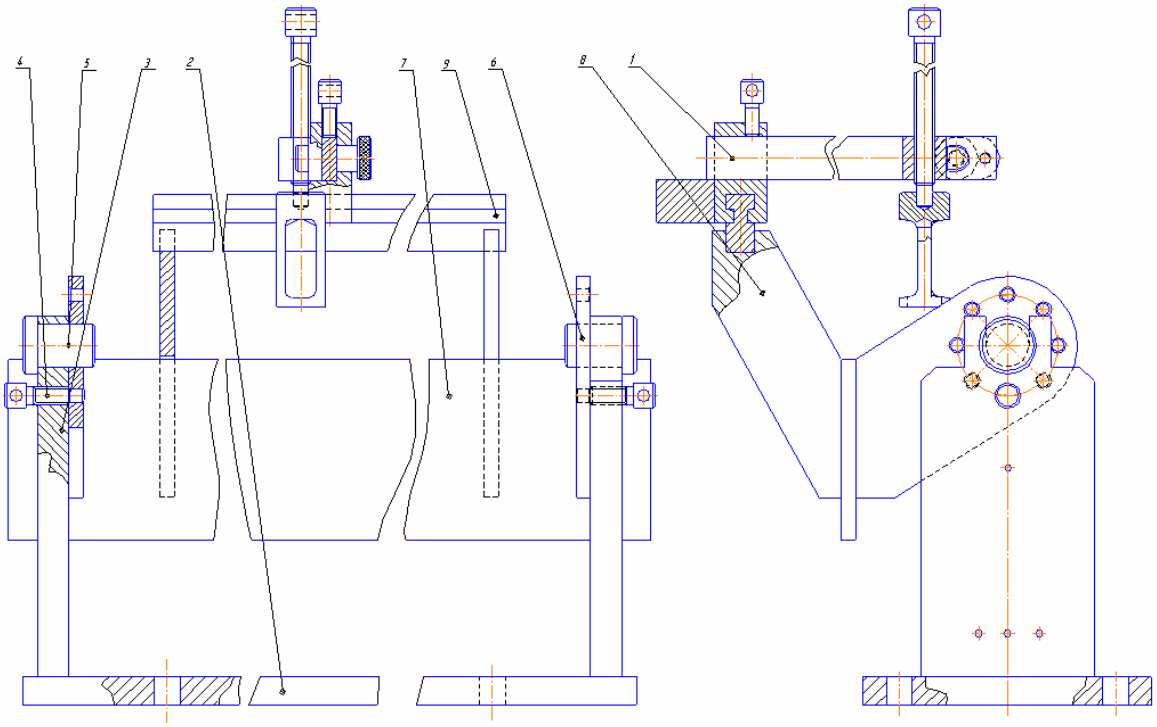


Рисунок 3.1. – Конструктивна схема універсального пристосування для закріплення та ремонту ГБЦ ДВЗ.

Головку блока циліндрів закріплюють на несучій пластині (7) за допомогою болтового з'єднання.

Основними елементами пристрою для розсухарювання клапанів (рис. 3.2) є повзун (1), який переміщується вздовж напрямної (9) поворотної платформи, пластина (2) та рухома штанга (3). На штанзі встановлено механізм розсухарювання клапанів (10) із силовим натискним гвинтом (5). Необхідний виліт штанги фіксують стопорним гвинтом (4).

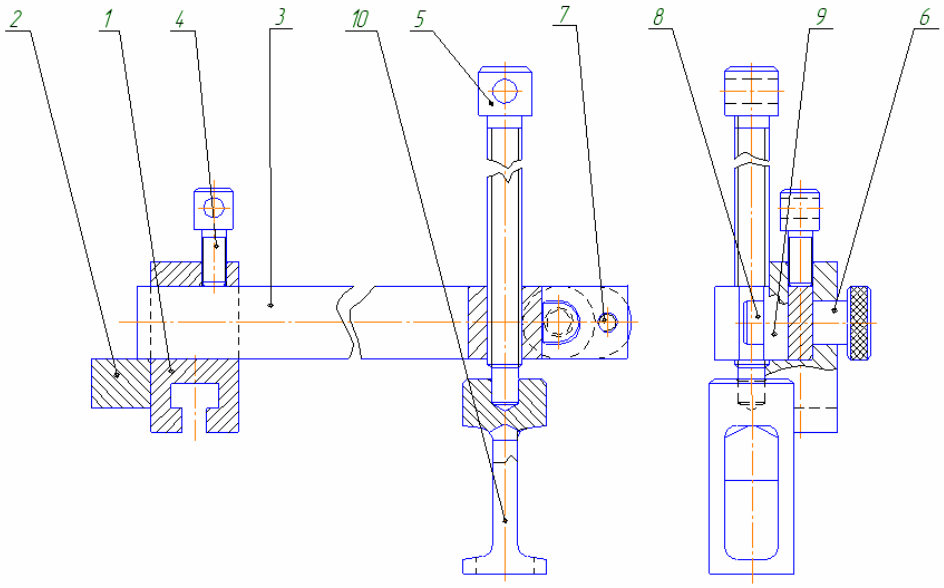


Рисунок 3.2. - Додаткове пристосування до стенду призначене для розсухарювання клапанів:

На протилежному кінці штанги розміщено фланець (9), закріплений віссю (6) і гайкою (8). Його задане просторове положення утримується гвинтом (7).

Така конструкція забезпечує співвісне встановлення розсухарювача (10) відносно клапана головки блока циліндрів будь-якого типорозміру.

Задля забезпечення можливості оцінки й контролю величин зазорів Δ (рис. 3.3 а) у спряженні напрямна втулка клапану – стрижень клапану пристосування може бути оснащено додатковим пристроєм (рис. 3.4), який визначає величину дійсного переміщення тарілки клапана (D_m), що є технологічно більш простим й точним (рис. 3.3 б): обчислення залежності $\Delta_m / \Delta \approx 2{,}1$ дозволяє встановити взаємозв'язок наявного зазору Δ й переміщення D_m тарілки клапану із її середнього положення у крайнє; при цьому повне переміщення тарілки клапану (D_m) між двома крайніми положеннями складатиме $2\Delta_m$.

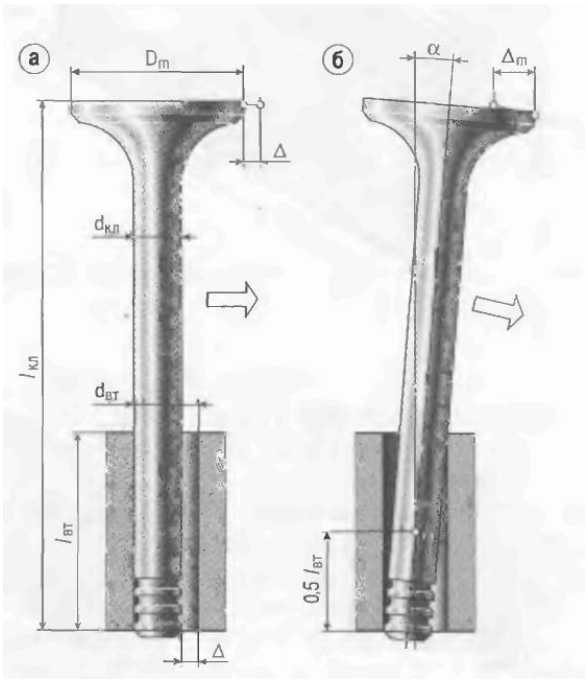


Рисунок 3.3 – Контроль зазору в спряженні стрижень клапана – напрямна втулка:

а – визначення зазору між стрижнем клапана та напрямною втулкою; б – оцінювання зазору за величиною переміщення тарілки клапана.

Аналіз засобів контролю теплових зазорів у приводі клапанів газорозподільного механізму показав, що для їх вимірювання найчастіше застосовують традиційні пластинчасті щупи (рис. 3.5) [15].

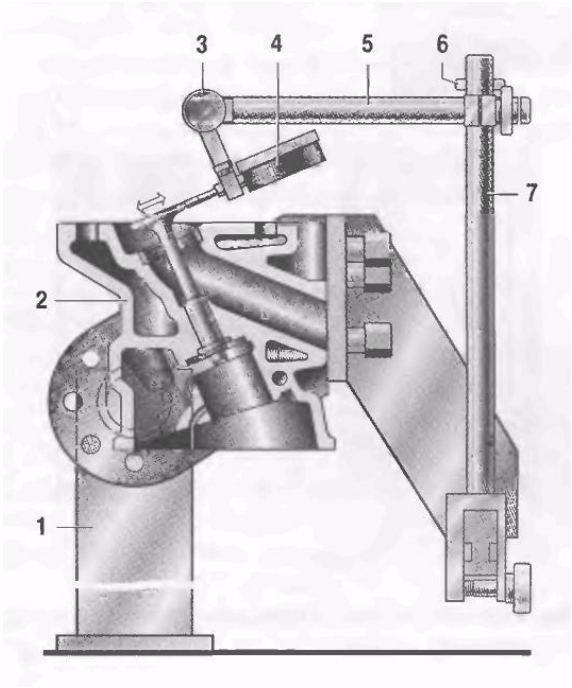


Рисунок 3.4 – Допоміжний пристрій для контролю зазору в спряженні «стрижень клапана – напрямна втулка»:

1 – універсальне пристосування, наведене на рисунку 3.1; 2 – головка блока циліндрів двигуна; 3 – кріплення індикаторної головки; 4 – індикаторна головка; 5, 7 – горизонтальна та вертикальна штанги; 6 – з’єднувальний механізм штанг.

Рисунок 3.5 – Пластинчастий щуп для контролю теплового зазору в приводі клапанів.

Точність контролю за допомогою щупа визначається правильністю вибору його товщини, станом робочих поверхонь і об’єктивністю оцінювання, яка значною мірою залежить від кваліфікації слюсаря.

Більш точним є застосування індикаторних пристроїв з вимірювальними головками, що забезпечують визначення переміщень із точністю до 0,01 мм (див. рис. 3.6).

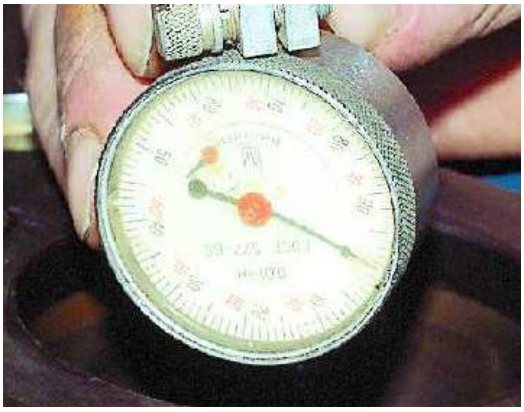


Рисунок 3.6 – Індикаторна головка для виконання лінійних вимірювань.

Конструкцію індикаторного пристосування, яке після одноразового встановлення на головці блока циліндрів дає змогу послідовно контролювати теплові зазори клапанного механізму, наведено на рисунку 3.7 [15].

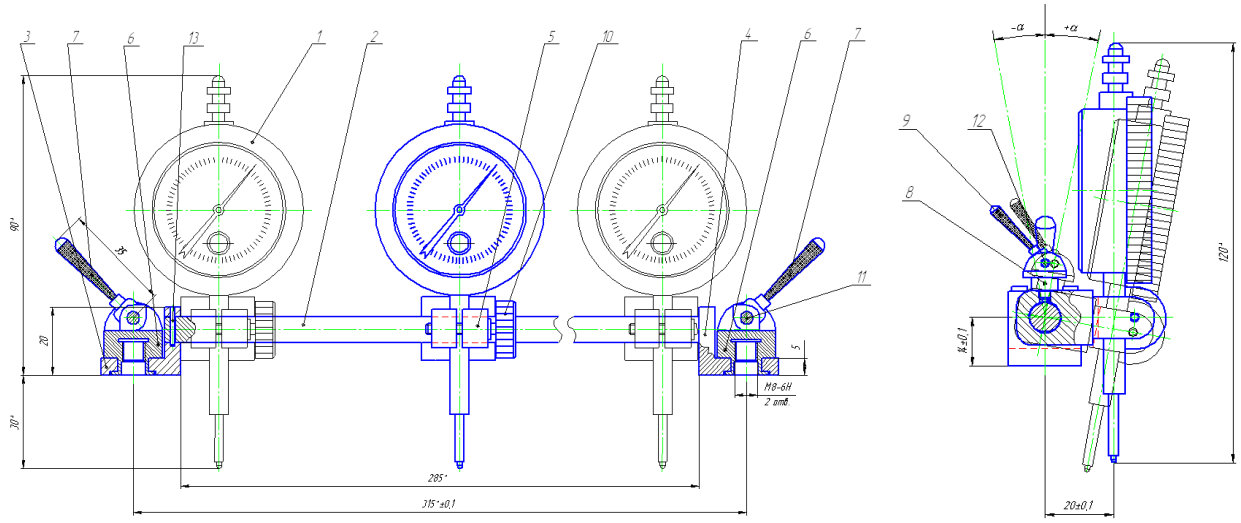


Рисунок 3.7 – Пристосування для контролю теплових зазорів у приводі клапанів газорозподільного механізму двигуна:

1 – індикаторна головка; 2 – напрямна; 3 – лівий фланець; 4 – правий фланець; 5 – напрямна стійка; 6 – гайка; 7 – рукоятка гайки; 8 – фіксатор напрямної стійки; 9 – рукоятка фіксатора; 10 – стопорний елемент; 11, 12 – осі; 13 – штифт.

Установлення пристосування на головці блока циліндрів і його налаштування виконують за схемою, наведеною на рисунку 3.8. Послідовність вимірювання та регулювання теплових зазорів клапанного механізму з його застосуванням є такою:

після зняття кришки клапанного механізму електронним термометром контролюють температуру деталей ГРМ. До виконання регулювальних операцій приступають після охолодження головки блока циліндрів до температури 25 ± 5

°С. За вищої температури деталі залишаються термічно розширеними, унаслідок чого виміряні зазори будуть заниженими, що спричинить похибки під час регулювання.

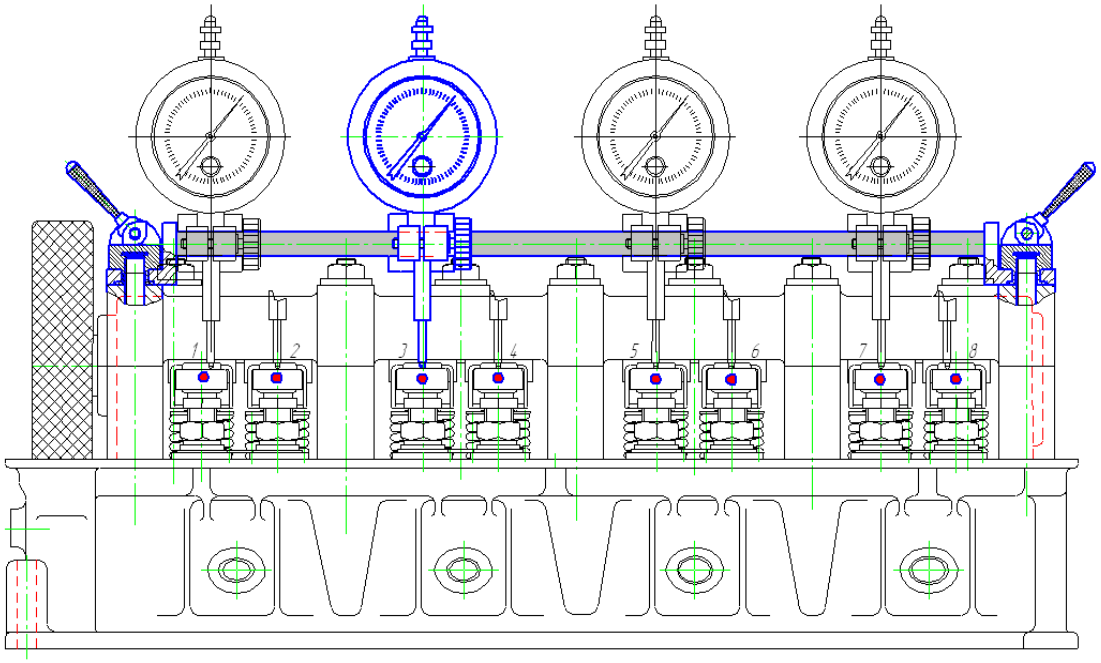


Рисунок 3.9 – Схема встановлення та закріплення пристосування на головці блока циліндрів.

установлення і попереднє закріплення пристосування допускається виконувати за підвищеної температури ГБЦ, що скорочує загальну тривалість підготовчих робіт;

після фіксації пристосування на ньому встановлюють і налаштовують індикаторну головку (1). Номери позицій тут і далі відповідають рисунку 3.7;

індикаторну головку (1) розміщують у технологічному отворі напрямної стійки (5) та попередньо закріплюють фіксатором (10). Поворотом стійки (5) відносно осі напрямної (2) у вертикальній площині забезпечують контакт вимірювального наконечника зі штовхачем або коромислом контрольованого клапана. Після цього положення стійки закріплюють фіксатором (8), індикаторну головку остаточно затискають фіксатором (10), а її шкалу встановлюють у нульове положення;

перед вимірюванням повторно контролюють температуру головки блока циліндрів;

штовхач клапана переміщують у вертикальному напрямку, а величину

його ходу визначають за показаннями індикатора. Для зменшення похибки вимірювання повторюють, за потреби коригуючи положення головки;

якщо отриманий тепловий зазор не відповідає нормативному значенню, його регулюють відповідно до технології підприємства-виробника двигуна;

для контролю наступного клапана послаблюють фіксатор (8), переміщують напрямну стійку (5) уздовж напрямної (2) і встановлюють її у потрібному положенні. За необхідності змінюють розташування індикаторної головки (1) за допомогою фіксатора (10), після чого повторюють вимірювання;

після завершення контролю й регулювання пристосування демонтують із ГБЦ, установлюють кришку клапанного механізму та інші елементи, зняті під час виконання робіт [15].

3.2 Проєктні та перевірні розрахунки елементів конструкції запропонованих пристосувань

Розрахунок болтів кріплення опорної плити пристосування. Опорну плиту (2) пристосування для фіксації головки блока циліндрів (див. рис. 3.1) закріплюють на робочій поверхні слюсарного верстака болтовим з'єднанням. З конструктивних міркувань застосовують чотири стандартні болти із шестигранною головкою М16×60.109.40Х.019, затягнуті з установленим моментом.

Під час виконання розбирально-складальних операцій на кріпильні елементи діють навантаження, здатні спричинити зріз витків або зминання контактних поверхонь різьби болтів і гайок. Поява таких деформацій може призвести до втрати міцності та руйнування з'єднання. Тому перевірка його працездатності передбачає визначення напружень зрізу і зминання з подальшим порівнянням отриманих результатів із допустимими значеннями [15].

Напруження зрізу у витках різьби болта визначають за умовою міцності:

$$\tau_{зр} = \frac{Q_3}{\pi \cdot d_1 \cdot K \cdot H \cdot K_m} \le [\tau_{зр}], МПа,$$

де Q_3 – величина зусилля в з'єднанні, яке виникає від моменту затяжки;

d_1 – внутрішній діаметр різьби; приймаємо $d_1 = 13{,}835\,мм$;

K – коефіцієнт повноти профілю різьби; приймаємо $K = 0{,}87$;

H – висота гайки; при застосуванні стандартної гайки типорозміру М16 виконання приймаємо $H = 13\,мм$;

K_m – коефіцієнт, що враховує нерівномірність навантаження витків різьби із урахуванням наявних пластичних деформацій; приймаємо $K_m = 0{,}75$.

Осьове зусилля, що виникає в різьбовому з'єднанні внаслідок затягування болта, визначають за залежністю:

$$Q_3 = \frac{M_{зат}}{\frac{d_c}{2} tg(\psi + \rho') + \frac{1}{3} f \frac{D_{кл}^3 - d_c^3}{D_{кл}^2 - d_c^2}},$$

де $M_{зат}$ – регламентований момент затяжки болтового з'єднання при його утворенні; приймаємо $M_{зат} = 24{,}525\,кН$;

d_c – середній діаметр різьби; приймаємо $d_c = 14{,}7\,мм$;

ψ - кут підйому різьби; для різьби *М16×60.109.40Х.019* приймаємо величину $\psi = 2^0 30'$;

$D_{кл}$ – діаметр ключа; приймаємо $D_{кл} = 22{,}0\,мм$;

ρ' - кут тертя в різьбі, який залежить від:

$$\rho' = \frac{\rho}{\cos\frac{\alpha}{2}},$$

де ρ - кут тертя; за умови, що $tg\rho = f = 0{,}15$ приймаємо $\rho = 8^0 32'$;

α - кут профілю різьби; приймаємо $\alpha = 60^0$.

За прийнятих вихідних параметрів кут тертя в різьбі болтового з'єднання становитиме:

$$\rho' = \frac{8^0 32'}{\cos 30^0} = \frac{8^0 32'}{0.8^{66}} = 9^0 51'.$$

Зусилля затягування, створюване прикладеним моментом, становитиме:

$$Q_3 = \frac{24525}{\frac{14,7}{2} tg(2^0 30' + 9^0 51') + \frac{1}{3} \cdot 0,15 \frac{22^3 - 14,7^3}{22^2 - 14,7^2}} = 81913,5\,Н\,.$$

За визначеного зусилля затягування напруження зрізу у витках різьби болта становитимуть:

$$\tau_{зр} = \frac{81913,5}{3,14 \cdot 13,835 \cdot 13 \cdot 0,87 \cdot 0,75} = 222,7\,МПа\,.$$

Допустимі значення напруження на зріз болта становлять $[\tau] = 0,3 \cdot \sigma_т$, в той час як межа текучості матеріалу болта виготовленого із сталі *40Х* складає $\sigma_т = 900,0\,МПа$. В такому разі $[\tau] = 0,3 \cdot 900,0 = 270,0\,МПа$.

Перевірку міцності болтів на зріз виконуємо шляхом порівняння розрахункового напруження з допустимим значенням:

$$\tau_{зр} < [\tau_{зр}]$$

$$222,7\,МПа < 270,0\,МПа\,.$$

Порівняння отриманих і допустимих значень підтверджує виконання умови міцності на зріз, отже надійність болтів у з'єднанні забезпечена.

Напруження зрізу у витках різьби гайки визначаємо за залежністю:

$$\tau_{зр} = \frac{Q_3}{\pi \cdot d \cdot K \cdot H \cdot K_т},$$

$$\tau_{зр} = \frac{81913,5}{3,14 \cdot 16 \cdot 0,87 \cdot 13 \cdot 0,75} = 192,0\,МПа\,.$$

Перевірку міцності різьби гайки на зріз виконуємо порівнянням розрахункового напруження з допустимим значенням:

$$\tau_{зр} = 192,0\,МПа \langle [\tau_{зр}] = 270,0\,МПа.$$

Порівняння розрахункового та допустимого значень підтверджує виконання умови міцності різьби гайки на зріз, тому надійність з'єднання забезпечена.

Напруження розтягу в матеріалі болтів визначаємо за залежністю і порівнюємо з допустимим нормативним значенням:

$$\sigma_p = \frac{4Q_3}{\pi \cdot d_1^2} \le [\sigma_p]$$

де $[\sigma_p]$ – допустима величина напруження в матеріалі болтів при розтягуванні, яку в свою чергу визначаємо із виразу:

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{n},$$

де n – коефіцієнт запасу міцності болта при регламентованому зусиллі початкової затяжки; приймаємо $n = 1,5$;

За прийнятих вихідних даних допустиме напруження в матеріалі болтів становитиме:

$$[\sigma_p] = \frac{900,0}{1,5} = 600,0\ МПа.$$

Розрахункове напруження розтягу в матеріалі болтів становитиме:

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot 81913,5}{3,14 \cdot 13,835} = 539,6\ МПа.$$

Перевірку умови міцності болтів виконуємо шляхом порівняння розрахункового напруження розтягу з допустимим значенням:

$$\sigma_p \langle [\sigma_p]$$

$$539,6\ МПа < 600,0\ МПа.$$

Умова міцності болта на розтяг виконується, тому його працездатність забезпечена.

Напруження зминання у витках різьби гайки визначаємо за відповідною залежністю та перевіряємо за умовою:

$$\sigma_{зм} = \frac{4Q_3}{\pi(d^2 - d_1^2) \cdot K_m \cdot z} \le [\sigma_{зм}]$$

де z – кількість витків різьби гайки; для прийнятої висоти гайки ця величина складає:

$$z = \frac{H}{S} = \frac{13,0}{2,0} = 6,5\ витків;$$

S – крок різьби; приймаємо $S = 2,0\ мм$.

За прийнятих вихідних параметрів напруження зминання у витках різьби гайки становитиме:

$$\sigma_{зм} = \frac{4 \cdot 81913,5}{3,14 \cdot (16,0^2 - 13,835^2) \cdot 0,75 \cdot 6,5} = 333,5\ МПа.$$

Допустиме напруження зминання у витках різьби визначаємо за залежністю:

$$[\sigma_{зм}] = 0,6[\sigma_р] = 0,6 \cdot 589,0 = 353,0\ МПа$$

Перевірку умови міцності різьби на зминання виконуємо порівнянням розрахункового напруження з допустимим значенням:

$$\sigma_{зм} < [\sigma_{зм}] \rightarrow 333,5\ МПа < 353,0\ МПа$$

Умова міцності виконується, що підтверджує надійність різьбового з’єднання під час експлуатації.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників під час ремонту головки блока циліндрів

Технологічний процес ремонту головки блока циліндрів двигуна автомобіля Богдан 2110 охоплює розбирання, очищення, дефектування, механічне оброблення, нагрівання, зварювання, випресовування і запресовування напрямних втулок, відновлення клапанних сідел, гідравлічне випробування, складання та регулювання газорозподільного механізму. Кожна з перелічених операцій супроводжується певними небезпечними або шкідливими виробничими чинниками, які необхідно враховувати під час організації робочого місця.

Основну групу небезпек становлять рухомі частини верстатів, різальний інструмент, затискні пристрої та деталі, що переміщуються. Під час оброблення головки блока циліндрів на свердлильному, фрезерному або спеціалізованому верстаті SERDI 4.5 можливе захоплення одягу обертовими елементами, травмування металевою стружкою, порізи гострими крайками та затискання рук між деталлю і пристосуванням. Ненадійне закріплення ГБЦ може спричинити її зміщення або падіння, пошкодження інструменту та травмування оператора.

Під час розбирання клапанного механізму значну небезпеку створюють стиснені клапанні пружини. У разі неправильного встановлення розсухарювача можливе раптове вивільнення пружини, тарілки або сухарів. Тому головку блока циліндрів необхідно надійно фіксувати в пристосуванні, а механізм стискання пружини встановлювати співвісно зі стрижнем клапана [17, 18].

Під час демонтажу та встановлення напрямних втулок небезпечними є зусилля пресування, рух виконавчих механізмів і можливе руйнування втулки. Робоча зона пресового обладнання повинна бути закритою для випадкового доступу рук. Установлювати, поправляти або виймати деталі під час руху штока заборонено.

Зварювання тріщин алюмінієвої головки супроводжується дією електричної дуги, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання,

високої температури, зварювального аерозолю і бризок розплавленого металу. Додаткову небезпеку створюють балони із захисним газом, електричне обладнання та нагріта деталь. У зоні зварювання також існує ризик виникнення пожежі через наявність мастильних матеріалів, обтирального ганчір'я або інших горючих речовин.

Під час попереднього нагрівання ГБЦ у термічній печі небезпечними є нагріті поверхні, теплове випромінювання та можливість отримання опіків. Виймання деталі з камери печі виконують тільки після відключення нагрівання, застосовуючи термостійкі рукавиці та відповідний захватний інструмент.

Охолодження напрямних втулок у рідкому азоті пов'язане з дією надзвичайно низької температури. Потрапляння рідкого азоту на незахищену шкіру може спричинити холодовий опік. Інтенсивне випаровування азоту в недостатньо вентильованому приміщенні призводить до зменшення концентрації кисню. Тому посудину з азотом установлюють у добре вентильованій зоні, захищають від перекидання та не закривають герметично.

Під час очищення деталей працівник контактує із залишками моторної оливи, охолоджувальної рідини, мийними засобами та металевими забрудненнями. Тривалий контакт таких речовин зі шкірою може викликати подразнення. Видалення забруднень стисненим повітрям створює небезпеку потрапляння частинок в очі та органи дихання [17, 18].

Характерні небезпечні та шкідливі чинники наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі чинники дільниці ремонту ГБЦ.

Технологічна операція	Небезпечний або шкідливий чинник	Можливий наслідок
Розбирання клапанного механізму	Пружна енергія стиснутих пружин, гострі крайки	Удари, порізи, травмування очей
Свердління і фрезерування	Обертовий інструмент, стружка, шум	Захоплення одягу, порізи, ушкодження органів слуху
Пресові операції	Рухомий шток, значні зусилля стискання	Затискання та травмування рук

Термічне нагрівання	Висока температура деталі й печі	Термічні опіки
Зварювання	Випромінювання дуги, аерозоль, бризки металу	Опіки, ураження очей і органів дихання
Робота з рідким азотом	Температура –196 °C, витіснення кисню	Холодові опіки, киснева недостатність
Гідравлічне випробування	Надлишковий тиск, нагріта вода	Розгерметизація, опіки, травмування
Переміщення ГБЦ	Маса деталі, нестійке положення	Падіння деталі, перевантаження працівника

4.2 Організаційно-технічні заходи безпечного виконання ремонтних операцій

До ремонту головок блока циліндрів допускають працівників, які пройшли медичний огляд, вступний і первинний інструктажі, навчання безпечним методам роботи та перевірку знань з охорони праці. До виконання зварювальних, вантажопідіймальних та інших робіт підвищеної небезпеки залучають осіб, які мають відповідну підготовку і допуск.

Робоче місце слюсаря повинно бути достатньо освітленим, не захараценим деталями, інструментами та відходами. Проходи до обладнання, евакуаційних виходів і засобів пожежогасіння необхідно утримувати вільними. Підлога повинна бути рівною, сухою та стійкою до дії мастильних матеріалів. Розлиту оливу, охолоджувальну рідину або мийний розчин слід негайно прибирати [16–18].

Головку блока циліндрів установлюють на верстаку в спеціальному поворотному пристосуванні. Перед початком роботи перевіряють надійність кріплення опорної плити до верстака, справність стопорних елементів і відсутність тріщин у зварних та болтових з’єднаннях. Змінювати положення деталі дозволено лише після послаблення затиску з подальшою повторною фіксацією.

Під час розсухарювання клапанів робочий орган пристрою встановлюють без перекосу. Сухарі виймають магнітним щупом або пінцетом. Розташовувати обличчя над стиснутою пружиною, утримувати її руками або використовувати випадкові важелі заборонено.

Перед увімкненням верстата необхідно перевірити захисні огородження, справність органів керування, заземлення, освітлення робочої зони та надійність затискання інструменту. ГБЦ закріплюють так, щоб під час оброблення вона не зміщувалася. Вимірювання, очищення стружки, заміну інструменту та регулювання пристосувань виконують лише після повної зупинки шпинделя. Стружку видаляють щіткою або гачком, а не руками чи струменем стисненого повітря.

Під час використання верстата SERDI 4.5 оператор повинен контролювати співвісність шпинделя з напрямною втулкою або сідлом клапана. Перевищення встановленої подачі, тиску в пневмосистемі чи допустимого зусилля пресування не допускається. Перед випресовуванням напрямної втулки перевіряють правильність установлення оправки та відсутність людей у напрямку можливого вильоту деталі.

Зварювальне робоче місце обладнують місцевою витяжною вентиляцією та захисними екранами. Перед зварюванням ГБЦ очищають від залишків мастила, мийних речовин і забруднень. Зварювальник повинен користуватися маскою зі світлофільтром, вогнестійким спецодягом, рукавицями та захисним взуттям. Балон з аргоном установлюють вертикально, закріплюють від падіння і розміщують на безпечній відстані від джерел нагрівання [16–18].

Нагріту головку блока циліндрів переміщують спеціальними захватами або підіймальним пристроєм. Перед відкриванням термічної печі оператор повинен переконатися у відключенні нагрівальних елементів. Гарячу деталь розміщують на термостійкій підставці та позначають попереджувальним знаком.

Роботи з рідким азотом виконують у захисному щитку або окулярах, кріогенних рукавицях, закритому одязі та взутті. Напрямні втулки занурюють і виймають металевими щипцями. Переливати рідкий азот у побутовий або герметично закритий посуд не допускається.

Перед гідравлічним випробуванням ГБЦ на стенді SERDI SPT 1600 XL перевіряють стан трубопроводів, ущільнень, заглушок і затискних елементів. Підвищення тиску здійснюють поступово. Підтягувати кріплення, поправляти заглушки або торкатися з'єднань під тиском заборонено. Після випробування спочатку повністю знижують тиск, а потім демонтують деталь.

Для захисту працівників передбачають такі засоби індивідуального захисту:

костюм або комбінезон із щільно застебнутими рукавами;

захисне взуття з нековзною підошвою та укріпленим носком;

захисні окуляри або лицевий щиток;

рукавиці, підібрані відповідно до характеру операції;

засоби захисту органів слуху під час тривалої роботи шумного обладнання;

респіратор під час очищення деталей і утворення пилу або аерозолю;

спеціальні засоби захисту зварювальника;

кріогенні рукавиці під час роботи з рідким азотом.

Ручне підіймання та переміщення ГБЦ виконують із дотриманням безпечної пози. Для транспортування деталі між робочими постами доцільно використовувати візок, пересувний стіл або консольний кран. Залишати головку блока циліндрів на краю верстака чи встановлювати її на нестійкі підставки заборонено.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес ремонту головки блока циліндрів бензинового двигуна автомобіля Богдан 2110 робочим об’ємом 1,6 л із восьмиклапанним газорозподільним механізмом. Прийняті рішення спрямовані на відновлення геометричних параметрів, герметичності та функціональних властивостей ГБЦ із забезпеченням належної якості й технологічності ремонтних робіт.

У загально-технічному розділі розглянуто конструкцію головки блока циліндрів і клапанного механізму, проаналізовано умови їх роботи та основні види навантажень. Встановлено, що найбільш поширеними пошкодженнями є тріщини й раковини на поверхнях корпусу, деформація привалкової площини, зношення напрямних втулок, фасок клапанів і сідел, пошкодження різьбових отворів та порушення теплових зазорів. Визначено взаємозв’язок між причинами появи дефектів, зовнішніми проявами несправностей і можливими наслідками для роботи двигуна.

Розроблено технологічну послідовність розбирання головки блока циліндрів, що передбачає її надійне закріплення, послідовне демонтування навісних елементів, розподільного вала, штовхачів, клапанних пружин, клапанів і масловідбивних ковпачків. Установлена черговість операцій дає змогу зберегти комплектність деталей, запобігти їх пошкодженню та підготувати ГБЦ до дефектування і відновлення.

Сформовано маршрут усунення основних дефектів головки блока циліндрів. Для ремонту тріщин передбачено засвердлювання їх кінців, формування канавки трикутного профілю, попереднє нагрівання ГБЦ до температури 180–200 °С і подальше заварювання в середовищі аргону дротом АМг6. Якість відновлення контролюють випробуванням на герметичність. Зношені напрямні втулки замінюють із попереднім охолодженням нових деталей у рідкому азоті до –196 °С, після чого їх запресовують та обробляють до необхідного розміру. Робочі фаски сідел відновлюють профільними фрезами, пошкоджену різьбу – проганянням мітчиком, а неплощинність привалкової поверхні усувають фрезеруванням зі зняттям шару металу завтовшки 0,3 мм.

Для виконання високоточних операцій обґрунтовано застосування універсального верстата SERDI 4.5 Power, верстата для відновлення клапанів SERDI HVR90 та стенда гідравлічного опресування SERDI SPT 1600 XL. Для заварювання дефектів алюмінієвого корпусу передбачено напівавтоматичну установку ПАТОН КП-02 із джерелом живлення ПДГ-516М. Застосування такого комплексу обладнання забезпечує точне базування деталі, стабільність режимів оброблення та належну якість контролю.

Виконано нормування операцій технологічного процесу. Тривалість безпосередньо відновлювальних і контрольних робіт становить 316 хв, або 5 год 16 хв. З урахуванням розбирання, складання та регулювання газорозподільного механізму загальна трудомісткість ремонту однієї головки блока циліндрів становить 8,69 люд.-год. Розроблена технологічна карта регулювання теплових зазорів передбачає послідовну перевірку всіх клапанів і встановлення регулювальних шайб розрахункової товщини.

Для реалізації запланованої виробничої програми обґрунтовано потребу в трьох одиницях нового спеціалізованого обладнання, не враховуючи наявних металорізальних верстатів. Сформовано номенклатуру основного та допоміжного устаткування ремонтної дільниці. Мінімальна площа, необхідна для його розміщення, становить 25,34 м², а сумарна встановлена потужність електроспоживачів – 35,0 кВт.

У конструкторському розділі запропоновано універсальне пристосування для встановлення і фіксування головок блока циліндрів різних типорозмірів. Поворотна платформа забезпечує зміну просторового положення деталі без залучення додаткового працівника, що полегшує виконання розбирально-складальних операцій. Конструкцію оснащено змінним модулем для розсухарювання клапанів, індикаторним пристроєм для контролю зношення напрямних втулок і пристосуванням для вимірювання теплових зазорів із точністю до 0,01 мм. Проведені перевірні розрахунки болтового кріплення опорної плити підтвердили виконання умов міцності на зріз, розтяг і зминання різьби. Отже, прийняті конструктивні параметри забезпечують надійне закріплення пристосування та його безпечну експлуатацію під час ремонту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 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.

2. Захарчук В. І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів : навчальний посібник. Київ : Каравела, 2022. 232 с.

3. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни : підручник. Київ : Арістей, 2005. 476 с.

4. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : навчальний посібник / І. Б. Гевко, Р. М. Рогатинський, О. Л. Ляшук, М. Г. Левкович, В. З. Гудь, М. Я. Сташків, М. Д. Сіправська. Тернопіль : Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.

5. Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» / уклад.: М. Г. Левкович, А. Б. Гупка, М. Д. Сіправська. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. 136 с.

6. Канарчук В. Є., Лудченко О. А., Чигиринець А. Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 1: Теоретичні основи. Технологія : підручник. Київ : Вища школа, 1994. 342 с.

7. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Київ : Знання-Прес, 2003. 511 с.

8. Строков О. П., Макаренко М. Г., Фролов В. Ф. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів : підручник : у 2 кн. Київ : Грамота, 2005.

9. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. 324 с.

10. Кукурудзяк Ю. Ю., Біліченко В. В. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів технічного обслуговування і поточного ремонту : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 198 с.

11. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. Київ : Міністерство транспорту України, 1998. 16 с.

12. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Луциків І. В., Плекан У. М., Клендій В. М. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : підручник. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 264 с.

13. Коробочка О. М., Скорняков Е. С., Сасов О. О. Основи розрахунків, проєктування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту : навчальний посібник. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2007. 252 с.

14. Андрусенко С. І., Білецький В. О., Бортницький П. І. Технологічне проєктування автотранспортних підприємств : навчальний посібник / за ред. С. І. Андрусенка. Київ : Каравела, 2009. 368 с.

15. Кіркач Н. Ф. Розрахунок і проєктування деталей машин. Харків, 1991. 274 с.

16. Закон України «Про охорону праці».

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

18. Практикум з охорони праці : навчальний посібник / за ред. В. Ц. Жидецького. Львів : Афіша, 2000. 352 с.