

НУБІП України

НУБІП України

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА
РОБОТА**

01.12 - КМР. 463 „С” 2023.03.28. 008 ПЗ

Шевченко Володимир Володимирович

2023р.

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І

ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет Конструювання та дизайну

УДК 631.432.3

ПОГОДЖЕНО **ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**
Декан факультету Завідувач кафедри
Конструювання та дизайну Надійності техніки
(назва факультету) (назва кафедри)

Ружилю З.В.
(підпис) (ПІБ)

Новицький А.В.
(підпис) (ПІБ)

“ ” 2023 р. “ ” 00 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Вдосконалення технологічного процесу відновлення блоків
циліндрів із алюмінієвих сплавів»

Спеціальність 133 – «Галузеве машинобудування»
(код і назва)

Освітня програма «Технічний сервіс машин та обладнання

сільськогосподарського виробництва»

(назва)
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

Новицький А.В.
(підпис) (ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

Ревенко Ю. І.
(підпис) (ПІБ)

Виконав:

Щевченко В. В.
(підпис) (ПІБ)

КНІВ - 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І

ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет конструювання та дизайну

НУБІП України

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки

К.Т.Н., доцент Новицький А. В.
 (науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

2023 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Шевченку Володимирі Володимировичу
 (прізвище, ім'я по батькові)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
 (код і назва)

Освітня програма «Технічний сервіс машин та обладнання

сільськогосподарського виробництва»
 (назва)

Програма підготовки освітньо-професійна
 (освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Вдосконалення технологічного процесу відновлення блоків циліндрів із алюмінієвих сплавів»

затверджена наказом ректора НУБіПУ від «28» березня 2023 р. № 463 «Є»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 6.11.2023
 (рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Результати аналізу виробничої діяльності підприємства та новітніх технологічних процесів ремонту сільськогосподарських технік.
2. Технічна характеристика ремонтно-технологічного обладнання.
3. Типові планування центральних ремонтних майстерень з ремонту сільськогосподарських машин.

Дата видачі завдання 24 жовтня 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Ревенко Ю. І.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання Шевченко В. В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ	7
Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1. Аналіз конструкцій блоків циліндрів сучасних двигунів внутрішнього згорання	9
1.2. Аналіз причин відмов циліндро-поршневої групи та пошкоджень деталей	17
1.3. Аналіз способів відновлення циліндрів двигунів внутрішнього згорання	20
1.4. Мета та завдання роботи	31
Розділ 2. РОЗРАХУНОВО-ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СПОЛУКИ «ГІЛЬЗА-БЛОК ЦИЛІНДРІВ»	33
2.1. Аналіз впливу технологічних параметрів з'єднання "гільза-блок циліндрів" на умови теплопередачі	33
2.2. Аналіз впливу конструктивно-технологічних параметрів блоків циліндрів на монтажні деформації циліндрів	42
Розділ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	53
3.1. Загальна методика дослідження	53
3.2. Методика дослідження дефектів циліндрів	53
3.3. Методика дослідження впливу технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на монтажні деформації циліндрів	55
Розділ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	59
4.1. Результати дослідження дефектів циліндрів	59
4.2. Результати дослідження впливу технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на монтажні деформації циліндрів	65

4.3. Рекомендації

72

Розділ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

73

5.1. Розрахунок економічної ефективності технології відновлення блоків циліндрів із алюмінієвих сплавів

постановкою ремонтних чавунних гільз

73

Висновки

75

Список використаних джерел

77

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Умовні позначення

НУБІП України

АТП - автотранспортне підприємство

СТО - станція технічного обслуговування

НУБІП України

ДВЗ - двигун внутрішнього згорання

ГРМ - газорозподільний механізм

ЦПГ - циліндро-поршнева група

НУБІП України

ГБЦ - головка блока циліндрів

ВМТ - верхня мертва точка

НМТ - нижня мертва точка

ГРС - групове різьбове з'єднання

НУБІП України

ТПД - термопластичне деформування

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

НУБІП України

Автомобільна техніка знаходить широке застосування у різних галузях виробництва. У сільське господарство автомобілі використовуються на транспортних роботах. Для надійного виконання своїх функцій автомобільна техніка має підтримуватись у працездатному стані за рахунок своєчасного проведення її технічного обслуговування та ремонту.

НУБІП України

Двигуни внутрішнього згоряння є одними з найбільш складних агрегатів автомобілів. На їх обслуговування та ремонт витрачаються великі витрати часу та коштів.

НУБІП України

Останнім часом на автомобілі малої вантажопідйомності вітчизняного та зарубіжного виробництва дедалі частіше встановлюються ДВЗ, блоки циліндрів яких виготовлені з алюмінієвих сплавів. Блоки циліндрів із алюмінієвих сплавів мають суттєві конструктивні та технологічні відмінності від чавунних блоків.

НУБІП України

Залежно від конструктивних особливостей блоків циліндрів можуть істотно змінюватися характер пошкоджень їх робочих поверхонь і причини надходження блоків у ремонт.

НУБІП України

Для одних моделей двигунів виробниками передбачено можливість відновлення зношених поверхонь циліндрів, для інших немає. Найчастіше дефектні блоки циліндрів замінюються новими без належної оцінки їхнього технічного стану. При цьому вибраковані блоки можуть мати досить великий залишковий ресурс. Ремонт блоків циліндрів дозволяє не тільки відновлювати працездатність ДВЗ, а й використовувати їхній залишковий ресурс. В

НУБІП України

результаті забезпечується економія матеріальних, енергетичних та трудових витрат.

НУБІП України

Технологія відновлення блоків циліндрів із алюмінієвих сплавів постановкою ремонтних чавунних гільз все частіше застосовується в ремонтній

НУБІП України

практиці, але її широке поширення стримується відсутністю обґрунтованих рекомендацій щодо вибору значень технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів».

Метою цього дослідження є вдосконалення технології відновлення блоків циліндрів із алюмінієвих сплавів постановкою ремонтних чавунних гільз.

Об'єктами дослідження є блоки циліндрів автомобільних двигунів робочим об'ємом 1,5...2,9 л, які виготовлені з алюмінієвих сплавів.

На розгляд виносяться:

- результати дослідження дефектів циліндрів блоків сучасних ДВЗ;
- результати дослідження впливу технологічних параметрів з'єднання "гільза-блок циліндрів" на умови теплопередачі;

- математична модель, що описує вплив технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на умови теплопередачі;

- результати дослідження впливу технологічних параметрів з'єднання "гільза-блок циліндрів" на монтажні деформації циліндрів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз конструкцій блоків циліндрів сучасних двигунів внутрішнього згоряння

Блок циліндрів двигуна внутрішнього згоряння (блок) являє собою литу конструкцію складної конфігурації, усередині та зовні якої в заданому положенні розташовуються деталі та складальні одиниці двигуна. Блок сприймає навантаження від деталей, що обертаються і поступово рухаються.

Блоки циліндрів виготовляють із сірого, ковкого або модифікованого чавуну, алюмінієвих сплавів [14; 17] методами вільного лиття, литво під низьким тиском (0,2-0,5 бар), литво під високим тиском (700-1000 бар), пресування. В даний час все більшого поширення набувають бензинові та дизельні двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), блоки яких виготовлені з алюмінієвих сплавів [14; 17].

Широке застосування алюмінієвих сплавів для виготовлення блоків циліндрів обумовлено їх значно меншою питомою вагою та більш високою теплопровідністю порівняно з чавуном [13, 14, 17]. Завдяки цьому досягається зниження маси двигуна на 40...50 % та його швидший та рівномірніший прогрів при запуску. Висока теплопровідність матеріалу блоку дозволяє значно знизити об'єм охолоджуючої рідини в системі охолодження (глибина сорочки охолодження блоків сучасних ДВЗ становить 0,3-0,5 довжини циліндра) і розвантажити найбільш теплонавантажені зони блоку [13]. Хороші ливарні властивості, оброблюваність та корозійна стійкість алюмінієвих сплавів також є причинами широкого їх застосування для виготовлення блоків циліндрів.

Поряд із перевагами алюмінієві сплави мають і суттєві недоліки: великий коефіцієнт лінійного розширення, порівняно низькі зносостійкість та механічна міцність, що вимагає застосування ряду конструкторсько-технологічних рішень для забезпечення необхідної жорсткості конструкції та зносостійкості робочих поверхонь.

Блоки циліндрів можуть мати рядне, V-подібне, V-подібно-рядне (VR) та опозитне розташування циліндрів. При цьому кількість циліндрів більшості

автомобільних ДВЗ становить від чотирьох до шести. При рядному розташуванні циліндрів блоки мають найпростішу конструкцію, проте робочий об'єм таких двигунів лімітований, що пов'язано з певними обмеженнями за довжиною блоку та кількістю циліндрів. У сучасному автомобільному

двигунобудуванні спостерігаються тенденції зменшення діаметра та збільшення кількості циліндрів. Так, все більшого поширення в сучасній техніці знаходять V-подібні та VR конструкції блоків циліндрів. У VR-конструкції блоку (резервник фірма Volkswagen) циліндри розташовані під кутом 15° в шаховому порядку. При цьому блок циліндрів має одну площину прилягання до головки блоку циліндрів, а двигун відповідно одну загальну головку блоку циліндрів. В результаті такі багатоциліндрові конструкції мають порівняно невеликі габаритні розміри.

По конфігурації поверхні прилягання блоку до голівки блоку циліндрів (ГБЦ) і конструкції циліндрів, блоки циліндрів сучасних ДВЗ істотно відрізняються один від одного. Розглянемо принципові відмінності конструкцій блоків, їх переваги та недоліки.

За конфігурацією поверхні прилягання блоку до ГБЦ слід виділити блоки з верхньою сполучною плитою (рис. 1.1) та блоки без верхньої сполучної плити (рис. 1.2) або « Closed Deck » та « Open - Deck » за термінологією фірми Kolbenschmidt [13; 17].

Спочатку блоки циліндрів із алюмінієвих сплавів виготовляли з верхньою сполучною плитою, за аналогією з чавунними блоками. Пізніше, з розвитком технологій з'явилася конфігурація блоку без верхньої сполучної плити, що значно спростило технологію виготовлення блоків [13; 17]. В даний час обидві ці конфігурації (з верхньою сполучною плитою і без неї) мають широке поширення, причому кожна з них має свої переваги та недоліки.

Блоки з верхньою сполучною плитою мають більшу жорсткість верхньої частини, менш схильні до температурних деформацій циліндрів. За такої конфігурації блоку краще здійснюється ущільнення ГБЦ. У блоків без верхньої сполучної плити циліндри не пов'язані із зовнішніми стінками блоку і можуть розташовуватися окремо один від одного або бути спільно відлиті. В цьому



Рис. 1.1. Загальний вигляд блоку циліндрів з верхньою сполучною плитою



Рис. 1.2. Загальний вигляд блоку циліндрів без верхньої сполучної плити

випадку краще відбувається охолодження верхньої, найбільш теплонавантаженої частини циліндра. За такої конфігурації блоку складніше здійснюється ущільнення ГБЦ, і циліндри більш схильні до температурних деформацій.

По конструкції циліндрів можна назвати такі зміни.

Блок із «мокрими» чавунними гільзами циліндрів. Подібна конструкція почала застосовуватися ще в 30-х роках 20 століття і знаходить своє застосування до теперішнього часу ЗМЗ-402 і модифікації, Peugeot, Renault, Citroen, Fiat та інші. Загальний вигляд блоку циліндрів із «мокрими» чавунними гільзами представлений на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Загальний вигляд блоку циліндрів із «мокрими» чавунними гільзами.

Перевагою такої конструкції є збереження позитивних властивостей блоків з алюмінієвих сплавів (менша маса, кращі теплопровідні властивості) і чавунних гільз циліндрів (класичні пари тертя: «поршень-циліндр» і «поршневе кільце-циліндр», традиційна технологія обробки гільз циліндрів). До недоліків такої конструкції слід віднести меншу, порівняно з щільнолитими конструкціями, жорсткість блоку, що призводить до необхідності збільшення товщини стінок блоку. Корозійні пошкодження посадкових поверхонь під гільзи циліндрів можуть призводити до розгерметизації стику «гільза-блок» і, як наслідок, потрапляння антифризу в олію.

Для більшості блоків такої конструкції виробником передбачено можливість обробки зношених гільз циліндрів у ремонтні розміри. Також передбачено можливість заміни зношеної циліндропоршневої групи новою.

Блок із «сухими» чавунними вставками. У подібній конструкції блок з алюмінієвого сплаву, як правило, $AlSi_9Cu_3$ [13, 14, 17] на етапі виготовлення заповнює «сухі» тонкостінні (1,5-2,0 мм) вставки з зносостійкого чавуну. Для щільного прилягання чавунної вставки, що заливається, до основного матеріалу блоку використовується лиття під тиском. Відмінність коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів вставки і блоку призводить до появи деякого зазору між поверхнями, що сполучаються при нагріванні двигуна до робочої температури.

Для усунення переміщення вставки в осьовому напрямку використовують вставки з кільцевими канавками на зовнішній поверхні (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Вставка циліндра з кільцевими канавками на зовнішній поверхні

Більш досконалою конструкцією є чавунна вставка шорсткого лиття або струминної обробки. При цьому вставка має сильно «збуроджену» зовнішню поверхню, чим забезпечується її щільне зчеплення з матеріалом блоку.

Застосування разом з шорстким литтям гальванічного покриття (альфінування) або плазмового напилення алюмінію зовнішньої поверхні вставки циліндра дозволяє забезпечити кращі умови контакту з матеріалом блоку. При заливці такої вставки алюміній на поверхні оплавляється і з'єднується з основним матеріалом блоку, чим забезпечується надійний контакт матеріалів вставки і блоку [13; 17].

Конструкція блоку з алюмінієвого сплаву з «сухими» чавунними вставками циліндрів почала застосовуватися світовими автовиробниками з кінця 70-х років 20 століття і має, на сьогоднішній момент, найбільшого поширення. У подібних конструкціях вдається поєднувати позитивні властивості блоків із алюмінієвих сплавів та чавунних циліндрів.

Для більшості таких блоків виробником передбачено можливість обробки зношених отворів циліндрів у ремонтні розміри. При витраті всіх ремонтних

розмірів, а також у разі аварійних пошкоджень циліндрів (задираки, пробоїни, тріщини) дефектний блок підлягає заміні.

Блок із алюмінієвого сплаву з підвищеним вмістом кремнію. У цій конструкції весь блок виготовлений із заевтектичного алюмінієвого сплаву з високим вмістом кремнію ($AlSi_{17}Cu_4Mg$). Частина кремнію викристалізовується та відкладається серед насиченого алюмінієвокремнієвого сплаву (евтектика). Розмір кристалів кремнію становить 20-70 мкм. Дана технологія зветься Alusil (термінологія фірми Kolbenschmidt) або Silumal (термінологія фірми Mahle) [13;

17]. Застосування спеціальної технології виготовлення блоку (швидке охолодження ділянок заготівлі у зоні циліндрів) призводить до спрямованої кристалізації кремнію біля поверхні циліндрів і дозволяє підвищити вміст кремнію робочій поверхні циліндрів до 18-25% [13]. Після механічної обробки циліндрів (розточування і хонінгування) проводять операцію розкриття кристалів кремнію (осадження алюмінієвої основи навколишньої кристали кремнію). Глибина розкриття становить 03-07 мкм. Розкриття кристалів кремнію здійснюється методом хімічного травлення їдким натром, за допомогою спеціальних притиральних паст з частинками кремнію та механічно, за допомогою спеціальних високопористих еластичних брусків для розкриття із зернами корунду [13; 17]. В результаті на поверхні циліндра залишаються тільки тверді кристали кремнію, образ є щільні стійку до зносу роботу поверхню циліндра.

Перевагами даної конструкції є забезпечення мінімальної маси блоку циліндрів. Подібність матеріалів циліндра та поршня дозволяє мінімізувати тепловий зазор у з'єднання «поршень-циліндр» до 0,01-0,02 мм, що призводить до збільшення ресурсу двигуна приблизно в 1,5 раза. Недоліками даної конструкції є те, що циліндри, виконані за технологією Alusil (Silumal), практично не переносять перегріву та поганих умов змащення. В результаті порушень теплового режиму роботи двигуна та умов мастила, як правило, відбуваються задираки робочій поверхні циліндрів.

Для більшості таких блоків виробником передбачена можливість обробки зношених циліндрів у ремонтні розміри, а також ремонтні гільзування гільзами з алюмінієвого сплаву.

Блок із підвищеним вмістом кремнію на робочій поверхні циліндрів. У цій конструкції весь блок виготовлений з алюмінієвого сплаву ($AlSi_9Cu$), а робоча поверхня циліндра локально збагачується кремнієм. Збагачення кремнієм здійснюється при виливку блоку установкою в циліндр спеціальних висококористних вставок з кремнію на неорганічному зв'язуванні [13; 17]. Ця технологія отримала назву Lokasil (фірма Kolbenschmidt). При лиття пресуванням (тиск 900-1000 бар) алюмінієвий метал продавлюється крізь пори кремнієвих вставок. Таким чином, кристали кремнію розташовуються лише у зоні робочої поверхні циліндрів. Після механічної обробки циліндрів (розточування та хонінгування) роблять операцію розкриття кристалів кремнію.

Вміст кремнію у вставках становить 15-25%, розміри частинок кремнію 30-120 мкм. Отримувани за даної технології властивості робочої поверхні циліндрів аналогічні властивостям циліндрів, виконаних за технологією Alusil (Silumal).

Для більшості таких блоків виробником також передбачена можливість обробки зношених циліндрів у ремонтні розміри, а також ремонтні гільзування гільзами з алюмінієвого сплаву.

Блок із гальванічним покриттям циліндрів. У цій конструкції на основний матеріал блоку ($AlSi_9Cu_3$) гальванічним способом нанесено надтверде покриття на основі нікелю з частинками карбиду кремнію Ni-SiC. Розмір зерен карбиду кремнію становить 1-3 мкм, товщина покриття 10-50 мкм [13; 17]. Після нанесення гальванічного покриття проводиться хонінг циліндрів. Ця технологія отримала назву Nicasil (термінологія фірми Mahle) або Galnicol (термінологія фірми Kolbenschmidt).

До переваг даної конструкції слід віднести більш високу порівняно з іншими зносостійкість робочої поверхні циліндрів. Недоліком даної конструкції є мала товщина покриття і найчастіше зустрічається дефект циліндрів у вигляді сколів та фарбування самого покриття. Порівняно гладке

однорідне покриття циліндра не дозволяє затримувати достатньо масла. Висока вартість цієї технології обмежує її широке застосування.

Рекомендації виробника щодо відновлення зношених циліндрів таких блоків відсутні і дефектні блоки підлягають заміні.

Блок із плазмовим покриттям циліндрів порошковим матеріалом. У цій конструкції на основний матеріал блоку наноситься порошковий матеріал (50% легуваної сталі та 50% молібдену) способом плазмового напилення [13; 17].

Товщина покриття становить 180-220 мкм. Після нанесення плазмового покриття проводиться хонінг циліндрів. Дане плазмове покриття має пористу структуру і добре затримує масло, чим забезпечується його висока зносостійкість.

Рекомендації виробника щодо відновлення зношених циліндрів таких блоків також відсутні і дефектні блоки підлягають заміні.

Новим методом є лазерне легування робочої поверхні циліндрів. При цьому робоча поверхня циліндра з алюмінієвого сплаву ($AlSi_9Cu_3$) оплавляється обертовим лазером і металургійно легується порошком кремнію [13; 17]. В результаті виходить тонкий шар із твердою фазою кремнію на робочій поверхні циліндра. Після цього циліндри хонінгують та розкривають частинки кремнію хімічним травленням.

Рекомендації виробника щодо відновлення зношених циліндрів таких блоків також відсутні і дефектні блоки підлягають заміні.

Сучасний досвід роботи підприємств, що спеціалізуються на відновленні деталей ДВЗ, показує, що одними з найпоширеніших є блоки циліндрів із алюмінієвих сплавів, робочі поверхні циліндрів яких утворені «сухими» чавунними вставками. ДВЗ з блоками циліндрів такої конструкції все частіше встановлюються на комерційні автомобілі малої вантажопідйомності, що використовуються на транспортних роботах у сільськогосподарських підприємствах.

Представлені вище матеріали показують, що з виробництва блоків циліндрів сучасних ДВЗ застосовується ряд принципово нових конструкторсько-технологічних рішень, передусім це стосується конструкції

циліндрів. Тому цілком логічно припустити, що суттєві відмінності фізико-механічних властивостей традиційних і сучасних матеріалів, що використовуються при виготовленні блоків циліндрів, а також відмінності конструкцій блоків сучасних ДВЗ можуть призводити до зміни характеру зношування та пошкодження деталей при експлуатації двигуна. Однак, систематизована і об'єктивна інформація про характер і причини виникнення пошкоджень циліндрів сучасних ДВЗ, про взаємозв'язок пошкоджень циліндрів з особливостями конструкції блоків відсутня, найчастіше дані носять уривчастий характер.

1.2. Аналіз причин відмов циліндропоршневої групи та пошкодження деталей

При експлуатації ДВЗ відбувається зношування їх складових частин і при досягненні граничних значень параметрів технічного стану двигуни виходять з ладу. За даними досліджень, від 30 до 50% всіх відмов ДВЗ посилає відмови деталей циліндропоршневої групи (ЦПГ). Відмови пов'язані зі зносом та пошкодженнями циліндрів, поршнів та поршневих кілець. У роботах вчених переважно відображена інформація про характер пошкоджень гільз циліндрів «мокрого» типу та циліндрів чавунних блоків. Інформація про характер пошкоджень циліндрів блоків із алюмінієвих сплавів у літературі практично відсутня.

Знос поверхонь, що сполучаються циліндра, поршня і поршневих кілець є наслідком роботи сил тертя, що виникають при переміщенні поршня і поршневих кілець. Швидкість зношування циліндра, поршня та поршневих кілець залежить від температури та тиску в камері згоряння, умов мастила, наявності та кількості абразиву в зоні тертя [19].

Робоча поверхня циліндра зношується нерівномірно. У верхній частині циліндра через дію високих температур і тиску газів масляна плівка втрачає свої мастильні властивості і в деяких випадках може бути повністю зруйнована. Внаслідок гірших умов мастила в цій зоні відбувається інтенсивне зношування

циліндра. За нормальних умов зношування найбільше зношування циліндрів спостерігається, як правило, в зоні зупинки верхніх (компресійних) кілець при положенні поршня у верхній мертвій точці (ВМТ). У міру віддалення від ВМТ знижується температура, і покращуються умови мастила, внаслідок чого інтенсивність зношування циліндра знижується. Максимальна величина зносу спостерігається в площині хитання шатуна, що пояснюється дією нормальної складової сили тиску газів.

Інтенсивність зношування циліндрів значною мірою залежить від умов експлуатації та технічного обслуговування двигуна. Так, при попаданні в зону тертя абразиву з повітрям або олією відбувається інтенсивне зношування ЦПГ.

У результаті робочої поверхні циліндра утворюється дуже багато дрібних подрянин (рисок). При цьому циліндр набуває бочкоподібної форми [10; 19].

У поршня зношуються напрямна частина (спідниця) та канавки під поршневі кільця. За даними [10; 19] лише незначна частина спідниці поршня контактує з робочою поверхнею циліндра. Зазвичай зона зношування спідниці поршня розташовується в межах $40...50^\circ$ щодо площини хитання шатуна. При роботі двигуна поршневі кільця здійснюють складні просторові переміщення в осьовому та радіальному напрямках. При русі поршня від ВМТ до НМТ і кільця назад, притиснуті до стінки циліндра власними силами пружності і силою тиску газів, копиюють нерівності циліндра і здійснюють переміщення щодо канавок поршня. При попаданні абразиву в зону тертя він впроваджується в м'який матеріал поршня, що призводить до прискореного зношування циліндра та поршневих кілець.

Зношування деталей ЦПГ призводить до збільшення зазорів у з'єднаннях «поршень-циліндр», «поршневе кільце-канавка поршня», торцевих зазорів у замках поршневих кілець. Внаслідок цього знижуються експлуатаційні та екологічні показники двигуна. Прорив газів у простір за кільцем призводить до потрапляння в олію продуктів згоряння та зниження його мастил, в результаті чого інтенсифікуються процеси зношування деталей ЦПГ.

Задираки на робочій поверхні циліндра з'являються в результаті загального або місцевого перегріву двигуна. При надмірно високих

температурах в зоні тертя олія втрачає свої мастильні властивості і масляна плівка легко розривається. Виникає режим напівсухого тертя з безпосереднім контактом поршня та циліндра. При подальшій роботі двигуна, через додаткове нагрівання в місцях стирання, виникає режим сухого тертя, в результаті чого утворюються задираки [10; 19].

Перегрів двигуна може виникати через перевантаження двигуна, порушення процесу згорання, несправності системи охолодження [10; 19]. Якщо циліндри двигуна оснащені «сухими» гільзами, наявна неоднорідність стінки циліндра та локальні неприлягання гільзи до блоку можуть призводити до перегріву циліндра та утворення задирів.

Деформація циліндра може бути наслідком перегріву двигуна, релаксації залишкових напружень у матеріалі блоку, нерівномірної або неправильної затяжки різьбових з'єднань кріплення ГБЦ, відхилень від площинності поверхонь прилягання ГБЦ та блоку циліндрів. Якщо циліндри двигуна оснащені «сухими» гільзами, то деформації циліндрів можуть виникати через надмірне виступання бурта гільзи над площиною блоку, забруднення і корозії на поверхнях, що сполучаються гільзи і блоку, дефектів посадкових місць під гільзу в блоці (відхилення від циліндричності).

При експлуатації ДВЗ відбуваються також і аварійні пошкодження деталей ЦПГ. До них можна віднести: утворення тріщин і пробоїн у циліндрах, руйнування та прогорання поршнів, руйнування та поломка поршневих кілець. Тріщини в циліндрах найчастіше утворюються при гідроударах, пробоїни - при попаданні в циліндр сторонніх предметів або заклинюванні шатунних підшипників з подальшим руйнуванням поршня і обривом шатуна. Прогорання поршнів та поломка перемичок і поршневих кілець найчастіше відбувається за порушення процесів згорання. Поломка перемичок та поршневих кілець також може відбуватися при некваліфікованому складанні ЦПГ [10; 19].

Зношування та пошкодження деталей ЦПГ відбуваються в результаті об'єктивних та суб'єктивних причин. При збільшенні зазорів у з'єднаннях «поршень-циліндр», «поршневе кільце-канавка поршня» та в замках поршневих кілець вище допустимих значень, а також у разі аварійних пошкоджень деталей

ЦПГ двигун виходить з ладу. Залежно від конструкції двигуна, особливостей його експлуатації та обслуговування характер пошкоджень деталей може істотно відрізнятись. Незважаючи на широке поширення в даний час блоків циліндрів з алюмінієвих сплавів, інформація про причини надходження їх у ремонт та характер пошкоджень робочих поверхонь в літературі відсутня. Для виявлення причин надходження у ремонт блоків циліндрів сучасних ДВЗ необхідно дослідити технічний стан циліндрів блоків, що надходять у ремонт.

1.3. Аналіз способів відновлення циліндрів

двигунів внутрішнього згоряння

Відомі способи відновлення зношених циліндрів ДВЗ можна умовно поділити на три групи (рис. 1.5):

- способи, основу яких використання конструктивного запасу міцності деталей;
- способи, що ґрунтуються на застосуванні додаткових ремонтних деталей;
- способи, що передбачають нанесення на поверхню циліндрів металопокриттів.

Внаслідок конструктивних особливостей блоків циліндрів ДВЗ ці способи розроблялися переважно відновлення гільз циліндрів «мокрого» типу. Тим не менш, деякі зі способів, через свої технологічні можливості можуть застосовуватися і, як показує практика, застосовуються при відновленні монолітних блоків циліндрів. Розглянемо технологічні особливості переваги та недоліки найбільш поширених способів відновлення зношених циліндрів ДВЗ.

Спосіб відновлення циліндрів термопластичним деформуванням (ТПД) розроблений для відновлення гільз циліндрів "мокрого" типу. Суть способу ТПД полягає в усадці гільз із зменшенням внутрішнього діаметра за рахунок структурних перетворень у матеріалі гільзи. Розрізняють ТПД в жорсткій матриці, що охолоджується, і без неї. При ТПД в жорсткій матриці

охолоджуваної гільза вільно розширюється при нагріванні до контакту з матрицею. При подальшому нагріванні матриця перешкоджає вільному

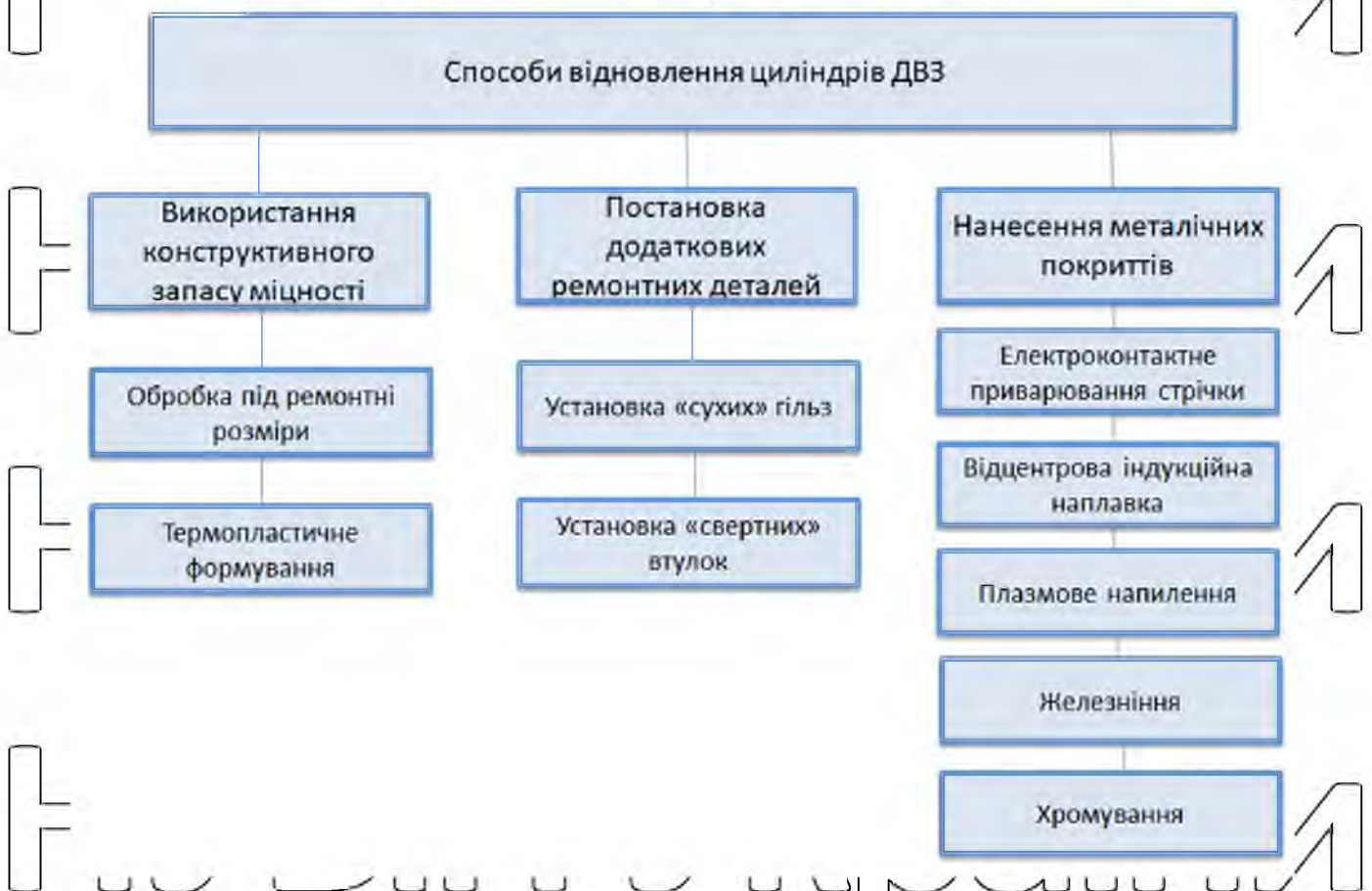


Рис. 1.5. Способи відновлення циліндрів ДВЗ

розширенню гільзи, що призводить до її пластичної деформації. Величина залишкової деформації гільз компенсує їх знос і короблення. При ТПД без матриці усадка гільз досягається за рахунок дії безперервно послідовного швидкого нагрівання та охолодження гільзи внаслідок дії високого рухомого градієнта температури. Після усадки гільз проводиться обробка внутрішнього діаметра в номінальний або ремонтний розмір.

Перевагами способу ТПД є його відносна простота, збереження вихідних триботехнічних характеристик сполучення "циліндр - поршневе кільце", малий припуск на остаточну механічну обробку, висока продуктивність та екологічність. Недоліками даного способу є висока термічна дія на матеріал гільз, складність прогнозування одержуваних розмірів гільз після відновлення, нерівномірність деформації по довжині гільз, виникнення високих напруг у матеріалі гільз і, як наслідок, можливість появи мікротріщин. Також суттєвим

недоліком способу ТПД є необхідність відновлення зовнішніх посадкових поясів гільз, діаметри яких зменшуються при їх усадці. Через свої технологічні особливості цей спосіб не може бути використаний для відновлення блоків циліндрів.

Спосіб відновлення циліндрів відцентровим індукційним наплавленням також дозволяє відновлювати тільки гільзи циліндрів «мокрого» типу. Суть способу полягає в наплавленні зносостійкого матеріалу, поміщеного в гільзу, що обертається. В якості матеріалу, що наплавляється використовують суміші металевих порошків ПГ-ХН80СР4 з флюсами. Нагрів гільзи разом з матеріалом, що наплавляється здійснюється індуктором. Склад порошку та флюсу визначає властивості наплавленого матеріалу. Мікроструктура наплавленого шару складається з твердого розплаву на основі нікелю, складної евтектики, карбідів та боридів хрому. Твердість наплавленого шару становить HRC 55...58.

Перевагами способу відновлення циліндрів відцентрової індукційної наплавлення є висока зносостійкість покриттів і можливість відновлювати гільзи циліндрів з великими зносами немінальний розмір. Істотними недоліками даного способу є великі залишкові напрути, що виникають у матеріалі гільз через дії високих температур (до 1050 °С), значні деформації відновлених гільз, складність остаточної механічної обробки, висока вартість використовуваних матеріалів і всієї технології.

В основі способу відновлення циліндрів залізнення лежить процес електролітичного осадження заліза з водних розчинів його солей на відновлювану поверхню циліндра. Залізо осідає на катоді, як анод використовують прутки або смуги маловуглецевої сталі. Структура покриття являє собою зерна, витягнуті у напрямку до поверхні, що покривається. Процес залізнення циліндра включає попередню механічну обробку до виведення слідів зносу, знежирення, промивання в гарячій і холодній воді, анодну обробку (травлення), промивання в холодній воді, електролітичне осадження заліза на відновлювану поверхню циліндра, промивання в гарячій воді, механічну обробку. Процес залізнення роблять у гальванічних ваннах, у своїй поверхні деталі, які підлягають відновленню, необхідно ізолювати. У разі відновлення

циліндрів, розташованих у блоці (більшість сучасних ДВЗ), використовують поза ванний спосіб, при якому в зоні нанесення покриття (у циліндрі) створюється місцева ванна, в якій мають анод і електроліт. Вся інша технологія поза ванним способом залізнення відповідає традиційному ванному способу.

До складу електролітів при залізненні входять водні розчини двовалентного заліза ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) і хлористого марганцю ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), соляна кислота (HCl) та ряд інших компонентів, залежно від необхідних властивостей покриття. Швидкість осадження заліза становить 0,15...0,30 мм/год, температура електроліту 65...80°C.

Перевагами способу відновлення циліндрів залізнення є можливість відновлення циліндрів різних типорозмірів в номінальний розмір, можливість відновлення циліндрів з різною величиною зносу (товщина покриття може становити 0,01... 1,50 мм на бік). Недоліками даного способу є складність та висока трудомісткість процесу, низька зносостійкість покриття, складність остаточної механічної обробки.

При відновленні циліндрів проточним хромуванням хром осідає на поверхні циліндра (катоді) з електроліту. Як анод використовують стрижні зі сплаву свинцю, олова та сурми (85:10:5% відповідно). Процес хромування циліндра включає попередню механічну обробку (розточування і хонінгування до $Ra < 0,32$ мкм), знежирення і промивання в гарячій і холодній воді, хімічне травлення, промивання в гарячій і холодній воді, декапування в робочому електроліті, хромування, у гарячій та холодній воді, зневоднення (при температурі 150...200°C), остаточну механічну обробку (хонінгування до $Ra < 0,32$ мкм). При проточному хромуванні використовується холодний (18...25°C) саморегулюючий електроліт наступного складу: хромовий ангідрид (CrO_3), вуглекислий кальцій (CaCO_3), сірчаноокислий кобальт ($\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Швидкість протікання електроліту 1,0...1,2 м/с. При проточному хромуванні електроліт під певним тиском подається в міжелектродний простір через розподілені отвори в висоті в трубках анода. Під впливом надлишкового тиску відпрацьований електроліт видаляється із зони електролізу разом із

газоподібними продуктами реакції у внутрішню порожнину анода. Товщина шару хрому, що наноситься, становить 0,05... 0,25 мм, твердість HRC 66...70.

Перевагами способу відновлення циліндрів проточним хромуванням є висока твердість і зносостійкість покриття, висока рівномірність покриття (різна товщина <0,02 мм) мінімум кінцевої механічної обробки (тільки хонінгування). Недоліками даного способу є низька продуктивність і висока трудомісткість процесу, недостатня змочуваність і оброблення покриття, можливість відновлювати циліндри тільки з незначною величиною зносу.

Незважаючи на рекомендації, що є в літературі, способи електролітичного заізнення і хромування, внаслідок їх екологічної небезпеки, високої вартості і труднощі реалізації процесу при відновленні циліндрів монолітних блоків, на практиці поширення не отримали.

Спосіб відновлення циліндрів плазмовим напиленням дозволяє відновлювати робочі поверхні гільз циліндрів «мокрого» типу та циліндрів монолітних блоків. Для цього використовують металеві порошки на основі Ni, Co, Fe, Cu дисперсністю 40... 315 мкм, які напилюють дуговими плазмотронами. Як плазмоутворювальні гази використовують аргон, азот, водень та їх суміші. Процес відновлення циліндрів плазмовим напиленням включає попередню механічну обробку (розточування) циліндрів, абразивно-струминну обробку, напилення та остаточну механічну обробку (розточування та хонінгування) циліндрів у номінальний розмір. Товщина шару металу, що напилюється, становить 0,3...1,0 мм, твердість покриття HRC 60...62, міцність зчеплення частинок досягає 60 МПа.

Перевагами способу відновлення циліндрів плазмовим напиленням є можливість відновлення циліндрів з великою величиною зносу, висока твердість покриття і міцність його зчеплення з основою, малі припуски на остаточну механічну обробку. Недоліками способу є складність технології, висока вартість обладнання та матеріалів, можливість відновлення циліндрів лише досить великого типорозміру (більше 110 мм), що суттєво обмежує застосування даного способу відновлення циліндрів сучасних автомобільних ДВЗ.

Для більшості моделей двигунів різного конструктивного виконання виробниками передбачено можливість обробки циліндрів у ремонтні розміри.

Відповідно до цього виробляються поршневі групи ремонтних розмірів.

Величина міжремонтного інтервалу в залежності від марки та моделі двигуна може становити 0,20; 0,25; 0,40; 0,50; 0,70 мм, а кількість ремонтних розмірів –

від одного до трьох. Обробка циліндрів у ремонтний розмір включає

розточування, хонінгування та розточування, хонінгування та розкриття кристалів кремнію (для робочих поверхонь циліндрів з алюмінієвих сплавів з

підвищеним вмістом кремнію). Технологія забезпечує відновлення геометрії

циліндрів, заданої величини монтажного зазору та необхідних триботехнічних

характеристик робочої поверхні циліндра, відрізняється простотою та відсутністю термічного впливу на відновлювану деталь.

Поряд з цим, обробкою в ремонтний розмір неможливо відновлювати

конструктивно-технологічні характеристики циліндрів, величина зносу яких

перевищує передбачене виробником ремонтне збільшення, а також циліндри з

нанесеними на робочі поверхні покриттями (галванічним, плазмовим).

У разі неможливості відновити працездатний стан циліндропоршневої

групи обробкою циліндрів у ремонтний розмір, завдання може бути вирішене

постановкою згортання сталевих втулок або пластинуванням. Буть способу

полягає в обробці циліндра під установку втулок у збільшений розмір,

запресовуванні в нього спеціальних двох (або більше) згорткових втулок,

виготовлених із сталеві стрічки У8А, У10А, 65Г товщиною 0,5-0,8 мм, та

обробці циліндра з встановленими згортками втулками хонінгуванням в

номінальний (рідше ремонтний) розмір.

До переваг даного способу слід віднести можливість відновлення

циліндрів з великою величиною зносу, можливість багаторазового відновлення,

відсутність термічного на деталі, високу зносостійкість відновленої робочої

поверхні циліндра. Недоліками даного способу є складність технології

виготовлення втулок згортання, необхідність застосування великої кількості

технологічного оснащення для відновлення циліндрів різних типорозмірів,

зміна умов відведення тепла в систему охолодження двигуна через стінки

циліндра через неоднорідності стінки відновленого циліндра. Також істотним недоліком даного способу є підвищений знос поршневих кілець, що працюють у парі зі сталевією стрічкою і, як наслідок, підвищена витрата олії на чад. За відсутності передбачених виробником ремонтних розмірів, у випадках, коли зношування циліндра перевищує ремонтне збільшення, а також при пошкодженнях циліндрів аварійного характеру (тріщини різного характеру та розташування), часто єдиним рішенням, що дозволяє відновити працездатний стан ДВЗ, є ремонт блоків циліндрів постановкою «сухих» ремонтні гільзи.

Спочатку спосіб відновлення зношених циліндрів ДВЗ постановкою «сухих» ремонтних гільз був розроблений та застосовувався для відновлення циліндрів монолітних чавунних блоків. У ряду конструкцій чавунних блоків дизельних двигунів (Isuzu, Mazda, Mercedes-Benz, Mitsubishi), при виготовленні встановлюються «сухі» тонкостінні гільзи із зносостійкого чавуну, рідше сталеві тонкостінні гільзи з хромованою робочою поверхнею [15]. Типовою технологією ремонту блоків циліндрів такої конструкції передбачається видалення зношених «заводських» гільз та встановлення замість них ремонтних «сухих» гільз із подальшою обробкою їх у номінальний розмір.

Широке поширення блоків циліндрів, виготовлених з алюмінієвих сплавів, з «сухими» чавунними вставками циліндрів заводського виконання дозволило припустити, а ремонтна практика показала, що блоки циліндрів, виготовлені з алюмінієвих сплавів, можуть бути відновлені постановкою «сухих» чавунних ремонтних гіль. Для цього використовуються ремонтні гільзи промислового виробництва або індивідуального виготовлення зі спеціального чавуну, легованого Si, Mn, Cr, Ni, Cu. Заготівлі для гільз виробляють методами відцентрового лиття або спрямованої кристалізації (заморожування) [15]. Обробку посадкових поверхонь гільз проводять методами шліфування чи чистового точення.

Установка «сухих» гільз у блок циліндрів проводиться поперечним методом за рахунок забезпечення різниці температур між блоком циліндрів та гільзою 200...240°C. У цьому фіксація гільзи здійснюється або буртом (рис. 1.6а), або нижнім упором (рис. 1.6а).

В обох випадках гільзи встановлюються в блок з натягом тільки за посадковим діаметром. Більш кращою є фіксація гільзи по верхньому бурту, оскільки при цьому забезпечується мінімальна ймовірність «просідання» гільзи. Обмеження застосування цієї схеми накладають вузькі перемички між циліндрами низки моделей блоків сучасних ДВЗ.

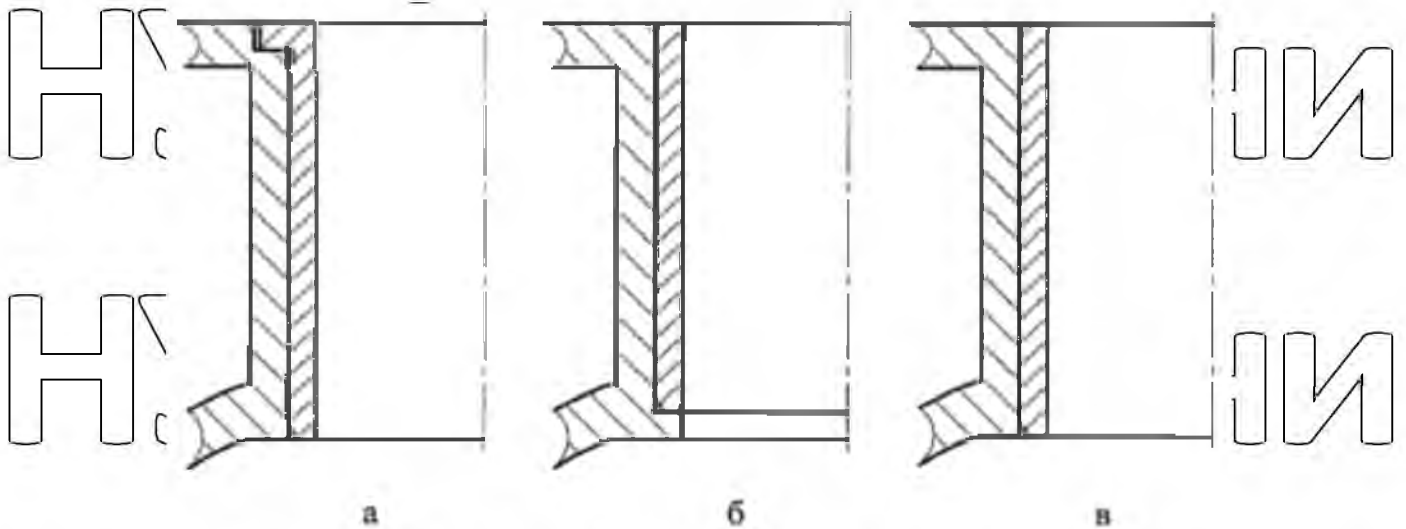


Рис. 1.6. Способи фіксації ремонтної гільзи в блоці:

а - за допомогою верхнього бурта; б - у вигляді нижнього упору;
в - без упору

Схема фіксації гільзи за допомогою нижнього упору (рис 1.9б) широко застосовується у ремонтній практиці при відновленні блоків циліндрів з вузькими перемичками між циліндрами, а також блоків, у яких поверхня прилягання до ГБЦ не перпендикулярна до осі циліндрів. При такій схемі посадковий отвір під гільзу в блоці розточується не на прохід, а в упор і опирається гільза нижнім торцем на кільцевий упор в блоці. Перевагою цієї схеми є простота її виконання. Недоліком - те, що при затягуванні різьбових з'єднань кріплення ГБЦ зусилля, прикладене до верхнього торця гільзи, діятиме на всю її довжину. В результаті, при експлуатації двигуна можуть відбуватися суттєві деформації циліндрів. Також, через різницю коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів гільзи та блоку ($10,5 \cdot 10^{-6}$ і $23 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ відповідно) при нагріванні блоку до робочої температури відбуватиметься деяка просадка гільзи, що може призвести до розгерметизації стику «головка блоку-блок циліндрів».

Схема фіксації гільз без упору (рис 1.6в) застосовується у ремонтній практиці лише за відновлення чавунних блоків циліндрів. У цьому випадку нерухомість посадки гільзи в блоці забезпечується за рахунок більшого натягу, порівняно з схемами, що розглядаються вище. Саме ця обставина не дозволяє застосовувати дану схему при відновленні блоків циліндрів з алюмінієвих сплавів, зважаючи на високу ймовірність виникнення тріщин у черемичках між циліндрами. При меншій величині натягу, внаслідок різниці коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів гільзи та блоку, при прогріванні двигуна до робочої температури можливе неприпустиме ослаблення посадки через суттєве зниження натягу в з'єднанні і, як наслідок, зміщення гільзи в осьовому напрямку.

При відновленні блоків циліндрів з алюмінієвих сплавів постановкою «сухих» чавунних ремонтних гільз спостерігається ефект підйому встановленої в блок гільзи при його охолодженні. Цей ефект зумовлений різницею коефіцієнтів лінійного розширення матеріалів гільзи та блоку. В результаті більшого термічного стиснення (усадки) матеріалу блоку, гільза піднімається щодо блоку. Для виключення підйому гільзи після її монтажу, необхідно створити осьове зусилля, яке б утримувало гільзу в крайньому нижньому положенні. Це досягається застосуванням гвинтового пристрою, за допомогою якого гільза фіксується в крайньому нижньому положенні і витримується в такому стані до повного остигання блоку.

Поряд з тим, що відновлення блоків циліндрів з алюмінієвих сплавів знаходить у ремонтній практиці все більшого поширення, дана технологія, проте, ще мало освітлена в літературі. Рекомендації щодо вибору технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» мають загальний характер і не завжди належним чином обґрунтовані. Зокрема це стосується вибору значень натягу в з'єднанні, товщини стінки гільзи, шорсткості посадкових поверхонь гільзи та блоку циліндрів.

Натяг у з'єднанні «гільза-блок циліндрів» повинен забезпечувати щільне прилягання гільзи до блоку у всьому діапазоні робочих температур дві. Недостатня щільність контакту гільзи з блоком при малій величині натягу в

поєднанні погіршує умови відведення тепла з циліндра через його стінки. В результаті зростає теплонапруженість деталей ІПГ, що може призводити до їх ушкоджень (задираки, прогар, руйнування). Також натяг у з'єднанні повинен забезпечувати надійну фіксацію гільзи в блоці та перешкоджати її переміщенню в осьовому та радіальному напрямках. Надмірна величина натягу в з'єднанні може призвести до надмірних деформацій сусідніх з циліндром, що відновлюється, і появи тріщин у матеріалі блоку (як правило, у перемичках між циліндрами).

Відомі рекомендації щодо призначення величини натягу у поєднанні «гільза-блок циліндрів» при відновленні блоків, виготовлених з алюмінієвих сплавів, постановкою «сухих» чавунних пільз істотно відрізняються один від одного. Так, натяг між гільзою та блоком має становити 0,05...0,07 мм, за даними фірми Kolbenschmidt [13] 0,08...0,10 мм. Дані рекомендації не враховують реальних розмірів з'єднання та конструктивних особливостей блоків циліндрів, що відновлюються (товщина стінки циліндра і перемички між циліндрами). Для обліку розмірів з'єднання краще використовувати абсолютну, а відносну величину натягу. Відносний натяг величина безрозмірна і визначається як відношення середнього натягу з'єднання до діаметра з'єднання.

Знаючи величину відносного натягу і знаючи розміри з'єднання визначають абсолютну величину натягу, яку необхідно забезпечити при обробці деталей з'єднання:

$$N = N_{\text{отн}} \cdot d_{\text{нс}} \quad (1.1)$$

де N - абсолютна величина натягу, мм; $N_{\text{отн}}$ - відносна величина натягу; $d_{\text{нс}}$ - номінальний діаметр з'єднання, мм.

Діапазон значень відносних натягів більшості еполук становить 0,0005...0,0015. Так як у наявних рекомендаціях не зазначено, для яких розмірів з'єднання вони справедливі, а реальні значення діаметра з'єднання можуть змінюватися в широких межах (залежно від моделі блоку циліндрів), необхідні уточнення і коригування даних рекомендацій.

Товщина стінки ремонтної гільзи повинна як мінімум забезпечувати компенсацію зношування циліндра та необхідних припусків на механічну

обробку. При цьому гільза має бути досить жорсткою, щоб її можна було з високою точністю виготовити за умов реального ремонтного виробництва. Крім цього мінімальна товщина гільзи повинна забезпечувати стійкість її стінки (перешкода «пучення») при додатку контактного тиску від натягу.

Максимальна товщина стінки гільзи повинна бути такою, щоб залишкова товщина стінки циліндра, що відновлюється, і перемички між циліндрами мала необхідну міцність і жорсткість. Необгрунтовано велика товщина стінки ремонтної чавунної гільзи, що застосовується для відновлення блоків циліндрів, виготовлених з алюмінієвих сплавів, крім іншого, погіршує умови відведення тепла з циліндра в систему охолодження, в результаті чого підвищується теплонапруженість деталей ЦПГ.

Відповідно до рекомендацій товщина стінки ремонтної гільзи повинна становити 1,5...2,5 мм, за даними фірми Kolbenschmidt [13] 1,5...3,0 мм.

Більшість ремонтних гільз, що поставляються у запасні частини [9; 15] мають товщину стінки 1,5...2,0 мм. Як видно з наведених даних, мінімальна товщина стінки ремонтної гільзи може становити 1,5 мм, а рекомендації щодо призначення максимальної товщини стінки гільзи істотно відрізняються одна від одної.

Для надійного теплового контакту «сухої» гільзи з блоком, поверхні гільзи, що сполучаються, і блоку повинні бути оброблені досить «чисто». За рекомендаціями шорсткість контактних поверхонь гільзи та блоку повинна становити $Ra < 2,5$ мкм, за рекомендаціями фірми Kolbenschmidt [13] шорсткість гільзи повинна становити $Ra < 1,25$ мкм, шорсткість блоку $0,63 < Ra < 1,25$ мкм.

Що стосується положення верхнього торця гільзи щодо поверхні блоку циліндрів, рекомендаціями не передбачено виступання гільзи над площиною блоку циліндрів, тобто гільза повинна бути оброблена «заподлицо» з поверхнею блоку. Разом з тим, з досвіду відомо, що в процесі експлуатації двигунів має місце просідання гільзи.

Наведені в різних джерелах рекомендовані значення технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» даються без необхідних

обґрунтувань, без вивчення характеру та ступеня їх впливу на експлуатаційно-технологічні характеристики блоків циліндрів, що відновлюються.

1.4. Мета та завдання роботи

На підставі аналізу конструкції блоків циліндрів сучасних ДВЗ, причин відмов циліндропоршневої групи та способів відновлення циліндрів ДВЗ можна зробити такі висновки.

В даний час все більшого поширення набувають ДВЗ, блоки циліндрів яких виготовлені з алюмінієвих сплавів. Однією з найпоширеніших є конструкція блоку з алюмінієвого сплаву із залитими «сухими» чавунними вставками циліндрів.

З широкої гами способів, розроблених для відновлення циліндрів ДВЗ, найбільшого поширення в ремонтній практиці набули способи обробки циліндрів у ремонтні розміри та постановки «сухих» ремонтних гільз. При цьому в ряді випадків спосіб відновлення циліндрів постановкою «сухих» ремонтних гільз є єдиною альтернативою заміні дефектних блоків циліндрів новими.

Рекомендації щодо вибору значень технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» мають загальний характер і не завжди належним чином обґрунтовані. У відомих рекомендаціях не враховано конструктивних особливостей блоків циліндрів.

При відновленні циліндрів постановкою «сухих» ремонтних гільз вноситься зміна у конструкцію циліндра. Питання, якою мірою дана технологія впливає на експлуатаційно-технологічні характеристики відновлених блоків циліндрів, достатньо не досліджено.

На підставі зроблених висновків було визначено мету дослідження: удосконалення технології відновлення блоків циліндрів із алюмінієвих сплавів постановкою ремонтних чавунних гільз.

Для досягнення мети роботи поставлено такі завдання.

1. Здійснити оцінку технічного стану циліндрів, що надходять у ремонт блоків.

2. Теоретично обґрунтувати вибір значень технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» з умов теплопередачі та монтажних деформацій циліндрів.

3. Дослідити вплив технологічних параметрів з'єднання "гільза-блок циліндрів" на монтажні деформації циліндрів.

4. Сформулювати рекомендації ремонтного виробництва щодо вибору значень технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» при відновленні блоків циліндрів із алюмінієвих сплавів постановкою ремонтних чавунних гільз.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Розділ 2. РОЗРАХУНОВО-ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СПОЛУККИ

«ГІЛЬЗА-БЛОК ЦИЛІНДРІВ»

2.1. Аналіз впливу технологічних параметрів з'єднання

"гільза-блок циліндрів" на умови теплопередачі

Під час роботи ДВЗ при згорянні робочої суміші виділяється велика кількість теплоти. Тепло відводиться в систему охолодження двигуна через головку блоку і через стінки циліндра. Якщо блок циліндрів оснащений «сухими» гільзами (при виготовленні або ремонті), то неоднорідність стінки циліндра може істотно погіршити умови відведення тепла в систему охолодження через стінки циліндра. Результатом цього може стати підвищена теплонапруженість деталей ЦПГ і, як наслідок, поява деформацій циліндрів та задир на робочих поверхнях деталей ЦПГ. Таким чином, умови теплопередачі з'єднання «гільза-блок циліндрів» істотно впливають на працездатність ДВЗ в цілому. У цьому доцільно дослідити вплив технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на умови теплопередачі у ньому.

Умови теплопередачі з'єднання можна оцінити контактним термічним опором R або його зворотною величиною – тепловою провідністю ($a_c = 1/R_k$):

$$a_c \equiv \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\delta_i} + \sum_{j=1}^m a_{jk} \quad (2.1)$$

де λ_i – коефіцієнт теплопровідності матеріалу конструкції, Вт/(м·град); δ_i – товщина стінки елемента конструкції, м; a_{jk} – теплова провідність контакту, Вт/(м²·град)

Перший доданок виразу (2.1) являє собою теплову провідність матеріалу конструкції. Другий доданок виразу (2.1) є теплова провідність контакту.

Контакт між двома твердими тілами (незалежно від чистоти обробки поверхонь) завжди має дискретний характер, тобто зіткнення відбувається в окремих точках (плямах) номінальної поверхні. При цьому фактична площа контакту S_f становить, за різними даними, 1...2 % від номінальної (геометричної) площі контакту S_n . Між поверхнями, що сполучаються, завжди

є невеликі порожнини, заповнені міжконтактним середовищем. Оскільки теплопровідність контактуючих матеріалів найчастіше набагато вище теплопровідності міжконтактної середовища, то основна частина теплового потоку спрямовується до плям фактичного контакту. Відбувається так зване стягування ліній теплового потоку до плям фактичного контакту (рис. 2.1).

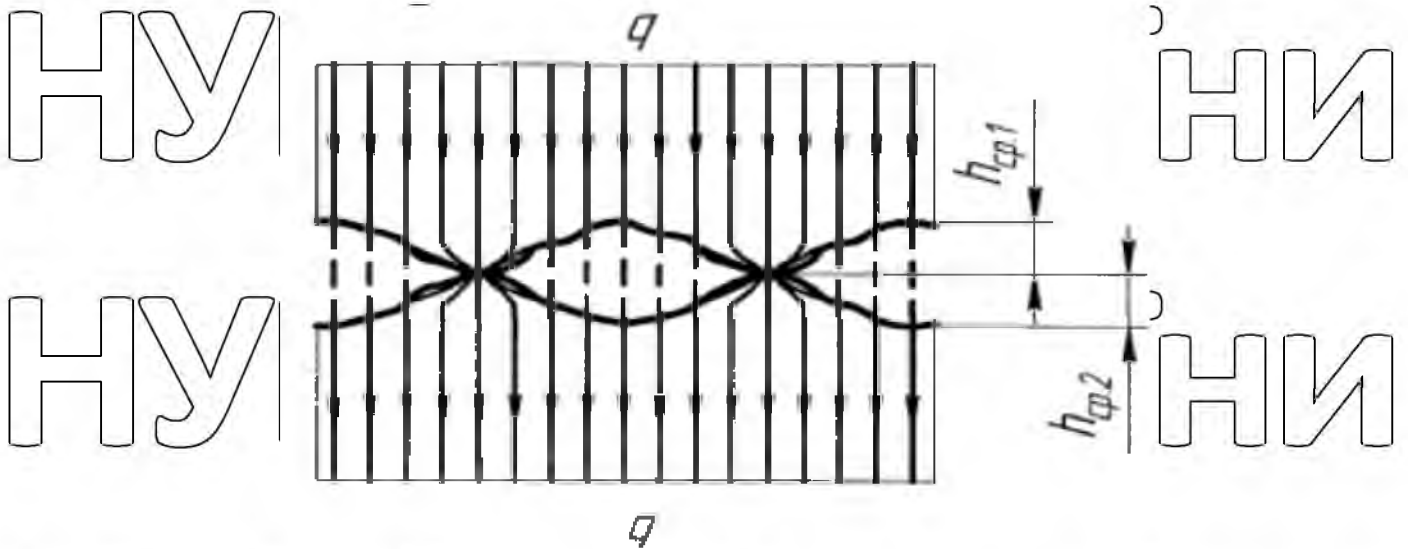


Рис. 2.1. Контакт двох твердих шорстких тіл

Внаслідок різниці температур між поверхнями, що обмежують порожнини (зазори), частина тепла передається теплопровідністю через міжконтактне середовище. Через відносно низьку величину зазору і невисоких температур у зоні контакту (до 750 К) конвективним теплообміном і променевипусканням можна знехтувати.

Температурний перепад ΔT між контактуючими поверхнями характеризує величину контактного термічного опору R_k :

$$R_k = \frac{\Delta T}{q} \quad (2.2)$$

де q - питомий тепловий потік, Вт/м

Так як тепловий потік при підході до поверхні дотику роздвоюється, то зв'язати величину термічного опору контакту з двома складовими: опір зазору R_c і опір місць фактичного контакту R_m . Природа цих складових принципово різна: перша складова - зовнішній опір, що визначається теплопровідністю міжконтактного середовища та величиною зазору; друга складова - внутрішній

опір, що виникає внаслідок стягування ліній теплового струму до плям фактичного контакту.

У всіх теоретичних роботах з контактного теплообміну передбачається, що складові R_c і R_m діють паралельно, і загальний термічний опір контакту R_k визначається за правилом складання паралельних опорів:

$$\frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_m} \quad (2.3)$$

У роботах з дослідження контакту твердих оброблених поверхонь показано, що форма плям контакту наближається до кругової. Для різних матеріалів (сталь, мідь, алюміній, нікель, графіт та ін) розмір плями контакту практично однаковий і може бути прийнятий константою. Часто приймають пляму контакту у вигляді кола з радіусом 30 мкм. Також за даними зі збільшенням нормального навантаження на поверхню немає скільки-небудь істотної зміни середнього розміру плями контакту, а зростання площі фактичного дотику відбувається, переважно, рахунок збільшення числа плям контакту. Зважаючи на складність мікрогеометрії оброблених поверхонь використовують модель механічного контакту: дві паралельні шорсткі поверхні стикаються в обмеженому числі однакових за розміром контактних плям у формі кола, рівномірно розподілених по номінальній поверхні.

Для визначення фактичної площі контакту вчені пропонують наступні залежності:

1) Ф. Боуден та Д. Тейбор запропонували спрощену залежність.

$$S_\phi = \frac{F_H}{HB} \quad (2.4)$$

де F_H - нормальне навантаження, Н; HB - твердість за Брінеллем, Н/мм².

В основі цієї формули лежить припущення про суто пластичну деформацію виступів мікронерівностей. Вираз (2.4) не враховує залежність площі контакту від висоти нерівностей, їх форми та розподілу по висоті, та дає задовільні результати лише для поверхонь із середньою чистотою обробки.

2) Р. Хольм припустив, що з контактування гладких поверхонь значна частина виступів деформується пружно і запропонував таку залежність:

$$S_\phi = \frac{F_H}{\xi HB} \quad (2.5)$$

де ξ - коефіцієнт, що враховує чистоту обробки поверхонь, що сполучаються, і може змінюватися від 1 до 0,02, в залежності від виду обробки. Невизначеність коефіцієнта ξ не дозволяє використовувати цю формулу для практичних розрахунків.

3) І. В. Крагельський найповніше відбив геометрію реальних поверхонь.

Використовуючи рівняння кривої опорної поверхні і, застосувавши схему формування площі торкання, згідно з якою виступи, що стикаються, спочатку змінюються пружно, поки не досягнуть критичної деформації, після чого вони починають деформуватися пластично, автор отримав такий вираз:

$$\eta = \frac{F_H}{C \sigma_B S_H} \quad (2.6)$$

де $\eta = \frac{F_H}{S_H}$ - відносна площа контакту; C - коефіцієнт, що враховує несучу здатність контакту (для більшості металів $C = 3$; для алюмінієвих сплавів $C = 3,5$; для міді $C = 5$); σ_B - межа міцності матеріалу, Н/м (при контактуванні різномірних матеріалів у розрахунок приймають σ_B менш пластичного матеріалу).

Вираз (2.6) справедливо за відсутності хвилястості, при регулярній хвилястості і пластичному контакті (незалежно від хвилястості).

Знаючи фактичну площу контакту можна визначити термічний опір місць контакту:

$$R_M = \frac{\pi a}{2 \eta \lambda_M} \quad (2.7)$$

де a - радіус кола плями контакту, м; $\lambda_M = \frac{2 \lambda_{M1} \lambda_{M2}}{\lambda_{M1} + \lambda_{M2}}$ - наведена теплопровідність контактуючих матеріалів, Вт/(м-град).

Підставляючи в рівняння (2.7) вираз (2.6) і значення π і a отримуємо:

$$R_M = \frac{C \sigma_B S_H}{2,1 F_H \lambda_M} 10^{-4} \quad (2.8)$$

Термічний опір міжконтактного середовища можна визначити за наступною залежністю:

$$R_M = \frac{h_{cp1} + h_{cp2}}{2 \lambda_M} \quad (2.9)$$

де h_{cp} - середня висота виступів мікронерівностей, м ; λ_c - коефіцієнт теплопровідності міжконтактного середовища, Вт/(м·град).

Таким чином, сумарну теплову провідність контакту автори пропонують визначати за такою формулою:

$$\alpha_k = \frac{2 \lambda_c}{h_{cp1} + h_{cp2}} + 2,1 \frac{F_H \bar{\lambda}_M}{C \sigma_B S_H} 10^4 \quad (2.10)$$

Вираз (2.11) можна застосовувати для розрахунку теплової провідності контакту двох металевих поверхонь із чистотою обробки $0,32 < Ra < 10,0$ мкм.

Перший доданок виразу (2.11) являє собою теплову провідність через міжконтактне середовище, другий доданок - теплову провідність через місця фактичного контакту.

Аналізуючи вираз (2.11) можна назвати чинники, які впливають умови теплопередачі у контакті.

1. Теплопровідність міжконтактного середовища. Зі збільшенням коефіцієнта теплопровідності середовища зростає теплова провідність через міжконтактне середовище.

2. Чистота обробки контактуючих поверхонь (h_{cp}). Зі зменшенням висоти виступів мікронерівностей знижується обсяг міжконтактного середовища і в результаті зростає теплова провідність через міжконтактне середовище.

3. Теплопровідність контактуючих матеріалів. Зі збільшенням коефіцієнта теплопровідності контактуючих матеріалів зростає теплова провідність через місця фактичного контакту.

4. Механічні властивості контактуючих матеріалів. Зі збільшенням межі міцності контактуючих матеріалів за рахунок перешкоди виступів мікронерівностей деформуванню при стисканні, зменшується фактична площа контакту. Внаслідок цього зменшується теплова провідність через місця фактичного контакту.

5. Контактний тиск на поверхнях деталей, що сполучаються. При збільшенні контактного тиску з'єднанні відбувається зближення контактуючих поверхонь, збільшується площа фактичного контакту (за рахунок вступу в

контакт нових точок поверхні) і, як наслідок, зростає теплова провідність через місця фактичного контакту.

Контактний тиск на поверхнях деталей, що сполучаються в з'єднанні «гільза-блок циліндрів» визначається наступним чином:

$$p = \frac{N_{\text{ном}}}{d_{\text{нс}} \left(\frac{c_1}{E_{\text{гл}}} + \frac{c_2}{E_{\text{бл}}} \right)} \quad (2.12)$$

$$c_1 = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_{\text{нс}}} \right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_{\text{нс}}} \right)^2} \mu_1 \quad c_2 = \frac{1 + \left(\frac{d_{\text{нс}}}{D} \right)^2}{1 - \left(\frac{d_{\text{нс}}}{D} \right)^2} \mu_2 \quad (2.13)$$

де $N_{\text{ном}}$ - номінальний натяг у поєднанні, мм; $d_{\text{нс}}$ - номінальний діаметр з'єднання, мм; $E_{\text{гл}}$ і $E_{\text{бл}}$ - модулі пружності матеріалів відповідно гільзи та блоку, Па; c_1 і c_2 - коефіцієнти Ляме; μ_1 і μ_2 - коефіцієнти Пуассона матеріалів відповідно гільзи та блоку; d - внутрішній діаметр гільзи, мм; D - зовнішній діаметр циліндра, мм.

Стосовно досліджуваних блоків циліндрів (номінальний діаметр з'єднання $d_{\text{нс}} = 85,0$ мм, сумарна товщина стінки циліндра $B = 8$ мм) зміна розрахункових значень контактних тисків, визначених за формулою (2.12) представлено на рис. 2.2.

Аналіз даної залежності показує, що зі збільшенням натягу в з'єднанні пропорційно зростає контактний тиск на поверхнях деталей, що сполучаються. За мінімальних значень натягу товщина стінки гільзи практично не впливає на контактний тиск. Збільшення натягу зміна товщини стінки гільзи призводить до істотних змін контактного тиску. Максимальний контактний тиск забезпечується при товщині стінки гільзи $B = (2,5 \dots 3,5)$ мм.

Для з'єднання «гільза-блок циліндрів» фізико-механічні властивості контактуючих матеріалів, а також теплопровідність міжконтактного середовища є певними величинами. Таким чином, на теплову провідність контакту в з'єднанні «гільза-блок циліндрів» впливають такі змінні фактори як чистота обробки (шорсткість) контактуючих поверхонь гільзи і блоку, і контактний тиск на поверхнях деталей, що сполучаються, величина якого визначається натягом у з'єднанні і товщиною стінок гільзи і блоку.

Шорсткість поверхонь, що сполучаються гільзи і блоку визначається способом остаточної обробки поверхонь. Так, для чистової обробки гільз циліндрів застосовується або шліфування або чистове точіння. Вимірювання шорсткості гільз профілометром Mitutoyo SJ -301 за ГОСТ 2789-73 показало, що для шліфованих гільз шорсткість поверхні становить $0,20 < R_a < 0,32$ мкм, для точених гільз $2,5 < R_a < 3,2$ мкм. Для остаточної обробки посадкового місця під гільзу в блоці з алюмінієвих сплавів найчастіше використовують чистове розточування. Вимірювання шорсткості розточених посадочних місць під гільзу в блоці показало, що шорсткість поверхні становить $1,7 < R_a < 2,1$ мкм.

Визначимо зміну теплової провідності контакту в залежності від контактного тиску в з'єднанні і шорсткості поверхонь, що сполучаються гільзи і блоку за виразом (2.11).

Результати розрахунків подано на рис. 2.3. Як видно з малюнка, зі зростанням контактного тиску в поєднанні пропорційно зростає тепла провідність контакту. За відсутності контактного тиску в з'єднанні ($p = 0$) перетворюється на нуль другий доданок вирази (2.11). При цьому тепло в контакт передається лише через міжконтактне середовище. Зі зростанням шорсткості гільзи суттєво знижується тепла провідність контакту. Так, при збільшенні шорсткості гільзи R_a з 0,20 до 3,20 мкм тепла провідність контакту знижується більш ніж удвічі (на 20390 Вт/(м²·°С)). Кращі умови теплопередачі в контакт (велика величина теплової провідності контакту) спостерігаються при максимальних контактних тисках у з'єднанні та мінімально можливої шорсткості контактуючих поверхонь гільзи та блоку.

На працездатність ЦПГ ДВЗ переважно впливає тепла провідність всього з'єднання «гільза-блок циліндрів» загалом - вираз (2.1), а чи не лише тепла провідність контакту. Теплова провідність з'єднання найчастіше оцінюється коефіцієнтом теплопередачі. Визначимо коефіцієнт теплопередачі складової стінки циліндра:

$$k = \frac{1}{\frac{B_{гйл}}{\lambda_{гйл}} + \frac{B_{бл}}{\lambda_{бл}} + \frac{1}{a_k}} \quad (2.14)$$

де $B_{гил.}$ і $B_{бл.}$ - товщина стінки відповідно гільзи та блоку, м; $\lambda_{гил.}$ і $\lambda_{бл.}$ -

Коефіцієнт теплопровідності матеріалів відповідно гільзи та блоку, Вт/(м·°С)

Коефіцієнт теплопровідності навану становить $\lambda_{ал} = 34...50$, алюмінієвого сплаву: $\lambda_{ал} = 120-165$ Вт/(м·°С). Для з'єднання «гільза-блок циліндрів» сумарна товщина стінки циліндра ($B = B_{гил.} + B_{бл.}$) є постійною величиною. Зміна товщини стінки гільзи компенсується зміною товщини стінки блоку. Залежність коефіцієнта теплопередачі складової стінки циліндра від теплової провідності контакту та товщини стінки гільзи представлена на рис. 2.4.

Збільшення товщини стінки гільзи від 15 до 25 мм призводить до зниження коефіцієнта теплопередачі складової стінки циліндра на 10... 14%. Зі збільшенням теплової провідності контакту від 15000 до 45000 Вт/(м²·°С) коефіцієнт теплопередачі складової стінки циліндра зростає на 37...43%.

Особливістю з'єднання «гільза-блок циліндрів» є те, що натяг у ньому змінюється під час роботи двигуна в широких межах. Закладена величина натягу в з'єднанні контролюється вимірюванням розмірів деталей, що сполучаються, як правило, при нормальній температурі. Як нормальна температура в ГОСТ 9249-59 встановлена температура +20°С. Однак в реальних умовах експлуатації температура деталей з'єднання істотно відрізняється від нормальної. Експериментальними і теоретичними дослідженнями авторів встановлено, що температура стінки циліндра ДВЗ з боку камери згоряння становить 200...210 °С, а температура стінки циліндра рідини, що омивається охолоджувальною, становить 110...120 °С. Виходячи з цих умов визначимо розподіл температури по складовій стінці циліндра та середню температуру гільзи та блоку за наступною методикою.

Питомий тепловий потік через складову стінку циліндра:

$$q = k \cdot (T_{гил.} - T_{бл.}) \quad (2.15)$$

де $T_{гил.}$ - температура стінки гільзи з боку камери згоряння, °С ;

$T_{бл.}$ - температура стінки блоку циліндрів омивається охолоджувальною рідиною, °С.

$$q = 7725,4 (205-115) = 695286 \text{ Вт/м}^2$$

Температура стінки гільзи, яка контактує з блоком;

$$T'_{гйл} = T_{гйл} - \frac{q B_{гйл}}{\lambda_{гыл}} \quad (2.16)$$

$$T'_{гйл} = 205 - \frac{695286 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{42} = 172^{\circ}\text{C}$$

Температура стінки блоку, що контактує з гільзою:

$$T'_{бл} = T_{бл} + \frac{q B_{бл}}{\lambda_{ал}} \quad (2.17)$$

$$T'_{бл} = 115 - \frac{695286 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{143} = 144^{\circ}\text{C}$$

Розрахунки показують, що при нормальному режимі роботи двигуна розподіл температури по складеній стінці циліндра має наступний вигляд: температура по товщині стінки гільзи від поверхні циліндра змінюється від 210 до 172°C, по товщині стінки блоку від 144 до 115°C. Температурний перепад ΔT у 28°C між контактуючими поверхнями гільзи та блоку характеризує величину контактного термічного опору R_k .

Знаючи робочі температури гільзи та блоку, визначимо температурну зміну посадки у з'єднанні:

$$\Delta_t^N = N_{раб} - N_{сб} = d_{ис} \cdot (\alpha_d \cdot \Delta t_d - \alpha_D \cdot \Delta t_D) \quad (2.18)$$

де Δ_t^N - зміна натягу в з'єднанні, при нагріванні до робочої температури двигуна; $N_{раб}$ - натяг у з'єднанні при робочій температурі; $N_{сб}$ - натяг, що закладається під час виготовлення деталей з'єднання (при нормальній температурі); α_d і α_D - коефіцієнти лінійного розширення матеріалів відповідно до гільзи та блоку; $\Delta t_d = t_d - 20^{\circ}$ - різниця між робочою температурою гільзи та нормальною температурою; $\Delta t_D = t_D - 20^{\circ}$ - різниця між робочою температурою блоку та нормальною температурою.

Коефіцієнт лінійного розширення чавуну $\alpha_{чав} = 10,5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ алюмінієвого сплаву $\alpha_{ал} = 23 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$. Середня температура гільзи становить 190°C, середня температура блоку становить 130°C.

Отже, зміна натягу у з'єднанні «гільза-блок циліндрів» при нагріванні двигуна до робочої температури становить:

$$\Delta_t^N = d_{ис} \cdot (10,5 \cdot 10^{-6} \cdot (190 - 20) - 23 \cdot 10^{-6} \cdot (130 - 20)) = -0,00075 \cdot d_{ис}$$

Знак мінус означає, що натяг з'єднання зменшується. Отже, виходячи з умов забезпечення надійного контакту гільзи з блоком натяг у з'єднанні повинен бути не менше $0,00075 \cdot d_{н.с.}$

Таким чином, розрахунково-аналітичним шляхом встановлено, що на умови теплопередачі в з'єднанні «гільза-блок циліндрів» істотно впливають наступні технологічні параметри з'єднання: величина натягу, шорсткість поверхонь, що сполучаються гільзи і блоку, товщина стінки гільзи. Визначено також характер та ступінь впливу технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на умови теплопередачі в ньому.

2.2. Аналіз впливу конструктивно-технологічних параметрів блоків циліндрів на монтажні деформації циліндрів

Аналіз причин відмов ЦПГ показує, що у працездатність ЦПГ і ДВЗ загалом істотно впливає деформація циліндрів у зоні роботи поршневих кілець. Деформація циліндрів призводить до появи овальності, конусності та інших відхилень від циліндричності, зміни монтажних зазорів у з'єднанні «поршень - циліндр» і торцевих зазорів у замках поршневих кілець. В результаті підвищується витрата олії на чад, відбувається прорив газів у простір за кільцями, знижуються експлуатаційні та екологічні показники двигуна, економічна ефективність його використання.

Деформація циліндрів блоку може виникати як у процесі експлуатації двигуна, так і на етапі його збирання: при монтажі ГБЦ, корінних опор, коробки передач та інших навісних агрегатів.

Під монтажними деформаціями циліндрів розуміються зміни їх вихідних розмірів і форми, що виникають внаслідок дії монтажної напруги від затягування різьбових з'єднань блоку циліндрів.

Технологія відновлення блоків циліндрів, виготовлених з алюмінієвих сплавів, постановкою «сухих» чавунних ремонтних гільз набула в ремонтній практиці досить широкого поширення. Тим не менш, на даний момент ще недостатньо вивчено якою мірою позначається застосування цієї технології на

експлуатаційно-технологічних характеристиках відновлених блоків циліндрів, у тому числі і на монтажних деформаціях циліндрів.

Більшість робіт з досліджень напружено-деформованого стану блоків циліндрів та монтажних деформацій циліндрів присвячено монтажним деформаціям гільз циліндрів «мокрого» типу та циліндрів цільнолитих блоків.

У роботах було досліджено вплив затягування різьбових з'єднань кріплення ГБЦ, корінних опор та різних навісних агрегатів двигуна на монтажні деформації циліндрів. Аналіз результатів цих досліджень показав, що найбільший вплив на монтажні деформації циліндрів затягує різьбові з'єднання кріплення ГБЦ до блоку.

Зниження монтажних деформацій циліндрів, зокрема їхньої овальності, є актуальним завданням, вирішення якого дозволить збільшити ресурс ЦПГ та підвищити експлуатаційні, екологічні та економічні показники двигуна.

Різьбове з'єднання кріплення ГБЦ до блоку циліндрів є груповим різьбовим з'єднанням (ГРС). Розподіл зусилля затягування в ГРС визначається рядом конструктивних та технологічних параметрів. До конструктивних параметрів можна віднести: взаємне розташування різьбових отворів ГРС, конструкція ущільнення стику, жорсткість елементів конструкції різних ділянок поверхні. До технологічних параметрів можна віднести: нерівномірність зусилля затягування в окремих різьбових з'єднаннях ГРС (через різні умови тертя в різьбленні та по торцю болтів, різної податливості витків різьблення корпусу та болта, відхилень профілю та кроку різьблення), відхилення розмірів та форми деталей, що сполучаються поверх ГРС.

Розглянемо докладніше, яким чином ці фактори впливають на монтажні деформації циліндрів при затягуванні різьбових з'єднань ГРС «головка блоку – блок циліндрів».

Схема ГРС «головка блоку – блок циліндрів» рядного чотирициліндрового автомобільного двигуна наведена на рис. 25. Як правило, в такому ГРС є 10 отворів різьбових, розташованих по периметру верхньої площини блоку між циліндрами. Зусилля затяжки від середніх болтів (3-8) у тому чи іншою мірою поступово діють сусідні циліндри. Зусилля затяжки від

крайніх болтів (1, 2, 9, 10) переважно діють крайні циліндри. Максимальні напруги, що виникають у матеріалі блоку від затягування різьбових з'єднань ГРС, спостерігаються поблизу різьбових отворів. У міру віддалення від різьбових отворів напруги пропорційно знижуються.

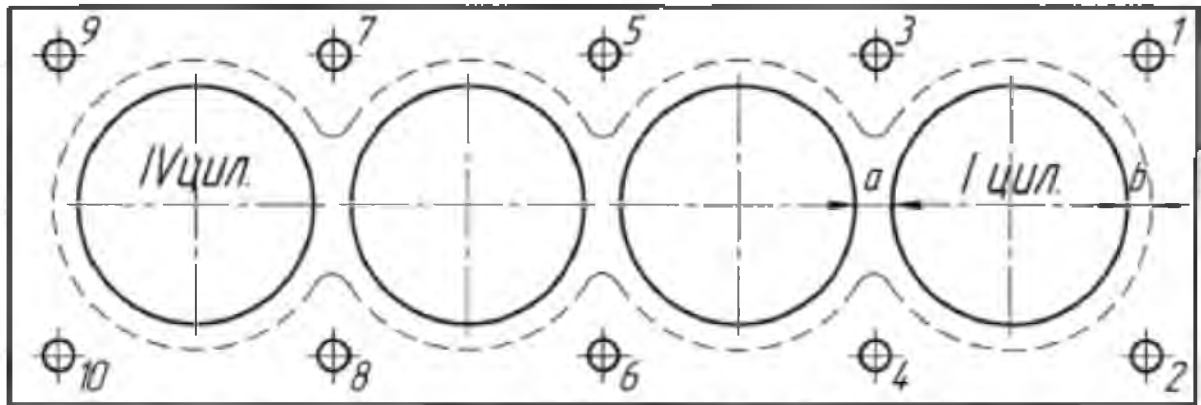


Рис. 2.5. Схема групового різьбового з'єднання «головка блоку - блок циліндрів» рядного чотирициліндрового двигуна; 1-10 різьбових отворів у блоці циліндрів; а – товщина перемички між циліндрами; b - товщина стінки циліндра

Нерівномірність розподілу зусиль і напруг поверхнею стику може призводити до різного характеру деформацій окремих циліндрів.

Дослідженнями встановлено, що монтажні деформації циліндрів мають спрямований характер, внаслідок чого циліндри набувають овальної форми. Для працездатності ЦПГ найбільш критична овальність циліндрів, тому необхідно детальніше вивчити причини овальності циліндрів від монтажних деформацій.

Більшість сучасних блоків автомобільних ДВЗ не мають протоки охолоджуючої рідини між циліндрами, і циліндри об'єднані між собою. У цьому випадку неоднакова жорсткість циліндрів у різних напрямках може призводити до їх спрямованої деформації. У більшості конструкцій блоків товщина перемички між циліндрами (розмір - а) більша за товщину стінки циліндра (розмір - b) (рис. 2.5). При цьому найбільша жорсткість циліндрів спостерігається в зоні перемичок між циліндрами (по осі колінчастого валу) і, найімовірніше, мінімальні монтажні деформації циліндрів також будуть спостерігатися в напрямку осі колінчастого валу.

Було проведено дослідження напруги та деформації поверхні прилягання блоку до ГБЦ під час монтажу дизельного двигуна. Конструкція даного двигуна є чотирициліндровим блоком циліндрів, у верхній плиті якого (поверхні прилягання до ГБЦ) виконані циліндричні розточування - посадкові місця під «мокрі» гільзи циліндрів. Блок і гільзи циліндрів виготовлені з сірого чавуну.

Було встановлено, що найбільші деформації верхньої плити блоку спостерігаються у зоні перемичок між циліндрами. Цей факт можна пояснити мінімальною жорсткістю верхньої плити блоку у цих місцях. Нерівномірна жорсткість верхньої плити блоку призводить до нерівномірної деформації при затягуванні ГРС кріплення ГБЦ до блоку. Деформація верхньої плити блоку призводить до деформацій циліндрів. Основною причиною спрямованості монтажних деформацій циліндрів є нерівномірна жорсткість верхньої плити блоку в поздовжньому та поперечному напрямках, різна жорсткість та товщина циліндрів по довжині та периметру.

На думку деяких учених, основною причиною виникнення овальності циліндрів при затягуванні ГРС кріплення ГБЦ до блоку є нерівномірність розподілу контактного тиску по поверхні прилягання блоку до ГБЦ, що пояснюється конструктивно нерівномірним розташуванням отворів різьбових ГРС по периметру циліндра.

Можна зробити висновок про те, що на спрямованість монтажних деформацій циліндрів впливають такі постійні конструктивні параметри як нерівномірність розташування різьбових отворів ГРС кріплення ГБЦ до блоку, нерівномірна жорсткість поверхні прилягання блоку до ГБЦ у поздовжньому та поперечному напрямках, різна жорсткість та товщина стінок та периметру. Неможливість вплинути дані конструктивні параметри при відновленні блоків циліндрів пояснює необхідність пошуку способів зниження монтажних деформацій циліндрів, зокрема їх овальності, технологічними методами.

Розглянемо докладніше, за рахунок чого відбувається деформація циліндрів при затягуванні ГРС кріплення ГБЦ до блоку, та визначимо технологічні параметри з'єднання «гільза-блок циліндрів», що впливають на монтажні деформації циліндрів.

Ущільнення стику «головка блоку – блок циліндрів» здійснюється за рахунок застосування спеціальних прокладок. Для забезпечення термічності стику «головка блоку - блок циліндрів» прокладка ГБЦ повинна бути стиснута з контактним тиском близько 100...150 МПа, що забезпечується затягуванням болтів ГБЦ з великими осьовими зусиллями (до 75 кН). Прокладка ГБЦ сучасного ДВЗ є високотехнологічною деталлю складної конфігурації та може мати наступну конструкцію [11; 12]:

- прокладка виготовлена з м'якого еластичного матеріалу на металевій основі (сітка або перфорований лист) з металевим окантуванням, що ущільнює камеру згоряння;

- прокладка є багатолистовою конструкцією з вуглецевої пружинної сталі (Multi-layer steel або Metaloflex).

Для надійної герметизації камер згоряння такі прокладки мають у районі циліндрів спеціальну конструкцію - жолобчасте формування та деяке потовщення (рис. 2.6)

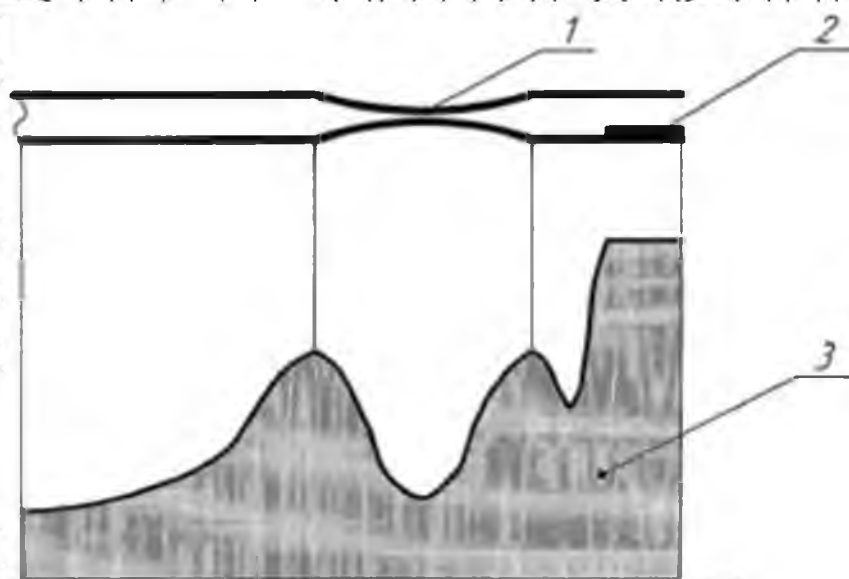


Рис. 2.6. Конструкція прокладки ГБЦ та розподіл контактнього тиску в стику: 1 – жолоб; 2 - окантування навколо циліндрів; 3 - розподіл контактнього тиску в стику

Таким чином, в обох видів прокладок ГБЦ конструктивно передбачено збільшення питомого тиску навколо циліндрів за рахунок більшої товщини і жорсткості прокладки в цій зоні. Нерівномірність розподілу питомого тиску

поверхнею стику «головка блоку - блок циліндрів» призводить до деформацій поверхонь прилягання ГБЦ і блоку циліндрів.

Прокладки ГБЦ сконструйовані так, що при досягненні регламентованого питомого тиску на контактних поверхнях ГБЦ та блоку циліндрів (забезпечується контролем моменту затяжки $M_{зат.}$, а також пружної деформації ГБЦ та блоку циліндрів).

В результаті деформації поверхні прилягання блоку циліндрів до ГБЦ і появи монтажних напруг у матеріалі блоку відбувається зміна напружено-деформованого стану всього блоку циліндрів і деформація циліндрів. Вочевидь, що більше деформується поверхню прилягання блоку до ГБЦ, тим більше деформуються і циліндри. З цих позицій особливо важливі відхилення від площинності поверхонь, що сполучаються блоку і ГБЦ, які для автомобільних ДВЗ не повинні перевищувати 0,03... 0,05 мм на всій довжині поверхонь [12; 13]. При відхиленні від площинності поверхонь, що сполучаються блоку і ГБЦ більш зазначених значень, з'являються надлишкові монтажні напруги в матеріалі блоку, що призводить до додаткової деформації циліндрів.

Деформація поверхонь прилягання блоку і ГБЦ може виникати не тільки через конструктивно різну товщину і жорсткість прокладки ГБЦ за площею, але і через деякий виступ «сухої» гільзи над площиною блоку. Наявність виступу гільзи над площиною блоку призводить до локального зростання питомого тиску навколо циліндрів, надмірної деформації прокладки ГБЦ, поверхонь прилягання ГБЦ та блоку, внаслідок чого збільшуються монтажні деформації циліндрів.

Конфігурація поверхні прилягання блоку циліндрів до ГБЦ істотно впливає на монтажні деформації циліндрів. У конструкціях блоків з верхньою сполучною плитою (рис. 1.1) монтажні напруги, що виникають на поверхні прилягання блоку до ГБЦ, передаються безпосередньо на циліндри. Так як найбільша монтажна напруга створюється на поверхні прилягання блоку до ГБЦ, то і максимальні монтажні деформації циліндрів у блоків з верхньою сполучною плитою, найбільш ймовірно, будуть розташовуватися у верхній частині циліндрів. Зв'язок циліндрів із зовнішніми стінками блоку внизу

сорочки охолодження також впливає на монтажні деформації циліндрів. Деяка частина монтажних напруг, що виникають у зовнішніх стінках блоку, буде передаватися на циліндри і призводити до їх деформації. При цьому в місці зв'язку циліндрів із зовнішніми стінками блоку (внизу сорочки охолодження) може спостерігатися зміна величини або характеру монтажних деформацій циліндрів.

У конструкціях блоків без верхньої сполучної плити (рис. 1.2) монтажні напруги, що виникають на поверхні прилягання блоку до ГБЦ, передаються на циліндри через зовнішні стінки блоку перемичок (зв'язків) внизу сорочки охолодження. При цьому максимальні монтажні деформації циліндрів, найбільш ймовірно, розташовуватимуться в місці зв'язку циліндра із зовнішніми стінками блоку. Конкретна зона розташування максимальної монтажної напруги і деформацій циліндрів визначається конструктивними особливостями блоку циліндрів (глибина сорочки охолодження, наявність концентраторів напруг).

Таким чином, конструктивно блоки циліндрів з верхньою сполучною плитою більшою мірою схильні до появи монтажних деформацій циліндрів при затягуванні ГРС кріплення ГБЦ, ніж блоки без верхньої сполучної плити. Широке поширення в даний час конфігурації блоків циліндрів з верхньою сполучною плитою порівняно з конфігурацією без верхньої сполучної плити вимагає більш детального дослідження причин виникнення монтажних деформацій циліндрів саме в блоках з верхньою плитою.

При затягуванні ГРС кріплення ГБЦ до блоку виникає зусилля, що ущільнює, у вигляді нерівномірно розподіленого навантаження $q_{\text{упл}}$. Інтенсивність нерівномірно розподіленого навантаження визначається осьовим зусиллям затягування болтів ГРС - $F_{\text{зат}}$, конструкцією прокладки ГБЦ, конструкцією поверхні прилягання блоку до ГБЦ (площею поверхні). Як зазначалося раніше, найбільше питомий тиск (максимальна інтенсивність $q_{\text{упл}}$) конструктивно забезпечується по периметру циліндрів.

Отже, до поверхні прилягання блоку до ГБЦ прикладається згинальний момент $M_{зг}$. Величина якого визначається $F_{зат}$, $q_{унт}$ і величиною плеча (відстанню від центру різбового отвору до краю циліндра) (рис. 2.7).

$$M_{зг} = f(F_{зат} \cdot q_{унт} \cdot l) \quad (2.20)$$

Згинальний момент, прикладений до поверхні прилягання блоку до ГБЦ, передається на стіжку циліндра, внаслідок чого відбувається її вигин. Величина деформації (прогину) циліндра визначається жорсткістю циліндра на вигин та величиною згинального моменту;

$$y(x) = \frac{M_{зг} x^2}{2EJ} \quad (2.21)$$

де $y(x)$ - прогин, м; $M_{зг}$ - згинальний момент, Н·м; EJ - жорсткість циліндра на вигин, Н·м; E - модуль пружності матеріалу, Н/м²; J - момент інерції перерізу циліндра, м⁴

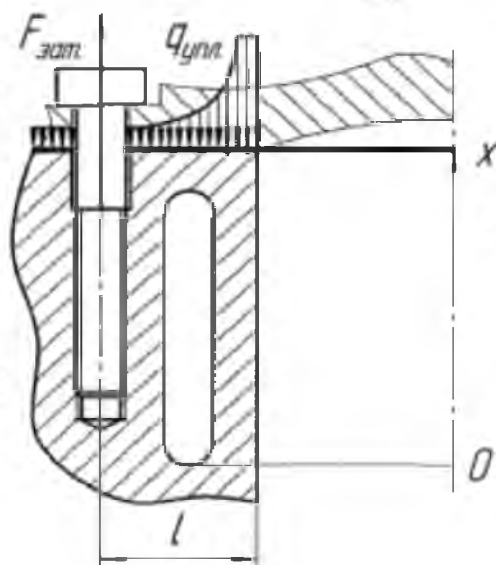


Рис. 2.7. Схема дії сил у поєднанні «Головка блоку - блок циліндрів»

Момент інерції перерізу J характеризує його здатність чинити опір викривленню і залежить від розмірів та форми поперечного перерізу. Перетин циліндра двигуна є кільце. Момент інерції перерізу кільця визначається за такою формулою:

$$J_{\text{кільц}} = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] \quad (2.22)$$

де D - зовнішній діаметр кільця, м; d - внутрішній діаметр кільця, м.

У разі складеного циліндра (у циліндр встановлена гільза) обидва циліндри працюють на вигин паралельно, так як при згинанні їх перерізу повертаються на однаковий кут. При цьому циліндр можна розглядати як пружний елемент. За відомим правилом, при паралельній роботі пружних елементів їх жорсткості складаються.

Позначимо загальну жорсткість складеного циліндра на вигин через S тоді:

$$S = S_{\text{цил}} + S_{\text{гил}} \quad (2.23)$$

де $S_{\text{цил}}$ і $S_{\text{гил}}$ - жорсткість відповідно до циліндра і гільзи на вигин, Н · м.

$$S_{\text{цил}} = E_{\text{стл}} \cdot J_{\text{цил}} \quad (2.24)$$

$$S_{\text{гил}} = E_{\text{стл}} \cdot J_{\text{гил}} \quad (2.25)$$

Використовуючи такі позначення; d - внутрішній діаметр гільзи, $d_{\text{н.с.}}$ - номінальний діаметр з'єднання (відповідно зовнішній діаметр гільзи та внутрішній діаметр циліндра), D - зовнішній діаметр циліндра, виразимо $J_{\text{цил}}$ та

$$J_{\text{гил}} = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d_{\text{н.с.}}}{D} \right)^4 \right] \quad (2.26)$$

$$J_{\text{гил}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{н.с.}}^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d}{d_{\text{н.с.}}} \right)^4 \right] \quad (2.27)$$

Виразимо номінальний діаметр з'єднання $d_{\text{н.с.}}$ через внутрішній діаметр гільзи d і товщину стінки гільзи $B_{\text{гил}}$:

$$d_{\text{н.с.}} = d + 2 \cdot B_{\text{гил}} \quad (2.28)$$

Підставляючи цей вираз у рівняння (2.26) та (2.27) отримаємо:

$$J_{\text{цил}} = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d + 2B_{\text{гил}}}{D} \right)^4 \right] \quad (2.29)$$

$$J_{\text{гил}} = \frac{\pi \cdot (d + 2B_{\text{гил}})^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d}{d + 2B_{\text{гил}}} \right)^4 \right] \quad (2.30)$$

Отже, жорсткість складеного циліндра на вигин дорівнює:

$$S = E_{\text{стл}} \left(\frac{\pi \cdot D^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d + 2B_{\text{гил}}}{D} \right)^4 \right] + \frac{\pi \cdot (d + 2B_{\text{гил}})^4}{64} \left[1 - \left(\frac{d}{d + 2B_{\text{гил}}} \right)^4 \right] \right) \quad (2.31)$$

Для реального циліндра ДВЗ значення D і d величини постійні та зміна жорсткості складеного циліндра на вигин відбувається за рахунок зміни товщини стінки гільзи. Визначимо зміну жорсткості складеного циліндра в

залежності від товщини стінки гільзи Врил. для наступних параметрів з'єднання: $1,5 < B_{\text{цил.}} < 2,5$ мм, $D = 96$ мм, $D_0 = 80$ мм, матеріал блока - AlSi_7Cu_3 ($E_{\text{блок}} = 0,7 \times 10^{11}$ Н/м²), матеріал гільзи - сірий чавун ($E_{\text{гильза}} = 1,05 \cdot 10^{11}$ Н/м²).
Результати розрахунків наведено на рис. 2.8.

Як видно з розрахунків із збільшенням товщини стінки гільзи лінійно зростає загальна жорсткість з'єднання на згин. При зміні товщини стінки гільзи від 1,5 до 2,5 мм жорсткість з'єднання збільшується незначно на 45%. Таким чином, встановлено, що зміна товщини стінки гільзи в даному діапазоні не має значного впливу на величину монтажних деформацій циліндрів.

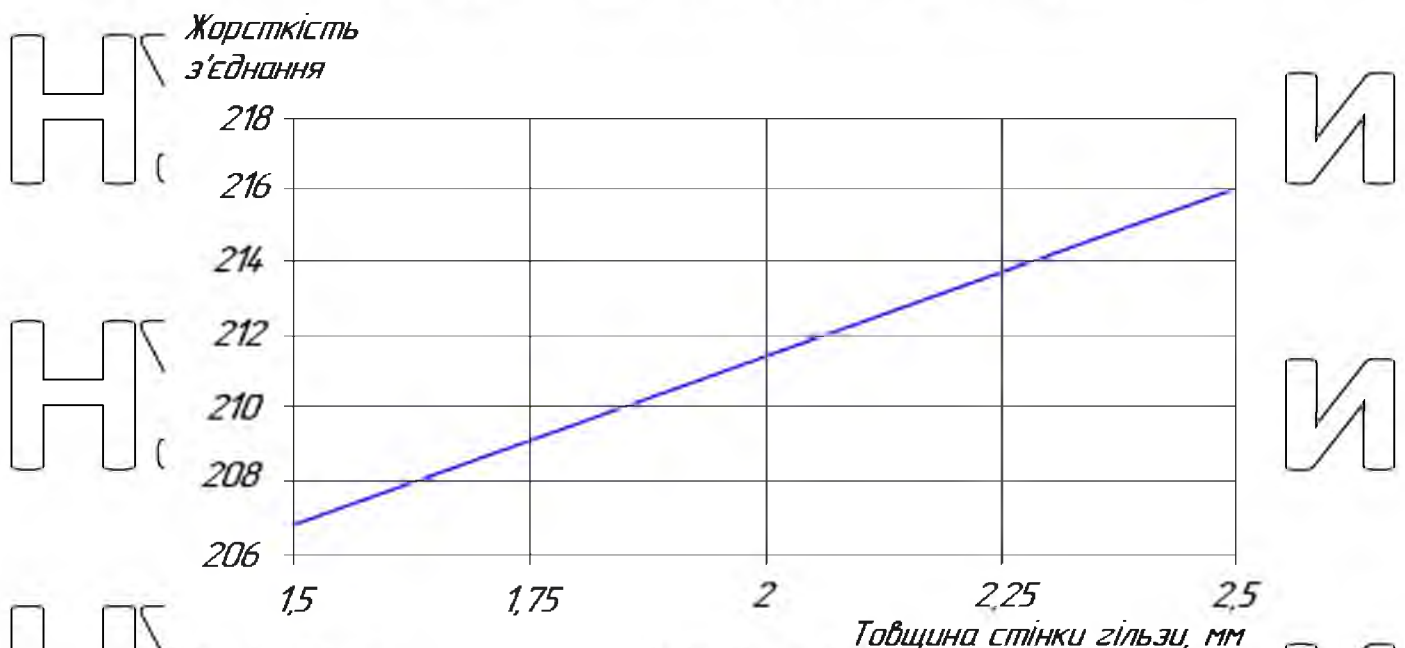


Рис./2.8. Вплив товщини стінки гільзи на жорсткість з'єднання

Одним з основних технологічних параметрів з'єднання «гільза - блок циліндрів» є величина натягу, яка може змінюватися в широких межах. Розглянемо, як може впливати величина натягу у поєднанні «гільза-блок циліндрів» на монтажні деформації циліндрів.

При установці гільзи в циліндр з натягом зовнішній діаметр гільзи і внутрішній діаметр циліндра, за рахунок стиснення гільзи і розтягування циліндра, стають однаковими, рівними середньому діаметру з'єднання. При цьому в гільзі створюються стискаючі, а в циліндрі - радіальні і окружні напруження, що розтягують (σ_r і σ_θ). Максимальні напруження в матеріалі гільзи та

циліндра створюються на поверхні їх контакту та визначаються за такими залежностями:

$$\sigma_r = -p \quad (2.32)$$

$$\sigma_\theta = \frac{1+k^2}{1-k^2} p \quad (2.33)$$

де p - контактний тиск на поверхнях деталей, що сполучаються, що визначається за формулою (2.12), Па; $k = \frac{d}{d+2B_{гільзи}}$ - для гільзи та $k = \frac{d+2B_{циліндра}}{D}$ - для циліндра.

Дані напруги лежать у площині, перпендикулярній до осі циліндра, і не впливають на його вигин. На вигин циліндра істотно впливають напруги, що виникають при поздовжньому запресовуванні гільзи в циліндр. Даний спосіб збирання не використовується для установки гільз в циліндри з алюмінієвих сплавів через схоплювання матеріалів гільзи та циліндра. При складанні з'єднання поперечним методом (з нагріванням блоку та охолодженням гільзи) поздовжні напруги в матеріалі гільзи та циліндра не утворюються.

Можна припустити, що величина натягу в з'єднанні «гільза-блок циліндрів» не повинна істотно впливати на монтажні деформації циліндрів.

Однак напруги σ_r і σ_θ , що виникають при встановленні гільз в циліндри з натягом, змінюють загальний напружено-деформований стан блоку циліндрів, що може вплинути на величину або характер монтажних деформацій циліндрів, що виникають. Мінімальна ступінь вивченості впливу величини натягу у поєднанні «гільза-блок циліндрів» на монтажні деформації циліндрів пояснює необхідність проведення експериментального дослідження.

В результаті аналізу причин виникнення монтажних деформацій циліндрів встановлено, що на величину та характер монтажних деформацій циліндрів впливає ряд конструктивних та технологічних параметрів (факторів).

До факторів, якими ми можемо керувати при відновленні блоків циліндрів, відносяться: осьове зусилля затягування болтів ГРС кріплення ГБЦ, відхилення від площинності поверхонь прилягання ГБЦ та блоку, товщина стінки гільзи, натяг у з'єднанні «гільза-блок циліндрів», виступ бурта гільзи над площиною блоку.

Розділ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

НУБІП України

3.1. Загальна методика дослідження

Загальна методика дослідження включає наступні основні етапи:

- вивчення та аналіз конструкцій блоків циліндрів, виготовлених з алюмінієвих сплавів;
- вивчення та аналіз апріорної інформації про причини відмов та способи відновлення деталей циліндро-поршневої групи;
- Дослідження технічного стану блоків циліндрів, що надходять у ремонт;
- Розробка методики експериментальних досліджень;
- Дослідження впливу технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на умови теплопередачі;
- Дослідження впливу технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на монтажні деформації циліндрів;
- обґрунтування значень технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів»; виробнича перевірка технології;
- розробка рекомендацій ремонтному виробництву на вибір значень технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» при відновленні блоків циліндрів, виготовлених з алюмінієвих сплавів.

НУБІП України

3.2. Методика дослідження дефектів циліндрів

З метою визначення характеру зносу та деформацій циліндрів блоків, виготовлених з алюмінієвих сплавів, використовувалася методика оцінки технічного стану блоків циліндрів, що надходять у ремонт. В основі даної методики лежать рекомендації щодо мікрометражу базових деталей двигунів (ГОСТ 14846-81).

Об'єктами цього дослідження були блоки циліндрів автомобільних двигунів робочим об'ємом 1,5-2,9 л, виготовлені з алюмінієвих сплавів. Циліндри яких утворені зносостійкими напунними «сухими» вставками. Діаметр досліджуваних циліндрів становив 75-90 мм.

НУБІП України

Після ретельного миття та очищення робочих поверхонь блоки піддавалися візуальному огляду. При цьому виявлялися ушкодження аварійного характеру задираки, пробоїни, тріщини. Циліндри, що мають подібні дефекти з подальших досліджень, виключалися.

Далі проводилися вимірювання розмірів циліндрів у різних поясах по довжині, на відстанях від верхньої площини блоку, рівних відповідно: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 95, 110, 125 мм. І в чотирьох напрямках: у площині гоїдання шатуна (А-А), по осі колінчастого валу (Б-Б), під кутом 45° (В-В) і 135° (Г-Г) до осі колінчастого валу. Схема вимірів представлена на рис. 3.2.

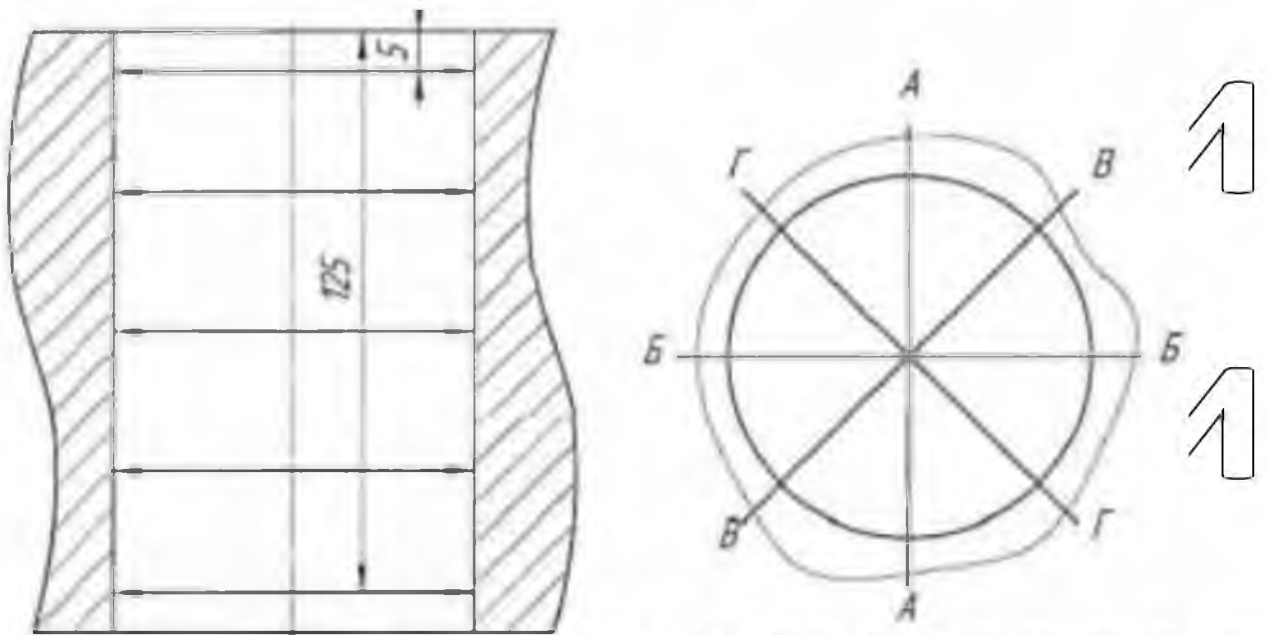


Рис. 3.2. Схема вимірів відхилень розмірів циліндрів

Визначалися значення наступних параметрів циліндрів:

- відхилення розмірів циліндрів від номінальних значень;
- Овальність циліндрів.

Відхилення розмірів циліндрів від номінальних значень визначалися за допомогою індикаторного нутроміра НН-100 ГОСТ 868-82, оснащеного спеціальним пристроєм, що забезпечує проведення вимірювань у заданому поясі (рис. 3.3). Овальність циліндрів визначалася як різниця вимірів у двох взаємно перпендикулярних напрямках (А-А) та (Б-Б).

Дослідження проводилися окремо для блоків з верхньою сполучною плитою та блоків без верхньої сполучної плити. Усього, з кожної конфігурації блоку було досліджено по 30 циліндрів.

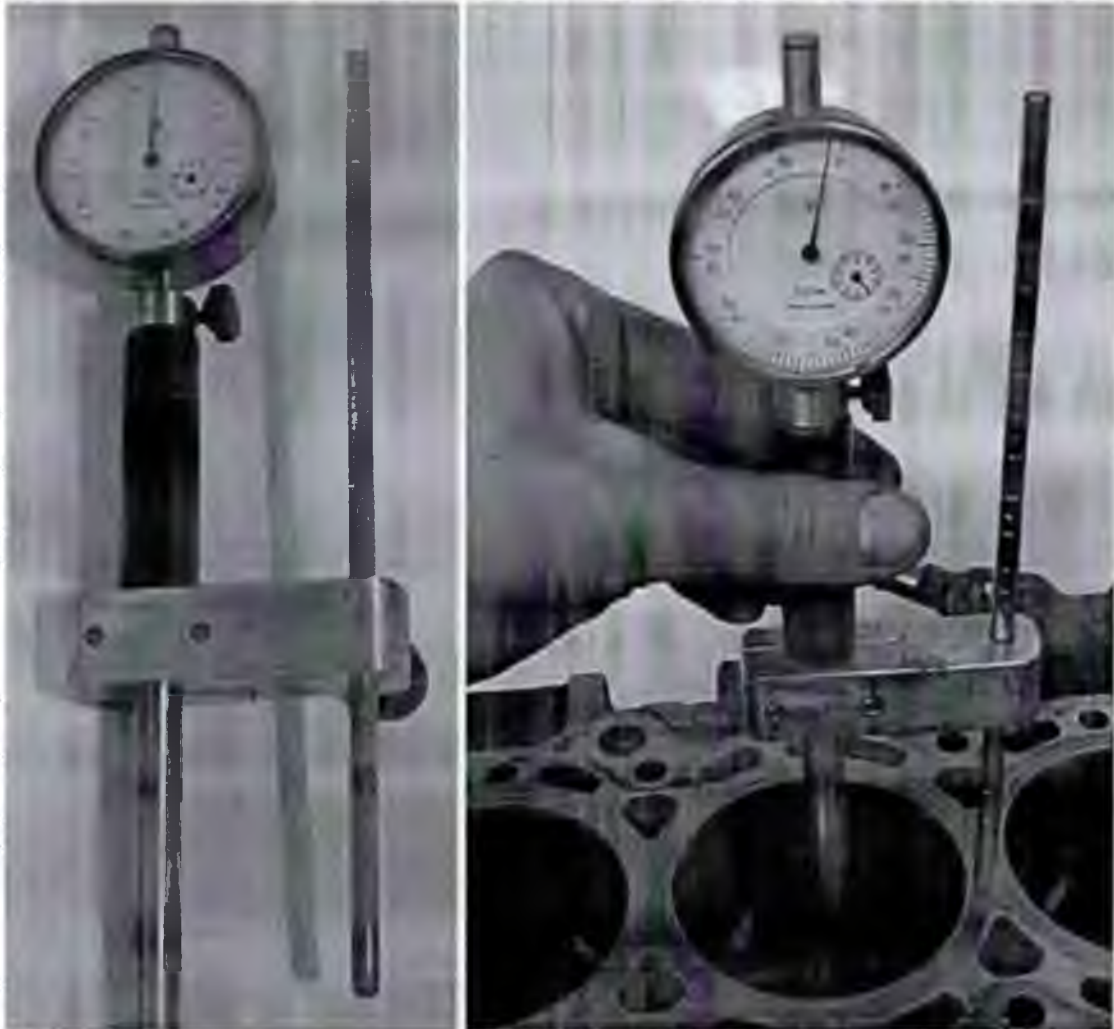


Рис 3.3. Зовнішній вигляд пристрою для проведення вимірювань на заданому рівні по довжині циліндра

3.3. Методика дослідження впливу технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на монтажні деформації циліндрів

В результаті розрахунково-теоретичного аналізу впливу конструктивно-технологічних параметрів блоків циліндрів та технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на монтажні деформації циліндрів було встановлено, що на величину та характер монтажних деформацій циліндрів впливають, крім конструктивних, ряд технологічних параметрів:

- осьове зусилля затягування болтів ГБЦ;

- відхилення від площинності поверхонь прилягання ГБЦ та блоку циліндрів;

- натяг у з'єднанні «гільза-блок циліндрів»;

- товщина стінки гільзи;

- виступання бурта гільзи над площиною блоку.

У рамках цього дослідження було прийнято такі припущення:

Осьове зусилля затягування болтів ГБЦ регламентується виробником двигуна. Вплив даного фактора на монтажні деформації циліндрів не досліджувався, і затягування болтів ГБЦ здійснювалося незмінно, відповідно до

ТУ. Постійність осьового зусилля забезпечувалося контролем моменту затягування динамометричним ключем і подальшим доворотом болтів певний кут.

Відхилення від площинності поверхонь прилягання ГБЦ і блоку циліндрів контролювалася до і в ході експериментів, і не перевищували 0,03 мм на 400 мм довжини. Цей чинник під час досліджень було прийнято постійною величиною.

Підготовка до досліджень блоків циліндрів, що відновлюються постановкою «сухих» ремонтних гільз, включала такі етапи:

1. Видалення розточування заводських чавунних вставок (рис. 3.9).

2. Виготовлення ремонтних гільз із припуском на обробку за внутрішнім діаметром. При цьому забезпечувалися відхилення розмірів та форми посадкової поверхні гільзи $<0,02$ мм і шорсткість $Ra < 3,2$ мкм.

3. Розточування посадкових отворів в блоці циліндрів під гільзи з дотриманням нормованих значень відхилень розмірів і форми $<0,02$ мм, шорсткості $Ra < 2,4$ мкм, а також виходячи з значень, що задаються натягу в з'єднанні. Натяг у з'єднанні контролювався шляхом вимірювання розмірів поверхонь, що сполучаються гільз і блоку відповідно: мікрометром МК-100 ГОСТ 6507-90 і індивідуальним нутроміром підвищеної точності ПН-100 0,002 ГОСТ 9244-75 (DIN 878).

4. Складання з'єднань, що здійснюється поперечним методом (рис. 3.10).

При цьому блок циліндрів рівномірно нагрівався до термостату до температури

140-150 °С. В результаті при складанні забезпечувався монтажний зазор $S_{\text{монт.}} = 0,22-0,30$ мм. Безпосередньо перед складання з'єднання, для виключення схоплювання матеріалів гільзи та блоку, гільза змащувалася аерозолем WD-40. Після цього гільза встановлювалася у посадкове місце блоку від руки.

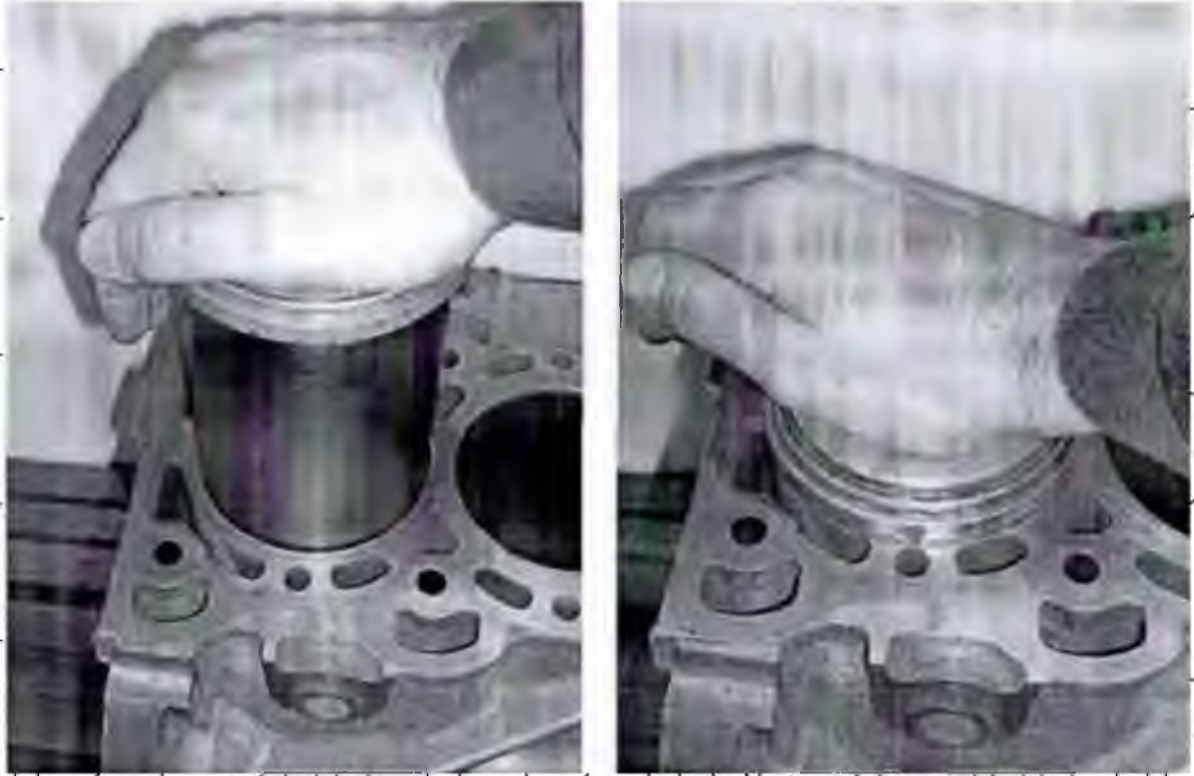


Рис. 3.10. Встановлення гільзи в розточку блоку

5. З метою запобігання підйому гільзи під час остигання блоку, з урахуванням рекомендацій, гільза фіксувалася в крайньому нижньому положенні за допомогою гвинтового пристрою (рис. 3.11) і витримувалася в такому стані до повного остигання блоку.

6. Розточування та хонінгування циліндрів із встановленими ремонтними гільзами у розмір, що забезпечує необхідну товщину стінки гільзи.

7. Підрізання бурга гільзи на верстаті та контроль виступу спеціальним індикаторним пристосуванням (рис. 3.12).

Підготовлений таким чином блок циліндрів піддавався дослідженням щодо оцінки впливу технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на монтажні деформації циліндрів за такою методикою:

1) Виконувалися вимірювання розмірів циліндрів у вільному стані за ГОСТ 14846-81: у різних поясах, на відстанях від верхньої площини блоку,

рівних відповідно: 10, 20, 30, 40, 50, 65, 95, 125 мм та у чотирьох напрямках: в площині хитання шатуна (А-А), по осі колінчастого валу (Б-Б), під кутом 45° (В-В) і 135° (Г-Г) до осі колінчастого валу.



Рис. 3.12. Підрізання та контроль виступу бурта гільзи

2) На блок циліндрів встановлювалася ГБЦ з прокладкою і проводилася затяжка болтів за допомогою динамометричного ключа виробником, що регламентується моментом (5, 15, 45 Н·м + доворот 90°) і в установленому порядку.

3) Виконувалися вимірювання розмірів циліндрів з боку корінних опор, згідно зі схемою вимірювань (рис. 3.13) за допомогою індикаторного нутроміра підвищеної точності ІН-100 0,002 ГОСТ 9244-75 (DIN 878), оснащеного спеціальним пристосуванням, що забезпечує вимірювання діаметра циліндра (рис. 3.14).

4) Визначалася деформація циліндрів, як різниця розмірів (А) у вільному та в напружено-деформованому стані (з встановленою та обтиснутою ГБЦ).

Для зменшення похибки експерименту проводилися повторне затягування болтів ГБЦ та вимірювання розмірів циліндрів у кожному досвіді. Результати двох серій вимірів по кожному досвіду усереднювалися, а у разі великого розкиду результатів (понад 4 мкм) проводилася третя серія вимірів.

При цьому випадку, є значення результатів вимірювань відсіювалися.

Для кожного варіанта поєднання різних факторів проводилося дві серії паралельних дослідів (рівномірне дублювання). Рівні чинників змінювалися у рандомізованому порядку.

Розділ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1. Результати дослідження дефектів циліндрів

Дослідженнями технічного стану вступників у ремонт блоків циліндрів встановлено, що характер зміни розмірів та форми циліндрів у блоків з верхньою сполучною плитою та блоків без верхньої сполучної плити різний. Також встановлено, що характер пошкодження циліндрів блоків без верхньої сполучної плити, залежно від індивідуальних особливостей конструкції, суттєво різниться. Так, для найбільш представницької групи блоків відхилення розмірів циліндрів не перевищують 0,06 мм. Для іншої групи блоків, що має певне конструктивне виконання (рядні п'ятициліндрові блоки з діаметром циліндрів 83 мм), відхилення розмірів циліндрів досягають 0,40 мм. У зв'язку з істотними відмінностями у характері ушкодження циліндрів ці блоки виділено окремий масив.

Відхилення розмірів циліндрів блоків із верхньою сполучною плитою представлені на рис. 4.1 блоків без верхньої сполучної плити на рис. 4.2.

Аналіз результатів дослідження показує, що характер відхилень розмірів циліндрів у блоків різних конфігурацій значно відрізняється. У блоків циліндрів з верхньою сполучною плитою спостерігається збільшення розмірів циліндрів і по довжині циліндра, і діаметральних перерізах. Найбільший розмір циліндри мають у площині хитання шатуна, найменший - у напрямку осі колінчастого валу. Такі зміни розмірів та форми циліндрів характерні для нормальних умов зношування деталей циліндропоршневої групи.

У блоків циліндрів без верхньої сполучної плити відхилення розмірів циліндрів мають інший характер. У площині хитання шатуна спостерігається збільшення розмірів циліндрів. У напрямку осі колінчастого валу, у верхній частині циліндра – зменшення розмірів.

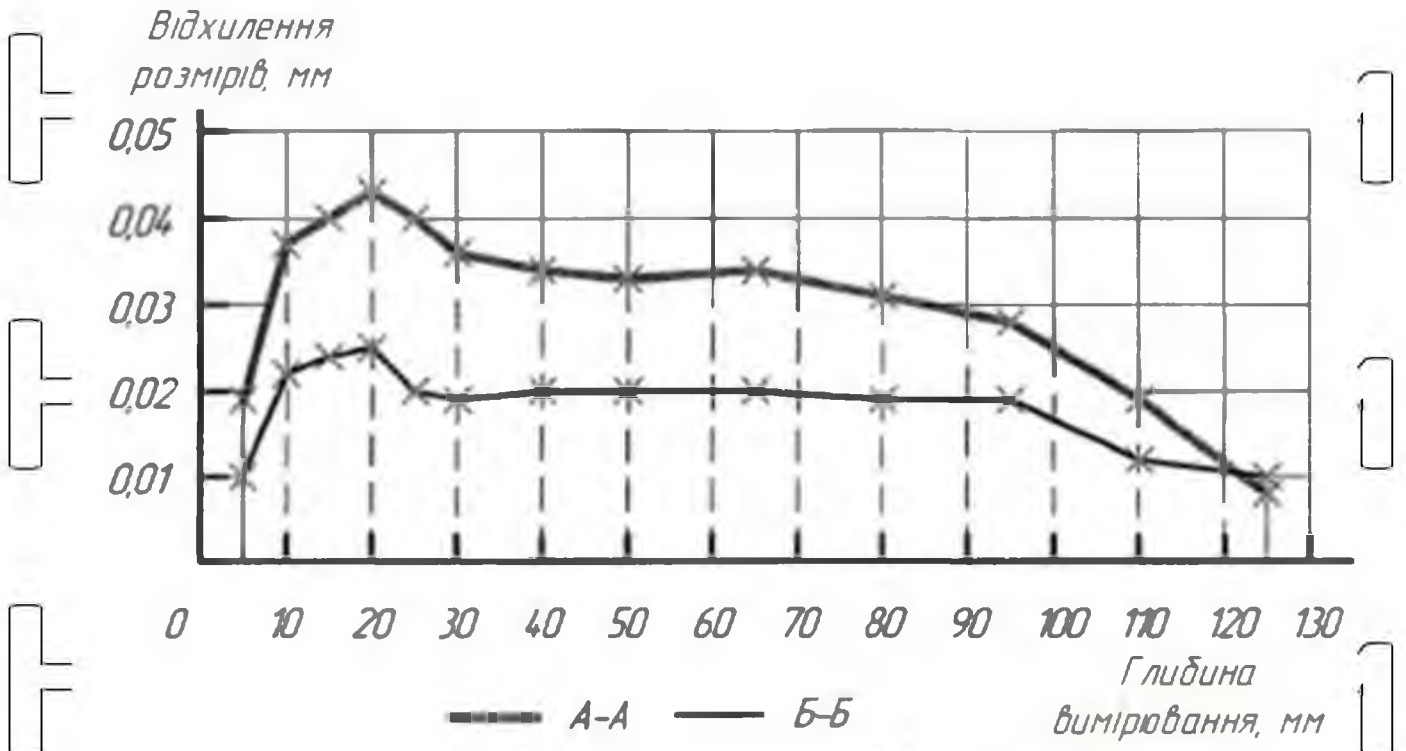


Рис. 4.1. Відхилення розмірів циліндрів у блоків з верхньою сполучною плитою

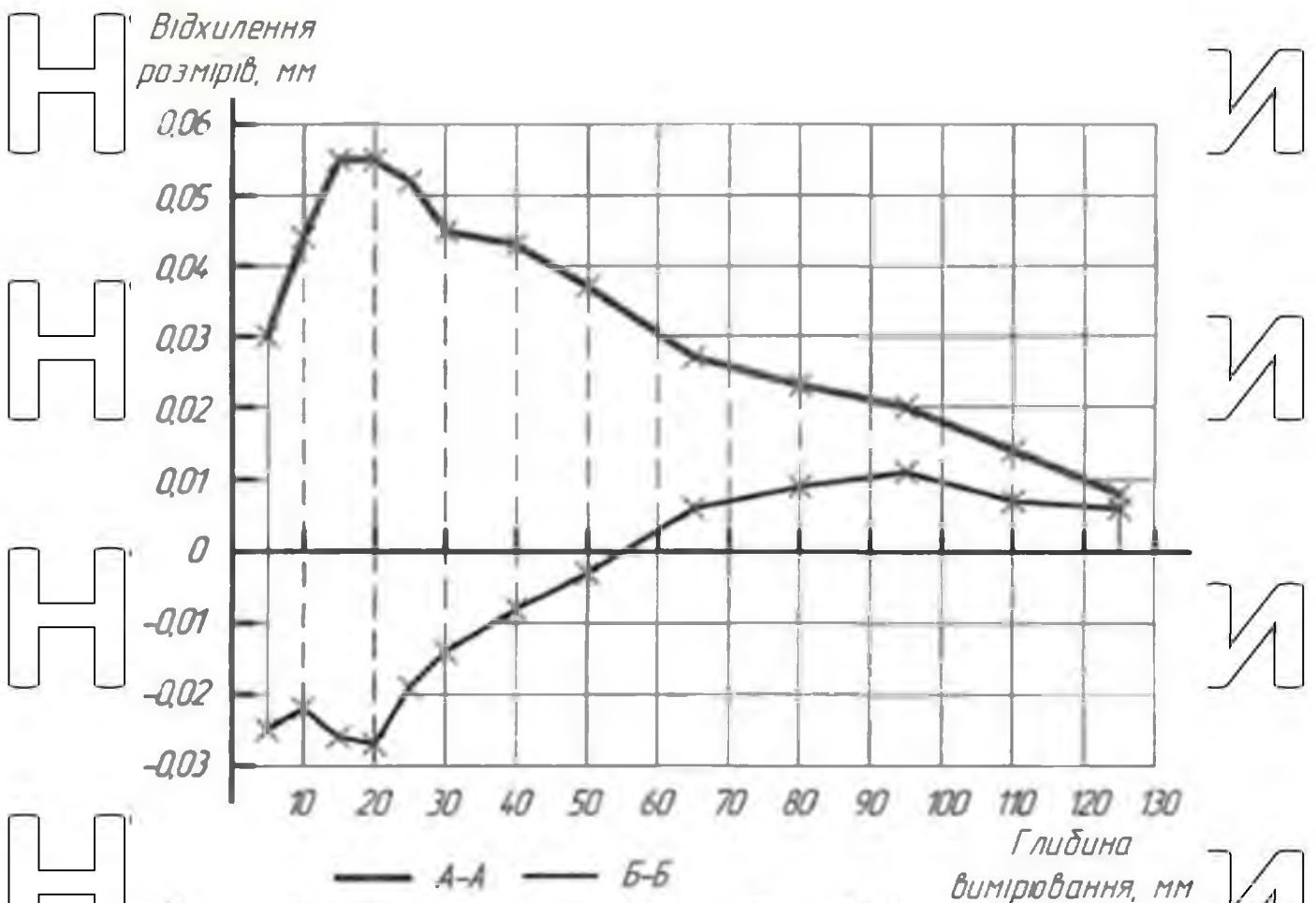


Рис. 4.2. Відхилення розмірів циліндрів у блоків без верхньої сполучної плити

Як видно з малюнків, максимальні відхилення розмірів циліндрів блоків з верхньою сполучною плитою і блоків без верхньої сполучної плити спостерігаються в одній зоні - на відстані 10..20 мм від верхньої площини блоку, що відповідає місцю зупинки поршневих кілець при положенні поршня в ВМТ. Ця обставина пояснюється гіршими умовами мастила у цій зоні.

Розподіл відхилень розмірів циліндрів у діаметральних перерізах, у неробочій зоні та у зоні максимальних відхилень розмірів представлені на рис. 4.3-4.4. При побудові даних діаграм було прийнято припущення про рівномірне розподілення відхилень розмірів щодо осі циліндра. Відхилення розмірів циліндрів (Δ) вказано у міліметрах.

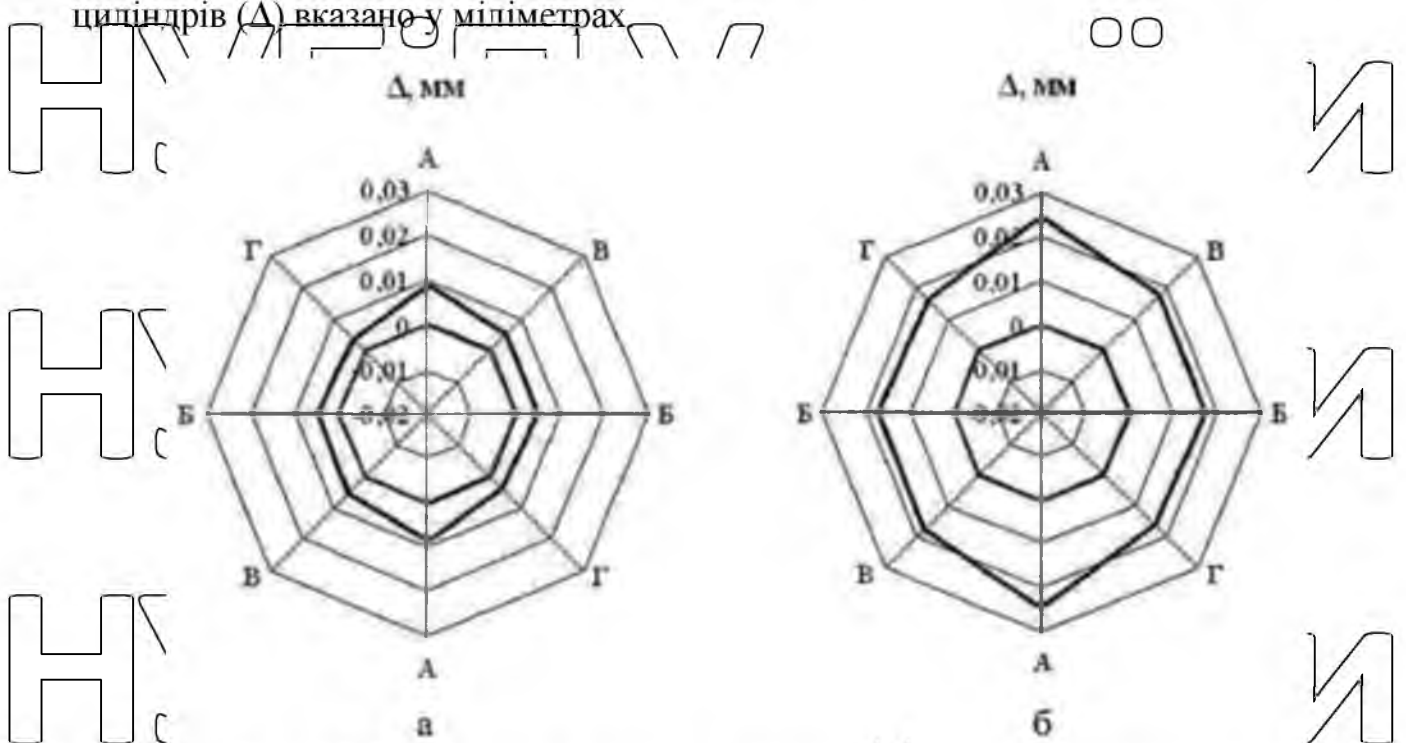


Рис. 4.3. Відхилення розмірів циліндрів у діаметральних перерізах

у блоків з верхньою сполучною плитою: а - на відстані 5 мм від верхньої площини блоку; б - на відстані 20 мм від верхньої площини блоку

Розподіл відхилень розмірів циліндрів блоків без верхньої сполучної плити зі значною величиною зношування представлено на рис. 4.5. Як видно з малюнка, у верхній (неробочій) частині циліндра, в площині хитання шатуна (А-А) спостерігається збільшення, а в напрямку осі колінчастого валу (Б-Б) зменшення розміру циліндрів. На інших рівнях спостерігається збільшення розмірів циліндрів.

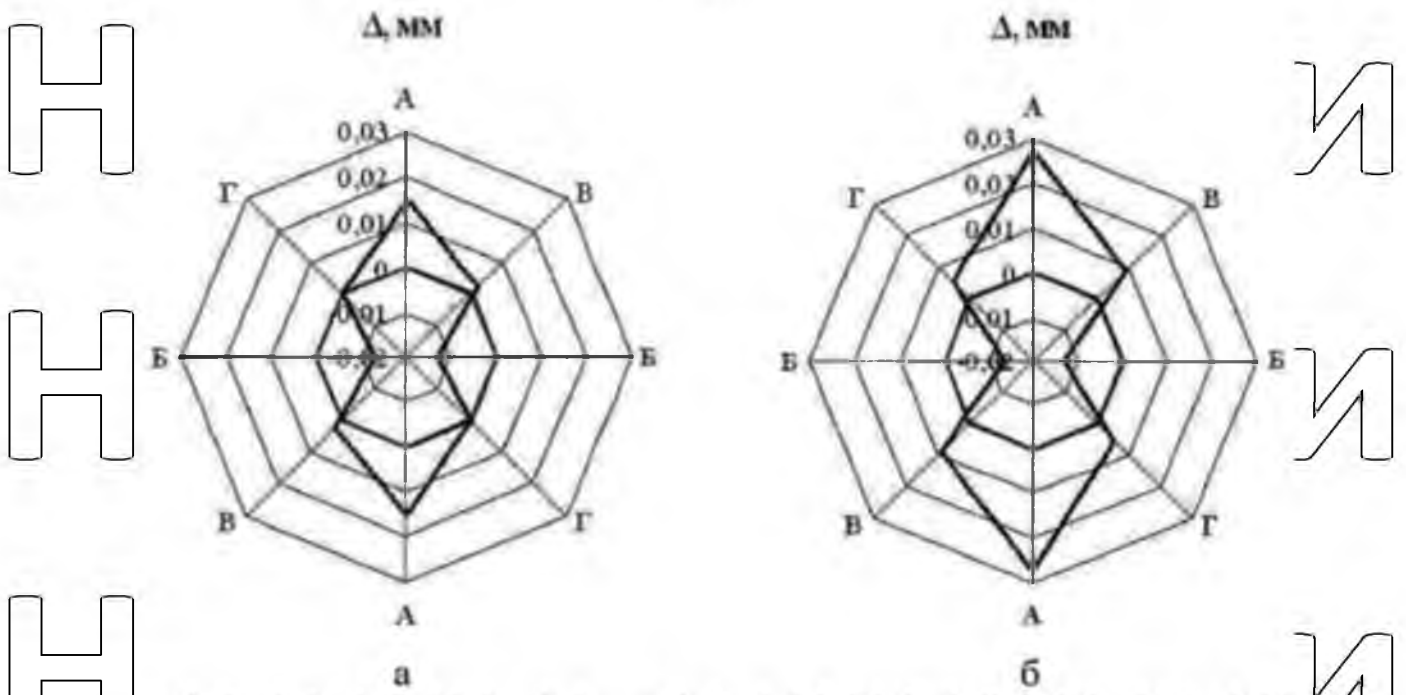


Рис. 4.4. Відхилення розмірів циліндрів у діаметральних перерізах у блоків без верхньої сполучної плити: а - на відстані 5 мм від верхньої площини блоку; б - на відстані 20 мм від верхньої площини блоку

Максимальні відхилення розмірів циліндрів блоків без верхньої сполучної плити зі значною величиною зношування спостерігаються на відстані 10 мм від верхньої площини блоку, що відповідає зоні зупинки компресійних кілець при положенні поршня в ВМТ. Величина цих відхилень можна порівняти з максимальним ремонтним збільшенням циліндрів для блоків такої конструкції.

Розподіли відхилень розмірів циліндрів у діаметральних перерізах, у неробочій зоні та у зоні максимальних відхилень розмірів, для блоків зі значною величиною зносу представлені на рис. 4.6.

Як видно з малюнка, у блоків без верхньої сполучної плити зі значною величиною зносу циліндрів, так само як і у основної групи блоків без верхньої сполучної плити спостерігається істотна деформація циліндрів у їхній верхній (неробочій) частині. Овальність циліндрів тут сягає 0,07 мм. Зміни овальності по довжині циліндрів блоків з верхньою сполучною плитою та блоків без верхньої сполучної плити представлені на рис. 4.7. Значення допустимої величини овальності

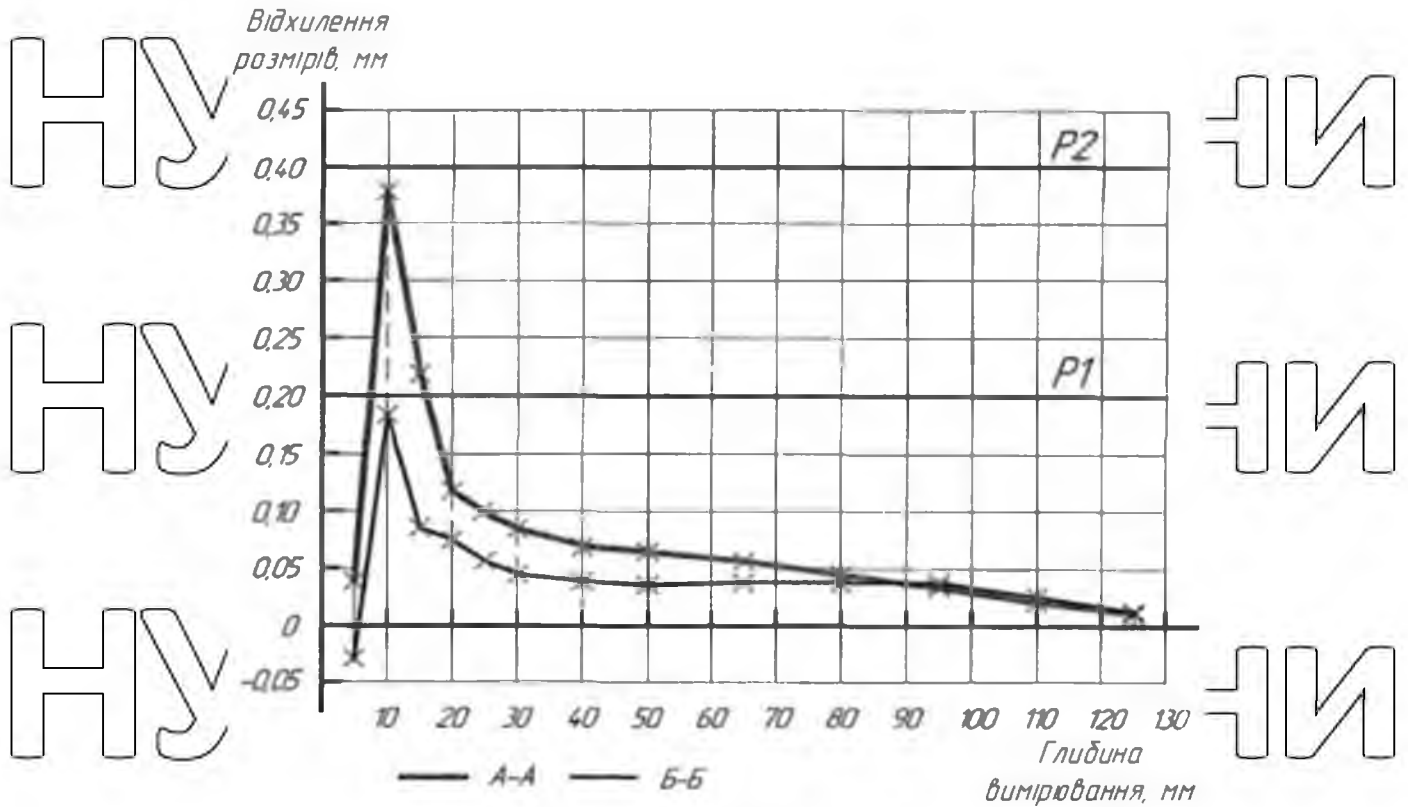


Рис. 4.5. Відхилення розмірів циліндрів у блоків без верхньої сполучної плити

зі значною величиною зношування: P 1 - перший ремонтний розмір;

P 2 - другий ремонтний розмір

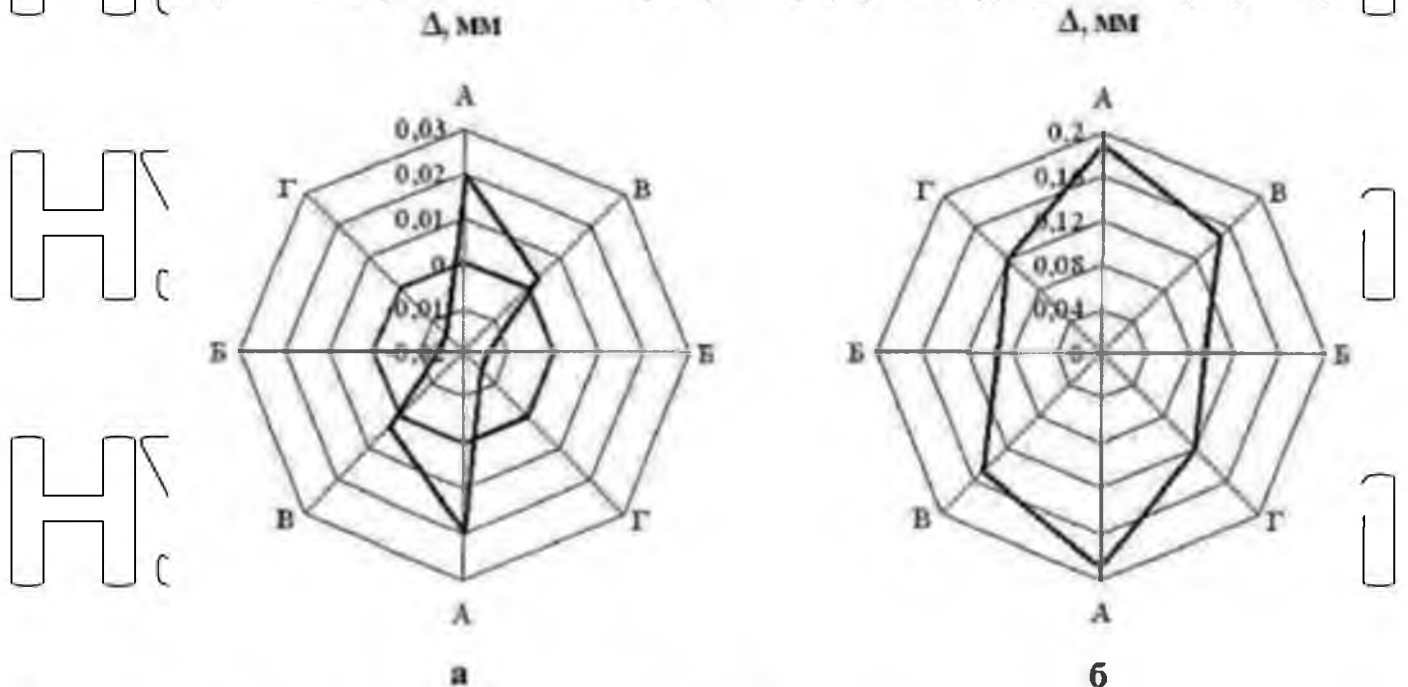


Рис. 4.6. Відхилення розмірів циліндрів у діаметральних перерізах блоків без верхньої сполучної плити зі значною величиною зношування: а - на відстані 5

мм від верхньої площини блоку; б - на відстані 10 мм від верхньої площини

блоку циліндрів при експлуатації прийнято за даними та становить 0,04 мм.

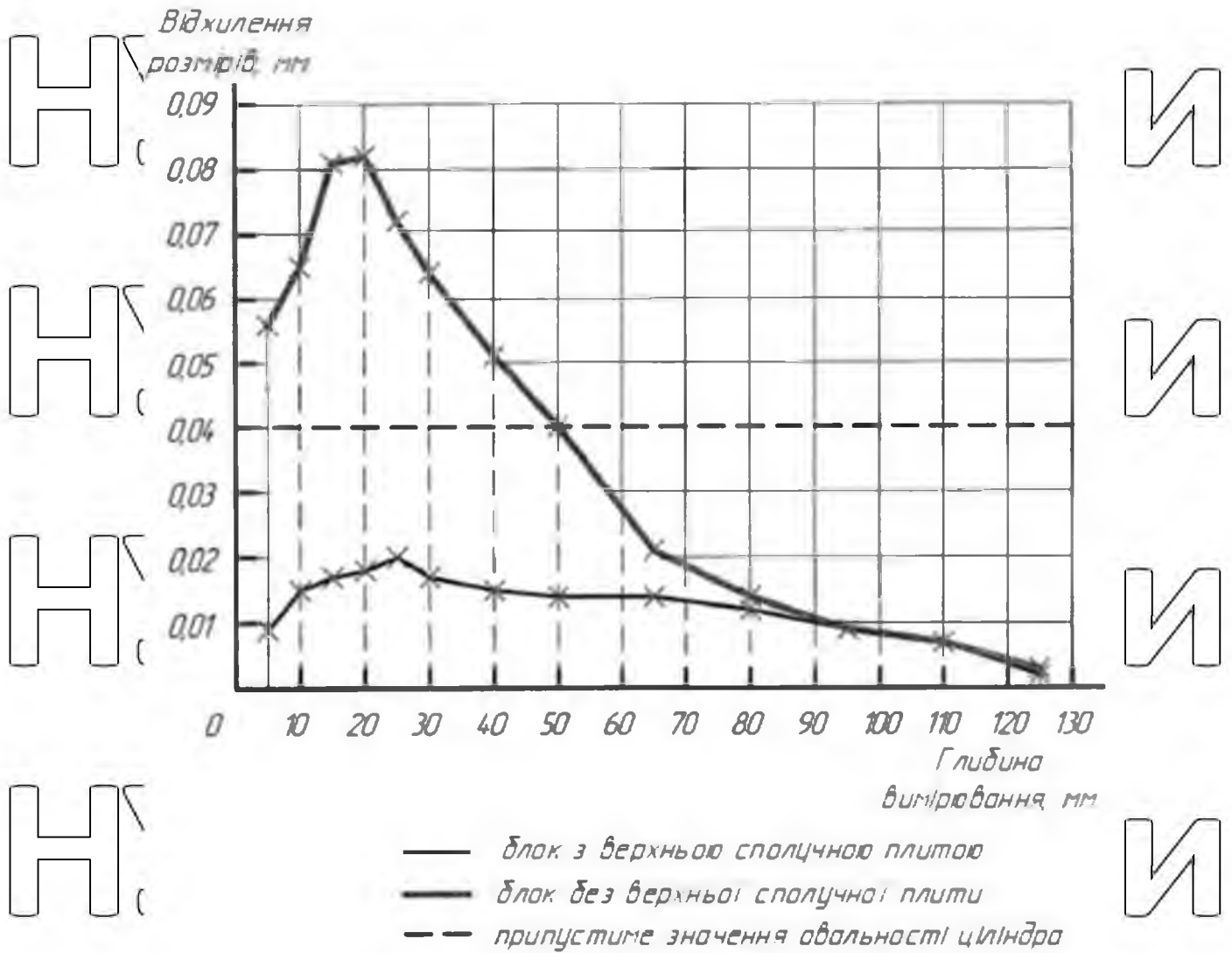


Рис. 4.7. Овальність циліндрів блоків різних конфігурацій

Як видно з малюнка, овальність циліндрів у блоків з верхньою сполучною плитою по всій довжині циліндра не перевищує допустимого значення. У блоків без верхньої сполучної плити нормативним вимогам по овальності відповідає лише середня та нижня частина циліндрів. У верхній зоні (на довжині до 50 мм від поверхні прилягання до головки циліндрів) овальність циліндрів перевищує допустиме значення.

Відсутність на поверхнях поршнів і циліндрів характерних пошкоджень, що спостерігаються при порушенні теплового режиму роботи двигуна, дозволяє зробити висновок про те, що деформація циліндрів, блоків без верхньої сполучної плити, що виникає в процесі експлуатації двигунів, найбільш ймовірно, пов'язана з недостатньою опірністю таких блоків термодинамічним навантаженням.

Що стосується надходження в ремонт блоків циліндрів з верхньою сполучною плитою, у яких відхилення розмірів і форми циліндрів не перевищують допустимих значень, то причина тут полягає, найчастіше, в надмірному зазорі між циліндром і поршнем через знос і деформацію останнього.

4.2. Результати дослідження впливу технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на монтажні деформації циліндрів

Для оцінки впливу технології відновлення блоків циліндрів з алюмінієвих сплавів постановкою ремонтних чавунних гільз на величину і характер монтажних деформацій циліндрів, на першому етапі, було проведено дослідження монтажних деформацій циліндрів блоків серійного виконання.

Результати дослідження подано на рис. 4.12.

Відхилення
розмірів, мкм

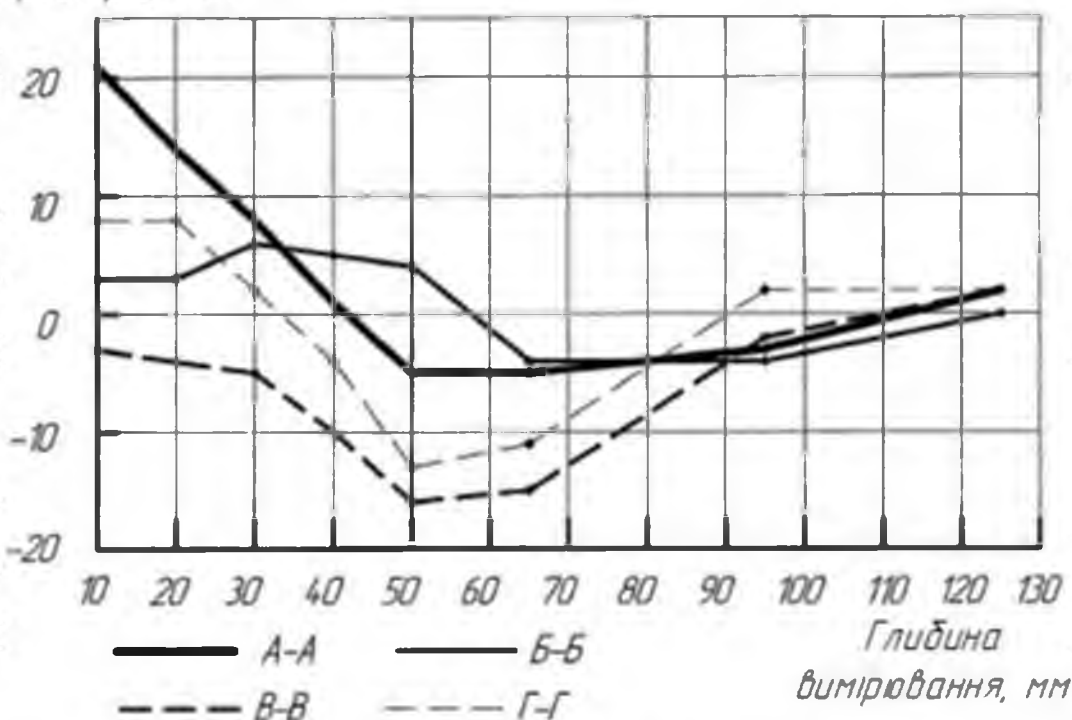


Рис. 4.12. Відхилення розмірів циліндрів блоків серійного виконання

Аналіз результатів дослідження показує, що найбільші монтажні деформації циліндрів блоків серійного виконання спостерігаються в площині хитання шатуна (A-A), на відстані 10 мм від верхньої площини блоку і

становлять 21 мкм. Найменші монтажні деформації циліндрів спостерігаються у напрямі осі колінчастого валу (Б-Б). Відхилення розмірів циліндрів по всій довжині не перевищують 6 мкм. У напрямках В-В і Г-Г найбільші монтажні деформації циліндрів спостерігаються у середній частині циліндра, на відстані 50 мм від верхньої площини блоку, де спостерігається зменшення розмірів циліндрів до 16 мкм.

Розподіл деформацій циліндрів у діаметральних перерізах на відстанях 10 і 50 мм від верхньої площини блоку представлений на рис. 4.13. При побудові даних діаграм було прийнято допущення про рівномірний розподіл відхилень розмірів щодо осі циліндра. Відхилення розмірів циліндрів (Δ) вказано у мікрометрах.

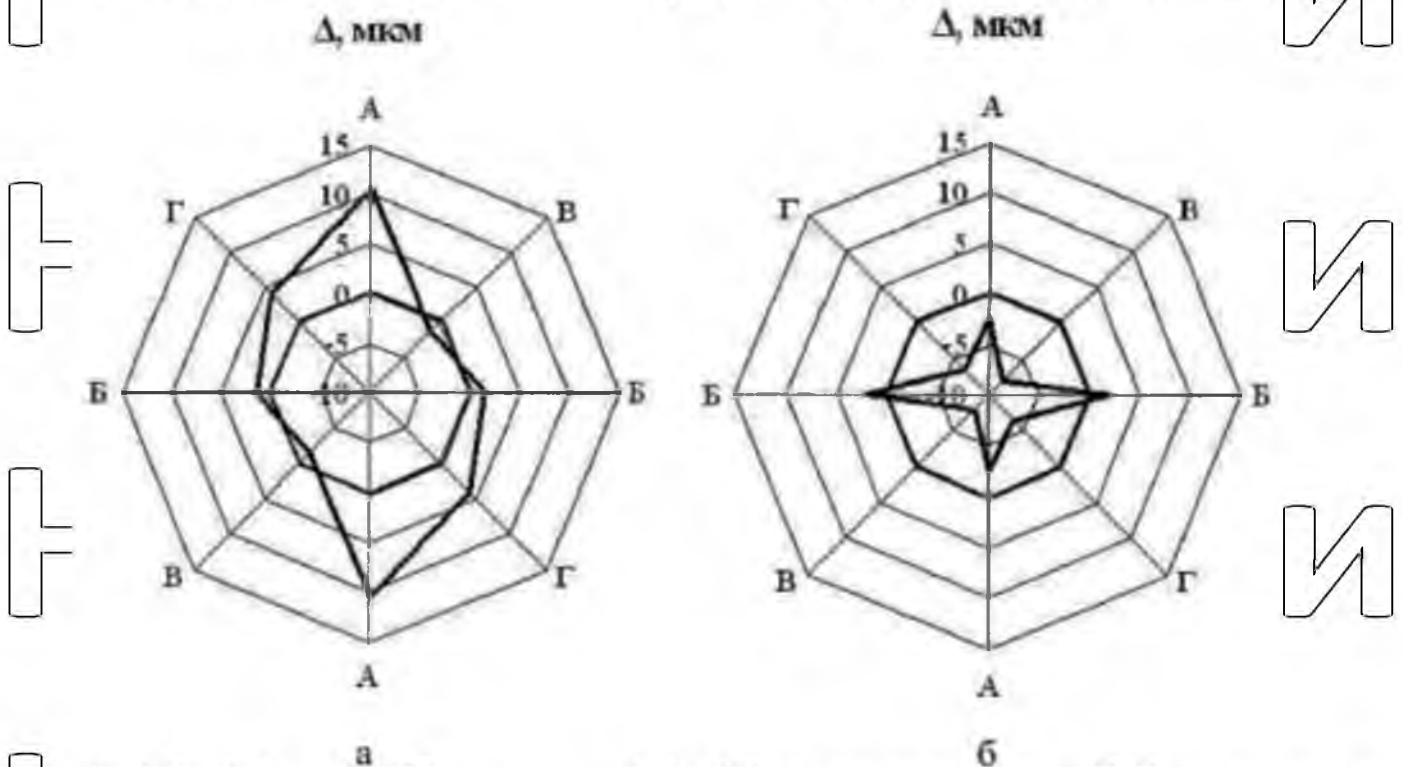


Рис. 4.13. Відхилення розмірів циліндрів блоків серійного виконання у діаметральних перерізах: а - на відстані 10 мм від верхньої площини блоку; б - на відстані 50 мм від верхньої площини блоку

Як очевидно з діаграм, монтажні деформації циліндрів мають нерівномірний характер. Так, у верхній частині циліндра (на відстані 10 мм від верхньої площини блоку) спостерігається переважне збільшення його розміру, у той час як у середній частині циліндра (на відстані 50 мм від верхньої

площини блоку) - зменшення. Причому обох рівнях величина монтажних деформацій циліндрів перевищує допустиме значення ± 6 мкм [13].

Розташування мінімальних монтажних деформацій циліндрів у бік безколінчастого валу (Б-Б) пояснюється найбільшою жорсткістю циліндрів у цьому напрямі. Наявність суттєвих монтажних деформацій у середній частині циліндрів можна пояснити їх зв'язком із зовнішніми стінками блоку у цій зоні. Напружки, що виникають у блоці при затягуванні болтів кріплення ГБЦ, передаються через стінки блоку і призводять до появи деформацій циліндрів.

Отримані результати узгоджуються з розрахунково-теоретичними передумовами, розглянутими у розділі 2.2.

Попередніми дослідженнями впливу технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на монтажні деформації циліндрів встановлено, що виступ бурта гільзи над площиною блоку призводить до істотної зміни величини та характеру монтажних деформацій циліндрів. Так, за відсутності виступу гільзи над площиною блоку максимальні відхилення розмірів циліндрів становлять 16 мкм, овальність циліндрів 17 мкм. При виступі гільзи над площиною блоку $\delta=0,04$ мм максимальні відхилення розмірів циліндрів зростають до 22 мкм, а овальність циліндрів до 30 мкм (рис. 4.14).

Збільшення монтажних деформацій циліндрів зі зростанням виступу гільзи над площиною блоку пояснюється локальним збільшенням контактного тиску навколо циліндрів. Це призводить до надмірних деформацій прокладання ГБЦ, поверхонь прилягання блоку та ГБЦ, внаслідок чого відбувається збільшення монтажних деформацій циліндрів. Тому в подальших дослідженнях положення бурта гільзи забезпечувалося «заподищо» з поверхнею блоку циліндрів ($\delta=0$ мм).

Дослідження монтажних деформацій циліндрів із встановленими ремонтними гільзами показали, що найбільші деформації циліндрів спостерігаються на тих же рівнях, що й у блоків циліндрів серійного виконання, на відстані 10 та 50 мм від верхньої площини блоку.

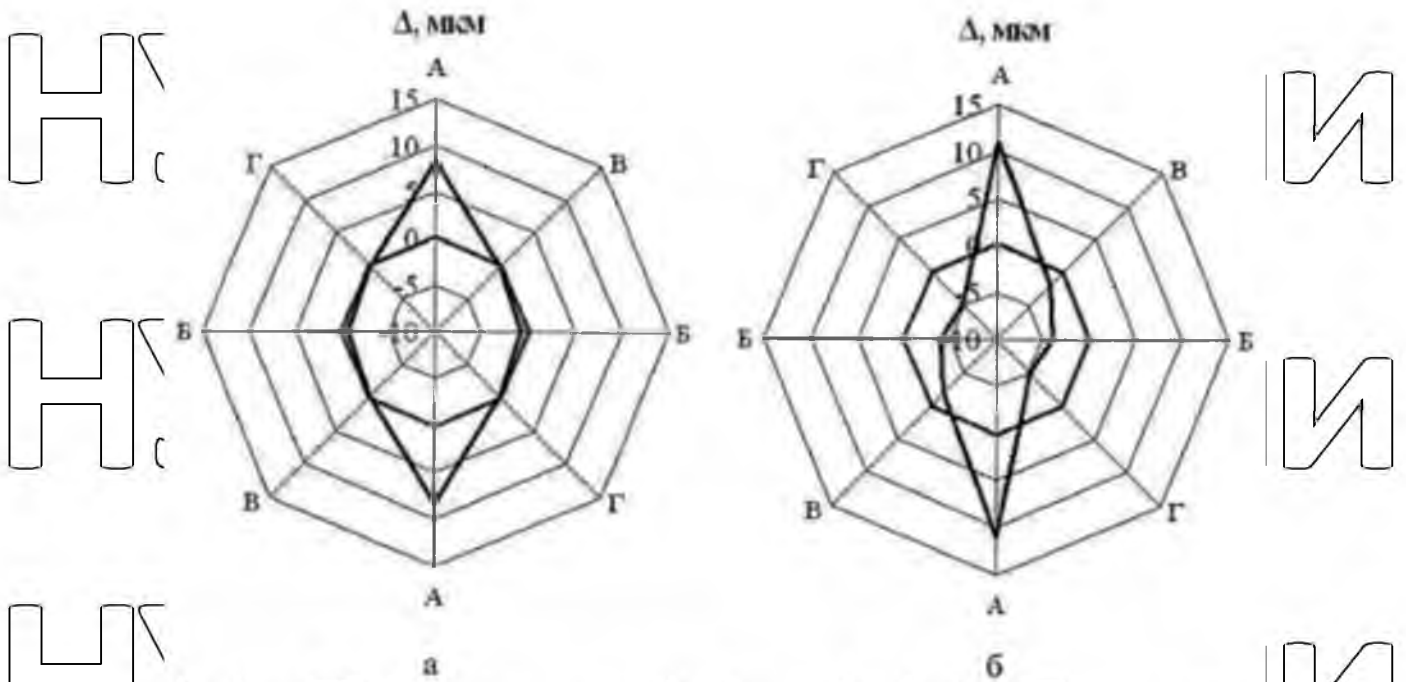


Рис. 4.14. Відхилення розмірів циліндрів із встановленими ремонтними гільзами: а - за відсутності виступу гільзи над площиною блоку $\delta = 0$ мм; б - під час виступу гільзи над площиною блоку $\delta = 0,04$ мм

Результати дослідження впливу технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» на монтажні деформації циліндрів, на цих рівнях, представлені на рис. 4.15 – 4.23.

Аналіз результатів дослідження показує, що зміна величини натягу у поєднанні від 0,04 до 0,12 мм (що відповідає 0,00045... 0,0014 d_{nc}), незалежно від товщини стінки гільзи, не надає значного впливу на величину та характер монтажних деформацій циліндрів

Зміна товщини стінки гільзи від 15 до 25 мм призводить до незначного зниження монтажних деформацій циліндрів. Так, у напрямку А-А, на відстані 10 мм від верхньої площини блоку, величина деформації знижується від 20 до 17 мкм. На відстані 50 мм від верхньої площини блоку зміна товщини стінки гільзи не призводить до змін характеру та величини монтажних деформацій циліндрів.

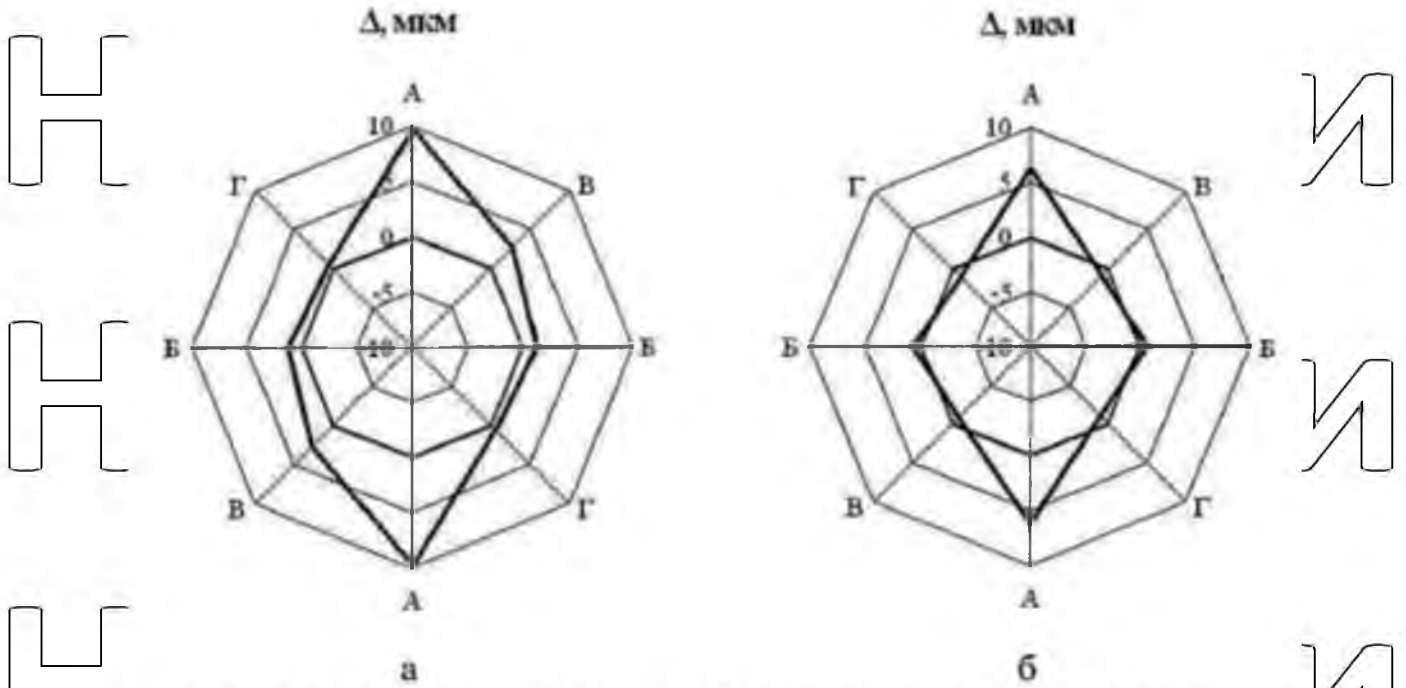


Рис. 4.15. Відхилення розмірів циліндрів з встановленими ремонтними гільзами при товщині стінки гільзи $B = 1,5$ мм і натягу $N = 0,04$ мм: а - на відстані 10 мм від верхньої площини блоку; б - на відстані 50 мм від верхньої площини блоку

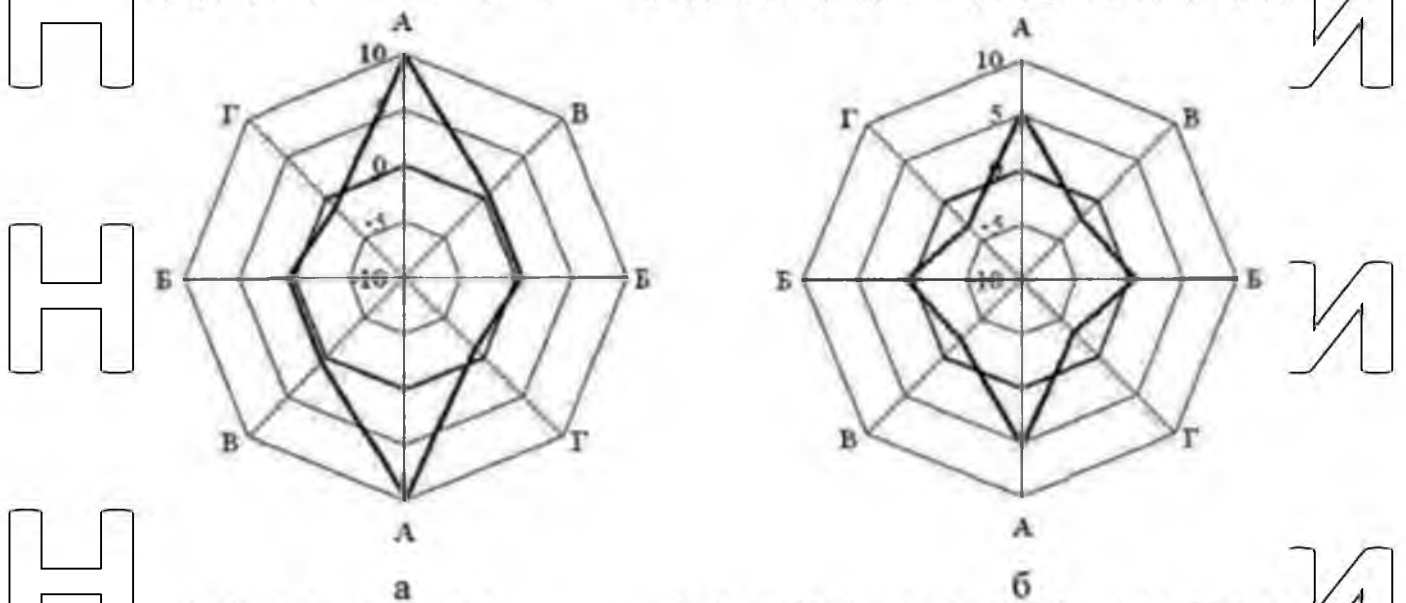


Рис. 4.17. Відхилення розмірів циліндрів із встановленими ремонтними гільзами при товщині стінки гільзи $B = 1,5$ мм та натягу $N = 0,12$ мм: а - на відстані 10 мм від верхньої площини блоку; б - на відстані 50 мм від верхньої площини блоку

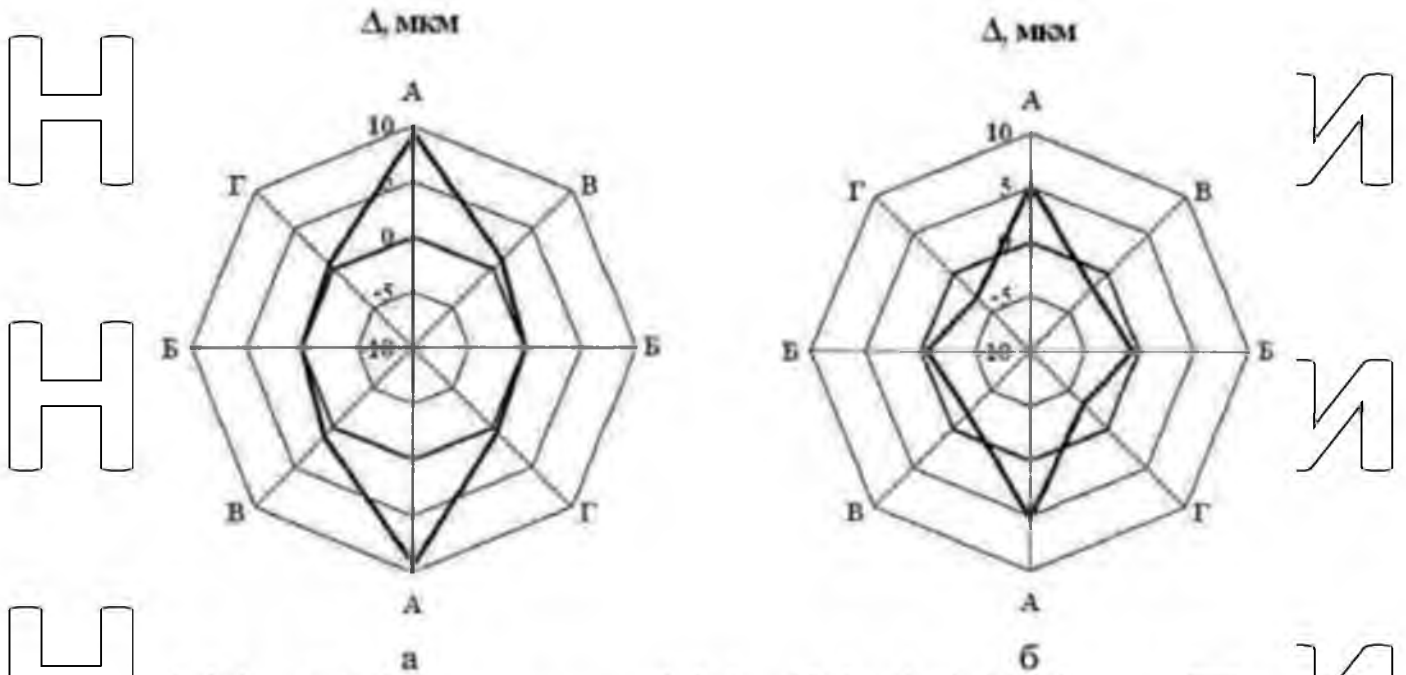


Рис. 4.18. Відхилення розмірів циліндрів із встановленими ремонтними гільзами при товщині стінки гільзи $B = 2,0$ мм та натягу $N = 0,04$ мм: а - на

відстані 10 мм від верхньої площини блоку; б - на відстані 50 мм від верхньої площини блоку

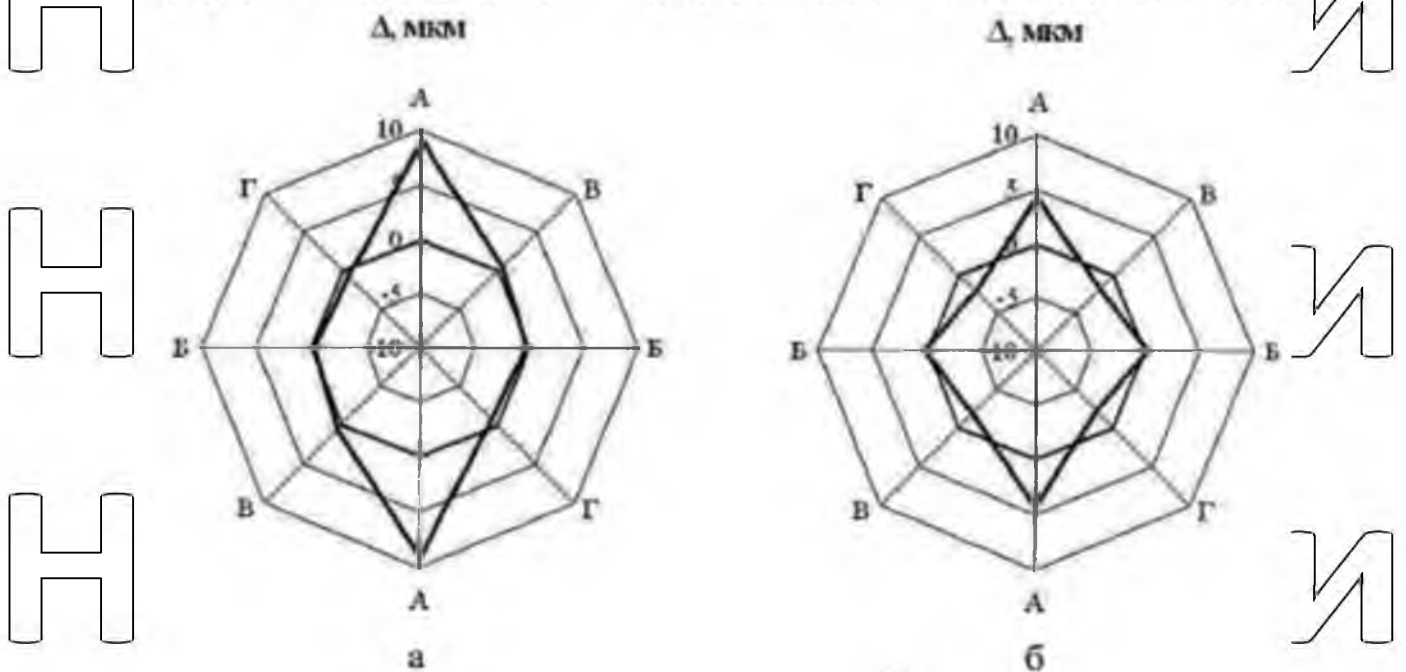


Рис. 4.20. Відхилення розмірів циліндрів із встановленими ремонтними гільзами при товщині стінки гільзи $B = 2,0$ мм та натягу $N = 0,12$ мм:

а - на відстані 10 мм від верхньої площини блоку,
б - на відстані 50 мм від верхньої площини блоку

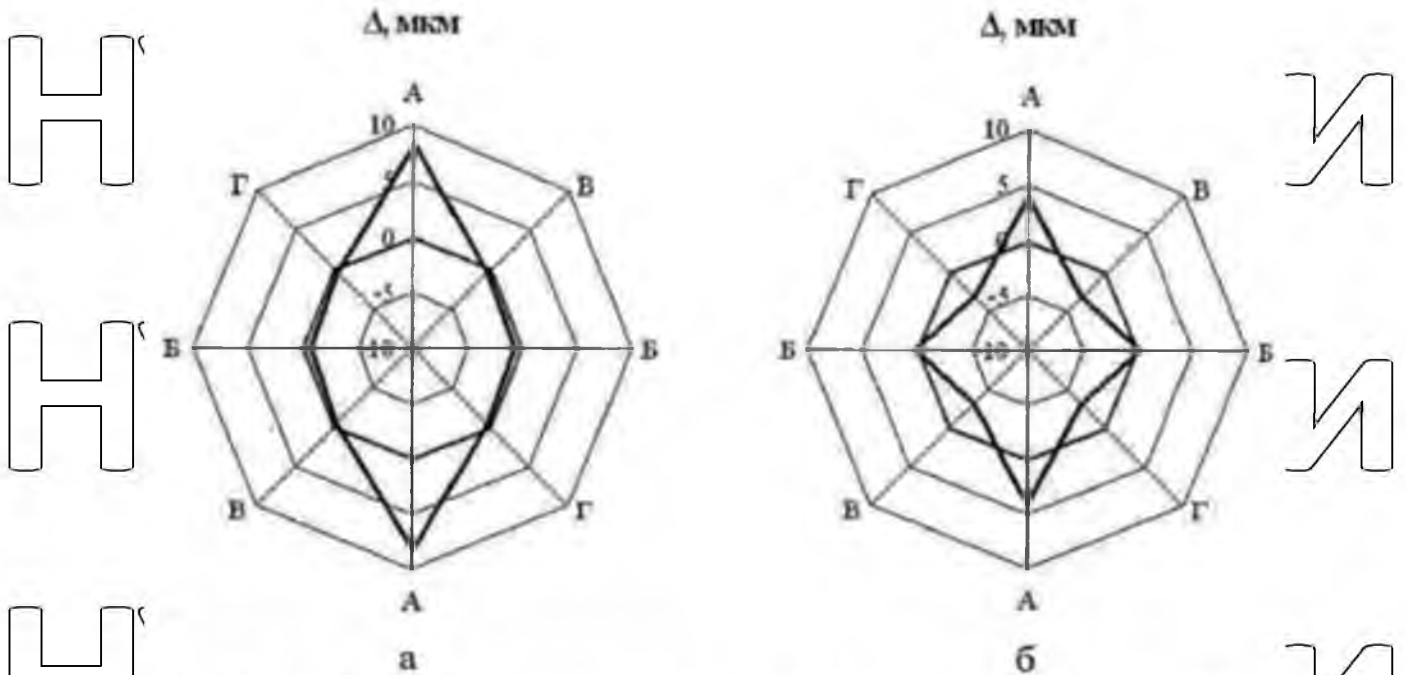


Рис. 4.21. Відхилення розмірів циліндрів із встановленими ремонтними гільзами при товщині стінки гільзи $B = 2,5 \text{ мм}$ та натягу $N = 0,04 \text{ мм}$:

а - на відстані 10 мм від верхньої площини блоку;

б - на відстані 50 мм від верхньої площини блоку

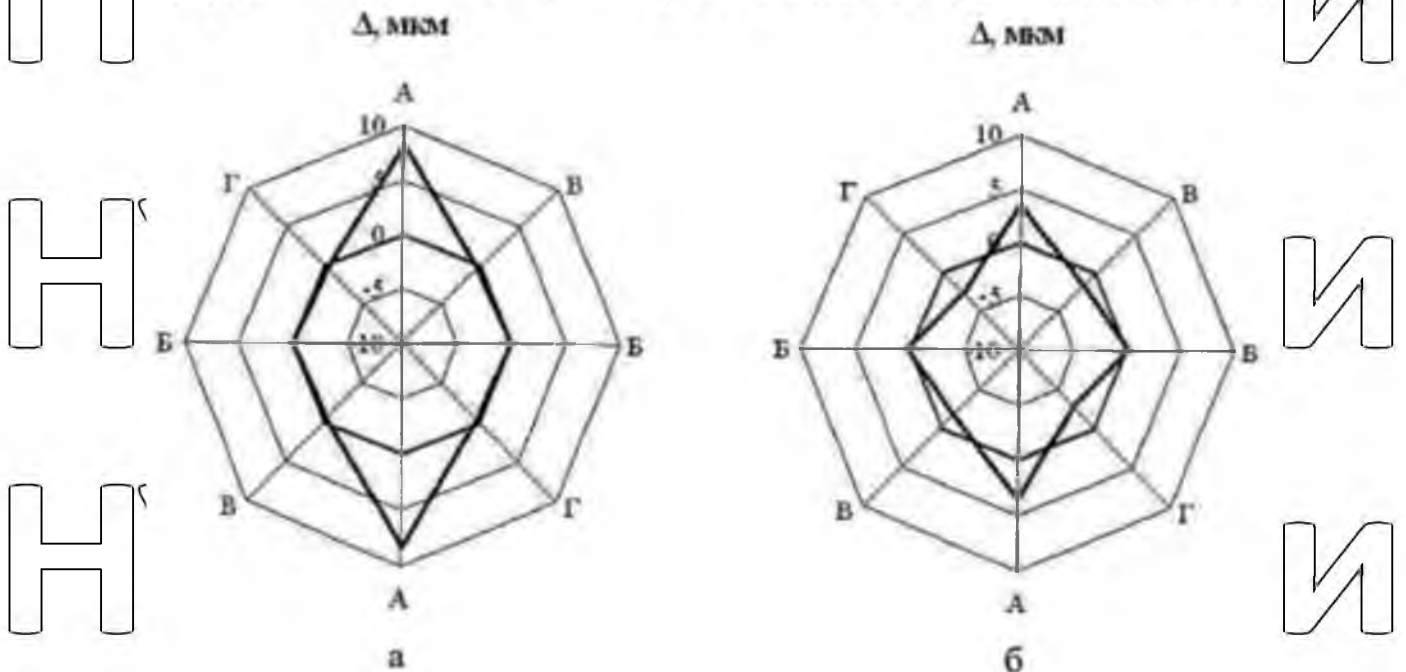


Рис. 4.23. Відхилення розмірів циліндрів із встановленими ремонтними гільзами при товщині стінки гільзи $B = 2,5 \text{ мм}$ і натягу $N = 0,12 \text{ мм}$: а - на відстані 10 мм від верхньої площини блоку; б - на відстані 50 мм від верхньої площини блоку

4.3. Рекомендації

Для досягнення якісних результатів при відновленні блоків циліндрів із алюмінієвих сплавів постановкою ремонтних чавунних гільз необхідним є виконання ряду основних технологічних рекомендацій,

1. При дефектації блоків циліндрів, що надходять у ремонт, контроль відхилень розмірів і форми циліндрів з особливою ретельністю проводити у верхній зоні циліндрів, на відстані 5-20 мм від верхньої площини блоку.

2. Значення технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» витримувати відповідно до наведених нижче вказівок;

- товщину стінки ремонтної гільзи краще забезпечувати рівною 1,5 мм; якщо для заміни «сухої» циліндрової вставки, що видаляється, необхідна ремонтна гільза з більшою товщиною стінки, то товщину стінки ремонтної гільзи слід забезпечувати мінімально можливою;

- шорсткість посадкової поверхні гільзи повинна бути $Ra < 0,32$ мкм, відхилення розмірів та форми поверхонь - не перевищувати 0,02 мм;

- натяг у з'єднанні витримувати рівним $0,0012 \dots 0,0014 d_{гил}$.

3. Складання з'єднання проводити поперечним методом, забезпечивши за рахунок різниці температур гільзи і блоку циліндрів $200 \dots 240$ °С монтажний зазор $S_{монт.} = 0,25 \dots 0,30$ мм.

4. Торць ремонтної гільзи після її встановлення має бути оброблений «заподлицо» з поверхнею прилягання блоку циліндрів до головки циліндрів.

5. Обробку робочої поверхні ремонтної гільзи, що включає розточування, чорнове та чистове хонінгування виконувати відповідно до рекомендацій [13] з дотриманням відхилення від циліндричності $< 0,012$ мм, шорсткості поверхні $0,32 < Ra < 0,63$ мкм.

Розділ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

НУБІП України

5.1. Розрахунок економічної ефективності технології відновлення блоків циліндрів із алюмінієвих сплавів постановкою ремонтних чавунних

гільз

НУБІП України

Розрахунок економічної ефективності технології відновлення блоків циліндрів проводився шляхом порівняння сумарних витрат на відновлення працездатного стану ЦПГ двома способами:

- за рекомендаціями заводу-виробника;

- Постановкою ремонтних чавунних гільз.

НУБІП України

Відповідно до рекомендацій заводів-виробників ДВЗ, при відмови ЦПГ відновлення працездатного стану двигунів досягається шляхом заміни підкладання блоку циліндрів з кривошипно-шатунною та поршневою групами (шорт-блоку). Вартість підкладання блоку циліндрів, залежно від особливостей його конструкції, може суттєво відрізнятися.

НУБІП України

Визначимо сумарні витрати на відновлення рядного чотирициліндрового блоку циліндрів з алюмінієвого сплаву постановкою ремонтних чавунних гільз та на підбирання блоку:

НУБІП України

$$Z_{\Sigma} = Z_{від} + Z_{дон} + Ц_{робн} + Ц_{гил} + Ц_{пр} \quad (5.1)$$

де $Z_{від}$ - вартість робіт з відновлення блоку циліндрів, руб.;

$Z_{дон}$ - вартість додаткових робіт (розбирання, миття та дефектація деталей,

підкладання), руб.;

$Ц_{пр}$ - ціна комплексу поршневої групи, руб.;

$Ц_{гил}$ - ціна комплексу ремонтних чавунних гільз, руб.;

$Ц_{пр}$ - вартість інших запасних частин, руб.

НУБІП України

Результати розрахунку сумарних витрат (у цінах на січень 2012 року) на відновлення рядного чотирициліндрового блоку циліндрів, наведені у табл. 5.1, показують, що відновлення працездатного стану ЦПГ постановкою ремонтних чавунних гільз дозволяє економити 5400 руб. Порівняно із заміною підкладання блоку циліндрів.

НУБІП України

Таблиця 5.1. Результати розрахунку сумарних витрат на відновлення рядного чотирициліндрового блоку циліндрів

Позначення витрат	Витрати з різних способів відновлення працездатного стану ЦПГ, грн	
	Заміна підкладання блоку	Постановка ремонтних чавунних гільз
$Z_{від}$	-	13600
$Z_{доп}$	-	4800
$\Pi_{пр}$	-	11000
$\Pi_{гил}$	-	9600
$\Pi_{пр}$	-	2800
Z_{Σ}	47200	41800

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що на умови теплопередачі з'єднання «гільза-блок циліндрів» впливають фізико-механічні властивості матеріалів гільзи і блоку, а також технологічні параметри з'єднання: величина натягу, шорсткість поверхонь, що сполучаються гільзи і блоку і товщина стінки гільзи. Теплова провідність з'єднання зростає при збільшенні натягу в з'єднанні, зменшенні товщини стінки гільзи і шорсткості поверхонь, що сполучаються гільзи і блоку.

2. Встановлено, що величина та характер монтажних деформацій циліндрів визначається конструктивними параметрами блоків циліндрів та технологічними параметрами з'єднання «гільза-блок циліндрів». Монтажні деформації циліндрів зростають із збільшенням виступу торця гільзи над площиною блоку циліндрів, зі збільшенням відхилень від площинності поверхонь прилягання блоку та ГБЦ, зі зменшенням товщини стінки гільзи.

Величина натягу у з'єднанні «гільза-блок циліндрів» не надає значного впливу на монтажні деформації циліндрів.

3. У блоків циліндрів з верхньою сполучною плитою та блоків циліндрів без верхньої сполучної плити максимальна величина зносу циліндрів спостерігається в одній зоні: у площині коливання шатуна, на відстані 10...20 мм від верхньої площини блоку.

4. Характер пошкоджень циліндрів значною мірою визначається конструкцією блоків, особливо зміною поверхні прилягання блоку головки циліндрів. Для блоків циліндрів з верхньою сполучною плитою середньостатистична величина зношування циліндрів становить 0,045 мм, овальність по всій довжині циліндрів не перевищує 0,02 мм. Для блоків циліндрів без верхньої сполучної плити переважним дефектом циліндрів є їхня деформація, що досягає у верхній зоні циліндрів 0,07...0,08 мм.

Середньостатистична величина зношування циліндрів блоків без верхньої сполучної плити в залежності від особливостей їх конструкції може бути незначною (до 0,055 мм) або досягати 0,38...0,46 мм.

5. В результаті аналізу величини та характеру монтажних деформацій циліндрів блоків, оснащених ремонтними чавунними гільзами, встановлено, що технологія відновлення блоків циліндрів з алюмінієвих сплавів постановкою ремонтних чавунних гільз не надає негативного впливу на зміну геометричної форми циліндрів.

6. Розроблено рекомендації ремонтного виробництва щодо вибору значень технологічних параметрів з'єднання «гільза-блок циліндрів» при відновленні блоків циліндрів із алюмінієвих сплавів постановкою ремонтних чавунних гільз. Розрахунковий економічний ефект при відновленні чотирициліндрового блоку циліндрів постановкою ремонтних чавунних гільз, відповідно до розроблених рекомендацій, становить 5400 руб.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабусенко С.М. Проектирование ремонтно-обслуживающих предприятий / С.М. Бабусенко // М.: 1990. - 352с.

2. Бойко А.І. Забезпечення надійності складних технічних систем резервуванням. Методичні вказівки / А.І. Бойко, А.В. Новицький, З.В. Ружилю, В.А. Сиволапов, О.О.Банний О.О.//К.:Видавничий центр НУБіПУ. – 2013. – 10 с.

3. Бойко А.І. Оцінка і забезпечення надійності ремонтованих систем. Методичні вказівки/ А.І. Бойко, А.В. Новицький, З.В. Ружилю, В.А. Сиволапов, О.О.Банний О.О. // К.: Видавничий центр НУБіПУ. – 2013. – 11 с.

4. Дзюба Л. Основи надійності машин / Л. Дзюба, Ю. Зима, Ю. Лютий // Львів, «Логос», 2003. – 201 с.

5. Тригуб О. А. Технологічне обладнання для обслуговування та ремонту автомобілів : навч. посіб. [Електронний ресурс] / О. А. Тригуб ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2021. – 187 с. – Назва з титульного екрана.

6. Технологічне обладнання для підприємств автомобільного транспорту : підручник / В. М. Міщенко, О. П. Кравченко, І. К. Шаша та ін. [під заг. ред. В. П. Волкова]. – Х. : ХНАДУ, 2010. – 556 с.

7. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія : підручник / О. А. Лудченко. – К. : Вища школа, 2007. – 527с.

8. Обладнання для автосервісу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.stolviv.ho.ua/>. (Дата звернення : 01.12.20).

9. Гільзи-циліндрів // Каталог: Поршні - Циліндри - Збірні комплекти [Електронний ресурс]. URL: <http://www.ms-motor-service.com/content2.asp?area=hauptmenue&site=mspkataloge&cls=07&changeLang=07&katID=215> (дата звернення 23.10.2019).

10. Пошкодження поршней: як виявити та усунути їх. - Neckarsulm: Motor Service International GmbH, 2004. - 103 с.

11. Прокладка головки блока циліндрів // Каталог авто запчастей для ремонта двигуна. - 2019. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.motorzona.com/help/parts-help0002F/> (дата звернення: 19.09.2019).

12. Прокладка головки блока циліндрів Metaloflex // Технології виробництва прокладок ГБЦ [Електронний ресурс]. URL: http://www.elring.com/de/03de/073_zkd-metalo.php (дата звернення: 11.08.2020).

13. Ремонт алюмінієвих блоків циліндрів. - Neckarsulm: Motor Service International GmbH, 2006. - 99 с

14. Aluminium in the automotive industry // Transport [Електронний ресурс]. URL: <http://www.aluminiumleader.com/en/around/transport/> (дата звернення: 11.09.2018)

15. Cylinder liners // Cylinder components [Електронний ресурс]. URL: <http://www.mahle.com/MAELE/en/Products/Cylinder-Components/Cylinder-liners> (дата звернення: 09.07.2020).

16. High-pressure die cast and squeeze cast cylinders blocks made of aluminium [Електронний ресурс]. URL: http://www.kspg-ag.de/pdfdoc/kspg-produktbroschueren/a_druckguss_u_squeeze_casting_e.pdf (дата звернення: 23.08.2010).

17. KS Aluminium Technologie // Products [Електронний ресурс]. URL: <http://north.america.kspg-ag.com/index.php?fid=2148&lang=2> (дата звернення: 14.06.2019).

18. Latest machining techniques for aluminium cylinder bores (Alusil and Lokasil) // Service information [Електронний ресурс]. URL: http://www.ms-motor-service.com/ximages/ks_si_0018_en_web.pdf (дата звернення: 11.06.2018)

19. Piston Damage - Causes and Remedies MAHLE GMBH - Pragshtabe - Stuttgart, 1995. - 82p.

20. Rapier A.C., Jones T.M., Mecintosch J.E. The thermal conductance of uranium dioxide stainless steel interfaces // International Journal of Heat and Mass Transfer. - 2013. - №6. P. 22-28.