

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТ

УДК 629.33.083-843:669.018

В. В. КРІВДА¹, І. Г. ОЛІШЕВСЬКИЙ², В. Є. ОЛІШЕВСЬКА^{3*}

¹Каф. автомобільного транспорту, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (050) 92 08 080, ел. пошта krivda.v.v@nmu.one, ORCID 0000-0002-8304-2016

²Каф. безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (099) 36 68 875, ел. пошта Olishevskiy.I.H@nmu.one, ORCID 0000-0001-8573-3366

^{3*}Каф. автомобільного транспорту, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Д. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (099) 36 68 845, ел. пошта olishevsk.v.ye@nmu.one, ORCID 0000-0002-3098-1351

Блок циліндрів і гільзи циліндрів двигунів внутрішнього згоряння: матеріали і особливості дефектування при ремонті

Мета. Основною метою роботи є огляд і систематизація матеріалів і дефектів блоку циліндрів та гільз циліндрів двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), а також аналіз проблем і сучасних тенденцій дефектування при ремонті. **Методика.** До основних проблем, які сьогодні пов'язані з дефектуванням блоку циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ, можна віднести наступні: швидке зростання рівня автомобілізації країни, що призводить до збільшення кількості блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ, які потребують дефектування; використання ручної праці, що робить процес дефектування трудомістким та дорогим; потреба класифікації типів дефектів і їх автоматичного розпізнавання; врахування впливу робочих умов на розвиток дефектів; потреба використання нових процесів дефектування; потреба кількісної оцінки зносу і прогнозу залишкового ресурсу деталей; адаптація методів дефектування й критеріїв оцінки для нових матеріалів. В роботі використані наступні методи дослідження: теоретичні дослідження (класифікація, систематизація), аналіз та узагальнення відомих наукових результатів, емпіричні методи (порівняння, спостереження). **Результати.** Авторами проведено огляд і систематизацію конструкційних матеріалів і основних дефектів блоку циліндрів та гільз циліндрів ДВЗ. Виявлено основні проблеми сучасного дефектування: недостатня автоматизація процесів; низька точність візуальних та інструментальних методів; обмежена адаптація існуючих методів дефектування до нових матеріалів; потреба у кількісній оцінці залишкового ресурсу деталей. Визначено тенденції розвитку систем дефектування, що полягають у переході до автоматизованих і комп'ютеризованих технологій дефектування, створенні баз даних типових дефектів і розробленні алгоритмів прогнозування залишкового ресурсу деталей. **Наукова новизна.** Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до аналізу конструкційних матеріалів, дефектів і сучасних тенденцій дефектування блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ. Систематизовано матеріали для виготовлення деталей, запропоновано класифікацію дефектів, визначено фактори, що впливають на інтенсивність зносу та утворення дефектів. Встановлено тенденції розвитку дефектування в напрямку автоматизації, підвищення чутливості та точності контролю. **Практична значимість.** Проведений аналіз дозволяє підвищити ефективність процесів дефектування та ремонту блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ, створювати інформаційні бази даних типових дефектів та умов їхнього виникнення.

Ключові слова: дефектування; ремонт; блок циліндрів; гільза циліндра; матеріали блока циліндра; матеріали гільзи циліндра; дефекти

Вступ

Сучасний автомобільний транспорт працює на двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ). Кількість автомобілів в світі, які працюють на ДВЗ, складає 99,8 %, і, на думку авторів роботи [18] така тенденція буде зберігатися до 2040 року.

В Україні експлуатується велика кількість транспортних засобів – понад 9,2 млн, серед яких технічна та (або) моральна застарілість охоплює майже 70 % рухомого складу, а кількість автомобілів, експлуатованих понад 10 років, становить 83 % [9].

Основними деталями ДВЗ, від технічного стану яких залежать потужність, економічність, надійність і довговічність двигуна, є блок циліндрів і гільзи циліндрів.

Ресурс роботи ДВЗ залежить від довговічності деталей циліндропоршневої групи двигуна на 70...90 %.

Інтенсифікація режимів роботи сучасних ДВЗ, використання нових видів палива та підвищення вимог до екологічних показників призводять до зростання навантажень і термічних напружень у блоку циліндрів і гільзах. Це зумовлює появу нових типів дефектів, мікротріщин, зносу поверхонь гільз, деформацій та ін. Саме ці деталі, внаслідок зношування раніше, ніж інші, досягають граничних розмірів і вимагають обов'язкового відновлення при капітальному ремонті.

Зношування поверхні гільзи, утворення задирів, тріщин та інших дефектів у процесі експлуатації двигуна потребує якісного дефектування й ефективного відновлення. Зношення або пошкодження гільз призводить до зниження компресії, підвищення витрат мастильного матеріалу та зменшення потужності двигуна. Заміна гільз при ремонті двигунів щорічно вимагає значних витрат, оскільки повторно без відновлення можна використати тільки 11 % гільз.

Сучасний рівень розвитку автомобільного транспорту вимагає високоефективних методів ремонту і дефектування. Але сьогодні виявлення дефектів і оцінка якості блоку циліндрів і гільз циліндра переважно залежить від ручної праці людини, що робить технологічний процес дефектування трудомістким та дорогим.

Підвищення ефективності перевірки технічного стану блоків циліндрів і гільз потребує за-

стосування сучасних технологічних рішень, зокрема вдосконалення технологічного процесу дефектування.

Мета

Метою роботи є огляд і систематизація матеріалів і дефектів блоку циліндрів та гільз циліндрів двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), а також аналіз проблем і сучасних тенденцій дефектування при ремонті.

Методика

До основних проблем, які сьогодні виникають при дефектуванні циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ, можна віднести наступні:

- швидке зростання рівня автомобілізації нашої країни, що призводить до суттєвого збільшення кількості циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ, які потребують дефектування;

- виконання дефектування органолептичними й інструментальними методами, що потребує ручної праці людини, залежить від кваліфікації спеціаліста, робить технологічний процес дефектування трудомістким та дорогим;

- питання класифікації типів дефектів і їх автоматизації, що дозволить розрізняти дефекти;

- залежність розвитку дефектів в матеріалах блоку циліндрів і гільз від робочих умов (температури, тиску, моторної оливи, параметрів двигуна), що потребує розробки сучасних моделей;

- своєчасність і надійність виявлення різних дефектів, що потребує підвищення чутливості методів дефектування;

- необхідність автоматизації технологічного процесу дефектування;

- потреба використання нових технологічних процесів дефектування, наприклад, ультразвукового дефектування, використання вихрових струмів, 3D-сканування або комбінації методів;

- потреба не тільки якісної, але й кількісної оцінки зносу і прогнозу залишкового ресурсу циліндрів і гільз;

- впровадження нових матеріалів і технологій обробки деталей: композиційних матеріалів, наноматеріалів, обробки поверхонь деталей лазерним променем, плазмовим напиленням та ін., потребує адаптації методів дефектування й критеріїв оцінки.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Вирішення проблем дефектування блоку циліндрів і гільз циліндрів є важливим і актуальним, тому що дозволить вирішувати задачі прогнозування терміну безвідмовної роботи та усунення серйозних поломок, знизити витрати на капітальний ремонт двигуна, забезпечити належний технічний рівень відновлених деталей і продовжити строк служби двигуна взагалі.

В роботі використані наступні методи дослідження: теоретичні дослідження (класифікація, систематизація), аналіз та узагальнення відомих наукових результатів, емпіричні методи (порівняння, спостереження).

Результати

Дефектування блоку циліндрів і гільз циліндрів. Дефектування деталей – це технологічний процес оцінки технічного стану шляхом порівняння фактичних показників з даними технічної документації та з подальшим сортуванням на групи [2, 10].

Метою дефектування деталей є визначення технічного стану під час надходження автомобілів та агрегатів на ремонті та виявлення всіх дефектів, які можуть вплинути на надійність та довговічність деталей при їхній роботі до наступного капітального ремонту.

Технічний стан можна визначити як сукупність схильних до зміни в процесі виробництва чи експлуатації якостей виробу, яка характеризується в певний момент часу ознаками, встановленими технічною документацією на цей виріб [13].

При аналізі технічного стану визначаються конструктивні елементи деталей, які підлягають дефектуванню:

- блок циліндрів: стінки оболонки охолодження та верхнього картера, різьбові отвори під шпильки кріплення головки блоку;
- гільза циліндрів: отвір під поршень, посадочна поверхня.

Для кожного конструктивного елемента, що підлягає дефектуванню, визначають технологічні параметри: точність розміру, форми та розташування; шорсткість поверхні; ремонтні розміри; розміри, які допустимі без ремонту.

Для контролю якості і визначення технічного стану деталей під час дефектування при ремонті необхідні документація (технічні умови на дефектування, креслення деталей) і контрольно-вимірювальні інструменти:

- лінійка масштабна;
- штангенциркуль ШЦ–II–250–0,05;
- мікрометри МК–100 і МК–125;
- індикаторний нутромір НІ–160;
- різьбова калібр-пробка М11–6Н;
- калібр-пробка НЕ 25,04 мм.

Технічні вимоги на дефектування складають на підставі аналізу умов роботи деталі, її фізико-механічних властивостей та інших показників. В технологічних картах на дефектування вказують основні відомості про деталь, її матеріал та твердість, термічну обробку, а також можливі дефекти, способи їх виявлення, номінальні і граничні розміри та ін. [2].

Наявність дефекту деталі виявляється шляхом порівняння фактичних (вимірних або визначених іншими методами) та нормативних значень параметрів стану, що вказані в технічній документації (технічних умовах, робочих кресленнях деталі та ін.) [6].

Конструктивно-технологічна характеристика деталей. Блок циліндрів відноситься до класу «товстостінних корпусних деталей» і є складною корпусною деталлю, яка забезпечує конструктивну жорсткість двигуна.

Основними конструктивними елементами блоку циліндрів є стінки оболонки охолодження, посадочні отвори під втулки розподільного вала, посадочні отвори під гільзу, гнізда під вкладиші корінних підшипників, поверхні прилягання до головки блоку, кришки розподільних шестерень, картера зчеплення та ін. [11].

Матеріалом блока циліндрів можуть бути сірі чавуни (наприклад, сірий чавун марок СЧ150, СЧ250), леговані чавуни, алюмінієві сплави (наприклад, АЛ4) та інші сплави [3, 7].

Гільзи циліндрів ДВЗ, які відносяться до класу «порожніх циліндрів», створюють, разом з поршнем та головкою блока, камеру згоряння, спрямовують рух поршня та відводять тепло [10].

Гільзи циліндрів ДВЗ поділяються на два основні типи – сухі та мокрі, в залежності від наявності їхнього безпосереднього контакту з охолоджувальною рідиною.

Сухі гільзи не мають прямого контакту з охолоджувальною рідиною, встановлюються в корпус блоку з щільною посадкою. Такі гільзи відзначаються простішою конструкцією, нижчою

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

вартістю виготовлення та забезпечують вищу жорсткість блока.

Для їх виробництва зазвичай використовують сірий або легований чавун, інколи – сталь. У легких двигунах застосовують алюмінієві сплави з чавунними вставками, що дозволяє зменшити масу конструкції.

Мокрі гільзи безпосередньо контактують з охолоджувальною рідиною двигуна, що забезпечує ефективніше відведення тепла від робочих поверхонь циліндрів. Їх виготовляють із високоміцного або легovanого чавуну, іноді з нанесенням зміцненого робочого шару для підвищення зносостійкості.

Конструктивними елементами гільзи циліндрів ДВЗ є дзеркало циліндра, посадочні пояски, канавки для ущільнювальних кілець, отвір під поршень, зовнішня поверхня, борт (рис. 1) [11, 12].

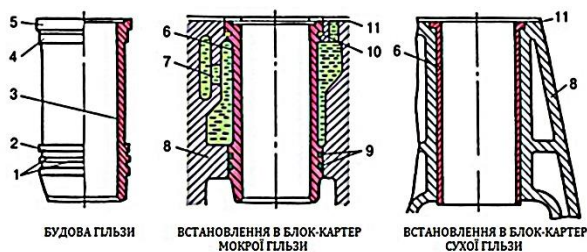


Рис. 1. Будова гільзи циліндра та оточуючі деталі:

- 1 – канавки для ущільнюючих кілець;
- 2, 4 – посадочні пояски; 3 – внутрішня поверхня (дзеркало) циліндра; 5 – борт; 6 – гільза циліндра;
- 7 – зона охолодження; 8 – картер-блок;
- 9 – кільце ущільнююче; 10 – кільце із міді;
- 11 – прокладка головки блока циліндрів

Fig. 1. Structure of the cylinder liner and surrounding components:

- 1 – grooves for sealing rings; 2, 4 – locating collars;
- 3 – inner surface (cylinder mirror); 5 – flange;
- 6 – cylinder liner; 7 – cooling zone; 8 – crankcase block;
- 9 – sealing ring; 10 – copper ring; 11 – cylinder head gasket

Геометричними параметрами гільзи циліндра ДВЗ є:

- внутрішній діаметр;
- зовнішній діаметр;
- довжина [12].

Робоча поверхня гільзи циліндра ДВЗ повинна характеризуватися стабільністю форми, високими механічними та трибологічними властивостями, оптимальною шорсткістю, а також

стійкістю до вібрацій і навантажень, що виникають під час роботи двигуна.

Досягнення зазначених вимог забезпечується вибором відповідного матеріалу гільзи, раціональною технологією її виготовлення та застосуванням методів зміцнення робочої поверхні [5].

Гільзи циліндрів ДВЗ виготовляють з різних матеріалів, в тому числі з чавунів (наприклад, СЧ200), сталей (наприклад, 38ХМЮА), кераміки або полімерних сплавів [3, 7, 12].

Гільзи можуть бути виготовлені із сірого чавуну, а іноді вони мають вставку у верхній частині з легovanого чавуну [10].

Структура низьколегованого чавуну в гільзах, отриманих литтям у піщано-глинистих формах, є перлітною з невеликою кількістю фериту (до 5 %) і середньопластинчатим графітом. Матеріал гільз циліндрів, отриманих методом відцентрового лиття (наприклад, вироблених фірмою GKN (Великобританія), споживачами продукції якої є фірми країн Західної Європи і Америки: Volvo, Scania, Ford, Jaguar та інші, Teves-Thompson (США), Renault (Франція) та ін.), мають однорідну дрібнозернисту структуру [5]. Але серйозним недоліком таких чавунів є ліквідація фосфору (P), сірки (S) і кремнію (Si) біля зовнішньої поверхні гільзи, внаслідок чого зменшується твердість внутрішньої робочої поверхні гільзи, можливе поверхневе відбілювання чавуну.

Для виробництва гільз циліндрів використовують також фосфористі чавуни, але найбільший ефект в підвищенні надійності матеріалу дає комплексне легування чавуну Cr, Ni, Mo, Cu [5].

Чавуни отримали широке розповсюдження для виробництва гільз тому, що графітові включення сприяють утриманню мастильного матеріалу, добре піддаються текстуруванню поверхні (наприклад, хонінгуванням, лазерною обробкою).

Виробництво гільз циліндрів ДВЗ з легovaných сталей, наприклад, сталей 40Х, 40ХН, 38ХМЮА, дозволяє отримати високі міцність, твердість, термостійкість, дає можливість наплавлення зносостійких шарів.

Сучасні ДВЗ розвиваються в напрямку збільшення тиску та меншої ваги, їхні конструкції повинні бути більш компактними; таким чином,

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

товщина стінок гільз циліндрів зменшується. Однак інтенсивні вібрації в гільзі циліндрів можуть призвести до кавітації охолоджувальної рідини, що створює значну проблему надійності ДВЗ [21].

Проблема покращення стійкості до кавітації може бути вирішена створенням додаткового поверхневого покриття.

Автори роботи [21] провели дослідження гільз з покриттям Ni–P (ENP), яке було термічно оброблене. Запропоноване покриття дозволило збільшити мікротвердість поверхні на 65,8 % [21].

Сьогодні активно досліджуються також алюмінієві сплави з покриттями. Алюмінієві сплави системи Al–Si легкі, мають хорошу теплопровідність, забезпечують добре охолодження, дозволяють зменшити масу двигуна [19].

Гільзи з покриттям Ni–SiC (алюмінієва основа, покриття Ni + SiC (5...10%)) забезпечують високу зносостійкість, низький коефіцієнт тертя.

Композитні матеріали (наприклад, Al–Si + SiC, Al–graphite) мають великий потенціал, але висока вартість і складність обробки обмежують їх застосування [19].

Перспективними матеріалами для виробництва гільз циліндрів ДВЗ є композити і наноматеріали, які можуть забезпечити високу надійність і довговічність при меншій вазі, але їх практичне використання для широкого виробництва гільз потребує подальших досліджень.

Вибір матеріалу для виробництва гільз циліндрів ДВЗ має велике значення, тому що впливає на знос, тертя, теплопровідність і стійкість гільз до деформацій.

Вид і характер дефектів деталей. В процесі роботи двигуна блок циліндрів та гільзи піддаються дії різноманітних інтенсивних навантажень: механічних, теплових, хімічних, кавітаційних, вібраційних та ін.

Це призводить до зносу, відхилення розташування: непаралельності, неперпендикулярності та ін., відхилення від форми, порушення якості поверхні (задирам, рискам, корозії), механічних пошкоджень (тріщин, відколів, дефектів різьб) [4].

Під час експлуатації в блоку циліндрів з'являються дефекти:

- знос циліндрів;
- тріщини і пробоїни;
- знос клапанних гнізд;
- знос направляючих втулок клапанів і што-вхачів;
- руйнування різьби в кріпильних отворах (рис. 2) [10–12].

a – a



б – б



в – в



г – г



Рис. 2. Дефекти блока циліндрів:

- a* – руйнування перемички між циліндрами;
б – пробоїна стінки блока; *в* – руйнування циліндра;
г – тріщина на верхній площині блока

Fig. 2. Defects of the cylinder block:

- a* – destruction of the partition between the cylinders;
b – hole in the block wall; *c* – destruction of the cylinder;
d – crack on the upper surface of the block

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

На рис. 3 показані види зношування гільз циліндрів ДВЗ [5].



Рис. 3. Види зношування гільз циліндрів

Fig. 3. Types of cylinder liner wear

Дефектами гільз циліндрів ДВЗ є:

- знос внутрішньої поверхні;
- знос зовнішньої поверхні;
- знос посадкових місць гільзи;
- тріщини на поверхні гільзи;
- руйнування бурту (рис. 4) [5, 11, 14].

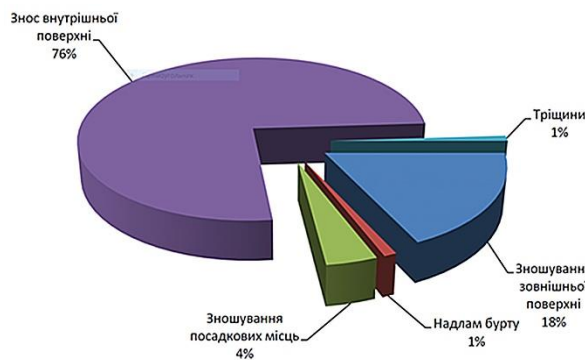


Рис. 4. Основні дефекти гільзи

Fig. 4. Main defects of the cylinder liner

Знос внутрішньої поверхні (дзеркала гільзи) відноситься до основних дефектів гільз.

В результаті зносу внутрішньої робочої поверхні гільзи циліндра, її профіль набуває вигляду, що наведений на рис. 5 [2]. Діаметр робочої поверхні гільзи змінюється нерівномірно: циліндрична форма по довжині робочої частини перетворюється в неправильний конус, а по циліндричності – в овал [6]. Найбільший знос гільзи циліндрів спостерігається в зоні верхнього компресійного кільця. Причиною появи овальності гільзи служить нерівномірний тиск поршня на її стінки в період робочого ходу. У площині хитання шатунна тиск поршня на стінки циліндра значно більше, ніж вздовж осі циліндра, тому і зношування в цій площині вище.

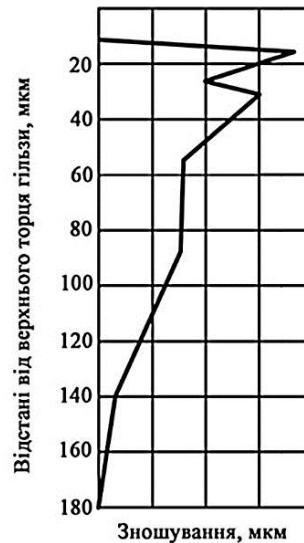


Рис. 5. Знос гільзи циліндрів у зоні робочого ходу поршня

Fig. 5 Wear of the cylinder liner in the piston stroke zone

Абразивний знос внутрішньої робочої поверхні гільзи відбувається в результаті механічного тертя при потраплянні в двигун пилу (рис. 6, а, б) [4, 11, 14].

Аномальний знос гільзи циліндра серйозно впливає на надійність та термін служби ДВЗ, а вивчення стану зносу гільз циліндрів в умовах експлуатації має велике інженерне значення [5].

Основною ознакою дефекту зовнішньої поверхні гільзи є кавітаційний знос, який з'являється в результаті контакту зовнішньої стінки гільзи блоку циліндрів з охолоджуючою рідиною і вібрації гільзи (рис. 6, в).

До зносу посадкових поясів приводить сильна вібрація (рис. 6, г).

Надлом бурта гільзи може виникати з різних причин:

- потрапляння між гільзою блоку циліндра й буртом сторонніх часточок (залишків прокладочних матеріалів, бруду та ін.);
- відсутності торцевої кромки (фаски) поверхні бурту;
- перекосу в опорі бурту;
- невідповідності за розмірами прокладки для головки блоку;
- відсутності вирівнювання або очищення вогнетривкої кромки на головці циліндра;
- порушення процесу оброблювання при ремонті гільзи (рис. 6, е).

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

a – a*г – д**б – б**д – е**в – в**е – ф*

Рис. 6. Дефекти гільзи блоку циліндрів:

a – задирка дзеркала; *б* – спрацювання дзеркала;
в – кавітаційні пошкодження; *г* – знос посадкових поясів; *д* – тріщини на поверхні гільзи; *е* – надлом бурту

Fig. 6 Cylinder block liner defects:

a – scoring of the surface; *b* – wear of the surface;
c – cavitation damage; *d* – wear of the seating bands;
e – cracks on the liner surface; *f* – fracture of the flange

Визначення технічного стану конструктивних елементів деталей, що дефектуються. Перевірка технічного стану виконується поетапно.

Перший етап визначення технічного стану конструктивних елементів деталей – зовнішній огляд, який відноситься до органолептичних методів оцінки технічного стану деталей і виконується за допомогою органів почуття.

Зовнішній огляд дозволяє встановити наявність вибраковочних дефектів оболонки охолодження та верхнього картера, а при їх відсутності – місця розташування і характер (довжина, площа, глибина та ін.) тріщин, відколів, рисок, подряпин та інших видимих дефектів.

Гільзи циліндрів вибраковують при наявності тріщин або зломів, кавітаційному наскрізному руйнуванні стінок, граничному спрацю-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ванню гільз, раніше розточених на останній ремонтний розмір [1].

Якщо дефектування деталей органолептичними методами показало, що в деталях відсутні неприпустимі дефекти, тоді дефектування виконують інструментальними методами за допомогою спеціальних інструментів, пристосувань, приладів та устаткування. Інструментальні методи дозволяють виявити дефекти, що пов'язані з порушенням взаємного розташування базових поверхонь і фізико-механічними властивостями матеріалу деталей, а також визначити дійсні розміри і форми базових поверхонь деталей.

При визначенні технічного стану конструктивних елементів блоку циліндрів інструментальними методами необхідно:

- визначити стан різьби в отворах під шпильки кріплення головки циліндрів, для чого потрібно вкрутити по черзі в різьбові отвори калібр-пробку різьбову М11–6Н. Калібр-пробка повинна щільно вкручуватися в отвір. Погойдування і осьове переміщення калібр-пробки свідчать про знос різьби в отворі та необхідність ремонтних впливів;

- визначити стан отворів під штовхачі, що досягається введенням калібр-пробки в отвори під штовхачі. Якщо калібр проходить (НЕ 25,04 мм) крізь отвори під штовхачі, то отвори потребують ремонтних впливів.

Визначення технічного стану конструктивних елементів гільзи циліндрів інструментальними методами включає наступні етапи:

1. Вимірювання довжини гільзи, вимірювання індикаторним нутроміром діаметру отвору кожної гільзи в трьох поясах І–І, ІІ–ІІ, ІІІ–ІІІ та двох взаємно перпендикулярних площинах А–А та Б–Б (рис. 7).

Перший пояс вимірювання І–І розташований на відстані 10...15 мм нижче верхнього краю гільзи, другий пояс ІІ–ІІ – посередині, третій пояс ІІІ–ІІІ – на відстані 20 мм вище нижнього краю. Одна площина вимірювання гільзи паралельна осі колінчатого вала, а друга – перпендикулярна першій.

Перед вимірюванням отвору гільзи, індикаторний нутромір необхідно встановити на базовий розмір, яким є найбільший розмір отвору, що вимірюється.

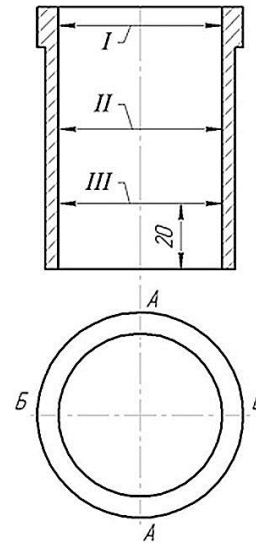


Рис. 7. Схема вимірювання гільзи циліндрів двигуна індикаторним нутроміром:
І, ІІ, ІІІ – пояси вимірювання;
А-А, Б-Б – площини вимірювання

Fig. 7. Diagram of measuring the engine cylinder liner with a dial bore gauge:
І, ІІ, ІІІ – measurement zones;
А-А, Б-Б – measurement planes

Встановлення індикаторного нутроміра на базовий розмір здійснюється в наступній послідовності:

- виміряти отвір гільзи штангенциркулем; базовим є найбільший цілий розмір (наприклад, якщо діаметр отвору дорівнює 100,65 мм, тоді базовим розміром буде 101,0 мм);

- встановити на мікрометрі базовий розмір (попередньо перевірити правильність його установки на «0»);

- встановити відповідну вимірювальну вставку у вимірювальну головку індикаторного нутроміра;

- ввести вимірювальну головку нутроміра між п'ятою та гвинтом встановленого мікрометра та, повертаючи циферблат індикатора, поєднати «0» зі стрілкою; це положення буде відповідати базовому розміру.

Вимірювання проводять методом погойдування (рис. 8).

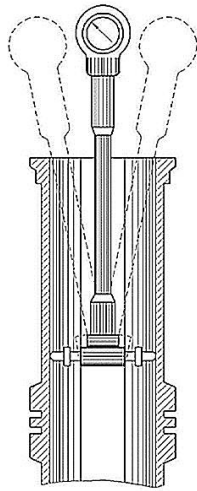


Рис. 8. Визначення спрацювання гільзи індикаторним нутроміром

Fig. 8. Determination of cylinder liner wear using a dial bore gauge

2. Розрахунок величини загального зносу ($Z_{\text{заг}}$) за формулою:

$$Z_{\text{заг}} = D_z - D_n,$$

де D_z – найбільше значення діаметра всіх гільз даного блоку (використовувати величину з найбільшим зносом), мм; D_n – діаметр гільзи до експлуатації (найбільший граничний розмір за робочим або ремонтним кресленням), мм.

3. Розрахунок величини одностороннього нерівномірного зносу ($Z_{\text{нерів}}$) за формулою:

$$Z_{\text{нерів}} = \beta \cdot Z_{\text{заг}},$$

де β – коефіцієнт нерівномірності зносу, який дорівнює 0,6 [4].

4. Розрахунок нециліндричності поверхонь – овальності ($\Delta_{\text{ов}}$) та конусоподібності ($\Delta_{\text{конус}}$).

Овальність визначається як різниця розмірів, виміряних в одному поясі, але в різних взаємно перпендикулярних площинах (рис. 6). Для кожної гільзи потрібно отримати три значення овальності:

$$\Delta_{\text{овI-I}} = D_{A-AI-I} - D_{B-BI-I},$$

$$\Delta_{\text{овII-II}} = D_{A-AII-II} - D_{B-BII-II},$$

$$\Delta_{\text{овIII-III}} = D_{A-AIII-III} - D_{B-BIII-III}.$$

Конусоподібність визначається як різниця розмірів, вимірюваних в одній площині, але в різних поясах (рис. 6). Для кожної гільзи отримати два значення конусоподібності:

$$\Delta_{\text{конусA-A}} = D_{\text{max A-A}} - D_{\text{min A-A}},$$

$$\Delta_{\text{конусB-B}} = D_{\text{max B-B}} - D_{\text{min B-B}}.$$

Дефектування гільзи необхідно проводити по найбільшим значенням.

5. Розрахунок розміру обробки отвору (D_p) за формулою:

$$D_p = D_z + Z_{\text{нерів}} + 2Z,$$

де D_z – найбільше значення діаметра всіх гільз даного блоку (використовувати величину з найбільшим зносом), мм; $Z_{\text{нерів}}$ – величина одностороннього нерівномірного зносу, мм; Z – мінімальний односторонній припуск на обробку (для розточування та хонінгування $2Z_p$ дорівнює 0,150 мм) [4, 6].

Далі потрібно зробити порівняння величини D_p із значеннями категорійних ремонтних розмірів D_{pp} та призначити категорію ремонтного розміру одну для всіх гільз (обрати більшу категорію РР):

$$D_{pp} \geq D_p.$$

6. Вимірювання мікрометром діаметру посадочної поверхні гільз в одному поясі (посередині) і двох взаємно перпендикулярних площинах.

На підставі виконаних вимірювань та розрахунків визначають технічний стан поверхонь деталей.

Сортування деталей за результатами контролю. Для прийняття рішення відносно подальшого використання деталей керуються нормативно-технічними документами для даного виду та об'єкту ремонту.

В нормативних документах (технічних вимогах) зазначено два види оціночних параметрів технічного стану деталей:

– критерій допустимості подальшого використання деталі, який забезпечує ресурс до наступного ремонту;

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

– критерій граничного стану, за якого деталь не може бути встановлена на автомобіль; таку деталь ремонтують (відновлюють), якщо це технічно можливо та економічно доцільно, або замінюють новою (запасною) деталлю.

Допустимим є такий знос деталей, при якому деталь, встановлена після капітального ремонту без ремонтного впливу, надійно працює до наступного капітального ремонту.

Причинами вибракування деталей може бути граничний та аварійний знос, при появі яких подальша експлуатація деталей стає неможливою.

Граничним є такий знос деталі, при якому вона не може бути використана без відновлення або повинна бути замінена на нову.

В результаті дефектування та сортування, деталі можуть бути розділені на три групи:

1) придатні деталі, якщо всі розміри відповідають технічним вимогам (характер і величина зносу знаходяться в межах, що допускаються технічними умовами);

2) непридатні деталі, якщо є непоправний дефект (тріщина, деформація тощо);

3) відновлювані деталі, якщо в деталі є дефекти, що підлягають відновленню згідно технічної документації [2].

Для деталей, які пройшли перевірку технічного стану, необхідно порівняти дійсний стан параметрів конструктивних елементів деталей з технічними вимогами та записати категорію стану деталі: «Без ремонту», «В ремонт», «Брак».

Для деталей категорії «В ремонт» потрібно призначити спосіб ремонту та зміст операцій для усунення дефектів.

Знос, механічні та корозійні пошкодження усувають обробкою деталей під ремонтний розмір (РР) або постановкою додаткових ремонтних деталей (ДРД), зварюванням в середовищі аргону, а також синтетичними матеріалами.

Деформації різного характеру усувають слюсарно-механічною обробкою.

Проблеми і актуальні питання дефектування гільзи циліндра ДВЗ. Сьогодні дефектування гільзи циліндра ДВЗ і виявлення її якості виконується спеціалістами вручну з виконанням візуального огляду, використанням штангенциркуля, мікрометра, індикаторного нутроміра, вимірюванням розмірів. Але залежність переві-

рки технічного стану гільзи від ручної праці робить процес трудомістким та дорогим.

Крім того, при дефектуванні традиційними методами важко своєчасно і надійно виявляти різні дефекти, наприклад, тріщини, які проходять етапи розвитку від субмікротріщини до мікротріщини і далі – до тріщини; корозію; задири; кавітацію; знос. Ці проблеми потребують підвищення чутливості методів дефектування без демонтажу.

В роботі [18] з метою автоматизації процесу запропоновано новий підхід до виявлення дефектів гільз циліндрів двигунів внутрішнього згоряння. Автори створили нову базу зображень дефектних гільз (до 1 000 зображень) для навчання та тестування трансформерної моделі з механізмом поділу на блоки та маскуванням для точного виявлення дефектів. Запропонована модель показала високу точність і ефективність у порівнянні з традиційними методами.

Традиційні методи часто не задовольняють сучасним вимогам надійного безруйнівного дефектування внутрішньої поверхні гільзи. Для вирішення проблеми потрібно використовувати інші методи дефектування, наприклад, ультразвукове дефектування, використання вихрових струмів, 3D-сканування або комбінацію методів.

Автори роботи [15] з метою підвищити точність і ефективність контролю якості на виробництві представили інноваційний підхід до автоматичного виявлення дефектів гільз циліндрів, зокрема задилок, які важко виявити традиційними методами.

Гільза циліндра є однією з важливих частин двигуна. Якість гільзи циліндра безпосередньо впливає на безпеку та енергоспоживання двигуна. Більшість розмірних перевірок гільзи циліндра автоматизована, але перевірка поверхневих дефектів все ще виконується великою кількістю персоналу [15]. В останні роки дослідники почали використовувати технологію виявлення зображень для визначення поверхневих дефектів, але ефект виявлення все ще не отримав широкого застосування в промисловості. У статті [15] досліджується гільза циліндра з задирками, яка також є складною при перевірці поверхні гільзи циліндра. Поверхневі дефекти гільзи циліндра, такі як ямки, шлакові включення, залишки, грубі задирки, рідкі задирки. У цій статті в основному досліджується виявлення поверхневих дефектів

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

гільзи циліндра на основі 3D-зору [15]. Експерименти показують, що цей метод успішно реалізує автоматичне виявлення поверхні гільзи циліндра та застосовується в промисловій галузі.

Запропонований підхід зменшує потребу в ручному огляді, економить час і ресурси, підвищує надійність продукції і може бути інтегрований у реальні виробничі лінії для безперервного контролю якості [15].

На розвиток дефектів (наприклад, кавітацію, термічні втомні тріщини) та надійність дефектування впливає нестаціонарність робочих умов – температури, тиску, моторної оливи, параметрів двигуна. Тому необхідні моделі, що враховують експлуатаційні умови.

Карта зносу може безпосередньо відображати стан зносу та механізм пари тертя за різних умов і широко використовується для прогнозування зносу та діагностики несправностей сталевих матеріалів. В роботі [20] складена карта зносу гільзи циліндра двигуна та її матеріалів. Робочі параметри були отримані за допомогою стендових випробувань двигуна, а в якості параметрів випробувань на знос були обрані параметри поблизу верхньої мертвої точки гільзи циліндра (ВМТ). Аналізуючи зміну швидкості зносу за різних параметрів випробувань, стан зносу гільзи циліндра був розділений на легкий, середній та сильний знос [20]. Морфологію поверхні плями зносу та поперечний переріз гільзи циліндра аналізували за допомогою скануючого електронного мікроскопа (SEM), а потім побудували карту механізму зносу. Результати показали, що основним механізмом зносу при незначному зносі є відколи, що супроводжуються явищем пластичної деформації. Зношування від розшарування є основним механізмом у стані середнього зносу, що супроводжується невеликою кількістю масового відшаровування. Зношування відшарування головним чином спричинене тріщиною, що утворюється графітом у шарі деформації або під ним. Основним механізмом зносу у стані сильного зносу є масове відшарування. Графіт відіграє роль первинних тріщин, що призводить до відшаровування шару пластичної деформації [20]. Авторами була створена карта зношування, яка дозволяє візуалізувати області високого ризику зносу при різних режимах роботи. Виявлено, що зміна швидкості та навантаження суттєво впливає на тип

і інтенсивність зношування. Карта може бути використана для оптимізації конструкції двигуна та вибору мастильних матеріалів.

Актуальними питаннями дефектування гільз є питання класифікації типів дефектів і автоматизації, що дозволить відрізняти поверхневі забруднення від ерозійного зносу чи тріщин. Потрібні алгоритми, що дають не тільки висновок «є/немає», а й визначають тип, розмір і ступінь критичності дефектів. Рішення проблеми можливо на основі комп'ютерного зору і глибокого навчання (deep-learning).

В роботі [16] розроблено метод та систему виявлення дефектів поверхні гільзи циліндра на основі глибокого навчання. Спочатку було створено систему виявлення дефектів машинного зору на основі причин та типів дефектів гільзи циліндра. Потім було запропоновано метод розширення набору даних, заснований на автоматичному вилученні області інтересу, що ефективно збільшує кількість зразків. Далі було розроблено метод автоматичного розширення області дефектів за допомогою XML-файлу, що покращило здатність виявляти невеликі дефекти. Результати досліджень показали, що точність виявлення дефектів піску, подряпин та зносу склала 77,5 %, 70 % та 66,3 %, відповідно, що покращило результати щонайменше на 26,3 % у порівнянні з традиційними методами дефектування [16].

Сучасний розвиток технології дефектування потребує не тільки якісної, але й кількісної оцінки зносу і прогнозу залишкового ресурсу. Іншими словами, потрібно не тільки виявити дефект, а й кількісно оцінити швидкість зносу і прогнозувати момент відмови. Тут потрібні моделі зношування та моніторинг в реальному часі.

В роботі [17] виконана оцінка надійності зносу компонентів поршневих кілець та гільз циліндрів на основі ймовірнісного картування. Автори спочатку створили модель для зразків та компонентів (поршневе кільце-гільза циліндра, PRCL) з використанням удосконаленої моделі зносу, моделі прискорення та характеристик розподілу зносу. Потім автори виконали дослідження ступені впливу температури, навантаження та часу на величину зносу за допомогою аналізу чутливості, і оптимізували модель зносу компонентів. Крім того, в роботі запропоновано

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

підхід на основі ймовірного відображення для розгляду трьох співвідношень відображення. Модель зносу зразка та співвідношення відображення використано для прогнозування глибини зносу, терміну служби та надійності зносу компонентів, які потім були порівняні з експериментальними результатами. Запропонований авторами підхід може слугувати керівництвом для планового технічного обслуговування та оцінки якості компонентів гільз циліндрів – поршневих кілець [17].

Традиційні методи дефектування повинні враховувати, що сучасні технології ремонту (плазмове/термічне напилення, нанесення покриттів, термопластичне деформування, хонінгування) змінюють мікрорельєф і властивості поверхні, та вимагають адаптації методів дефектування й критеріїв оцінки.

Перспективні напрями розвитку технології дефектування. Зробити процес дефектування гільзи циліндра ДВЗ більш надійним, точним, менш трудомістким та дорогим можна шляхом автоматизації процесу і використання інформаційних технологій, штучного інтелекту.

Актуальні напрями розвитку технології дефектування включають:

- машинний зір і навчання для автоматичного дефектування й класифікації дефектів із камер, 3D-сканів;
- гібридні NDT-системи – поєднання ультразвуку, вихрових струмів, 3D-сканування і спектральних методів для підвищення достовірності перевірки технічного стану гільзи; гібридні NDT-системи (Non-Destructive Testing, методи безруйнівного контролю) дозволяють поєднувати класичні методи контролю або інтегрують класичні методи з сучасними технологіями, такими як штучний інтелект, машинне навчання, нейронні мережі тощо;
- кількісний аналіз процесу зносу і карти зношування (wear maps), що потребує лабораторних і чисельних досліджень, в результаті яких отримують карти режимів зносу при різних навантаженнях, швидкостях, мастильних умовах;
- моделювання контактної триботехніки (пара «поршень–кільце–гільза») з фізичними моделями (тертя, гідродинамічна олива, термо-механіка) для передбачення появи дефектів;
- розробка стандартів оцінки при дефекту-

ванні поверхонь, які отримані новими технологіями (наприклад, покриттів, що знижують кавітаційне руйнування і знос);

- стандартизовані датасети і методики верифікації – відкриті бази дефектів для тренування ML-моделей, стандарти оцінки точності систем дефектування та ін.

Перспективні напрями розвитку технології дефектування мають велике значення для автомобільної промисловості, оскільки дозволяють:

- підвищити надійність і довговічність двигунів;
- зменшити витрати на обслуговування і ремонт;
- покращити екологічні показники за рахунок зниження втрат енергії через тертя.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до аналізу конструкційних матеріалів, дефектів і сучасних тенденцій дефектування блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ.

Авторами роботи:

- систематизовано сучасні конструкційні матеріали, які застосовуються для виготовлення блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ;
- запропоновано класифікацію основних дефектів блоків циліндрів і гільз циліндрів за характером виникнення, причинами та зонами поширення;
- визначено основні фактори, що впливають на інтенсивність зносу та утворення дефектів у різних умовах роботи двигуна;
- узагальнено сучасні методи дефектування і встановлено тенденції їхнього розвитку в напрямку автоматизації, підвищення чутливості та точності контролю;
- підкреслена необхідність адаптації методів дефектування до нових матеріалів блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ для підвищення достовірності оцінки технічного стану деталей.

Практична значимість проведеного дослідження полягає у можливості використання результатів для підвищення ефективності процесів дефектування та ремонту блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ.

Систематизація матеріалів і типових дефектів дозволяє оптимізувати технологічні процеси

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

дефектування, зменшити трудомісткість і вартість робіт, а також підвищити точність визначення технічного стану деталей.

Отримані в роботі результати можуть бути використані з метою:

- розробки методичних рекомендацій з дефектування блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ;
- впровадження дефектування блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ в умовах автотранспортних підприємств;
- вдосконалення навчальних матеріалів для підготовки бакалаврів спеціальності І8 «Автомобільний транспорт»;
- створення інформаційних баз даних типових дефектів блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ та умов їхнього виникнення;
- розробки програм автоматизації процесів дефектування блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ та прогнозування залишкового ресурсу деталей.

Висновки

В роботі проведено огляд і систематизацію конструкційних матеріалів, з яких виготовляються блоки циліндрів та гільзи циліндрів ДВЗ.

Широко використовують сірі і леговані чавуни, леговані сталі та алюмінієві сплави з високою термостійкістю і зносостійкістю.

Встановлено, що вибір матеріалу для виготовлення блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ суттєво впливає на довговічність, надійність і ремонтпридатність деталей.

Проведено аналіз дефектів блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ – тріщин, задирів, раковин, корозійних пошкоджень, деформацій та зносу

поверхонь і причин їх виникнення. Визначено характерні зони виникнення дефектів та фактори, що сприяють їхнього розвитку.

Виявлено основні проблеми сучасного дефектування:

- недостатня автоматизація процесів;
- низька точність візуальних та інструментальних методів;
- обмежена адаптація існуючих методів дефектування до нових матеріалів;
- потреба у кількісній оцінці залишкового ресурсу деталей.

Підвищити точність результатів дефектування дозволяють неруйнівні методи контролю (ультразвуковий, магнітопорошковий та ін.).

Визначено тенденції розвитку систем дефектування, що полягають у переході до автоматизованих і комп'ютеризованих технологій дефектування, створенні баз даних типових дефектів і алгоритмів прогнозування залишкового ресурсу деталей.

Результати дослідження можуть бути використані у виробничій та навчальній діяльності, при розробленні рекомендацій з удосконалення технологічних процесів дефектування та ремонту деталей циліндропоршневої групи ДВЗ.

Отримані результати поглиблюють наукові уявлення про процеси пошкодження та дефектування блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ і створюють теоретичну основу для вдосконалення технологій дефектування блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ автомобілів.

Результати роботи сприяють підвищенню якості дефектування блоків циліндрів і гільз циліндрів ДВЗ, підвищенню надійності і довговічності двигунів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бивалькевич Л. М., Люлька В. С. Основи надійності і довговічності транспортних машин : навч.-метод. посіб. з практичних робіт. Чернігів : НУЧК імені Т. Г. Шевченка, 2019. 120 с.
2. Гевко І. Б., Рогатинський Р. М., Ляшук О. Л., Гудь В. З., Левкович М. Г., Сташків М. Я., Сіправська М. Д. Основи технології виробництва і ремонту автомобілів : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.
3. ДСТУ 8833:2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 11 с.
4. Митко М. В., Шиліна О. П., Цимбал С. В. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Організація самостійної та практичної роботи : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2022. 98 с.
URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/35995>

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

5. Мордванюк С. А. *Удосконалення технології ремонту гільз циліндрів автомобільних двигунів високотемпературним зміцненням* : магістерська робота. Вінниця : ВНАУ, 2018. 116 с.
URL: <https://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/15854.pdf>
6. Олішевська В. Є., Бас К. М., Кривда В. В. *Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Практикум* : навч. посіб. Дніпро : НТУ «ДП», 2025. 223 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/170985>
7. Олішевська В. Є. *Конструкційні та експлуатаційні матеріали в автомобільній галузі* : метод. рекомендації до виконання індивідуальних робіт. Дніпро : НТУ «ДП», 2018. 44 с.
URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/152194>
8. Олішевська В. Є., Олішевський Г. С., Іванова Г. П. Металеві конструкційні матеріали для виробництва і ремонту деталей автомобілів: практика та перспективи. *Наука та прогрес транспорту*. 2025. № 3(111). С. 111–129. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2025/341197>
9. Олішевська В. Є., Олішевський Г. С. Обґрунтування раціонального рухомого складу підприємства в умовах переходу до електромобілів. *Автошляховик України*. 2024. № 2. С. 35–44.
DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2024-2-279-35-44>
10. Пікула М. В. *Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Конспект лекцій* : навч.-метод. посіб. Рівне : НУВГП, 2024. 203 с. URL: https://ep3.nuwm.edu.ua/28916/1/Пікула_конспект%20_ОТВРА_14_09_23.pdf
11. Пікула М. В. *Основи технології виробництва та ремонту автомобілів* : метод. вказівки до виконання лабораторних робіт. Рівне : НУВГП, 2020. 26 с.
12. Пожарнюк Д. В. Розроблення технологічного процесу відновлення гільзи циліндра двигуна 6510-102021 автомобіля КрАЗ-6510 : бакалаврська дипломна робота. Тернопіль : ТНТУ, 2023. 61 с.
URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42324>
13. Про затвердження "Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту" : Наказ М-ва трансп. України від 30.03.1998 № 102.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0268-98#Text>
14. Пузерець А. О. *Підвищення післяремонтної довговічності гільз циліндрів дизельних двигунів* : магістерська дипломна робота. Дніпро, 2022. 77 с. URL: <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/7622>
15. Chen Y., Yu L., Zhang Z. Surface defect detection of burr cylinder liner based on 3D vision. *4th International Conference on Image Processing and Intelligent Control (IPIC 2024)*. (Kuala Lumpur, Malaysia, 10–12 May 2024). 2024. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3038553>
16. Gao C., Hao F., Song J., Chen R., Wang F., Liu B. Cylinder Liner Defect Detection and Classification based on Deep Learning. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2022. Vol. 13, Iss. 8. DOI: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2022.0130818>
17. Guo P., Xu J., Yan Z., Huang R. Wear Reliability Assessment of Piston Ring and Cylinder Liner Components Based on Probability Mapping. *Journal of Tribology*. 2025. Vol. 147, Iss. 10. 101701.
DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4067974>
18. Leach F., Kalghatgi G., Stone R., Miles P. The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering*. 2020. Vol. 1. 100005.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100005>
19. Liu Q., Huang X., Shao X., Hao F. Industrial cylinder liner defect detection using a transformer with a block division and mask mechanism. *Scientific Reports*. 2022. № 12. 10689.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14971-8>
20. Pawlus P., Koszela W., Reizer R. Surface Texturing of Cylinder Liners: A Review. *Materials*. 2022. Vol. 15, Iss. 23. 8629. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15238629>
21. Zhang B., Ma X., Liu L., Yu H., Morina A., Lu X. Study on the sliding wear map of cylinder liner – piston ring based on various operating parameters. *Tribology International*. 2023. Vol. 186. 108632.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108632>
22. Zhang W., Gao H., Wang Q., Liu D., Zhang E. Strengthening the Cavitation Resistance of Cylinder Liners Using Surface Treatment with Electroless Ni-P (ENP) Plating and High-Temperature Heat Treatment. *Materials*. 2025. Vol. 18, Iss. 5. 1087. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma18051087>

V. V. KRIVDA¹, I. H. OLISHEVSKIY², V. E. OLISHEVSKA^{3*}¹Dep. of Motor Vehicle Transport, Dnipro University of Technology, Yavornytskoho Ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (050) 92 08 080, e-mail krivda.v.v@nmu.one, ORCID 0000-0002-8304-2016²Dep. of Information Security and Telecommunications, Dnipro University of Technology, Yavornytskoho Ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (099) 36 68 875, e-mail Olishevskiy.I.H@nmu.one, ORCID 0000-0001-8573-3366^{3*}Dep. of Motor Vehicle Transport, Dnipro University of Technology, Yavornytskoho Ave., 19, Dnipro, Ukraine, 49005, tel. +38 (099) 36 68 845, e-mail olishevsk.v.ye@nmu.one, ORCID 0000-0002-3098-1351

Cylinder Block and Cylinder Liners of Internal Combustion Engines: Materials and Features of Defect Detection During Repair

Purpose. The main goal of this study is to review and systematize the materials and defects of the cylinder block and cylinder liners of internal combustion engines (ICE), as well as to analyze the issues and current trends in defect detection during repair. **Methodology.** The main problems currently associated with the defect detection of cylinder blocks and liners of ICEs include the following: the rapid growth of motorization, which leads to an increase in the number of cylinder blocks and liners requiring defect inspection; the use of manual labor, which makes the defect detection process labor-intensive and costly; the need for classification of defect types and their automatic recognition; the consideration of operating conditions influencing defect development; the necessity of implementing new defect detection processes; the need for quantitative wear assessment and prediction of component residual life; the adaptation of inspection methods and evaluation criteria to new materials. The study employs the following research methods: theoretical analysis (classification, systematization), review and synthesis of known scientific results, and empirical methods (comparison, observation). **Findings.** The authors conducted a review and systematization of structural materials and the main defects of cylinder blocks and liners of ICEs. The main issues in modern defect detection were identified as follows: insufficient process automation, low accuracy of visual and instrumental inspection methods, limited adaptability of existing inspection techniques to new materials, and the need for quantitative evaluation of component residual life. The development trends in defect detection systems are defined as the transition to automated and computerized inspection technologies, the creation of databases of typical defects, and the development of algorithms for predicting the residual life of components. **Originality.** The scientific novelty of this work lies in a comprehensive approach to analyzing structural materials, defects, and modern trends in defect detection of cylinder blocks and liners of ICEs. Materials used in component manufacturing have been systematized, a defect classification has been proposed, and the factors influencing wear intensity and defect formation have been identified. The trends in the development of defect detection systems have been established toward automation, increased sensitivity, and higher inspection accuracy. **Practical value.** The conducted analysis contributes to improving the efficiency of defect detection and repair processes of cylinder blocks and liners of ICEs, as well as to the development of informational databases of typical defects and the conditions under which they occur.

Keywords: defect detection; repair; cylinder block, cylinder liner, cylinder block materials; cylinder liner materials; defects

REFERENCES

1. Byvalkevych, L. M., & Liulka, V. S. (2019). *Osnovy nadiinosti i dovhovichnosti transportnykh mashyn*. Chernihiv, Ukraine: NUTsH imeni T. H. Shevchenka. (in Ukrainian)
2. Hevko, I. B., Rohatynskiy, R. M., Liashuk, O. L., Hud, V. Z., Levkovich, M. H., Stashkiv, M. Ya., & Sipravskaya, M. D. (2021). *Osnovy tekhnologii vyrobnytstva i remontu avtomobiliv*. Ternopil, Ukraine: TNTU imeni Ivana Puliui. (in Ukrainian)
3. *Vylyvky iz siroho chavunu z plastynchastym hrafitom. Zahalni tekhnichni umovy, 11 DSTU 8833:2019*. (2019). (in Ukrainian)
4. Mytko, M. V., Shylyna, O. P., & Tsymbal, S. V. (2022). *Osnovy tekhnologii vyrobnytstva ta remontu avtomobiliv. Orhanizatsiia samostiinoi ta praktychnoi roboty*. Vinnytsia, Ukraine: VNTU. Retrieved from <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/35995> (in Ukrainian)
5. Mordvaniuk, S. A. (2018). *Udoskonalennia tekhnologii remontu hilz tsylindriv avtomobilnykh dyhunyiv vysokotemperaturnym zmitsnenniam*. Vinnytsia, Ukraine: VNAU. Retrieved from <https://socrtes.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/15854.pdf> (in Ukrainian)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

6. Olishevskaya, V. E., Bas, K. M., & Kryvda, V. V. (2025). *Osnovy tekhnologii vyrobnystva ta remontu avtomobiliv: Praktykum*. Dnipro, Ukraine: NTU «DP». Retrieved from <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/170985> (in Ukrainian)
7. Olishevskaya, V. E. (2018). *Konstruktivni ta ekspluatatsiini materialy v avtomobilnii haluzi*. Dnipro, Ukraine: NTU «DP». Retrieved from <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/152194> (in Ukrainian)
8. Olishevskaya, V. E., Olishevskiy, H. S., & Ivanova, H. P. (2025). Metal Structural Materials for the Production and Repair of Automobile Parts: Practice and Prospects. *Science and Transport Progress*, 3(111), 111-129. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2025/341197> (in Ukrainian)
9. Olishevskaya, V. E., & Olishevskiy, H. S. (2024). Substantiation of rational rolling stock of an enterprise in the conditions of transition to electric vehicles. *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 2, 35-44. DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2024-2-279-35-44> (in Ukrainian)
10. Pikula, M. V. (2024). *Osnovy tekhnologii vyrobnystva ta remontu avtomobiliv. Konspekt leksii*. Rivne, Ukraine: NUVHP. Retrieved from https://ep3.nuwm.edu.ua/28916/1/Пікула_конспект%20_ОТБРА_14_09_23.pdf (in Ukrainian)
11. Pikula, M. V. (2020). *Osnovy tekhnologii vyrobnystva ta remontu avtomobiliv*. Rivne, Ukraine: NUVHP. (in Ukrainian)
12. Pozharniuk, D. V. (2023). *Rozroblennia tekhnologichnoho protsesu vidnovlennia hilzy tsylindra dvyhuna 6510-102021 avtomobilia KrAZ-6510*. Ternopil, Ukraine: TNTU. Retrieved from <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42324> (in Ukrainian)
13. Ministerstvo transportu Ukrainy. (1998). Pro zatverdzhennia "Polozhennia pro tekhnichne obsluhovuvannia i remont dorozhnykh transpo-rtnykh zasobiv avtomobilnoho transportu". Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0268-98#Text> (in Ukrainian)
14. Puzerei, A. O. (2022). *Pidvyshchennia pisliaremontnoi dovhovichnosti hilz tsylindriv dyzelnykh dvyhuniv*. Dnipro, Ukraine. Retrieved from <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/7622> (in Ukrainian)
15. Chen, Y., Yu, L., & Zhang, Z. (2024, May). Surface defect detection of burr cylinder liner based on 3D vision. In *4th International Conference on Image Processing and Intelligent Control (IPIC 2024)*. Kuala Lumpur, Malaysia. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3038553> (in English)
16. Gao, C., Hao, F., Song, J., Chen, R., Wang, F., & Liu, B. (2022). Cylinder liner defect detection and classification based on deep learning. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(8). DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0130818> (in English)
17. Guo, P., Xu, J., Yan, Z., & Huang, R. (2025). Wear reliability assessment of piston ring and cylinder liner components based on probability mapping. *Journal of Tribology*, 147(10), 101701. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4067974> (in English)
18. Leach, F., Kalghatgi, G., Stone, R., & Miles, P. (2020). The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering*, 1, 100005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100005> (in English)
19. Liu, Q., Huang, X., Shao, X., & Hao, F. (2022). Industrial cylinder liner defect detection using a transformer with a block division and mask mechanism. *Scientific Reports*, 12, 10689. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14971-8> (in English)
20. Pawlus, P., Koszela, W., & Reizer, R. (2022). Surface Texturing of Cylinder Liners: A Review. *Materials*, 15(23), 8629. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15238629> (in English)
21. Zhang, B., Ma, X., Liu, L., Yu, H., Morina, A., & Lu, X. (2023). Study on the sliding wear map of cylinder liner–piston ring based on various operating parameters. *Tribology International*, 186, 108632. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108632> (in English)
22. Zhang, W., Gao, H., Wang, Q., Liu, D., & Zhang, E. (2025). Strengthening the cavitation resistance of cylinder liners using surface treatment with electroless Ni–P (ENP) plating and high-temperature heat treatment. *Materials*, 18(5), 1087. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma18051087> (in English)

Надійшла до редколегії: 07.08.2025

Прийнята до друку: 17.12.2025