

УДК 621 891

## **ОСНОВНІ ВИДИ ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ**

**О.В. Лопата<sup>1</sup>**, доктор філософії, ст. наук. співроб.,  
**Л.А. Лопата<sup>1</sup>**, доц., канд. техн. наук,  
**А.Є. Солових<sup>2</sup>**, доц., канд. техн. наук,  
**С.Є. Катеринич<sup>2</sup>**, доц., канд. техн. наук,

<sup>1</sup>Інституту проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ

<sup>2</sup>Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький

**Загальна постановка проблеми та її зв'язок з практичними завданнями.** Одною з основних проблем, визначаючих напрявлення і темпи розвитку автомобільного транспорту є підвищення надійності і довговічності вузлів тертя. В комплексі заходів, направлених на вирішення цієї проблеми, важливе значення займає питання забезпечення працездатності деталей вузлів тертя двигунів автомобільного транспорту, які працюють в умовах впливу зовнішніх чинників, таких як швидкість відносного переміщення, питомого навантаження, середовища та ступені його агресивності, температурних режимів трибосистеми, а також від хімічного складу і фізико-механічних властивостей матеріалів вузлів тертя.

Автомобільний транспорт (АВТ) потребує забезпечення працездатності вузлів тертя не тільки у широкому діапазоні дії зовнішніх чинників, а і при постійно підростаючих вимогах зниження працездатності виготовлення та матеріалоємності виробів і екологічності експлуатації АВТ. У зв'язку з цим аналіз причин і характеру пошкодження деталей, встановлення основного виду зношування та його інтенсивності є актуальним, так як від нього залежить визначення шляхів, що забезпечують працездатність деталей вузлів тертя.

**Огляд публікацій та аналіз невирішених проблем.** Аналіз статистичних даних дефектів АВТ показав [1], що 80...90 % деталей ушкоджуються через їх контактну взаємодію під час експлуатації, 30...40 % передумов дострокового знімання виробів з експлуатації обумовлено недостатньою міцністю поверхні деталей, низькою їх зносостійкістю, 60...70 % контактних ушкоджень та зносу деталей вузлів тертя спричинено недосконалістю технологій обробки їх робочих поверхонь.

Згідно досліджень [2-4], проведених нами при дефектації деталей АВТ встановлено, що найбільша кількість їх бракується з причин підвищеного зносу, втомного руйнування та інтенсивної корозії. Особливо це стосується деталей вузлів тертя, які працюють в умовах найбільш поширених видів зношування, а саме: абразивного, ерозійного, газо- та гідроатразивного і корозійно-механічного зношування, кавітації, фретинг-корозії, схоплювання та ін.

Аналіз літературних джерел [2-8], присвячених проблемі надійності і довговічності деталей вузлів тертя та їх працездатності і діагностики, показав, що провідними питаннями в ній є вивчення процесів, які розвиваються на поверхнях тертя, розкриття їх механізму зношування і розробка шляхів керування цими процесами. Великий внесок у вирішення цієї проблеми внесли фундаментальні дослідження вітчизняних та зарубіжних вчених –

Б.І. Костецького [5, 6], І.В. Крагельського [7], М.Л. Голега [8], В.П. Бабака [9].

Для проведення заходів з підвищення надійності і довговічності деталей вузлів тертя АТ необхідно встановити механізм і характер їх зношування.

**Мета роботи** – провести системний аналіз дефектів деталей вузлів тертя АВТ і класифікувати їх відповідно до основних видів зношування.

**Матеріали і методи досліджень.** Деталі вузлів тертя АВТ виготовлені в основному із легованих сталей і сплавів на основі нікелю, алюмінію, титану та полімерних і композиційних матеріалів. Дефектацію цих деталей проводили методами неруйнівного контролю, а саме: акустичним, магнітним, індукційним і рентгенографічним. Макрографічні дослідження здійснювали на мікроскопі МБС-2 при збільшеннях 20...80, а електроннографічні – за допомогою електронного растрового мікроскопу CAMSKAN-4DV.

**Зміст і результати досліджень.** При дефектації пошкоджених деталей їх класифікували за наступними позначками:

- генетичними (механічні, термічні, радіаційні та ін.);
- морфологічними (внутрішні, зовнішні);
- структурні (включення, пори, тріщини та ін.)

В залежності від розміщення, природи та походження дефекти деталей поділяли на три основні групи:

- 1) місцеві (пори, ритвини, тріщини, флокени, забоїни та ін.)
- 2) розміщені в зонах ліквіації, гартування, корозійних пошкоджень;
- 3) розміщених по всьому об'єму деталі (невідповідність хімічного складу, знос в результаті тертя, суцільна корозія та ін.).

Залежно від можливості виявлення дефекти підрозділяли на явні і приховані. Явні поверхневі дефекти виявляли візуально, а приховані (внутрішні) і поверхневі, що неможливо було виявити неозброєним оком – неруйнівними методами контролю. Виявлені дефекти залежно від можливого впливу їх на службові властивості деталі класифікували на критичні, значні і малозначні. Критичними є дефекти, за наявності яких використання деталей за призначенням неможливе або виключається внаслідок невідповідності вимогам безпеки або надійності. Значними є дефекти, які істотно впливають на використання деталі для подальшої експлуатації за призначенням або на її довговічність, але вони не є критичними. До малозначних дефектів відносяться дефекти, які істотно не впливають на надійність і довговічність вимогам виробу.

Домінуючим процесом для деталей, які працюють в умовах повторно-змінних навантажень є втомне руйнування. Зовнішнім проявом втоми є поява і розповсюдження при кількарізних навантаженнях характерного виду тріщин, які виникають при напруженнях, значно нижчих за межу міцності. Втомні тріщини утворюються в більшості випадків на поверхні виробу і в місцях конструктивних напружень (галтелі, отвори, шпоночці канавки та ін.), а також в результат неякісної технологічної обробки, яка визиває появу тріщин, подертих місць, нерівномірність наклепаного шару, шліфувальних опіків, залишкових напружень розтягу та ін., або на поверхні тертя з пошкодженнями (риски, виривів, підрізів, схоплення та ін.). Втомні тріщини приводять до руйнування деталей. Втомне руйнування характерно для валів, штоків, гільз циліндрів, осей, підшипників кочення та інших деталей вузлів тертя, які тривалий час сприймають змінні контрактні навантаження. Втомне руйнування робочих поверхонь відрізняється від корозійного руйнування, абразивного зношування твердих тіл, пластичних формозмін (зім'ятини) поверхні і від втомного ультра

місцевого руйнування в крайньому поверхневому шарі, але нерідко взаємодіє із цими видами руйнування [10-12].

Недопустимим видом поверхневого руйнування деталей АВТ є корозія (рис. 1), яка спостерігається в місцях статичної взаємодії матеріалу деталі з рідким або газоподібним середовищем. Головною причиною, яка визиває корозію, є термодинамічний нестійкий металічний стан. При цьому корозійні реакції супроводжуються зменшенням величини термодинамічного потенціалу, що є енергетично вигідним. Чинники, які впливають на корозійні процеси обумовлюють різноманітні форми проявлення корозії. Корозійному руйнуванню підлягають деталі двигунів АВТ (осі, пальці, роликові підшипники та ін.), які працюють в умовах тертя ковзання з повернево-поступовим рухом.



Рис. 1 - Корозія вісі

Одним із катастрофічних видів зношування є абразивне. Цьому виду зношування підлягають поверхні циліндрів, зовнішні поверхні штоків, манжети ульщілювачів, болтові сполучення в шарнірах та ін. Згідно дослідженню [13] у разі абразивного зношування руйнується тільки частина контактів, при цьому інші зони контакту і нижче розташовані шари піддаються змінам, пов'язаним з нагромадженням ушкоджень. Зміни під поверхневим шаром відбуваються й у результаті механічної обробки поверхонь тертя. Навіть в умовах сталого режиму тертя можлива одночасна реалізація механізмів зношування, що в свою чергу, впливає на надійність і ресурс деталей вузлів тертя АВТ. Із деталей двигунів найбільшому зносу під ударною дією абразивних частинок знаходяться деталі компресора [13]. Характерний вид руйнування поверхні в результаті взаємодії з твердими абразивними частинками представлений на рис.2.

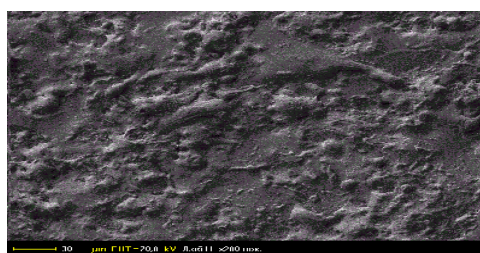


Рисунок –2 Характерний вид руйнування поверхні в результаті взаємодії з твердими абразивними частинками

Значно зменшує ресурс роботи двигунів АВТ ерозійне зношування їх деталей. Ерозія - результат динамічного впливу на матеріал деталей твердих і рідких частинок, газових потоків. Газообразивному зношуванню, як різновиду ерозії, підпадають деталі вхідних пристроїв двигунів та ін. В результаті дії високошвидкісного потоку газів в поверхневих

шарах матеріалу деталей розвиваються різноманітні розміщуючі процеси: окислення, термічний розклад, розм'якшення та ін. Продукти цих процесів відносяться газовим потоком і спонукають руйнування поверхонь деталей АВТ.

Корозійно-механічна дія газового потоку на деталі двигунів АВТ характеризується значною неоднорідністю температурного поля, напруг і деформацій, багаторазовим навантаженням та інтенсивністю хімічних реакцій. Високий вміст вуглецю в паливах підсилює руйнівну дію газового потоку деталей, що призводить до прискорення процесів корозії. Ерозійне зношування деталей двигунів АВТ відбувається в результаті того, що їх поверхня нагрівається до високих температур. При цьому інтенсифікуються процеси окиснення поверхневого шару, що призводить до руйнування деталей двигунів АВТ.

В підшипниках, зубчатих передачах пар тертя виникають процеси втомного зношення поверхні тертя або окремих її ділянок в результаті багаторазового повторного мікропластичного деформування об'ємів матеріалу, який призводить до виникнення мікротріщин і відділення частинок металу. Саме це стосується деталей вузлів тертя, які працюють в умовах несталих режимів, характерних для підшипників кочення. Великі питомі динамічні навантаження сумісно з високими перепадами температур, які виникають при гальмуванні, є основними складовими зовнішніх чинників, які впливають на працездатність підшипників і призводять до втомного руйнування (рис. 3).



Рисунок – 3 Руйнування роликового підшипника

У випадках перегріву мастило втрачає густину і при високих швидкостях обертання витікає, що обумовлює руйнування його робочих поверхонь. Розвиток тріщини на поверхні обойми роликового підшипника представлено на рис. 4.

Процеси втомного зношування можуть супроводжуватись абразивним зношуванням у тих випадках, коли в підшипник потрапляє пісок чи інші тверді абразивні частинки. Аналіз дефектних деталей засвідчив, що мікротріщини при втомному зношенні виникають не тільки на поверхні, а і підповерхневого шарі. Основним джерелом зародження поверхневих і підповерхневих тріщин є змінні поля напружень, що виникають в зоні контакту в процесі тертя. Як було встановлено Герцом для статичного пружного контакту, максимальні напруження стиску виникають на поверхні, а максимальні дотичні напруження знаходяться на деякій глибині від неї.

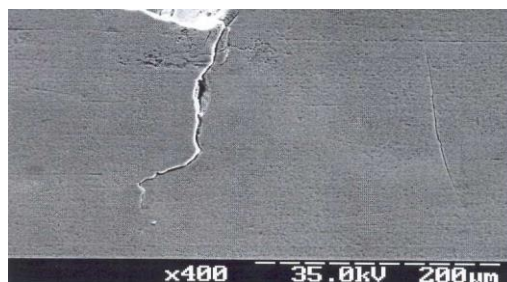


Рисунок 4 – Розвиток тріщини на поверхні обійми роликів підшипника

В умовах контактної взаємодії поверхонь тертя виникають тангенціальні сили, які в якісному і кількісному відношенні змінюють характер деформації приповерхневих шарів – поля напружень в зоні контакту зсовуються в напрямленні цієї сили. В процесі розвитку пружно-пластичних деформацій, на робочих поверхнях виникають виступи, за якими утворюються області деформацій розтягу, які при збільшенні сили тертя поступово зливаються з глибинними областями розтягуючих деформацій, визваних дотичними напруженнями [13]. Дія цих знакозмінних напружень і призводять до розвитку втомних процесів. Характерно, що втомні процеси при контактній взаємодії навіть у звичайних умовах мають одну особливість – відсутність межі контактної витривалості [14].

Процес руйнування матеріалу при втомному зношуванні може бути прогресуючим або обмежений [11]. В першому випадку контактні напруження досягають високих значень, що спонукає до руйнування деталі, а в другому – цей вид зношування не є небезпечним і деталі, які мають незначні пошкодження, можуть бути використані для подальшої експлуатації.

Контакт поверхонь деталей, які знаходяться у відносному коливальному русі визиває особливий вид зношування, який отримав назву фретинг-корозії. При цьому значно погіршується якість поверхні деталі, що призводять до значного зниження її втомної міцності. Результатом прояву цього процесу є поява на робочих поверхнях кілець підшипників кочення, вісях, валах, шпонках, шліцах, болтових з'єднаннях виразок, а також продуктів корозії у вигляді плям та окислених металевих частинок. Процеси фретинг-корозії ініціюють розвиток втомного руйнування і на деталях двигунів [15].

Одним із найбільш небезпечних і руйнівних видів зношування деталей вузлів тертя є схоплення [8]. Воно супроводжується інтенсивним пластичним деформуванням та руйнуванням поверхонь тертя, виривами і налипанням металу. У результаті цього втомна міцність деталей різко зменшується, а інколи спостерігається їх заїдання, що в деяких випадках призводить до катастрофічного руйнування деталей.

Характерними особливостями робочих поверхонь деталей трибовузлів, які експлуатуються в умовах розвитку процесів схоплення, відбувається їх інтенсивне руйнування що супроводжується виникненням виривів, подряпин, налипання частинок металу та видалення деформованих об'ємів металу з обох поверхонь тертя, в результаті чого вони стають досить шорсткими. Осередки схоплення, задири, наволокування на робочих поверхнях спостерігались на зубах шестерен (рис. 7), валах, болтових з'єднаннях та ін. У більшості випадків схоплення і заїдання в парах тертя виникають при розриві мастильної плівки, руйнування вторинної структури і появи металевих контактів.



X400

Рисунок 5 - Пошкодження шестерні (а);  
поверхня тертя зуба в результаті схоплення зубів шестерні (б)

Процес заїдання розвивається активніше на тих ділянках профіля зуба, де найбільше ковзання: у верхній частині головки і у нижній частині ножки зуба. Інтенсивність процесу заїдання залежить від умов роботи деталі, конструкційних властивостей і особливо густини мастильних матеріалів. За здатністю протистояння заїданню в одних і тих самих умовах навантаження всі типи зубчатих передач можна розмістити в наступному порядку: циліндричні передачі із внутрішнім зчепленням; циліндричні передачі зі зовнішнім зчепленням; конічні передачі з прямими, косими і спіральними зубами. Слід зазначити, що схоплення для деталей двигунів є неприпустимим видом зношування, так як воно може призвести до їх заклинювання та поломки [8].

Корозійно-механічному зношуванню підлягають деталі, які працюють в умовах агресивних середовищ. Цей вид зношування характеризується механічним впливом на поверхню тертя, яке супроводжується хімічною і (або) електрохімічною взаємодією матеріалу з середовищем.

Значна кількість деталей вузлів тертя двигунів АВТ працюють в умовах механо-хімічного зношування, яке характеризується мінімальними значеннями коефіцієнта тертя та зносу. Фізико-хімічна сутність цього процесу тертя та зношування встановлена шляхом дослідження впливу зовнішніх механічних чинників, природи пар тертя, складу рідинних і газових середовищ на параметри тертя та зношування [10, 12, 13].

При механо-хімічному зношуванні деталі вузлів тертя структурно пристосовуються за рахунок періодичності утворення і руйнування вторинних структур, активації і пасивації

поверхні, створення ультрадисперсних плівок, які позитивно впливають на процеси тертя та зношування .

**Висновки.** Узагальнюючи результати проведення досліджень по проведенню дефектації деталей вузлів тертя двигунів АВТ можна зробити наступні висновки:

- виникнення типових дефектів на деталях, що працюють в умовах контактної взаємодії, обумовлено недостатньою їх поверхневою міцністю, яка призводить до зниження опору деталей руйнуванню в процесі тертя та зношування.

- деталі АВТ доцільно розділити на три основні групи: а) із задовільним станом; б) зношені вище допустимих норм і підлягають відновленню; в) пошкоджені і не підлягають відновленню.

#### Список використаних джерел

1. Полянський А.С., Дубинин Е.А., Плетнев В.Н. Анализ и классификация показателей ремонтпригодности средств транспорта Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Зб. наук. праць, Вип. 60. Харків, 2007. С. 165-169.
2. Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигринець А.Д. Основи технічного обслуговування та ремонту автомобілів: У 3 кн. К.: Вища школа, 1994. Кн. 3.: Ремонт автотранспортних засобів. 599 с.
3. М.С. Агеев Условия эксплуатации, причины и виды износа валов двигателей внутреннего сгорания и повышение их износостойкости и срока службы. Підвищення надійності машин і обладнання: матер. міжнар. наук.-практ. конф. Кропивницький: 2020. С. 119 – 124.
4. Б.А. Ляшенко Анализ причин изнашивания деталей цилиндра-поршневой группы двигателя. Матер. 11-й между. науч.-техн. конф. Киев. 2011. С. 120-124.
5. Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов и др. Поверхностная прочность материалов при трении. Киев, Техника. 1976. 296 с.
6. Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бершадский, А.К. Караулов. Надежность и долговечность машин. К.: Техника, 1975. 408с.
7. I.V. Kragelsky, M.N. Dobychin, V.S. Kombalov Friction and Wear: Calculation Methods. Elsevier, 2013 . 474 р.
8. Голего Н.Л. Схватывание в машинах и методы его устранения. К.: Техника, 1971. 240 с.
9. В.П. Бабак, В.Н. Стадниченко, В.А. Войтов и др. Непрерывный контроль процессов трения и изнашивания на основе использования метода акустической эмиссии. Технологические системы, 2004. №2. С.42-46.
10. Закалов О.В., Закалов І.О. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 322 с.
11. Иванова В.С. Механизмы разрушения, структура и трещиностойкость конструкционных материалов. Проблемы прочности, 1985, № 10, С. 96-102.
12. М.Ф. Дмитриченко, Р.Г. Мнацаканов, О.О. Мікосянчик Триботехніка та основи надійності машин: Навч. посібник. К.: Інформавтодр, 2006. 216 с.
13. М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут Трибологія: підручник Київ, видавництво Національного авіаційного університету “НАУ-друк”. 2009. 410 с.
14. Эрозия. Под ред. К. Прис. М.: Мир, 1982. 464с.
15. Кузнецов Е.А., Гороховский Г.А. Фрикционное взаимодействие шероховатых тел с позиций механики твердого тела. Трение и износ, 1980. Т1. №4. С. 638-649.