

УДК 621.891

Андрій Гупка, к.т.н., доц.; Віктор Аулін, д.т.н., проф.; Петро Стухляк, д.т.н., проф.; Роман Лещук, к.т.н., доц.; Ігор Ярема, к.т.н., доц.; Валерій Буховець, к.т.н., доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ТРИБОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ВАЖКОНАВАНТАЖЕНИХ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ ТРАСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Анотація. Проаналізовано умови експлуатації важконавантажених трибоспряжень автомобілів. Розроблена комплексна методика дослідження та обґрунтовано вибір кінетичних критеріїв оцінювання процесів в зоні фрикційного контакту. Підтверджена трибологічна інформативність параметрів контактної електроопору трибоспряження.

Ключові слова: трибометр, трибоспряження, експлуатаційна надійність, транспортні засоби, кінетичні критерії оцінювання.

Andrii Gypka, Ph.D., Assoc. Prof.; Viktor Aulin, Ph.D., Prof.; Petro Stuhlyak, Ph.D., Prof.; Roman Leshchuk, Ph.D., Assoc. Prof.; Ihor Yarema, Ph.D., Assoc. Prof.; Valery Bukhovets, Ph.D., Assoc. Prof.

TRIBOLOGICAL ASPECTS OF OPERATIONAL RELIABILITY OF HEAVY- LOADED COUPLINGS OF VEHICLE PARTS

Abstract. The operating conditions of heavily loaded car tribo couplings are analyzed. A comprehensive research methodology has been developed and the choice of kinetic criteria for evaluating processes in the frictional contact zone has been substantiated. The tribological informativeness of the parameters of the contact electrical resistance of tribocoupling is confirmed.

Keywords: tribometer, tribo coupling, operational reliability, vehicles, kinetic assessment criteria.

Основними робочими та найбільш відповідальними механізмами, системами та агрегатами транспортних засобів являються вузли тертя. У важких умовах, під час експлуатації автомобіля працюють деталі спряжень циліндро-поршневої групи, шатунної групи, колінчастий вал з корінними та шатунними підшипниками, коробки швидкостей, редуктори, різноманітні передачі, гальмівні механізми, механізми рульового керування та інші. Експлуатаційна надійність та ефективність транспортних засобів суттєво залежить від технічного стану даних вузлів та агрегатів і визначається їх трибологічною ефективністю.

Для вирішення практичних задач триботехніки (підбір матеріалів пар тертя та методів їх зміцнення, визначення оптимальних концентрацій добавок в мастило) необхідне визначення діапазону структурно енергетичної пристосовуваності (СЕП) і критичних точок переходу до пошкоджуваності. У зв'язку з малими значеннями величини зносу I (в діапазоні СЕП) застосування традиційних методів його вимірювання малоефективне. Крім цього, фіксація величини I за певний період дослідження не розкриває кінетики і взаємозв'язку процесів, які його зумовили. Фізичною основою кореляційної залежності між параметрами контактної електроопору (КЕО R), I , μ коефіцієнта тертя та температуру в зоні тертя T являється наявність на поверхнях тертя в діапазоні СЕП оптимальних по складу, будові, властивостях дисипативних вторинних структур (ДВС) з максимальною зносостійкістю $I \rightarrow \min$ і високими діелектричними властивостями $R \rightarrow \max$.

Одним із найбільш чутливих кінетичних методів контролю процесів тертя та зношення являється метод вимірювання КЕО R трибоспряження. Контролюючи

основні триботехнічні показники (інтенсивність зношення I , коефіцієнт тертя μ , температуру в зоні тертя T), параметр КЕО R враховує весь комплекс механічних, фізико-хімічних, термодинамічних, структурно-енергетичних явищ в зоні фрикційного контакту, інформує про кінетику зміни параметрів I , μ , T безпосередньо під час дослідження. Основними перевагами даного методу являються:

1. Мінімальні витрати часу для визначення і контролю діапазону нормального тертя та зношення - діапазон СЕП (експресність методу);
2. Зв'язок параметрів КЕО R з механічними, фізико-хімічними, термодинамічними, структурно-енергетичними процесами в зоні фрикційного контакту (комплексність методу);
3. Можливість контролю кінетики структурних перетворень матеріалів поверхневих шарів елементів пар тертя (утворення, трансформації та руйнування ДВС);
4. Можливість кількісної та якісної оцінки основних процесів поверхневого руйнування згідно загальної класифікації видів тертя та зношення (універсальність методу), створення єдиного банку триботехнічних даних для розробки загальної теорії тертя та зношення.

До основних переваг даного методу відносяться також висока чутливість і точність, можливість його використання не тільки в лабораторних, а й у виробничих умовах. Висока чутливість методу звільняє від необхідності форсованих режимів дослідження, які порушують дійсну природу трибологічних взаємодій. Крім цього коректними можуть бути тільки ті методи дослідження, ті критерії оцінки, фізична суть яких відповідає природі досліджуваного явища, а роздільна здатність співрозмірна масштабу досліджуваного процесу. З практичної точки зору в основі любого методу повинні бути: простота, наглядність, надійність та інформативність.

Дослідження проводились, як на серійних, так і на спеціально спроектованому трибометрі (рис. 1). Схема контакту диск-торець пальця, при силових параметрах навантаження в діапазонах: швидкість ковзання $V=0,12\dots 11\text{м/с}$, питома навантаження $P = 0,3\dots 35\text{ МПа}$ з можливістю їх плавної зміни. Конструкція вузла тертя та механізму навантаження дозволяє зменшити вплив динамічних навантажень на досліджуваний зразок при перехідних процесах і реверсивному характері взаємного переміщення. Система змащування - автоматизована з можливістю подачі як рідких, так і пластичних мастил. Досліджувались зразки (06 мм, $l = 25\text{ мм}$), виготовлені із сталі 45 (42...45 HRc, $Ra = 0,125\text{ мкм}$), бронзи ОЦС 5-5-5. мастило - інактивне вазелінове масло, а також вазелінове масло з добавками присадки (2%), Англамол 99.

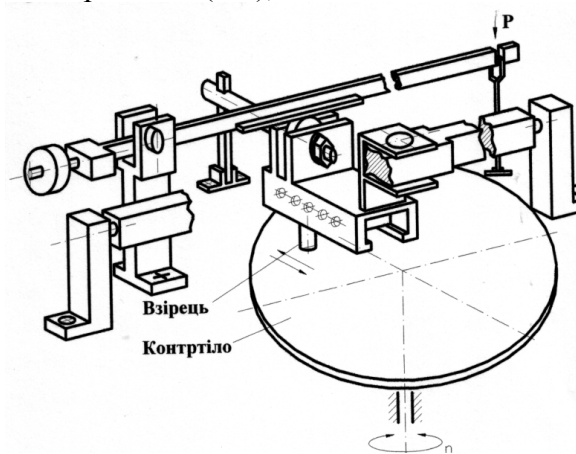


Рисунок 1 - Схема вузла тертя та механізму навантаження трибометра

Вимірювання інтенсивності зносу, коефіцієнта тертя, температури проводилось традиційними методами, величини КЕО вимірювались за допомогою спеціально

розробленої схеми. За контрольне значення вказаних параметрів приймалось їх стабільне значення після кожного етапу навантаження. Структура поверхонь тертя (тип та властивості ВС) досліджувались на електронному мікроскопі CamScan 44DB, з приставкою Line 860.

В діапазоні СЕП властивості ДВС, їх геометричні параметри, співвідношення площі ВС до загальної площі досліджуваного зразка, їхній характер формоутворення та руйнування змінюється в широких діапазонах під впливом дії комплексу зовнішніх параметрів, що засвідчує про широкі можливості їх внутрішньої перебудови. Для оцінки структурно-енергетичного та темодинамічного стану ДВС запропоновано наступні критерії параметра КЕО R (рис. 2).

Де ΔR - величина падіння параметра КЕО після кожного етапу навантаження, ($\Delta P, \Delta V$);

$R_{вих}$ ~ вихідне (стабільне) значення параметра КЕО;

Δt - час стабілізації параметра КЕО після кожного етапу навантаження.

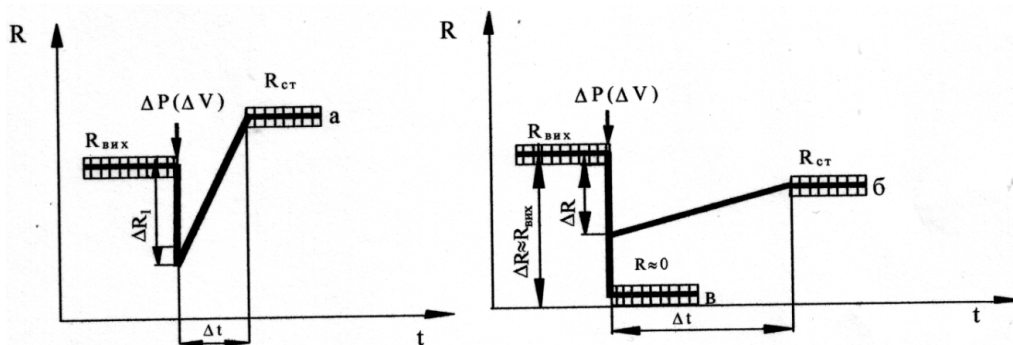


Рисунок 2 - Характер зміни параметрів $\Delta R/R_{вих}$, Δt в залежності від режимів тертя та зношення: *a* - режим припрацювання, *б* - режим СЕП, *в* - режим об'ємної деструкції.

В діапазоні СЕП критерії $\Delta R / R_{вих}$, Δt стабільні і мінімальні (оптимальні властивості ВС), в діапазонах припрацювання або об'ємної деструкції значення даних параметрів максимальні. Після кожного етапу навантаження ($\Delta P, \Delta V$) відбувається падіння вихідного значення КЕО ($R_{вих}$) на певну величину ΔR з подальшою його стабілізацією на іншому рівні ($R_{ст}$) через певний період часу (Δt). Для досліджуваних пар тертя встановлено наступні значення даних параметрів: режим СЕП - $\Delta R/R_{вих} \approx 0,15...0,55$, $\Delta t \approx 12...20$ хв.; режим припрацювання - $\Delta R/R_{вих} \approx 0,60... 0,85$, $\Delta t \approx 25...40$ хв.; режим об'ємної деструкції - $\Delta R/R_{вих} \approx 1$, $\Delta t \rightarrow \infty$.

Запропоновані кінетичні критерії дозволяють проводити безперервний контроль процесами тертя та зношення, кінетикою утворення, трансформації та руйнування ВС і в сукупності з в структурно-енергетичним аналізом поверхонь тертя, розробити комплексну методику дослідження для розкриття фізичної суті процесів в зоні фрикційного контакту.

Перелік посилань

1. Aulin, V., Gypka, A., Liashuk, O., Stukhlyak, P., & Hryniv, A. (2024). A comprehensive method of researching the tribological efficiency of

couplings of parts of nodes, systems and aggregates of cars. *Problems of Tribology*, 29(1/111), 75–83. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2024-111-1-75-83>.

2. Gupka A. The tribology of the car: Research methodology and evaluation criteria / O. Lyashuk ,, Y. Pyndus , V. Gupka , M. Sivravska , M. Stashkiv // ICCPT 2019: Current Problems of Transport : Proceedings of the 1st International Scientific Conference , May 28-29, 2019, Ternopil , Ukraine . R. - 231-237. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3387620>.