

Гупка А.Б., доцент кафедри автомобілі, к.т.н., доц.
Ляшук О.Л., перший проректор, д.т.н., проф.
Остапчук С.І., аспірант

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ТЕРТЯ ТА ЗНОШЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТРИБОСПРЯЖЕННЯ

Анотація: У поданих матеріалах розглянуто основи теоретичної та прикладної трибології з акцентом на феномен самоорганізації (СО) трибоспряження у режимі граничного тертя та зношення, відомому як структурно-енергетична пристосовуваність (СЕП). Висвітлено формування дисипативних вторинних структур (ДВС), які знижують інтенсивність зношення та збільшують міцність поверхонь. Запропоновано кореляційну залежність між параметрами контактного електроопору (КЕО), триботехнічними параметрами та структурою матеріалів поверхонь тертя що дозволяє експрес-методами визначати діапазон нормального тертя та зношення. Підкреслено, що метод вимірювання КЕО є високочутливим, точним і може застосовуватися як у лабораторних, так і виробничих умовах, що сприяє розширенню єдиного банку триботехнічних даних.

Ключові слова: трибоспряження, структурно-енергетична пристосовуваність, методи контролю, трибометр, тертя та зношення.

На сучасному етапі розвитку науки про тертя та зношення необхідно якісно новий рівень знань про процеси, які протікають в зоні фрикційного контакту, нові матеріали і конструкції, які б задовольняли широкому діапазону вимог до вузлів тертя машин та механізмів. Серед основ теоретичної та прикладної трибології - феномен самоорганізації (СО) трибоспряжень.

При вирішенні практичних задач триботехніки (підбір матеріалів трибоспряжень та методів їх зміцнення, визначення оптимальних концентрацій добавок в мастило) необхідне визначення діапазону 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 короткий період дослідження не розкриває кінетики і взаємозв'язку процесів, які його зумовили.

Одним із найбільш чутливих кінетичних методів контролю процесів тертя та зношення являється метод вимірювання (КЕО) трибоспряження. Контролюючи основні триботехнічні показники (інтенсивність зношення I , коефіцієнт тертя μ , температуру в зоні тертя T), параметр КЕО 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.

Фізичною основою кореляційної залежності між параметрами контактного електроопору (КЕО) та I – величини зносу, μ - коефіцієнта тертя, T – температури, являється наявність на поверхнях тертя в діапазоні СЕП оптимальних по складу, будові, дисипативних вторинних структур (ДВС) з максимальною зносостійкістю і високими діелектричними властивостями. 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.

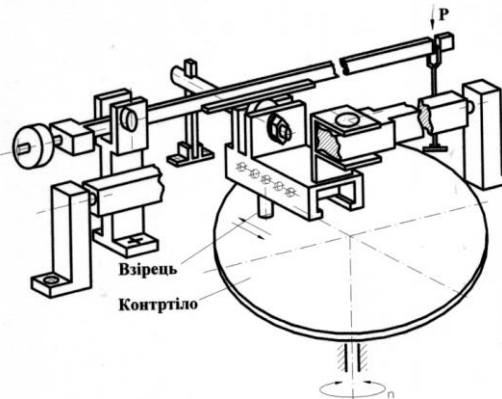


Рисунок 1. - Схема вузла тертя та механізму навантаження трибометра

Для проведення досліджень спроектовано та виготовлено спеціальну машину тертя - трибометр (рис. 1). Схема контакту диск-торець пальця, при силових параметрах навантаження в діапазонах: швидкість

ковзання $V=0,12-11\text{м/с}$, питоме навантаження $P = 0,3-35 \text{ МПа}$ 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.

Як відомо існує діапазон параметрів навантаження (P, V), в якому значення I, μ, T мінімальні і стабільні, а величина КЕО - максимальна і стабільна, як результат динамічної рівноваги процесів утворення трансформації та руйнування ДВС. Це зумовлено тим, що параметри $I, \mu, T, \text{КЕО}$ являються характеристиками одного і того ж процесу (нормального тертя та зношення), одного і того ж об'єкту (ДВС). Виявлена кореляційна залежність між параметрами $I, \mu, T, \text{КЕО}$ та типом ДВС, яка дозволила розробити та експериментально підтвердити експрес метод визначення діапазону і рівня нормального тертя та зношення (рис. 2).

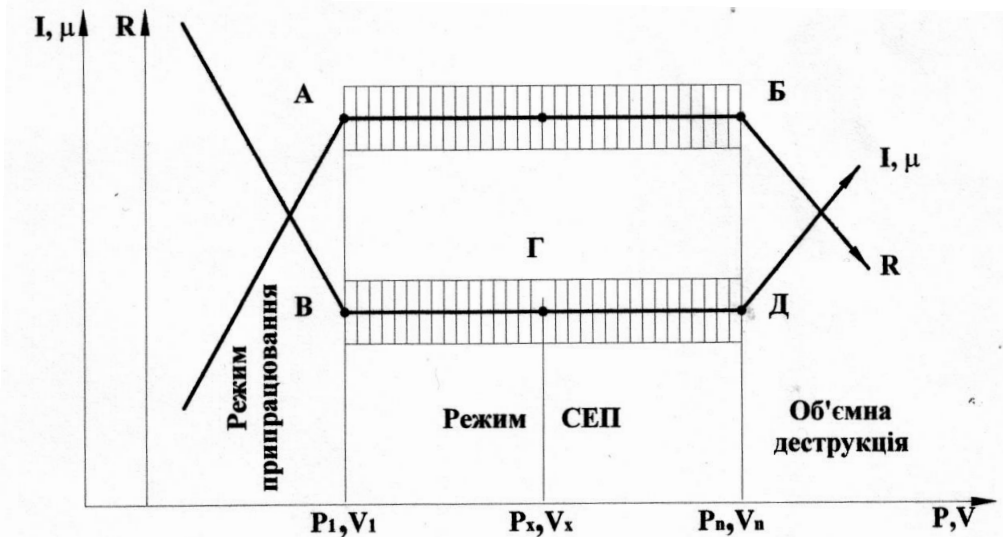


Рисунок 2 - Спосіб визначення діапазону та рівня нормального тертя та зношення

Суть методу полягає в тому, що діапазон СЕП по основних триботехнічних параметрах I, μ, T , прирівнюють до діапазону максимального і стабільного значення КЕО, а рівень даного діапазону визначають вимірюванням величини інтенсивності зносу при будь-якому значенні параметрів навантаження (P_x, V_x) (точка Г).

В діапазоні СЕП властивості ДВС, їх геометричні параметри, співвідношення площі ДВС 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.

В діапазоні СЕП критерії $\Delta R, R_{\text{вих}}, \Delta t$ (рис. 3) стабільні і мінімальні (оптимальні властивості ДВС), в діапазонах припрацювання або об'ємної деструкції значення даних параметрів максимальні. Після кожного етапу навантаження ($\Delta P, \Delta V$) відбувається падіння вихідного значення КЕО ($R_{\text{вих}}$) на певну величину ΔR з подальшою його стабілізацією на іншому рівні ($R_{\text{ст}}$) через певний період часу (Δt).

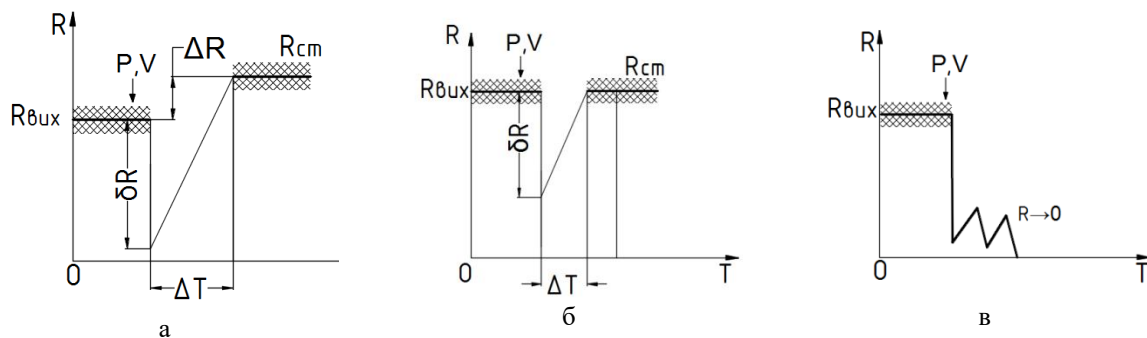


Рисунок 3. - Характер зміни параметрів $\Delta R/R_{\text{вих}}, \Delta t$ в залежності від режимів тертя та зношення: *a* - режим припрацювання, *б* - режим СЕП, *в* - режим об'ємної деструкції.

Існування діапазону СЕП зумовлено наявністю оптимальних ДВС завдяки динамічній рівновазі процесів їх утворення (V_y) та руйнування (V_p) (рис. 4). В режимі СЕП $V_y = V_p$ ($t_y = t_p$), в режимі об'ємної деструкції $V_y < V_p$ ($t_y > t_p$).

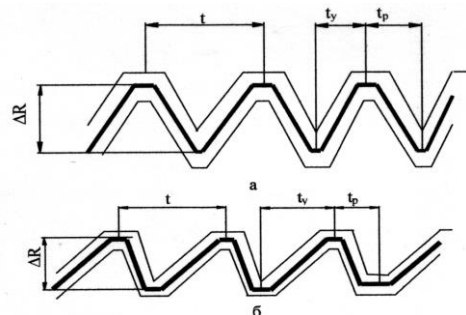


Рисунок 4 - Циклограми зміни процесів утворення, трансформації та руйнування ДВС при різних режимах тертя та зношення: *а* - режим СЕП; *б* - режим об'ємної деструкції; t_y - час утворення ВС; t_p - час руйнування ВС; t - час існування новоутворених ВС.

Запропоновано і підтверджено високочутливий метод контролю процесів тертя та зношення на основі вимірювання контактного електроопору. Даний критерій враховує весь комплекс механічних, фізико-хімічних, термодинамічних та структурно-енергетичних явищ у зоні фрикційного контакту, забезпечуючи точний та швидкий аналіз.

Література

1. Гупка А. The tribology of the car: Research methodology and evaluation criteria / О. Lyashuk, У. Рундус, В. Гупка, М. Сіп्राvsка, М. Шашків // 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>
2. Гупка, А. Б., Аулін, В., Стухляк, П. Д., Лещук, Р. Я., Ярема, І. Т., & Буховець, В. М. (2024). Трибологічні аспекти експлуатаційної надійності важконавантажених спряжень деталей транспортних засобів. Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції „Прикладна механіка“, 221-224.