

ВИКОРИСТАННЯ СТРУКТУРНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ І РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН

Зазимко О.В., Костецька Н.Б., Лопатько К.Г.

Національний аграрний університет

У роботі розглянуто можливості використання структурно-енергетичного методу для оцінки надійності та довговічності деталей та робочих органів машин. Проаналізовано основні параметри для регулювання рівня та діапазону процесів нормального тертя та спрацювання.

Однією з основних причин виходу з ладу деталей та робочих органів механізмів та машин є спрацювання поверхонь їх тертя. Параметричні відмови з поступовою втратою показників працездатності машин становлять приблизно 80 % від усіх відмов виробів. Параметричні відмови здебільшого пов'язані із спрацюванням деталей машин. Надійність та довговічність деталей машин необхідно закладати на етапах конструювання, вибору матеріалів, методів їх зміцнення тощо, що окупається за період їх експлуатації.

Основною технічною задачею інженерів і конструкторів стає збільшення надійності та довговічності деталей, а також робочих органів машин. Управління процесами, що забезпечують нормальну роботу пар тертя, відбувається на трьох етапах: їх конструювання, виготовлення та експлуатації. На етапі конструювання – за рахунок покращення конструкції, вибору сумісних матеріалів, систем охолодження, масштабного фактора (теплообміну). При виготовленні машин і механізмів надійність та довговічність регулюється за рахунок вибору відповідних технологій обробки деталі, точності виготовлення і монтажу, при експлуатації – за рахунок виконання рекомендацій щодо вибору мастильних матеріалів, своєчасних технічних оглядів.

Структурно-енергетичної теорії самоорганізації матеріалів [1] дають можливість оцінити стан трибосистеми (ТС), прогнозувати поверхневу міцність та надійність. В основу теорії покладено такі принципи: процес тертя, що викликає спрацювання та пошкодження поверхонь, розглядається як процес перетворення зовнішньої механічної енергії в енергію внутрішніх процесів. ТС є відкритою термодинамічною системою, що обмінюється енергією та речовиною з

зовнішнім середовищем. Всі процеси поверхневого руйнування виникають та розвиваються в результаті двох основних явищ: активування та пасивації матеріалів пар тертя. Активування під час тертя призводить до виникнення активних шарів за рахунок структурного та теплового факторів. Пасивація здійснюється шляхом взаємодії активованих шарів деталей машин з хімічно-активним середовищем за умов нормального тертя та з партнером по контакту при пошкодженні.

За умов нормальної експлуатації ТС (без пошкоджень) спостерігається рівновага процесів активування та пасивації ($G_A = G_{\Pi}$), що мінімізує тертя та спрацювання. При цьому на поверхнях тертя утворюються вторинні структури (ВС), які захищають матеріал деталей машин від руйнування. При порушенні рівноваги процесів активації та пасивації ($G_A \gg G_{\Pi}$) відбувається перехід від нормального спрацювання поверхонь тертя до їх пошкодження та руйнування основного матеріалу.

Встановлено, що для будь-якої пари тертя існує діапазон і рівень нормальних процесів, за яких коефіцієнт тертя та спрацювання має мінімальні значення. Завданням практики є розширення діапазону і підвищення рівня самоорганізації матеріалів пар тертя.

Оцінка структурного фактора за допомогою методів фізичного експерименту здійснюється за ступенем взаємодії з середовищем (найчастіше з киснем повітря або розчиненим в мастилі) і зміною елементного складу поверхневих шарів деталей машин. Процеси нормального зовнішнього тертя та спрацювання суттєво пов'язані з насиченням поверхонь тертя активними хімічними компонентами середовища. Рівень обміну речовиною з зовнішнім середовищем є тим показником процесу, що визначає механізм перебудови структури матеріалу пари тертя. За допомогою рентгеноспектрального аналізу встановлено, що вміст кисню в поверхневих шарах корелує з зносостійкістю ВС. Вміст кисню в межах до стехіометричного складу окислів чинить зміцнюючу дію, зменшує адгезію в зоні контакту, запобігає схоплюванню поверхонь тертя [2] (табл.1). Для кожної ТС існує граничний вміст кисню, після якого система втрачає стійкість та відбувається перехід до схоплювання поверхонь. Подібно кисню діють і інші хімічно-активні елементи мастил сірка, хлор, фосфор, вуглець.

1.Інтенсивність зношування та вміст кисню в поверхневих шарах деталей машин

Назва деталі	Марка матеріалу	Тип ВС	Інтенсивність зношування, $h/(l \cdot 10^{-12})$	Вміст кисню, %
Гільза циліндра (загартування з відпуском)	Чавун	I	8,0	2,5
Гільза циліндра (без термообробки)	Чавун	I	4,0	3,5
Підшипник ковзання	Бр.ОЦС5-5-5	I+II	8,5	13,5
Шестерня	Сталь 40Х	I	2,6	2,1
Палець поршневий	Сталь 12ХНЗА	I	1,6	1,2

Тепловий фактор можна оцінити за допомогою температурної енергоємності \mathcal{E}_Q ТС - граничної кількості енергії, яку може розсіяти та поглинути поверхня ТС до настання пошкодження.

Енергоємність ТС визначається кількістю зовнішньої енергії (роботи тертя A_{TP}), що затрачується на підвищення температури поверхні тертя на 1°C [3].

$$\mathcal{E}_Q = A_{TP} / \Delta T = \mu P V / \Delta T ,$$

де: μ - коефіцієнт тертя,

P - питомий тиск,

V - швидкість ковзання,

ΔT - зміна температури поверхні тертя.

Встановлено, що температурна енергоємність в межах нормального спрацювання є своєрідною константою ТС (рис.1) [3]. У межах перехідних нерівноважних процесів (малі швидкості, температура, навантаження) температурна енергоємність понижена, що пояснюється недостатнім, в порівнянні з рівноважним рівнем активування ТС. В межах процесів пошкодження (швидкість, навантаження, температура вище критичних) температурна енергоємність, як правило, підвищена. Це пояснюється різким підвищенням роботи тертя при збільшенні сил тертя. Нестабільність цього показника при пошкодженнях поверхонь тертя викликана також різкими змінами механічних та фізико-хімічних властивостей матеріалів ТС, що працюють в цьому діапазоні.

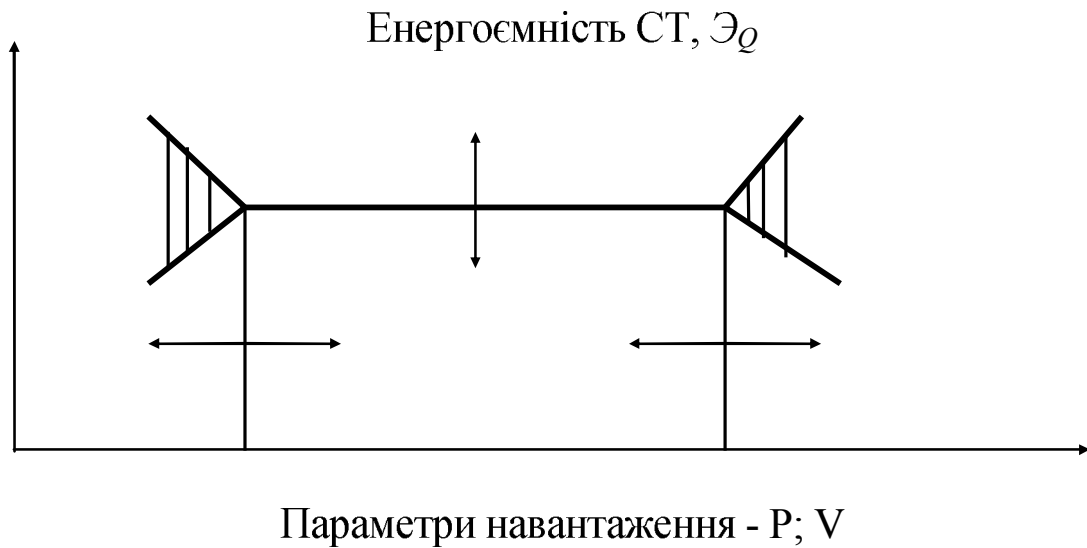


Рис.1. Залежність температурної енергоємності системи тертя від параметрів навантаження

На рис.2, 3 надані приклади значень температурної енергоємності для різних матеріалів пар тертя та різних мастильних середовищ.

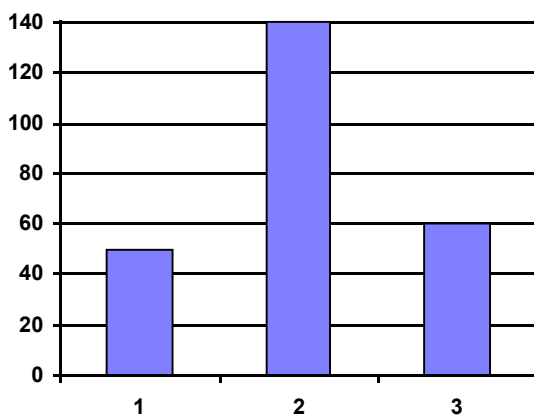
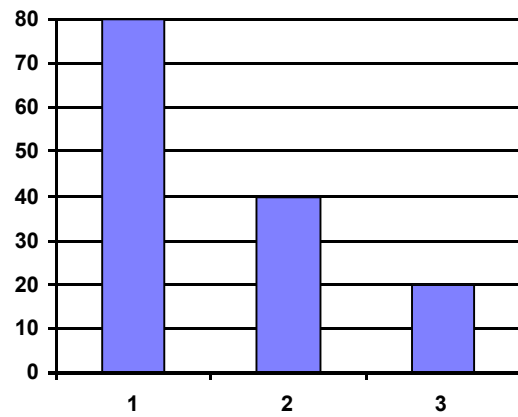


Рис. 2. Зміна \mathcal{E}_Q залежно від тертя матеріалу при навантаженні $P=500$ кПа, швидкості $0,6$ м/с в маслі ДС-11:
 1- Сталь 45 - капрон,
 2- Сталь 45 - Бронза Бр.ОЦ10-2,
 3- Сталь 45 - Чавун СЧ 18.



3. Зміна \mathcal{E}_Q залежно від природи пари мастильного середовища для пари тертя Сталь 45 по капрону при навантаженні $P=200$ кПа, швидкість $0,8$ м/с:
 1- вода,
 2- масло ДС-11,
 3 - масло ЦИАТИМ-20

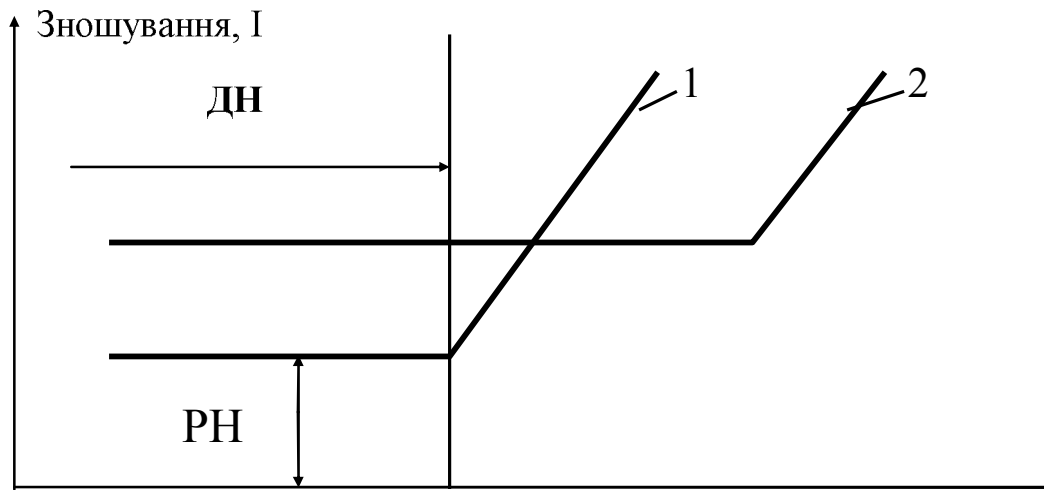
З графіків можна зробити висновки, що в діапазоні нормального тертя оптимальному сполученню матеріалів ТС та мастильних середовищ відповідають максимальні значення енергоємності. При температурно-швидкісних перевантаженнях, коли виникає небезпека пошкодження пар тертя, необхідна оцінка протизадирної стійкості (ПС) матеріалів ТС за допомогою енергетичного критерію - енергоємності ТС.

За результатами проведеного аналізу даних літератури в таблиці 2 надано показники температурної енергоємності для різних пар тертя литих та спечених матеріалів машинобудування загального призначення та оцінка ТС. Необхідно відзначити, що при більш високій відносній зносостійкості пари тертя спечені матеріали поступаються на порядок литим матеріалам по протизадирній стійкості.

2.

Матеріал	Навантаження P , кг/мм ²	Швидкість V , м/с	Температура T , °C	Коефіцієнт тертя μ	Відносна зносостійкість	Енергоємність $E_Q \cdot 10^{-3}$, кгм/мм ² °C с
Литі:						
Бронза ОЦС-6-6-3	50	3	70	0,005	1	10
Бронза ОЦ-10-2	45	2,5	70	0,006	1	12
Бабіт Б-83	200	7	70	0,0045	1	
Бабіт БК	150	15	90	0,004	1	18
Спечені:						3,4
Залізо (пористе)	25	1,5	100	0,001	1,5...3	2
ЖГр.1-3	85	3,5	150	0,06	1,5...3	3,7
ЖГр.1К1	80	5	200	0,06	2...6	3
ЖГр.1-2Д2-3	65	4	200	0,09	1,5...3	3
ЖГр.1ДЗК0,4	75	6	200	0,05	2...6	3,5

Критерієм оцінки рівня самоорганізації матеріалів пар тертя є питома робота руйнування матеріалу A_p . Таким чином, оцінити діапазон нормального тертя (ДН) за допомогою показників енергоємності, питомої роботи руйнування та рівня нормального тертя (P_H) по зносостійкості ВС визначає постановку задач практики: подовження ресурсу роботи, вибір матеріалів пар тертя. P_H оцінюється міцністю захисних плівок ВС і здатністю матеріалу деталі взаємодіяти з середовищем. ДН оцінюється здатністю матеріалу деталі протистояти схоплюванню [4]. Оцінка зносостійкості та протизадирної стійкості композиційних матеріалів дозволяє визначити діапазон та рівень нормальних процесів, а також прогнозувати критичні параметри навантаження трибосистем при переході до пошкодження (рис.4).



Параметри навантаження, P, V

Рис.4. Зміна діапазону нормального зношування ДН та його рівня РН залежно від параметрів навантаження: 1 - композиційні матеріали; 2 - литі матеріали

Література

1. Поверхностная прочность материалов при трении (Под ред. Б.Костецкого, Киев: Техника, 1976.–292 с.
2. Костецкая Н.Б. Механизмы деформирования, разрушения и образования частиц износа при механохимическом трении. – Трение и износ. – 1990. – Т.11. – №1. – С.108-115.
3. Костецкая Н.Б. Энергетические принципы расчета и управления качеством динамических элементов машин. Киев: Знання, 1996.– 29 с.
4. Зазимко О.В., Костецька Н.Б. Методи оцінки поверхневої міцності конструкційних матеріалів при терті. Науковий вісник НАУ. – № 73. – 2004.

Использование структурно-энергетического метода для оценки надежности и долговечности деталей и рабочих органов машин

В работе рассмотрены возможности использования структурно-энергетического метода для оценки надежности и долговечности деталей и рабочих органов машин. Проведен анализ основных параметров для регулирования уровня и диапазона процессов нормального трения и изнашивания деталей машин.

Employment of structural-energetic method for the evaluation of reliability of details and working organs of machinery

The article considers the possibilities of employment of structural-energetic method for the evaluation of reliability of details and working organs of machinery. Basic parameters were estimated for the regulation of the level and diapason of the processes of normal friction and wear.