

ОБГРУНТУВАННЯ ВИДІВ ЗНОШУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ ЇХ ОЦІНКИ

Журавель Д.П., д.т.н.

Гвоздовський О.М., магістр

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна*

Незважаючи на складність й різноманітність процесів, що впливають на зношування поверхонь, є основні, які переважають у даних конкретних умовах тертя. Вони визначають вид зношування і характер зносу поверхонь. Для уніфікації уявлень про основні процеси при зношуванні їх класифікують на такі основні види зносу (рис.1).



Рис. 1. Схема основних видів зносу машин і механізмів

В умовах експлуатації на деталі сільськогосподарських машин впливають практично всі види зношування, але для окремих з них характерним є один, переважаючий вид [1,2]. Наприклад, абразивне зношення характерне для систем мобільної техніки - газорозподільної, кривошипно-шатунної, гідравлічної та ін. Гідрогазоабразивне спостерігається на деталях розпилювачів паливних насосів високого тиску та ін.

Приклад ерозійного зношування - це руйнування робочих кромek золотників гідравлічних агрегатів, клапанів запірних та регулювальних пристроїв гідравлічних і парових систем.

Втомлюване зношування характерно для зубів шестерень та доріжок підшипників кочення.

Кавітаційному зношуванню підлягають зовнішні поверхні гільз циліндрів двигунів внутрішнього згоряння, лопатки відцентрових насосів.

Зношування при фретінг-процесі притаманне деталям нерухомих з'єднань типу корпус — підшипник, шліцьовий вал – шестерня.

Адгезійне зношування найчастіше спостерігається у парах тертя - ковзання (торцеві ущільнення гідросистем, колінчастий вал-вкладиш в умовах порушення режимів мащення).

Окислювальне зношування відбувається у тому випадку, коли на контактуючих поверхнях виникають плівки окислів, які в процесі тертя руйнуються і знову утворюються. Цей вид зношування спостерігається у шарнірно-болтових з'єднаннях тяг і важелів механізмів керування [3].

Ковзаючі електричні контакти типу щітка-колектор є типовим прикладом з'єднання, де деталі зазнають дії електроерозійного зношування. На кафедрі технічного сервісу та систем в АПК під керівництвом д.т.н. проф. Журавля Д.П. було розроблено наглядно-інформаційний стенд «Види зношування» при вивченні дисципліни «Триботехніка» для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" (рис.2).



Рис.2. Наглядно-інформаційний стенд для вивчення видів зношування

Розглянуті види зносів і пошкоджень деталей машин не є вичерпними, оскільки з розвитком науки і техніки відбувається удосконалення понять і відповідно класифікацій [4].

Для оцінки зношування поверхонь тертя використовують регламентовані визначення характеристик процесу. До них належать поняття про граничні та допустимі зноси, швидкість та інтенсивність зношування [5-8].

Граничний знос - це знос, який відповідає граничному стану об'єкта або його складової частини.

Допустимий знос - знос, при якому об'єкт зберігає роботоздатність протягом встановленого напрацювання (допустимий знос завжди менший від граничного).

Швидкість зношування - відношення значення зносу до інтервалу часу, протягом якого він виникає.

Інтенсивність зношування - відношення значення зносу до обумовленого шляху, де відбувалося зношування, або до обсягу виконаної роботи.

Відповідно до одиниць виміру зносу розрізняють лінійну, об'ємну і масові інтенсивності зношування. Формули для їх розрахунків наступні:

$$I_l = \frac{\Delta h}{L_T}, \quad (1)$$

де I_l - лінійна інтенсивність зношування;

Δh - товщина зношеного шару, м;

L_T - шлях тертя, де відбувається знос, м;

$$I_o = \frac{\Delta V}{L_T \cdot A_T}, \quad (2)$$

де I_o - об'ємна інтенсивність зношування;

ΔV - зміна об'єму витертого тіла, м³;

A_T - площа поверхні зношування, м²;

$$I_m = \frac{\Delta M}{\rho \cdot L_T \cdot A_T}, \quad (3)$$

де I_m - масова інтенсивність зношування;

ρ - густина матеріалу, що зношується, кг/м³;

ΔM - зміна маси матеріалу, кг.

Для характеристики здатності матеріалу чинити опір зношуванню часто використовують термін «зносостійкість». Кількісно зносостійкість оцінюється величиною, оберненою інтенсивності або швидкості зношування [6,7].

Вимірювання значень зносу, необхідних для характеристики процесу, здійснюється під час лабораторних, стендових та експлуатаційних випробувань. Залежно від призначення виміри зносу здійснюють одним з наведених методів: мікрометруванням, зважуванням

(визначення продуктів зношування у мастилі), за допомогою поверхневої активації, вмонтованих датчиків та штучних баз.

Метод *мікрометрування* базується на визначенні лінійного зносу шляхом вимірювання розмірів деталей (або зразків) вимірювальними інструментами (мікрометрами, індикаторами та ін.) до і після зношування. Цей метод не забезпечує необхідної точності при невеликих значеннях зносу, часто потребує розбирання вузла і повторних вимірів [8-10].

Зважуванням визначають масовий сумарний знос поверхонь. Вимірювання складається з визначення різниці маси деталі до і після зношування. Недоліком методу є неможливість визначити значення зносу на різних поверхнях тертя та необхідність розбирати з'єднання.

Метод *штучних баз* полягає у визначенні зміни розмірів штучно нанесених заглиблень на зношену поверхню. Заглиблення виконують натисканням конусного або пірамідального індентора, вирізуванням лунок. Найширшого розповсюдження набув метод вирізування лунок. Знос плоскої поверхні з використанням лунок (рис.3) визначають за формулою:

$$\Delta h = h - h_1 = \frac{l^2 - l_1^2}{8r}, \quad (4)$$

де Δh - товщина зношеного шару (знос);

h, h_1 , - відповідно глибина відбитка до і після зношування;

l, l_1 , - відповідно довжина лунки до і після зношування;

r - радіус, описаний верхівкою різця.

При визначенні зносу циліндричної поверхні користуються формулою:

$$\Delta h = 0,125(l^2 - l_1^2) \cdot \left(\frac{1}{r} \pm \frac{1}{R} \right), \quad (5)$$

де l, l_1 , - відповідно довжина лунки до і після зношування;

r - радіус, описаний верхівкою різця;

R - радіус кривизни поверхні тертя на місці лунки.

У формулі (5) приймають знак «плюс» для опуклих «мінус» - угнутих поверхонь.

Для визначення зносу за вмістом продуктів зношування у мастилі періодично відбирають його проби з порожнин об'єкта що експлуатується, і за кількістю і складом частинок зносу визначають інтенсивність зношування.

Кількісний аналіз проводять найчастіше спектральним методом який не потребує розбирання вузла, але і не дає диференціювати знос різних поверхонь, деталей з однаковим хімічним складом.

Метод визначення зносу деталей *за допомогою поверхневої активації* дає сталу інформацію про вузли діючих агрегатів які зазнають тертя. Радіоактивність досягається за рахунок опромінення деталей, установкою вставок у зони тертя тощо. В процесі роботи і

зношування активованої зони зменшується активність випромінювання, що реєструється спеціальною апаратурою.

Хід процесу зношування в часі має вигляд кривої щодо залежності зносу U від часу t (рис.4).

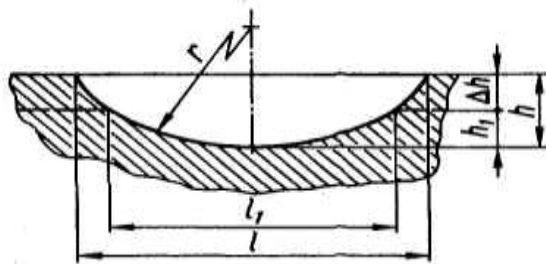
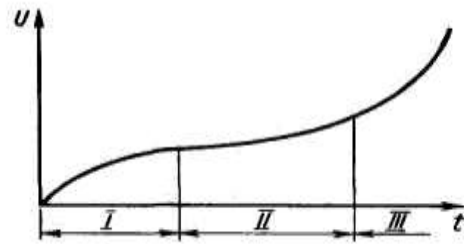


Рис.3. Схема визначення зносу методом вирізування лунок



I – стадія припрацювання;
II – стадія нормальної роботи;
III – стадія аварійного зношування
Рис.4. Залежність зносу від тривалості (об'єму робіт)

Зношування відбувається у три стадії (періоди). На I стадії здійснюється припрацювання контактуючих поверхонь деталей (графік наводить зміни зносу тільки однієї з поверхонь). Ця стадія характеризується нестабільністю параметрів тертя, початковою високою швидкістю зношування dU/dt , що обумовлено значними пластичними деформаціями нерівностей поверхневих шарів деталей, перебудовою технологічного мікрорельєфу поверхонь на експлуатаційний та зміною фізико-механічних властивостей.

Найтриваліша - II стадія; ця ділянка кривої відповідає періоду нормальної роботи з'єднання після припрацювання. При нормальній роботі спостерігається стабілізація параметрів тертя, швидкість зношування невелика і приблизно однакова і стала.

Знос деталей може призвести до погіршення умов тертя при роботі з'єднань, у результаті чого швидкість зношування різко зростає. Цей період процесу зношування відповідає кривій на стадії III.

Криві зміни зносу в часі залежно від умов роботи деталей (виду, з'єднання, фізико-механічних властивостей поверхонь тощо) можуть мати не всі три стадії вихідної (класичної) кривої, а дві або одну (рис.5).

Уявлення законів зношування в аналітичній формі - складне завдання і перебуває в процесі становлення.

Професором О. С. Проніковим сформульовано ті особливості, які повинні характеризувати закони зношування [9,10]. На його думку закони зношування повинні в аналітичній формі визначати залежність зносу від таких факторів:

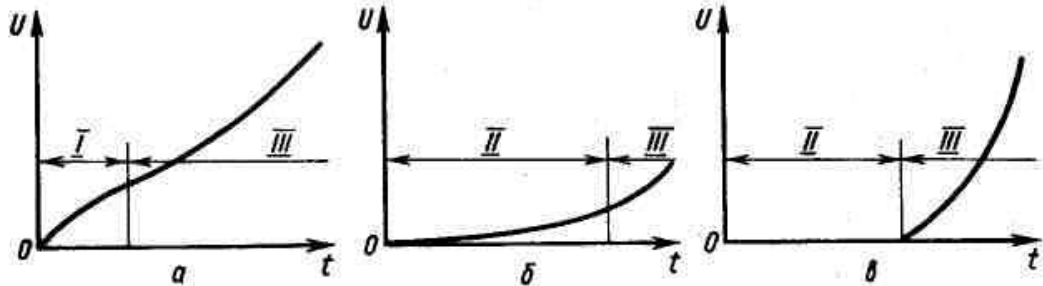
силових й кінематичних параметрів i , в першу чергу, від тиску на поверхню тертя і швидкості відносного ковзання (від факторів P і V);

параметрів, які характеризують склад, структуру і механічні властивості матеріалів пари;

властивостей поверхневого шару;

видів тертя і мащення;
зовнішніх умов, які впливають на процес зношування,— температури, вібрації та ін.

Крім того, всі закономірності повинні описувати зміни зносу у часі.



а – відсутня стадія нормальної роботи; б,в – відсутня стадія припрацювання

Рис.5. Схематичне зображення різних площ контакту

Одна із загальних формул для розрахунку зносу при множинному контакті за методом І. В. Крагельського має вигляд:

$$I = K\alpha \sqrt{\frac{h}{R}} \cdot \frac{P_a}{P_r} \cdot \frac{1}{n}, \quad (6)$$

де K - множник, який визначається формою і розташуванням по висоті одиничних нерівностей на поверхнях; зазвичай $K = 0,2$;

α - коефіцієнт перекриття, який визначається як відношення номінальної площі A_a контакту до фактичної A_r ;

h - глибина заглиблення;

R - радіус одиничної мікронерівності;

P_a, P_r - відповідно тиск на номінальній A_a та фактичній A_r , площинах контакту;

n - кількість циклів, що призводять до руйнування об'єму, який деформується.

Відношення h/R визначає вид фрикційного зв'язку, умови тертя.

Множник P_a/P_r пов'язаний з якістю поверхні, множник $1/n$ характеризує опір втомленості та вводить у рівняння часовий зв'язок.

Залежно від теорії контактування, матеріалів, пари тертя, умов роботи з'єднання, необхідної точності розрахунків, розроблено методики та аналітичні вирази, за допомогою яких виконують інженерні розрахунки для багатьох видів зношування.

Список використаних джерел

1. Надійність обладнання харчової галузі. Навчальний посібник. Сухенко Ю.Г., Паламарчук І.П., Жеплінська М.М., Муштрук М.М., Журавель Д.П. – К. ЦП «КомпрІнт», 2019. – 370 с.

2. Журавель Д. П. Моделювання енергетичного балансу трибосистеми сільськогосподарської техніки в середовищі змащувальних матеріалів. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Запоріжжя, 2013. Вип. 1. С. 126-132.

3. Журавель Д.П., Новік О.Ю., Бондар А.М., Петренко К.Г. Триботехніка. Курс лекцій з навчальної дисципліни для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 280 с.

4. Журавель Д. П. Вплив забрудненості абразивом біопаливо-мастильних матеріалів на енергоємність поверхневих шарів металів вузлів і агрегатів мобільної техніки. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Херсон, 2017. Вип. 5. С.56-65.

5. Журавель Д. П. Оцінка зносу трибоспрямижень в середовищі біопаливо-мастильних матеріалів. Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2012. Вип. 12. т.2. С. 28-33.

6. Журавель Д. П., Юдовинський В.Б. Моделювання хімотологічних та триботехнічних процесів в спряженнях тертя. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 2007. Вип. 7, т. 3. С. 30-38.

7. Дидур В. А., Журавель Д.П. Надежность мобильной сельскохозяйственной техники при использовании биологических топливо-смазочных материалов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / НУБіП ; відп. ред. Д. О. Мельничук. К., 2016. № 251. С. 69-78.

8. Журавель Д. П. Методологія оцінки надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видах паливо-мастильних матеріалів. Вісник Сумського національного аграрного університету / СНАУ. Суми, 2016. Вип. 10/3(31). С.66-71.

9. Журавель Д. П. Методологія забезпечення надійності мобільної техніки при використанні біологічних ТСМ. Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України: матер. VI Міжнар. наук.-техн. конф. / ТДАТУ. Мелітополь, 2015. С. 8-10.

10. Журавель Д. П. Забезпечення надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видах паливо-мастильних матеріалів. Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник тез доповідей XVII міжнародної наукової конференції / СНАУ. Суми, 2016. С. 163-164.