

2. ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ ВУЗЛІВ ДЕТАЛЕЙ ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН І ОБЛАДНАННЯ

УДК 621.891

АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ В АБРАЗИВНІЙ МАСІ

І.С. Крук, канд. техн. наук, доц.,

Білоруський державний аграрний технічний університет, м. Мінськ, Білорусь

К.В. Борак, канд. техн. наук,

Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна

Питаннями математичного моделювання процесу зношування в абразивній масі займалися У.А. Ікрамов, М.М. Тененбаум, М.М. Сєверньов, М.М. Хруцов, Б.І. Костецький, В.В. Аулін та інші.

У.А. Ікрамов запропонував математичну модель для визначення величини зносу при мікрорізанні початково-вільними абразивними частинками:

$$U_{\delta} = I_h L 10^3, \quad (1)$$

де U_{δ} – знос при мікрорізанні початково-вільними абразивними частинками;

L – шлях тертя;

I_h – інтенсивність абразивного зношування:

$$I_h = \frac{h b n_a}{A_a} 10^{-6}, \quad (2)$$

де h – глибина входження абразивної частинки в матеріал деталі;

b – ширина подряпини;

n_a – кількість абразивних частинок;

A_a – номінальна площа контакту.

Ширина подряпини у відповідності може бути розрахована за формулою:

$$b = 1,4 R_a, \quad (3)$$

де R_a – радіус абразивної частинки.

Зношування в реальній абразивній масі може носити змішаний характер. Тоді сумарний знос можна буде визначити із залежності:

$$U = U_v + U_{\delta}, \quad (4)$$

де U_v – знос при полідеформаційному руйнуванні:

$$U_v = V_v \frac{n_M}{e^{\lambda} - 1}, \quad (5)$$

де V_v – об'єм одиничного пошкодження матеріалу при полідеформаційному процесі;

n_M – число актів мікрорізання;

λ – степеневий показник:

$$\lambda = \frac{n_p}{n_d}, \quad (6)$$

де n_p – число циклів руйнування;

n_d – число циклів пластичного деформування.

М.М. Тененбаум увів поняття критичного степеню змішаності деформуючих і ріжучих частинок $\left(\frac{n_M}{n_{\dot{A}}}\right)_{\dot{\epsilon}\delta}$, який відповідає відношенню зносу при полідеформаційному й прямому руйнуванні:

$$\left(\frac{n_M}{n_D}\right)_{кр} = \frac{\ln\left(1 + \frac{V_v}{V_\delta}\right)}{n_p}, \quad (7)$$

При $V_\delta=V_v$ і значенню числа циклів до руйнування $n_p=10\dots10^3$ $\left(\frac{n_M}{n_{\dot{A}}}\right) = 0,07\dots7\%$.

Відповідно, навіть при малій кількості зерен, які ріжуть поверхню, вони зношують поверхню тертя більше, ніж в результаті пластичної деформації.

У роботі М.М. Тенебаума запропоновано визначати знос матеріалу в результаті зношування в абразивній масі за математичною залежністю:

$$U = \int_{\sigma_{MT}}^{\sigma_{МП}} f(\sigma_M)\Phi_1(\sigma_M)d\sigma_M + \int_{\sigma_{МП}}^{\sigma_{M2}} f(\sigma_M)\Phi_2(\sigma_M)d\sigma_M, \quad (8)$$

де $\Phi_1(\sigma_M), \Phi_2(\sigma_M)$ – характеристика збільшення об'ємів одиничного руйнування поверхневого шару з ростом напруження в діапазоні $\sigma_{i\delta} - \sigma_{i2}$, умовно віднесено до одного акту механічної дії при певному значенні напружень.

Рівняння (8) мало б розрахунковий характер (з відомими функціями $f(\sigma_M), \Phi_1(\sigma_M), \Phi_2(\sigma_M)$), якщо б інші властивості матеріалів залишалися при зношуванні незмінними.

Проф. М.М. Севернев запропонував математичну залежність для визначення величини зносу деталей ґрунтообробних машин:

$$U = U_{em} m_{em} \varepsilon \frac{k_\gamma}{k_H}, \quad (9)$$

де m_{em} – питомий знос еталонним абразивом при відносній швидкості переміщення $v_{\dot{\epsilon}\delta}=1$ см/с за час $t=1$ с площа тертя $S=1$ см², і тиску абразиву $p=1$ кГ/см²;

ε – відносний знос матеріалу;

k_γ – величина відношення об'ємної маси деталі до об'ємної маси еталонного зразка;

k_H – величина відношення твердості деталі до твердості еталонного зразка;

U_{em} – знос еталонного зразка еталонним ґрунтом:

$$U_{em} = k'' \frac{pv_{\dot{\epsilon}\delta} t S \gamma_{em}}{H_{em}}, \quad (10)$$

де k'' – коефіцієнт пропорційності;

p – питомий тиск на зразок;

γ_{em} – об'ємна вага еталонного зразка;

H_{em} – твердість еталонного зразка.

У праці Б.І. Костецького з мікроскопічної точки зору зношування різальних елементів ґрунтообробних машин на основі класичної схеми протікання процесу описано стохастичним диференціальним рівнянням:

$$\frac{dU}{dt} = \varphi(U, t) + \psi(U, t)\xi(t), \quad (11)$$

де $U(t)$ – функція відносного зносу;

$$U(t) = \frac{u(t)}{u_{\dot{\epsilon}p}}, \quad u(t) - \text{поточний знос};$$

u_{zp} – граничний знос;

$\varphi(U, t), \psi(U, t)$ – детерміновані функції, що характеризують інтенсивність зносу;

$\xi(t)$ – випадкова складова;

t – тривалість зношування.

Випадкова функція $U(t)$ описує безперервний марківський процес, якщо значення функції $\xi(t)$ – незалежні випадкові величини.

У існуючих математичних моделях зносу деталей машин, що працюють в абразивній масі, можна відмітити наступні недоліки: громіздкість і незручність використання, не враховано можливість зношування матеріалів різних властивостей (на одній деталі), обмеженість набору параметрів, які впливають на знос та складність, а іноді й неможливість їх вирішення за допомогою ПК.