A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2012

CONSIDERAŢII ASUPRA UZURII DE ABRAZIUNE

Liviu SUCIU, Mihaela SUCIU, Marius GHEREŞ, Gavril BÂLC,
Victor ROŞ, Mircea BEJAN

CONSIDERATIONS SUR L'USURE D'ABRASION

L'article présente des considérations sur l'usure d'abrasion, avec référence aux pompes des machines pour la protection des plantes. Pendant le fonctionnement des pièces ou des systèmes mécaniques complexes apparaît la modification des dimensions et de la qualité des surfaces en contact par l'intervention des substances chimiques pompées, ce qui amène, assez souvent, au blocage, par apparition de l'usure d'abrasion. On donne aussi la loi d'usure d'abrasion et quelques considérations sur le coefficient d'usure d'abrasion.

Cuvinte cheie: uzura de abraziune, deformare plastică, micro-aşchiere, forţa normală de penetrare, uzura liniară, coeficient de uzură
Mots-clés: l'usure par abrasion, déformation plastique, micro-découpe force normale de pénétration, usure linéaire, le coefficient d'usure

1. Introducere

În timpul funcţionării unei piese sau a unui sistem mecanic complex apare, inevitabil, fenomenul de degradare progresivă, ce se manifestă printr-o modificarea nedorită a dimensiunilor şi a calităţii suprafeţelor pieselor în timpul funcţionării, suprafeţe supuse acţiunii unor corpuri solide, lichide sau gazoase, prin agresiuni fizice şi/sau chimice. Există şase tipuri fundamentale de uzuri, ce pot apărea la frecarea uscată şi/sau în prezenţa lubrifianţilor sau a altor substanţe: uzura de aderenţă, uzura de abraziune, uzura de oboseală superficială, uzura de coroziune, uzura de impact şi uzura de îmbătrânire. Procesul

de uzură apare datorită unor fenomene predominante de natură termofizică, mecanică şi/sau chimică. În funcţie de aceste fenomene, uzura poate fi: uzură liniară, ce se măsoară perpendicular pe suprafaţa de frecare şi se exprimă în μm; uzura masică, care se exprimă în g; uzura volumică ce se exprimă în mm^3; uzura planimetrică, ce se exprimă în mm^2 şi este măsurată perpendicular pe suprafaţa de uzură.

2. Uzura de abraziune

Uzura de abraziune este provocată de prezenţa particulelor dure între suprafeţele în contact. Ea este uşor de recunoscut după urmele orientate pe direcţia de mişcare, (figura 1.). Această uzură se manifestă atât sub formă de deformări plastice şi detaşări de microparticule metalice (figura 1, a), cât şi sub formă de micro-aşchieri (figura 1, b).

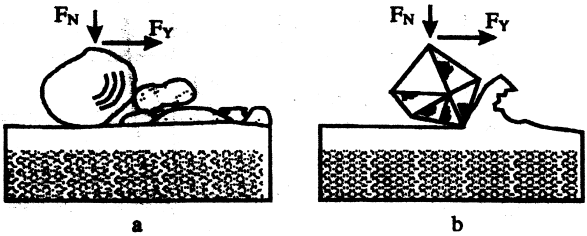

Fig. 1 Uzura de abraziune. a. deformare plastică; b. micro aşchiere

La pompe, uzura de abraziune apare datorită frecărilor dintre piston şi cilindru, dintre segmenţi şi piston, dintre tija pistonului şi garniturile de etanşare, sau/şi în toate articulaţiile mecanismului de antrenare la pompele cu piston. La toate tipirile de pompe se produce uzura de abraziune în cazul pompării lichidelor ce conţin particule şi micro-particule în suspensie. Aceste particule se strecoară între piesele în mişcare relativă accentuând micro şi macro aşchierea. La toate pompele rotative apare uzura dintre garniturile de etanşare şi piesele în mişcare de rotaţie. La pompele cu role uzura de abraziune se produce la frecarea dintre role, stator şi rotor. Când rotirea pompei se face în gol, rolele se uzează foarte rapid datorită rezistenţei scăzute la frecarea uscată a materialului din care sunt confecţionate. Fenomene asemănătoare se produc şi în cazul pompelor cu paleţi.

2.1. Legea uzurii de abraziune

Legea uzurii de abraziune se poate deduce plecând de la ipoteza că o particulă abrazivă de formă conică sub acţiunea unei

sarcini elementare dF_N, pătrunde la o adâncime x într-un material de duritate HB şi care detaşează un volum elementar de material ΔV prin deplasare relativă cu o lungime elementară Δl. În acest caz:

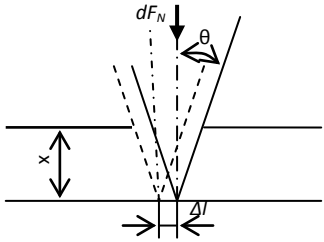

Fig. 2

Legea uzurii de abraziune

$$\mathrm{tg}\theta = \frac{d}{2}\frac{l}{x} \tag{1}$$

astfel că:

$$\Delta V = 2\frac{d}{2}x\frac{1}{2}\Delta l \tag{2}$$

sau:

$$\Delta V = x^2 \Delta l\, \mathrm{tg}\theta \tag{3}$$

Forţa normală de penetrare a granulei abrazive este direct proporţională cu secţiunea maximă a jumătăţii conului: $\frac{1}{2}\frac{\pi d^2}{4}$ (4)

şi duritatea materialului HB. Astfel, se deduce: $F_N = \frac{1}{2}\frac{\pi d^2}{4}HB$ (5)

sau: $$F_N \frac{1}{2}\pi x^2 HB\, \mathrm{tg}^2\theta \tag{6}$$

În baza acestor relaţii se poate scrie:

$$V = \frac{2F_N l}{\pi HB\, \mathrm{tg}\theta} \tag{7}$$

Împărţind ambii membri cu aria aparentă de contact A_a, rezultă uzura liniară u:

$$u = \frac{k_l\, p_m\, l}{HB} \tag{8}$$

unde: p_m este presiunea medie de contact.

Dacă se consideră presiunea de curgere a materialului:

$$p_c = \frac{HB}{3} \tag{9}$$

se obţine:

$$u = \frac{k\,p_m\,l}{p_c} \tag{10}$$

Coeficientul k are următoarele valori: k = (2,8 – 4)$\cdot 10^{-2}$ pentru metale, k = 0,01 pentru particulele abrazive rotunjite şi k = (0,01 – 0,1) pentru hârtia abrazivă.

În funcţie de particularităţile geometrice ale diferitelor cuple de frecare (angrenaje, rulmenţi, lagăre cu alunecare, variatoare cu fricţiune, lanţuri, piston-cilindru etc.) se pot deduce expresiile factorului cinematic k şi indicarea cazului cel mai defavorabil.

În tabelul de mai jos sunt prezentate valorile vitezei de uzură a pieselor din OLC45, în funcţie de mărimea particulelor abrazive şi a presiunii de contact, la o viteză de alunecare de 1,5 m/s.

Viteza de uzare în funcţie de presiune şi mărimea particulelor

Viteza de alunecare relativă, v_a, în m/s	Mărimea particulelor abrazive				
	0,1 – 0,25	0,25 – 0,5	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0	2,0 – 3,0
0,015	8	18	35	70	145
0,030	14	33	169	410	610
0,650	22	61	210	730	904

În urma unor încercări complexe, în condiţii de mediu şi de solicitări diverse, se pot stabili algoritmi de calcul pentru determinarea nivelului uzurii e abraziune, cât mai apropiat de realitate.

În cazul în care particulele solide abrazive, aflate în suspensie în fluidul de lucru al unor cuple de frecare (statorul sau paletele turbinelor pompelor centrifuge, camerele de lucru, supapele si membranele pompelor cu membrană, pereţii şi coturile unor conducte prin care se transportă fluide cu particule in suspensie etc.), particule din lichid lovesc suprafaţa solidă. În zona de contact are loc un procese de alunecare al particulei şi de deformare a suprafeţei. Prezenţa mişcării relative a particulelor şi acţiunea lor repetată asupra suprafeţei fac ca în zona de contact să apară particule de uzură, modificând treptat forma suprafeţei, astfel că după un anumit timp suprafaţa să fie scoasă din funcţionare. Investigaţiile şi observaţiile experimentale dovedesc că procesul de uzare prin eroziune este influenţat de direcţia

şi viteza jetului purtător de particule solide precum şi de caracteristicile mecanice ale suprafeţei. În figura 3 se schematizează principalele mecanisme posibile de apariţie a uzurii de abraziune.

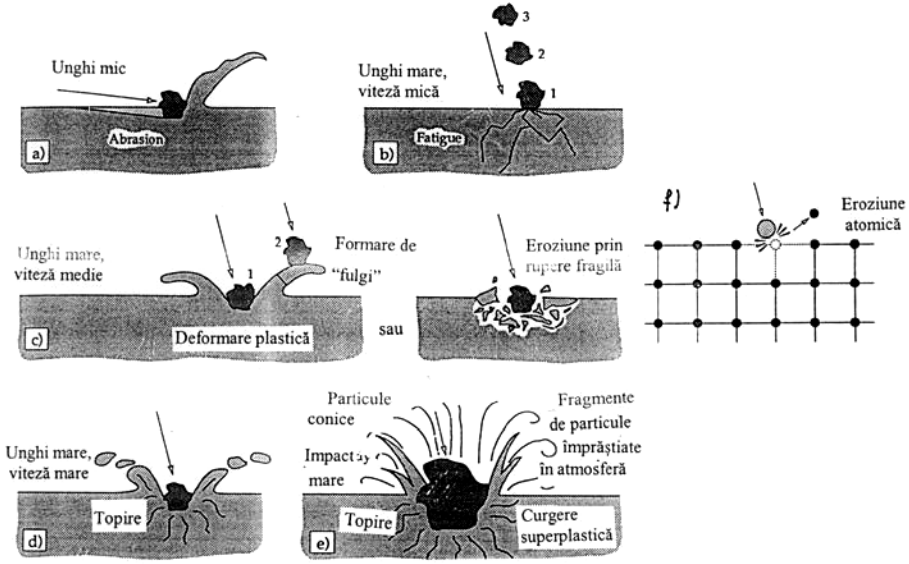

Fig. 3 Mecanisme de apariţie a eroziunii: a) abraziune la unghiuri de impact mici; b)oboseală superficială la viteze mici şi unghiuri de impact mari; c) rupere fragilă sau deformaţii plastice multiple cu viteze medii şi unghi mare de impact; d) topirea suprafeţei la viteze de impact mari; e) eroziune macroscopică cu efecte secundare; f) degradarea reţelei cristaline prin impactul atomilor

Pentru analiza principalilor parametri care influenţează uzarea prin eroziune, se defineşte intensitatea de uzare prin eroziune (I_{er}) ca raportul dintre masa materialului îndepărtat prin uzare de pe suprafaţă (m_{uz}) şi masa particulelor abrazive care au contribuit la uzare (m_{ab}) şi care se consideră de formă sferică:

$$I_{er} = \frac{m_{uz}}{m_{ab}} = \frac{V\rho_m}{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{ab} n_{ab}} \qquad (11)$$

unde: V este volumul de material uzat; ρ_m - densitatea materialului suprafeţei uzate; r – raza particulei abrazive, considerată de formă

sferică; ρ_{ab} - densitatea materialului particulei abrazive; n_{ab} - numărul particulelor abrazive ce lovesc suprafaţa respectivă.

Pentru calculul intensităţii de uzare prin eroziune se consideră modelul, potrivit căruia apariţia particulei de uzură are la bază oboseala cauzată de frecarea particulei abrazive în procesul de ciocnire şi deformare a suprafeţei. Sub acţiunea energiei cinetice, particula abrazivă deformează suprafaţa şi alunecă relativ faţă de aceasta, generând o forţă de frecare. Numărul ciclurilor la care apare particula de uzură depinde de starea de deformaţie a suprafeţei.

Pentru deformaţii elastice, n se determină cu

$$n_e = \left[\frac{3\pi\sigma_0\theta}{4k\mu}\sqrt{\frac{r}{h}}\right]^t = k_e^t\left(\frac{r}{h}\right)^{\frac{t}{2}}, \qquad (12)$$

$k_e = \frac{3\pi\sigma_0\theta}{4k\mu}$ fiind constantă în raport cu lungimea de frecare, iar pentru deformaţii plastice:

$$n_p = \left(\frac{e_0}{2}\sqrt{\frac{\sigma_c - 2\mu HB}{\sigma_c + 2\mu HB}}\right)^t\left(\frac{r}{h}\right)^{\frac{t}{2}} = k_p^t\left(\frac{r}{h}\right)^{\frac{t}{2}} \qquad (13)$$

$$k_p = \frac{e_0}{2}\sqrt{\frac{\sigma_c - 2\mu HB}{\sigma_c + 2\mu HB}}$$

fiind constant în raport cu lungimea de frecare, unde:

μ - coeficientul de frecare;
θ- parametrul de elasticitate;
σ_o - tensiunea de rupere la tracţiune a materialului;
k - constantă ce ia în considerare ipoteza de rupere;
e_o - deformaţia relativă la rupere prin întindere;
σ_c – rezistenţa la curgere a materialului;
HB - duritatea, în unităţi Brinell, a suprafeţei.

3. Concluzii

■ Se prezintă consideraţii asupra uzurii de abraziune, cu referinţe la pompele de la maşinile pentru protecţia plantelor. În timpul funcţionării pieselor sau sistemelor mecanice complexe apare modificarea dimensiunilor şi calităţii suprafeţelor în contact prin intervenţia substanţelor chimice pompate, ceea ce duce, destul de des,

la blocaj, prin apariţia uzurii de abraziune. Modificarea calităţii suprafeţelor în mişcare relativă prin intervenţia factorului chimic din substanţele pompate duce, la uzuri cantitative foarte mari, prin apariţia uzurii de abraziune.

■ S-a făcut o clasificare generală a uzurilor și s-au dat principalii parametri ce caracterizează uzura de abraziune; s-a dat apoi legea de bază a uzurii de abraziune şi câteva consideraţii asupra coeficientilor de uzură de abraziune. Prin încercări complexe în condiţii de mediu şi solicitări diverse se pot stabili algoritmi de calcul ai nivelului de uzură, cât mai aproape de realitate.

■ Stabilirea parametrilor ce caracterizează uzura în general şi a parametrilor ce caracterizează uzura de abraziune în special, având un caracter empiric, aduc o completare importantă a cunoştinţelor în domeniul pompelor de la maşinile pentru protecţia plantelor, prin studierea aprofundată a lor. Condiţiile speciale de dezvoltare a uzurii la pompele care vehiculează diverse categorii de substanţe agresive, chimic şi/sau fizic, au un curs specific.

■ Modificarea calităţii suprafeţelor în mişcare relativă prin intervenţia factorului chimic din substanţele pompate duce, nu rareori, la uzuri cantitative foarte mari, prin uzura de abraziune. Prin încercări complexe în condiţii de mediu şi solicitări diverse se pot stabili algoritmi de calcul ai nivelului de uzură, cât mai aproape de realitate. Cunoaşterea acestor parametri cu suficientă precizie elimină o bună parte dintre factorii de risc, prin proiectarea adecvată privind funcţionarea la parametrii ceruţi ai pompelor de la maşinile pentru protecţia plantelor.

■ Complexitate calculului coefcienţilor şi parametrilor ce caracterizează uzura poate fi uşurată prin utilizarea metodei matricelor de transfer.

BIBLIOGRAFIE

[1] Baron, T., *Calitatea si fiabilitatea produselor*, Bucureşti, Editura didactică și pedagogică, Bucureşti**,** 1998.

[2] Băţagă, N., Burnete, N., Căzilă, A., Rus, I., Sopa, S., Teberean, I., *Motoare cu ardere internă,* Editura didactică și pedagogică, Bucureşti, 1995.

[3] Bungescu, S.T., Pape, J., Stahli, W., *Mijloace aeriene pentru aplicarea tratamentelor fitosanitare şi fertilizarea culturilor agricole şi silvice*, Editura Mirton, Timişoara, 2004.

[4] Căproiu, Șt., Scripnic, V., Babiciu, P., Ciubotaru, C., Roş, V., *Maşini agricole de lucrat solul, semănat şi întreţinerea culturilor*, Editura didactică și pedagogică, Bucureşti, 1982.

[5] Cordoş, N., Filip, N., *Fiabilitatea autovehiculelor*, Editura Todesco, Cluj-Napoca, 2000.
[6] Cristea, Gh., Borangic, C., *Maşini, Utilaje, Instalaţii*, Editura Ceres, Bucureşti 1978.
[7] Dogendorff, N., Aungurence Goian, M., Sfetcu, L., Goian Maria, *Utilizarea maşinilor pentru protecţia plantelor*, Editura Facla, Timişoara, 1981.
[8] Enrick, N.L., *Quality Control and Reliability* (sixth edition), New York, Industrial Press Inc., 1972.
[9] Ionuţ, V., Moldovanu, Gh., *Tehnologia reparării utilajului agricol*, Editura didactică și pedagogică, Bucureşti, 1976.
[10] Ionuţ, B., Rus, I., Ionuţ, V., Ştirbei, I., Moldovanu, Gh., *Mentenanţă, Mentenabilitate, Tribologie şi fiabilitate,* Editura Sincron, Cluj-Napoca, 2003.
[11] Iosifescu, M., Grigorescu, S., Oprişan Gh., Popescu, Gh., *Elemente de modelare stohastică,* Editura tehnică, Bucureşti, 1984.

Drd. Ing. Liviu SUCIU
Director administrativ, Facultatea de Construcţii,
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, membru AGIR
e-mail: liviut2009@gmail.com
Prof. Dr. Ing. Lingv. Mihaela SUCIU
Facultatea de Mecanică, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
membru AGIR
e-mail: mihaelaica2007@yahoo.fr
Conf. Dr. Ing. Marius GHEREŞ
Facultatea de Mecanică, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
membru AGIR
Prof. Dr. Ing. Gavril BÂLC
Facultatea de Mecanică, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
membru AGIR
Prof. Dr. Ing. Victor ROŞ
Facultatea de Mecanică, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
membru AGIR
Prof. Dr. Ing. Mircea BEJAN
Facultatea de Mecanică, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Președintele Filialei Cluj a AGIR