A XIII-a Conferinţă Naţională multidisciplinară – cu participare internaţională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2013

FENOMENELE DE FRECARE ÎNTRE LAMELELE CUPLAJELOR ELECTROMAGNETICE (I)

Gheorghe SCHEAU, Mircea TELESCU,Titu-Florin COCIAN

FRICTION PHENOMENONS BETWEEN LAMELLAS OF ELECTROMAGNETIC CLUTCH (I)

The paper presents the basic elements of friction phenomenons between lamellas of electomagnetic clutch, after dissertation of Corneliu Cashin Ph. D.

Cuvinte cheie: fenomenul de frecare, cuplaje electromagnetice
Keywords: the phenomenon of friction, electro-magnetic couplings

1. Generalităţi

Frecarea este un fenomen care apare ori de câte ori are loc un contact mecanic între două sau mai multe corpuri aflate în mişcare relativă, un fenomen este deosebit de complex, fiind însoţit de apariţia unei serii de procese mecanice, chimice, electrice etc., dependente unele în raport cu celelalte. Caracteristica esenţială a fenomenului de frecare o constituie apariţia unei forţe de frecare asemănătoare forţelor reactive care se opune forţelor exterioare care determină mişcarea relativă.

Primele cercetări în domeniu au fost făcute de Leonardo da Vinci (1508), care a explicat pentru prima dată sensul coeficientului de frecare, ca mărime caracteristică diferitelor corpuri. În 1699, G. Amontons, confirmă aceste legi, iar în 1785, Coulomb stabileşte, pentru prima dată diferenţa dintre frecarea statică şi frecarea dinamică, dovedind că frecarea dinamică este sensibil mai mică decât frecarea statică.

Cercetările lui Coulomb au condus la formularea, pentru prima dată, a concepţiei conform căreia frecarea se datoreşte, în primul rând agăţării rugozităţilor celor două suprafeţe în contact, iar în al doilea rând aderenţei dintre suprafeţele microneregularităţilor, fenomen dependent de valoarea suprafeţei total de contact. Caracterul dublu al frecării a fost exprimat prin relaţia:

$$F = A + f \cdot N \qquad (1)$$

unde, F este forţa de frecare, A - constantă care caracterizează capacitatea de aderenţă a corpurilor, N - forţa exterioară normală, iar f - un coeficient de proporţionalitate.

În secolul XX, legea lui Coulomb a fost exprimată sub forma redusă:

$$F = f \cdot N, \qquad (2)$$

expresie cunoscută sub denumirea de legea lui Amontons-Coulomb.

2. Frecarea cuplajelor electromagnetice

Valoarea momentului comutabil pe care îl poate dezvolta un cuplaj electromagnetic în perioada procesului tranzitoriu de ambreiere, depinde în cea mai mare măsură de proprietăţile cuplului de materiale utilizat în construcţia pachetului de lamele, proprietăţi care pot fi parametru caracterizate printr-un parametru complex numit forţa de frecare specifică:

$$\tau(t) = f(t) \cdot p(t) \left[\frac{N}{cm^2} \right], \qquad (3)$$

unde: $f(t)$ - este coeficientul de frecare dinamică, $p(t)$ - presiunea specifică pe suprafaţa lamelei $\left[\frac{N}{cm^2} \right]$

Dacă se consideră că, în perioada procesului de ambreiere, atât coeficientul de frecare cât şi presiunea specifică sunt funcţii de variabila timp, numai o analiză aprofundată a comportării acestor parametri, precum şi determinare unor expresii matematice care să descrie dependenţa lor de factorii specifici procesului de ambreiere, ne vor permite să studiem fenomenele şi legile care determină dezvoltarea momentului comutabil în cazul CEM_f

Dintre cei doi termeni care intervin în expresia forţei specifice de frecare, presiunea specifică poate fi exprimată pornind de la expresia cunoscută a forţei de atracţie exercitată CEM_f asupra armăturii, respectiv,

$$p(t)=\frac{P(t)}{S}=\frac{1}{2}\cdot\frac{W_s^2}{\frac{l_m}{\mu}+\frac{\delta_k}{\mu_0}}\cdot I_n^2\cdot\left(1-e^{-\frac{t}{T}}\right)^2=$$
$$=p_{max}\cdot\left(1-e^{-t^*}\right)^2 \tag{4}$$

unde: W_s - reprezintă numărul de spire al bobinei, l_m şi δ_k sunt lungimile circuitului în miezul magnetic şi intrefier (m), μ şi μ_0 - permeabilităţile circuitului magnetic şi ale aerului $\left(\frac{H}{m}\right)$, I_n - curentul nominal (A), T - constanta de timp (s), t^* - timpul, în unităţi relative $\left(t^*=\frac{t}{T}\right)$.

Problema cea mai complexă, în cazul de faţa, o constituie determinarea expresiei analitice a coeficientului de frecare. Pe baza datelor actuale, coeficientul de frecare depinde de presiunea specifică p, viteza relativă de alunecare v şi un vector specific cuplului de frecare C:

$$f=A\{p,v,C\}. \tag{5}$$

Cele mai importante interacţiuni ale procesului de frecare sunt determinate de presiunea specifică şi viteza de alunecare, deoarece acestea sunt interacţiuni care determină nivelul şi gradienţii deformaţiilor elastice şi plastice, temperatura în zona de frecare, nivelul de activare al suprafeţelor în contact etc.

În perioada de mişcare relativă a două corpuri, legăturile de fricţiune care se formează în interiorul stratului intermediar se distrug şi se formează altele succesiv, iar la viteze mari acest proces conduce la creşterea temperaturii, care în unele cazuri se ajunge la topirea unor particule de material, având punctul de fuziune mai coborât. Se poate concluziona că, stratul intermediar dintre cele două corpuri în contact, aflate în mişcare relativă, se găseşte în stare de continuă modificare a formei, ca şi cum ar ”curge” în interiorul spaţiului îngust dintre cele două corpuri, elementele sale componente găsindu-se într-o continuă mişcare, deoarece în acest strat se concentrează o importantă cantitate de energie, din energia totală necesitată de desfăşurarea procesului de frecare. În acest fel se poate spune că forţa de frecare unitară, corespunzătoare distrugerii legăturii de adeziune care se formează în

interiorul stratului intermediar, este dependentă de rezistenţa acestei legături, care se apreciază prin energia U necesară pentru distrugerea ei:

$$\tau_a = a \cdot e^{\frac{U}{\theta \cdot K}} \tag{6}$$

unde: a este factor de proporţionalitate; θ - temperatura în stratul intermediar; K - constanta lui Bolzman.

Se va ţine seama şi de faptul că, energie de activare necesară pentru distrugerea legăturilor formate în interiorul stratului intermediar, depinde şi de starea de tensiune în care se găsesc cele două corpuri, respectiv, de presiunea exterioară:

$$U = U_0 \pm \gamma \cdot p_i , \tag{7}$$

unde: $\gamma \cdot p_i$ reprezintă energia care trebuie consumată în sensul invers al direcţiei de acţionare al presiunii exterioare, pentru a distruge legătura de adeziune. În aceste condiţii, pentru stratul intermediar supus compresiunii:

$$\tau_a = a \cdot e^{\frac{U_0 \pm \gamma \cdot p_i}{\theta \cdot K}} \tag{8}$$

unde: γ - un coeficient care caracterizează mărimea spaţiului parcurs pentru distrugerea legăturii de adeziune.

Prin dezvoltarea în serie a relaţiei (8}, se obţine:

$$\tau_a = a \cdot \left(1 + \frac{U_0}{\theta \cdot K} \pm \frac{\gamma \cdot p}{\theta \cdot K} \right). \tag{9}$$

Se notează: $a + \frac{a \cdot U_0}{\theta \cdot K} = \tau_0$ şi $\frac{a \cdot \gamma}{\theta \cdot K} = \beta$,

se obţine expresie binomială a legii frecării moleculare:

$$\tau_a = \tau_0 \pm \beta \cdot p_i , \tag{10}$$

respectiv,

$$f_a = \frac{\tau}{\rho_i} = \frac{\tau_0}{\rho_i} \pm \beta = f_0 \pm \beta . \tag{11}$$

Pe lângă energia utilizată pentru distrugerea legăturilor de adeziune, conform ipotezei mecanice a frecării bazată pe interacţiunea rugozităţilor suprafeţei, o parte din energia necesară desfăşurării procesului de frecare este utilizată pentru deformarea plastică a microneregularităţilor celor două suprafeţe, care se întrepătrund. Pentru

a putea calcula această componentă a procesului de frecare se va considera una dintre aceste microneregularităţi asimilată cu o calotă sferică după cum se prezintă în figura 1

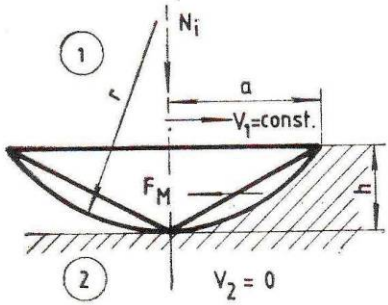

Fig. 1 Reprezentarea schematică a forţei de frecare mecanice determinată de o microneregularitate sferică [1]

Se consideră microneregularitatea aparţinând corpului 1 şi reprezentată schematic sub forma unei calote sferice, acţionând pe adâncimea h asupra microneregularităţilor corpului 2, considerat nedeformabil.

Secţiunea calotei sferice într-un plan perpendicular pe direcţia de mişcare cu viteză constantă poate fi aproximată cu suprafaţa triunghiului înscris, respectiv, $S_0 = h \cdot a$. Dacă limita de curgere a materialului corpului 1, căruia îi aparţine microneregularitatea sferică este σ_c, atunci forţa necesară pentru deformaţia plastică a microneregularităţii, care reprezintă componenta mecanică a forţei unitare de frecare, va fi: $\tau_M = h \cdot a \cdot \sigma_c$. Forţa exterioară unitară care acţionează asupra acestei microneregularităţi fiind: $N_1 = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot a^2 \cdot p_i$, considerând ca numai jumătate din secţiunea cercului de bază al calotei sferice preia forţa exterioară, iar dacă, $\sigma_c \cong p_i$, componenta mecanică a coeficientului de frecare va fi:

$$f_M = \frac{\tau_M}{N_i} = \frac{2 \cdot h}{\pi \cdot a}. \qquad (12)$$

Se consideră $a \cong \sqrt{2 \cdot r \cdot h}$, se va obţine:

$$f_M = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{h}{r}} = 0,45 \cdot \sqrt{\frac{h}{r}}. \qquad (13)$$

Ținând seama de aproximările făcute, se consideră o valoarea mai exactă, rezultată prin relaţia: $f_M = 0,55 \cdot \sqrt{\frac{h}{r}}$. (14)

Raportul h/r poate fi exprimat în funcţie de sarcina exterioară unitară, corespunzătoare unei microneregularităţi, astfel:

$$N_i = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (2 \cdot r \cdot h) \cdot \sigma_c = \pi \cdot h \cdot \sigma_c ,$$

din care:

$$h = \frac{N_i}{\pi \cdot r \cdot \sigma_c} .$$

Substituind h, în relaţia (14), rezultă:

$$f_M = 0,55 \cdot \sqrt{\frac{N_i}{\pi \cdot r^2 \cdot \sigma_c}} = \frac{0,31}{r} \sqrt{\frac{N_i}{\sigma_c}} . \qquad (15)$$

Deoarece coeficientul de frecare este determinat, pe de o parte de adeziunea microneregularităţilor, iar pe de altă parte de interacţiunea mecanică a celor două corpuri, cele două componente se vor însuma şi rezultă:

$$f = f_a + f_M = \frac{\tau_0}{p_i} \pm \beta + \frac{0,31}{r} \cdot \sqrt{\frac{N_i}{\sigma_c}} . \qquad (16)$$

BIBLIOGRAFIE

[1] Caşin, C.M., *Cuplaje electromagnetice în construcţia de maşini. Alegerea tipului, dimensionare, sisteme de comandă şi alimentare, montaj exploatare, întreţinere,* I.P.Sibiu, 1990.

Drd.Ing. Gheorghe SCHIAU
S.C. Uzina Mecanică Cugir S.A.

Drd.Ing. Mircea TELESCU
Societatea Naţională de Radiodifuziune.
Direcţia Operaţională Radiocomunicaţii Timişoara

Drd.Ing. Titu-Florin COCIAN
S.C. Fabrica de Arme Cugir S.A.