

# INFLUENȚA RECIPROCĂ CALITATIVĂ-CANTITATIVĂ A PARAMETRILOR DE INTRARE ȘI IESIRE PENTRU CONTACTUL LINEAR USCAT ÎNTRE OȚEL ȘI POLIMERII COMPOZIȚI ARMAȚI CU FIBRE DE STICLĂ

Dorin Rus Mechanical Department, University of Civil Engineering, Bucharest, 59 Plevnei Way, 5<sup>th</sup> district. Bucharest, 050153, Romania, [rusdorin@gmail.com](mailto:rusdorin@gmail.com) ; [www.dorinrus.com](http://www.dorinrus.com)

**Abstract:** *Am încercat o prezentare a corelației cantitativă-calitativă bazată pe experimentări între valorile și evoluția coeficientului de frecare, uzarea suprafeței metalice și temperatura de contact pentru contactul linear uscat pentru materialele termoplastice compozite armate cu fibre de sticlă pe suprafețe metalice diferite și influența parametrilor de intrare și de ieșire ale tribosistemului. Astfel parametrii de intrare se modifică în mod continuu respectiv coeficientul de frecare, uzarea, temperatura de contact depind de încărcare și de diferitele materiale termoplastice și contactul cu diferite suprafețe metalice. Pe baza studiilor în extenso am putut realiza o imagine grafică a evoluției fenomenului. Am găsit experimental o conexiune teoretică între determinările experimentale și cunoscuta relație Archard pentru uzarea adezivă.*

## 1. Introducere

Materialele compozite termoplastice sunt materiale bifazice și sunt constituite dintr-o masă de material polimeric și elemente de ranforsare care măresc parametrii de rezistență, respectiv parametrii fizico-chimici. Rolul de bază al polimerului este în primul rând mecanic și are rolul de a transmite eforturile prin intermediul fibrelor armate. Pentru asigurarea adeziunii este nevoie de atingerea parametrilor chimici specifici pentru fiecare material în parte.

Bowdon și Tabor [1] descoperă experimental valoarea coeficientului de frecare al metalului 'curat' pe plastic. Jacobi [2] prezintă pentru poliamidele armate cu fibre de sticlă, valori ale coeficientului de frecare între 0.04 și 0.5. Bilik [3] determină coeficientul de frecare poliamidă/oțel peste 0.2. Clerico [4] studiind frecarea cuplei poliamidă/metal descoperă că acest coeficient de frecare are valori mai mari pentru perioadele scurte decât pentru cele lungi. Hruscirov și Babicev [5, 6] arată creșterea microfisurilor concomitant cu creșterea cantității de polimer. Bely [7], Bartenev și Laventiev [8] au descoperit că acest coeficient de frecare crește dacă fibrele de sticlă au altă orientare decât aceea a polimerului de bază. Watanabe și al [9] au explicat influența temperaturii și valoarea coeficientului de frecare prin intensificarea transferului de material plastic pe suprafața de oțel. Lancaster [10] a descoperit scăderea coeficientului de frecare concomitent cu micșorarea rugozității. Barlow [11] a descoperit coeficientul de frecare între 0.1 și 0.28 pentru cupla oțel/poliamidă cu lubrifiat. West [12] a descoperit la cupla polietilenă/oțel micșorarea coeficientului de frecare de la 1.24 la 0.78, când are loc o creștere a sarcinii normale de la 10 la 5000. N. Bartenev, Lavrentiev și al [13] au stabilit că avem creșterea

frecării este logaritmică, concomitent cu mărirea alunecării. Bowden și Tabor [14] au pus în evidență importanța contactului. Jost [15] a arătat că adeziunea este preponderentă la contactul uscat poliamidă/otel. Lancaster și Evans [16] au remarcat scăderea ratei de uzare concomitant cu creșterea ungerii hidrodinamice. Shen și Dumbleton [17], au propus calcularea uzării cu o relație lineară la polietilena de înaltă densitate (UHMWPE). Myshkin [18] a constatat că pentru polimerii compoziți componenta abrazivă este mai mare decât componenta adezivă. de Chang, și al [29] au investigat tribologic două tipuri de compozite la temperatură ridicată respectiv polietheretherketone (PEEK) și polietherimida (PEI), ranforsate cu fibre de carbon. Kukureka, și al [30] au studiat trei tipuri de compozite: aramid, carbon și sticlă. Wang, și al [31], au studiat Nylon 1010 composit cu MoS<sub>2</sub> filler cu fibre scurte de carbon ca și întăritură. Cho și Bahadur [32] au preparat epruvete de poliphenylena nanosize CuO-pline cu poliphenylene sulfide compozite (PPS) ranforsate cu fibre, formate prin compresie (Kevlar). Guo și al [33] au preparat composite pe baza de epoxy pline cu particule hibride de nano-SiO<sub>2</sub> și bucăți scurte de fibre de carbon.

## 2. MATERIALE SI METODE

O instalație experimentală cu o cupla de fricțiune de tipul Timken care are contactul linear a fost folosită. Cu o plajă largă de încărcări și de viteze, cu multe posibilități de modificare a parametrilor de funcționare respectiv :presiunea de contact, temperatura și viteza de alunecare. Astfel se realizează o bună caracterizare a comportamentului tribologic al cuplei material plastic composit/oțel. Aceasta poate ajunge la presiuni foarte ridicate de contact. Testarea propriu zisă a fost prezentată în alta parte [34].

Scopul pentru care au fost efectuate testele este determinarea principalilor factori care influențează frecarea în cazul cuplelor de materiale termoplastice compozite armate cu fibre de sticlă/oțel. Este cunoscută legea lui Coulomb că forța de frecare  $F_f$  este direct proporțională cu forța normală  $N$ :

$$F_f = \mu N \quad (1)$$

Alte studii făcute mai tarziu au arătat că, coeficientul de de frecare nu este dependent numai de forța normală. Relații pentru variațiile coeficientului de frecare depind de sarcinile aplicate:

$$F_f = aN + bN^n \quad (2)$$

Sau mai simplu:

$$F_f = a + bN \quad (3)$$

sau:

$$F_f = a + bN^n \quad (4)$$

Relatia ultimă duce la concluzia că dacă forța normală este egală cu 0 forța de frecare are altă valoare decât 0 ( $F_f = a$ ). Aceasta ar putea explica prezența forței de adeziune remanentă a două suprafețe chiar și după îndepărtarea forței normale. Considerăm relația:

$$F_f = kN^n \quad (5)$$

unde  $n$  este subunitar. Coeficientul de frecare după legea lui Coulomb are  $\mu = F_f / N$ . Putem exprima coeficientul de frecare pentru material plastic compozit astfel:

$$\mu = \tau_f / p_c \quad (6)$$

unde  $\tau_f$  reprezintă efortul de rezistență al materialului, și  $p_c$  reprezintă presiunea de curgere a aceluiași material. Dar  $p_c = HB/3$ , rezultă:

$$\mu = 3\tau_f / HB \quad (7)$$

unde  $HB$  este duritatea Brinell

Ecuția (7) este în concordanță cu rezultatele preliminare.

Este cunoscut [13] că, o caracteristică a ratei de uzare poate fi făcută cu ajutorul factorului  $k$  definit în relația:

$$V_u = kNvt \quad (8)$$

unde,  $V_u$  reprezintă volumul de material îndepărtat în timpul uzării;  $N$  este sarcina normală;  $v$  este viteza relativă de alunecare;  $t$  este durata de funcționare;  $k$  este un factor de uzare.

Divizăm ambele relații cu aria normală de contact  $A$ , obținem relația:

$$V_u / A = kvtN / A \quad (9)$$

Care este:

$$h_u = kpv t \quad (10)$$

unde:  $h_u$  este adâncimea unui strat de material;  $p$  este presiunea de contact normală la suprafață.

Ecuția (10) este expresia legii generale a dependenței uzării în acord cu presiunea între cele două corpuri în contact( $p$ ), și distanța de frecare, deci  $L_f = vt$ .

Deci putem scrie:

$$k = h_u / pvt = h_u / pL_f \quad (11)$$

respectiv:

$$k^* = V_u / Nvt = V_u / NL_f \quad (12)$$

Testele de uzare au drept scop determinarea volumelor de material îndepărtate prin uzare, adâncimea straturilor îndepărtate, ratele volumetrică și lineare ale uzării pentru diferite condiții de testare.

Testele au fost facute pentru șase viteze de alunecare, 18.56, 27.85, 37.13, 46.41, 55.70 și 111.4 cm/s.[35]

### 3.REZULTATE ȘI CONCLUZII

În lucrare am arătat[37] complexitatea proceselor de frecare și uzare pentru contactul oțel pe polimer armat cu fibre scurte de sticlă, pe care am încercat să-l prezint clar din punct de vedere calitativ-cantitativ .Aceste determinări pot să fie schematizate ca o sumă de factori de intrare - iesire și influența în continuă evoluție a întregului proces tribologic (figura 1) [36],[37]

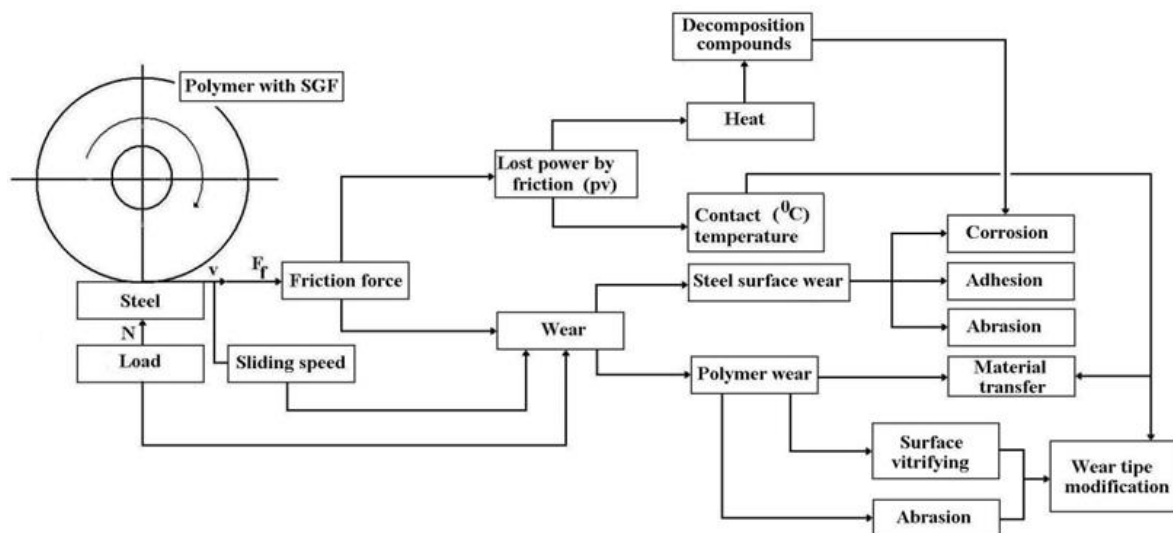


Fig. 1.Complexitatea evoluției tribosistemului în cazul contactului linear polimer armat cu fibre de sticlă-otel

Table 1. Funcția de regresie între  $(T)$ ,  $(\mu)$ ,  $(V_u)$ ,  $(h_u)$ , și sarcina normală  $(N)$

Friction couple	$v$ (cm/s)	Regression function	Correlation factor
Polyamide + 30% SGF/C120 steel	18.56	$T = 0.003 N^3 - 0.365 N^2 + 15.75 N$	$R^2 = 1$
Polyamide + 30% SGF/C120 steel	18.56	$\mu = 61.548 \ln(N) - 73.884$	$R^2 = 0.9831$
Polyamide + 30% SGF/C120 steel	18.56	$V_u = 0.0005 N^2 + 0.012 N$	$R^2 = 0.9991$
Polyamide + 30% SGF/C120 steel	18.56	$h_u = 0.0007 N^2 + 0.1099 N$	$R^2 = 0.9977$

Putem face corelații între volumul de uzură  $(V_u)$  adâncimea de uzare  $(h_u)$  sarcina normală  $(N)$ , coeficientul de frecare  $(\mu)$ , temperatura de contact  $(T)$ .

$$T = \sum_{i=0}^2 a_i N^i; V_u = \sum_{i=0}^2 b_i N^i; h_u = \sum_{i=0}^2 c_i N^i, \quad (13)$$

Ecuția dintre coeficientul de frecare  $\mu$  și sarcina normală  $N$  este

$$\mu = A \ln N + B \quad (14)$$

unde  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  și  $A$ ,  $B$  sunt determinați din funcțiile de regresie.

Din relația (13) obținem

$$V_u = \frac{b_2}{a_2} T + \left( b_1 - \frac{b_2}{a_2} a_1 \right) N + c_0 - \frac{b_2}{a_2} a_0, \quad (15)$$

sau după substituirea lui  $N$  din (14) și înlocuirea în (15) avem

$$V_u = \frac{b_2}{a_2} T + \left( b_1 - \frac{b_2}{a_2} a_1 \right) \exp[(\mu - B)/A] + c_0 - \frac{b_2}{a_2} a_0. \quad (16)$$

Similar pentru  $h_u$

$$h_u = \frac{c_2}{a_2} T + \left( c_1 - \frac{c_2}{a_2} a_1 \right) N + c_0 - \frac{c_2}{a_2} a_0, \quad (17)$$

sau

$$h_u = \frac{c_2}{a_2} T + \left( c_1 - \frac{c_2}{a_2} a_1 \right) \exp[(\mu - B)/A] + c_0 - \frac{c_2}{a_2} a_0. \quad (18)$$

Putem exprima temperatura de contact în funcție de coeficientul de frecare  $\mu$  :

$$T = \sum_{i=0}^2 a_i \exp[(\mu - B)i/A] \quad (19)$$

Se poate face și o interpretare grafică a rezultatelor experimentale figura 2[37]

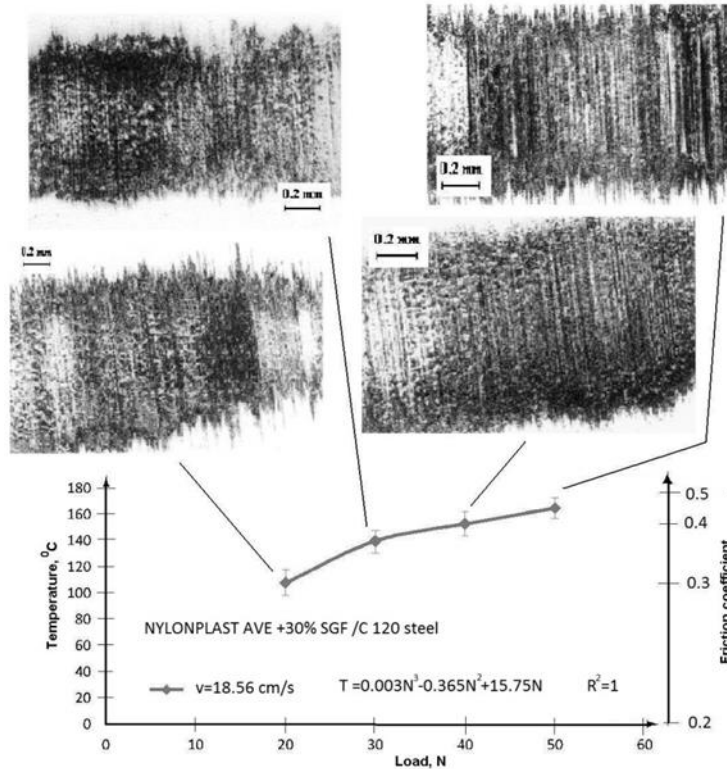


Figure 2. Evoluția uzării ca un fenomen în desfășurare continuă făcut pentru viteza de alunecare de 18.56 cm/s pentru Nylonplast AVE Polyamide + 30% SGF / C120 oțel.

Acest lucru se poate realiza pentru fiecare material termoplastic în parte [38]

### Bibliografie

- [1] Bowden F.P., Tabor D.: Friction and Lubrication. Methuen & Co. London, 1967.
- Jacobi H.R. Neue Erkenntnisse über Gleitenshaften von Polyamiden, Kunststoffe, 47 (5): 234-239 (1957).
- [2] Bilik M. Paří trenia metal-plastmassa v mařinah i mehanizmah, Izd. Mařinostroenie, Moskva, 1965.
- [3] Clerico M. A Study of the Friction Wear of Nylon against Metal, *Wear*, 13 (3): 183-197 (1969).
- [4] Hruscirov M.M. Resistance of Metals to Wear by Abrasion, as related to Hardness, Proc. Conference on Lubrication and Wear, Inst. Mech. Eng., London, 1957: 979-986.
- [5] Hruscirov M.M, Babicev M.A. Resistance to Abrasive Wear of structurally Inhomogeneous Materials. Friction and Wear in Machinery, part 2, ASME, New York, 1958, pp.5-23.
- [6] Bely V.A., Sviridenok A.I. et.al. Friction and Wear in Polymer based Materials, Pergamon Press, 1982.
- [7] Bartenev G.M., Lavrentiev V.V. Trenie i iznos polimerov, Izd. Himia, Leningrad, 1972.
- [8] Watanabe M., Korusawa M., \
- [9] Marsubara K. The Frictional Properties of Nylon, *Wear* 32 (3): 185-191 (1968).

- [10] Lancaster J.K. Lubrication of Carbon Fibre reinforced Polymers, *Wear* 28(3): 315-352 (1972).
- [11] Barlow D.A. Some Observations of the Friction Properties of Vinyl, *Wear* 20(2): 151-157 (1972).
- [12] West G.H., Senior J.M. Frictional Properties of Polyethylene, *Wear* 19(1): 37-52 (1973).
- [13] Bartenev G.M., Lavrentiev V.V., Konstantinova N.A. The actual Area and friction Properties of Elastomers under Frictional Contact with Solid Surfaces, *Wear* 18(6): 439-448 (1971).
- [14] Bowden F.P., Tabor D. *The Friction and Lubrication of Solids*, part I-II, Clarendon Press, Oxford, 1964.
- [15]. Jost H. Zum Verschleissverhalten von Polyamid, Plaste und Kautschuk 17(4): 266-270 (1970).
- [16] Lancaster J.K., Evans D.C. *Wear of Polymers in Treatise on Mat. Sci. And Technology*, Academic Press, 1979. 13-86.
- [17] Shen C., Dumbleton J.H. The Friction and Wear Behavior of Polyoximethylene in Convection with Joint Replacement, *Wear* 38(2): 291-303 (1978).
- [18] N.K. Myshkin, M.I. Petrokovets, A.V. Kovalev, Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear, and mass-transfer, *Tribology International* 38 (2005) 910-921.
- [19] B.J. Briscoe, *Friction and Wear of Polymer Composites*, Elsevier, Amsterdam, 1986, p. 25.
- [20] K.L. Johnson, K. Kendall, A.D. Roberts, Surface energy and the contact of elastic solids, *Proc. Roy. Soc. A* 324 (1971) 301.
- [21] K.L. Johnson, *Contacts Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987, 468 pp.
- [22] B.V. Deryagin, V.M. Muller, Yu.P. Toporov, Adhesive contact deformation of a single microelastic sphere. *J. Colloid Interface Sci.* 53 (1975) 314
- [23] K.L. Johnson, J.A. Greenwood, An adhesion map for the contact of elastic spheres, *J. Colloid Interf. Sci.* **192** (1997) 326.
- [24] L. Chang, K. Friedrich. Enhancement effect of nanoparticles on the sliding wear of the sliding wear of short fiber-reinforced polymer composites: A critical discussion of wear mechanisms, *Tribology International* **43** (2010) 2355-2364.
- [25] A.M. Hager, M. Davies, *Advances in Composites Tribology: Short-fiber reinforced, high-temperature resistant polymers for a wide field of tribological applications*, Elsevier Science Publishers, BV, 1993, pp. 104-157.
- [26] H. Voss, K. Friedrich, On the wear behavior of short-fiber-reinforced PEEK composites, *Wear* 116 (1987) 1-18.

- [27] U.S. Tewari, J. Bijwe, *Advances in Composites Tribology, Recent development in tribology of fiber reinforced composites with thermoplastic and thermosetting matrices*, Elsevier Science Publishers, BV, 1993, pp. 159-207.
- [28] L. Chang, Z. Zhang, Tribological properties of epoxy-nanocomposites: 2. A combinative effect of short carbon fiber and nano-TiO<sub>2</sub>, *Wear* 206 (2006) 869-878.
- [29] L. Chang, Z. Zhang, H. Zhang, A.K. Schlarb, On the Sliding wear of nanoparticles filled polyamide 66, *Composites Science and Technology* 66 (2006) 3188-3198.
- [30] S.N. Kukureka, C.J. Hooke, M. Rao, P. Liao, Y.K. Chen, The effect of fibre reinforcement on the friction and wear of polyamide 66 under dry rolling-sliding contact. *Tribology International* 32 (1999) 107-116.
- [31] J. Wang, M. G. Bai Songhao, G. Shirong, Investigation of the influence of MoS<sub>2</sub> filler on the tribological properties of carbon fiber reinforced nylon 1010 composites. *Wear* 255 (2003) 774-779.
- [32] S. Bahadur, The development of transfer layers and their role in polymer tribology. *Wear* 245 (2000) 92-99.
- [33] Q.B. Guo, M.Z. Rong, G.L. Jia, K.T. Lau, M.Q. Zang, Sliding wear performance of nano SiO<sub>2</sub> / short carbon fibre / epoxy hybrid composites. *Wear* 266 (2009) 658-665.
- [34]. Dorin Rus, L. Capitanu. Wear of polished steel surfaces in dry friction linear contact on polymer composites with glass fibres. *Proceedings of Serbiatrib'13, Kragujevac, Serbia, 15 – 17 May, 2013*, pp. 58-64, ISBN 978-86-86663-98-6.
- [35]. RUS D., CAPITANU L., BADITA L.L.. A qualitative correlation steel friction coefficient - wear in linear friction dry sliding contact to polymers with glass fibre. *Friction*, Open Access Journal in Springer, Digital Object Identifier (DOI) 10.1007/s40544- 014-0038-2
- [36]. Dorin Rus, Lucian Capitanu Wear and Contact Temperature on Steel Surface in Linear Dry Friction Contact with Polimers with SGF *Journal of Mechanics Engineering and Automation* 5 (2015) 554-566 doi: 10.17265/2159-5275/2015.10.00437
- [37]. Rus Dorin, Lucian Capitanu, Liliana-Laura Badita Quantitative Correlation between Friction Coefficient and Steel Surface Wear in the Case of Linear Friction Dry Contact with Reinforced Polymers with Glass Fibres *Journal of Materials Science and Engineering A* 4 (5) (2014) 135-145
- [38]. Rus Dorin Tribological implication of linear dry contact GFR polymers . ISBN-13: 978-3-639-76352-2 Scholar Press 2015-04-14.