

TEMPERATURA DE CONTACT ÎNTRE SUPRAFAȚA DIN OȚEL ÎN CAZUL FRECĂRII CU CONTACT LINIAR USCAT CU POLIMERI¹

THE CONTACT TEMPERATURE BETWEEN STEEL SURFACE IN LINEAR DRY FRICTION CONTACT WITH POLIMERS

Dorin RUS

Technical University of Civil Engineering Bucharest, Romania
e-mail: rusdorin@gmail.com, www.dorinrus.com

Rezumat: În această lucrare am încercat să ilustrez grafic evoluția uzurii suprafeței din oțel și a temperaturii de contact, în funcție de coeficientul de frecare. O importanță deosebită a fost acordată studiului influenței sarcinii normale, a vitezei de alunecare și a durității suprafeței asupra coeficientului de frecare. De asemenea, prezentarea unei corelări calitative între valoarea și evoluția coeficientului de frecare, în cazul unui contact liniar uscat între fibre termoplastice scurte din sticlă și diferite suprafețe din oțel constituie un alt subiect de interes.

Cuvinte cheie: Influența durității suprafeței din oțel, temperatura de contact, uzura suprafeței din oțel, influența durității suprafeței din oțel, evoluția coeficientului de frecare.

Abstract: In the paper I have tried to provide a graphic illustration of the evolution of the steel surface wear and of the contact temperature depending on the friction coefficient. Special emphasis was placed on the study of the influence of the normal load, the sliding speed and the surface roughness on the friction coefficient. Also, the presentation of a qualitative correlation between the value and the evolution of the friction coefficient, in the case of linear dry contact between thermoplastic short glass fibers and various steel surfaces was another topic of interest.

Keywords: Hardness of steel surface influence, contact temperature, wear of steel surface, friction coefficient evolution.

1. INTRODUCERE

Materialele termoplastice compozite sunt bifazice, constând dintr-o masă polimerică și armătura integrată în aceasta. Polimerul asigură rezistența la compresie a materialului, în timp ce armătura asigură rezistența la întindere. Este necesară asigurarea unei adeziuni minime între aceste două faze. Tratamentele aplicate în acest sens sunt specifice pentru fiecare material termoplastic în parte. Polimerul de bază acționează ca o punte între fibrele de sticlă armate. Doar o mică parte dintre acestea pot suporta sarcini.

¹Comunicare prezentată la cel de-al XXI –lea Simpozion National de Utilaje pentru Constructii (SINUC), București, 10-11 decembrie 2015

Polimerul trebuie să asigure o distribuție a eforturilor între fibrele folosite armate, și în același timp trebuie să limiteze deplasarea acestora pentru a preveni deformarea excesivă. Polimerul de bază asigură etanșeitătea împotriva umidității. Faptul că este fabricat din sticlă are o importanță pentru menținerea constantă în timp a proprietăților mecanice, electrice și chimice ale materialului termoplastic armat. Pentru a obține produse stabile, se folosește sticlă fără substanțe alcaline, ca urmare a hidrolizei superficiale prin acțiunea umidității. Pentru a îmbunătăți proprietățile mecanice, în special modulul de elasticitate, se utilizează în anumite proporții sticlă cu oxizi din metal.

Fibrele de sticlă sunt folosite la armarea materialelor termoplastice, iar atunci când nu prezintă nici un defect, acestea au o rezistență minimă la întindere de 25 MPa, iar când prezintă defecte superficiale obișnuite rezistența maxim atinsă este de 15 MPa, deși sticla în sine are o rezistență de 0,5 – 0,6 MPa. Modulul de elasticitate atinge valori cuprinse între 750 și 790 MPa. Fibrele se pot alungi cu 2 – 3 %, reprezentând alungirea elastică totală. Prezența fibrelor de sticlă duce la reducerea factorului de timp din cadrul procesului de cedare. Modificările dimensiunilor ca urmare a absorbției de apă rămân o problemă a materialelor plastice cu fibrele de sticlă, prezentând o asociere mecanică a fibrelor de sticlă cu cele de polimer. Compușii termoplastici sunt caracterizați de plasticitatea ridicată în anumite condiții de temperatură și de revenirea la starea inițială prin răcire. În timpul fazei plastice, acestea pot fi prelucrate în produse finite.

Încă din anul 1964, Bowdon și Tabor [1] au descoperit prin experimente valorile coeficienților de frecare ale cuplelor metalice „curate” pe materiale plastice, iar în prezența unor sarcini moderate acestea sunt similare celor obținute în cazul cuplelor de frecare material plastic/material plastic. Cei doi au considerat că forța de forfecare este cauzată de frecarea îmbinărilor microscopice formate pe suprafața de contact dintre cele două semicuple.

În literatura de specialitate există lucrări care oferă valori ale coeficientului de frecare pentru material plastic/ metal. Jacobi [2] menționează în cazul poliamidei armate cu fibre de sticlă valori ale coeficientului de frecare situate între 0,04 și 0,5. Bilik [3] a determinat pentru coeficientul de frecare poliamide/oțel valori de până la 2,0. După studierea comportamentului la frecare al unei cuple poliamidă/metal, Clerico [4] a descoperit că valorile coeficientului de frecare sunt mai ridicate pentru perioadele mai scurte de utilizare, decât în cazul utilizării pe termen lung a cuplei. Acesta menționează valori ale coeficientului de frecare cuprinse între 0,1 și până la 0,65 pentru primele trei ore de funcționare ale cuplei. El explică aceste valori făcând referire la proprietățile viscoelastice ale polimerului. Hruscirov și Babicev [5, 6] au demonstrat creșterea componentei de micro-tăiere a forței de frecare pentru cuplele material plastic armat cu fibre de sticlă/oțel, odată cu creșterea conținutului de polimer.

Bely [7], Bartenev și Laventiev [8] au studiat influența naturii polimerului și a orientării fibrelor de sticlă în masa polimerică asupra coeficientului de frecare. Watanabe et al [9] au demonstrat creșterea coeficientului de frecare concomitentă cu creșterea sarcinii normale. Ei au explicat influența temperaturii asupra scăderii valorii coeficientului de frecare prin transferul pe oțel. Ținând cont de comportamentul la frecare al polimerilor armați cu fibre din materiale diferite, Lancaster [10] a determinat dependența coeficientului de frecare de raportul $\eta v d^3 / N$ pentru vârfurile lubrificate ale cuplelor (cu diametrul d) / tipul de disc. Coeficientul de frecare scade de la 0,19 la 0,04 atunci când raportul $\eta v d^3 / N$ crește de la 10^{-14} la 10^{-11} cm²/N, pentru o duritate de 0,15 μm a suprafeței din oțel. Pentru o duritate de 0,46 μm, coeficientul de frecare este constant atunci când raportul menționat crește de la 10^{-14} la 10^{-11} cm²/N.

Temperatura de contact între suprafața din oțel în cazul frecării cu contact liniar uscat cu polimeri

După studierea comportamentului la frecare al materialelor termoplastice, Barlow [11] menționează pentru coeficientul de frecare al acestor materiale pe oțel valori cuprinse între 0,1 și 0,28, în prezența unui lubrifiant. El observă creșterea valorii coeficientului de frecare odată cu creșterea vitezei relative de alunecare între suprafețele supuse cuplului de frecare. Examinând comportamentul la frecare al cuplelor polietilenă/oțel, West [12] a demonstrat reducerea valorii coeficientului de frecare de la 1,24 la 0,78, în timp ce sarcina normală crește de la 10 la 5000 N. Bartenev, Lavrentiev et al [13] au determinat în cazul frecării materialelor plastice pe suprafețe metalice creșterea forței de frecare odată cu creșterea logaritmică a vitezei de alunecare. Această relație de dependență este exprimată de Vinogradov pentru frecarea metalelor pe polimeri cristalini. În cazul în care procesele de adeziune sunt predominante, acesta a descoperit că are loc și creșterea forței de frecare odată cu sarcina normală.

Cu toate acestea, lucrările publicate nu permit o caracterizare completă a procesului, din cauza eterogenității materialelor testate și a condițiilor experimentale utilizate, precum și din cauza varietății tipurilor de contact și a instalațiilor de cercetare utilizate.

Datele prezentate în literatura de specialitate privind uzura acestei cuple fac referire doar la un număr limitat de domenii de utilizare a materialelor termoplastice armate. Majoritatea lucrărilor se concentrează asupra aspectelor cantitative ale fenomenului de uzură, foarte puține lucrări tratând și aspectele calitative. Astfel, Bowden și Tabor [14] au subliniat importanța distribuirii eforturilor pe suprafața de contact, demonstrând că în cazul unui contact Hertzian cu o distribuție eliptică a presiunilor, zona centrală de contact va fi deteriorată mai serios decât zonele de margine, din cauza valorilor mai mari ale eforturilor superficiale de întindere (μp) și vor atinge și vor depăși o anumită valoare critică (μp)_c.

Jost [15] subliniază că pentru cupla poliamidă/metal uzura de adeziune predomină atât în condițiile de frecare cu contact uscat, cât și în prezența unui lubrifiant.

Lancaster și Evans [16] au observat, prin studierea comportamentului la uzură al polimerilor armați, cu lubrifiere hidrodinamică, scăderea ratei de uzură odată cu creșterea valorii factorului $\eta v d^3 / N$ pentru cuplele cu vârf, cu diametrul (d), fabricate din plastic, în cazul frecării cu discuri metalice. Scăderea este mai accentuată dacă duritatea suprafeței metalice este mai redusă.

Shen și Dumbleton [17], au studiat comparativ comportamentul la uzură al polietilenei de înaltă densitate și al polioximetilenei (tip comercial Delrin 150), prelucrat prin injecție, și au stabilit valori ale coeficientului de uzură cuprinse între 7,8 și $28,6 \times 10^{-10}$ cm²/N. Aceștia și-au propus să calculeze uzura liniară a polietilenei de înaltă densitate (UHMWPE), folosind o relație de forma:

$$h = kpx,$$

unde: h – uzura liniară; k – factorul de uzură; p – presiunea nominală; x – distanța de alunecare.

Capitanu et al [18, 19] au raportat cu privire la comportamentul poliamidei și policarbonatului armat cu fibre de sticlă în cadrul frecării pe suprafețe din oțel. Capitanu și Florescu [19] au prezentat unele aspecte tribologice ale uzurii suprafețelor din oțel în cadrul frecării uscate cu compuși polimerici cu fibre de sticlă.

2. MATERIALE ȘI METODE

Procesele de frecare și de uzură au fost analizate pentru o gamă relativ vastă de valori ale parametrilor tribologici pe care îi afectează (sarcină, viteză relativă, temperatură). Gama de valori utilizate pentru parametri menționați includ atât valori întâlnite în mod obișnuit în aplicații industriale cât și unele valori extreme, mai puțin întâlnite, dar interesante din punct de vedere al mecanismului de frecare și de uzură. Astfel, valorile eforturilor și vitezelor atinse de unele piese fabricate din materiale termoplastice ating în mod obișnuit valori cuprinse între 0,2 – 1 Mpa, respectiv 1 – 500 cm/s.

Cele două elemente ale cuplelor de frecare (manșonul cilindric și moștra plată) au fost fabricate din material plastic, respectiv metal. Din oțelurile testate, doar câteva cu un nivel de calitate utilizat pe scară largă în aplicațiile industriale au fost selectate pentru prezentare.

Pentru testele de frecare și de uzură, poliamidele și policarbonații au fost selectați din gama largă de materiale termoplastice prelucrate la scară industrială, ținând cont de posibilitățile crescute de armare cu fibre de sticlă și polietilenă de înaltă densitate. S-au efectuat teste folosind poliamide și poliesteri armați cu 20% și 30% fibre de sticlă. Teste de frecare și de uzură au fost realizate în scopuri comparative, folosind poliamide și policarbonați fără armătură.

Pentru testele experimentale s-au folosit materiale termoplastice ale căror caracteristici sunt prezentate în [19] și s-a observat îmbunătățirea proprietăților mecanice ale materialelor armate cu fibră de sticlă, prin comparație cu cele fără armătură.

Nylonplast AVE Polyamide [20] conține 30% fibre de sticlă și are un diametru de 12 μm , având ca rezultat o scădere accentuată a deformării produsului. Astfel, la o temperatură de 50°C și o comprimare la 140 daN/cm², deformarea scade de la 1,4% în cazul poliamidei fără armătură la 0,2% pentru poliamida armată. Poliamida Noryl [20], armată cu 20% fibre de sticlă, este caracterizată de un nivel redus de absorbție a apei și de un modul de elasticitate cu valoare ridicată. Policarbonatul Lexan [20], armat cu 20% fibre de sticlă, are o rezistență mecanică ridicată, o foarte bună stabilitate a dimensiunilor și o rezistență crescută la șoc.

Policarbonatul Makrolon, fără armătură, are o rezistență ridicată la șoc, o stabilitate dimensională uimitoare, un nivel redus de absorbție a apei și de deformare. Poliamida Technyl [20], deși nu este armată cu fibră de sticlă, prezintă proprietăți mecanice high consistency, datorită capacității ridicate de cristalizare, un nivel redus de deformare, rezistență bună la încovoiere, întindere și șoc, precum și la frecare. În Fig. 1 este ilustrată o serie de microfotografii care redau unele detalii ale structurii materialelor termoplastice testate.

Comportamentul la frecare și la uzură al materialelor de mai sus, considerat ca fiind important pentru manifestarea tribologică a poliamidelor și policarbonaților, a fost studiat și va fi prezentat în detaliu în prezenta lucrare.

În Fig. 1.a este ilustrată microstructura poliamidei Nylonplast AVE armate cu 30% fibre de sticlă, cu un diametru de aproximativ 12 μm [20]. Fig. 1.b prezintă o secțiune transversală a unui dinte al unei roți dințate fabricate prin injecția cu poliamidă Nylonplast AVE Polyamide + 30% fibre de sticlă [20]. În Figura 1.c este redată imaginea unei secțiuni transversale a unei mostre fabricate din poliamida Noryl + 20% fibre de sticlă.

Comportamentul la frecare și la uzură al materialelor de mai sus, considerat ca fiind important pentru manifestarea tribologică a poliamidelor și policarbonaților, a fost studiat și va fi prezentat în detaliu în prezenta lucrare.

Temperatura de contact între suprafața din oțel în cazul frecării cu contact liniar uscat cu polimeri

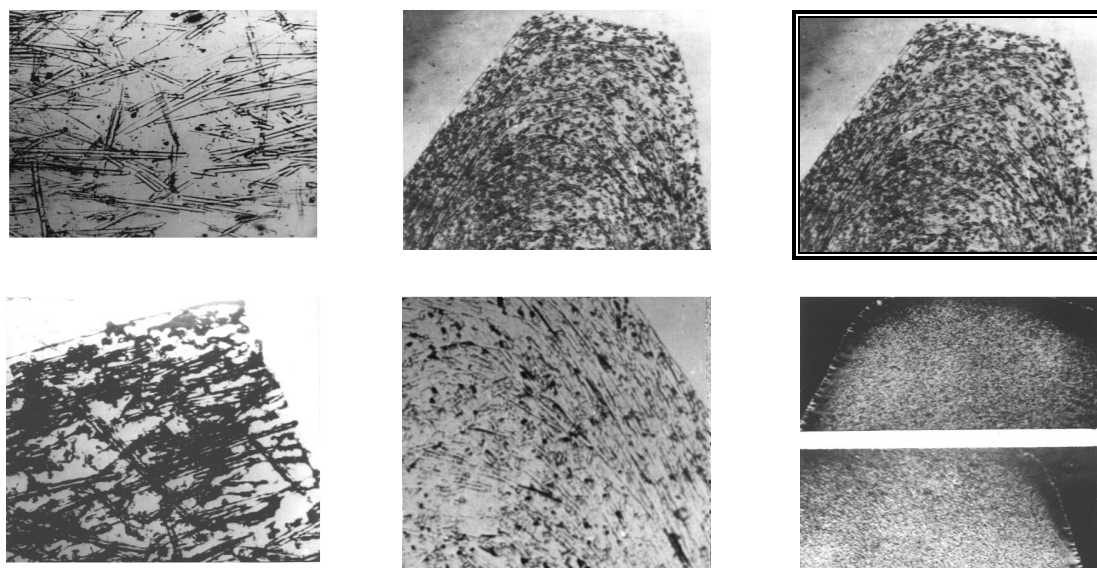


Fig 1 Microfotografiile ale structurii materialelor termoplastice armate cu fibre de sticlă, supuse testelor de frecare și de uzură. a. Poliamida Nylonplast AVE + 30% fibre de sticlă; b. O imagine a secțiunii transversale a unui dinte al unei roți dințate fabricate prin injecția cu poliamidă Nylonplast AVE + 30% fibre de sticlă; c. Imaginea unei secțiuni transversale a unei mostre fabricate din poliamidă Noryl + 20% fibre de sticlă; d. Imagine a microstructurii din policarbonat Lexan Polycarbonate armat cu 20% fibre de sticlă cu diametru aproximativ de 8 μm ; e. O secțiune transversală a unui dinte al unei roți dințate fabricate din policarbonat Lexan armat cu fibre de sticlă; f. Imagine văzută în lumină polarizată a microstructurii din poliamidă Technyl fără armătură .

Fig. 1.b prezintă o secțiune transversală a unui dinte al unei roți dințate fabricate prin injecția cu poliamidă Nylonplast AVE + 30% fibre de sticle [20]. În Fig. 1.c este ilustrată imaginea unei secțiuni transversale pentru o mostră din poliamidă Noryl + 20% fibre de sticlă [21]. Fig. 1.d redă imaginea microstructurii din policarbonat Lexan armat cu 20% fibre de sticlă, cu un diametru de aproximativ 8 μm [22], iar Fig. 1.e înfățișează o secțiune transversală a unui dinte al unei roți dințate fabricate din policarbonat Lexan armat cu fibre de sticlă [23]. Fig. 1.f arată imaginea văzută în lumină polarizată a microstructurii din poliamidă Technyl fără armătură.

Componentele metalice ale cuplelor supuse testelor tribologice au fost fabricate din următoarele oțeluri: oțel C 120 cu duritatea 59 HRC; oțel Rp3 cu duritatea 62 HRC și 33 MoC 11, precum și oțel cu duritatea 51 HRC. Caracteristicile mecanice, compoziția chimică și anumite aspecte privind microstructurile acestor oțeluri sunt menționate în cadrul [18].

Suprafețele mostrelor metalice au fost prelucrate prin polizare, polizare umedă cu oxid de aluminiu și cu pastă diamantată cu granulație diferită.

Această tehnologie a permis obținerea suprafețelor cu $R_a = 0,025 \mu\text{m}$, $R_a = 0,045 \mu\text{m}$, $R_a = 0,075 \mu\text{m}$ și $R_a = 0,125 \mu\text{m}$. Pentru experimente au fost utilizate mostre cu o duritate mai mare sau mai mică decât valorile menționate mai sus, pentru o caracterizare mai cuprinzătoare a proceselor de frecare și de uzură.

Din cauza gamei variate de sarcini și viteze luate în considerare, precum și din cauza nevoii de a obține cea mai mare varietate posibilă de condiții de lucru (presiuni de contact,

viteze de alunecare și temperaturi) în vederea unei caracterizări mai cuprinzătoare a comportamentului tribologic al cuplei material compozit/oțel, s-a folosit o instalație experimentală cu un cuplu de frecare Timken (cu contact liniar). Această instalație poate atinge presiuni de contact foarte ridicate (cuprinse între 16 și 36 MPa). Instalația de testare a fost prezentată în detaliu în cadrul [19].

3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Testele efectuate inițial au avut ca scop determinarea influenței factorilor principali care afectează frecarea în cazul cuplelor material termoplastice armate cu fibre de sticlă/metal. Legea lui Coulomb care susține că forța de frecare F_f este direct proporțională cu forța normală N este cunoscută:

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

Mai multe studii ulterioare au demonstrat că μ , coeficientul de frecare, nu depinde doar de forța normală. Se pot lua în calcul relații ale variațiilor forței de frecare, în funcție de sarcina aplicată, de forma:

În Fig. 5 sunt prezentate adâncimile urmelor de impact rămase ca urmare a impactului ciclic măsurat experimental la momente diferite ale impactului.

Sau mai simplu:

$$F_f = a + bN \quad (2)$$

sau:

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

$$\mu = \tau / p_c \quad (4)$$

unde τ_f reprezintă rezistența la forfecare a materialului mai moale, iar p_c reprezintă presiunea de curgere a aceluiași material. Deoarece $p_c = HB / 3$, rezultă că:

$$\mu = 3\tau_f / HB \quad (5)$$

Ecuția (5) este în conformitate cu rezultatele experimentale preliminare.

Influența sarcinii asupra coeficientului de frecare al cuplei Nylonplast AVE PA + 30% fibre de sticlă/oțel C120 este ilustrată în Fig. 2 pentru cuplele Timken (cu contact liniar), la o viteză de alunecare de 18,56 cm/ s. Se poate observa creșterea coeficientului de frecare odată cu creșterea sarcinii normale aplicată cuplei. Variația coeficientului de frecare nu este liniară, aspect în conformitate cu ecuația (5).

La această viteză de alunecare, coeficientul de frecare uscată pe oțel C120 are valori cuprinse între 0,27 și 0,37, iar temperatura de contact se situează între 108 și 165 °C. În cazul frecării pe oțel Rp3, valorile coeficientului de frecare cu contact uscat Fig. 3 se încadrează între 0,25 și 0,38, iar temperatura de contact între 78 °C și 155 °C.

Temperatura de contact între suprafața din oțel în cazul frecării cu contact liniar uscat cu polimeri

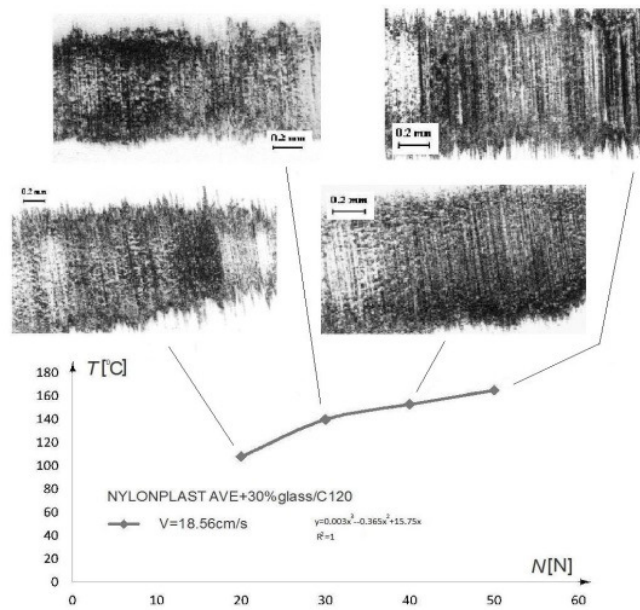


Fig. 2 Variația temperaturii de contact în funcție de sarcina normală la o viteză de alunecare de 18,56 cm/s pentru Nylonplast AVE PA + 30% fibre de sticlă armate/oțel C120

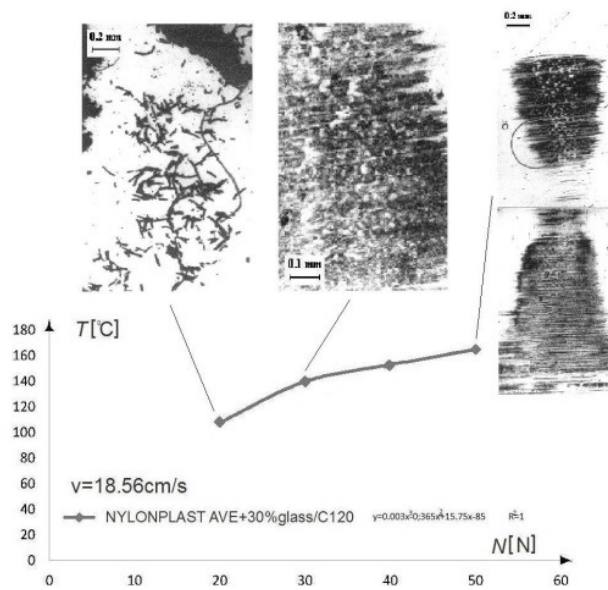


Fig. 3 Variația uzurii în funcție de temperatura de contact și sarcina normală la o viteză de alunecare de 18,56 cm/s pentru PA AVE Nylonplast 30% fibre de sticlă armate/oțel C120

În cazul frecării pe oțel Rp3, valorile coeficientului de frecare cu contact uscat Fig. 4 se încadrează între 0,25 și 0.38, iar temperatura de contact între 81 și 155 °C.

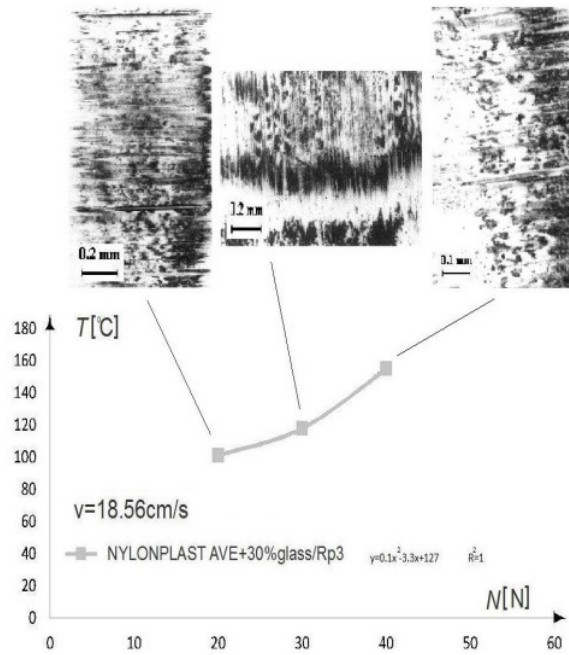


Fig. 4 Variația coeficientului de frecare și a temperaturii de contact în funcție de sarcina normală la o viteză de alunecare de 18,56 cm/s pentru cupla PA Nylonplast AVE + 30% fibre de sticlă armate/oțel Rp 3

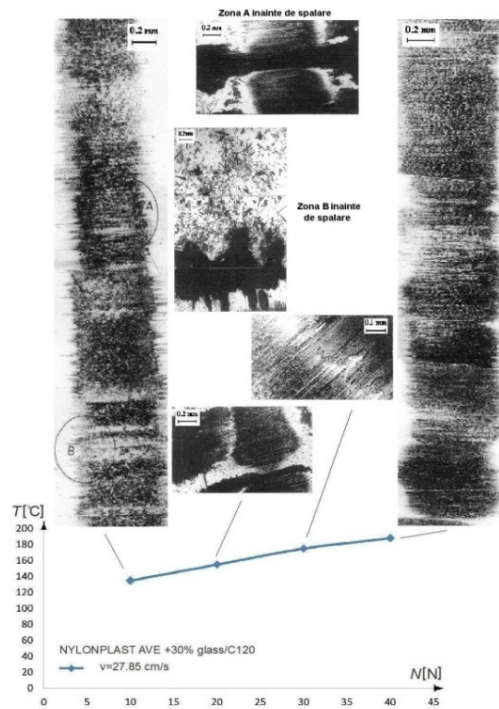


Fig. 5 Variația temperaturii de contact în funcție de sarcina normală la o viteză de alunecare de 27,85 cm/s pentru Nylonplast AVE 30% SGF PA/oțel C120

Temperatura de contact între suprafața din oțel în cazul frecării cu contact liniar uscat cu polimeri

Fig. 5 arată variația coeficientului de frecare și a temperaturii de contact în funcție de sarcina normală pentru cupla Nylonplast AVE + 30% fibre de sticlă / oțel C120, la o viteză de alunecare de 27,85 cm/s. La această viteză de alunecare, coeficientul de frecare uscată are valori cuprinse între 0,32 și 0,35, iar temperatura de contact variază între 108 și 165 °C.

În cazul frecării pe oțel Rp3, coeficientul de frecare cu contact uscat Fig. 4 înregistrează valori cuprinse între 0,27 și 0,38, iar temperatura de contact variază între 135⁰ și 188⁰ C, în funcție de sarcina normală aplicată.

4. CONCLUZII

Putem trage câteva concluzii:

Procesul de uzură a suprafețelor metalice în frecare cu contact uscat cu materiale plastice armate cu fibre scurte de sticlă evoluează de-a lungul timpului, în funcție de sarcina aplicată. Drept urmare, toate datele experimentale privind variația temperaturii de contact și a coeficientului de frecare în funcție de sarcina normală (presiunea de contact) au fost procesate și explorate pentru toate combinațiile de materiale testate. Rezultatul constă în diagrame, însă relația de variație a forței de frecare (coeficientului de frecare) în funcție de sarcina normală (presiunea de contact) prezintă interes deosebit.

Prin prezentarea și compararea funcțiilor de variație a coeficientului de frecare, a temperaturii de contact și a adâncimii urmei de uzură în funcție de uzura normală, s-a încercat și s-a dovedit că între parametri de intrare ai sistemului tribologic cu contact liniar (sarcina normală, viteza relativă de alunecare, caracteristicile fizice și mecanice ale materialelor care intră în contact, starea suprafeței) și parametri de ieșire ai sistemului tribologic (coeficientul de frecare, temperatura de contact și uzură) există o relație de interdependență care se modifică încontinuu în timpul proceselor de frecare și uzură.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Bowden F.P., Tabor D.** *Friction and Lubrication*, Methuen & Co. Ltd. London, 1967.
- [2] **Jacobi H.R.** *Neue Erkenntnisse über Gleitenschaften von Polyamiden*, *Kunststoffe*, 47, 5, 1957, pp. 234-239.
- [3] **Bilik M.** *Parî trenia metal-plastmassa v mașinah i mehanizmah*, Izd. Mașinostroenie, Moskva, 1965.
- [4] **Clerico M.** *A Study of the Friction Wear of Nylon against Metal*, *Wear*, 13,3, 1969, pp. 183-197.
- [5] **Hruscirov M.M.** *Resistance of Metals to Wear by Abrasion, as related to Hardness*, *Proc. Conf. Lubr. And Wear, Inst. Mech. Eng.*, London 1957.
- [6] **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.
- [7] **Bely V.A., Sviridenok A.I. et.al.** *Friction and Wear in Polymer based Materials*, Pergamon Press, 1982.
- [8] **Bartenev G.M., Lavrentiev V.V.** *Trenie i Iznos polimerov*, Izd. Himia, Leningrad, 1972.
- [9] **Watanabe M., Korusawa M., Marsubara K.** *The Frictional Properties of Nylon*, *Wear* 32,3, 1968, pp. 185-191
- [10] **Lancaster J.K.** *Lubrication of Carbon Fibre reinforced Polymers*, *Wear*, 28, 3, 1972, pp. 315-352.
- [11] **West G.H., Senior J.M.** *Frictional Properties of Polyethylene*, *Wear*, 19, 1, 1973, pp.37-52.
- [12] **Barlow D.A.** *Some Observations of the Friction Properties of Vinyl*, *Wear*, 20,2, (1972), pp.151-157.

- [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, 1971, pp.439-448.
- [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, 1970, pp.266-270.
- [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 Rplacement*, *Wear*, 38, 2, 1978, pp. 291-303.
- [18] **Capitanu L., Iarovici A., Onisoru J.** *On polyamide and polycarbonate materials behaviour under dry friction*, *The Annals of University "Dunarea de jos" of Galati*, fascicle VIII, Tribology, 2003, ISSN 1221-4590.
- [19] **Capitanu L., Florescu V.** *Tribological aspects of wear of polished steel surfaces in dry friction contact on polymer composites with glass fibres*. *American Journal of Materials Science* 2013, 3(1):8-18. DOI 10.5923 / j.materials. 20130301.02.
- [20] **Dorin Rus_** *Linearer Trockenkontakt KGF-Polymer/Stahl: Versuchsergebnisse und Kommentare aufgrund der Modellierung unter Bedingungen der Verarbeitung durch Spritzgießen*. ISBN-13: 978-3-639-86512-7; 2015 ; AV Akademikerverlag ;Germany. <http://www.dorinrus.com/>.