

CONTRIBUȚII PRIVIND FENOMENUL DE FRETTING LA PROTEZA DE ȘOLD

CONTRIBUȚII PRIVIND FENOMENUL DE FRETTING LA PROTEZA DE ȘOLD

Capitanu L.¹, Sasu A.R.²

*¹ Dir. adj. dr. ing. Institutul de Mecanica Solidelor al Academiei Române,
București*

*² Asist. ing. Facultatea Utilaj Tehnologic, Universitatea Tehnică de Construcții
București*

Rezumat: Lucrarea prezintă studiile experimentale efectuate pentru depistarea stadiului incipient când apare uzura prin fretting a aliajului Ti-6Al-4V folosit pentru protezele de șold. Uzura reprezintă aspectul critic pentru estimarea oboselii prin fretting. Studiile au fost realizate pe eșantioane de formă specială, pentru a putea studia influența rugozității suprafețelor în contact asupra durabilității la fretting. S-au folosit tamponi de fretting și mostre din Ti-6Al-4V. Durate de încercare: 3 s, 1 min și 5 min, pentru a putea surprinde momentul apariției cicatricii de fretting, mult înainte ca aceasta să inițieze eventuala fisurare prin fretting. Uzura minimă are loc la o anumită valoare a rugozității și nu la rugozitatea minimă. Simultan cu uzura prin fretting a suprafeței, a fost măsurat și coeficientul de frecare. În mod surprinzător, coeficientul de frecare minim nu coincide cu uzura minimă de fretting.

Abstract: This paper reports on the experimental studies undertaken to detect the early stage when appears the fretting wear of the Ti-6Al-4V alloy used for the hip prostheses. Wear is the critical aspect for estimating the fretting fatigue. Studies were performed on samples of special shape, in order to be able to study the influence of in contact surfaces roughness on the durability to fretting. Fretting buffers and Ti-6Al-4V samples were used. Testing periods: 3 seconds, 1 minute and 5 minutes were selected to capture the moment of the fretting scar appearance, long before these initiate the eventual fretting cracking. Simultaneously with fretting wear of the surface, the friction coefficient was also measured. The minimum wear occurs at a certain value of the roughness and not at the minimum roughness. Surprisingly, the minimum friction coefficient does not coincide with the minimum fretting wear.

Keywords: Ti-6Al-4V alloy, roughness, fretting, wear, friction

1. Introducere

CONTRIBUȚII PRIVIND FENOMENUL DE FRETING LA PROTEZA DE ȘOLD

Frettingul reprezintă fenomenul care are loc la interfața dintre două corpuri în contact care sunt presate unul împotriva celuilalt în prezența sarcinii ciclice, ceea ce dă naștere la o mică deplasare relativă. La interfață există o interacțiune complexă între uzură, coroziune și oboseală.

Deteriorarea datorată oboselei prin fretting este cauzată de mai mulți factori și variabile (în mod direct sau indirect): amplitudinea deplasării relative, sarcina normală, încărcările tangențiale și axiale, natura materialului, coeficientul de frecare, frecvența ciclică, temperatura și mediul înconjurător.

Frettingul poate fi clasificat în două categorii:

- oboseala prin fretting
- uzura prin fretting.

Coroziunea, prezentă în mai multe studii ca a treia manifestare a frettingului [1], a fost acceptată în domeniul deteriorării prin fretting și încorporează cele două simptome [2].

Pentru a crea relații cu datele experimentale de oboseală prin fretting se folosesc modele de oboseala multiaxială. Cele mai utilizate sunt: Dang Van (DV), Smith-Watson-Topper (SWT) și Fatemi și Socie (FS) [2-7].

Tribo-coroziunea este o zonă de multe investigații. Cele mai multe studii sunt întreprinse pentru cercetarea conceptelor și influenței celui de-al treilea corp în timpul proceselor de tribo-coroziune. O acțiune de tribo-coroziune este degradarea materialelor din cauza efectelor mecanice, electrochimice și sinergice. Exemplu de experiment mecanic -măsurători ale sarcinii tangențiale. Sinergiile au fost analizate pentru a ajuta la înțelegerea coroziunii, atât ca un fenomen mecanic cât și ca un fenomen mecanic-electrochimic cuplat [8].

Datele disponibile în acest moment pentru diferite materiale și condiții de încercare, sunt insuficiente pentru a permite luarea unei decizii asupra unui model corespunzător.

Modelele alese pentru examinare sunt modelul Smith-Watson-Topper și modelul lui Morrow. Primul model este deja folosit în oboseala prin fretting. Cel de-al doilea a fost testat pentru prima dată pentru situații de oboseală prin fretting, de Buciumeanu et al., [1]. În ambele modele sunt incluse efectele efortului mediu. Modelul lui Morrow a fost modificat pentru a introduce eforturile locale implicate în procesul de oboseală prin fretting (normal, tangențial și

CONTRIBUȚII PRIVIND FENOMENUL DE FRETING LA PROTEZA DE ȘOLD

axial). În ambele modele a fost introdus un factor de concentrare a efortului, K_t , care include efectul ariei afectate.

Conform direcției mișcării relative sub o configurație de contact bila-pe-plat (BOF), distingem 4 moduri de fretting de bază:

- tangențial
- radial
- de rotație
- de torsiune

Frettingul prin rotație reprezintă mișcarea relativă indusă prin rotația de micro-amplitudine care are loc în perechea de contacte cu fixare strânsă în mediul de încărcare alternativă și are ca rezultat uzura suprafeței de contact, care induce în mare măsură reducerea duratei de viață a componentei, și pierderi economice imense.

Principalele cercetări asupra uzurii prin fretting s-au concentrat asupra modului tangențial; există rapoarte foarte puține despre modurile de fretting rotativ. Cercetările asupra uzurii prin fretting de rotație sub configurația de contact BOF au fost efectuate de către Zheng et al., [9]. Configurația de contact joacă un rol important în uzura prin fretting. Pentru a înțelege mecanismele de fretting prin rotație în cadrul diferitelor configurații de contact, au fost efectuate încercări de fretting de rotație cu contacte bila-pe-concav (BOC) și bila-pe-plat (BOF) la același efort de contact maxim și respectiv încărcări normale.

Frettingul într-o proteză totală de șold, rezultă din distrugerea stratului de oxid pasiv de pe metal, conducând astfel la coroziune sporită și la generarea de reziduuri, cum ar fi particulele de polimer și / sau oxizi metalici, ceea ce duce la disfuncționalități grave ale articulației șoldului [10]. Încărcarea ciclică datorată mersului uman de zi cu zi, și diferențele dintre proprietățile mecanice ale tijei femurale și cimentului osos, dau naștere la dezlipirea celor două materiale. Aceasta dezlipire duce la efecte secundare: degradarea și fisurarea cimentului. Resturile invadează țesuturile osoase prin fisuri și induc inflamația în țesuturile osoase.

CONTRIBUȚII PRIVIND FENOMENUL DE FRETTING LA PROTEZA DE ȘOLD

Experimentele de oboseală prin fretting se fac de obicei pe mașini servo hidraulice de testare uniaxială, sau uneori multiaxială, folosind dispozitive experimentale și eșantioane speciale de testare la fretting.

Lucrarea prezintă munca de cercetate experimentală și teoretică privind comportarea la fretting a mostrelor fabricate din aliaj de Ti-6Al-4V utilizat pentru fabricarea protezelor totale de șold și face parte dintr-o cercetare mai amplă. Întregul experiment și rezultatele acestuia au fost prezentate pe larg în lucrarea “*Roughness Influence on Initiation of Fretting Fatigue Scar of Ti-6Al-4V*” *Capitanu L.¹, Badita L.L.², Florescu V.³, Tiganesteanu C.¹* 9. International Conference on Tribology (BalkanTRib’17), 13-15 September 2017, Cappadocia/TURKEY [11]

2. Evaluarea experimentală

2.1. Montajul experimental pentru testare

Testele de fretting s-au realizat pe o masina servo-hidraulica de testare universala, MTS Bionix, Fig1.

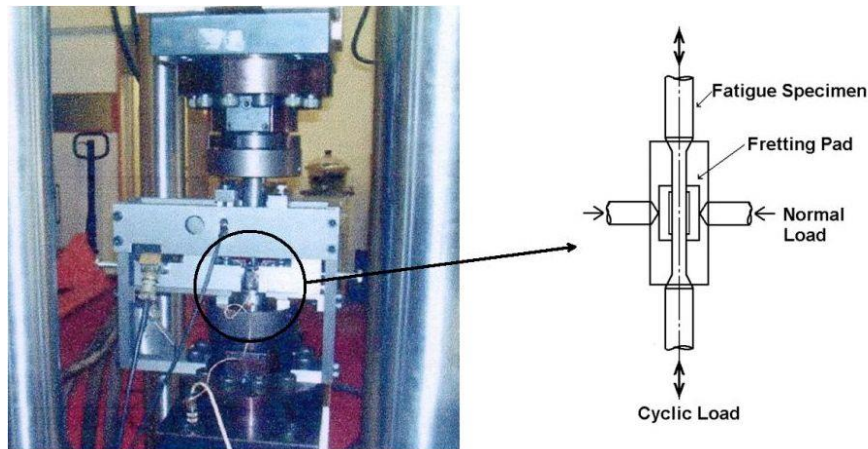


Fig 1. Mașina servo-hidraulică de testare universală MTS Bionix

Mașina de testare permite aplicarea unei sarcini de 600 kN în condiții statice și 500 kN pentru încărcarea de oboseala.

CONTRIBUȚII PRIVIND FENOMENUL DE FRETTING LA PROTEZA DE ȘOLD

Frecvența maximă de încărcare ciclică a mașinii: 50 Hz.

Echipamentul funcționează la temperatura ambiantă, în mediul de laborator.

Pentru realizarea testelor de oboseală la fretting, pe mașină a fost montat un dispozitiv special de fretting, care are 2 celule de sarcină care permit aplicarea sarcinilor de contact normala și tangențiala și măsurarea acestora. Este utilizată o celulă de încărcare de 1000 N pentru a seta și măsura sarcina pre-tangențială / tangențială și o celulă de încărcare de 2500 N pentru a seta / măsura sarcina normala. Sarcina este aplicată prin 2 tamponane, presate perpendicular pe fețele plane ale mostrei printr-o pereche de arcuri de compresie, care sunt încărcate cu șuruburi reglabile. De asemenea, sunt folosite două arcuri verticale de compresie care acționează pe tampon pentru a aplica sarcina pre-tangențială (pentru a evita mișcarea tamponului).

Tamponanele au fost confecționate din oțel de rulment RUL 1, călite și rectificate.

Sarcina tangențială variază în funcție de sarcina axială a mașinii. Datorită simetriei sistemului, încărcările sunt măsurate doar într-o parte. Sarcina axială ciclică aplicată mostrei a fost monitorizată cu celula de încărcare a mașinii.

2.2. Geometria mostrei și tamponului

Experimentele de oboseală prin fretting au fost efectuate cu ajutorul geometriilor specimenului și tamponului, care sunt prezentate în Fig. 2, iar Fig. 3 prezintă schema configurării testului contactului mostra-tampon.

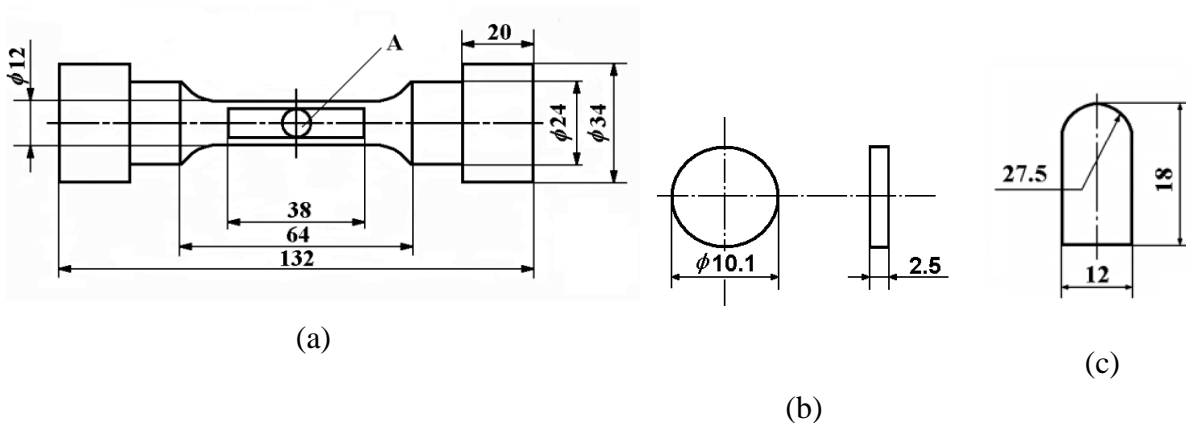


Fig 2. Geometria eșantionului, mostrei și a tamponului de încercare la fretting

CONTRIBUȚII PRIVIND FENOMENUL DE FRETTING LA PROTEZA DE ȘOLD

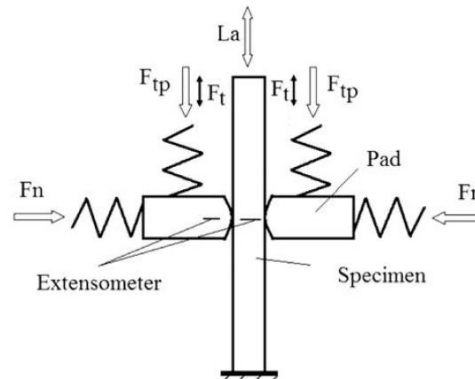


Fig. 3. Schema configurării testului contactului mostră-tampon: F_n - încărcarea normală a tamponului; F_{tp} - pre-încărcarea tangențială a tamponului; F_t - încărcarea tangențială a tamponului și L_a - sarcina axială a mașinii.

Specimenul (Fig. 2) are o formă specială, cu două fețe plate opuse (A), frezate, rectificat și șlefuite pe mijlocul eșantionului.

Cele două zone ale contactului au fost generate pe laturile plate ale mostrei. În mijlocul acestor zone au fost practicate gauri cu $\varnothing 10.1$ mm și adâncime de 2.5 mm. În aceste găuri au fost introduse eșantioanele de fretting.

Înainte de testare, suprafețele eșantioanelor și ale tamponelor au fost curățate ultrasonic în alcool.

2.3. Procedura experimentală

În condiții statice, eforturile de compresiune datorate contactului punctiform, p_{max} și p_{med} (presiunea de contact maximă și medie) au fost determinate în condiții teoretice și prezentate în lucrarea “*Roughness Influence on Initiation of Fretting Fatigue Scar of Ti-6Al-4V*” **Capitanu L.¹, Badita L.L.², Florescu V.³, Tiganesteanu C.¹** 9. International Conference on Tribology (BalkanTRib’17), 13-15 September 2017, Cappadocia/TURKEY [11]

CONTRIBUȚII PRIVIND FENOMENUL DE FRETING LA PROTEZA DE ȘOLD

Testele au urmărit evoluția cicatricii de fretting în funcție de sarcina normală aplicată, în condiții diferite de rugozitate a suprafeței și încărcare normală, dar la încărcare tangențială constantă.

Încercările experimentale au fost efectuate în condiții de ungere cu SBF (fluid corporal simulat) de la Hyclone Inc., USA, care are o compoziție aproape de cea a serului uman.

3.Rezultate experimentale

Au fost efectuate teste de oboseala prin fretting la temperatura ambiantă, în mediul de laborator, precum și la o frecvență ciclică de 4 Hz.

Pentru a observa uzura suprafeței fixe în funcție de rugozitatea cuplei, asperitățile cuplei au fost concentrate pe una dintre suprafețe, în special, pe cea mobilă. Suprafața fixă a avut rugozitatea minimă realizabilă. Rugozitatea compusă a cuplei, exprimată prin abaterile standard, σ :

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \quad (1)$$

unde σ_1, σ_2 reprezintă abaterile standard ale celor două suprafețe.

Dacă una dintre suprafețe are rugozitate mult mai mică, adică $\sigma_1 \ll \sigma_2$, atunci $\sigma \approx \sigma_1$. Astfel este posibilă studierea influenței rugozității asupra uzurii.

3.1.Evoluția stării suprafeței de contact în condiții de fretting

Consecința frettingului este cicatricea de fretting care se formează în zona contactului tampon – moștra și care poate evolua prin inițierea fisurii de fretting, până la ruperea în timp a eșantionului. Faza de inițiere durează aproape 80 % din durata de funcționare a cuplei.

Volumul cicatricii pentru cele trei determinări experimentale este: 1057 specimen: $V = 8.50 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$; 1058 specimen: $V = 6.11 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$; 1059 specimen: $V = 4.00 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$, rezultând un

CONTRIBUȚII PRIVIND FENOMENUL DE FRETING LA PROTEZA DE ȘOLD

volum mediu $\bar{V} = 6.2 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$. Pentru determinările de uzură, o abatere de 25% este complet satisfacatoare.

Prin creșterea timpului de funcționare de la 5 minute la 30 de minute, uzura crește doar cu aproximativ 10%. Această evoluție a uzurii este explicată prin rodajul suprafețelor, ceea ce duce la schimbarea regimului de lubrifiere.

Rugozitățile diferite folosite, au cauzat nu doar o diferență între valoarea volumului uzat al cicatricii, dar și de asemenea, a aspectului cicatricii de uzură (tipul de uzură).

După primele 5 min de funcționare, s-a observat ca întreaga suprafață de contact este acoperită cu oxid. Cicatricea obținută după alte 5 minute, cu aceeași bucușă, are o formă specială, zona de uzură oxidativa limitandu-se la jumătate din suprafata incarcata.

3.2. Influența rugozității inițiale asupra uzurii prin fretting și a coeficientului de frecare

Valoarea minimă a uzurii suprafeței trebuie să coincidă cu valoarea minimă a rugozității suprafeței. Valorile medii ale volumului de material uzat prin fretting

$$V_u = 7.0 \times 10^{-5} \text{ mm}^3 \rightarrow \mu = 0.038;$$

$$V_u = 7.0 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 \rightarrow \mu = 0.050;$$

$$V_u = 3.7 \times 10^{-5} \text{ mm}^3 \rightarrow \mu = 0.038;$$

$$V_u = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mm}^3 \rightarrow \mu = 0.078.$$

Simultan cu producerea cicatricilor de uzură prin fretting pe suprafața mostrelor din aliaj Ti-6Al-4V, a fost măsurat de asemenea și coeficientul de frecare.

A fost analizat și efectul rodajului asupra comportării la uzură de fretting a suprafeței. Acest lucru s-a realizat prin utilizarea aceluiași tampon pentru mai multe testări successive.

CONTRIBUȚII PRIVIND FENOMENUL DE FRETING LA PROTEZA DE ȘOLD

4. Concluzii

În condițiile experimentale utilizate, contactul de fretting dintre tampon și eșantion, a fost un contact punctiform, care a produs o cicatrice de uzură prin fretting. Aceasta a evoluat rapid, chiar în timpul scurt luat în considerare.

A fost urmărită influența rugozității mostrei și tamponului asupra inițierii și evoluției cicatricii de uzură prin fretting.

A rezultat că, în condițiile experimentale utilizate, și în cazul experimentului cel mai scurt cicatricea de uzură prin fretting este vizibilă. Au fost înregistrate și analizate profilele și microfotografiile suprafețelor inițiale și ale celor rezultate. Simultan a fost măsurat coeficientul de frecare.

Înregistrarea cicatricilor de fretting a dus la calcularea volumului de material uzat prin fretting și corelarea cu valoarea coeficientului de frecare înregistrat în timpul fiecărui test.

Rugozitățile utilizate au cauzat o diferență a valorii volumului uzat și a tipului de uzură. S-a observat că prin creșterea timpului de funcționare de la 5 minute la 30 de minute, uzura crește doar cu aproximativ 10%.

A fost constatată existența unui minim al curbei de uzură care nu coincide cu coeficientul de frecare minim.

Nu a putut fi stabilită o relație matematică între coeficientul de frecare și uzură.

CONTRIBUȚII PRIVIND FENOMENUL DE FRETING LA PROTEZA DE ȘOLD

Bibliografie:

1. Buciumeanu M., Crudu I., Palaghian L., Miranda A.S., Silva F.S. *Influence of wear damage on the fretting fatigue life prediction of an Al7175 alloy*. International Journal of Fatigue 31 (2009) 1278–1285
2. Araujo J.A, Nowell D, Vivacqua R.C. *The use of multiaxial fatigue models to predict fretting fatigue life of components subjected to different contact stress fields*. Fatigue Fract Eng Mater Struct 2004;27:967–78.
3. Madge J.J, Leen S.B, Shipway P.H. *The critical role of fretting wear in the analysis of fretting fatigue*. Wear 2007;263:542–51.
4. Salerno G., Magnabosco R., de Moura Neto C. *Mean strain influence in low cycle fatigue behaviour of AA7175-T1 aluminum alloy*. Int J Fatigue 2007;29:829–35.
5. Szolwinsky M.P, Farris T.N. *Observations, analysis and prediction of fretting fatigue in 2024-T351 aluminium alloy*. Wear 1998;221:24–36.
6. Lykins C.D, Mall S., Jain V.K. *Combined experimental–numerical investigation of fretting crack initiation*. Int J Fatigue 2001;23:703–11.
7. Proudhon H., Fouvry S., Buffiere J.Y. *A fretting crack initiation prediction taking into account the surface roughness and the crack nucleation process volume*. Int J Fatigue 2005;27:569–79.
8. Geringer J., Kim K. *Fretting – corrosion in biomedical implants*. In book: *Tribocorrosion of passive metals and coatings*. Woodhead Publishing Limited, Eds D.Landolt & S. Mischler, 2011.
9. Zheng J.F., Yang S., Shen M.X., Mo J.L., Zhu M.H. *Study on rotational fretting wear under a ball-on-concave contact configuration*. Wear 271 (2011) 1552-1562.
10. Kim K., Geringer J., Pellier J., Macdonald D.D.. *Fretting corrosion damage of total hip prosthesis: Friction coefficient and damage rate constant approach*. Tribology International 60 (2013) 10–18.
11. Capitanu L.¹, Badita L.L.², Florescu V.³, Tiganesteanu C.¹ “*Roughness Influence on Initiation of Fretting Fatigue Scar of Ti-6Al-4V*” 9. International Conference on Tribology (BalkanTRib’17), 13-15 September 2017, Cappadocia/TURKEY