

PROGNOZAREA DURATEI DE FUNCȚIONARE TRIBOLOGICĂ A PIESELOR, DURIFICATE CU ACOPERIRI DE FIER ELECTROLITIC CU PROPRIETĂȚI DE AUTOLUBRIFIERE

¹P. Stoicev, ¹V. Palancică, ¹V. Rusu., ¹N. Martâniuc, ²P. Topală, ²Al. Bălănică,
³V. Cosov, ¹Al. Cebanu, ¹V. Șauga, ¹V. Moraru, ¹R. Radu, ¹I. Nistiriuc, ¹V. Sidelnicov
¹Universitatea Tehnică a Moldovei
²Universitatea de Stat „Alec Russo”, Bălți
³Centrul de Creativitate Tehnică, Chișinău

Căile tehnologice și de exploatare a tribocuplelor, privind majorarea duratei de funcționare a lor, convențional pot fi clasificate prin trei direcții:

1 – pregătirea tehnologică a suprafețelor (PTS) pieselor, ce formează tribosistemul și asigură indicii de echilibru al rugozității suprafețelor și viteza de uzare minimală a materialelor în regimul normal de funcționare;

2 – diminuarea (reducerea) intensității de uzare a suprafețelor de contactare a pieselor prin schimbarea condițiilor de exploatare (SCE) a tribosistemului;

3 – aplicarea efectelor de autoorganizare (EAO) a structurilor materialelor pieselor de contactare ale tribosistemului și a compoziției de lubrifiere [1, 2].

Prima direcție (PTS) de obicei, se realizează în procesul de prelucrare mecanică a suprafețelor pieselor componente ale tribosistemului. Totodată, calitatea înaltă a stratului superficial al pieselor organelor de mașini poate fi atinsă prin [3]:

- elaborarea unor procedee principal noi de prelucrare mecanică și fizico-tehnică;
- perfecționarea procedeelelor tradiționale de durificare a suprafețelor de contactare din tribosistem.

Asigurarea capacității de funcționare a tribosistemelor prin SCE se bazează pe proiectarea proceselor tehnologice efective de exploatare [4] care, practic, sunt și direcțiile principale de realizare ale tehnologiilor tribologice în construcția de mașini. O direcție destul de efectivă, privind diminuarea (scăderea) intensității de uzare a suprafețelor conjugate ale tribosistemului, poate fi utilizarea diferitor compoziții ale lubrifianțului, adus în zona de contactare.

Una din cele mai perspective direcții de majorare a capacității de funcționare a tribosistemului este utilizarea efectului de autoorganizare (EAO) a structurii materialelor în contactare [5, 6].

Autorul lucrării [2] a demonstrat că autoorganizarea tribosistemului reprezintă un fenomen al naturii, condiționat de generarea continuă a energiei de frecare și a schimbului de substanță (materie) cu mediul ambiant al structurilor disipative mult mai sistematizate, în comparație cu starea inițială a structurilor dinamice disipative, determinate de parametrii de interacțiune fricțională a lor. E de menționat, că în această definiție se pune accentul pe minimizarea proceselor de frecare și uzare, care pot fi absolut diferite în dependență de starea tribosistemului și, în același timp, este argumentată prezența reacției inverse, necesară pentru apariția autoorganizării: dintr-o parte – frecarea formează o oarecare structură disipativă, iar din alta – structura disipativă determină parametrii de frecare și uzare a tribosistemului în cercetare. Din aceasta rezultă că, schimbarea condițiilor de funcționare a tribosistemului conduce la schimbarea structurii disipative, care, la rândul ei, își găsește reflectarea sa prin aprecierea forței de frecare și a mărimii de uzura (liniară, sau masică).

O îmbunătățire eficientă a caracteristicilor tribotehnice ale mașinilor și mecanismelor poate fi atinsă prin utilizarea materialelor noi în construcția de mașini și, în deosebi, a celor cu proprietăți de autolubrifiere [7, 8], cauzate de capacitatea acestor materiale de a forma pe suprafețele de contactare a unor straturi de lubrifiere stabile cu proprietăți termofizice și antifricționale destul de înalte. Vestitul savant I. Kragelskii și discipolii săi [8] au demonstrat că la baza proiectării și obținerii materialelor noi cu proprietăți de autolubrifiere stau principiile cercetărilor teoretice în domeniul frecării „uscate” și condițiile limită de lubrifiere, determinate de proprietățile fizico-chimice ale unsoilor consistente și polimerice, precum și a celor cercetări, care stabilesc legăturile reciproce dintre proprietățile de durabilitate și de fricțiune ale materialelor în contactare. Tehnologiile contemporane de obținere a acoperirilor cu proprietăți de autolubrifiere permit de a genera pelicule (straturi) de unsoiri consistente cu grosimea

de la 5 până la 100 μm, iar în cazul cu liant polimer – chiar și până la 1 μm, ceea ce considerabil extinde domeniul de utilizare ale acestor materiale [8].

Pentru recondiționarea și durificarea pieselor organelor de mașini care funcționează în regim limită de alimentare cu lubrifianț a zonei de frecare, sau în lipsa acestuia (frecare în vid), de către autorii lucrării [9] a fost elaborat un nou electrolit, care permite de a obține din el acoperiri electrolitice de fier-nichel cu proprietăți de autolubrifiere în baza caprolactamei, a cărei formulă structurală este prezentată pe figura 1.

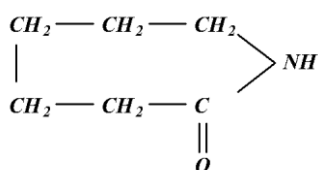


Figura 1. Formula de structură a caprolactamei

Investigațiile experimentale au demonstrat că la frecarea „pe uscat” a acoperirilor de Fe-Ni (cu conținut de caprolactamă în ele) pe fonta aliată, rezistența lor la uzură a fost de 3 ori mai înaltă, datorită proprietăților tixotropice ale caprolactamei, în comparație cu aceleași depuneri – în lipsa caprolactamei [9]. Însă acest electrolit conține sulfat de nichel (NiSO₄ · 7H₂O) și hidroxilamină, care sunt destul de costisitoare și deficitare. Pentru a înlătura acest neajuns a fost elaborat un alt electrolit [10], fără sulfat de nichel și hidroxilamină, de următoarea componență, g/l:

| | | |
|---|-----------|---------------------------|
| FeCl ₂ · 4H ₂ O..... | 450...500 | (clorură de fier) |
| C ₆ H ₁₁ NO..... | 2...5 | (caprolactamă) |
| Na ₂ C ₄ H ₄ O ₆ · 2H ₂ O..... | 3... 5 | (tartratul acid de sodiu) |
| HCl..... | 1,0 | (acid clorhidric) |

În lucrarea [10] s-a demonstrat că compoziția produselor de interacțiune dintre caprolactamă și hidroxizii de fier (de pe suprafața acoperirilor de fier) corespunde unor combinații complexe, care se formează din contul legăturilor de tip „donor-acceptor” a azotului cu fierul, iar azotul se află în grupa amidică a caprolactamei (fig. 2).

Aici menționăm că formulele de structură a complecșilor sunt aproximative, iar însăși prezența lor denotă apariția legăturilor chimice dintre caprolactamă și hidroxidul de fier [Fe(OH)₃], formând o fază nouă – un sistem coloidal (fig.2), a cărei structură prezintă o rezistență redusă la deplasarea reciprocă a suprafețelor în frecare.

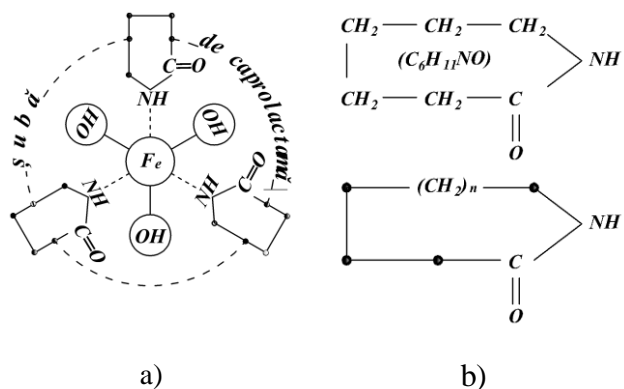


Figura 2. Structura de coordonare a hidroxidului de fier cu caprolactama (a) și formula de structură a acesteia din urmă (b)

Rezultatele cercetărilor efectuate anterior [9, 11, 12] permit de a presupune că caprolactama, sub acțiunea temperaturii de frecare, se va elibera din legăturile de coordonare cu Fe și, datorită proprietăților tixotropice ale ei, va trece într-o fază lichidă, va ieși pe suprafețele de contactare ale tribocoplului, unde întotdeauna vor fi prezenți hidroxizii metalelor corespunzătoare (în cazul nostru – hidroxidul de fier: Fe(OH)₃) și va interacționa cu el, formând o structură de coordonare (vezi fig. 2,a). Este cunoscut [13] că **caprolactama** este și o substanță cu proprietăți superficiale destul de active, iar proprietățile ei (ca și a hidroxidului de fier) contribuie la chemosorbție. Catena nepolară de hidrocarbură a caprolactamei are o predispoziție redusă de interacțiune moleculară. Din acest motiv moleculele de caprolactamă se vor concentra pe suprafețele de separare a fazelor, și după toate probabilitățile, se vor orienta cu grupele lor amidice spre hidroxidul de fier iar cu radicalii carbonici - în aer, astfel formând o „șubă” (vezi fig. 2, a). Particulele cu dispersie fină a produselor de uzură, precum și hidroxizii metalelor (în cazul nostru Fe(OH)₃), învăluite în „șuba” moleculelor de caprolactamă (vezi fig. 2, a) vor umplea golurile dintre microasperităților de pe suprafețele de frecare și vor forma o peliculă de lubrifiere între suprafețele de contactare, care va conduce la reducerea considerabilă a uzurii acoperirilor de fier și a materialului contracorpului. Reieșind din cele expuse mai sus, a fost elaborat modelul fizic de autolubrifiere a contactului tribologic cu acoperiri de fier în baza caprolactamei (fig.3).

Particulele coloidale ale hidroxidului de fier, care absorb caprolactama, formează niște incluziuni sferice de rostogolire (fig. 4) amenajate în unul, sau mai multe rânduri între suprafețele de frecare. Dimensiunile acestor particule se pot schimba la

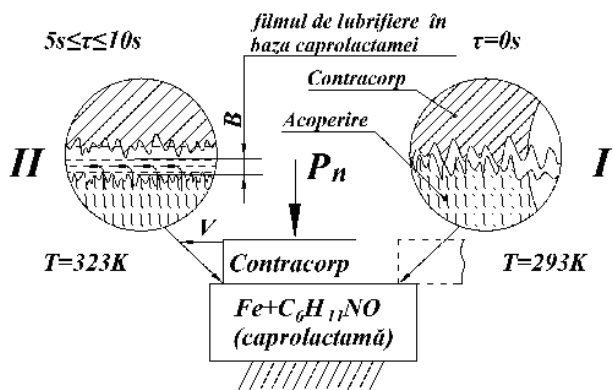


Figura 3. Modelul fizic presupus de autolubrifiere a contactului tribologic „acoperire de fier-fontă aliată”

intrare și ieșire din zona de frecare, iar în afara ei, (datorită agregării lor), așa particule pot fi cu mult mai mari, decât a celor din zona de frecare.

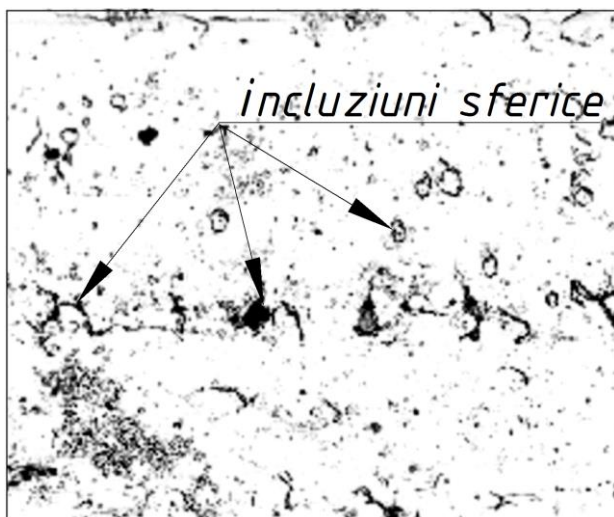


Figura 4. Includiuni sferice pe suprafața de frecare ale acoperirilor de fier cu conținut de caprolactamă (P=1,5 MPa, V=0,8 m/sec), (x500)

Acoperirile electrolitice de fier cu conținut de caprolactamă sunt cu o structură inițial fisurată [6], iar aceasta din urmă reprezintă o sursă de concentratori de tensiuni în procesul de frecare superficială. Distribuția tensiunilor de contact și ale celor tangențiale sporesc tendința de alunecare a cristalelor și ca urmare – a reorientării acestora.

Gradientul de temperatură locală de pe suprafețele de frecare (care-i îndreptat în adâncimea materialelor de contactare) poate influența esențial orientarea structurilor. Dacă această temperatură depășește temperatura de recrystalizare a materialelor în frecare, atunci structura lor se poate reface și reorganiza.

Se știe că rezistența la oboseală superficială depinde de mai mulți factori [14], cum ar fi: orientarea rețelei cristaline în raport cu direcția de

solicitare, structura superficială, tratamente termo-chimice sau mecanice, de tipul acoperirilor depuse, condițiile de lucru și mediu, factorii chimici ai mediului și lubrifiantului.

Până la o anumită limită a încercărilor sub acțiunea solicitărilor exterioare, suprafețele se deformează elastic [14, 15], iar când această limită este depășită - apar deformații plastice însoțite de deformații remanente cu alunecări și ruperi ale rețelelor cristaline și, ca urmare, în aceste zone apar microfisuri. Însă aceste microfisuri pot apărea și la încărcări inferioare deformațiilor plastice, datorate unor factori interni (cum ar fi [15]: incluziuni, goluri sau structuri neomogene, cu cristale dure într-o matrice metalică moale), sau unor factori externi, de pildă formarea pieselor cu concentratori inițiali. La acestea din urmă se pot atașa și acoperirile electrolitice de fier în care fisurile sunt formate în procesul de depunere a lor pe suprafețele pieselor uzate.

Dacă pentru piesele masive trebuie întreprinse o serie de măsuri constructive (inele, canale, orificii sau dispozitive de ungere) pentru a asigura condițiile de funcționare optimă [16, 17], la piesele recondiționate și durificate cu acoperiri electrolitice de fier cu conținut de caprolactamă nu este nevoie de astfel de măsuri, deoarece datorită fisurilor superficiale deschise (obținute în procesul de depunere), distribuite destul de omogen în acoperiri, ele se umplu cu lubrifiantul termogenerat în baza caprolactamei și formează o peliculă cu capacitate portantă destul de înaltă (vezi fig. 3). Așadar într-un astfel de cuplu de frecare are loc autoorganizarea tribosistemului cu proprietăți de autolubrifiere.

Descrierea fenomenologică a rezistenței la uzarea de oboseală a stratului superficial al pieselor restabilite cu acoperiri electrolitice de fier (cu conținut de caprolactamă) poate fi bazată, conform [2], pe includerea unei mărimi de deteriorare D , care reprezintă o funcție în timp egală cu zero – pentru starea inițială a materialului stratului superficial al pieselor din tribosistem și, egală cu unu – pentru starea de deteriorare completă a lui. Conform acestei ipoteze [2], deteriorarea completă a materialului din stratul superficial al piesei la uzarea de oboseală va avea loc atunci când:

$$\int_{n_d} \frac{dn_i}{n(\sigma_i)} = 1 \quad (1)$$

unde: n_d este numărul de cicluri de solicitare până la deteriorare în regim de solicitări nestaționare;

$n(\sigma_i)$ - numărul de cicluri până la deteriorare în regim omogen (continuu) de solicitare cu amplitudinea de solicitare σ_i ;

dn_i – numărul de acționări cu valorile amplitudice a tensiunilor cuprinse în intervalul de la σ_i până la $(\sigma_i + d\sigma)_i$.

În calitate de caracteristică a regimurilor nestaționare de solicitare a acoperirilor de fier din tribosistem, s-a luat funcția de distribuție a tensiunilor, calculate după relația [2, 14]:

$$\phi(\sigma) = P\{\sigma_x < \sigma_i\} = \frac{n_i}{n_c} \quad (2)$$

unde: σ_x este tensiunea la nivelul X de la linia vârfurilor asperităților profilului suprafeței;

n_i – numărul de acționări în punctul dat a materialului cu tensiunea nu mai mare de σ_i .

Atunci numărul de acționări cu valorile de amplitudine a tensiunilor de la σ_i până la $(\sigma_i + d\sigma_i)$ va fi egală cu

$$dn_i = n_a \phi(\sigma_i) d\sigma_i, \quad (3)$$

iar condiția de deteriorare completă a materialului din stratul superficial al piesei (acoperiri de fier electrolic) la uzura de oboseală va obține următoarea formă [4]:

$$n_d \int_{\sigma_{min}}^{\sigma_{max}} \frac{\phi(\sigma_i) d\sigma_i}{\left[\frac{\sigma_{vr}}{\sigma_i} \right]^{A_i}} = 1, \quad (4)$$

unde σ_{vr} – limita rezistenței la oboseală a materialului din stratul superficial al acoperirilor electrolicite de fier;

Δ_i – parametrul universal al uzării de oboseală a materialelor [14].

Luând în considerație, că distribuția amplitudinilor tensiunilor este la fel ca și distribuția la înălțime a vârfurilor asperităților stratului superficial [2], care provoacă efecte fluctuaționale în procesul de frecare, se poate de apreciat numărul de cicluri până la deteriorarea materialului stratului superficial (acoperirilor) al tribosistemului, adică rezistența lui la uzură

$$n_d = \left[\frac{3\pi\xi\sigma_o}{4Kf} \sqrt{\frac{r}{R_{max}\varepsilon}} \right]^{A_i} \quad (5)$$

unde ξ este constanta de elasticitate a lui Kirghof pentru materialul suprafeței în frecare [16];

K – coeficientul de proporționalitate, care depinde de ipoteza rezistenței materialului piesei și coeficientului lui Poisson [14];

f – coeficientul de frecare în contactul tribosistemului;

σ_o – tensiunea interioară a materialului deformat din stratul superficial al piesei (acoperire);

r – raza de rotunjire a vârfurilor neregularităților a stratului superficial (acoperire);

R_{max} – înălțimea maximală a neregularităților suprafeței de frecare (acoperiri);

ε – deformarea elastică relativă a materialului stratului superficial al piesei (acoperirii).

Utilizând relația principală a teoriei adezional-deformaționale pentru contactul elastic al suprafețelor de frecare și, luând în considerație componenta deformațională a coeficientului de frecare se poate de apreciat valoarea acestuia, cu unele admiteri, după relația propusă de [16]:

$$f_c = \frac{\tau_{pl} \cdot S_a}{P} + 0,9\beta \quad (6)$$

unde $P = p \cdot S_a$ - este forța normală ce acționează pe suprafața de frecare;

p – presiunea raportată la suprafața conturată (vizibilă) a contactului;

β – coeficientul de durificare a peliculei superficiale a materialului din cuplul tribologic;

τ_{pl} – rezistența la forfecare a peliculei superficiale a materialului mai slab din cele două, ce participă la frecare, raportată la suprafața conturată a contactului tribologic.

Pentru verificarea comparativă a coeficienților de frecare, (calculat (f_c) - după relația (6) și apreciat experimental (f_{exp}), încercărilor experimentale au fost supuse acoperirile de fier electrolic obținute din electrolitul propus cu conținut de caprolactamă. Coeficientul de frecare și rezistența la uzură a acestor acoperiri au fost determinate pe mașina SMT-2 în condiții de autolubrifiere a lor.

Experimentările au demonstrat (vezi fig. 5) că în aceleași condiții stabile de exploatare (P, V) coeficienții de frecare calculați (f_c) după relația (6) diferă neesențial ($\approx 3\%$) de cel apreciat experimental (f_{exp}) și poartă același caracter de derulare în funcție de timp.

Coeficientul de frecare în condiții experimentale a fost calculat după relația cunoscută [11]:

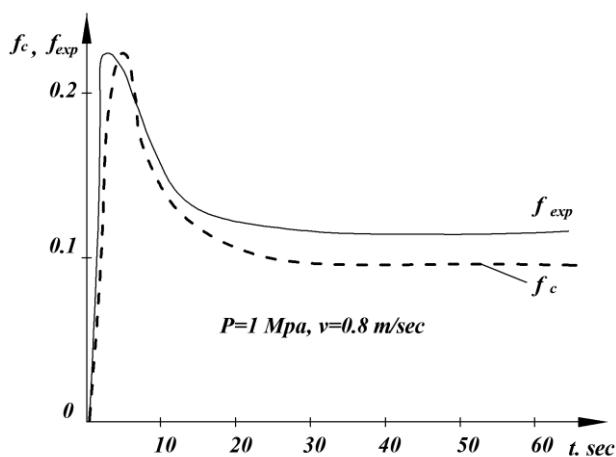


Figura 5. Coeficienții de frecare calculat (f_c) și apreciat experimental (f_{ex}) în tribosistemul „acoperire de fier cu conținut de caprolactamă-fontă aliată” pentru condițiile de electroliză: $j_c = 40 \text{ A/dm}^2$, $T = 313 \text{ K}$, $pH=0,8$, și cu 4,5% de caprolactamă în acoperire.

$$f_{exp} = \frac{M_{fr}}{P_n \cdot R} \quad (7)$$

unde: M_{fr} este momentul de frecare (N·m) înregistrat pe mașina SMT-2;

P_n – forța normală în contactul tribocuplei, N;

R – raza rolei cu acoperiri de fier, m.

Cercetările noastre au demonstrat, că adaosul în electrolit a **5 g/l** de caprolactamă și la presiunea în contact (P) de **0,25 MPa**, uzura acoperirilor de fier cu conținut de caprolactamă, practic, nu avea loc, iar la presiunea de **1,0 MPa** - viteza de uzare a lor era de **4...5** ori mai mică, în comparație cu aceleași acoperiri în lipsa caprolactamei. Acest efect, după părerea noastră, se manifestă datorită termogenerării peliculei de caprolactamă între suprafețele de contactare (vezi fig. 3), care protejează aceste suprafețe, evitând direct contactul metalic. Pentru confirmarea acestei ipoteze suprafețele de frecare a materialelor contactate („Fe cu caprolactamă – fonta aliată”) au fost supuse analizei chimico-microscopice, care a demonstrat că pe măsura creșterii presiunii în contact până la **1 MPa** produsele de uzură umplu microasperitățile suprafețelor de frecare și sub acțiunea sarcinilor normale și tangențiale provoacă netezirea suprafețelor. Creșterea în continuare a presiunii ($P > 1,0 \text{ MPa}$) provoacă lustruirea suprafețelor de frecare în prezența straturilor de lubrifiere în baza caprolactamei (fig. 4).

Analiza chimică a stratului de frecare superficială a demonstrat că el prezintă un compus complex, format în rezultatul interacțiunii hidroxizilor de metale de pe suprafețele de frecare

(ale acoperirilor de fier și fonta aliată). Pe suprafața de frecare a contracorpului a fost depistat la fel un compus complex format din incluziuni cu dispersie fină de **Mg** și **Cu**, care intra în componența structurală a fontei aliate (**0,65**, și respectiv **0,25%**). În acest caz, conform [8, 12, 13], are loc formarea unor compuși coordonativi de fier și cupru cu caprolactamă, datorită proprietăților de donor de electroni ale azotului, care intră în componența caprolactamei (vezi fig.2 a, b).

Prezența acestor compuși coordonativi micșorează brusc probabilitatea contactării suprafețelor juvenile și poate mări esențial interstițiul dintre corpurile tribosistemului datorită umplerii zonei de frecare cu curgerea vâscoasă a particulelor coloidale, ceea ce a și provocat o reducere considerabilă a uzurii acoperirilor de fier (cu conținut de caprolactamă) și a valorilor coeficientului de frecare.

Activitatea superficială a caprolactamei asigură nu numai absorbție pe hidroxizii de metale, care-s prezenți atât pe suprafața acoperirilor de fier cât și pe cea a fontei aliate, dar asigură și adeziunea lor în întregime la suprafețele de frecare. Însă în procesul de frecare, probabil că are loc și dezintegrarea nucleelor din hidroxizii de metale și formarea lor ulterioară, datorită interacțiunii lor repetate cu caprolactama, adică se observă așa numita **curgere chimică**, analogică aceleia, care are loc la transformări **mecanico-chimice** ale polimerilor. Deoarece caprolactama nu împiedică oxidarea [12, 13], suprafețele juvenile ale acoperirilor de fier și ale fontei aliate din nou se oxidează și procesul de scoatere a produselor de interacțiune se repetă din nou.

Conform teoriei energetico-structurale [16], în zona contactului de frecare se formează așa numitele structuri disipative (**structuri secundare de protecție-SSP**), care au o proprietate de producere minimală a entropiei. Formarea acestor **SSP stabile** și sistematizate reprezintă un proces de autoorganizare, care normalizează frecarea. În realitate, formarea acestor pelicule nu este nimic altceva, decât un proces de autolubrifiere a suprafețelor din tribosistem.

Așa dar, mecanismul de autolubrifiere a tribosistemului se explică prin trei efecte care au loc în procesul de frecare a acoperirilor de fier (cu conținut de caprolactamă) pe fonta aliată: mecanic, fizico-chimic și chimic.

În rezultatul încercărilor de laborator au fost optimizate regimurile de depunere a acoperirilor electrolitice de fier cu proprietăți de lubrifiere: $j_c=40 \text{ A/dm}^2$, $T_{el}=313 \text{ K}$, $pH=0,8...1,0$.

Încercărilor de exploatare au fost supuse cilindrii blocurilor de compresoare ale autobuzelor IKARUS și pivoturile de fuzetă ale autogreiderelor DZ=99, recondiționate și durificate cu acoperirile electrolitice de fier obținute din electrolitul elaborat cu conținut de caprolactamă și în absența ei la regimurile optime de electroliză (fig.6 și fig.7) conform tehnologiilor elaborate de autorii lucrărilor [6, 17].

Pivoturile de fuzetă recondiționate au fost supuse rectificării, iar suprafețele cilindrilor



Figura 6. Pivoturi de fuzetă ale autogreiderelor DZ-99.

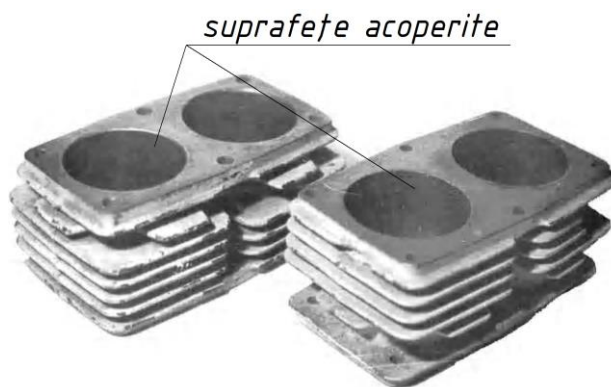


Figura 7. Blocuri de compresoare ale autobuzelor IKARUS-259.

blocurilor de compresoare - inițial rectificării și apoi honuirii la regimurile de prelucrare mecanică, recomandate în lucrarea [18]. Piesele restabilite cu Fe electrolitic „pur” și cu adaos de caprolactamă („KI”) au fost instalate în pereche la 10 autogreidere și 10 autobuze ICARUS, care au fost supuse exploatării, corespunzător, în mediu cca **1550 moto-are** și unei curse de **60 mii km**, apoi au fost efectuate măsurările pieselor corespunzătoare, privind aprecierea mărimilor de uzare ale lor (Tabelul 1).

Tabelul 1. Rezultatele comparative ale uzurii suprafețelor lucrătoare după încercările de exploatare ale pivoturilor de fuzetă și cilindrilor blocurilor de compresoare recondiționate cu acoperiri de fier **electrolitic „pur”** și cu conținutul de caprolactamă („KI”).

| Piesele recondiționare | Tipul acoperirilor aplicate | Durata de funcționare (motoare), sau cursa parcursă (mii km) | Valoarea medie a uzurii (mm) | | Coeficientul duratei de funcționare |
|-------------------------------------|-----------------------------|--|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| | | | Acoperire de Fe „pur” | Acoperire de Fe + „KI” | |
| Pivoturi de fuzetă | Fe – electrolitic | 1550 | 0,36 | 0,18 | 2,0 |
| Cilindrii blocurilor de compresoare | Fe – electrolitic | 75 | 0,25 | 0,106 | 2,35 |

Expertiza tehnică a demonstrat că, în mediu, după **1550 h de exploatare** a autogreiderelor **DZ-99** și **60 mii km de cursă** a autobuzelor **IKARUS**, rezistența la uzare a pivoturilor de fuzetă și, respectiv a suprafețelor cilindrilor de compresoare recondiționate cu acoperiri de fier cu conținut de caprolactamă a fost de **1,8...2,0** și, corespunzător de 2...2,4 ori mai înaltă, în comparație cu piesele similare recondiționate cu acoperiri de fier „pure” (în lipsa caprolactamei).

În aceste condiții de exploatare ale pieselor recondiționate cu (Fe+„KI”), coeficientul duratei de funcționare la uzură (K_d) a constituit: **2.0** – pentru

pivoturile de fuzetă și **2.35** – pentru cilindrii compresoarelor.

CONCLUZII:

1. A fost elaborat un model fizic de autolubrifiere și mecanismul de uzare la oboseală a acoperirilor de fier cu conținut de caprolactamă, bazat pe proprietățile tixotropice ale caprolactamei termogenerate pe suprafețele de frecare ale tribocuplelor cu mișcare de alunecare.

2. Acoperirile obținute pot fi utilizate pentru recondiționarea și durificarea suprafețelor uzate al tribocuplelor ce funcționează în regim limită de

lubrifiere, sau în lipsa lubrifiantului, când aducerea lui din exterior, practic, este imposibilă (exploatarea în vid).

3. Încercările de exploatare ale pivoturilor de fuzetă și a cilindrilor blocurilor de compresoare, recondiționate cu acoperiri de fier cu conținut de caprolactamă, au confirmat rezultatele cercetărilor de laborator și ne permit de a recomanda spre implementare pe o scară mai largă acoperirile electrolitice de Fe cu proprietăți de autolubrifiere în industria de reparații a R. Moldova.

Bibliografie

1. **Butenko V. I., Cosov V.I., Zaharcenco A.D.** Problemy9 povy9shenia nadyojnosti mashin i mexanizmov s sinergeticeskoi tochki zrenia//Izv. TRTU. Specz.vypusk. Materialy nauchnoj Konferenčii. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2001, Nr.1 s.187-191.
2. **Butenko V. I.** Iznos detaley tribosistem. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2002, 235 s.
3. **Butenko V. I., Zaharcenco A.D., Shapovalov R.G.** Teoreticheskie i konstruktorsko-tehnologicheskie napravleniya sovershenstvovaniya mehaniki mashin/Vosimoi vserosiiskii s'ezd po teoreticeskoi i prikladnoi mehanike. Annotaczii dokladov. Perm'', 2001, s.130.
4. **Chisteakov A.V.** ș.a. Optimizaczi e' kspluataczionno-tehnologicheskix prozessov v mashinostroenii. Novočerkask: Izd-vo NGTU, 1997, 288 s.
5. **Kravic K.** Ispol'zovanie printipov samoorganizaczii pri konstruirovanii bezzazorny'x podsipnikov skol'zhenia/Tez. Docladov V Mezhdunarodnoi nauchno-tehnichesk. Conferenčii no dinamike tehnologicheskix sistem. T.2. Rostov-na-Donu, 1997, s.162-163.
6. **A. Ceban, P. Stoicev și a.** Identificarea tribologică a proceselor de autoorganizare a tribosistemelor cu acoperiri electrolitice de fier și conținut de caprolactamă. Lucrări științifice. Vol. 13. Inginerie agrară, Chișinău, 200, pp.109-122.
7. **Sviridenok, Smurugov V., Delicatnaia I.** Granichny'e sloi i ix roli v mehanizme fricționogo vzaimodeistviya polimerny'x compozitov. Tez. Docl.2. i . Vsesyuzn. Cong. „Texnologiceskoe upravlenie tribotehniceskimi xyrycteristikami uzlov mashin. Kișinyov,1985, 89-90 p.
8. **Kragelskii N.V., Troyanovskaya G. N., Zelenskaya M. N.** Samosmazy'vayusch'eysya materialy' i ix primeneniye pri resheniy novy'x tehnologicheskix i konstruktorskix zadach. Tez. Dokl. 2-i Vsesoyuzn. Nauchn. Tehn. Konfer.:

«Tehnologicheskoe upravlenie tribotehniceskimi harakteristikami uzlov mashin», Kishine`u, S.P.I. im. «S. Lazo», 1985, s.88-89.

9. **Patent №1790635 (SSSR).** E`lectrolit dlya osajdeniya splava jelezo-nikel' /Kalmuckiy V. S., Roshkovan G. V., Stoichev P. N. i Javguryanu V. N. BI №3 opubl. 23.01.93.

10. **Stoicev P., Ceban Al., Moraru V., Roșcovan Gh.** Interacțiunea fricțională a acoperirilor de fier electrolitic în condiții de autolubrifiere. Confer. Intern. „Tehnologii Moderne, Calitate, Restucturare”, vol.2, TMCR 2003, Chișinău, 2003, 506-515 p.

11. **Stoicev P.** Durificarea și recondiționarea organelor de mașini cu acoperiri electrolitice rezistente la uzură. Teza de doct. hab. în tehnică, Chișinău, 2001, 381 p.

12. **Roshkovan Gh.** Vosstanovlenie avtotraktorny'h detaley samosmazy'vayusch'misya jelezo-nikelevy'mi pokry'tiyami. Dis. kand. tehn. nauk. Kishine`u, 1992, 179 s.

13. **Kre`chiun A. T., Moraru V. E.** Tverdye smazochny'e materialy' na osnove kaprolaktama. Izd. «Shtiinca», Kishine`u, 1988, 117 s.

14. **Kragely'skiy I.V., Doby'kin M. N., Kombalov V.S.** Osnovy' raschetov na trenie i iznos. M.: Mashinostroenie, 1977, 526 s.

15. **Catrina Gh.** Introducere în tribologie. Edit. UNIVERSITATEA, Craiova, 2002, 182 p.

16. **Kosteckiy B. I.**//Tez. mejd. nauchn. tehn.konf. «Trenie, iznos i smazochny'e materialy'». Tashkent, 1985, t. 2, s. 287-296.

17. **Stoicev P., Ceban Al., Topală P., Moraru V. ș.a.** Particularitățile tehnologice și indicii de exploatare a organelor de mașini durificate cu acoperiri de fier electrolitic cu conținut de caprolactamă. MERIDIAN INGINERESC nr.3 U.T.M., 2007, pp.15-16.

18. **Mardare V.** Prelucrarea depunerilor electrolitice ale fierului prin rectificare. Autoref. tez. de dr. șt. tehn., Chișinău, 1994.