

REZISTENȚA LA UZURĂ ȘI PROPRIETĂȚILE DE ANTIFRICȚIUNE ALE MATERIALELOR PULVERULENTE TEHNOLOGICE DE LUBRIFIERE ÎN BAZA CAPROLACTAMEI

V. Moraru¹, A. Crăciun², P. Stoicev¹

¹Universitatea Tehnică a Moldovei,

²Universitatea de Stat din Moldova

INTRODUCERE

Pentru cercetarea capacității de lubrifiere și proprietăților de antifricțiune ale materialelor pulverulente de lubrifiere (MPL) s-a utilizat mașina de frecare cu patru bile (CȘMT-3.2, GOST 9490-75), folosită pe larg la cercetarea lubrifianților tehnologici [1], precum și a materialelor solide.

După părerea profesorului G. V. Vinogradov [2], mașina - CȘMT-3.2 poate fi utilizată nu numai pentru încercări comparative, ci și pentru cercetarea uzurii și frecării semilichide, în tot sistemul complex al proceselor fizico-mecanice, ce însoțesc și condiționează aceste fenomene.

1. INVESTIGAȚII PRIVIND STUDIUL FRECĂRII PE MAȘINA CU PATRU BILE

CȘMT-3.2 posedă un șir de calități:

- asigură o bună repetare a rezultatelor experimentale, care depind de stricta respectare a modalității de experimentare;
- forma suprafețelor de frecare („bile de contact”) nu asigură efectul hidro-dinamic de lubrifiere,

și din acest motiv se considera, că frecarea pe suprafețele de contact are loc în condiții de lubrifiere semilichide.

În calitate de suprafețe de frecare active au fost utilizate suprafețele bilelor călite din oțel „ІІХ-9” sau „ІІХ-15” după GOST 801-68 cu diametrul 1/2" (12,7 mm) și gradul de precizie nu mai jos de 3. Duritatea bilelor atingea valorile de 61...62 HRC₃; parametrul rugozității suprafeței corespundea $R_a = 0,063 \mu\text{m}$, conform GOST 2789-73, conductibilitatea termică de $0,0921 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ [3].

Frecarea bilelor din oțel călit, într-o măsură oarecare, este similară frecării angrenajelor cu roți dințate, a elementelor rulmenților și mecanismelor cu came. În cupluri de acest tip, în locurile de contact, (la deformarea elastică) presiunile specifice pot atinge mărimi de ordinul $(10...30) \cdot 10^7 \text{ MPa}$. Pe

mașina de frecare cu patru bile presiunile specifice pot atinge valorile de până la $50 \cdot 10^7 \text{ MPa}$. Pentru cercetările comparative mașina CȘMT-3.2 este cea mai rezonabilă pentru încercările de laborator (figura 1).

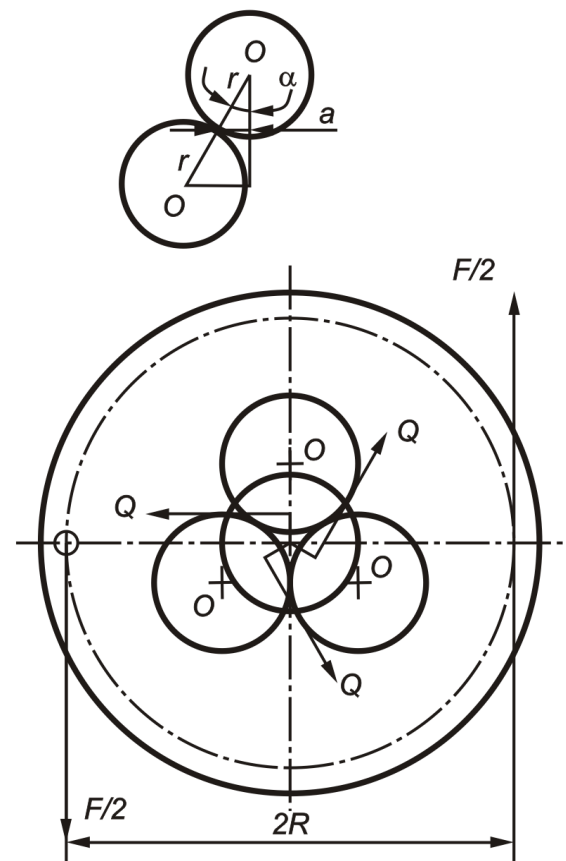


Figura 1. Schema de acțiune a forțelor asupra bilelor la etalonarea dinamometrului tensometric.

În timpul lucrului mașinii, pe suprafețele inferioare ale bilelor în experimentare apar sectoare uzate în formă de pete, iar pe bila superioară – o urmă în formă inelară. Înainte de următoarea încercare toate bilele se amenajau astfel, încât ele contactau pe suprafețe noi (neuzate). Diametrul mediu al petelor de uzură al bilelor ($d_{med. uz}$) se calcula după relația:

$$d_{med. uz} = \sum_6^1 \frac{d_{uz}^i}{6}, \quad (1)$$

unde: d_{uz} – diametrul petei de uzură, măsurat de-a lungul și de-a latul proiecției petei de uzură, m.

Viteza liniară (V) în zona de contact a bilelor era constantă și constituia 0,28 m/s (pentru $n = 720$ tur/min și $d = 12,7 \times 10^{-3}$ m):

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \times \sin \alpha = 3,02 \cdot 10^{-2} \cdot d \cdot n, \quad (2)$$

unde: n – numărul rotațiilor pe minută a arborelui principal;

d – diametrul bilelor, m.

Rezultatele încercărilor lubrifiante se prezentau în formă de grafice (în scară logaritmică) a dependentei diametrului petei uzurii bilelor ($d_{med.uz}$) de sarcina sumară, aplicată asupra bilelor (P_{ax}). Pe aceleași grafice se suprapunea și curba lui Herț – „a”, care caracterizează diametrele platourilor deformării elastice ale bilelor sub acțiunea diferitor sarcini statice.

Calculul razei platoului deformării elastice se realiza, folosind relația după [4], ținând cont de faptul că materialul bilelor și dimensiunile acestora sunt aceleași:

$$a = 0,872 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_k \cdot r}{E}}, \quad (3)$$

unde: a, r sunt raza platoului deformat elastic și, respectiv, a bilelor, m;

P_k – sarcina sumară care revine pe o bilă (forța dintre bile la comprimare), N;

E – modulul de elasticitate a materialului bilelor ($E = 2,1 \cdot 10^6$ Pa).

În cazul repartizării uniforme a sarcinilor sumare (P_{ax}) pe bile (fig. 1) forța de contactare a bilelor comprimate poate fi calculată cu relația [4]:

$$P_k = \frac{P_{ax} \cdot \sqrt{3}}{3 \cdot \sqrt{2}} \approx 0,41 \cdot P_{ax}, \quad N \quad (4)$$

Conform [5-10] pe grafice există linia indicată cu litera „b”, care caracterizează uzura suprafeței de frecare în lipsa lubrifiantului.

Pentru înregistrarea forțelor de frecare, ce apar pe suprafețele de contact ale bilelor, s-a utilizat dinamometrul tensometric, care se conecta la partea de jos a cuvei mașinii de frecare. În calitate de element elastic, a dinamometrului a fost utilizat tubul „Burdon”, pe suprafața căruia se lipeau traductorii tensometrici cu rezistența de 88,5 Ω (figura 2). Traductorii tensometrici, uniți în semi punte se conectau la amplificatorul - „TA-5”, fig. 2, poz. 5, care la rândul său, prin intermediul

microampermetrului 4 se conecta la oscilograf - „H-043.1”, fig. 2, poz. 3. Alimentarea amplificatorului 5 și a redresorului 2 se efectua de la stabilizatorul de tensiune, fig. 2, poz. 1.

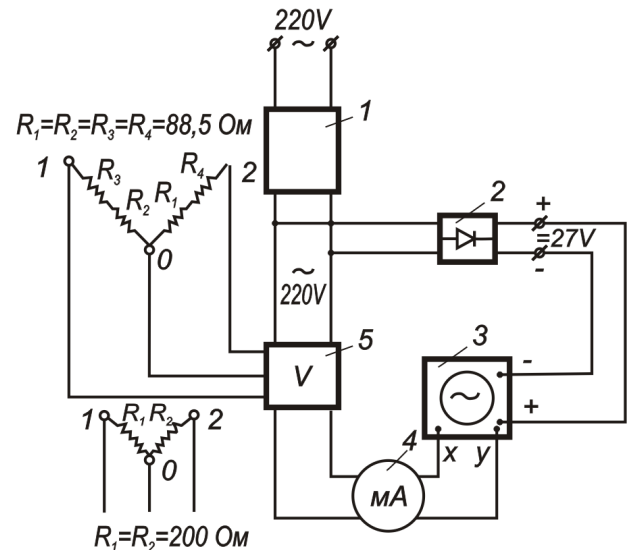


Figura 2. Schema de conectare a aparatelor pentru înregistrarea forțelor de frecare: 1 – stabilizator de tensiune; 2 – redresor; 3 – oscilograf; 4 – microampermetru; 5 – amplificator.

Înregistrarea mărimilor forței de frecare pe suprafețele bilelor se efectua pe hârtie fotografică prin intermediul oscilografului „H-043.1” sau se fixa cu ajutorul microampermetrului „M 266 M”.

Calculul coeficientului cinematic de frecare se efectua după relația obținută din condiția de egalitate a momentului de frecare și momentului, apărut de la cuplul de acțiune a forțelor de încărcare $F/2$ (fig. 1):

$$\mu = \frac{5 \cdot R \cdot F}{3 \cdot d \cdot \sin \alpha \cdot P_{ax}} \approx 10,82 \times \frac{F}{P_{ax}}, \quad (5)$$

unde: R este raza de aplicare a tijeii dinamometrului la baza cuvei mașinii de frecare (48 mm); F – forța de frecare, ce solicită tija dinamometrului tensometric, N;

d – diametrul bilei, m;

α - unghiul dintre axa de rotație a bilei de sus și drepteii, ce unește centrul bilei de sus cu cel al bile de jos ($\alpha = 8,8246 \cdot 10^{-2}$ rad), (fig. 1).

P_{ax} – forța de solicitare a cuvei între cele trei bile inferioare și bila superioară, N.

Înainte de încercările experimentale toate piesele mașinii și bilele, se spălau cu benzină „B-70”, iar apoi se uscau. Durata unei încercări experimentale era de 60 s. Pentru fiecare experiment nou, în cuva inferioară a mașinii de frecare, se turna MPL proaspăt până la nivelul, ce asigura acoperirea

completă a bilelor (pulbere cu dispersia parțială de 9...10 μm , sau lubrifiant tehnologic). Metodica încercărilor lubrifianților plastici pe mașina de frecare **CȘMT-3.2** ne semnificativ se deosebește de metodica încercărilor **MPL**: înainte de fiecare încercare experimentală (pentru aceleași sarcini axiale), în cuva inferioară a mașinii se turna o parte de lubrifiant proaspăt. Următoarele două încercări (pentru aceeași sarcină axială), se efectuau fără extragerea bilelor din cuva inferioară, însă lor li se schimba poziția pentru a schimba punctele de contactare. Lubrifiantul se turna în cuva inferioară în cantitatea necesară până la acoperirea completă a bilelor. Temperatura în laborator, în timpul încercărilor, se menținea în intervalul de 294...296 °K.

Rezultatele încercărilor de laborator ale **MPL** noi obținute în bază de caprolactamă și hidroxizii metalelor respective ca: „**K**”(Fe), „**H**”(Ni), „**M**”(Cu), „**Ti**”(Ti), „**Kd**”(Cd), „**Ko**”(Co) [5-7] sunt prezentate în tabelul 1 (vor fi utilizate în planul-model matematic de prognozare a eficacității **MPL**).

Compozițiile chimice ale **MPL** „**K**”, „**M**”, „**H**”, „**Kd**”, „**Ko**”, „**Ti**” noi sintetizate au fost determinate cu ajutorul metodei seriilor izomolare [5-7, 10], după valoarea pH-ului, pentru soluțiile apoase de **FeCl₃**, **CuCl₂**, **NiCl₂**, **CdCl₂**, **CoCl₂**, **TiCl₃** și a caprolactamei **C₆H₁₁NO**, cu concentrația de 0,01 mol/l și respectiv 0,1 mol/l.

În cazul soluțiilor de **MPL** „**M**” [8] cu concentrația de 0,01 mol/l, compoziția aproximativă a lubrifianțului poate fi redată cu ajutorul formulei: **Cu[(C₆H₁₁NO)₄](OH)₂**. În cazul concentrației lubrifianțului 0,1 mol/l, compoziția aproximativă a acestuia poate fi redată cu ajutorul formulei: **Cu[(C₆H₁₁NO)₆](OH)₂**. Pentru **MPL** „**H**”, la concentrațiile acestuia de 0,01 mol/l și 0,1 mol/l, compoziția lui poate fi redată cu ajutorul formulei: **Ni[(C₆H₁₁NO)₄](OH)₂**. Aceste formule, au fost confirmate și de rezultatele analizei conținutului de **Ni** și **N** obținute în lucrările [10, 11]. Compoziția aproximativă a **MPL** „**K**” poate fi redată prin formula: **[Fe₂(OH)₂(C₆H₁₁NO)]Cl₄**, în cazul concentrației lubrifianțului de 0,01 mol/l, iar în cazul concentrației soluției de 0,1 mol/l – prin formula: **[Fe₂(OH)₂(C₆H₁₁NO)₂]Cl₄** s-au **[Fe₂(OH)₂(C₆H₁₁NO)₂]Cl₄**. Pentru **MPL** „**Kd**”, în cazul concentrației soluției de 0,1 mol/l compoziția aproximativă a lubrifianțului poate fi redată prin formula: **Cd [(C₆H₁₁NO)₂](OH)₂**, iar în cazul concentrației de 0,01 mol/l – prin formula: **Cd [(C₆H₁₁NO)](OH)₂**

Faptul existenței interacțiunii chimice, dintre hidroxizii metalelor menționate mai sus (**Fe**, **Cu**, **Ni**, **Cd** etc) și caprolactamă, au fost confirmate și de spectrele **IR**, înregistrate cu ajutorul spectrometrului

„**Specord-75-IR**” în diapazonul 400...4000 cm^{-1} . Probele au fost preparate prin triturarea pulberilor de hidroxizi ale metalelor menționate mai sus și interacțiunea cu caprolactama și **MPL** în amestec cu ulei de vazelină. Benzile caracteristice ale uleiului de vazelină de la 1380 cm^{-1} și 1460 cm^{-1} au fost considerate drept standard. Distanța benzii caracteristice grupării – **NH** ($V_{\text{NH}} = 3280; 3190; 3050 \text{ cm}^{-1}$) și deplasarea benzilor caracteristice grupărilor **C = O** înspre diapazonul frecvențelor joase, confirmă faptul că în sistemele studiate are loc interacțiunea chimică.

Analiza termografică a **MPL** a demonstrat că, reducerea produselor examinate este cauzată de pierderea apei la temperaturile de +378...+523 °K. Produsul final de descompunere îl constituie oxizii metalelor examinate. De exemplu, pentru **MPL** „**Ni**”, pierderile de masă la temperaturile de +423...+473 °K corespund următoarei compoziții – 4 mol de caprolactamă la un mol de **Ni**.

În legătură cu faptul că **Fe**, **Cu**, **Ni**, **Cd**, **Co** și **Ti** sunt metale tranzitive, cărora le este caracteristică hemosorbția, determinată de formarea legăturilor covalente cu orbitalii **d** [10], producții metilici cu caprolactama la fel reprezintă compuși chimici. Centrele de absorbție sunt grupările de hidroxil, precum și grupările **Me-O-Me**, care interacționează cu moleculele de apă absorbite cu formarea legăturilor de hidrogen.

Studiul **MPL** prin intermediul razelor **X**, a confirmat structura cristalină ale materialelor lubrifiante elaborate. În figura 3, este prezentat compusul **MPL** „**M**” [8], care reprezintă legătura coordinațională a hidroxidului de **Cu** cu caprolactama de marca „**A**” (GOST 7850-74).

Alt studiu structural al **MPL** „**M**” [8] s-a întreprins cu ajutorul instalației „**YPC-60**”, cu raze renghen, pe probe în formă de pulberi, cu iradierea în molibden, în timp de 2 ore. Analiza debaegramelor obținute, indică faptul că compusul **MPL** „**M**” [8] nu conține **Cu**, s-au oxid de cupru (**I**), dar conține oxid de cupru (**II**), în formă de hidroxid, care este confirmat prin cele unsprezece mărimi ale distanțelor intersuperficiale. Existența și altor distanțe intermoleculare superficiale pe debaegramă ne dovedește încă o dată că, s-a format un produs interchimic nou cu proprietăți si caracteristici proprii [10-15]. Interacțiunea caprolactamei cu hidroxidul de cupru are loc datorită legăturilor donorilor acceptibili și proprietăților electrice ale donorilor de azot, care intră în componența compusului caprolactamei. Pentru compararea rezultatelor obținute, cercetărilor au fost supuse **MoS₂** „**Mikrofeyn**” și grafitul „**MB4-3**” (fabricate în RGD).

Tabelul 1. Mărimile diametrelor petelor de uzură și valorile coeficienților de frecare cinematici în funcție de *MPL* și de sarcinile axiale, sumele mărimilor după rândurile Y_j și coloanele Y_g

$P_{ax},$ N	Materiale pulverulente de lubrifiere (MPL)								Y_j	$\frac{1}{u,m} Y_j^2$
	<i>K</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>Ti</i>	<i>K_d</i>	<i>K_o</i>	<i>Mikro- feyn</i>	<i>MBЧ-3</i>		
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
$d_{med.uz.} 10^{-3}, m$										
700	0,44	0,40	0,40	0,40	0,46	0,38	0,40	0,41	16,50	6,806
	0,44	0,40	0,39	0,40	0,45	0,38	0,40	0,43		
	0,45	0,41	0,41	0,41	0,45	0,37	0,39	0,42		
	0,47	0,39	0,40	0,39	0,44	0,38	0,41	0,42		
	0,45	0,40	0,40	0,40	0,45	0,39	0,40	0,42		
800	0,48	0,41	0,41	0,42	0,47	0,41	0,41	0,49	17,35	7,526
	0,48	0,40	0,40	0,41	0,49	0,41	0,39	0,48		
	0,48	0,42	0,42	0,41	0,47	0,42	0,40	0,48		
	0,49	0,41	0,42	0,40	0,49	0,40	0,40	0,52		
	0,49	0,41	0,40	0,40	0,48	0,40	0,40	0,48		
900	0,50	0,43	0,43	0,42	0,53	0,46	0,40	0,51	18,44	8,501
	0,51	0,41	0,41	0,42	0,54	0,46	0,42	0,52		
	0,51	0,42	0,42	0,43	0,55	0,45	0,41	0,52		
	0,49	0,43	0,43	0,41	0,53	0,44	0,42	0,51		
	0,49	0,41	0,41	0,42	0,55	0,44	0,40	0,54		
1000	0,54	0,46	0,43	0,45	0,54	0,47	0,43	0,60	19,17	9,187
	0,54	0,42	0,42	0,44	0,56	0,47	0,42	0,57		
	0,51	0,44	0,44	0,43	0,56	0,47	0,44	0,58		
	0,54	0,45	0,42	0,44	0,54	0,46	0,43	0,58		
	0,52	0,43	0,44	0,44	0,55	0,48	0,43	0,57		
1100	0,55	0,47	0,46	0,46	0,60	0,52	0,45	0,60	20,49	10,51
	0,56	0,45	0,43	0,45	0,60	0,53	0,45	0,60		
	0,54	0,49	0,45	0,47	0,59	0,52	0,46	0,62		
	0,56	0,48	0,44	0,46	0,61	0,51	0,44	0,59		
	0,54	0,46	0,47	0,46	0,61	0,52	0,45	0,59		
1200	0,57	0,48	0,46	0,47	0,60	0,53	0,48	0,63	21,08	11,11
	0,57	0,47	0,47	0,46	0,61	0,54	0,46	0,64		
	0,55	0,49	0,48	0,47	0,61	0,53	0,47	0,63		
	0,59	0,48	0,46	0,48	0,61	0,52	0,46	0,62		
	0,57	0,48	0,47	0,47	0,60	0,53	0,48	0,63		
1300	0,60	0,60	0,50	0,48	0,61	0,57	0,49	0,65	21,95	12,05
	0,56	0,50	0,51	0,48	0,62	0,57	0,51	0,65		
	0,60	0,50	0,52	0,48	0,62	0,57	0,50	0,65		
	0,57	0,51	0,51	0,47	0,63	0,56	0,50	0,65		
	0,57	0,49	0,51	0,49	0,62	0,58	0,50	0,65		

Continuarea tab. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$d_{med.uz.} 10^{-3}, m$										
1400	0,68	0,52	0,53	0,49	0,68	0,58	0,52	0,68	23,75	14,21
	0,66	0,51	0,54	0,51	0,69	0,58	0,48	0,66		
	0,63	0,52	0,51	0,50	0,67	0,58	0,50	0,68		
	0,66	0,53	0,54	0,51	0,67	0,57	0,49	0,67		
	0,67	0,52	0,53	0,49	0,69	0,59	0,51	0,66		
1500	0,70	0,55	0,53	0,58	0,71	0,59	0,51	0,70	24,30	14,76
	0,72	0,53	0,56	0,54	0,71	0,60	0,49	0,69		
	0,71	0,54	0,55	0,56	0,70	0,59	0,51	0,71		
	0,70	0,53	0,54	0,57	0,69	0,61	0,50	0,71		
	0,72	0,55	0,55	0,56	0,70	0,61	0,50	0,69		
2000	0,87	0,56	0,79	0,95	0,93	0,82	0,59	0,79	31,45	24,73
	0,85	0,58	0,81	0,91	0,93	0,79	0,62	0,79		
	0,86	0,57	0,78	0,93	0,96	0,80	0,61	0,79		
	0,85	0,58	0,81	0,92	0,93	0,81	0,60	0,80		
	0,89	0,56	0,78	0,94	0,94	0,78	0,62	0,78		
2500	0,50	0,43	0,43	0,42	0,53	0,46	0,40	0,51	18,44	8,501
	0,51	0,41	0,41	0,42	0,54	0,46	0,42	0,52		
	0,51	0,42	0,42	0,43	0,55	0,45	0,41	0,52		
	0,49	0,43	0,43	0,41	0,53	0,44	0,42	0,51		
	0,49	0,41	0,41	0,42	0,55	0,44	0,40	0,54		
Y_g	34,97	27,15	29,19	33,9	36,1	36,8	26,5	34,7		
$\frac{1}{L_1 m} Y_g^2$	22,345	13,402	15,492	20,91	23,69	24,57	12,72	21,94		
$\mu = f(P_{ax})$ - coeficienții de frecare cinematici										
700	9,120	0,110	0,077	0,18	0,10	0,12	0,06	0,074	4,156	0,4318
	0,11	0,115	0,077	0,18	0,10	0,13	0,058	0,077		
	0,12	0,105	0,077	0,18	0,09	0,11	0,058	0,07		
	0,11	0,11	0,076	0,17	0,11	0,11	0,057	0,07		
	0,11	0,11	0,078	0,19	0,10	0,13	0,057	0,07		
800	0,10	0,10	0,079	0,14	0,096	0,18	0,05	0,077	4,243	0,4502
	0,11	0,10	0,08	0,16	0,10	0,17	0,05	0,078		
	0,11	0,09	0,081	0,15	0,10	0,19	0,055	0,083		
	0,11	0,11	0,079	0,15	0,10	0,18	0,045	0,073		
	0,12	0,10	0,081	0,15	0,10	0,18	0,50	0,077		
900	0,10	0,08	0,077	0,13	0,096	0,18	0,045	0,073	4,061	0,4123
	0,10	0,10	0,077	0,13	0,104	0,20	0,04	0,077		
	0,10	0,09	0,077	0,14	0,102	0,18	0,05	0,077		
	0,11	0,09	0,076	0,12	0,098	0,20	0,045	0,083		
	0,11	0,09	0,078	0,13	0,10	0,18	0,045	0,081		

Sfârșit tab. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\mu = f(P_{ax})$ - coeficienții de frecare cinematici										
1000	0,11 0,11 0,10 0,11 0,10	0,11 0,09 0,09 0,11 0,10	0,083 0,077 0,08 0,08 0,08	0,12 0,16 0,14 0,15 0,13	0,108 0,092 0,10 0,10 0,10	0,18 0,18 0,17 0,19 0,18	0,042 0,044 0,04 0,042 0,042	0,077 0,078 0,074 0,077 0,082	4,128	0,4261
1100	0,09 0,10 0,10 0,10 0,10	0,12 0,10 0,09 0,13 0,11	0,081 0,081 0,079 0,079 0,08	0,13 0,16 0,15 0,14 0,17	0,108 0,108 0,108 0,112 0,112	0,17 0,18 0,16 0,18 0,16	0,04 0,04 0,045 0,035 0,04	0,066 0,084 0,087 0,08 0,087	4,221	0,44542
1200	0,097 0,10 0,10 0,093 0,093	0,09 0,11 0,10 0,10 0,10	0,082 0,08 0,078 0,084 0,076	0,15 0,15 0,15 0,16 0,14	0,11 0,11 0,10 0,12 0,11	0,16 0,16 0,16 0,17 0,15	0,037 0,038 0,036 0,036 0,038	0,086 0,086 0,077 0,08 0,086	4,083	0,41677
1300	0,10 0,11 0,11 0,11 0,11	0,08 0,10 0,10 0,12 0,10	0,08 0,078 0,082 0,08 0,06	0,13 0,13 0,14 0,15 0,15	0,098 0,095 0,095 0,094 0,093	0,16 0,15 0,17 0,16 0,16	0,035 0,040 0,035 0,030 0,035	0,082 0,075 0,082 0,073 0,075	3,977	0,39541
1400	0,10 0,10 0,10 0,11 0,10	0,10 0,11 0,09 0,09 0,11	0,091 0,099 0,099 0,091 0,09	0,14 0,16 0,15 0,14 0,16	0,088 0,092 0,090 0,086 0,094	0,14 0,16 0,14 0,16 0,15	0,034 0,030 0,032 0,033 0,031	0,076 0,080 0,076 0,076 0,076	3,974	0,39482
1500	0,11 0,11 0,11 0,11 0,11	0,11 0,11 0,11 0,12 0,09	0,071 0,099 0,099 0,091 0,09	0,16 0,12 0,13 0,14 0,14	0,092 0,09 0,096 0,088 0,084	0,15 0,14 0,13 0,101 0,13	0,030 0,029 0,030 0,030 0,030	0,078 0,082 0,078 0,075 0,084	3,928	0,38573
2000	0,104 0,117 0,111 0,112 0,112	0,11 0,09 0,10 0,10 0,10	0,084 0,089 0,084 0,087 0,086	0,18 0,18 0,18 0,16 0,20	0,098 0,086 0,088 0,088 0,090	0,16 0,16 0,15 0,17 0,16	0,027 0,030 0,027 0,024 0,027	0,074 0,074 0,074 0,076 0,071	4,137	0,42787
Y_g	5,32	5,09	4,12	7,54	4,92	8,05	1,98	3,91		
$\frac{1}{u_1 m} Y_g^2$	0,5669	0,51816	0,33949	1,137032	0,484719	1,29105	0,078408	0,305606		

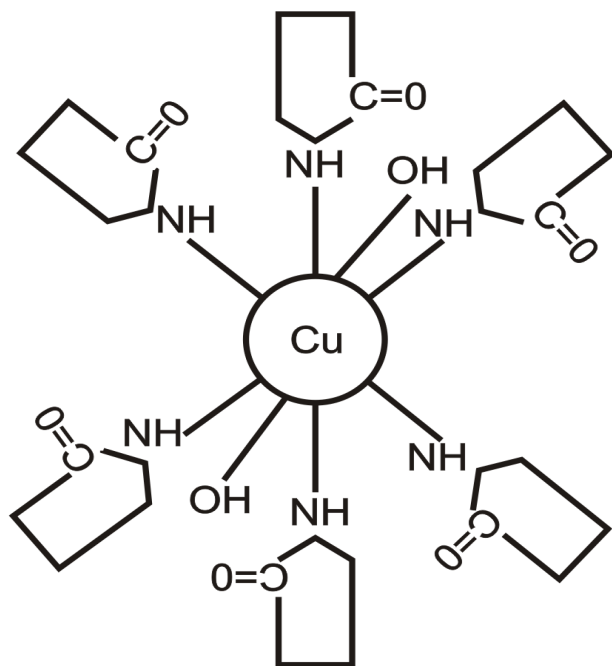


Figura 3. Legătura coordinațională a hidroxidului de Cu cu caprolactama $C_6H_{11}NO$ de marca „A”

După proprietățile de antifricțiune compusul MPL „H” nesemnificativ cedează disulfidului de molibden „Mikrofeyn”, în întregul diapazon de acționare a sarcinilor axiale, cu excepția regimurilor grele, iar din MPL -urile elaborate, cel mai eficient s-a dovedit a fi MPL „M”.

Suprafețele petelor de uzură, formate în prezența tuturor MPL (cu excepția regimurilor grele de frecare) nu posedau de indicii, caracteristici gripării și deformării adânci superficiale. Datorită utilizării hidroxidului de cupru MPL „M” [8] este semnificativ prin aceea, că în urma interacțiunii de schimb cu suprafața oțelului formează o peliculă de cupru juvenilă, care favorizează fenomenul de emanație a Cu bivalent, care la rândul său, contribuie esențial la micșorarea uzurii și a coeficientului de frecare. Cercetarea proprietăților fizico-mecanice ale MPL , similare celor elaborate de noi, au fost studiate și de către autorii lucrărilor [2, 3].

În procesul încercărilor MPL „K” [9] s-a reușit de a depista unele particularități ale mecanismului de lubrifiere ale acestuia. După [3], sistemelor coloidale le este caracteristică proprietatea de tixotropie – fenomenul trecerii fazei solide în stare de curgere vâscoasă sub acțiunea unei sarcini critice, și solidificarea ulterioară după retragerea sarcinii. Fenomenul tixotropiei, caracteristic pentru sistemele foarte fine, este legat de formarea și distrugerea structurilor supramoleculare. Acest fenomen a fost fixat în procesul înregistrării tribogramelor pe mașina cu patru bile (figura 4). Fenomenul tixotropiei a fost

fixat pentru sarcinile axiale în diapazonul 700...2000 N. Schimbarea mărimii forțelor de frecare (coeficienților de frecare) de la valorile mai mici spre valorile mai mari, caracterizează trecerea MPL -ului din formă de pulbere solidă în starea curgerii vâscoase, ceea ce s-a observat la faza inițială a experimentării. La finele experimentului (cu durata de un minut) s-a depistat solidificarea materialului lubrifianț cu formarea unei cusături foarte dure adezive nu numai pe suprafața de frecare, dar și pe cele alăturate suprafeței de frecare. Rugozitatea (R_z) varia de la 0,063 până la 0,05 μm .

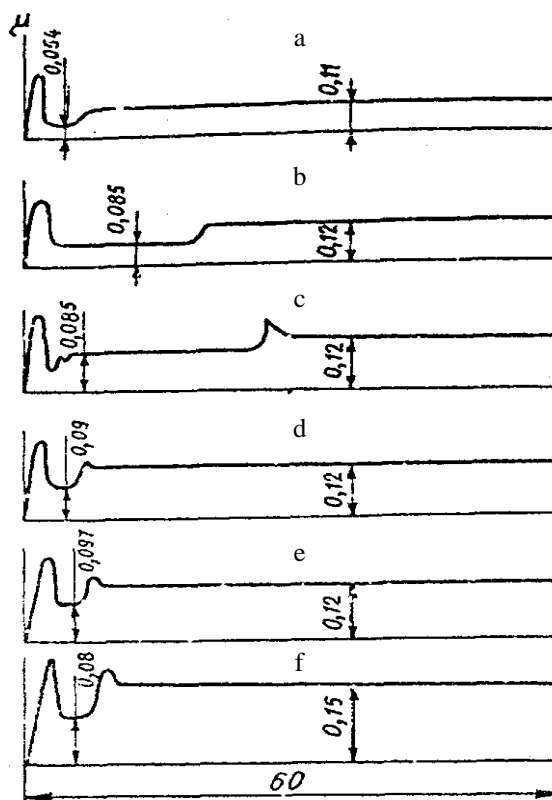


Figura 4. Tribogramele $\mu = f(P_{ax})$ obținute pe mașina de frecare cu patru bile: încercarea MPL „K” la sarcinile axiale P_{ax} , N: a – 700; b – 1200; c – 1300; d – 1400; e – 1560; f – 2000

Capacitatea de lubrifiere a MPL (în bază de caprolactamă) se lămurește prin aceea, că în rezultatul aplicării unei anumite sarcini-sistema tixotropă trece în starea de curgere vâscoasă. Pe lângă aceasta, datorită mărimii mici a particulelor (9...10 μm) are lor o umplere bună a neregularităților suprafeței de frecare. Interacțiunea superficială a caprolactamei cu metalul asigură nu numai absorbția hidroxidului de fier, dar asigură și adeziunea cu suprafața de frecare. Prezența fazei solide în materialul lubrifianț condiționează o separare eficientă a suprafețelor de frecare.

În procesul de frecare este posibilă deteriorarea nucleelor de hidroxid de fier, cu formarea ulterioară a lor la interacțiunea concomitentă cu caprolactama, adică apare o curgere chimică, analogică cu cea care are loc la transformările chimico-mecanice ale polimerilor. Această curgere este însoțită de interacțiunea caprolactamei cu oxizii de fier și includerea produsului interacțiunii în componența *MPL*. În acest timp, suprafața juvenilă a metalului din nou se oxidează, deoarece caprolactama nu împiedică oxidarea și procesul formării produsului de interacțiune din nou se repetă. Fenomenele ce au loc în cupla de frecare „*oțel-oțel*” în prezența *MPL* „*K*”, se află în deplină concordanță cu teoria de difuzie [10], care mai complet lămurește mecanismul de adeziune a polimerilor cu metalele. În [10, 11, 13] se demonstrează, că la interacțiunea metalului și polimerului au loc reacții chimice, în rezultatul cărora se formează legături chimice. Datorită prezenței pe suprafața metalului a unui număr mare de microfisuri și a stratului oxidant, legătura dintre aditiv și substrat crește considerabil, deoarece aditivul îmbibă stratul friabil, nimerind în adânciturile neregularităților și microfisurilor.

2. CONCLUZIE

În baza cercetărilor de laborator, s-a stabilit că cei mai eficienți aditivi pentru lubrifianții plastici și uleiurile de angrenaje, precum și ca componenți ai materialelor de lubrifiere tehnologice, ai lichidelor de lubrifiere și răcire sunt compușii *MPL* „*K*”, „*M*” și „*H*” [9, 8, 10], care au contribuit la sporirea rezistenței la uzură a materialelor în contactare directe și posedă proprietăți înalte de ecranare și de protejare a suprafețelor lor de frecare, prevenind aderența lor, mai ales la regimuri grele de solicitare a cuplelor în frecare.

Bibliografie

- Sinicyn V. V. Podbor i primeneniie plastičnyh smazok. – M.: Himiâ, 1974, 214 s., il.*
- Vinogradov G. V. Opyt issledovaniâ protivoiznosnyh svojstv uglevodorodnyh smazočnyh sred // Metody ocenki protivozadirnyh i protivoiznosnyh svojstv smazočnyh materialov. – M.: Nauka, 1969. S. 3-11.*
- Klejměnov B. V., D'âčkova E. A., Sanin N. I. Nekotorye dannye o mehanizme dejstviâ organičeskih soedinenij, soderžaših trihlormetil nuû gruppû, pri trenii v usloviâh vysokih nagruzok // Teoriâ smazočnogo dejstviâ i novye materialy. – M.: Nauka, 1965. S. 48-52.*
- Matvievskij R. M., Bogatyrëv I. S., Hrušov M. M. Četyrëšarikovaâ mašina treniâ IMAŠ dlâ ispytaniâ smazočnyh masel // Trenie i iznos v mašinah, 1954, Nr. 9. S. 72.*
- Kračun A. T., Zobov E. V., Morar' V.E. i dr. Razrabotka i issledovanie novyh smazočnyh materialov i tehnologičeskih smazočnyh materialov na ih osnove // Tribonika i antifrikcionnoe materialovedenie. – Novočerkassk, 1980. S. 79-80.*
- Kračun A. T., Morar' V.E., Zobov E. V. i dr. Razrabotka i issledovanie novyh tvërдыh smazočnyh materialov // XXI konf. kafedry „Detali mašin” SVTŠ (ČSSR). – Bratislava, 1980. S. 171-183.*
- Kračun A. T., Zobov E. V., Morar' V.E. i dr. Razrabotka i issledovanie novyh tvërдыh smazočnyh materialov na osnove kaprolaktama // Trenie i iznos, 1980. T. 1, Nr. 6. S. 1050-1055.*
- A. s. 819159 SSSR, MKI³ C 10 M 7/02; C 10 M 7/30. Tvërдыj smazočnyj material /E. V. Zobov, A. T. Kračun, V. E. Morar' i dr. Opubl. 07. 04. 81. Bûl. Nr. 13.*
- A. s. 411120 SSSR, MKI³ C 10 M 7/02. Tvërdaâ smazka dlâ metalličeskih i metalopolimernyh par treniâ / Zobov E. V., Gol'dman I. M., Kračun A. T. Opubl. 15. 01. 74. Bûl. Nr. 2.*
- Kračun A. T., Morar' V. E. Tvërдыe smazočnye materialy na osnove kaprolaktama. – Kišinëv: Știința, 1988. – 120 s., il.*
- Crăciun Al., Moraru V., Crăciun Sv. Obținerea și mecanismul acțiunii materialelor lubrifianțe solide pe baza caprolactamei // INTELLECTUS – Chișinău: A.G.E.P.I., Nr. 3, 1998. – p. 58-62.*
- Brevet de invenție MD 1575 G2. Int. Cl.⁷: C 10 M 125/10. Material solid de lubrifiere // Crăciun Al., Moraru V., Crăciun Sv., Duca Gh. - Republica Moldova: A.G.E.P.I., B.O.P.I., nr. 12/2000.*
- Crăciun Al., Moraru V., Crăciun Sv. Cercetarea materialului solid de lubrifiere ce permite realizarea transferului selectiv // INTELLECTUS – Chișinău: A.G.E.P.I., Nr. 5, 2001. – p. 51-54.*
- Moraru V., Crăciun Al., Stoicev P. Cercetarea rezistenței la uzură și a proprietăților de antifricțiune a MPL în baza caprolactamei // Culegere de lucrări științifice „Tehnologii Moderne, Calitate, Restructurare”, TMCR–2003, 29 mai–1 iunie 2003. În 5 vol. - Vol. 2. Chișinău: UTM, 2003.– pp. 436-445.*
- Stoicev P., Moraru V., Crăciun Al. Research of influence of powder-like additive of lubricant material on the basis of caprolactame on antiwear, anticorrosion, antifriction properties of plastic greasings and technological lubricant materials // MERIDIAN INGINERESC. – Chișinău: TEHNICA-INFO, Nr. 2, 2003. – pp. 36-41.*