

# NOI STRATURI TRIBOLOGICE PULVERIZATE ÎN JET DE PLASMĂ PENTRU O MAI BUNĂ FUNCȚIONARE A UTILAJULUI TEHNOLOGIC

Eduard GALUȘCA

Facultatea Inginerie Mecanică, Industrială și Transporturi  
Universitatea Tehnică a Moldovei

## NEW TRIBOLOGICAL LAYERS SPRAYED IN PLASMA JET FOR A BETTER OPERATION OF THE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

**Summary.** The formation of wear-resistant layers in plasma jet spraying from powders PN55T45; CF-T; ПН55Т45 + 50% TiC; CF-T (Π); 80% C-T (II) + 20% TiC; 50% TiC + 50% P6M5K5 steel, have demonstrated outstanding tribological properties. It was investigated the dependence of power consumption at friction on the specific load in couple with antifriction materials.

**Keywords:** tribology, friction couplings, plasma jet spraying, specific load.

**Rezumat.** Straturile rezistente la uzură, formate prin pulverizare în jet de plasmă din pulberile ПН55Т45; CF-T; 50%ПН55Т45+TiC; CF-T(Π); 80% CF-T(Π)+20% TiC; 50% TiC +50% oțel P6M5K5, au demonstrat proprietăți tribologice deosebite. S-a cercetat dependența consumului puterii la frecare de sarcina specifică în cuplu cu materiale antifricționale.

**Cuvinte-cheie:** tribologie, cupluri de frecare, pulverizare în jet de plasmă, sarcină specifică.

## INTRODUCERE

Cercetările efectuate în ultimii ani, bazate pe un număr mare de experimente, au demonstrat că fenomenele și procesele tribologice care se produc în stratul superficial au un caracter interdisciplinar. La nivelul suprafeței apar cele mai multe probleme, acestea fiind cauzate fie de uzură și oboseală, fie de coroziune.

Suprafața are o influență decisivă asupra duratei de funcționare, a costului și performanței, incluzând și întreținerea utilajelor. Recent s-a recurs la o nouă abordare a controlului frecării și uzurii, și anume la aplicarea unor tratamente ale suprafețelor și ulterior a straturilor de acoperire [1, 2].

Acoperirile pot fi obținute prin patru metode de bază: din fază gazoasă, din soluții, din medii lichide și solide, în conformitate cu starea inițială a fazei materialului sursă. Cele mai relevante metode de formare a suprafețelor tribologice sunt procesele de depunere din stare gazoasă, care suscită un interes științific și comercial deosebit. În particular, principalele straturi care vor fi considerate sunt cele depuse prin tehnici asistate de plasmă, deoarece ele pot oferi o aderență excelentă și o morfologie structurală densă a stratului necesar pentru aplicațiile tribologice.

Multitudinea tipurilor de metode de încercare la uzură este determinată atât de complexitatea și diversitatea tipurilor de uzuri, cât și de diferitele situații în care uzura devine o problemă. Metodele de încercare la uzură au ca scop [1, 2, 3]:

- testarea unui anumit tip de materiale: metalice, ceramice, plastice, compozite etc.;
- evaluarea răspunsului mediului la un anumit tip de uzură și optimizarea sau selectarea materialelor pentru o aplicație particulară;
- simularea unui anumit tip de aplicație în scopul încercării anumitor materiale, tratamente sau lubrifi-anți, pentru acel material sau acea aplicație;
- cercetări fundamentale cu privire la natura uzurii;
- înțelegerea efectelor unor parametri variabili asupra unui tip particular de uzură;
- susținerea dezvoltării unor modele predictive sau descriptive pentru uzura în tribo-sisteme specifice.

Cercetările au ca scop identificarea metodelor de formare și testare a straturilor tribologice cu proprietăți deosebite pentru asigurarea fiabilității utilajelor tehnologice.

## MATERIALE ȘI METODE

Pentru lagărele de alunecare care intră în contact cu produsele chimic active sunt propuse suprafețe pulverizate în jet de plasmă din pulberi care au o rezistență la coroziune verificată în condiții de exploatare în medii chimic active [2, 3, 4, 5]. Pulberile care formează suprafața cu rezistență mare la coroziune, conțin adaos de carbură de siliciu sau carbură de titan: ПН55Т45; CF-T; 50%ПН55Т45+TiC; CF-T(Π); 80% CF-T(Π)+20% TiC; 50% TiC +50% oțel P6M5K5.

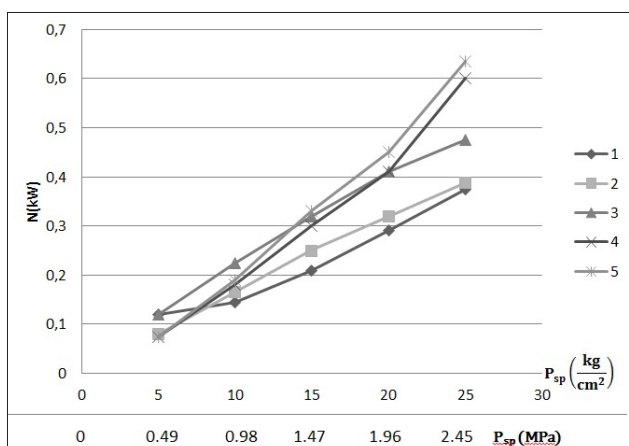
Creșterea rezistenței la uzură a straturilor s-a obținut adăugând în pulbere componente de carbon. Studiul compatibilității suprafețelor pulverizate s-a efectuat cu utilizarea materialelor antifricționale: 1-Grafită APB-200-B83; 2-CF-T; 3-Cauciuc 7-3825; 4-Grafitoctoroplast KB; 5-Grafitoctoroplast 7B-2A; 6-Grafit AG-1500-B83; 7-AMC-3; 8-Fibra de carbon „CYTBAM”.

Regimul de acoperire și formarea straturilor cu proprietăți necesare ale lagărelor de alunecare s-a efectuat la instalațiile УПУ-3Д și OB-195. Instalația УПУ-3Д a fost completată cu pistolul de formare a plasmei ПБК-50.

În calitate de formator de plasmă s-a folosit amestecul  $CO_2 + C_3H_8 + C_4H_{10}$  (dioxid de carbon și gaz natural propan-butan). Pentru instalația OB-1955 s-a utilizat pistolul OT-1000, în calitate de formator de plasmă s-a folosit argonul (Ar), iar de gaz pentru transportare – azotul (N).

Ambele instalații sunt completate cu sursa de alimentare ИППИ 160/600 menită să asigure o caracteristică volt-amperică vastă și curentul de lucru nu mai mic de 400A. Folosirea în calitate de formator de plasmă a gazului  $CO_2 + C_3H_8 + C_4H_{10}$  a permis curentului de lucru să coboare la 200-250A la tensiunea de 125V. La instalația OB-1955, care funcționează cu argon, mărimea curentului atinge 420-470A și tensiunea  $U=38-40V$ .

Studiul experimental privind alegerea regimurilor optime de acoperire pentru diferite materiale pulverulente și pentru diferite materiale de bază, influența distanței la formarea suprafeței, precum și alți factori s-a efectuat la instalația УПУ-3Д. Unele regimuri tehnologice s-au desfășurat concomitent pe ambele instalații.

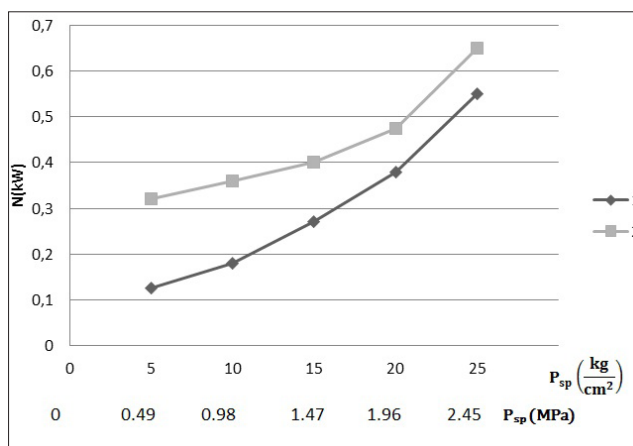


**Figura 1.** Dependența consumului puterii la frecare de sarcina specifică a lagărului de alunecare axial cu stratul ПН55Т45 în cuplu cu: 1-Grafită APB-200-B83; 2-CF-T; 3-Cauciuc 7-3825; 4-Grafitoctoroplast KB; 5-Grafitoctoroplast 7B-2A;

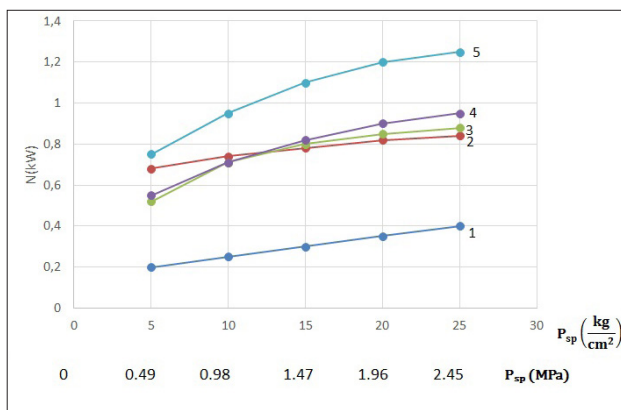
## REZULTATE ȘI DISCUȚII

O funcționare stabilă, fără gripări la sarcini specifice de la 0,49 MPa până la 2,45 MPa, au demonstrat straturile formate în jet de plasmă din pulberea ПН55Т45 (figurile 1 și 2). În componența pulberii intra ca bază nichelul, titanul 43-47% și alte componente, având duritatea de 55-60 HRC. O capacitate înaltă de lucru la un consum mic de putere la frecare în funcție de sarcină specifică a demonstrat cuplul de frecare ПТ55Т45 cu APB-200-B83 (figura 1, curba 1) și ПТ55Т45 cu materialul antifricționar CF-T (figura 1, curba 2). Puterea maximă la frecare a acestor cupluri cu sarcina specifică 2,45 MPa nu depășește 0,4 kW. Ceva mai mult consum al puterii la frecare se atestă la funcționarea cuplului ПТ55Т45 cu materialul antifricționar AG-1500-B83 (figura 2, curba 1). Stratul funcționează bine și în cuplu cu cauciucul 7-3825 (figura 1, curba 3). La funcționarea în cuplu cu materialele KB și 7B-2A (figura 1, curba 4,5) și materialul antifricționar AMC-3 (figura 2, curba 2) consumul puterii la frecare crește odată cu creșterea sarcinii specifice și apare posibilitatea gripării cuplurilor. Pentru unele materiale studiate, care funcționează în cuplu cu stratul ПТ55Т45, dependența consumului puterii la frecare de sarcina specifică poartă un caracter linear (figura 1, curba 1, 2, 3).

Rezistența înaltă la coroziune în medii agresive acide și baze ale stratului format în jet de plasmă ПТ55Т45 permite de a accepta materialul ca fiind principal, iar pentru sporirea rezistenței la uzură urmează de adăugat materiale cu conținut de carbon. Proprietățile de adeziune a stratului devin destul de pronunțate și fără straturi intermediare pe materialul de bază ca oțel inoxidabil, oțel-carbon, aliaj de titan. Pentru a spori rezistența la uzură a straturilor formate



**Figura 2.** Dependența consumului puterii la frecare de sarcina specifică a lagărului de alunecare axial cu stratul ПН55Т45 în cuplu cu: 1-Grafit AG-1500-B83, 2- AMC-3.

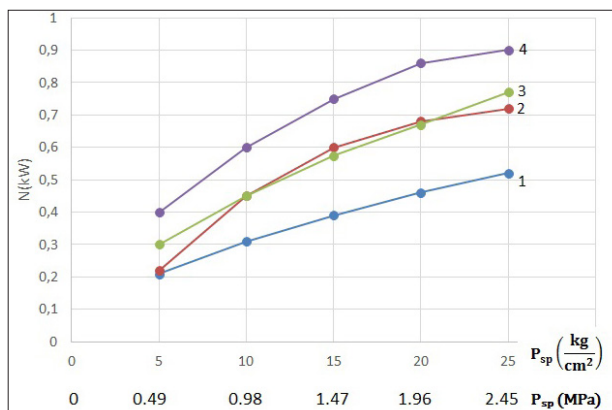


**Figura 3.** Dependența consumului puterii la frecare de sarcina specifică a lagărului de alunecare axial cu stratul 50% ПН55Т45+TiC în cuplu de frecare cu: 1-CF-T; 2-Grafitofoeroplast KB; 3-AG-1500-B83; 4-APB-200-B83; 5-Grafitofoeroplast 7B-2A.

în jet de plasmă, în componența pulberii s-au introdus 50% de TiC (TY6-09-492-75).

Pulverizarea cu pulberea 50% ПН55Т45+50% TiC s-a dovedit a fi compatibilă cu materialele ce au o microduritate apropiată sau mai mare decât carbura de titan TiC. Acest fapt îl confirmă rezultatele cercetărilor cuplurilor de frecare CF-T și a stratului ПН55Т45 +50% TiC (figura 3, curba 1). Consumul de putere la frecare este aproximativ egal cu puterea la frecare a cuplului ПН55Т45 și CF-T și nu depășește 0,4 kW la sarcina specifică de 2,45 MPa.

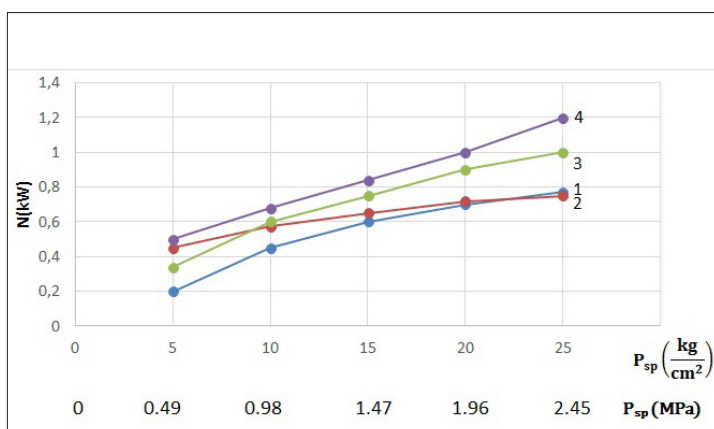
În cuplu cu materialele antifricționare acest strat pierde funcționalitatea, deoarece odată cu creșterea sarcinii specifice, puterea de frecare crește și ea atinând valori maxime (figura 3, curbele 2, 3, 4, 5). Stratul format în jet de plasmă din pulberea CF-T s-a dovedit a fi rezistent la coroziune în diferite medii chimic ac-



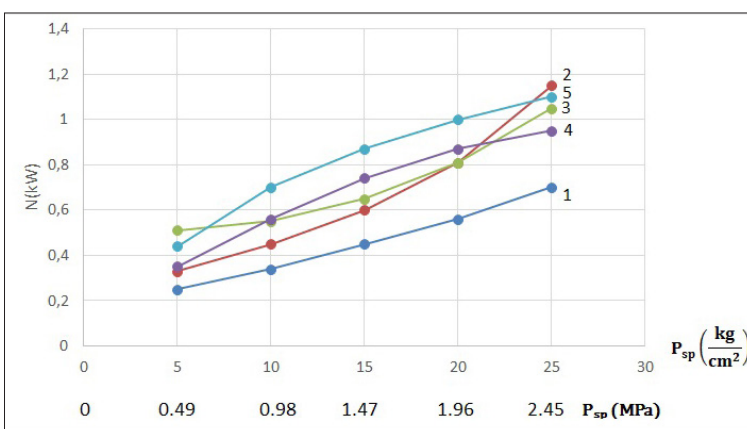
**Figura 4.** Dependența consumului puterii la frecare de sarcina specifică lagărului de alunecare axial cu stratul CF-T(II) în cuplu cu: 1-Fibra de carbon „CYTBAM”; 2-Grafitofoeroplast KB; 3-Cauciuc 7-3825; 4-AMC-3.

tive: acizi, baze, având totodată o rezistență înaltă la uzură. Neajunsurile pulberii rezidă în viscozitatea ei mică și prețul ridicat. Încercările de a pulveriza suprafața cu pulbere formată din piese fărâmițate nu au dat rezultate, din cauza curgerii nesatisfăcătoare a pulberii la pulverizare [3, 6].

Pentru a spori proprietatea de curgere a pulberii, s-a efectuat placarea stratului cu nichel. Caracteristicile energetice ale stratului format în jet de plasmă din pulberea CF-T(II) (placat) sunt mai inferioare decât la CF-T (neplacat). Reducerea componentului de nichel în pulberea dată permite obținerea unui strat cu consum de putere la frecare mai mică. Cel mai reușit cuplu de frecare s-a dovedit a fi stratul CF-T(II) cu materialul antifricționar CYTBAM (figura 4, curba 1). S-a determinat o dependență lineară dintre consumul puterii la frecare și sarcina specifică pentru



**Figura 5.** Dependența consumului puterii la frecare de sarcina specifică a lagărului de alunecare axial acoperit cu pulbere CF-T(II) în cuplu cu: 1-APB-200-B83; 2-CF-T; 3- Grafitofoeroplast 7B-2A; 4-AG-1500-B83;



**Figura 6.** Dependența consumului puterii la frecare de sarcina specifică a lagărului de alunecare axial cu stratul 80% CF-T(II) + 20 TiC în cuplu cu: 1-Grafitofoeroplast 7B-2A; 2-APB-200-B83; 3-CF-T; 4-Grafitofoeroplast KB; 5-Fibra de carbon „CYTBAM”.

acest cuplu de frecare. La sarcini specifice mici până la 1,47 MPa stratul funcționează stabil în cuplu cu cauciucul 7-3835C (figura 4, curba 3), cu grafitoctoroplast KB (figura 4, curba 2) și cu grafit APB-200-B83 (figura 5, curba 1).

Pentru îmbunătățirea caracteristicilor energetice (micșorarea consumului de putere la frecare în funcție de sarcina specifică), s-a purces la sporirea microdurității stratului din pulberea CF-T(II) prin adaos de carbură de titan TiC. Amestecul mecanic al pulberii compuse din 80% CF-T(II)+20% TiC s-a pulverizat în jet de plasmă pe suprafața cuplurilor de frecare. Cercetările au arătat că la formarea stratului prin pulverizare nu se obține o amplasare egală a particulelor carburii de titan TiC. Acest fapt demonstrează că la funcționarea în cuplu cu grafit CF-T nu s-a obținut reducerea puterii la frecare (figura 6, curba 3), dar straturile cu adaos de carbură de titan TiC funcționează bine (intens) în cuplu cu grafitoctoroplast 7B-2A, micșorând puterea la frecare de la 0,37 kW (figura 5, curba 3) până la 0,22 kW (figura 6, curba 1) la presiune specifică 0,49 MPa, precum și de la 1,05 kW până la 0,71 kW corespunzător la presiunea specifică de 2,45 MPa. Ținând cond de faptul că materialul grafitoctoroplast 7B-2A are o rezistență înaltă la coroziune în apă de mare și în alte medii active, cuplul format cu stratul 80% CF-T(II)+20% TiC prezintă interes practic pentru lagărele pompelor cu destinație industrială largă. Pulberea a demonstrat compatibilitate înaltă la funcționare în cuplu cu materialele CF-T, KB, 7B-2A, cauciucul 7-3825.

Stratul format din pulberile 50% TiC +50% oțel P6M5K5, (P6M5K5 oțel cu compoziția: C-0,8-0,88; Cr-3,8-4,3; W-6,0-7,0; V-1,7-2,2; Co-4,8-5,3; Mo-4,8-5,8 și altele) are o funcționare stabilă fără semne

de gripare pe tot diapazonul de sarcini de la 0,45-2,45 MPa (figura 7). Indicatori energetici performanți s-au stabilit la funcționarea cuplurilor 50% TiC + 50% oțel P6M5K5 și materialul CF-T (figura 7, curba 1). Consumul puterii la frecare a cuplurilor în funcție de sarcina specifică variază în limitele 0,20 kW până la 0,45 kW.

### CONCLUZII

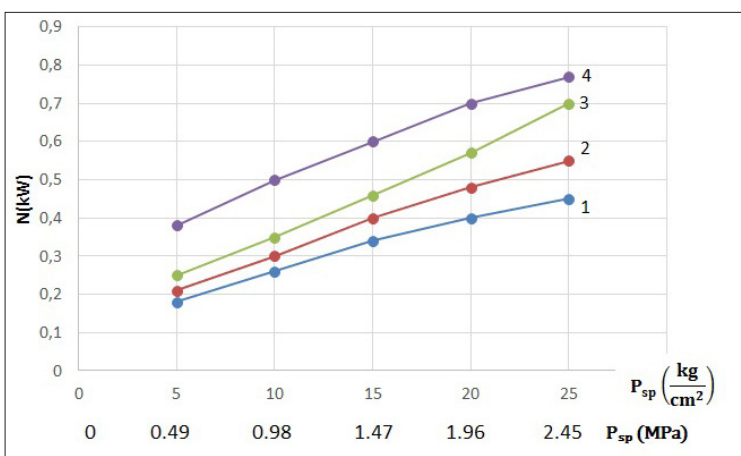
Cercetările efectuate privind suprafețele rezistente la uzură formate în jet de plasmă din pulberile ПН55Т45, 50% ПН55Т45 +50% TiC, CF-T(II), 80% CF-T(II)+20% TiC, 50% Tic +50% oțel P6M5K5, destinate pentru a funcționa în medii chimic active în cuplu cu materialele CF-T, СУГВАМ, KB, 7B-2A, АГ-1500-Б83, АРВ-200-Б83Б, АМС-3, cauciucul 7-3825C la lubrifiere cu apă au demonstrat următoarele:

1. Cele mai performante caracteristici energetice s-au obținut la cuplurile de frecare formate din 50%ПН55Т45+50%TiC și materialul CF-T; ПН55Т45 cu CF-T; CF-T(II) cu materialul СУГВАМ; 50% TiC +50% oțel P6M5K5 cu CF-T. Pentru toate cuplurile enumerate consumul de putere de la 0,49-2,45 MPa se află în limitele 0,25 kW-0,8 kW.

2. Straturile, în componența cărora se conțin carburi de titan, crom și altele manifestă funcționalitate și compatibilitate înaltă. În calitate de cuplu pentru așa suprafețe se recomandă materiale cu microduritate înaltă a componentilor sau în cuplu cu aceleași straturi.

### BIBLIOGRAFIE

1. Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение плазмы тугоплавких покрытий. Машиностроение, 1981, 192 с.
2. Galușca E., Dîntu S., Țărnă R., Majeru V. Testing the corrosion resistance of the surfaces formed by spraying the jet of plasma. Chisinau: Proceedincs of International Conference Modern Tehnologies in the Food Industry. 20-22 october 2016, p. 43-47.
3. Galușca E., Chiviriga I., Dîntu S., Majeru V. Utilisati-on of pouders for formation of increased rezistance surface in fricsion couplings. Proceedincs of International Conference Modern Tehnologies in the Food Industry. Chisinau 16-18 october 2014, p. 42-45.
4. Galusca E. The formation and testing of the tribological layers sprayed in the plasma jet. Chisinau: Meridian Ingineresc. 2016, p. 62-65.
5. Барвинок В.А., Шитарев И.Л., Богданович В.И., Докукина И.А., Карасев В.М. Срабатываемые износостойкие теплозащитные покрытия для деталей газового тракта турбины компрессора и камеры сгорания. Вестник Самарского Государственного Аэрокосмического Университета, 2009, с. 11-27.
6. Dîntu S., Ivanov L., Galusca E. The determination of the melting time of the particle by sprayng in the plasma jet. Chisinau: Meridian Ingineresc. 2016, p. 78-81.



**Figura 7.** Dependența consumului puterii la frecare de sarcina specifică a lagărului de alunecare axial cu acoperirea 50% TiC + 50% oțel P6M5K5 în cuplu cu: 1-CF-T; 2-KB; 3-Cauciuc 7-3825; 4-Grafitoctoroplast 7B-2A.