

## STRUCTURA ȘI PROPRIETĂȚILE STRATURILOR DE DEPUNERE OBȚINUTE CU APLICAREA DESCĂRCĂRILOR ELECTRICE ÎN IMPULS

**Topală Pavel, Balanici Alexandru, Bălcănuță Nicolae, Pereteatcu Pavel**

În lucrare sînt prezentate rezultatele cercetărilor experimentale privind obținerea, prin aplicarea descărcărilor electrice în impuls, a straturilor de depunere din pulberi metalice și amestecuri ale acestora. Această metodă de formare a depunerilor asigură o adeziune înaltă a pulberii. Continuitatea și compactitatea depunerilor, cît și proprietățile materialelor utilizate pentru formarea lor, le asigură proprietăți antiuzură și antifricțiune suficient de bune pentru a fi aplicate în construcția de mașini și aparate.

В данной работе представлены экспериментальные результаты формирования защитных слоев из порошковых материалов методом электроискрового легирования. Этот способ формирования защитных покрытий обеспечивает им хорошую адгезию с материалом основы. Полученные авторами покрытия из порошковых бронз обладают практически 100 % сплошностью невысокой пористостью и антизадирными высокими антифрикционными свойствами .

This work presents the results of experimental researches concerning the forming of the heavy seal coat through electro erosion accompanied by one coat material and that of piece. This assures a reliable adhesion through the protecting coat and the piece, the heavy seal coat qualities and technological conditions of these ones formation. In the work some results are presented concerning protecting properties from bronze getting on the surface of fulfilled pieces from alloyage titanium through electro erosion.

### Introducere

Mărirea vitezei, temperaturii și presiunii la care funcționează unele produse au condus la creșterea solicitărilor elementelor constructive ale mașinilor, precum și la eroziunea suprafețelor metalice ale acestora. Aceste condiții impun crearea de noi materiale de construcție, dezvoltarea unor noi metode, procedee și tehnologii de protecție, a suprafețelor pieselor mașinilor și aparatelor cu aplicarea straturilor de protecție. În ultimele decenii o perspectivă deosebită au obținut-o metodele ce țin de aplicarea straturilor de protecție obținute din pulberi metalice.

Un interes deosebit din punct de vedere al perspectivei îl prezintă obținerea straturilor de depunere cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls, care permit realizarea unor densități mari de energie în volume mici și reglarea acesteia în limite largi. Această metodă a fost elaborată la Institutul de Fizică Aplicată al AȘ din R. Moldova, pentru obținerea straturilor de pulberi metalice în câmp electric [1] în scopul alierii și sporirii performanțelor de exploatare a suprafețelor pieselor. Utilizarea în construcția de mașini a aliajelor titanului este cauzată de rezistența mecanică și cea la coroziune înaltă a acestora. Proprietățile antifricțiune scăzute ale acestor materiale limitează utilizarea lor în construcția cuplurilor ce funcționează în condiții de frecare. În scopul înlăturării acestor neajunsuri, se recomandă a aplica straturi de protecție [1, 2], care însă asigură nu totdeauna o rezistență suficientă de adeziune. Pentru a spori rezistența de adeziune, este convenient de a obține straturi de depunere din pulberi metalice cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls [3, 4]. Aceasta se datorește faptului că între matricea materialului piesei și stratul de depunere se formează o zonă de trecere constituită din fazele intermediare formate din materialul depus și cel al piesei prelucrate [5].

În prezenta, vor fi precăutate unele rezultate ale cercetărilor experimentale privind obținerea straturilor cu proprietăți deosebite din bronzuri pe suprafețele pieselor executate din aliaje ale titanului și caracteristicile tribotehnice ale acestor straturi.

### Cercetări experimentale și rezultate obținute

Esența formării straturilor de depunere din pulberi metalice constă în încălzirea particulelor de pulberi metalice pînă la temperaturi de topire, respectiv vaporizare cu transportul simultan și depunerea acestora pe suprafața topită a piesei prelucrate. Proprietățile de exploatare a straturilor de depunere sunt funcție de starea în care se depune materialul, de formarea sau lipsa straturilor

intermediare, de interacțiunea totală sau parțială a particulelor de pulberi cu plasma descărcării electrice în impuls, de participarea sau neparticiparea materialului electrodului-sculă la formarea stratului de depunere etc. [2, 3, 4].

În scopul aprecierii proprietăților straturilor obținute din pulberi metalice a fost efectuată analiza metalografică a unor straturi. Regimurile de prelucrare pentru obținerea straturilor de depunere sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Proprietățile mecanice a straturilor de depunere

Materialul stratului de depunere	Materialul piesei	Regim de depunere	Microduritate, $\frac{daN}{mm^2}$			Grosime, $\mu m$	
			Strat alb	Strat intermediar	Matrice	Strat alb	Strat inter-med.
BrO-10	Oțel-45	P=2,15 g/min b=50 $\mu m$ S=0,5 mm W=2,7 J f=60 Hz	275	500	300	110	20
BrO-10	BT-14	P=6,2 g/min S=0,5 mm W=4 J f=60 Hz	275	500	300	410	30
BrAJN-10-4-4	Oțel-45	P=2,15 g/min b=25 $\mu m$ S=0,6 mm W=1,7 J f=100 Hz	330	600	230	20	10

În tabelul 1 **P** - este debitul de pulberi, **b** - raza particulelor de pulberi, **S** - mărimea interstițiului, **W** - energia descărcării în impuls, **f** - frecvența descărcărilor în impuls. Analizând rezultatele prezentate în tabel, constatăm că, în toate cazurile, pe suprafața prelucrată a fost obținut un strat de depunere.

Pentru straturile de depunere obținute cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls este caracteristic faptul că între stratul propriuzis și matricea materialului piesei are loc formarea stratului intermediar. Stratul intermediar (fig.1) este constituit din elementele materialului pulberii și celui al materialului piesei [2].

Prin prezența stratului intermediar, format între depunere și piesă, se explică adeziunea depunerii față de ultima. Aceasta prezintă de fapt un nou aliaj (vezi proprietățile lui mecanice în tabelul 1), care se poate forma doar la interacțiunea fazei lichide a materialului pulberii cu cel al suprafeței piesei prelucrate. Proprietățile mecanice ale stratului intermediar sunt funcție de proprietățile materialului de depunere. Astfel, pentru așa materiale de depunere cum ar fi WC, BrC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> duritatea acestuia este mai mică decât cea a stratului de depunere și mai mare decât duritatea materialului piesei [1, 2]. În cazul depunerilor din bronzuri pe suprafețele pieselor executate din aliajele titanului sau oțeluri, cât și în cazul depunerii aliajului VJL-1M pe aceleași tipuri de suprafețe, acesta are o microduritate mai mare decât cea a stratului de depunere și cea a materialului piesei [3, 4, 5].

O caracteristică foarte importantă straturilor de depunere este continuitatea și compactitatea acestora [3, 5, 6]. Dacă continuitatea exprimă întreruperea sau neîntreruperea acestora pe suprafața prelucrată, atunci compactitatea se exprimă prin golurile și porii prezenți în stratul de depunere (fig.1).

Formarea invelișurilor cu pori (fig.2) poate fi provocată de încălcarea regimului tehnologic de depunere, mai evident în cazul nerespectării regimului energetic, când particulele de pulberi sînt transferate pe suprafața de prelucrat în stare semilichidă.

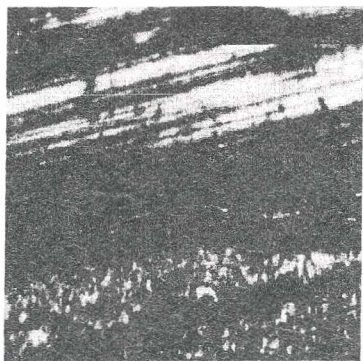


Fig.1. Microstructura depunerii de bronz de marca BrAJN-10-4-4 pe suprafața piesei executate din aliajul titanului OT-4.

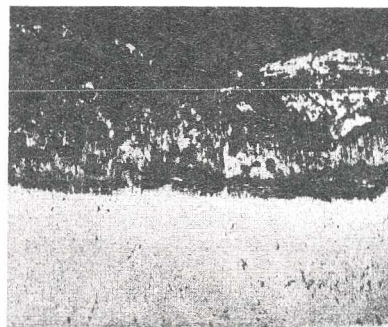


Fig. 2. Microșliful depunerii de bronz BrO-10 pe suport de titan tehnic pur de marca BT-1-0.

Porozitatea straturilor de depunere poate fi și o proprietate pozitivă de exploatare în cazul formării straturilor antifricțiune.

Dacă straturile poroase funcționează în mediu de lubrifianț, porozitatea sporește adeziunea acestuia cu suprafețele de frecare și din aceste motive atât eficacitatea ungerii, cât și durabilitatea funcționării cuplului sporște .

Cercetările efectuate în scopul determinării numărului de defecte la o unitate de lungime a straturilor de depunere din pulberi metalice au demonstrat că numărul acestora nu depășește 1...2 defecte/mm. Analiza roytgenografică a suprafețelor prelucrate în toate cazurile au demonstrat că straturile de depunere sînt compuse din materialul pulberilor în fond, dar se resimte și prezența materialului piesei, ceea ce indică asupra unui proces metalurgic complex cauzat de două fenomene concurente cum ar fi difuzia și amestecarea convectivo-mecanică a acestui cuplu de materiale.

Pe suprafețele frontale ale bușelor executate din aliajul BT-23 a fost depus bronzul Br AJN-10-4-4, iar pe cele executate din BT-5 și OT-4, bronzul BrO-10. Bușale aveau diametrul interior și cel exterior, de 20 și respectiv 28 mm. Formarea stratului de depunere s-a efectuat pe instalația de tipul "Razread" pentru energia descărcărilor în impuls  $W=4,7$  J, mărimea interstițiului  $S=0,5$  mm, frecvența descărcărilor  $f=40$  Hz, debitul de pulberi din dozator  $P=2,5$  g/min, raza echivalentă a particulelor de pulbere  $b=100$   $\mu$ m. Pulberea era introdusă în interstițiu tangent suprafeței anodului prin curgere din dozator.

Cercetările de comportare a acestor straturi în condiții de frecare s-a efectuat pe instalația U-47, în mediu de ulei (7-50C-3). Cotracorpus reprezenta o bucsă identică executată din oțel 30XTCH2A cu suprafața cromată. Suprafața straturilor de depunere este de rugozitate mare din care motiv acestea au fost supuse rodării în condiții normale (tabelul 2)

Tabelul 2

Condiții de rodare a epruvetelor cu straturi de depunere din bronzuri.

Etapa de rodare	Forța de apăsare, daN	Durata rodajului, min
1	20	5
2	37,5	5
3	50	5
4	62,5	5
5	75	5

Începutul cercetărilor de uzură și a coeficientului de frecare se consideră sfîrșitul celei de a cincea etape de rodare, la aceeași forță de apăsare, cu menținerea temperaturii la 20 °C. Instalația U-7 permitea măsurarea momentului de frecare ( $M_{fr}$ ), iar coeficientul de frecare se calcula cu relația [7]:

$$\mu = \frac{M_{fr}}{P_{AX} \cdot R_{fr}}, \quad (1)$$

în care  $P_{ax}$  – forța de apăsare aplicată asupra bușelor,  $R_{fr}$ - raza medie de frecare. Ultima se calculează reeșind din dimensiunea bușelor cu relația:

$$R_{fr} = \frac{D_{ext} - D_{int}}{2} + \frac{D_{int}}{2} \quad (2)$$

în care  $D_{ex}$  și  $D_{int}$ , sînt respectiv diametrul exterior și cel interior al bușelor supuse încercărilor.

În fig. 3 este prezentată variația coeficientului de frecare în timp. Acesta poartă un caracter variabil din motivul că pe parcursul încercărilor are loc transferul materialului stratului de depunere pe suprafața anticorpului. Esența transferului selectiv de material de pe o suprafață pe alta se datorește încălzirii acestora la frecare, proces care condiționează generarea unei termoforțe electromotoare, simultan producîndu-se desocierea bronzului în elemente constituente cu transferul cuprului. Elementele zinc, cositor, aluminiu și fier sunt preluate de lubrifianț. Astfel, pe suprafața anticorpului se transferă numai cuprul, fenomenul ajunge la saturație, după care urmează procesul invers.

Película de cupru de pe suprafața de rodare nu se uzează, ci se transferă de pe o suprafață pe alta, provocînd variația coeficientului de frecare.

Histograma prezentată în fig.4 ne indică faptul că uzura bușei anticorpului decurge mai intens decît, a celui cu strat de depunere [8]. În cazul cuplurilor 1, 2 și 3 uzura este relativ mică și se poate observa efectul transferului selectiv, așa-numitul efect Garcunov, esența căruia constă în aceea că repetarea transferului de material de pe o suprafață pe alta datorită forței electromotoare de natură termică condiționează menținerea constantă a jocului dintre piesele ce formează cuplul.

În cazul frecării uscate (fig.3, curba4) coeficientul de frecare crește brusc din cauza încălzirii cuplului, se observă transferul bronzului pe suprafața de rodare, însă în acest caz fenomenul se datorează nu transferului selectiv, ci efectului de priză.

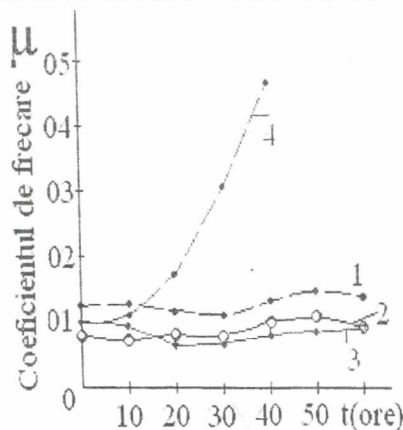


Fig. 3. Variația coeficientului de frecare în timpul încercărilor straturilor din bronzul BrAJN-10-4-4 - pe proba din aliajul titanului BT-23 curbele (1 și 4), respectiv bronzul BrO-10 pe probele executate din aliajele BT-5 și OT-4 (curbele 2 și 3).

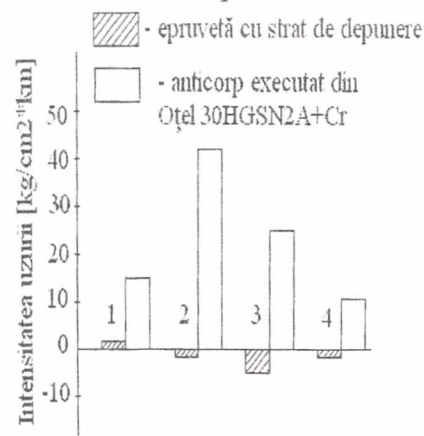


Fig. 4. Histograma intensității uzurii straturilor de depunere și a anticorpurilor:

1. Cuplu de bușe BrAJN-10-4-4-anticorp.
2. BT-5+BrO-10 și anticorp.
3. OT-4+BrO-10 și anticorp la frecare în mediu de lubrifianț.
4. Cuplu BT-23+BrAJN-10-4-4- anticorp cu frecare uscată.

### Concluzii

Astfel, putem concluziona că între stratul de depunere și materialul piesei se formează un strat intermediar, format din elementele materialului pulberii și piesei; materialul pulberii este de fapt responsabil de proprietățile stratului de depunere; în cazul formării straturilor antifricțiune este benefică formarea straturilor poroase.

Rezultatele cercetărilor efectuate demonstrează că aplicarea straturilor de depunere din bronzuri pe suprafețele pieselor executate din aliajele titanului ce funcționează în cupluri, la frecare, în condiții de lubrifiere, pentru sisteme închise, pot funcționa practic fără uzură din cauza stabilirii regimului de transfer selectiv, a materialului stratului de depunere pe suprafața anticorpului și invers. În condițiile de funcționare cu lubrifiere, straturile de depunere din bronzuri asigură funcționarea pieselor cuplului la un coeficient de frecare cuprins între 0,05 și 0,12 în funcție de materialul depunerii. Straturile de depunere din bronzuri înlătură efectul de priză pentru piesele executate din aliajele titanului.

#### **Bibliografie**

1. Гитлевич А. Е., Михайлов В. В., Парканский Н. Я., Ревуцкий В. М., Электроискровое легирование металлических поверхностей. К.: Штиинца. -1985. – 196 с.
2. Попилов Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1982. – 162 с.
3. Коваленко В. С., Верхотуров А. Д., Головкин П. Ф., Подчерняева Ю. А. Лазерное и электроэрозионное упрочнение металлов. – М.: Наука, 1986. – 276 с.
4. Pereteatcu P., Topală P., Juravski S. Aplicarea straturilor de depunere în scopul sporirii durabilității sculelor așchietoare // Tehnologii Moderne Calitate Restructurare. – Chișinău. – 1999. - P. 182.
5. Кудинов В. В. Техника напыления. – М.: Машиностроение, 1975. – с.
6. Лазаренко Б. Р., Гитлевич А. Е., Парчанский Н. Я. Электроискровое легирование с использованием электрического поля // ЕОМ. - 1976. - № 6. - С. 23-25.
7. Topală P. Cercetări privind obținerea straturilor de depunere din pulberi metalice prin descărcări electrice în impuls: Rezumatul tezei de doctorat. - București, 1993. - 32 p.
8. Топала П. А., Беляков А. В., Гитлевич А. Е. Возможности и особенности электроискрового нанесения покрытия из порошковых материалов // Порошковые сплавы для авиационной техники. - М., 1988. – 97 с.

*Prezentat la 16.04.2004*