

**ACADEMIA DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI  
INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ**

Cu titlu de manuscris

CZU 621.9.048.4

**IURCENCO Evghenii Vladimir**

**TEHNOLOGIA DE OBȚINERE A ACOPERIRILOR  
NANOSTRUCTURATE DURIFICATE PRIN SCÂNTEI  
ELECTRICE PE ALIAJE DE ALUMINIU ȘI UTILIZAREA LOR ÎN  
RESTAURAREA ȘI REPARAREA PIESELOR DE MAȘINI**

**251.03 – Tehnologii electrofizice și ingineria suprafețelor**

**Autoreferatul tezei de doctor în științe tehnice**

**CHIȘINĂU, 2016**

Teza a fost elaborată în cadrul Institutului de Fizică Aplicată.

**Conducător științific:**

**DICUSAR Alexandr Ivan**, membru corespondent AȘM, doctor habilitat în științe chimice, profesor universitar

**Referenți oficiali:**

1. TOPALA Pavel, doctor habilitat in tehnica, profesor universar.
2. CORNEICIUC Nicolae, doctor in tehnica conferentiar universar.

**Componența Consiliului Științific Specializat:**

1. STOICEV Petru, presedinte, doctor habilitat in tehnica, profesor universar
2. Țințaru Natalia, secretar stiintific, doctor in chimie, conferentiar cercetator
3. BOLOGA Mircea, doctor habilitat in tehnica, profesor universar,academician
4. GOLOGAN Viorel, doctor habilitat in tehnica, profesor universar
5. MIHAILOV Valentin, doctor in tehnica, conferentiar cercetator
6. PARAMONOV Anatolii, doctor in tehnica

Suținerea va avea loc la 25 octombrie 2016, ora 11:00, în cadrul ședinței Consiliului științific specializat D 02.251.03 din cadrul Institutului de Fizică Aplicată, Republica Moldova, mun. Chișinău, MD-2028, str. Academiei 5, biroul 109.

Teza de doctor și autoreferatul pot fi la Biblioteca Științifică Centrală „Andrei Lupan” (Republica Moldova, mun. Chișinău, MD-2028, str. Academiei 5) și la pagina web CNAA ([www.cnaa.md](http://www.cnaa.md)).

Autoreferatul a fost expediat la 24.09.2016

**Secretar științific al Consiliului Științific Specializat:**

Doctor in chimie

Conferentiar cercetator

**Tintaru Natalia**

**Conducător științific:** \_\_\_\_\_

**Dicusar Alexandr**

membru corespondent AȘM, doctor habilitat  
în științe chimice, profesor universitar

**Autor:** \_\_\_\_\_

**Iurcenco Evgheni**

© IURCENCO Evgheni 2016

## REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

**Actualitatea lucrării.** Îmbunătățirea și creșterea competitivității producției industriei constructoare de mașini necesită aplicarea unor procese tehnologice noi, ce permit sporirea durabilității și fiabilității echipamentului în condiții tot mai stricte privind cerințele față de caracteristicile de exploatare ale pieselor. Prin urmare, în condițiile moderne, când resursele financiare și materiale ale companiilor sunt extrem de limitate, recondiționarea pieselor uzate simultan cu creșterea durabilității este deosebit de importantă.

O soluție la problema îmbunătățirii caracteristicilor de funcționare a pieselor de mașini este utilizarea aliajelor de aluminiu. În particular, în ultimii zece ani, în construcția de mașini agricole, utilizarea aliajelor de aluminiu a crescut de mai mult de trei ori. Extinderea utilizării în continuare a aliajelor de aluminiu este constrânsă de rezistența redusă la uzură a suprafețelor de lucru, ce nu le permit acestora să asigure durabilitatea necesară.

Pentru a îmbunătăți durabilitatea lor este necesar ca pe suprafețele uzate să se creeze straturi de durificare cu proprietăți fizico-mecanice dorite. În prezent, cele mai frecvente procedee utilizate la recondiționarea suprafețelor uzate ale pieselor de aluminiu sunt diferite tipuri de procedee de recondiționare prin sudare și de încărcare prin sudare. Cu toate acestea, la utilizarea procedeelelor de recondiționare prin sudare și de încărcare prin sudare către piesă este transmisă o cantitate mare de căldură, ceea ce duce la deformări și necesitatea unei prelucrări ulterioare. Mai mult decât atât, în cazul în care utilizăm repararea prin aceste procedee, rezistența la uzură a suprafețelor recondiționate nu se mărește.

Din ce în ce mai frecvent, în ultimul timp, atunci când se recondiționează dimensiunile pieselor uzate se utilizează alierea prin scânteii electrice (ASE), ce permite obținerea acoperirilor cu rezistență înaltă la uzură. Însă recondiționarea pieselor de aluminiu cu ajutorul ASE este insuficient studiată, și prin urmare, în elaborarea tehnologiei de recondiționare a pieselor apar probleme. Cercetările preliminare arată că o soluție a problemei ASE a pieselor din aliaje de aluminiu aplicată la recondiționare și reparare este utilizarea electrozilor-sculă, care reprezintă un amestec mecanic al matricei refractare și componentei fuzibile.

**Scopul lucrării:** stabilirea legităților de formare a acoperirilor rezistente la uzură pe piesele din aliaje de aluminiu pentru recondiționarea suprafețelor uzate cu ajutorul electrozilor ASE, care reprezintă un amestec mecanic a componentei fuzibile și matricei refractare și pe această bază – elaborarea tehnologiei de recondiționare a suprafețelor uzate.

**Obiectivele de cercetare:**

1. Evidențierea legităților de formare a acoperirilor pe suprafețele din aliaje de aluminiu în funcție de parametrii de prelucrare cu scânteii electrice.

2. Examinarea particularităților de formare a stratului superficial (depunerea unui strat cu grosime determinată sau modificarea suprafeței) cu electrozii, care reprezintă un amestec mecanic a componentei fuzibile și matricei refractare.

3. Studiarea caracteristicilor fizico-mecanice ale stratului superficial a aliajelor din aluminiu în cadrul procesului ASE executat în mod manual și mecanizat.

4. Studiarea macro- și microstructurii, compoziției fazei și compoziției chimice a acoperirilor și electrozilor în funcție de parametrii ASE.

5. Determinarea (în calitate de metodă de caracterizare a proprietăților acoperirilor) caracteristicilor tribologice ale acoperirilor obținute pe aliajele de aluminiu cu ajutorul ASE, în condiții diferite de frecare de alunecare, în diferite medii.

6. Elaborarea proceselor tehnologice optime pentru depunerea materialelor rezistente la uzură la recondiționarea pieselor din aliaje de aluminiu simultan cu durificarea.

#### **Noutatea științifică:**

S-a constatat că în condiții de aliere prin scânteii electrice cu electrodul-sculă, care reprezintă un amestec mecanic al componentei fuzibile în matricea refractară (Al-Sn, Al-Pb) acoperirile obținute conțin micro- și nanofibre a componentei fuzibile. Un asemenea proces poate fi considerat un analog al metodei de electrofilare pentru obținerea nanomaterialelor [1].

#### **Problema științifică soluționată:**

S-a demonstrat că prin utilizarea procedurii de aliere cu scânteii electrice cu ajutorul electrodului-sculă din aliaj de Al-Sn are loc formarea straturilor cu o anumită grosime (spre deosebire de procesul de aliere cu aluminiu pur), ce permite utilizarea ASE cu electrodul-sculă de acest tip la efectuarea procesului de reparare și recondiționare a pieselor din aliaje de aluminiu.

#### **Valoarea aplicativă a lucrării:**

- au fost determinați parametrii tehnologici de bază ai procesului ASE a suprafețelor de aluminiu, ce permit obținerea unei rezistențe înalte la uzură, și pe această bază a fost elaborată tehnologia de reparare și recondiționare a pieselor de aluminiu.
- au fost identificate regimurile de recondiționare a suprafețelor pieselor de aluminiu: energia impulsului în intervalul 1.58÷3.16 J, durata impulsului 500÷1000 μs, amplitudinea curentului 175 A la un diametru al electrodului compact de 4-6 mm, frecvența impulsurilor 50÷100 Hz, viteza de deplasare a electrodului-sculă în intervalul de valori 0.2÷1.5 mm/s.
- pentru obținerea acoperirilor cu grosime crescută la recondiționarea suprafețelor uzate ale pieselor de aluminiu se propune utilizarea tehnologiei „straturilor-barieră”. Cel mai efectiv

„strat-barieră” pentru piesele din aluminiu se produce cu utilizarea electrozilor din aliaj de Al-Ni.

### **Fiabilitatea rezultatelor cercetării**

Fiabilitatea rezultatelor obținute se bazează pe utilizarea metodelor de cercetare fizico-chimice moderne, și se confirmă prin absența rezultatelor contradictorii cu datele din literatura de specialitate și prin reproductibilitatea datelor experimentale obținute în limita preciziei stabilite a metodelor utilizate. Concluziile efectuate în baza rezultatelor obținute, precum și rezultatele științifice înaintate spre susținere sunt argumentate și au fost aprobate în cadrul conferințelor științifice, precum și prin publicarea materialelor în jurnalele recenzate.

### **Contribuția personală a autorului**

La momentul derulării lucrării autorul era executor al unui număr de teme de cercetare, și de asemenea, conducător științific al tezelor de licență, principalele rezultate ale cărora au fost introduse în lucrarea de doctorat. Autorul împreună cu conducătorul științific a stabilit scopul și obiectivele de cercetare, a efectuat o analiză critică a datelor publicate la tema tezei. Rezultatele experimentale, precum și generalizările teoretice, prezentate în lucrare, sunt efectuate în cadrul proiectului IFA al AȘM 11.817.05.05.A „Metode electro-fizico-chimice de obținere și prelucrare a materialelor noi și acoperirilor, cu proprietăți funcționale îmbunătățite” și temei proiectului Universității de stat nistrene „Taras Șevcenko” „Elaborarea metodelor de obținere și prelucrare a nanomaterialelor și structurilor cu proprietăți funcționale îmbunătățite” sub conducerea conducătorului științific sau personal de către autor, precum și cu participarea co-autorilor publicațiilor.

### **Rezultatele științifice înaintate spre susținere:**

- au fost stabilite legăturile dintre compozițiile electrozilor, regimurile de prelucrare și proprietățile suprafețelor aliajelor de aluminiu, sub acțiunea ASE, și formarea micro- și nanofibrelor în acoperiri.

- tehnologiile de obținere a acoperirilor pe aliajele de aluminiu cu utilizarea efectului de modificare a suprafeței și obținerea acoperirilor cu strat de adăugare în condiții ASE prin depunerea mecanizată a acoperirilor;

- recomandări cu privire la procesul de aplicare a ASE pentru recondiționarea suprafețelor de aluminiu uzate, care includ modul de selectare a regimurilor, compoziției chimice a electrodului și vitezei de prelucrare;

- bazele tehnologiei de recondiționare și reparare a locurilor de montare de sub rulmenți în piesele din aliaje de aluminiu, și de asemenea, pregătirea în condiții de reparare a pieselor de aluminiu pentru sudare.

**Aprobarea rezultatelor** lucrării s-a efectuat prin:

- publicarea rezultatelor de cercetare în reviste recenzate;
- rapoarte și discutarea rezultatelor la următoarele conferințe, inclusiv internaționale:
  - III Международной научно-технической конференции «Электрохимические и электролитно-плазменные методы модификации металлических поверхностей» г.Кострома 15-17 февраля 2010 г.;
  - International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering German-Moldova Worksnop on Novel Nanomaterials for Electronic, Photonic and Biomedical Applications Proceedings Chisinau, Moldova April 18-20, 2013;
  - Международной объединенной конференции : IV конференции "Электрохимические и электролитно-плазменные методы модификации металлических поверхностей"
  - V конференции "Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии". 16-20 сентября 2013 г. Плес, Россия;
  - BALTRIB 2013. VII International Scientific Conference 14-15 November 2013 ;
  - IX Международной научно-практической конференции «Научные проблемы технического сервиса сельскохозяйственных машин» 11-12 декабря 2013 г. Москва;
  - Международной конференции MSCMP 2014 году (Молдова, Кишинев, 16-19 сентября 2014 г.), 7th International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics. Chisinau, Moldova. September 16-19, 2014.
  - 3rd International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering/ ICNBME- 2015, September 23-26, 2015, Chisinau, Republic of Moldova
  - Международного научного-практического симпозиума «Достижения и перспективы в агроинженерии и автотранспорте». Государственный аграрный университет Молдовы факультет агроинженерии и автотранспорта г.Кишинев. Молдова. 11-13 ноября 2015г.

**Implementarea rezultatelor.** Tehnologia elaborată pentru recondiționarea locului de montare de sub rulmenți în piesele din aliaje de aluminiu cu ajutorul ASE este implementată la uzinele SRL "Moldaizolit RiO" Filiala or. Tiraspol și SRL „Torgovii proekt” din or. Tiraspol. Tehnologia elaborată pentru repararea miezurilor tubulare ale radiatoarelor de aluminiu pentru motoarele autotractoroarelor, cu ajutorul prelucrării combinate prin ASE și sudurii la temperaturi joase este acceptată pentru a fi implementată la uzina SRL „Torgovii proekt” din or. Tiraspol. Rezultatele obținute au fost utilizate la pregătirea proiectului european Oil&Sugar, GA № 295202, precum și în procesul de învățământ la pregătirea tezelor de master și licență la Universitatea de stat nistreană „Taras Șevcenko”.

**Publicații.** În baza materialelor tezei de doctor au fost publicate optsprezece lucrări științifice. Dintre acestea nouă sunt articole (patru în reviste recenzate conform listei CNAA); șapte teze la conferință; două brevete, care confirmă că rezultatele lucrării sunt aplicative.

**Volumul și structura lucrării.** Lucrarea de disertație este scrisă în limba rusă, constă din introducere, 5 capitole, concluzii generale, recomandări și bibliografie. Lucrarea conține 135 pagini de text, 51 figuri, 29 tabele, bibliografia care include 178 de referințe.

**Cuvinte cheie.** Prelucrarea prin scânteii electrice, alierea prin scânteii electrice, aluminiu, nanostructurare, rezistență la uzură, micro- și nanofibre de oxid de staniu, oxid de aluminiu.

## CONȚINUTUL LUCRĂRII

### Introducere

În introducere este argumentată actualitatea problemei cercetate, se descrie noutatea științifică și semnificația practică a lucrării, sunt formulate scopul, obiectivele de cercetare și principalele rezultate înaintate spre susținere.

### **Capitolul 1. Analiza situației în domeniul tehnologiei de obținere a acoperirilor prin scânteii electrice pe aliaje de aluminiu și utilizarea acestora în recondiționarea organelor de mașini.**

Capitolul prezintă o trecere în revistă analitică a lucrărilor publicate anterior, dedicată formării structurilor și proprietăților suprafețelor, obținute cu ajutorul ASE. Se analizează succint modelele fizice ale procesului, existente în prezent (Б. Р. Лазаренко și И. И. Лазаренко; А.Д. Верхотурова; Б. И. Золотых; В. И. Раховского și Л. М. Ягудаева ș.a.). Este examinat în detaliu mecanismul de formare a acoperirilor pe suprafețele prelucrate cu ASE. O caracteristică a alierii prin scânteii electrice a suprafețelor de aluminiu, cu electrozi compacți din aluminiu pur este incapacitatea de a obține acoperiri datorită eroziunii mari a catodului, care nu permite de a obține acoperiri de calitate cu grosimea necesară [2]. Sunt analizate noi tehnologii ASE cu utilizarea impulsului de mărime variabilă [3], electrozilor-scule cu: structură heterofază și electrodepunerea pulberilor [4], electrozilor-sculă de ungere pentru etanșare, realizați inclusiv cu utilizarea tehnologiei de presare izostatică uscată [5], electrozilor-sculă obținuți cu ajutorul sintezei prin auto-propagare la temperaturi înalte și adaosurilor nanocristaline modificate [6,7]. Rezultatele utilizării acestora pentru ASE a pieselor din aliaje de aluminiu lipsesc, sau sunt foarte rare. Sunt analizate particularitățile de formare a nanostructurilor în condiții de ASE și influența acestora asupra proprietăților acoperirilor obținute [7,8].

## **Capitolul 2. Particularitățile metodice ale tehnologiei de obținere, cercetare a componentei și proprietăților acoperirilor prin scânteii electrice. Echipament și materiale.**

Secțiunea 2.1 conține parametrii instalațiilor care au fost utilizați pentru ASE, precum și parametrii instalației experimentale special elaborată pentru aplicarea mecanizată a acoperirilor.

Secțiunea 2.2 prezintă tehnologii de obținere a electrozilor-scule (ES) și mostre tehnologice pentru încercări. ES din aliaj de Al-Sn au fost turnați atât în mașina centrifugă, cât și în cochila, realizată în conformitate cu utilajul special fabricat. Topirea s-a efectuat în cuptorul cu inducție VCI-10U conform tehnologiei standard cu utilizarea ligaturilor. Probele au fost preparate prin frezare, din foaia de aliaj D1 (GOST 4784).

Secțiunea 2.3 cuprinde o discuție în detaliu asupra tehnologiei de depunere prin scânteii electrice a acoperirilor cu ajutorul dispozitivului «ALIER-31» acționat atât manual, cât și mecanizat, în diferite medii (aer, argon).

Au fost utilizate diferite metode de depunere a acoperirilor: cu un număr constant de straturi depuse și o viteză variabilă de mișcare a ES în raport cu proba, și „o valoare constantă a sarcinii transmise” datorită menținerii timpului de prelucrare a probei constant, precum și, prin utilizarea unei viteze variabile de deplasare a ES.

Secțiunea 2.4 conține metode de cercetare a proprietăților suprafeței probelor. Suprafața probelor (până la și după prelucrare) a fost studiată cu ajutorul microscopului electronic cu scanare pentru determinarea morfologiei și compoziției chimice elementale (microscopul electronic cu scanare TESCAN cu dispozitiv pentru analiza elementală a suprafeței INCA Energy EDX (Oxford, Marea Britanie)).

Epruvete șlefuite din electrodul-sculă și acoperiri ale probelor au fost supuse unei analize metalografice, cu ajutorul microscopului metalografic MIM10 la diferite mărimi. Pentru a determina compoziția de fază a acoperirilor și ES a fost efectuată analiza roentgen cu ajutorul instalației DRON UM1 (FeK $\alpha$  - radiația, Mn – filtru,  $\theta/2\theta$  - metoda). Rugozitatea suprafeței probelor R<sub>a</sub> și profilului ei au fost determinate cu ajutorul profilometrului „Surtronic, Taylor Hobson, GB” Marea Britanie. Cercetarea microdurității acoperirilor a fost efectuată cu ajutorul microdurimetrului de tip PMT – 3, cu utilizarea unei tehnici îmbunătățite de fixare a dimensiunii amprentelor de microduritate .

Secțiunea 2.5 conține metodologia pentru încercări tribologice ale acoperirilor probelor. Testarea la uzură a acoperirilor obținute a fost efectuată la mașinile pentru încercări la uzură:  
- cu mișcare de translație alternativă a probei față de contracorp (conform metodei utilizate în cadrul Institutului de Fizică Aplicată al AȘM);



- cu mișcare de rotație conform schemei „block-on-ring” (tribometru standard SMC-2, Centru Național de tribologie, or.Caunas, Lituania).

### **Capitolul 3. Tehnologia de obținere a acoperirilor prin scânteii electrice pe aliaje de aluminiu cu electrozi din aliajul Al-Sn.**

Experimentele cu privire la depunerea acoperirilor din aliaj de Al-Sn(AO20-1) pe aliajul D1 în condiții de aliere manuală au arătat:

- la regimurile de lucru ale instalațiilor, cu utilizarea impulsurilor de energie joasă (regimurile 1÷5 Alier-31 cu energia impulsurilor în diapazonul:  $0,036 \div 0,798$  J și durata impulsului în intervalul  $16 \div 25$   $\mu$ s) acoperiri pe proba din aliajul D1 nu se formează. Materialul pulverizat de pe ES ajunge la probă, dar emisia de metal de pe probă depășește greutatea adițională a materialului electrodului. Suprafața probei se modifică fără a cauza creșterea în grosime a stratului;
- la creșterea energiei impulsului până la 3.2 J cantitatea de material transportat de la anod crește de 6÷7 ori, în același timp, se mărește greutatea adițională a stratului.

La energii relativ mici ale impulsului are loc scăderea în greutate a probei, care se mărește odată cu creșterea energiei impulsului (domeniul I în Fig. 3.1.). Prin creșterea energiei impulsului se observă transferul de material de pe electrod pe suprafața probei, ce este însoțit de o creștere a greutateii acestuia (domeniul II în Fig. 3.1.). Datele experimentale obținute sunt în concordanță cu concluziile obținute, în particular, în lucrarea [3] unde se utilizează impulsuri cu factor de umplere variabil. Deosebirea constă în aceea că, în acest caz, funcțiile de impulsuri cu factor de umplere variabil efectuează diferite regimuri de depunere:

regimul I – valori joase ale energiei impulsului / viteze mari de deplasare ale ES în raport cu proba;

regimul II – valori mari ale energiei impulsului / viteze mici de deplasare ale ES în raport cu proba.

După prelucrarea în condiții intensive, morfologia probei reprezintă o aglomerare de micro- și nanofibre în matricea de aluminiu (Fig. 3.2). Analiza compoziției arată că fibrele, practic sunt constituite din dioxid de staniu (Fig. 3.3).

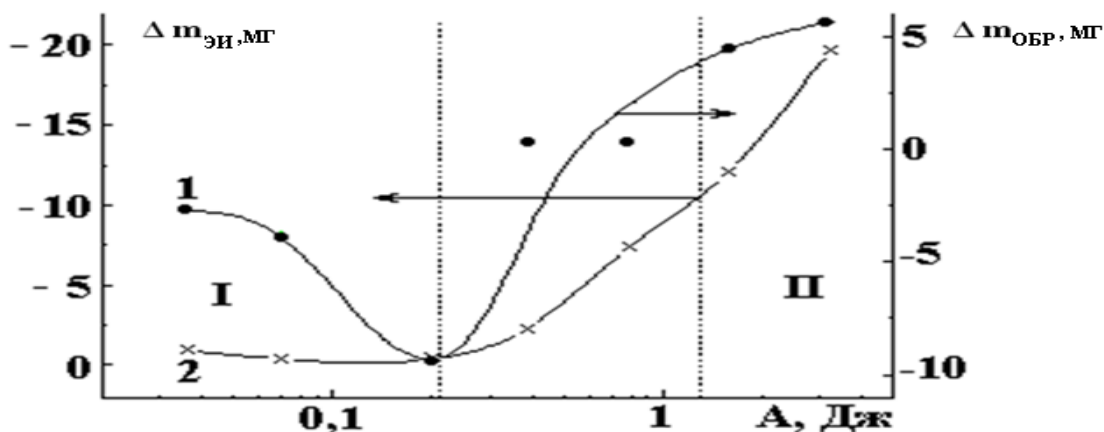


Fig.3.1. Dependența schimbării masei probei (1) și ES (2) de energia impulsului

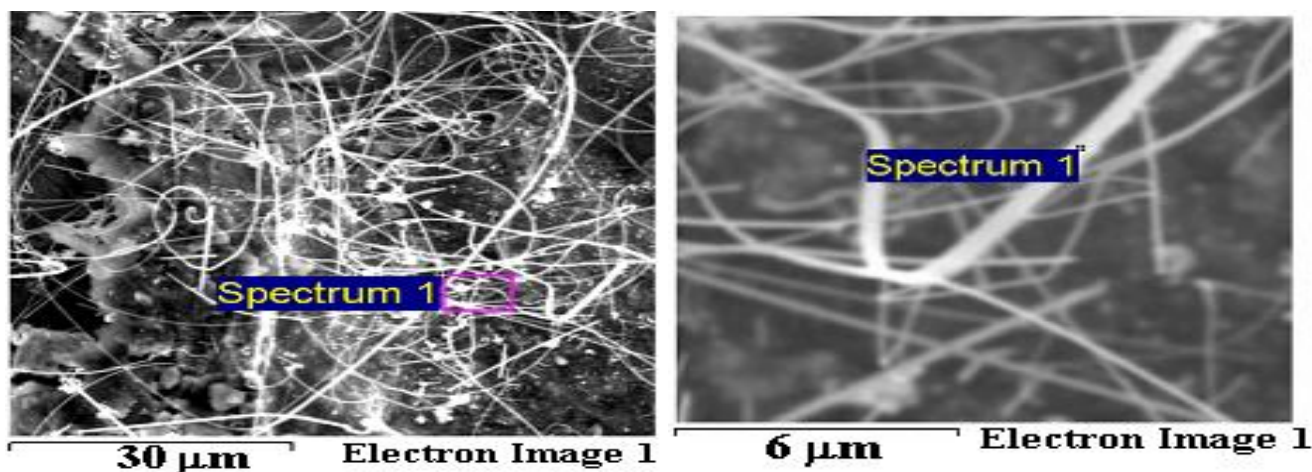


Fig.3.2. Suprafața unui fragment al probei după ASE cu energia impulsului de 3,2 J ( $t=50\mu s$ ) cu ES de Al-Sn

În Fig. 3.3. sunt prezentate rezultatele analizei elementare ale unui fragment mare al fibrei, care permit de a efectua o analiză de înaltă precizie din care rezultă că fibrele sunt în principal constituite din oxid de staniu.

Având în vedere faptul că, diagrama de stare a Al-Sn la temperaturi mai înalte de temperatura de topire a componentei fuzibile reprezintă o fază lichidă (Sn), în spațiul intergranular, în condiții de aliere prin scântei electrice datorită forțelor ponderomotive picăturile componentei fuzibile se extind în micro- și nanofibre, care sunt transferate pe suprafața prelucrată sub formă de oxid de staniu, când ASE se efectuează în aer.

Micro- și nanofibrele de staniu sau de oxid de staniu ce se obțin în acoperiri (în dependență de mediul de depunere) au rolul de “armătură”, care permit formarea unui strat la suprafață, spre deosebire, de alierea cu electrodul-sculă din Al pur, fără staniu.

Fibrele, care s-au format reprezintă nuclee din Sn, acoperite cu oxid de staniu, din moment ce calculele arată că conținutul de staniu depășește necesarul pentru  $SnO_2$ , conform stoichiometriei (vezi Fig.3.3).

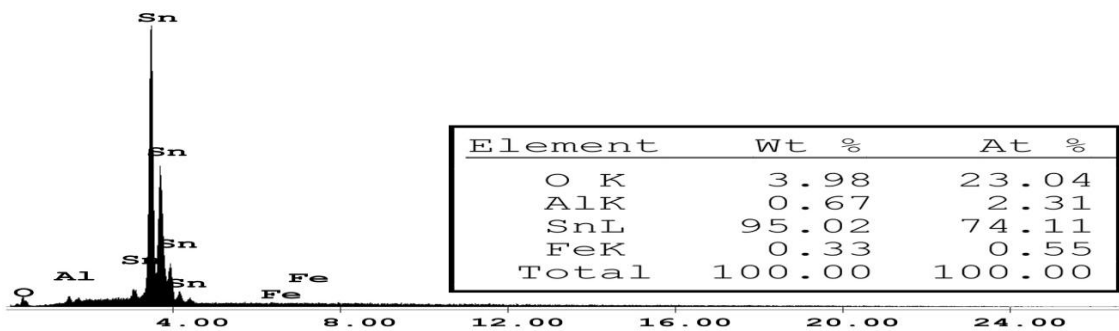
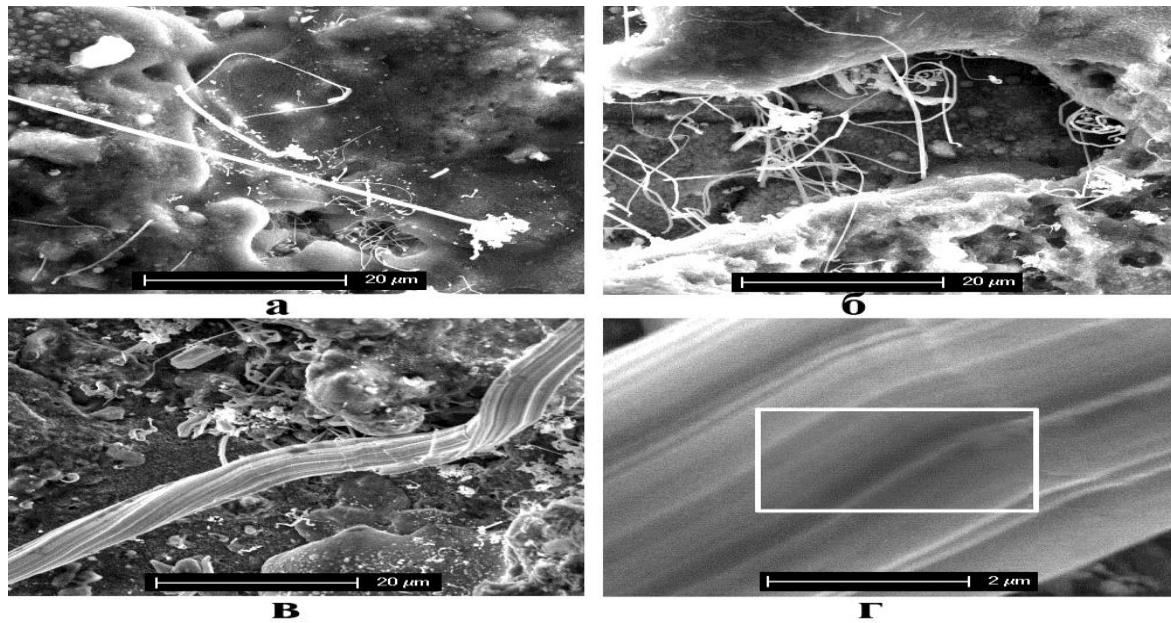


Fig.3.3. Morfologia straturilor superficiale, obținute după ASE în condiții mecanizate de depunere a acoperirilor ( $v=0,6 \text{ mm/s}$ ) cu energia impulsului de  $3.2 \text{ J}$  ( $t=1000\mu\text{s}$ ).

#### Capitolul 4. Proprietățile fizico-mecanice ale stratului superficial din aliaj de aluminiu obținut prin aliere cu scânteii electrice utilizând electrozi din Al-Sn.

Încercările de rezistență la uzură a acoperirilor obținute (mașină pentru încercări de frecare cu mișcare rectilinie alternativă, viteza de deplasare  $0,07 \text{ m/s}$ , sarcina de  $10\text{Mpa}$  în decurs de 10 ore) au arătat că uzura epruvetelor cu astfel de acoperiri este aproximativ de 10 ori mai mică, decât uzura oțelului călit (Fig.4.1), din care este fabricat contracorpul. Uzura maximală a probelor din aliajul D1 se observă pentru suprafețele neprelucrate prin alierea cu scânteii electrice (Fig.4.1). În acest caz, mărimea uzurii contracorpului este de unu până la două ordine de mărime mai mici comparativ cu uzura probei. Rezultatele prezentate în diagrama Fig.4.1 reprezintă valorile măsurate a uzurii relative:

$$U = \Delta U_{KT} / \Delta U$$

unde  $\Delta U_{KT}$  – uzura corpului pe parcursul încercărilor (mg),

$\Delta U$  – uzura probei pe parcursul încercărilor (mg).

Se observă clar că pentru  $U > 1$ , uzura contracorpului depășește semnificativ uzura probei, spre deosebire, de cazul când  $U < 1$ .

Ipoteza că rezistența înaltă la uzură a acoperirilor se poate explica prin duritatea mare a acestuia după prelucrarea prin ASE, nu s-a confirmat, atunci când s-a măsurat microduritatea cu ajutorul durometrului PMT-3 (Tab.4.1).

*Tabelul 4.1*

*Microduritatea acoperirilor  $HV_{100}$  și contracorpului ( $kg/mm^2$ ).*

Proba din D1 până la depunerea acoperirilor	Proba din D1 după depunerea acoperirilor cu electrodul-sculă din Al-Sn	Contracorpul din oțel călit
88,33 ± 3,27	63,0 0 ± 5,00	571,00 ± 22,00

Analiza roentgen a acoperirilor a arătat lipsa cărorva reflexe în acoperiri, ce confirmă faptul că oxizii se află în stare amorfă.

În Fig.4.1 sunt prezentate rezultatele încercărilor comparative a acoperirilor obținute cu electrozii-scule din Al pur, Sn pur, precum și cu electrozii din Al-Sn, în mediu de argon și aer, efectuate la mașina pentru încercări de frecare cu mișcare rectilinie alternativă (regim „moale”) prin frecare cu ungere.

Efectuarea încercărilor de rezistență la uzură a acoperirilor obținute prin depunerea cu electrozi-scule din Sn pur, precum și depunerea cu electrozi-scule din Al pur (Fig.4.1.) pe proba din aliaj D1 au arătat că uzura acoperirilor în aceste cazuri sunt de câteva ori mai mari decât uzura contracorpului.

Experimentele referitoare la depunerea acoperirilor cu ajutorul ASE pe aliajul D1 cu electrozi din Al-Sn în mediu de argon, când posibilitatea de formare a oxizilor din staniu și aluminiu sub formă de micro- și nanofibre lipsește, au arătat că rezistența la uzură a acoperirilor se apropie după mărime de rezistența la uzură a probei fără de acoperiri (Fig.4.1 B).

Evident că acoperirea obținută reprezintă suprafața aliajului de aluminiu cu impregnații de micro- și nanofibre de  $SnO_2$ , care și determină rezistența înaltă la uzură a acoperirilor ( $HV_{100} SnO_2 = 1200 kg/mm^2$ ). Proprietățile acoperirilor practic nu se schimbă după îndepărtarea parțială a stratului de suprafață de 0.2 mm, ceea ce indică formarea nanofibrelor pe tot volumul acoperirii.

Încercările asupra acoperirii, obținute în regim mecanizat, a confirmat existența efectului de durabilitate sporită a suprafețelor aliate și ne-au permis a stabili condițiile optime de obținere a acestora.

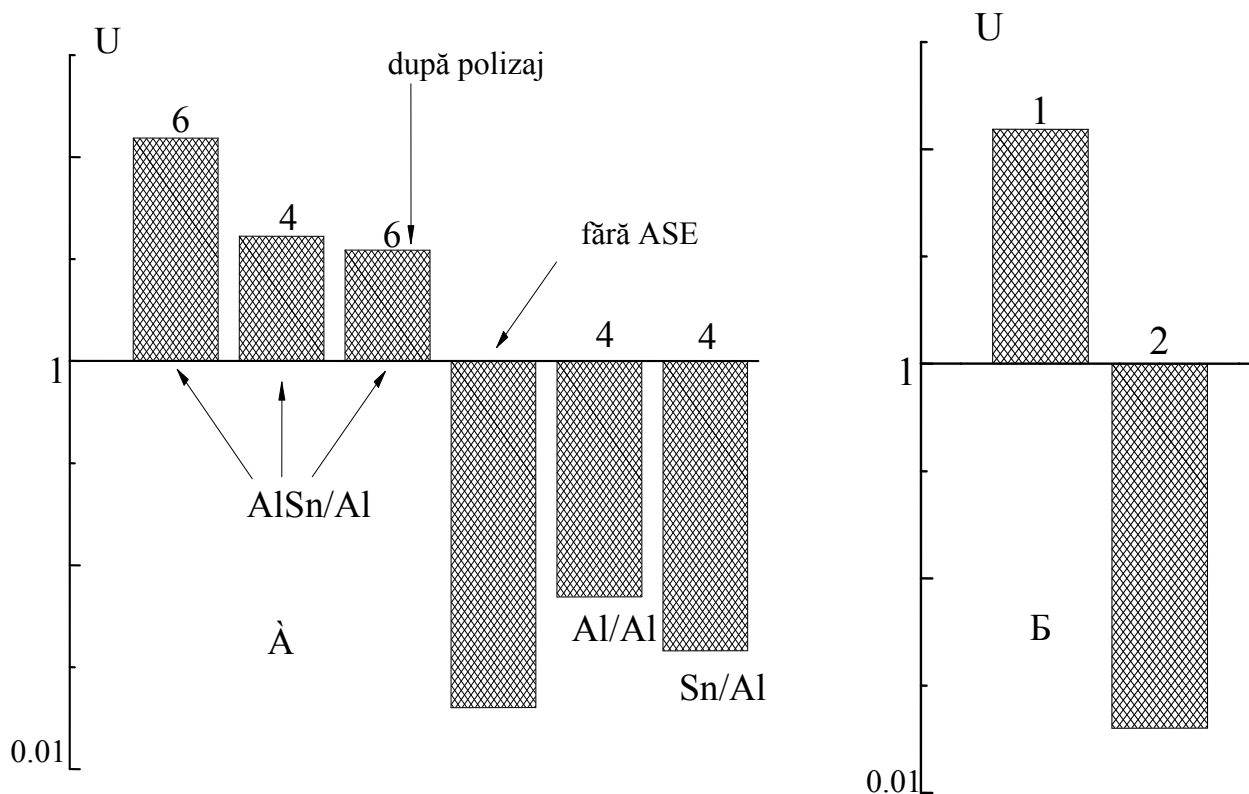


Fig.4.1 Uzura relativă a acoperirilor la ASE în aer (A) și compararea gradului de uzură la prelucrarea în aer (1) și în mediu de argon (2). Cifrele din Fig.A corespund regimurilor de prelucrare a dispozitivului Alier-31.

În Fig.4.2 se prezintă dependența vitezei de depunere (în  $\text{mg/s cm}^2$ ) de viteza de deplasare a ES în raport cu proba. De asemenea, precum în varianta manuală, există 2 soluții ale ASE: prin obținerea stratului pe suprafața probei (regimul I în Fig.4.2, viteze mici de deplasare a ES în raport cu proba) și “modificarea stratului superficial” (regimul II în Fig.4.2, viteze mari de deplasare a ES). Trecerea de la regimul I la regimul II este însoțită de o reducere a rugozității suprafeței. Rezultatele prezentate în Fig. 4.3. cu privire la încercările acoperirilor obținute prin ASE, la o depunere mecanizată a acoperirilor (independent de regimul de lucru), în condiții intensive de frecare și uzură, (mașină pentru încercări de frecare SMC-2, schema „block-on-ring” cu sarcina de 1000H, viteza de rotație a contracorpului în raport cu proba -270 rot/min, timpul sub sarcină – 8ore) au arătat prezența efectului de uzură excesivă a contracorpului din oțel călit în raport cu uzura acoperirii.

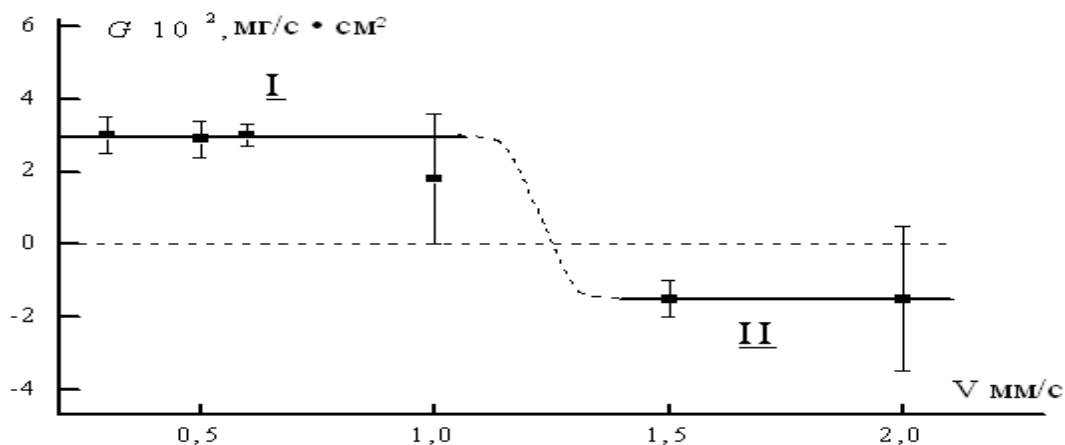


Fig.4.2. Dependenta vitezei specifice de prelucrare de viteza de deplasare a electrodului-sculă în raport cu suprafața prelucrată

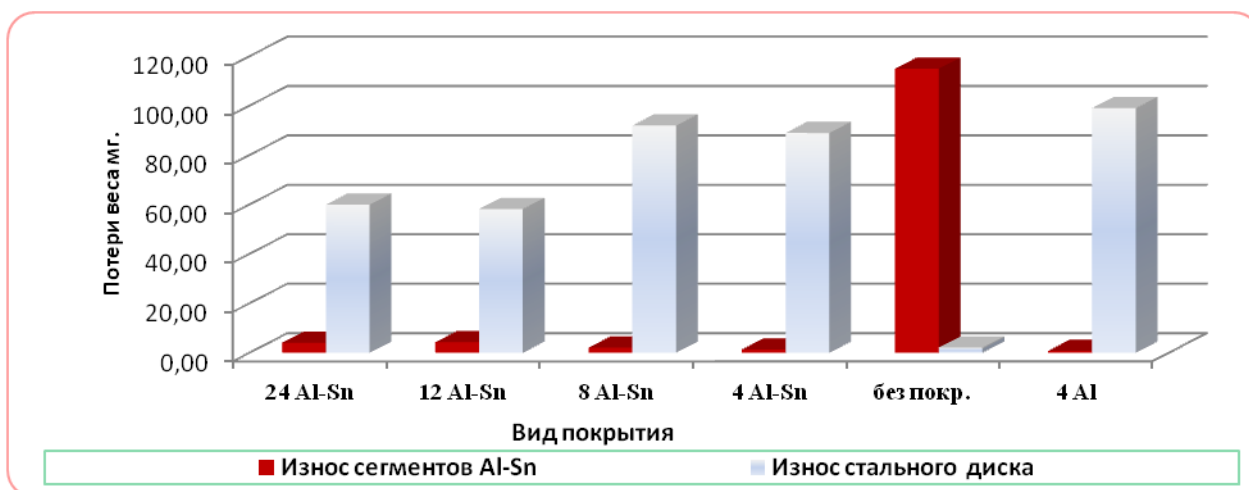


Fig.4.3. Rezultatele încercărilor la uzură a suprafețelor după prelucrarea prin ASE cu ungere, sub sarcină variabilă de durata a 15min la fiecare aplicare a forței: 200, 400, 600, 800, 1000H.

O altă imagine se observă atunci când încercările probelor la uzură se efectuează fără ungere. Rezistența la uzură a probelor cu acoperiri fără ungere se micșorează nesemnificativ în comparație cu probele testate cu ungere, iar uzura contracorpului se micșorează cu un ordin de mărime. Rezultatele încercărilor arată că acoperirea din aliaj de Al-Sn demonstrează o rezistență înaltă la uzură și în lipsa ungerii. Însă, în acest caz, uzura maximală a contracorpului se observă nu la prelucrarea cu ES din Al-Sn, dar la prelucrarea cu ES din aluminiu pur. Măsurările microdurității până la și după încercările la uzură, în condiții de frecare uscată, la tribometru SMC-2 au arătat schimbări semnificative ale acesteia datorită schimbării structurii, ca urmare a oxidării elementelor de suprafață (Al, Sn). Acest fapt se confirmă prin creșterea microdurității de la  $HV_{100} 88,33 \pm 3,27$   $kg/mm^2$  până la  $HV_{100} 304 \pm 50$   $kg/mm^2$ .

În acest mod, în condiții de frecare relativ „moi” un rol decisiv vor avea micro- și nanofibrele din SnO<sub>2</sub>. În condiții „dure” de încercări rolul nanofibrelor din SnO<sub>2</sub> se nivelează și un rol determinant în rezistența la uzură îl are matricea prelucrată prin ASE.

Studiul proprietăților acoperirilor, obținute prin ASE a suprafețelor din aliaj D1 de aluminiu cu electrozi din Al-Pb, de asemenea, au arătat o rezistență la uzură anormală (Fig. 4.4), care confirmă ipoteza prezenței unor particularități în proprietățile suprafețelor după ASE nu doar la prelucrarea cu ES din Al-Sn, dar și prelucrarea cu ES care reprezintă un amestec mecanic a componentei ușor fuzibile într-o matrice greu fuzibilă. Mai mult decât atât, rezultatele prezentate în Fig.4.4., indică că rugozitatea înaltă a suprafețelor obținute prin ASE, nu reprezintă un factor determinant pentru efectele observate.

Cercetările efectuate privind modificarea compoziției ES în procesul de ASE, cu ajutorul analizei Roentgen au arătat că oxizi de Al, Sn, Cu nu au fost detectați, deși conform analizei elementale oxigenul este prezent. Prin urmare, oxizii sunt în stare amorfă (necristalină). În procesul ASE are loc o oxidare intensivă a elementelor, care intră în compoziția electrodului. Cantitatea de oxigen se mărește de la 7 ÷ 11%, până la 29 ÷ 45 %, și anume de 4 ori. În procesul de ASE are loc o îmbogățire reciprocă cu elemente a ES și probei, și anume o parte din elemente se transferă nu doar de pe ES pe probă formând acoperiri, dar și de pe probă pe ES, formând structuri secundare. Oxidarea suplimentară a suprafeței ES în procesul de ASE necesită actualizări tehnice periodice a suprafeței ES.

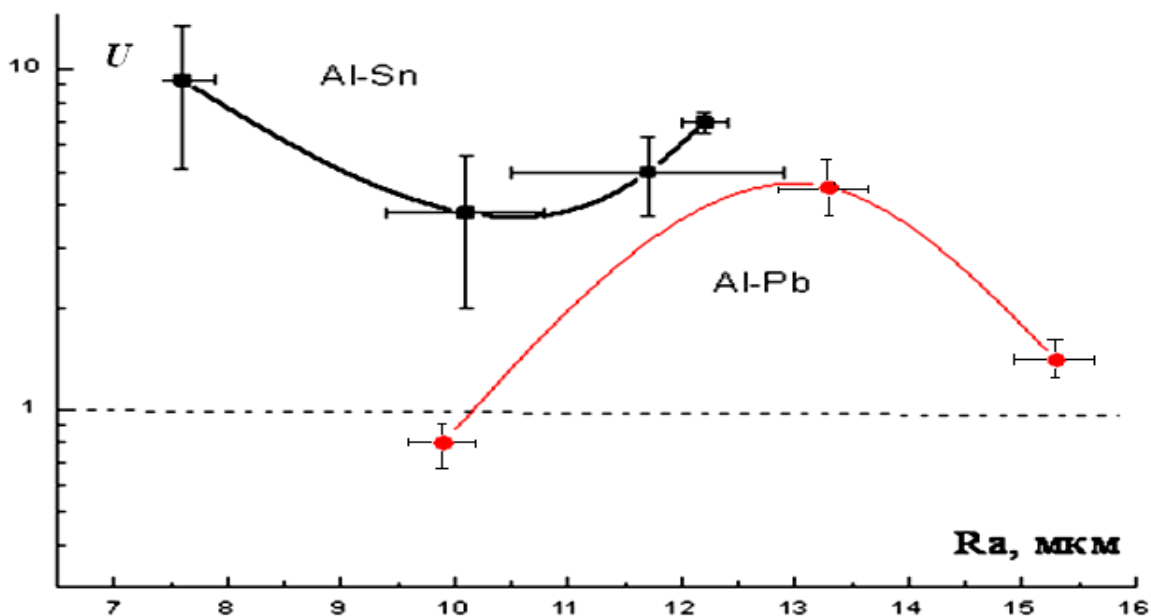


Fig.4.4. Dependența coeficientului de uzură a acoperirilor de rugozitatea suprafeței în condiții de frecare uscată.

## **Capitolul 5. Elaborarea tehnologiilor de obținere a acoperirilor pe piese din aliaje de aluminiu prin metoda de aliere cu scânteii electrice.**

Pentru punerea în practică a rezultatelor cercetării au fost elaborate tehnologia de recondiționare a locașurilor de instalare pentru rulmenți în piese de aluminiu, tehnologia de reparație a radiatoarelor cu tuburi din aluminiu pentru automobile și tractoare, precum și tehnologia de producere a sculelor pentru prelucrarea abrazivă a pieselor.

Obiectul selectat pentru reparare sunt capacele generatoarelor electrice și scuturile portlagăre ale motoarelor electrice. Pentru recondiționarea locurilor de montare a fost elaborată o tehnologie utilizând straturile „barieră” (Brevet R.M.N. №458). Cu ajutorul acestei tehnologii au fost recondiționate locurile de montare în capacele generatoarelor electrice și în corpul pompei de apă al automobilului „Газель”.

La repararea radiatoarelor autotractorului cu tuburi de aluminiu, datorită prezenței unui strat de oxid pe tuburile de aluminiu și grosimii mici a pereților ( $\sim 0,4 \cdot 10^{-3}$ ) m, sudarea este dificilă. Este elaborată o nouă tehnologie de sudare fără flux a radiatoarelor pentru autotractoare (Brevet R.M.N. №458), esența căruia constă în distrugerea prealabilă a peliculei de oxid cu electrodul din aliaj de Al-Sn(AO20-1) cu ajutorul ASE, și sudarea ulterioară cu un obișnuit ciocan de lipit electric POS-40. Controlul experimental al tuburilor lipite s-a efectuat prin teste de presiune cu aer de  $0,9 \text{ kg/cm}^2 \div 1,2 \text{ kg/cm}^2$ , care au demonstrat fiabilitatea metodei elaborate. Calculul eficienței economice a tehnologiei elaborate a arătat că la un program anual de reparare a 500 de radiatoare se poate face o economie de 27 709 \$ pe an.

Una din metodele de utilizare a acoperirilor obținute pe piese din aluminiu prin aliere cu scânteii electrice o constituie producerea și recondiționarea sculelor abrazive pentru rectificarea pieselor din oțel, precum și pentru ascuțirea și finisarea sculelor așchietoare.

În calitate de scule pentru prelucrarea abrazivă a pieselor s-a utilizat un disc din aliaj de aluminiu D1 acoperit pe suprafața de lucru cu un strat abraziv. Pentru depunerea stratului abraziv s-a aplicat metoda de aliere cu scânteii electrice cu electrod de prelucrare din aliaj Al-Sn. Cu utilizarea acestei scule e posibilă rectificarea suprafețelor pieselor din oțel

Una din metodele de utilizare a acoperirilor obținute pe piese din aluminiu prin aliere cu scânteii electrice o constituie producerea și recondiționarea sculelor abrazive pentru rectificarea pieselor din oțel, precum și pentru ascuțirea și finisarea sculelor așchietoare.

În calitate de scule pentru prelucrarea abrazivă a pieselor s-a utilizat un disc din aliaj de aluminiu D1 acoperit pe suprafața de lucru cu un strat abraziv. Pentru depunerea stratului abraziv s-a aplicat metoda de aliere cu scânteii electrice cu electrod de prelucrare din aliaj Al-Sn. Cu utilizarea acestei scule e posibilă rectificarea suprafețelor pieselor din oțel călite până la duritatea HRC 55 de unități.



## CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

1. A fost stabilit că în condiții de aliere prin scânteii electrice, cu aliaje, care reprezintă o componentă mecanică fuzibilă, dispersată într-un sistem refractar (sisteme de Al-Sn, Al-Pb), poate avea loc formarea a micro- și nanofibrelor pe suprafața prelucrată, care constau din componenta fuzibilă și oxizii acesteia, formate în procesul de transfer de la anod, astfel obținându-se un nanocompozit, cu o rezistență înaltă la uzură [1\*]. Metoda propusă poate fi considerată ca un analog al metodei de electrofilare pentru obținerea nanofibrelor din aliaje și polimeri sub acțiunea câmpului electric.

2. A fost demonstrat că în condiții de frecare, atât cu ungere, cât și fără, pe suprafața acoperirilor, obținute pe aliajele de aluminiu D1 cu ajutorul alierii cu scânteii electrice cu electrozi din aliaj de Al-Sn, rezistența la uzură de câteva ori depășește rezistența la uzură a oțelului călit. A fost stabilit că efectul observat se datorează prezenței oxizilor sub formă de micro- și nanofibre în acoperiri [3\*].

3. În condiții de aliere prin scânteii electrice a fost studiată dependența transferului de masă al electrodului-sculă din aliajul AO20-1 de viteza de deplasare în raport cu suprafața prelucrată. A fost demonstrat că transferul de masă maximal, în condiții de depunere mecanizată a acoperirilor se observă la o viteză mică de deplasare a ES în raport cu proba ( $<1,5 \cdot 10^{-3} \text{m/s}$ ). La viteze mai mari de deplasare, transferul de masă practic lipsește și se observă doar modificarea stratului superficial. [4\*\*]

4. În condiții de aliere cu scânteii electrice, la o depunere mecanizată a fost studiată dependența rugozității suprafeței obținute de viteza de deplasare a electrodului-sculă. A fost demonstrat că cu creșterea vitezei de deplasare a electrodului-sculă în raport cu suprafața prelucrată, rugozitatea suprafeței obținute se micșorează, iar rezistența la uzură crește. [4\*\*]

\* - Referința la lista lucrărilor publicate de autor.

\*\* - Referința la lista tezelor rapoartelor publicate și materialelor prezentate la conferințe.

5. A fost stabilit că în rezultatul încercărilor în condiții relativ „moi” de frecare (o sarcină mică la o viteză relativ mică), un rol decisiv în creșterea rezistenței la uzură îl au micro- și nanofibrele din oxid de staniu, iar în condiții „dure” de încercări (o sarcină mare și o viteză mare)

rolul nanofibrelor din SnO<sub>2</sub> se nivelează și un rol determinant în rezistența la uzură îl are matricea prelucrată prin ASE. A fost demonstrat că microduritatea acoperirilor la frecare fără ungere în condiții „dure” de încercări se mărește datorită schimbărilor în structura acoperirilor cu formarea oxizilor elementelor [7\*].

6. A fost demonstrat că în procesul de aliere prin scântei electrice cu ES de Al-Sn are loc oxidarea suprafeței acestuia și îmbogățirea ES cu elemente ale electrozului-probei, de aceea se impune necesitatea recondiționării periodice a suprafeței ES [10\*].

7. A fost investigată posibilitatea obținerii straturilor superficiale cu grosime sporită prin utilizarea tehnologiei acoperirilor multistrat cu aplicarea „straturilor barieră”. În calitate de „strat barieră”, printre aliajele investigate (Al-Zn, Al-Cu, Al-Ni ș.a.) cele mai bune proprietăți le are aliajul Al-Ni, care permite obținerea acoperirilor cu grosime de până la  $0,2 \cdot 10^{-3}$  m. În baza rezultatelor cercetării a fost elaborată tehnologia de recondiționare a formei geometrice a pieselor uzate de aluminiu [9\*].

8. Procesul tehnologic elaborat este implementat în industrie la uzinele R.M.N., precum și în procesul de învățământ al Institutului de inginerie-tehnică al Universității de stat nistrene „Taras Șevcenko”, or. Tiraspol.

\* - Referința la lista lucrărilor publicate de autor.

#### REFERINȚE

1. Nandana Bhardwaj, Subhas C.Kundu, Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. În : Biotechnology Advances, 2010, v28, pp.325-347.

2. Михайлов В.В., Абрамчук А.П. Особенности электроискрового легирования алюминия и его сплавов In: Электронная обработка материалов, 1986, №2, С.36-41.
3. Ribalko A.V., Sahin O., Korkmaz K. A modified electrospark alloying method for low surface roughness. In :Surface & Coatings Technology, 2009, V 203 P. 3509–3515.
4. Paustovskii A. V. and oth.. Optimization of the composition, structure, and properties of electrode materials and electrospark coatings for strengthening and reconditioning of metal surfaces. In: Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2013 Volume 49, Issue 1, pp 4-12.
5. Богинский Л.С. Саранцев В.Ю., Хина Б.Б. Получение электродов для электроискрового легирования деталей с обмазками с использованием технологии сухого изостатического прессования и СВС. In: Техника машиностроения, 2002. №4.
6. Левашов Е.А. и др. Особенности влияния нанокристаллических порошков на структуру и свойства сплава TiC-Ti3AlC2, полученного методом СВС. In: Физика металлов и металловедение, том 95, 2003, № 6, С.58-64.
7. Nikolenko S. V. Nanostructuring a steel surface by electrospark treatment with new electrode materials based on tungsten carbide. In: Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2011, Volume 47, Issue 3, pp 217-224.
8. Topala P., Ojegov A., Ursaki V. Nanostructures obtained using electric discharges at atmospheric pressure. In : Nanostructures and Thin Films for Multifunctional Applications, Technology, Properties and Devices( ed. I.Tiginyanu, P.Topala, V.Ursaki Springer 2016, pp. 43-83.

## LISTA PUBLICATIИ

Articole:

1. Yurchenko V.I., Yurchenko E.V., Fomichev V.M., Baranov S.A., Dikusar A.I. Obtaining of Nanowires in Conditions of Electrodischarge Treatment with an Al-Sn Alloy. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2009, Vol 45 (4). p. 259-264.
2. Юрченко В.И., Юрченко Е.В., Фомичев В.М., Агафий В.И., Силкин С.А., Дикусар А.И. Поверхностные слои, полученные при электроискровой обработке алюминиевых поверхностей сплавом Al-Sn и их износостойкость при сухом трении. Вестник науки Приднестровья, 2012. №2. С.172-184.
3. Agafii V.I., Yurchenko E.V., Petrenko V.I., Fomichev V.M., Yurchenko V.I., Dikusar A.I. Electrospark alloying for deposition on aluminum surface of Al-Sn coatings and their wear resistance under dry friction. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2013. Vol 49 (3). p.1-8.
4. Юрченко Е.В., Юрченко В.И., Дикусар А.И. Наноструктурирование поверхности из алюминиевых сплавов в условиях электроискрового легирования. Наноинженерия, 2013. №2. С.12-24.
5. Дикусар А.И., Юрченко Е.В. Восстановление и упрочнение алюминиевых деталей наноструктурированием поверхности с помощью ЭИЛ электродами из сплава Al-Sn Труды ГОСНИТИ 2013. т.113 С.354-364.
6. Agafii V.I., Yurchenko E.V., Petrenko V.I., Kupcinskas A., Zunda A., Dikusar A.I. Al-Sn Nanostructured Coatings on Aluminum Surfaces Using Electrospark Alloying and Their Wear Behavior Balttrib' 2013. VII International Scientific Conference. Proceedings Kaunas, Lithuania - November 14-15 2013. p. 93-99.
7. Yurchenko E. Application of the Strengthening Nanostructured Coatings Obtained at Electrodischarge Treatment by Tool Electrodes Manufacturing from Al-Sn Alloy. Book IFMBE Proceedings Volume 55, 2016, 3rd International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering/ ICNBME-2015, September 23-26, 2015, Chisinau, Republic of Moldova p. 105-112.
8. Юрченко Е.В. Увеличение толщины наноструктурированных электроискровых покрытий электродами-инструментами из сплава Al-Sn20 на алюминиевых поверхностях. LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE VOLUMUL 45 INGINERIE AGRARĂ ȘI TRANSPORT AUTO 2015. С.252-255.
9. E. V. Yurchenko, V. I. Yurchenko, I. V. Yakovets, A. I. Dikusar Changes in Composition and Properties of Tool Electrode during Electrospark Alloying with Al-Sn Alloy. Surface Engineering and Applied Electrochemistry Vol. 52 No. 2 2016 p 157-161.

Rezumate și lucrări ale conferințelor:

1. Юрченко В.И., Юрченко Е.В., Фомичев В.М., Баранов С.А., Дикусар А.И. Получение нанонитей в условиях электроразрядной обработки. Материалы III Международной научно-технической конференции «Электрохимические и электролитно-плазменные методы модификации металлических поверхностей». - Кострома. – 15-17 февраля 2010. С. 287-290.
2. Дикусар А.И., Юрченко В.И., Юрченко В.А., Фомичев В.М., Юрченко Е.В., Агафий В.И. Получение электроискровых покрытий содержащих нанонити оксида олова, и их износостойкость Доклады итоговой научной конференции профессорско-преподавательского состава инженерно-технического института за 2011. Тирасполь. -16-24 января 2012, С 160-171.
3. Юрченко Е.В. Экспериментальное исследование процесса наноструктурирования поверхности алюминиевого сплава Д1 Доклады итоговой научной конференции профессорско-преподавательского состава инженерно-технического института за 2012. Тирасполь. -16-26 января 2013, С 34-37.
4. Agafii V.I., Yurchenko E.V., Yurchenko V.I., Petrenko V.I., Dikusar A.I. Deposition of Al-Sn Nanostructuring Coatings on Aluminum Surface Using Electrospark Alloying and Their Wear Resistance under Friction in Oil. International conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering German-Moldovan Worksnop on Novel Nanomaterials for Electronic, Photonic and Biomedical Applications Proceedings. Chisinau, Moldova April 18-20. 2013 p. 227-230
5. Юрченко Е.В., Дикусар А.И. Модифицирование поверхности алюминиевых деталей в условиях ЭИЛ электродами-инструментами из сплава Al-Sn и их механические свойства Международная объединенная конференция V конференция «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии», VI конференция «Электрохимические и электролитно-плазменные методы модификации металлических поверхностей». Тезисы докладов. Плес Ивановская область. -16-20 сентября 2013. С.66.
6. Юрченко Е.В. Определение износостойкости покрытий на алюминиевых сплавах при испытании на трение по схеме «диск-колодка» Доклады итоговой научной конференции профессорско-преподавательского состава инженерно-технического института за 2013. Тирасполь. -15-17 января 2014, С 34-36.
7. E.V. Yurchenko. Changing the properties of the tool-electrodes under conditions of the electrospark alloying of aluminum surfaces using Al-Sn alloy. 7<sup>th</sup> International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics. Chisinau, Moldova. September 16-19, 2014. С 331.

Brevete de invenții::

1. Патент №457 Приднестровская Молдавская Республика (51) B23 H5/00 Способ пайки алюминиевых изделий Е.В.Юрченко, Е.В. Пучкова заявл. от 21.05.2014.
2. Патент №458 Приднестровская Молдавская Республика (51) B23 H, B 82 Y Способ легирования поверхности алюминиевого изделия Е.В.Юрченко, А.И. Дикусар заявл. от 08.07.2014.
3. Notarare № 8499 din 2016.09.15 Procedeu de obtinere materialului abraziv pe liant de aluminiu. Iurcenko Evgenii, Agafii Vasilie, Dicusar Alexandr, Bortoi Tudor.

**ADNOTARE**

la teza „**Tehnologia de obținere a acoperirilor nanostructurate durificate prin scânteii electrice pe aliaje de aluminiu și utilizarea lor în restaurarea și repararea pieselor de mașini**”, prezentată de Iurcenco Evghenii pentru conferirea gradului de doctor în științe tehnice, Chișinău, 2016.

Teza este scrisă în limba rusă și constă din introducere, 5 capitole, concluzii generale, recomandări și bibliografia lucrărilor citate. Lucrarea conține 139 de pagini de text, 54 figuri, 29 tabele, bibliografie din 188 titluri.

**Publicațiile la tema tezei:** rezultatele obținute au fost publicate în 19 lucrări științifice (10 articole, 7 teze și materialele rapoartelor la conferințe), 2 brevete.

**Cuvinte cheie:** prelucrare cu scânteii electrice, aliere cu scânteii electrice, aluminiu, nanostructurare, rezistența la uzură, micro- și nanofibre ale oxidului de staniu, oxid de aluminiu.

**Domeniul de studiu:** – Tehnologii electrofizice și ingineria suprafețelor.

**Scopul lucrării** constă în stabilirea legăturilor de formare a acoperirilor rezistente la uzură pe piesele din aliaje de aluminiu pentru recondiționarea suprafețelor uzate cu ajutorul electrozilor utilizați în alierea cu scânteii electrice (ASE), care reprezintă un amestec mecanic a componentei fuzibile în matricea refractară, și pe această bază – în elaborarea tehnologiei de recondiționare a suprafețelor uzate.

**Noutatea și originalitatea științifică a tezei:**

S-a constatat că în condiții de aliere prin scânteii electrice cu electrodul-sculă, care reprezintă un amestec mecanic al componentei fuzibile dispersat în matricea refractară, poate avea loc formarea particulelor microdisperse pe suprafața prelucrată, inclusiv a micro- și nano-fibrelor, care constau din componenta fuzibilă și oxizii acesteia, formate în procesul de transfer de la anod, astfel obținându-se un nanocompozit, cu o rezistență înaltă la uzură.

S-a stabilit că în condiții de frecare la o sarcină mică și la o viteză relativ mică de deplasare reciprocă a probei și contracorpului, un rol decisiv în creșterea rezistenței la uzură îl au micro- și nanofibrele din oxid de staniu, iar în condiții de frecare la o sarcină mare și la o viteză mare, rolul micro- și nanofibrelor se nivelează și un rol determinant în rezistența la uzură îl are matricea prelucrată prin ASE.

S-a demonstrat posibilitatea de obținere pe aliaje de aluminiu a unor acoperiri ASE cu grosime sporită, la depunerea periodică a „straturilor-barieră”. În calitate de „strat-barieră” cu cele mai bune proprietăți este aliajul Al-Ni, care permite obținerea unei acoperiri cu grosimea de până la  $2 \cdot 10^{-3}$  m.

**Problema științifică rezolvată:** S-a demonstrat posibilitatea de obținere a unor acoperiri cu grosime sporită la utilizarea ASE pe aliajele de Al, ceea ce este o consecință a formării micro- și nanofibrelor componentei ușor fuzibile și ale oxizilor acesteia în procesul de ASE cu electrozi- scule din aliaj de Al, cu componenta ușor fuzibilă (Sn, Pb).

**Obiectul de studiu** sunt metodele de formare și proprietățile acoperirilor obținute prin ASE, la depunerea pe matricea din aliaj D 1 cu electrozi-scule din aliaje de Al-Sn (AO20-1), Al-Pb, Al-Ni.

**Valoarea teoretică a lucrării:** rezultatele obținute pot fi văzute ca o metodă nouă de obținere a micro- și nanofibrelor în acoperiri, la utilizarea ASE, precum și ca o bază pentru elaborarea ulterioară a unor suprafețe nanostructurate, rezistente la uzură.

**Implementarea și valoarea practică a lucrării:** rezultatele cercetării pot fi puse la baza obținerii unor acoperiri rezistente la uzură din aliaje de aluminiu, atât prin creșterea stratului uzat, cât și fără acesta, prin alierea cu scânteie electrică cu un electrod-sculă din aliaj Al-Sn (AO20-1).

Pe baza rezultatelor cercetărilor a fost elaborată tehnologia de reparare a locurilor de montare a rulmenților pentru piesele din aliaje de aluminiu a automobilelor și tractoarelor și implementată la întreprinderile S.R.L.F. „Moldavizolit RiO”, S.R.L. Î.P.C. „Sovremennîe tehnologii”, „Torgovîi proiect” din or. Tiraspol.

## АННОТАЦИЯ

диссертации Юрченко Е.В. «Технология получения упрочняющих наноструктурированных электроискровых покрытий на алюминиевых сплавах и их использование при восстановлении и ремонте деталей машин.» представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, Кишинев 2016.

Диссертационная работа написана на русском языке, состоит из введения, 5 глав, общих выводов, рекомендаций и списка цитируемой литературы. Работа содержит 139 страниц текста, 54 рисунка, 29 таблиц, список литературы, включающий 188 источников.

**Публикации по теме исследования:** полученные результаты опубликованы в 19 научных работах (10 статей, 7 тезисов и материалов докладов на конференциях), 2 патента.

**Ключевые слова:** электроискровая обработка, электроискровое легирование, алюминий, наноструктурирование, износостойкость, микро – и нанонити оксида олова, оксид алюминия.

**Область исследования:** – Электрофизические технологии и инженерия поверхности.

**Цель работы** состояла в установлении закономерностей формирования износостойких покрытий деталей из алюминиевых сплавов с помощью электроискрового легирования (ЭИЛ) электродами, представляющими собой механическую смесь легкоплавкого компонента в тугоплавкой матрице, и на этой основе - в разработке технологий восстановления изношенных поверхностей.

**Научная новизна и оригинальность работы:**

Установлено, что в условиях электроискрового легирования электродами, представляющими собой механическую смесь легкоплавкого компонента, диспергированного в тугоплавком, возможно образование на обработанной поверхности микродисперсных частиц, в том числе микро – и нанонитей, состоящих из легкоплавкого компонента и его оксидов, образующихся в процессе переноса с анода, благодаря чему получается нанокомпозит, обладающий высокой износостойкостью поверхности.

Установлено, что в условиях трения при невысокой нагрузке и относительно низкой скорости взаимного перемещения образца и контр-тела, определяющую роль в повышении износостойкости покрытий играют микро - и нанонити из оксидов олова, а в условиях трения с высокой нагрузкой и высокой скоростью роль микро - и нанонитей нивелируется, и определяющую роль играет обработанная ЭИЛ матрица.

Показана возможность получения на алюминиевых сплавах ЭИЛ покрытий повышенной толщины с периодическим нанесением «барьерных слоёв». В качестве «барьерного слоя» наилучшими свойствами обладает сплав Al-Ni, позволяющий получать покрытия толщиной до  $2 \cdot 10^{-3}$  м.

**Решенная научная проблема:** Доказана возможность получения с использованием ЭИЛ на Al сплавах покрытий повышенной толщины, что является следствием образования в процессе ЭИЛ электродами инструментами из сплава Al с легкоплавким компонентом (Sn, Pb) микро- и нанонитей легкоплавкого компонента и его оксидов.

**Объектом исследования** являются методы формирования и свойства покрытий, полученных ЭИЛ, нанесением на матрицу из сплава D1 электродами-инструментами из сплавов Al-Sn (AO20-1), Al-Pb, Al-Ni.

**Теоретическая значимость работы:** полученные результаты можно рассматривать как новый способ получения микро - и нанонитей в покрытии, при использовании ЭИЛ, а также как основу для дальнейшей разработки получения наноструктурированных износостойких поверхностей.

**Внедрение и практическая значимость работы:** результаты исследования могут быть положены в основу получения износостойких покрытий поверхностей из алюминиевых сплавов как с приращением изношенного слоя, так и без него, путем электроискрового легирования электродом-инструментом из сплава Al-Sn (AO20-1).

На основании результатов исследований была разработана технология ремонта посадочных мест под подшипники для корпусных деталей автотракторной техники из алюминиевых сплавов и внедрена на предприятиях ДООО «Молдавизолит РиО», ООО ПКП «Современные технологии», «Торговый проект» в г.Тирасполь.



## SUMMARY

on the dissertation of E.V. Yurchenko “**Technology of obtaining strengthening nanostructured electrospark coatings on aluminum alloys and their use in the repair of machine parts**”, submitted for the scientific degree of Doctor of Engineering Science, Chisinau 2016.

The dissertation is written in Russian, it consists of an introduction, four chapters, general conclusions, recommendations and list of references. The paper contains 139 pages of text, 54 images, 29 tables, the list of references which includes 188 sources.

**Related publications:** the results obtained were published in 19 scientific papers (10 articles, 7 scientific conference abstracts), 2 patents.

**Key words:** electrospark machining, electrospark doping, aluminum, nanostructuring, wear resistance, microwires and nanowires of tin oxide, alumina.

**Area of research:** - Electrophysical technology and surface engineering.

The purpose of the paper was to determine the rules of forming wear-resistant coatings of parts made of aluminum alloys through the use of electrospark doping (ESD) by tool electrodes, which are a mechanical mixture of a low-melting component in a hard-melting matrix, and on this basis – to develop technologies of restoring worn surfaces.

**Scientific novelty and originality of the paper:**

It is determined that microdispersed particles including microwires and nanowires consisting of the low-melting component and its oxides produced during the transfer from the anode may be formed on the treated surface during the electrospark doping by electrodes which are a mechanical mixture of low-melting component dispersed in the hard-melting component, thereby a nanocomposite having high wear resistance is obtained.

It is determined that in conditions of friction under low loads and relatively low speed microwires and nanowires of tin oxide play a crucial role in improving the wear resistance of coatings, and in conditions of friction under high load and high speed the role of microwires and nanowires levels off, and ESD treated matrix plays decisive role.

The possibility of obtaining ESD coatings with increased thickness through periodic application of the “barrier layers” on aluminum alloys is shown. The Al-Ni alloy has the best properties of “a barrier layer”, which allows to obtain a coating with thickness of up to  $2 \cdot 10^{-3}$  m.

**Scientific problem which was solved:** The possibility of obtaining coatings with increased thickness through the use of ESD on the Al alloys was proved, that is a consequence of forming microwires and nanowires of low-melting component and its oxides during the process of ESD by tool electrodes made of Al alloy with a low-melting component (Sn, Pb).

**Object of research** are the methods of formation and properties of the coatings obtained by ESD through the application on the matrix made of Al alloy by tool electrodes made of Al-Sn alloys (AO20-1), Al-Pb, Al-Ni.

**The theoretical significance of the work:** we can regard the results obtained as a new way to produce microwires and nanowires in the coating using the ESD, as well as a basis for further development of manufacturing nanostructured wear-resistant surfaces.

**Implementation and practical significance of the work:** the results of the research can be accepted as a basis for manufacturing wear-resistant coatings of the surfaces made of aluminum alloys both with building-up of the worn-out layer and without it using electrospark doping by tool electrodes made of Al-Sn alloy (AO20-1).

The technology for repairing bearings seats for tractor body parts made of aluminum alloys has been developed on the basis of the research results and it was implemented in such enterprises as subsidiary company Moldavizolit RiO LLC, commercial manufacturing enterprise Sovremennye Tehnologii LLC, Torgovy Proyekt in Tiraspol.

**ЮРЧЕНКО Евгений Владимирович**

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ  
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ  
ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ И ИХ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И РЕМОНТЕ  
ДЕТАЛЕЙ МАШИН.**

**251.03 - Электрофизические технологии и инженерия поверхности**

**Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени доктора технических наук**

**КИШИНЕВ, 2016**

**ACADEMIA DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI  
INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ**

Cu titlu de manuscris

C.Z.U 621.9.048.4

**IURCENCO Evgheni**

**TEHNOLOGIA DE OBTINERE A ACOPERIRILOR  
NANOSTRUCTURATE DURIFICATE PRIN SCÂNTEI  
ELECTRICE PE ALIAJE DE ALUMINIU ȘI UTILIZAREA LOR ÎN  
RESTAURAREA ȘI REPARAREA PIESELOR DE MAȘINI**

**251.03 – Tehnologii electrofizice și ingineria suprafețelor**

**Autoreferat al tezei de doctor în științe tehnice**

**CHIȘINĂU, 2016**