

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA
UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

Cu titlul de manuscris
C.Z.U.: 621.7/.9(043.2)

GUZGAN DORIN

**CERCETĂRI PRIVIND SPORIREA CAPACITĂȚII
DE EMISIE TERMoeLECTRONICĂ A
SUPRAFETELOR METALICE PRIN METODA
ELECTROEROZIUNII**

Specialitatea: 242.05 Tehnologii, procedee și utilaje de prelucrare

Rezumatul tezei de doctor în științe ingineresti

CHIȘINĂU, 2024

Teza de doctor în științe inginerești a fost elaborată în cadrul Catedrei de Științe fizice și inginerești a Universității de Stat „Alec Russo” din Bălți

Conducător științific: TOPALĂ Pavel, dr. hab., prof. univ.

Referenți oficiali:

BALCĂNUȚĂ Nicolae, conf. univ., dr., Universitatea de Stat „Bogdan Petriceicu Hasdeu” din Cahul, Republica Moldova;

SLĂTINEANU Laurențiu, prof. univ. emerit, dr. ing., Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, România.

Componența consiliului științific specializat:

MARIAN Grigore, prof. univ., dr. hab.,

TRIFAN Nicolae, conf. univ., dr.,

POȘTARU Gheorghe, conf. univ., dr.,

TOCA Alexei, conf. univ., dr.,

MAZURU Sergiu, conf. univ., dr. hab.,

CROITORU Dumitru, conf. cercetător., dr.,

– **președintele CȘS**

– **secretar științific al CȘS**

– **membru al CȘS**

– **membru al CȘS**

– **membru al CȘS**

– **membru al CȘS**

Susținerea va avea loc la 22 martie 2024, ora 14.00, în ședința Consiliului științific specializat D 242.05-23-127 la Universitatea Tehnică a Moldovei, str. Studenților 9/8, blocul 6, aud. 6-210, Chișinău, MD 2045, Republica Moldova.

Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate la biblioteca Universității Tehnice a Moldovei și pe pagina web a ANACEC (www.anacec.md).

Rezumatul a fost expeditat la 17 februarie 2024.

Secretar științific al Consiliului științific specializat,

TRIFAN Nicolae, conf. univ., dr.



semnătura

Conducător științific,

TOPALĂ Pavel, dr. hab., prof. univ.



semnătura

Autor:

GUZGAN Dorin



semnătura

Cuprins

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII.....	4
1. STUDIUL BIBLIOGRAFIC AL REALIZĂRILOR TEHNICO-ȘTIINȚIFICE ÎN DOMENIUL PROBLEMEI DE CERCETARE.....	8
Stadiul actual al cercetării procesului de electroeroziune.....	8
Analiza literaturii de specialitate privind emisia termoelectronica.....	8
2. METODICA CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE.....	8
Strategia cercetărilor experimentale, privind modificarea microgeometriei suprafețelor metalice.....	8
Metodica cercetărilor experimentale, privind emisia termoelectronică.....	9
Determinarea ariei suprafeței meniscurilor, obținute cu aplicarea DEI.....	10
3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE, PRIVIND MODIFICAREA MICROGEOMETRIEI SUPRAFEȚELOR ACTIVE ALE ELECTROZILOR.....	10
Stabilirea influenței parametrilor de prelucrarea asupra geometriei meniscurilor extrase de pe suprafețele pieselor metalice.....	10
Influența energiei degajate în interstițiu asupra diametrului bazei și înălțimii meniscurilor.....	11
Influența duratei impulsului de curent asupra înălțimii meniscurilor.....	12
Analiza SEM a suprafețelor prelucrate.....	13
Rezultatele privind analiza compoziției chimice (EDX) a suprafețelor prelucrate.....	14
Completări ale modelului fizic al EE cu acțiunea DEI.....	16
4. STABILIREA CARACTERISTICILOR DE EMISIE TERMoeLECTRONICĂ ALE CATOZILOR ELABORAȚI.....	17
Stabilirea factorilor care determină amplificarea ariei suprafeței active ale catozilor, a intensității câmpului electric și a densității de curent.....	17
Proprietățile de termoemisie a electronilor de către suprafețele prelucrate în cazul formării pe suprafețele active a unui strat de oxizi și în cazul lipsei acestora.....	19
Măsurători, privind emisia termoelectronică în condiții de exploatare reală.....	20
Determinarea mărimii variației suprafeței active ale catozilor.....	21
Rezultatele măsurătorilor pentru rezistența electrică, determinarea rezistivității materialului termocatodului și a funcțiilor I(U), P(U) și a T(P). Rezultate, privind determinarea intensității curentului electric de saturație ale termocatozilor în condiții de exploatare reală.....	22
Recomandări tehnologice de obținere a catozilor destinați emisiei termoelectronice.....	26
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....	27
Concluzii finale.....	27
Recomandări tehnologice.....	28
BIBLIOGRAFIE.....	29
ADNOTARE.....	32
АННОТАЦИЯ.....	33
ANNOTATION.....	34

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Titlul teze de doctor conține cuvintele cheie: **emisia termoelectronică** și **electroeroziunea**. Primul cuvânt cheie ne conduce la alegerea corectă a materialului necesar pentru elaborarea termocatozilor destinați emisiei termoelectronice, care sunt utilizați în diverse domenii precum: construcții de mașini și aparate, prelucrările dimensionale cu utilizarea fasciculului de electroni [1], în diverse cercetări experimentale cu aplicarea microscopelor electronice cu scanare, a spectroscopiei cu raze X, cu dispersie energetică [2] și în imagistica medicală cu raze X produse în tuburi Roentgen [3]. Cel de al doilea cuvânt cheie „electroeroziune”, întâlnit în literatură și ca „eroziunea electrică” (EE), ne vorbește despre aplicarea unei tehnologii de prelucrare neconvențională [1, 4], folosită în special pentru prelucrarea dimensională materialelor dure și foarte dure sau a celor care nu pot fi prelucrate prin metode convenționale, formarea depunerilor din materiale compacte și pulberi. În ultima perioadă [5 – 7] a fost demonstrată posibilitatea acestei metode de a sintetiza pe suprafețele metalice a peliculelor de oxizi și hidro-oxizi în condiții normale, a peliculelor carbonice [8, 9] care conțin fulereni și nano-tuburi de carbon și modificarea micro-geometriei suprafețelor metalice [10 – 13]. Asperitățile de formă conică au fost observate atât în centrul craterelor de eroziune, cât și la periferiile lor [10, 14 – 16]. În lucrările [13, 17] aceste asperități conice au fost numite ectoni și se subliniază, că ele sunt surse importante de ioni și electroni, care ar putea influența benefic fenomenul emisiei electronice. Procesul de modificare a microgeometriei suprafețelor pieselor metalice constă în faptul, că în urma descărcărilor electrice în impuls (DEI), în anumite condiții, are loc formarea pe suprafața acestor piese a unor asperități conice numite în literatura de specialitate și conuri Taylor, cu mărimea unghiului de la vârf egal cu 90° , dar care poate să varieze cu $\pm 1 - 2^\circ$, conform rezultatelor obținute de către autorii [14, 18, 19]. Efectul de sporire a ariei suprafeței active a piesei prelucrate prin DEI, în condiții stabilite, contribuie la modificarea caracterului de interacțiune a acesteia cu mediul înconjurător și cu alte suprafețe active cu care este adusă în contact. Sporirea ariei active a suprafețelor influențează în mod direct capacitatea acestora de a emite electroni și ioni [20 – 23] și în același timp de absorbție a diferitor tipuri de radiație [32], plus, aceste asperități conice funcționează și în calitate de concentratori de câmp electric, facilitând efectul de emisie electronică. Specificul modificării microgeometriei suprafețelor are ca baza extragerea asperităților de formă conică cu dimensiuni determinate. Condițiile de extragere a asperităților conice în general și a fenomenelor însoțitoare în particular rămân în continuare prea puțin elucidate. În lucrare sunt precăutate condițiile de extragere a asperităților sub formă de conuri Taylor din suprafețe metalice sub acțiunea DEI. Se confirmă, că din motivul prezenței câmpurilor electrice puternice (mai mari de 10^8 V/m) generate de prezența petelor „anodice” și „catodice”, („calde” și „reci”), cât și forțelor de greutate și tensiune superficială pe suprafața metalului lichid, se dezvoltă perturbații și se propagă unde capilare [10, 24], care conduc la formarea asperităților conice. Modificarea dirijată a microgeometriei suprafețelor metalice în general și a termocatozilor în particular cu aplicarea DEI în

condiții normale, se realizează în vederea sporirii eficienței de funcționare a termocatozilor simpli.

Actualitatea și importanța temei abordate, încadrarea temei în preocupările internaționale, naționale, zonale, ale colectivului de cercetare și în context inter- și transdisciplinar, prezentarea rezultatelor cercetărilor anterioare referitoare la tema aleasă. Tema de cercetare este racordată la

Programul National de Cercetare – Dezvoltare, prioritatea: „Competevitate economică și tehnologii inovative”, direcția strategică: „Materiale, tehnologii și produse inovative” și la tendințele științei mondiale, deoarece cercetările realizate prezintă noi proprietăți funcționale ale materialelor analizate. Dezvoltarea în continuare a tehnicii și tehnologiilor contemporane contribuie și la micșorarea deficitului de materiale pentru domeniile tehnicii electronice, deoarece cerințele și necesitățile acestea cresc mereu, iar posibilitățile tehnico-tehnologice sunt limitate [25]. Micșorarea consumului de materiale de execuție a catodilor și a cantității de energie necesare în vederea asigurării funcționalității acestora la parametri tehnologici necesari. Modificarea microgeometriei suprafețelor conduce la sporirea considerabilă a ariei suprafețelor active a termocatozilor aplicați în construcția tuburilor electronice, microscopelor electronice, instalațiilor industriale de prelucrare a materialelor cu aplicarea fascicolului de electroni ș.a., și asigură o sporire considerabilă a intensității curentului electric de emisie în procesul de funcționare ale acestora, utilizând catodi cu dimensiuni mult mai mici și funcționali la aceiași parametri cu micșorarea energiei necesare pentru încălzirea lor. Instalația experimentală pentru cercetarea și realizarea modificării microgeometriei suprafețelor metalice prin metoda electroeroziunii prezintă un generator de impulsuri de curent electric de tipul RC cu amorsare paralelă a interstițiului în calitate de sursă de energie și dispozitivul de poziționare, prindere și fixare realizat în baza microscopului biologic.

Scopul lucrării constă în stabilirea legităților și factorilor tehnologici de realizare a geometriei prescrise a suprafețelor metalice în vederea sporirii eficienței de termoemisie a catodilor în baza modelului fizic actualizat al fenomenului electroeroziunii.

Obiectivele cercetării: analiza literaturii de specialitate privind problema cercetării; stabilirea parametrilor tehnologici de extragere a asperităților sub forma de con Taylor din suprafețele probelor metalice și sistematizarea rezultatelor obținute; cercetarea experimentală a emisiei termoelectronice în lipsa și prezența asperităților de tip con Taylor pe suprafețele termocatozilor; propunerea soluțiilor de îmbunătățire a proprietăților funcționale ale catodilor utilizați în electronică.

În calitate de **obiect al cercetărilor** au servit probe executate din wolfram și aliajele acestuia cu reniu, atât pentru stabilirea condițiilor de extragere a asperităților de tip con Taylor, cât și influența acestora asupra capacității de emisie termoelectronică, prelucrați prin metoda electroeroziunii.

Ipoteza de cercetare: formarea pe suprafețe metalice a asperităților de tip con Taylor se produce sub acțiunea câmpurilor electrice și de temperatură generate de petele electrodice, iar prezența acestora pe suprafețele active ale pieselor

contribuie la sporirea ariei active și respectiv la îmbunătățirea performanței de funcționare ale termocadodului.

Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare alese. În vederea realizării cercetării propriu zise au fost alese justificat și aplicate următoarele metode de cercetare: instalația de laborator de tipul „Razread” pentru cercetarea fenomenelor de extragere a asperităților conice; osciloscopare, pentru determinarea duratei și energiei descărcărilor electrice în impuls; microscopie optică expres, pentru studierea suprafețelor după interacțiunea cu plasma DEI; microscopie electronică (SEM), pentru măsurători de precizie a formei și dimensiunilor asperităților; analize EDX, pentru determinarea compoziției chimice; analize XPS, pentru determinarea fazelor obținute în suprafețele prelucrate; încercări de termoeemisie electronică directă a catodilor prelucrați în vacuum; modelări matematice a fenomenelor și proceselor; stabilirea legităților de obținere a asperităților și influenței lor asupra termoeemisiei electronice.

Cercetările experimentale realizate în prezenta cuprind cele ce urmează și au fost susținute prin asistența mai multor centre științifice:

- modificarea microgeometriei suprafețelor probelor metalice s-au realizat în totalitate în Laboratorul științific de micro- și nanotehnologii (LȘMNT), din cadrul Catedrei științe fizice și ingineresti (CȘFI), Facultatea Științe Reale, Economice și ale Mediului (FȘREM), Universitatea de Stat „Alecru Russo” din Bălți (USARB);
- analiza SEM și EDX a suprafețelor metalice ale termocatozilor cercetați s-a realizat în: 1) Laboratoarele de cercetare ale Universității: Christian-Albrecht University (CAU), orașul Kiel, Germania și 2) Centrul Național de Studiu și Testare a Materialelor (CNSTM), din cadrul Universității Tehnice a Moldovei (UTM), bl. 3, bir. 324, or. Chișinău, Republica Moldova;
- emisia termoelectronică a catodilor cercetați s-a realizat în cadrul: 1) Laboratoarelor USARB și 2) în Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară Horia Hulubei (IFIN-HH) din București-Măgurele, România.

Noutatea și originalitatea științifică: o constituie sporirea eficienței de emisie electronică a termocatozilor simpli executați din wolfram de puritate tehnică sau aliajele wolframului ce reniu pe baza modificării micro geometriei suprafețelor, adică prin extragerea din suprafețele catodilor a asperităților conice de tip con Taylor prin metoda EE. Asperitățile conice astfel obținute, sporesc aria activă a suprafeței catodilor și servesc în calitate de concentratoare de câmpuri electrice puternice. Asperitățile conice sunt bune surse de electroni. O noutate științifică a tezei, o constituie și posibilitatea obținerii pe suprafață a nanoasperităților cât și aplicarea dezoxidării asperităților, prin aplicarea DEI cu electrod executat din grafit pirolitic.

Problema științifică importantă soluționată: modificarea dirijată a microgeometriei suprafețelor metalice, în vederea sporirii eficienței de funcționare a termocatozilor simpli.

Semnificația teoretică este asigurată de stabilirea legităților de formare a asperităților sub acțiunea DEI; dezvoltarea teoriei privind modificarea micro

geometriei suprafețele și a multiplicării emisiei electronice a catozilor; stabilirea legităților de funcționare a catozilor cu micro geometria suprafeței active modificată.

Valoarea aplicativă constă în identificarea parametrilor de bază privind extragerea meniscurilor conici pe suprafețele metalice cu aplicarea DEI (energiei și duratei impulsului de descărcare, mărimii interstițiului și proprietăților materialului de execuție a piesei supuse prelucrării).

Rezultatele obținute care contribuie la soluționarea unei probleme științifice importante: definitivarea tabloului fizic al fenomenelor ce se produc în cadrul descărcărilor electrice și influența acestora asupra transformărilor fizice și de compoziție din suprafețele electrozilor și determinarea coeficientului de multiplicare a emisiei electronice de către suprafețele catozilor în baza fenomenologiei fizice și transformărilor structurale provocate de DEI.

Implementarea rezultatelor științifice: au fost realizate lucrări de laborator la ciclul II, în cadrul Catedrei de științe fizice și ingineresti, Facultatea Științe Reale, Economice și ale Mediului, Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți.

Aprobarea rezultatelor științifice. Rezultatele științifice obținute au fost prezentate la conferințe naționale și internaționale, colocvii științifice și simpozioane: Advanced Manufacturing Technologies 2013, 26 – 30 June, Sozopol, Bulgaria; Bachelor and Master Students’ Conference within Alecu Russo Balti State University, Balti, 2014; International Scientific Conference Light and Photonics: Science and Technology dedicated to International Year of Light and Light-based Technologies-2015, Alecu Russo Balti State University; International Conference of Nonconventional Technologies, UTM 30th of June – 1st of July, Chișinău. 2016; 22nd International Exhibition of Inventics “INVENTICA 2018”, Iași, Romania. 2018; Conferința Școlii Doctorale, TUIASI, 23 – 24 Mai, Iași, România. 2018; ModTech 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2020, 2021, International Conference “Modern Technologies in Industrial Engineering”; 11th International Conference of the Balkan Physical Union “BPU11 CONGRESS”, 28 August 2022, ș.a.

Publicații la tema tezei: pe marginea realizării cercetărilor au fost publicate 62 lucrări, dintre care: 1 capitol în monografie internațională, 2 rapoarte ale proiectelor de cercetare, 6 articole în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS, 3 articole în reviste cu factor de impact, 2 articole în reviste de categoria C, 15 articole în materialele conferințelor naționale și internaționale (în țară și peste hotare), 2 articole în reviste neacreditate, 34 de teze ale rapoartelor științifice la conferințe (în țară și peste hotare). Articole de un singur autor – 3.

Structura tezei: introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 165 de titluri, 149 de pagini de text de bază (până la Bibliografie), 81 de figuri, 19 tabele și 9 anexe.

Cuvinte cheie: eroziune, impuls, interstițiu, microgeometrie, electrod, catod, vacuum, emisie.

1. STUDIUL BIBLIOGRAFIC AL REALIZĂRIILOR TEHNICO-STIINȚIFICE ÎN DOMENIUL PROBLEMEI DE CERCETARE

În lume se utilizează două tipuri de termoelectrozi: simpli și compuși, cei simpli se caracterizează prin gradul înalt de stabilitate al emisiei electronice, iar cei compuși prin eficiența sporită. Din punct de vedere al producerii, termocatozii simpli, se realizează mai ușor, iar cei compuși necesită un proces tehnologic mult mai complex. Reieșind din scopul lucrării, dar și din posibilitățile tehnice reale ale laboratorului în care s-au realizat cercetările experimentale, s-a decis a încerca de a îmbunătăți caracteristicile de emisie termoelectronică, anume a termocatozilor simpli, prin aplicarea procedeeului de modificare a microgeometriei suprafețelor metalice a acestora. În lucrare au fost puse în evidență faptul, că prin metoda EE pot fi prelucrate toate materialele conductoare de electricitate.

Stadiul actual al cercetării procesului de electroeroziune. Se face o retrospectiva a fenomenului eroziunii electrice, punând în evidență faptul, că aplicarea a noilor echipamente de cercetare a permis a veni cu noi constatări și dezvoltări a teoriei și practicii EE. Astfel, conform [10, 24] dezvoltarea canalului de plasma pe petele electrodeice, generatoare de câmpuri de temperaturi înalte și câmpuri electrice cu intensități ce ating sau depășesc valoarea de 10^8 V/m, conduce la topirea și perturbarea suprafețelor cu dezvoltarea undelor capilare [10, 14, 16, 18, 19, 21, 22], extragerea asperităților pe suprafețele electrozilor.

În baza noului model fizic al fenomenului EE a fost demonstrată posibilitatea extragerii din suprafețe metalice a asperităților conice de tip Taylor, însă nu au fost stabilite legăturile și factorii tehnologici de realizare a geometriei prescrise.

Din **analiza literaturii de specialitate privind emisia termoelectronică** [13, 15, 26], se stabilește, că puterea de emisie este direct proporțională cu aria suprafeței active de emisie (adică $P_E \sim \Delta A$), iar în construcția și funcționarea catozilor de termoemisie se aplică diferite forme constructive, însă nu este studiată și analizată funcționalitatea catozilor cu asperități conice formate prin aplicarea DEI, drept una simplă și ușor realizabila.

2. METODICA CERCETĂRIILOR EXPERIMENTALE

Strategia cercetărilor experimentale, privind modificarea microgeometriei suprafețelor metalice. Cercetările experimentale, privind mărirea ariei active prin formarea meniscurilor conice, s-au efectuat în mediu aer (condiții normale) și în mediu de gaze inerte (argon), la temperatura camerei, la descărcări solitare și cu descărcări multiple [27, 28]. În calitate de material pentru executarea elementului de lucru a termocatozilor destinați emisiei termoelectronice [13, 15, 29], se utilizau fire executate din wolfram sau aliajele lui, de ex.: W (90%) cu Re (10%) sau W (80%) cu Re (20%).

Pentru cercetările experimentale, privind extragerea și solidificarea asperităților sub formă de conuri Taylor pe suprafața cilindrică cu aplicarea DEI [15, 30] a fost utilizată perechea de electrozi: electrodul-piesa și electrodul-sculă confecționați din același material (fir din wolfram) de formă bară cilindrică.

Execuția probei și electrodului-sculă din același material (W–W, W+Re–W+Re) era impusă de două condiții: excluderea modificării compoziției chimice și de fază a suprafeței probei cu un material de altă natură pe contul fenomenelor de prelevare și transfer de material și asigurarea rezistenței la eroziune a electrodului-sculă [29, 31]. Electrozii se prindeau în elementele de poziționare ale dispozitivului de fixare, apoi electrozii se apropiau manual unul de altul, până la contactul acestora, și ulterior era selectată mărimea interstițiului. În fig. 2.1 sunt prezentate scheme de poziționare a electrozilor utilizate în procesul cercetărilor experimentale și conectarea acestora în circuitul de descărcare al generatorului de impulsuri.

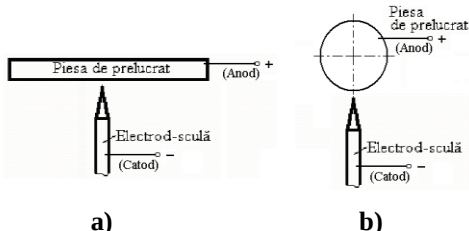


Fig. 2.1. Scheme de poziționare a electrozilor utilizați în procesul cercetărilor experimentale și conectarea acestora în circuitul de descărcare al generatorului de impulsuri de putere: a) cazul piesei plane; b) cazul piesei cilindrice

Pentru siguranță, în procesul măsurărilor electrozii au fost legați la un indicator de curent și aduși în contact în stare de scurtcircuit. Măsurarea începe din momentul întreruperii circuitului, adică din poziția „zero” a indicatorului de curent. Generatorul de impulsuri de curent [14] de tip RC cu amorsare paralelă este compus din blocul de amorsare și blocul de putere. Măsurările parametrilor energetici a impulsurilor de curent a fost realizată prin osciloscopare conform schemei și metodicii [14]. Microscopia electronică (SEM) a fost aplicată în scopul studierii morfologiei suprafețelor și compoziției chimice ai termocatozilor elaborați. Spectroscopia cu raze X cu dispersie energetică (EDX) a fost aplicată pentru determinare compoziție materialului de execuție a catodilor și suprafețelor cu asperități conice după prelucrare.

Metodica cercetărilor experimentale, privind emisia termoelectronică.

Pentru determinarea influenței creșterii ariei suprafeței active a catodului asupra emisie termoelectronice în condiții expres, în cadrul Laboratorului științific de micro- și nano-tehnologii, se folosea termocatozi neprelucrați, fără modificarea microgeometriei prin aplicarea DEI și termoelectrozi prelucrați, cu suprafața modificată prin aplicarea DEI, cu formarea meniscurilor conice. În scopul determinării curentului electric de emisie termoelectronice în condiții expres, a fost folosită instalația specială de tipul „BYII-5”. În fig. 2.2, este prezentată schema electrică principală cu ajutorul căreia se determinau caracteristicile volt-amperice în timpul cercetărilor experimentale. În camera de lucru se atinge o depresiune de cca 10^{-3} – 10^{-4} mbar. Diferența de potențial la bornele termocatodului și intensitatea curentului electric ce trecea prin el se măsurau cu voltmetru V1 și respectiv cu ampermetru A1. Diferența de potențial dintre anod și catod se măsură cu voltmetru V2, iar intensitatea curentului de termoemisie se determina cu un microampermetru. În scopul sporirii preciziei de măsurare a curentului de termoemisie electronica a fost aplicat un stand experimental constituit din: sursa de

alimentare a termocatodului, multimetru (model „FLUKE 902”) utilizat la măsurarea temperaturii catodului, sursa de tensiune înaltă, multimetru (model „FLUKE 289”) utilizat la măsurarea intensității curentului de emisie, măsurător de vacuum (model „adixen ACC, 2009”), pompă turbomoleculară (parte componentă a instalației de vacuumare, utilizată pentru obținerea unui grad înalt de vacuumare, $10^{-5} - 10^{-6}$ mbar).

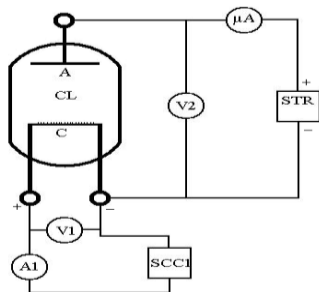


Fig. 2.2. Schema electrică principală pentru determinarea caracteristicilor volt-ampेरice:
CL – camera de lucru; **V1** – voltmetru; **A1** – ampermetru; **SCC1** – sursa de curent continuu; **V2** – voltmetru; **μA** – microampermetru; **STR** – sursa de tensiune reglabilă (0 – 1050 V); **A** – anod din inox; **C** – termocatod cilindric liniar

Determinarea ariei suprafeței meniscurilor, obținute cu aplicarea DEI. În conformitate cu măsurările experimentale a fost formată o bază de date compusă din măsurători ale mai multor asperități conice și anume ale diametrului bazei, înălțimi meniscului, diametrul craterului, unghiul de la vârf, lungimi de undă transversale și longitudinale a undelor capilare, fiind introduse în aplicația „Solid Works”.

3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE, PRIVIND MODIFICAREA MICROGEOMETRIEI SUPRAFEȚELOR ACTIVE ALE ELECTROZILOR

Stabilirea influenței parametrilor de prelucrarea asupra geometriei meniscurilor extrase de pe suprafețele pieselor metalice. În conformitate cu metoda [10, 15] au fost extrase de pe suprafețele metalice asperități sub formă de con Taylor (fig. 3.1) de pe suprafețele cilindrice a probelor.

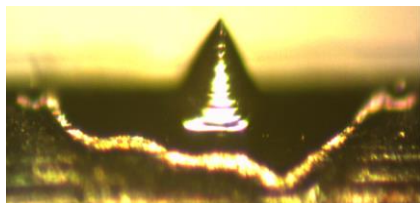


Fig. 3.1. Vedere generală a conului Taylor extras prin metoda DEI (înălțimea $\approx 60 \mu\text{m}$ și diametrul bazei acestui menisc este de ordinul a $80 \mu\text{m}$)

Piesa era conectată în circuitul de descărcare în calitate de anod, iar electrodul-sculă în calitate de catod. Parametrii energetici ai descărcării electrice în impuls: $W_s = 0,86 \text{ J}$ (energia degajată în interstițiu), $S = 0,3 \text{ mm}$ (mărimea interstițiului), $n = 1$ (numărul de descărcări electrice în impuls pentru o unitate de suprafață). Ca rezultat din suprafața probei a fost extrasă o asperitate conică prezentată în fig. 3.1.

Influența energiei degajate în interstițiu asupra diametrului bazei și înălțimii meniscurilor. În procesul cercetărilor experimentale a fost analizată influența energiei degajate în interstițiu asupra formării meniscurilor pe suprafața anodului, când acesta în circuitul de descărcare se afla în poziția de sus. Piesele au fost executate din aliajul wolfram de puritate tehnică și din aliajele acestuia, ca de exemplu W + 10% Re și W + 20% Re. Pentru a varia energiei degajată în interstițiu, se modifica capacitatea bateriilor de condensatoare în trepte începând cu valoarea minimă de 100 μF până la cea maximă de 600 μF . Experimentele au fost repetate de mai multe ori, cu scopul asigurării unor rezultate mai precise.

S-a observat, că pentru aliajul W + 10% Re, cu creșterea energiei pe bateria de condensatoare de la 0,072 J până la 0,432 J, înălțimea meniscurilor variază de la 51 μm până la 123 μm , iar pentru piese executate din W de o puritate tehnică, înălțimea acestora variază de la 29 μm până la 71 μm . Prin metoda osciloscopării au fost determinate valorile curentului în impuls și durata impulsului pentru toate valorile capacităților bateriilor de condensatoare (tab. 3.1 și tab. 3.2).

Tabelul 3.1. Diametrul bazei meniscului și înălțimea lui ca funcție de energia degajată în interstițiu și durata impulsului de descărcare pentru aliajul W + 10% Re

Nr.	S, mm	C, μF	U _c , V	I _m , A	W _s , J	τ , μs	h _m , μm	db.m., μm
1.	0,25	100	60	94	0,072	100	51	83
2.		200	60	125	0,144	125	72	89
3.		300	60	151	0,216	160	86	110
4.		400	60	163	0,288	180	97	139
5.		500	60	172	0,36	200	109	170
6.		600	60	177	0,432	220	123	195

Tabelul 3.2. Diametrul bazei meniscului și înălțimea lui ca funcție de energia degajată în interstițiu și durata impulsului de descărcare pentru W

Nr.	S, mm	C, μF	U _c , V	I _m , A	W _s , J	τ , μs	h _m , μm	db.m., μm
1.	0,2	100	60	100	0,072	100	29	55
2.		200	60	144	0,144	125	34	83
3.		300	60	168	0,216	160	41	110
4.		400	60	180	0,288	180	55	134
5.		500	60	186	0,36	200	64	161
6.		600	60	204	0,432	220	71	179

În procesul descărcărilor electrice în impuls, prelevarea materialului are loc de pe suprafața vârfurilor conurilor Taylor sub formă de particule separate, sau sub formă de particule elementare datorită câmpului electric, dar nu doar sub acțiunea depresiunii formate în bula de gaz. Pentru a compara rezultatele experimentale cu cele teoretice au fost construite dependențele înălțimii meniscurilor ca funcție de energia degajată în interstițiu. În fig. 3.2, sunt prezentate dependențele înălțimii meniscurilor în funcție de energia acumulată pe bateria de condensatoare (durata

impulsului de descărcare) pentru diferite valori ale tensiunii de încărcare a bateriei de condensatoare, respectiv, pentru diverse valori ale energiei degajate în interstițiu.

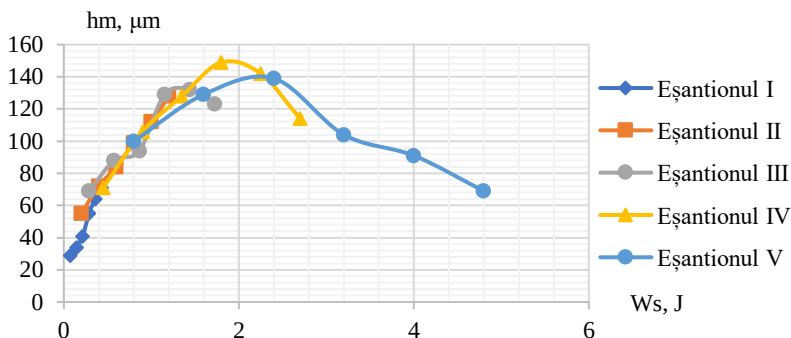


Fig. 3.2. Dependenta înălțimii meniscurilor în funcție de energia degajată în interstițiu

Influența duratei impulsului de curent asupra înălțimii meniscurilor.

Este necesar de menționat, că durata impulsului de descărcare influențează nu numai înălțimea meniscurilor, ci și dimensiunile diametrelor bazelor acestora. Cu creșterea duratei impulsului de descărcare duce la creșterea diametrelor bazelor meniscurilor. În cazul, când durata impulsului de descărcare este o valoare constantă, iar energia acumulată pe bateria de condensatoare variază în creștere, se observă același fenomen (fig. 3.3).

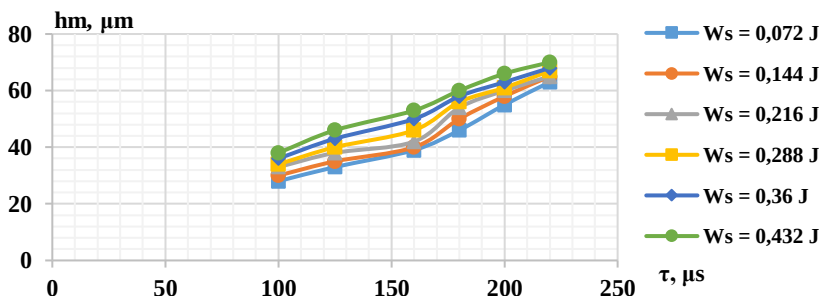


Fig. 3.3. Dependenta înălțimii meniscurilor ca funcție de durata impulsului de descărcare

Pentru obținerea relațiilor matematice, privind formarea asperităților conice s-a luat în considerație durata impulsului de descărcare, care varia de la 100 la 220 μs, mărimea interstițiului cuprinsă în intervalul de la 0,1 la 0,4 mm și energia degajată în interstițiu care varia în limite a 0,072 până la 4,8 J. Au fost măsurate înălțimile și diametrele asperităților conice obținute pe suprafețele pieselor metalice confecționate din W sau din aliajele wolframului cu reniu (10 și 20%).

Analizând date experimentale cu referire la obținerea asperităților conice și ecuațiile obținute în prin modelare matematica pentru valorile medii ale

intervalelor optime de prelucrare, pentru înălțimea asperităților conice, h_m și diametrele bazelor acestora, d_m , s-au obținut următoarele relații matematice:

- pentru piese confecționate din fire de diametre egale cu 0,2 și 0,25 mm din wolfram de puritate tehnică:

$$h_m = 0,77 \cdot W_s^{0,56} \cdot \tau^{0,88} \cdot S^{-0,34} \quad (3.1)$$

$$d_m = 2,08 \cdot W_s^{0,46} \cdot \tau^{0,85} \cdot S^{-0,34} \quad (3.2)$$

- pentru piese confecționate din fire de diametre egale cu 0,2 și 0,25 mm din aliajul wolframului cu reniu 10%:

$$h_m = 0,66 \cdot W_s^{0,51} \cdot \tau^{0,88} \cdot S^{-0,34} \quad (3.3)$$

$$d_m = 1,32 \cdot W_s^{0,35} \cdot \tau^{0,85} \cdot S^{-0,34} \quad (3.4)$$

în care: h_m – înălțimea asperităților conice (μm); d_m – diametrele bazelor asperităților conice (μm); W_s – energia degajată în interstițiu (J); τ – durata impulsului de descărcare (μs); S – mărimea interstițiului (mm).

Relațiile (3.3) și (3.4) sunt valabile și pentru piese confecționate din fire din aliajul wolframului cu reniu de 20%, de diametre egale cu 0,2 și 0,25 mm.

Din ultimele doua sisteme de relații, putem stabili, că mărimea interstițiului S și durata impulsului influențează practic în același mod asupra înălțimii, h_m și asupra diametrului, d_m indiferent de compoziția materialului de execuție al pieselor. Dacă ne referim la energia degajată în interstițiu și la coeficientul de proporționalitate din aceste relații, vom constata, că ele sunt mult mai mari pentru piesele executate din Wolfram, decât pentru aliajele wolframului cu reniu, fapt ce poate fi explicat prin temperatura înalta de topire a acestuia în raport cu aliajul wolfram-reniu.

Analiza SEM a suprafețelor prelucrate.

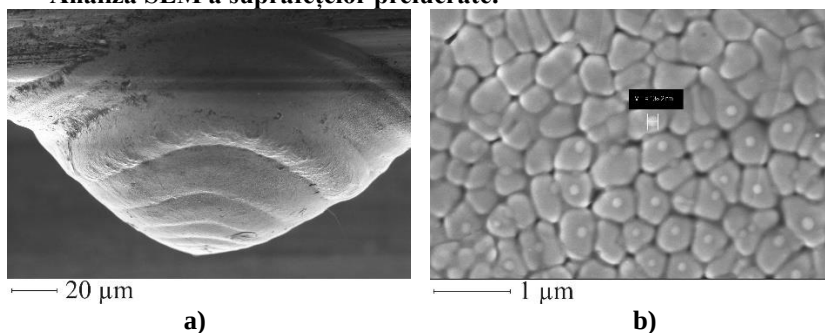


Fig. 3.4. Suprafața laterală a asperității [15]: a) prezența undelor concentrice; b) prezența blocurilor de mozaic pe suprafața laterală a asperității conice

O informație mai exactă despre dimensiunile și morfologia asperităților de tip con Taylor poate fi obținută prin efectuarea analizei SEM. În majoritatea cazurilor dimensiunile asperităților de tip con Taylor depind de parametrii energetici. Aplicarea aparatului contemporan de cercetare (SEM) a permis a stabili, că suprafața laterală a asperităților formate este una complicată și prezintă undulații de ordin micro- și nanometric (vezi fig. 3.4). Aceste undulații posibil sunt

cauzate de variația curentului în descărcarea electrică. În lucrările publicate de autorii [16, 32], a fost afirmat, că DEI este una multicanalică, unele canale de descărcare „mor”, iar altele „se nasc”, din care cauză curentul descărcării electrice solitare poartă un caracter pulsatoriu. Aceste ondulații posibil sunt cauzate de variația curentului în descărcarea electrică.

Anterior a fost deja demonstrat, că DEI este una multicanală. Unele canale de descărcare mor, iar altele se nasc, din care cauză curentul descărcării electrice solitare poartă un caracter pulsatoriu. Această ipoteză este confirmată experimental de către autorii lucrării [33 – 35]. Din cele prezentate în fig. 3.5 se observă, că în decursul unei descărcări solitare are loc variații atât a impulsului de tensiune, cât și a impulsului de curent.

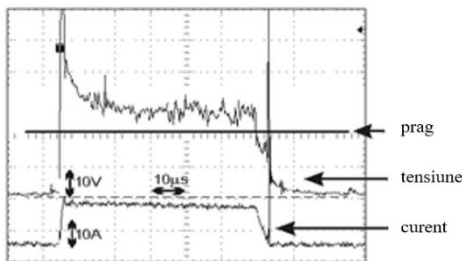


Fig. 3.5. Caracterul pulsator al descărcării electrice solitare [36]

Variația intensității curentului electric într-un singur impuls este multiplă, fapt prin care se poate explica formarea a mai multor canale și respectiv extragerea a mai multor

asperități conice în decursul acestuia. Apariția meniscurilor, orientarea lor, precum și dimensiunile acestora pentru cazul unei descărcări solitare, indică direct asupra faptului, că ele nu pot apărea din motivul depresiunii din canalul de plasmă, ci sunt cauzate de acțiunea câmpului electric în lungul razei vectoriale de la pata electrodică spre suprafața prelucrată a piesei.

Rezultatele privind analiza compoziției chimice (EDX) a suprafețelor prelucrate. În funcție de mediul de lucru din interstițiu pe suprafața asperităților pot fi sintetizate faze ce conțin oxigen, azot, hidrogen și carbon, care la rândul lor modifică proprietățile funcționale a catodilor aplicați la termoemisie electronică (vezi fig. 3.6). Pentru analize EDX, s-a ales 4 puncte care au fost supuse măsurărilor: vârful asperității conice, la baza asperității, în zona din apropierea asperității și într-o zonă, care nu a fost influențată de efectele DEI. Rezultatele obținute ne vor permite să înțelegem ce schimbări au avut loc în materialul de bază al electrodului-sculă în urma descărcărilor electrice în impuls și anume să cunoaștem ce compoziție chimică este în materialul din care este format proba și deja însuși meniscul conic.

Din datele prezentate în tabelele 3.3 – 3.6 vom constata, că cea mai mare cantitate de oxigen se dizolvă în materialul piesei la baza meniscului și la marginea craterului, loc în care se întrunesc condițiile favorabile pentru aceasta (acțiunea plasmă pe întreaga durată a impulsului, temperatura la periferia canalului de plasmă este mai joasă, procesele de difuziune decurg în starea lichidă a materialului piesei), pe când la vârful asperității conice cantitatea de oxigen dizolvată este mai mică (în acesta au loc procese de vaporizare intensivă, iar solidificarea metalului topit are loc cu viteze de ordinul 10^6 m/s).

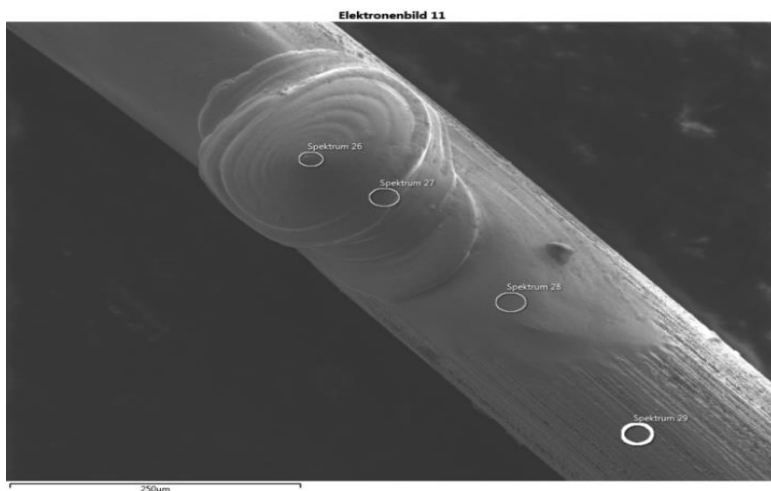


Fig. 3.6. Analiza EDX realizată în patru zone diverse ale electrodului-piesă

Conținutul chimic al diferitor zone a piesei prelucrate stabilit prin analize EDX este prezentat în tabelele de mai jos.

Tabelul 3.3. Conținutul chimic în centrul meniscului conic (p. 26 din fig. 3.6)

Elemente depistate	Tip de linie	Concentrația aparentă	k-raport	Masa, %	Masa, % (Sigma)	Nume implicit
O	Seria K	21.73	0.07313	9.33	0.32	SiO2
W	Seria M	278.51	2.78511	85.07	0.57	W
Re	Seria M	16.00	0.15995	5.59	0.53	Re
În total:				100		

Tabelul 3.4. Conținutul chimic la baza meniscului conic (p. 27 din fig. 3.6)

Elemente depistate	Tip de linie	Concentrația aparentă	k-raport	Masa, %	Masa, % (Sigma)	Nume implicit
O	Seria K	9.95	0.03347	12.12	0.38	SiO2
W	Seria M	87.02	0.87023	78.02	0.62	W
Re	Seria M	9.72	0.09724	9.85	0.59	Re
În total:				100		

Tabelul 3.5. Conținutul chimic a materialului catodului din Wolfram în zona craterului (p. 28 din fig. 3.6)

Elemente depistate	Tip de linie	Concentrația aparentă	k-raport	Masa, %	Masa, % (Sigma)	Nume implicit
O	Seria K	34.68	0.11670	11.66	0.33	SiO2
W	Seria M	325.68	3.25685	80.09	0.54	W
Re	Seria M	29.56	0.29555	8.24	0.51	Re
În total:				100		

Tabelul 3.6. Conținutul chimic al materialului piesei (p. 29 din fig. 3.6)

Elemente depistate	Tip de linie	Concentrația aparentă	k-raport	Masa, %	Masa, % (Sigma)	Nume implicit
O	Seria K	28.05	0.09440	12.41	0.35	SiO2
Ca	Seria K	1.78	0.01590	0.59	0.08	Wollastonite
W	Seria M	259.02	2.59018	83.94	0.57	W
Re	Seria M	8.26	0.08262	3.06	0.53	Re
În total:				100		

Completări ale modelului fizic al EE cu acțiunea DEI. Dacă e să revenim la modelul fizic prezentat în capitolul 1, atunci acesta ar putea fi completat cu următoarele: canalele de conductivitatea „se nasc” și „mor” și ele la rândul lor pot provoca extragerea mai multor asperități într-o descărcare solitară; în anumite condiții în asperități, datorită scintilațiilor curentului în descărcare „se nasc” unde capilare transversale care provoacă ruperea picăturilor din vârful asperității; ionii proveniți din gazul plasmogen bombardează suprafețele electrozilor provocând efecte erozive sau formarea în straturile acestora a compușilor chimici de tip oxizi, hidro-oxizi și nitruri (în condiții de aer), carburi (în mediu de acetilenă, propan, butan sau mediu lichid de motorină, gaz lampant, ulei etc.); la finalul descărcării solitare odată cu micșorarea intensității curentului, au loc procese de divizare a petelor electrodice, până la cele reci, care provoacă extragerea nanoasperităților din suprafața grăunțelor noi formați pe suprafața prin solidificarea craterului; în cazul repetării descărcărilor solitare, asperitățile extrase din suprafețe cresc în înălțime și se micșorează în diametru până la contopire. Dacă ținem cont de cele atestate experimental și de rezultatele obținute de către autorii lucrărilor [11, 13, 15], în care se menționează, că pe suprafața grăunților de cristalizare a fazei lichide rezultate după interacțiunea plasmei DEI cu suprafața metalului se atesta asperități de dimensiuni nanometrice. Cred, că în acest caz am fi îndreptățiți să susținem ipoteza, că DEI „se naște” pe pete electrodice „reci” – care sunt suportul pentru canalele de conductivitate elementare, care se atrag conform legii lui Lorentz și se contopesc dând naștere petelor electrodice „calde”, acestea provoacă topirea, perturbarea, extragerea asperităților conice, ruperea de particule, etc., dar la final descărcarea se finalizează prin scindarea petelor electrodice „calde”, din motivul epuizării energiei în canalul de conductibilitate, transformându-se viceversa, în pete electrodice „reci”, care la rândul lor interacționează cu suprafața încă fierbinte a periferiei suprafeței prelucrate pe care provoacă extragerea asperităților de dimensiuni nanometrice (vezi fig. 3.4, b). La finalul descărcării solitare, odată cu micșorarea intensității curentului, au loc procese de divizare a petelor electrodice, până la cele reci, care provoacă extragerea nanoasperităților din suprafața grăunților noi formați pe suprafață, prin solidificarea craterului, astfel în cazul repetării descărcărilor electrice solitare, asperitățile extrase din suprafețe cresc în înălțime și se micșorează în diametru până la contopire.

4. STABILIREA CARACTERISTICILOR DE EMISIE TERMoeLECTRONICĂ ALE CATOZILOR ELABORAȚI

Stabilirea factorilor care determină amplificarea ariei suprafeței active ale catozilor, a intensității câmpului electric și a densității de curent. Micro neregularitățile suprafeței modifică configurația și intensitatea câmpurilor electrice, în cazul când aceste suprafețe sunt parte componentă a unor dispozitive electrice sau electronice. Pentru a caracteriza cantitativ suprafața activă a catodului de către [17] se preia conceptul de coeficient de amplificare a câmpului electric, care este notat cu β_E . Acesta prezintă raportul dintre valoarea reală a câmpului electric creat din partea extremității superioare a asperităților conice (meniscurilor) și a valorii macroscopice medii a câmpului electric pentru un catod de suprafață plană. Dacă valorile $\beta_E \gg 1$, atunci se poate folosi relația (4.1) [17]:

$$\beta_E \approx h/r \quad (4.1)$$

în care: β_E – coeficient de amplificare a câmpului electric; h – înălțimea meniscului (μm); r – rază de la vârf a conului real (μm).

Luând în considerație, că prin aplicarea DEI, se obțin asperități asemănătoare cu cele conice factorul de amplificare a densității de curent β_i pentru cazul propriu va fi determinat de raportul l/r , dar trebuie să fim atenți să utilizăm corect lungimea generatoarei asperității conice, deoarece, conform rezultatelor experimentale proprii, asperitățile nu prezintă conuri regulate. Dacă privim la imaginea prezentată în fig. 4.1 și atragem atenția la asperitatea conică centrală observăm, că însuși asperitatea este formată din vârf conic, un trunchi de con și baza acestuia, care nu este altceva decât marginea craterului, din care s-a extras această formațiune.

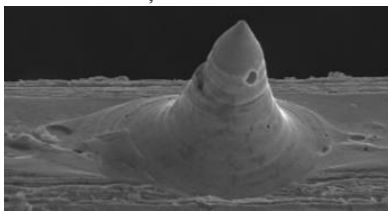


Fig. 4.1. Părțile componente ale asperității conice: vârf conic, trunchi de con și zona craterului

În continuare sunt prezentate rezultate experimentale care atestă, că micro și nonogeometria suprafeței laterale ale asperității conice este una complexă.

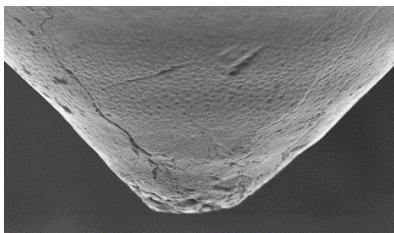


Fig. 4.2. Imagine SEM a suprafeței laterale ale vârfului asperității conice cu rază la vârf

În fig. 4.2 este reprezentată imaginea SEM a suprafeței laterale ale vârfului asperității conice. Dacă se analizează această suprafață la o scară mai mare, atunci se observă existența unor „ondulații” de dimensiuni micro și chiar nanometrice (vezi imaginile din cadrul fig. 4.3). În cazul cercetărilor realizate în prezenta se întâlnesc o multitudine de modificări a

suprafeței active a catodului supus modificării prin aplicarea descărcărilor electrice în impuls.

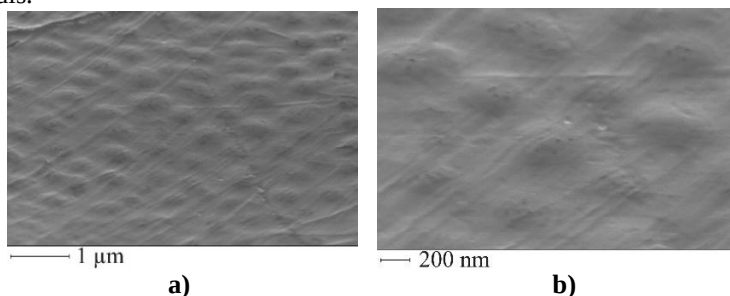


Fig. 4.3. „Ondulații” de dimensiuni micro și nanometrice prezente pe suprafața laterală a asperităților conice

Astfel, în cadrul unei asperități se atesta o rază la vârful superior al acestei (fig. 4.1 și fig. 4.2), ondulații de ordinul micro și nanometrice pe suprafața laterală a conului și asperității micrometrice de dimensiuni reduse (în comparație cu asperitatea principală) care se regăsesc la baza conului extras din catod (conform imaginii prezentate în fig. 4.1).

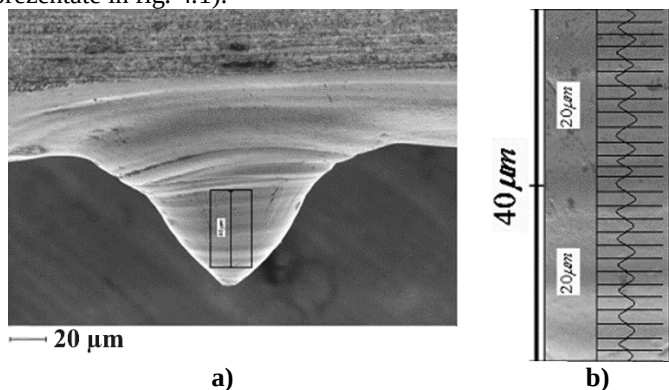


Fig. 4.4. Morfologia suprafeței asperităților de tip con Taylor: a) imagine obținută prin metoda SEM; b) determinarea lungimii de undă medii pentru unda transversală [18]

Această morfologie suficient de complicată, induce dificultăți suplimentare în interpretarea științifică a rezultatelor obținute. Pentru cazul nostru mai simplu este să determinăm experimental valoarea factorului de amplificare a densității de curent și apoi să determinăm lungimea generatoarei conului, acesta prezintă vizual la scară micrometrică o curba sinusoidală, dar cu mărituri de mai mari, se observă că nu este doar o simplă sinusoidă. Pe suprafața laterală a meniscurilor, sub acțiunea plasmei se dezvoltă unde longitudinale. Au fost realizate încercări de a găsi mărimea lungimii de undă a acestor unde longitudinale. În fig. 4.4 se observă

simularea privind determinarea lungimii de undă care se atestă pe partea laterală a trunchiului de con solidificat. În urma modelării s-a obținut o valoare medie a lungimii de undă longitudinală:

$$\lambda_{l\ med} = \frac{40\ \mu m}{13} = 3,077\ \mu m \quad (4.2)$$

în care: $\lambda_{l\ med}$ – lungimea medie a unei mecanice longitudinale (μm).

În baza imaginilor SEM obținute pentru asperitățile conice extrase din suprafețe plane ale pieselor din oțel 45, s-a determinat valoarea lungimii de undă longitudinală ce variază în limitele 3 – 5 μm , iar pentru asperitățile extrase de pe suprafețele firelor metalice din wolfram și aliajele acestuia cu reniu, valoarea lungimii de undă longitudinală variază în limitele 3 – 15 μm (vezi fig. 3.4 a și 4.4).

Proprietățile de termoemisie a electronilor de către suprafețele prelucrate în cazul formării pe suprafețele active a unui strat de oxizi și în cazul lipsei acestora. Au fost executate măsurători pentru termocatozi execuți din fir de Wolfram și/sau aliajele acestuia cu suprafața activă fără, și în prezența meniscurilor extrase cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls.

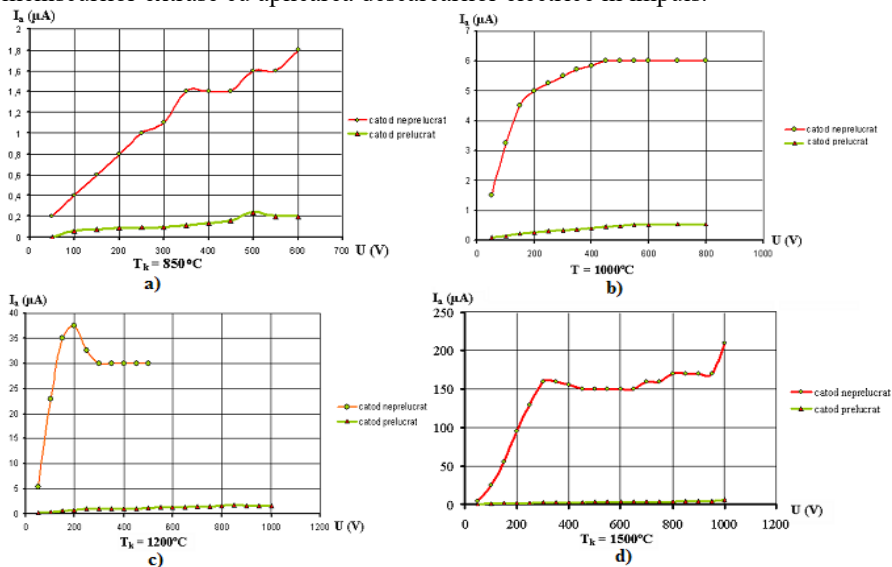


Fig. 4.5. Caracteristicile volt-ampere obținute în condiții expres, ale catodilor simpli în comparație cu cei care au fost prelucrați cu aplicarea DEI în mediu aer și care nu au fost supuși procedului de deoxidare a suprafețelor active: a) $T_k = 850^\circ C$; b) $T_k = 1000^\circ C$; c) $T_k = 1200^\circ C$; d) $T_k = 1500^\circ C$

În fig. 4.5, sunt prezentate dependențele volt-ampere privind încercarea catodilor la emisie termoelectronică în condiții expres. Se observă în toate aceste 4 cazuri, că la mărirea temperaturii, se mărește valoarea intensității curentului de termoemisune. Dacă analizăm minuțios datele prezentate în fig. 4.5, observăm, că pentru termocatozii ai căror suprafețe au fost prelucrate cu aplicarea DEI și la care

s-a asigurat creșterea suprafeței active, în loc să obținem valori ale intensităților măsurate mai mari în comparație cu intensitățile obținute pentru termocatozii simpli, neprelucrați prin metoda DEI, s-a obținut viceversa. Toate cazurile cercetate au demonstrat, ca prezența oxizilor diminuează considerabil proprietățile de emisie electronica. Acest rezultat se explică relativ simplu. DEI care au avut loc în mediu aer, contribuie la formarea pe suprafețele prelucrate, a straturilor de oxizi. Straturile de oxizi, împiedică electronii liberi să părăsească metalul deoarece posedă o rezistență electrică mai mare, în raport cu suprafețele care nu sunt acoperite cu oxizi [6]. Reieșind din aceste considerente și pentru a obține un alt rezultat se impune a nu realiza modificarea micro geometriei suprafețelor termocatozilor executați din fire de wolfram, cu aplicarea DEI în mediu aer. Cu scopul evitării formării stratului de oxid pe suprafața piesei în procesul modificării micro geometriei, prelucrarea piesei se efectua în camera specială în care se introducea argon. În cazul utilizării catozilor prelucrați în mediul gazului plasmagen argon s-a obținut un caracter total diferit al rezultatelor privind caracteristicile volt-amperice pentru proba cu asperitate și pentru cea fără asperitate conica pe suprafața activa (vezi fig. 4.6).

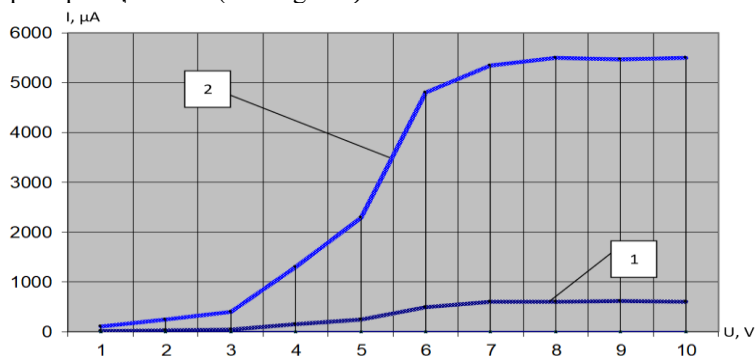


Fig. 4.6. Caracteristica volt-amperică de emisie obținută în condiții expres, în care diferența de potențial dintre catozi rămâne o mărime constantă [37]

Dacă analizăm cele prezentată în fig. 4.6, constatăm, că în cazul termocatozilor a căror suprafață conțin meniscuri conice, în aceleași condiții de exploatare cu cele ale catozilor cu suprafețe netede observăm, că intensitatea curentului de emisie (în regim de saturație) este aproximativ de 9 ori mai mare.

Măsurători, privind emisia termoelectronică în condiții de exploatare reală. În conformitate cu rezultatele obținute, intensitatea curentului termoelectronic I , va crește odată cu mărirea diferenței de potențial U , aplicată între anod și catod, datorită măririi intensității câmpului electric între cei doi electrozi, favorizându-se emisia prin câmp electric, numai până la o anumită valoare – numită intensitatea curentului de saturație I_s . În urma studierii literaturii de specialitate și în conformitate cu propriile rezultate ale măsurătorilor experimentale obținute, se demonstrează, că mărimile N_{sec} și respectiv I_s cresc,

odată cu sporirea temperaturii catodului. Puterea de emisie este direct proporțională cu mărirea variației suprafeței active și de asemenea crește în dependență de temperatură, deoarece, valoarea temperaturii în această relație este la puterea a patra.

Determinarea mărimii variației suprafeței active ale catodilor. În tabelele 4.1, 4.2 și 4.3 sunt prezentate valorile experimentale ale diametrului bazei și înălțimii meniscului conice, în funcție de regimul de prelucrare a suprafeței pentru probe executate din wolfram de puritate tehnică și aliaje ale wolframului cu reniu (10% sau 20% Re).

Tabelul 4.1. Variația mărimii suprafeței active pentru termocatozi executați din W de puritate tehnică [38]

Nr.	U_c, V	W_s, J	$\tau, \mu s$	$h_m, \mu m$	$d_{b.m.}, \mu m$	$\Delta A, \mu m^2$
1.	60	0,18	100	28	56	1206,47
2.	60	0,36	125	35	84	1991,94
3.	60	0,54	160	42	112	2945,88
4.	60	0,72	180	56	140	5154,53
5.	60	0,90	200	63	168	6628,23
6.	60	1,08	220	70	182	8133,43

Tabelul 4.2. Variația mărimii suprafeței active pentru termocatozi executați din aliajul wolframului cu reniu (10%) [38]

Nr.	U_c, V	W_s, J	$\tau, \mu s$	$h_m, \mu m$	$d_{b.m.}, \mu m$	$\Delta A, \mu m^2$
1.	60	0,18	100	49	84	3493,33
2.	60	0,36	125	70	84	6049,79
3.	60	0,54	160	84	112	9190,21
4.	60	0,72	180	98	140	12925,69
5.	60	0,90	200	112	168	17259,69
6.	60	1,08	220	126	196	22193,96

Tabelul 4.3. Variația mărimii suprafeței active pentru termocatozi executați din aliajul wolframului cu reniu (20%)

Nr.	U_c, V	W_s, J	$\tau, \mu s$	$h_m, \mu m$	$d_{b.m.}, \mu m$	$\Delta A, \mu m^2$
1.	60	0,18	100	50	86	3642,12
2.	60	0,36	125	71	88	6329,61
3.	60	0,54	160	83	116	9177,37
4.	60	0,72	180	97	143	12846,26
5.	60	0,90	200	111	169	17064,58
6.	60	1,08	220	124	194	21547,98

În baza acestor rezultate a fost determinat și sporul de arie a suprafeței active (ΔA), prin extragerea din ea a unei asperități sub formă de con Taylor, cu condiția de a idealiza forma acestor asperități, spre forma unor conuri regulate, ceea ce în practică nu corespunde. Analizând datele prezentate în tabelele 4.2 și

4.3, sporirea ariei active pentru aliajul wolframului cu reniu (10% sau 20%), este aproximativ aceeași. Pentru catodii din wolfram de puritate tehnică, odată cu creșterea energiei degajate în interstițiu (de la 0,18 până la 1,08 J), înălțimea meniscurilor variază de la 28 μm până la 70 μm , iar diametrul asperităților variază de la 56 μm la 182 μm , iar pentru catodii confecționați din aliajele wolframului cu reniu, prelucrate în aceleași condiții, înălțimea meniscurilor variază de la 49 μm până la 126 μm , iar diametrul asperităților variază de la 84 μm la 196 μm maxim. Obținerea pe suprafața aliajelor wolframului cu reniu, a meniscurilor cu înălțime mai mare, în comparație cu înălțimea acestora pe suprafața wolframului de puritate tehnică, se explică prin „efectul reniu”. După cum putem observa, înălțimea meniscurilor și diametrul bazei acestora depinde în mare măsură de energia degajată în interstițiu. Cu alte cuvinte, cantitatea de energie degajată în interstițiu este un parametru important ce influențează formarea meniscurilor pe suprafețele metalice.

Rezultatele măsurătorilor pentru rezistența electrică, determinarea rezistivității materialului termocatodului și a funcțiilor $I(U)$, $P(U)$ și $T(P)$. După cum a fost menționat în cadrul prezentei teze, termocatozii asemănători, care se utilizează până în zilele noastre, sunt realizați din fire de wolfram sau aliajele acestuia cu diametre de 0,15 – 0,3 mm. Au fost supuși realizării termocatozilor doar fire cu diametrul de 0,2 mm și respectiv 0,25 mm, executați din aliajul wolframului cu reniu (10%).

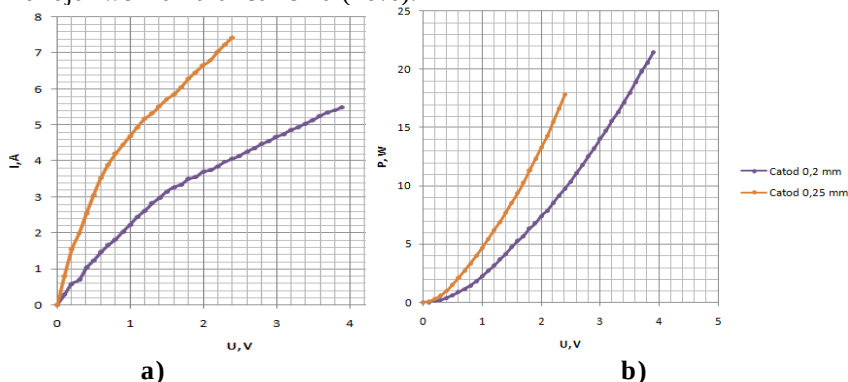


Fig. 4.7. Caracteristica volt-amperică (a) și dependența puterii disipate pe catod (b) în funcție de tensiunea aplicată de la sursă de alimentare pentru catodii cu diametre de 0,2 mm și respectiv 0,25 mm, executați din aliajului wolframului cu 10%Re [38]

Pentru firul cu diametrul de 0,2 mm și lungimea inițială de 66 cm a fost măsurată rezistența electrică egală cu 3,7 Ω , rezistivitatea egală cu aproximativ $17,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, rezistența catodului cu lungimea de 2 cm, egală cu 0,112 Ω , iar pentru firul cu diametrul de 0,25 mm și cu lungimea de 134 cm a fost determinată rezistența de 4,2 Ω , rezistivitatea de aproximativ $15,38 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ și pentru acești termocatozi, rezistența electrică pentru 2 cm de lungime era egală

cu $0,063 \Omega$ [38]. În cazul caracteristicii volt-ampere prezentate în fig. 4.7 (a), pot fi approximate cu relațiile:

$$I = 2,08 \cdot U^{0,77} \quad (4.3)$$

$$I = 4,44 \cdot U^{0,65} \quad (4.4)$$

în care: I – intensitatea curentului electric ce trece prin termocatod (A); U – tensiunea electrică aplicată termocatodului, de la sursa de curent (V).

În relația (4.3) indicele exponentei este egal cu 0,77 pentru catodii cu diametre de $d = 0,2 \text{ mm}$ și în relația (4.4) indicele exponentei egal cu 0,65 pentru catodii cu diametre de $d = 0,25 \text{ mm}$, fapt care se explică ușor prin aceea, că catodul cu diametru mai mic se încălzește mai puternic, iar odată cu acesta crește mai repede intensitatea curentului electric de emisie.

Relațiile (4.5) și (4.6) prezintă dependența puterii disipate pe catod și în acest caz pentru diametru mai mic, valoarea parametrului crește mai rapid pentru grosimea mai mică a firului de execuție a catodului (vezi curbele prezentate în diagrama din cadrul fig. 4.7, b).

$$P = 2,08 \cdot U^{1,77} \quad (4.5)$$

$$P = 4,44 \cdot U^{1,65} \quad (4.6)$$

în care: P – puterea disipată pe termocatod (W); U – tensiunea electrică aplicată termocatodului, de la sursa de curent (V).

Experimental se măsurau direct valorile intensității electrice I și ale tensiunii electrice U , pentru a realiza calcularea puterii, cu scopul determinării dependenței temperaturii (vezi fig. 4.8) de parametrii de intrare.

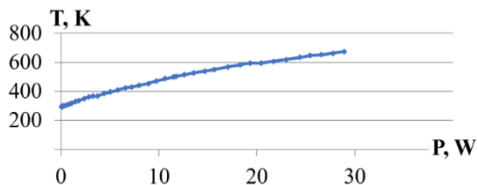


Fig. 4.8. Dependenta temperaturii catodului în funcție de puterea disipată pe el de la sursa de curent [38]

În baza datelor prezentate grafic în fig. 4.8, s-a determinat relația dependenței temperaturii de încălzire a termocatozilor de puterea sursei de alimentare:

$$T = 293 + 25,22 \cdot P^{0,84} \quad (4.7)$$

în care: T – temperatura catodului (K); P – puterea disipată pe termocatod (W).

Rezistivitatea electrică a materialului, respectiv rezistența electrică a termocatozilor se schimbă cu modificarea temperaturii, ceea ce se confirmă și experimental, iar legea lui Ohm nu poate fi aplicată pentru diapazonul de temperaturi mari.

Rezultate, privind determinarea intensității curentului electric de saturație ale termocatozilor în condiții de exploatare reală. Pentru valori mici ale diferenței de potențial aplicate în camera de lucru, între electrodul-anod și electrodul-catod U_{a-c} , intensitatea curentului de emisie I_e , crește la început lent. Aceasta se explică prin faptul, că la valori mici ale diferenței de potențial între electrozi nu toți electronii emiși de catod ajung la anod, fiind respinși de norul de electroni (sarcina spațială negativă), situat în spațiul dintre

anod și catod. Cu creșterea în continuare a diferenței de potențial U_{a-c} , are loc dispersarea norului de electroni și intensitatea curentului de emisie I_e crește.

Experimental a fost determinat, că diferența de potențial optimă între electrozi trebuie să fie de minim 500 V, pentru distanța dintre electrozi egală cu 4 mm. Pentru diferența de potențial între electrozi, U_{a-c} egală cu valoarea tensiunii de saturație, U_s , intensitatea curentului de emisie nu mai crește, deoarece toți electronii emiși de către catod, la temperatura la care s-a încălzit catodul, ajung la anod.

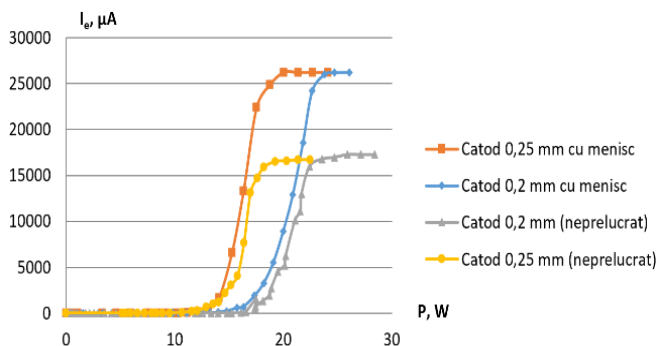


Fig. 4.9.
Dependința
intensității
curentului de
emisie
termoelectronică
funcție de puterea
sursii de
alimentare a
termocatodului
[38]

În fig. 4.9 sunt prezentate dependențele intensității curentului de emisie termoelectronică față de puterea sursei pentru catodii testați, cu scopul determinării valorilor maxime a intensității curentului de saturație a emisie termoelectronică. Se observă, că pentru valori mici ale puterii P disipate pe catod, intensitatea curentului de emisie I_e , crește la început lent pentru toate tipurile de catodi supuși încercărilor experimentale. Aceasta se explică și prin faptul, că la valori mici ale puterii disipate pe catod, electronii liberi nu primesc suficientă energia pentru a se avea posibilitate să părăsească materialul din care este confecționat termocatodul. Dacă încercăm sa prezentăm dependențele experimentale a intensității curentului de emisie termoelectronică ca funcție de puterea disipată pe catod, conform datelor prezentate în cadrul fig. 4.9, prin relații matematice, atunci acestea pot fi scrise sub forma [38]:

$$I_e = -0,007P^6 + 0,527P^5 - 12,55P^4 + 134,2P^3 - 633,5P^2 + 1039P - 214,0 \quad (4.8)$$

$$I_e = 0,019P^6 - 1,476P^5 + 41,05P^4 - 508,0P^3 + 2774,2P^2 - 5445P + 1326 \quad (4.9)$$

$$I_e = 0,000P^6 - 0,036P^5 + 2,458P^4 - 49,18P^3 + 369,6P^2 - 910,8P + 318,2 \quad (4.10)$$

$$I_e = 0,021P^6 - 1,692P^5 + 49,95P^4 - 677,9P^3 + 4221P^2 - 9655P + 45,19 \quad (4.11)$$

în care: I_e – intensitatea curentului de emisie termoelectronică (μA); P – puterea disipată pe termocatod (W).

Relațiile (4.8) și (4.9) exprimă respectiv intensitatea curentului de emisie termoelectronică ca funcție de puterea disipată pe el, pentru catodul cu diametrul egal cu $d = 0,2$ mm și pentru catodul cu diametrul de bază egal cu $d = 0,25$ mm, pe suprafața cărora se atestă prezența asperităților conice pe suprafața activă. Relațiile (4.10) și (4.11) prezintă aceiași dependențe, dar pentru catodii cu suprafață cilindrică netedă, la care nu s-a realizat modificarea micro geometriei prin

aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Comparând rezultatele experimentale pentru toate cazurile, vom concluda, că catozii care au fost prelucrați prin metoda descărcărilor electrice în impuls cu extragerea din suprafața activă a asperităților de tip con Taylor și care nu prezintă la suprafața straturi de oxizi, au prezentat o intensitate a curentului de saturație pentru emisia termoelectronică mult mai mare, în raport cu catozii neprelucrați prin această metodă. În același timp se observă, că catodul cu diametrul mai mare asigură o creștere mai rapidă a curentului electronic, fapt ce se poate explica prin aceea, că se încălzește mai rapid și, că posedă o suprafață exterioară mai mare. În același timp, se observă, că atingerea valorii curentului de saturație este similară, dacă ne referim la puterea consumată de catod, atât pentru catozii netezi cât și pentru cei cu asperități.

Sporirea ariei active a catodului cu aproximativ doar 0.02 mm^2 influențează considerabil sporirea curentului de emisie. S-ar părea ca se încalcă legile descrise de clasicii teoriei termoemisiei, însă lucrurile nu stau chiar așa. După cum a fost deja menționat în lucrările [11, 39] suprafața asperității conice este una complexă, prezentând undulații, iar pe suprafețele grăunților de cristalizare au fost observate asperități de ordin nanometric, care la rândul lor pot cauza sporirea eficienței emisiei electronilor. Așa dar, temperatura de funcționare a termocatozilor studiați este cuprinsă în limitele de la 700 până la $2300 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Durata de viață a termocatozilor este cuprinsă între sute și zeci de mii de ore, dacă se asigură vacuumarea înaltă a camerei în care aceștia funcționează. Pe măsură ce temperatura de funcționare se mărește, eficiența crește și, prin urmare, sporește intensitatea curentului de emisie, dar mărirea temperaturii de funcționare spre limitele de funcționare se va conduce la reducerea durabilității catozilor. Din motiv, că catozii noi elaborați sunt mai eficienți, este posibil ca aceștia să fie exploatați la temperaturi mai mici, neintimidând caracteristicile de emisie comparativ cu catozii obișnuiți, iar durabilitatea acestora să crească. Dacă analizăm atent aceste caracteristici volt-amperice, observăm, că valoarea intensității curentului electric de saturație pentru catozii prelucrați cu aplicarea DEI, este mai mare cu aproximativ $1,5 - 1,6$ ori, în raport cu catozii neprelucrați. Dacă comparăm cu cât se amplifică aria suprafeței active, dacă de pe suprafața catodului se extrage o asperitate de tip con Taylor, atunci observăm, că în mediu aceasta crește respectiv cu $1,5 - 1,6$ ori (în baza datelor prezentate în tabelul 4.2 și 4.3). De aici, putem afirma, că coeficientul de amplificare a curentului electric de emisie, în cazul acestor cercetări este de aproximativ $1,5 - 1,6$ ori, iar, valoarea intensității de saturație a curentului de emisie termoelectronică se obține la tensiuni de alimentare a termocatozilor mai mici cu aproximativ 2 V , ceea ce prezintă un alt parametru ce atestă îmbunătățirea caracteristicilor de emisie termoelectronică.

Comparând rezultatele experimentale și anume a caracteristicilor volt-amperice, privind emisia termoelectronică, vom concluda, că catozii care au fost prelucrați prin metoda descărcărilor electrice în impuls cu extragerea din suprafața activă a asperităților de tip con Taylor, au prezentat o intensitate a curentului de saturație pentru emisia termoelectronică mult mai mare, față de catozii neprelucrați prin această metodă. Dacă analizăm graficile volt-amperice, observăm, că pentru

toți catodii s-a depistat o creștere a valorii intensității curentului de saturație de la aproximativ 16500 mA la 26500 mA, adică cu aproximativ 10 mii de microamperi.

Este important a menționa, că odată cu creșterea substanțială a intensității curentului de emisie termoelectronică se atestă o creștere substanțială a acestui parametru la tensiuni aplicate de aproximativ 2 ori mai mici, iar valoarea curentului de saturație la fel se atinge pentru valori ale tensiunii aplicate cu 2 V mai mici. Ceia ce înseamnă ca pentru același curent de încălzire a catodului se va aplica, sau consuma o energii de cca 2 ori mai mica.

În cercetările executate anterior de către autorii [15, 18, 37] au fost stabilit, că temperatura de încălzire a catodului satisfac dependențele clasice pentru suprafețe regulate. Rezultatele prezentate în acest capitol diferă cu puțin în raport cu dependențele clasice, deoarece asperitățile conice, cum a mai fost menționat servesc în calitate de concentratoare ale câmpurilor electrice și termice și pe suprafața laterală există conuri de dimensiuni nanometrice, care la fel pot servi ca surse suplimentare de electroni. Experimental s-a demonstrat, că intensitatea curentului electric de saturație nu este direct proporțional cu numărul de asperități prezente pe suprafața activă a termocatodului. Totuși, pentru termocatozii care aveau pe suprafețele active mai mult de o asperitate conică pe vârf, se obținea doar cu puțin mai mare valoarea intensității de saturație a curentului electric de emisie.

Recomandări tehnologice de obținere a catozilor destinați emisiei termoelectronice. Pentru obținerea în practica a catozilor aplicabili în construcția aparatelor cu funcționare în baza fasciculelor de electroni se vor respecta următoarele operații tehnologice: - Fixarea semifabricatului (prin înșurubare) sub forma de fir cilindric cu diametrul de 0,2 mm (sau 0,25 mm) și lungimea de 25 mm în dispozitiv, urmată de încălzirea la roșu ($T \approx 450 - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) cu parcurgerea de curent și încovoierea la forma funcțională; - Extragerea, prin deșurubare a catodului obținut; - Sudarea electrică prin rezistență electrică a catodului de portcatod. Portcatodul reprezintă un disc ceramic (izolator) cu diametrul exterior de 14 mm, ce posedă 2 orificii perpendiculare discului la distanța de la margine egală cu 3 mm și conține 2 bare cilindrice executate din oțel inoxidabil (conductor) cu diametrul de 1,4 mm și lungimea de 25 mm, care la un capăt sunt cu o margine plană, obținută prin presare, pentru a fi mai ușor de sudat prin metoda rezistenței electrice; - Montarea dispozitivul creat prin înșurubarea elementelor de fixare. Prinderea și fixarea catodului în dispozitivul instalație în calitate de anod cu suprafața de prelucrat orientată în jos: stabilirea valorii interstițiului $S = 0,2\text{ mm}$; conectarea sursei de impulsuri de curent; introducerea dispozitivului de fixare al electrozilor în camera de lucru; atingerea valorii gradului de vid de minim 10^{-2} mbar; introducerea în cameră a gazului inert (argon) la presiunea atmosferică;

- Asigurarea topirii locale a piesei determinată cu relația: $Q = \frac{4W}{\pi \cdot d_c^2 \cdot S} \geq Q_{top}$ [10], în care: Q – cantitatea de căldură degajată în canalul de plasmă în timpul DEI (J); W_s – energia degajată în canalul de plasmă (J); d_c – diametrul mediu al craterului cu fază lichidă pe suprafața catodului (m); S – mărimea interstițiului între electrozi (m); Q_{top} – cantitatea de căldură necesară topirii materialului piesei (J). Cantitatea

de căldură necesară topirii materialului piesei, Q_{top} , depinde de densitatea volumetrică de topire a materialului piesei, care ia în considerație căldura specifică de topire, q_{top} , exprimată în J/kg și densitatea materialului piesei, ρ , exprimată în kg/m³. În interstițiu se va crea un câmp electric cu intensitatea de cca 10⁸ V/m [10], în conformitate cu relația: $E_{cr} = \sqrt[4]{64\pi^2\rho g\gamma \cdot 3 \cdot 10^4}$, în care: E_{cr} – intensitatea critică a câmpului electric (V/m); ρ – densitatea metalului (kg/m³); g – accelerația căderii libere (m/s²); γ – tensiunea superficială a materialului în stare lichidă (N/m). Direcția de acțiune a câmpului electric va coincide cu direcția acțiunii forței de greutate. Realizarea DEI cu extragerea asperității conice. Deconectarea sursei de tensiune. Demontarea dispozitivului prin deșurubarea elementelor de fixare; Extragerea dispozitivului de fixare a electrozilor destinați cercetării emisiei termoelectronice.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Concluzii finale

Din analiza surselor bibliografice, a rezultatelor obținute de alți cercetători, cât și a celor proprii, concludem că:

În urma cercetărilor realizate și a rezultatelor obținute, pot fi formulate următoarele concluzii finale:

- în baza modelului fizic al fenomenului de electroeroziune și a completărilor acestuia propuse în capitolul III, paragraful 3.9, care are ca bază dezvoltarea undelor capilare pe suprafața metalului lichid sub acțiunea forțelor câmpului electric, tensiunii superficiale a metalului topit și forței de greutate, a fost demonstrată și confirmată posibilitatea extragerii și congelării asperităților conice de tip Taylor, din suprafețe metalice ale pieselor executate din wolfram de puritate tehnică, aliajele wolframului cu reniu (10 și 20 %), oțel 45 ș.a. [37];
- la finalul descărcării solitare, odată cu micșorarea intensității curentului, au loc procese de divizare a petelor electrodice „calde”, până la cele „reci” formate pe suprafețe fierbinți, care provoacă extragerea nanoasperităților din suprafața grăunților noi formați pe suprafața prelucrată prin solidificare [13, 15], iar în cazul repetării descărcărilor solitare, asperitățile extrase din suprafețe cresc în înălțime și se micșorează în diametru până la contopire (capitolul III, paragraful 3.7, subparagraful 3.7.4);
- mărimea interstițiului (S) și durata impulsului de descărcare (τ) influențează practic în același mod asupra mărimii înălțimii (h_m) și a diametrului bazei (d_m) asperităților conice extrase de pe suprafețele metalice, indiferent de compoziția materialului de execuție al pieselor, totuși vom constata, că ele sunt mult mai mari pentru piesele executate din wolfram de puritate tehnică, decât pentru aliajele wolframului cu reniu (10 sau 20%), fapt ce poate fi explicat prin temperatura mai înaltă de topire a wolfram de puritate tehnică în raport cu cea a aliajului wolfram-reniu (capitolul III, paragraful 3.8);
- pentru a extrage asperități conice din suprafețe metalice ale pieselor executate din wolfram de puritate tehnică, aliajele wolframului cu reniu (10 și 20 %), oțel 45 ș.a., este necesar de a respecta parametrii energetici de bază ce influențează geometria

acestora (capitolul III, paragraful 3.8): energia degajată în interstițiu (W_s), cu valori cuprinse în limitele a 0,072 până la 4,8 J; durata impulsului de descărcare (τ), de la 100 la 220 μ s; mărimea interstițiului (S), de la 0,1 la 0,4 mm și a lua în considerare proprietățile materialului de execuție a electrozilor-probe (densitatea, căldura specifică de topire, ș.a.);

- extragerea asperităților conice poate avea loc la mărimi ale interstițiului cuprinse de la 0,1 până la 0,35 mm, intervalul optim fiind de 0,16 – 0,3 mm, iar înălțimea asperităților pot atinge valori maxime de până la 0,15 mm, totuși nu se recomandă stabilirea interstițiului mai mic de 0,2 mm, cu scopul evitării micro-sudarii celor doi electrozi și evitării scurtcircuitării circuitului electric (capitolul III, paragraful 3.2) [13, 15];

- intensitatea curentului de emisie electronică, cât și puterea sunt funcții direct proporționale cu mărimea ariei active a suprafeței de emisie a electrodului catod, iar cea a curentului de emisie electronică de saturație este o mărime constantă [20] și nu depinde de diametrul catodului, dar crește considerabil mai repede pentru electrodul cu diametrul mai mic, dat fiind faptul, că acesta se încălzește mai repede (capitolul IV, paragraful 4.3, subparagraful 4.3.3) [38];

- sporirea ariei suprafeței active a termocatodului cu numai 0,01 – 0,02 mm², comparativ cu suprafața inițială totală a acestuia egală cu aproximativ 12 – 15 mm² (capitolul III, paragraful 3.8), influențează considerabil creșterea valorii intensității curentului de emisie termoelectronică (de la 16,5 mA la 26,5 mA), astfel prezența asperităților conice, extrase din suprafețe metalice ale termocatozilor, cu aplicarea DEI permit sporirea intensității curentului de emisie termoelectronică cu cca 10⁴ μ A, în raport cu termocatozii a căror suprafețe active nu au fost prelucrate prin această metodă [38].

Recomandări tehnologice

Analiza rezultatelor cercetărilor teoretice și experimentale obținute în teza de doctorat rezumă la următoarele recomandări: - în procesul de prelucrare a suprafețelor pentru asigurarea eficacității de extragere și congelare a asperităților conice, electrozii se vor poziționa astfel ca, direcția de acțiune a câmpului electric să coincidă cu direcția acțiunii forței de greutate; - piesa supusa prelucrării se va include în circuitul de descărcarea a generatorului de impulsuri de curent în calitate de anod; - la extragerea meniscurilor conice din suprafețe metalice se va ține cont de parametrii energetici, interstițiu (0,2 – 0,3 mm) și proprietățile termo-fizice ale materialului de execuție; - pentru a evita formarea oxizilor în suprafața prelucrată, procesul de prelucrare se va produce în mediu de gaz plasmogen inert (vacuum, argon ș.a.) sau se va realiza dezoxidarea suprafeței prelucrate cu aplicarea DEI; - în vederea sporirii mărimii intensității curentului de termoemisie este necesară vacuumarea înaltă a camerei pentru încercări ($\leq 10^{-5}$ mbar) și crearea unei diferențe de potențial între electrozi de cel puțin 1000 V (cel mult 1,5 KV); - pentru a asigura o emisie termoelectronică cât mai efektivă se va ține cont de proprietățile materialului de execuție a catodului, aria suprafeței active de emisie și temperatura de încălzire a lui.

BIBLIOGRAFIE

1. BOLUNDUȚ, Ioan-Lucian. *Materiale și tehnologii neconvenționale*. Chișinău: Tehnica-Info, 2012. 229 p. ISBN 978-9975-63-334-5.
2. MOHAMMED, A., ABDULLAH, A. *Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review*. In: Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics – HERVEX, November 7 – 9, Băile Govora, Romania, 2019, 9 p. ISSN 1454-8003. <https://www.researchgate.net/publication/330169176>.
3. ROTARU, N., MALÎGA, O., CODREANU, I. *Radiologie și radioprotecție*. Poligrafic Medicina, Chișinău, 2020. 242 p. ISBN 978-9975-82-177-3.
4. SLĂTINEANU, L. *Tehnologii neconvenționale în construcția de mașini*. Chișinău: Tehnica-Info, 2000. 252 p. ISBN 9975-910-99-8.
5. TOPALĂ, P., RUSNAC, V., GUZGAN, D., OJEGOV, A., MELNIC, V., BALANDIN, A. *Cercetări experimentale privind obținerea peliculelor de oxizi pe suprafețe semiconductoare cu aplicarea plasmiei*. Materialele Colloquia Professorum, 10.10.2014. Tradiție și inovare în cercetare științifică, ed. a V-a, Bălți, 2015. p. 212 – 217. ISBN 978-9975-50-144-6.
6. OJEGOV, A. *Obținerea peliculelor subțiri de oxizi pe suprafețele metalice ale aliajelor de fier, cupru, aluminiu și titan, cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls*. Autoreferatul tezei de doctor în tehnică. Tehnica UTM, Chișinău, 2014. 30 p.
7. TOPALĂ, P., MELNIC, V., **GUZGAN, D.** *Formarea peliculelor de oxizi pe suprafața siliciului cu aplicarea plasmiei descărcărilor electrice în impuls de acțiune indirectă*. Simpozionul „Realizări și perspective în inginerie agrară și transport auto”, 12 – 13 noiembrie. Lucrări Științifice, Vol. 45. Chișinău, 2015, p. 249 – 252. ISBN 978-9975-64-276-7. https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/74501.
8. MARIN, L., TOPALĂ, P., STOICEV, P., BESLIU, V., OJEGOV, A., PÎNZARU, N., **GUZGAN, D.**, PLATON, A. *Influenta parametrilor tehnologici – tensiune, cantitate de electricitate - la generarea formațiunilor spațiale alcătuite din atomi de carbon de tipul fullerenelor, la aplicarea DEI*. Revista Meridian Ingineresc, nr. 1 (64). Editura Tehnica UTM. 2017. p. 30 – 35. ISSN 1683-853X. https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/53571.
9. MARIN, L. *Cercetări privind omiterea efectelor de priză dintre suprafețele metalice și nemetalice prin intermediul peliculelor de grafit*. Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești. Tehnica UTM. Chișinău, 2022. 34 p.
10. TOPALĂ, P., STOICEV, P. *Tehnologii de prelucrare a materialelor conductibile cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls*. Chișinău: Tehnica-Info, 2008. 265 p. ISBN 978-9975-910-61-3.
11. TOPALĂ, P., BEȘLIU, V., RUSNAC, V., **GUZGAN, D.**, PLEȘCO, I. *Obtaining surfaces with taylor cone shaped asperities of micro- and nano-scale dimensions using the EDI method*. IJMMT, Vol. VI, nr. 2/2014, ModTech Publishing House, Romania, 2014, pp. 91 – 96. ISSN: 2067-3604.
12. СМІРНОВ, А., ХВОЩАН, О., ЖЕКУЛ, В. *Эрозия электрода при высоковольтном электрическом разряде в жидкости*. Электронная обработка материалов, 58 (3), 2022. с. 21 – 33. ISSN 0013-5739. DOI: <https://doi.org/10.52577/eom.2022.58.3.21>.
13. TOPALĂ, P., **GUZGAN, D.**, PLEȘCO, I. *Conditions of formation of Taylor cone shaped asperities on metal surfaces by the action of pulsed electric discharge machining*. AIP Conference Proceedings 2075, 060013 (2019), DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5091191>. ISBN: 978-0-7354-1803-5. https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/130868. IF: 0.43.
14. RUSNAC, V. *Modificarea microgeometriei suprafețelor pieselor la formarea straturilor de depunere prin metoda electroeroziunii*. Rezumatul tezei de doctor. Galați, România. 2008. 56 p.

15. TOPALĂ, P., **GUZGAN, D.**, PLESCO, I. *Increasing the surface thermo-emission by the formation of asperities of Taylor cone type*. In. NAITO, M., BUCHACZ, A., BAIER, A., TOPALA, P., NEDELCU, D. *Research and Innovation in Advanced Engineering Materials*. ModTech Publishing House. 2019. pp. 159 – 184. ISBN 978-606-93704-5-2.
16. TOPALA, P., HIRBU, A., OJEGOV, A. *Acțiunea plasmei descărcărilor electrice asupra suprafețelor metalice*. Fizica și tehnologiile moderne, vol. 10, nr. 1-2, 2012. p. 13 – 21. ISSN 1810-6498. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/j_nr_file/vol10_2012.pdf.
17. МЕСЯЦ, Г. *Эткон – лавина электронов из металла*. Обзор актуальных проблем. Успехи физических наук. Том 165, №. 6, 1995. с. 601 – 626. Web of Science A1995RL93800001. DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.0165.199506a.0601>.
18. TOPALA, P., **GUZGAN, D.**, RUSNAC, V. *Tehnologii de formare a suprafețelor pentru emisie electronică*. Lucrări științifice: Inginerie agrară și transport auto. Vol. 38. UASM, Chișinău, 2013, p. 196 – 201. ISBN 978-9975-64-251-4.
19. TOPALA, P., RUSNAC, V., GUZGAN, D. *Formation of Taylor conic meniscuses on cylindrical surfaces by applying electric discharges in pulse*. Advanced Materials Research Vol. 1036, Trans Tech Publications, Switzerland, 2014, pp. 178 – 183. ISSN 1662-8985. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1036.178.
20. **GUZGAN, D.** *Conferirea unei micro-geometriei prescrise a suprafețelor metalice în scopul sporirii intensității curentului de emisie termo-electronică*. Materialele Conferinței Știința și inovarea în nordul R. Moldova: Probleme, realizări, perspective, 25 – 26 septembrie, Filiala Bălți a AȘM. Indigou Color. 2015. p. 21 – 23. ISBN 978-9975-3054-5-7.
21. БАЛАН, Н., ИВАШОВ, Е., ЛУЧНИКОВ, П., НЕВСКИЙ, А. *Острые эмиттеры электронов микроприборов и конструктивно-технологические особенности их изготовления*. Вестник науки Сибири: Серия Инженерные науки, № 3 (4). 2012. с. 89 – 98. ISSN 2226-0064.
22. МЕСЯЦ, Г. *Взрывная электронная эмиссия: монография*. Физматлит, Москва, 2011. 280 с. ISBN 978-5-94052-207-2.
23. ZHANG, J., CAI, G., LIU, X., HE, B., WANG, W. *Molecular dynamics simulation of ionic liquid electrospray: Revealing the effects of interaction potential models*. Acta Astronautica, Vol. 179, 2021. pp. 581 – 593. ISSN 0094-5765.
24. TOPALA, P. *Studiul fundamental și aplicativ al efectelor electroerozive în tehnologiile neconvenționale*. Autoreferat al tezei de doctor habilitat în tehnică. Tehnica UTM. Chișinău. 2008. 51 p.
25. TOPALA, P., OJEGOV, A., BEȘLIU, V., STOICEV, P. *Tehnologii moderne și inovații în inginerie. Note de curs*. Indigou Color, Bălți, 2017, 217 p. ISBN 978-9975-9904-4-8.
26. DETLAV, A., IAVORSKI, B. *Curs de fizică*. Chișinău: Lumina, 1991. 606 p. ISBN 5-372-00755-9.
27. TOPALA, P., KANTSER, V., HIRBU, A. *Theoretical and experimental study of mechanisms governing the occurrence of electric discharges in gases*. Moldavian Journal of the Physical Sciences, Vol. 14, No. 3-4, Chisinau, 2015, pp. 221 – 230, ISSN 1810-648X.
28. САУШКИН, Б. *Электрический разряд в жидких и газовых средах – основа нового поколения методов и технологий машиностроительного производства*. Электронная обработка материалов, № 1, 2004. с. 4 – 17. ISSN 0013-5739.
29. TRUCCHI, D., MELOSH, N. *Electron-emission materials: Advances, applications, and models*. Materials Research Society (MRS) Bulletin, Vol. 42, Springer, 10 JULY, 2017. pp. 488 – 492. ISSN: 0883-7694. DOI: <https://doi.org/10.1557/mrs.2017.142>.
30. RUSNAC, V. *Distribuția temperaturii în piesa de lucru la aplicarea descărcărilor electrice în impuls*. Fizică și tehnică: procese, modele, experimente. Nr. 2. 2008. p. 53 – 56. ISSN 1857-0437.

31. PÎNZARU, N. *Cercetări privind conceperea, proiectarea și elaborarea „electrozilor-scule” pentru formarea straturilor de suprafață cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls*. Autoreferatul tezei de doctor în tehnică. Tehnica UTM. Chișinău, 2020. 26 p.
32. HÎRBU, A. *Procese de excitare și relaxare a moleculelor în medii gazoase*. Autoreferatul tezei de doctor în fizică. Academia de Științe a Moldovei. Chișinău, 2016. 34 p.
33. GINZEL, J., BEHRENS, A., WULFSBERG, J. *Technology development for EDM using statistical analysis of arc information*. 14-th International Symposium on Electromachining, 10 Iunie 2004, JMPT, pp. 232 – 237. ISSN 0924-0136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2003.10.039>.
34. КРАСНОВА, Е., МОРГУНОВ, Ю., САУШКИН, Б. *Статистическое исследование шероховатости поверхности изделий из Ti-6Al-4V, построенных методом селективного электронно-лучевого плавления*. Электронная обработка материалов, 58 (6), 2022. с. 1 – 12. ISSN 0013-5739. DOI: <https://doi.org/10.52577/eom.2022.58.6.01>.
35. САПРОНОВА, Т., УЛЬЯНОВ, К. *Теория высоковольтного тлеющего разряда с учетом термоэмиссии электронов*. Теплофизика Высоких Температур, том 57, № 3, 2019. с. 323–327. ISSN 0040-3644. DOI: 10.1134/S0040364419030153.
36. TOPALA, P., RUSNAC, V., **GUZGAN, D.** *Formation of Taylor conic meniscuses on cylindrical surfaces by applying electric discharges in pulse*. Advanced Materials Research Vol. 1036, Trans Tech Publications, Switzerland, 2014, pp. 178 – 183. ISSN 1662-8985. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1036.178>.
37. **GUZGAN, D.** *The results on metal surface micro geometry modification by applying electric discharges in impulse*. Proceedings of the 1st international conference for doctoral students IPC 2013. ACTA Universitatis Cibiniensis – Technical Series. Vol LXV, 2014., “Lucian Blaga” University of Sibiu, pp. 32 – 38. ISSN 2668-6449. DOI: <https://doi.org/10.1515/aucts-2015-0006>.
38. TOPALA, P., **GUZGAN, D.**, OJEGOV, A. *Increasing the energy efficiency of thermocathodes operation*. GJRA, Vol. 10, India, 2021, pp. 164 – 168. ISSN 2277–8160. DOI: <https://www.doi.org/10.36106/gjra/4914740>. IF: 5,956.
39. TIGINYANU, I., TOPALA, P., URSAKI, V. *Nanostructures and Thin Films for Multifunctional Applications*. Technology, Properties and Devices. Springer, 2016. 576 p. ISBN 978-3-319-30197-6.
40. TOPALA, P., OJEGOV, A., HIRBU, A., BESLIU, V., **GUZGAN, D.** *Physical and chemical phenomena at the interaction of EDI plasma with electrodes surfaces*. AIP Conference Proceedings 2075, 060012 (2019), DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5091190>. ISBN: 978-0-7354-1803-5. https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/176573. IF: 0.43.
41. TOPALĂ, P., OJEGOV, A., BEȘLIU, V., RUSNAC, V., **GUZGAN, D.**, HIRBU, A., PLESCO, I. *Oxidation of Taylor cone-shaped asperities by application of plasma in normal condition*. Nonconventional Technologies Review. Vol. 19, Nr. 2, Editura Politehnica, Timisoara, Romania, 2015. pp. 56 – 61. ISSN 2359-8646. http://dspace.usarb.md:8080/jspui/bitstream/123456789/3167/1/Topala_oxidation.pdf.
42. TOPALA, P., **GUZGAN, D.**, RUSNAC, V. *Cercetări experimentale privind modificarea geometriei suprafețelor pieselor metalice*. Colocviul „Tradiție și inovare în cercetarea științifică”, 18 octombrie 2013, Ediția 4, USARB, Bălți, 2014. p. 250 – 255. ISBN 978-9975-50-136-1. https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/99302.
43. TOPALA, P., RUSNAC, V., **GUZGAN, D.** *Analiza morfologiei suprafețelor pentru emisie electronică obținute în urma prelucrării cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls*. Colocviul „Tradiție și inovare în cercetarea științifică”, 18.10.2013, Ediția 4, USARB, Bălți, 2014. p. 255 – 259. ISBN 978-9975-50-136-1. https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/99303.

ADNOTARE

Guzgan Dorin, „Cercetări privind sporirea capacității de emisie termoelectronică a suprafețelor metalice prin metoda electroeroziunii”.

Teză de doctor în științe inginerești, Bălți, 2023

- **Structura tezei:** introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 166 de titluri, 9 anexe, 149 de pagini de text de bază (până la Bibliografie), 81 de figuri, 19 tabele, rezultatele obținute sunt publicate în 62 de lucrări științifice;

- **Cuvinte-cheie:** eroziune, impuls, interstițiu, microgeometrie, electrod, catod, vacuum, emisie;

- **Scopul lucrării** constă în stabilirea legăturilor și factorilor tehnologici de realizare a geometriei prescrise a suprafețelor metalice în vederea sporirii eficienței de termoemisie a catodilor în baza modelului fizic actualizat al fenomenului electroeroziunii.

- **Obiectivele cercetării:** analiza literaturii de specialitate, privind problema cercetării; stabilirea parametrilor tehnologici de extragere a asperităților sub forma de con Taylor din suprafețele probelor metalice și sistematizarea rezultatelor obținute; cercetarea experimentală a emisie termoelectronice în lipsa și prezența asperităților de tip con Taylor pe suprafețele termocatozilor; propunerea soluțiilor de îmbunătățire a proprietăților funcționale ale catodilor utilizați în electronică.

- **Noutatea și originalitatea științifică:** sporirea eficienței de emisie electronică a termocatozilor simpli executați din wolfram de puritate tehnică sau aliajele wolframului cu reniu (10 și respectiv 20%) pe baza modificării microgeometriei suprafețelor;

- **Rezultatele obținute care contribuie la soluționarea unei probleme științifice importante:** Perfecționarea tabloului fizic al fenomenelor ce se produc în cadrul descărcărilor electrice și influența acestora asupra transformărilor fizice și de compoziție din suprafețele electrozilor și determinarea coeficientului de multiplicare a emisie termoelectronice de către suprafețele catodilor, în baza fenomenologiei fizice și transformărilor structurale provocate de DEI.

- **Semnificația teoretică** este asigurată de stabilirea legăturilor de formare a asperităților sub acțiunea DEI; dezvoltarea teoriei, privind modificarea microgeometriei suprafețele și a multiplicării emisie termoelectronice a catodilor cercetați;

- **Valoarea aplicativă** constă în identificarea parametrilor de bază privind extragerea meniscurilor conici pe suprafețele metalice cu aplicarea DEI (energiei și duratei impulsului de descărcare, mărimii interstițiului și proprietăților materialului de execuție a piesei supuse prelucrării);

- **Implementarea rezultatelor științifice:** au fost realizate lucrări de laborator la ciclul II, în cadrul Catedrei de științe fizice și inginerești, Facultatea Științe Reale, Economice și ale Mediului, Universitatea de Stat „Alecu Russo” din Bălți.

АННОТАЦИЯ

Гузган Дорин, "Исследования по увеличению способности термоэлектронной эмиссии металлических поверхностей методом электроэрозионной обработки",

Докторская диссертация инженерных наук, Бельцы, 2023 г.

- **Структура диссертации:** введение, четыре главы, общие выводы и рекомендации, библиография из 166 наименований, 9 приложений, 149 страница основного текста (до библиографии), 81 рисунка, 19 таблиц, полученные результаты опубликованы в 62 научных работах;

- **Ключевые слова:** эрозия, импульс, межэлектродный промежуток, микрогеометрия, электрод, катод, вакуум, эмиссия;

- **Цель работы** состоит в установление закономерностей и технологических параметров получения заданной геометрии металлических поверхностей с целью повышения термоэмиссионной эффективности катодов на основе обновленной физической модели электрической эрозии

- **Задачи исследования:** анализ литературы по специальности относительно проблемы исследования; установление технологических параметров получения неровностей в виде конуса Тейлора на поверхности металлических образцов и систематизация полученных результатов; экспериментальное исследование термоэлектронной эмиссии при отсутствии и в наличии конусов Тейлора на поверхности термокатодов; предложение решений по улучшению функциональных свойств катодов, используемых в электронике.

- **Научная новизна и оригинальность:** повышение эффективности электронной эмиссии термокатодов из вольфрама и его сплавов с рением (10 и 20% соответственно) на основе изменения микрогеометрии поверхности;

- **Полученные результаты, способствующие решению основной научной задачи:** Совершенствование физической модели явлений, происходящих при электрических разрядах и их влияния на физические превращения и изменения состава поверхности электродов; определение коэффициента усиления термоэлектронной эмиссии поверхности катода согласно физической модели и структурных превращений, вызванных ЭИР.

- **Теоретическая значимость** обеспечивается установлением закономерностей образования неровностей под действием ЭИР; разработка теории изменения микрогеометрии поверхности и увеличения электронной эмиссии катодов;

- **Прикладное значение** состоит в определении основных параметров получения конических менисков на металлической поверхности с применением ЭИР (энергии и длительности импульса разряда, размера межэлектродного промежутка и свойств материала обрабатываемой детали);

- **Внедрение научных результатов:** проведены лабораторные работы для студентов магистерского цикла кафедры физико-технических наук в составе Бельцкого Государственного Университета им. Алеку Руссо.

ANNOTATION

Guzgan Dorin, "Research on increasing the capacity of thermal electron emission of metal surfaces by electroerosive method". PhD thesis in Engineering Sciences, Balti, 2023

- **Structure of the thesis:** introduction, four chapters, general conclusions and recommendations, bibliography of 166 titles, 9 appendices, 149 pages of main text (before bibliography), 81 figures, 19 tables, results are published in 62 scientific papers;

- **Key words:** erosion, impulse, gap, microgeometry, electrode, cathode, vacuum, emission;

- **The purpose of the paper** is to establish regularities and technological parameters for obtaining a given geometry of metal surfaces in order to increase the thermo-emission efficiency of cathodes based on an updated physical model of electroerosion.

- **Research objectives:** analysis of specialty literature regarding the research problem; establishing technological parameters for obtaining Taylor cone shaped irregularities on the surface of metal samples and systematizing the obtained results; experimental study of thermoelectronic emission in the absence and in the presence of Taylor cones on the surface of thermoemission cathodes; proposal of solutions to improve the functional properties of cathodes used in electronics.

- **Scientific novelty and originality:** increasing the efficiency of electron emission of thermo-cathodes made of tungsten and its alloys with rhenium (10 and 20% respectively) based on changing the surface microgeometry;

- **The obtained results, contributing to the solution of the main scientific problem:** Perfecting the physical model of the phenomena occurring during electrical discharges and their influence on physical transformations and changes in the composition of the electrode surface; determining the amplification factor of the thermoelectronic emission of the cathode surface according to the physical model and structural transformations caused by pulsed electric discharge machining (PEDM).

- **The theoretical significance** is provided by the establishment of patterns of formation of irregularities under the action of PEDM; development of the theory of changing the surface microgeometry and increasing the electron emission of cathodes;

- **Applied value** consists in determining the main parameters for obtaining conical meniscuses on metal surfaces by applying PEDM (the energy and the duration of the discharge pulse, the size of the gap and the properties of the workpiece material);

- **Implementation of scientific results:** laboratory work was carried out for students of the master's cycle at the Department of Technical and Physical Sciences from the ARBSU.

GUZGAN DORIN

**CERCETĂRI PRIVIND SPORIREA CAPACITĂȚII DE
EMISIE TERMOELECTRONICĂ A SUPRAFEȚELOR
METALICE PRIN METODA ELECTROEROZIUNII**

Specialitatea: 242.05 Tehnologii, procedee și utilaje de prelucrare

Rezumatul tezei de doctor în științe ingineresti

Aprobat spre tipar: 26.01.2024

Hârtie: ofset. Tipar: RISO

Coli de tipar: 2,25

Formatul hârtiei: 60x84 1/16

Tiraj: 50 exemplare

Comanda nr. 26

MD 2004, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 168, UTM MD 2004,
Chișinău, str. Studenților, 9/9, Editura „Tehnica-UTM”