

APLICAREA DESCĂRCĂRILOR ELECTRICE ÎN IMPULS ÎN MICRO- ȘI NANO-TEHNOLOGII

Pavel TOPALĂ¹, Ion TIGHINEANU², Petru STOICEV³

¹Universitatea de Stat „Aleu Russo” din Bălți, R. Moldova,

²Academia de Științe a Moldovei, Chișinău, R. Moldova,

³Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, R. Moldova,

REZUMAT. Lucrarea de față cuprinde rezultatele unor investigații teoretice și experimentale asupra fenomenelor care au loc la interacțiunea descărcărilor electrice în impuls cu suprafețele electrozilor. Pe baza acestor rezultate autorul demonstrează posibilitatea de a utiliza descărcări electrice în impuls pentru modificarea micro-geometriei suprafețelor pieselor, compoziția și micro și nano-oxidarea lor fiind în funcție de condițiile de funcționare impuse.

Cuvinte cheie: descărcări electrice în impuls, micro-geometrie, oxidare.

ABSTRACT. The present paper contains the results of some theoretical and experimental investigations on phenomena that take place at the interaction of electrical discharges in impulse with the surfaces of electrodes. Based on these results the author demonstrates the possibility of applying electrical discharges in impulse at modifying the micro-geometry of piece surfaces, their cementing and micro- and nano-oxidation depending on the imposed conditions of functioning.

Keywords: electrical discharges in impulse, micro-geometry, oxidation.

1. INTRODUCERE

Descărcările electrice în impuls (DEI) și-au găsit o aplicabilitate tehnologică în domeniul prelucrărilor dimensionale prin electroeroziune [1], de depunere din materiale compacte [3] și pulberi [3], prelucrarea termică și chimico-termică a suprafețelor [3, 7], rectificarea suprafețelor [1, 2], curățarea suprafețelor de impurități [3] etc.

Modificarea micro, nano-geometriei suprafețelor cât și a compoziției chimice a suprafețelor prezintă una din problemele cele mai actuale ale tehnologiilor moderne. Suprafața care poate fi descrisă cu relativă matematică în cele mai frecvente cazuri este una rectilinie curbilinie sau combinații ale acestora și care, după caracteristici, tinde spre o suprafață ideală. În cazul suprafețelor reale, caracterul lor, aria și compoziția ei, îi imprimă acesteia și noi proprietăți de exploatare. Aria suprafeței reale contribuie la modificarea caracterului de interacțiune a acesteia cu mediul înconjurător și cu alte suprafețe active ale pieselor cu care piesa formează cupluri (pentru piesele aplicate în construcția de mașini). În cazul suprafețelor radiante (de căldură, unde, câmpuri electrice

și magnetice) sau celor absorbante de diferite tipuri de radiație (receptoare de radiație termică, undelor de lumină, radiațiilor electromagnetice etc.) atât geometria, aria suprafețelor active, cât compoziția chimică a acestora joacă un rol decisiv asupra funcționalității lor. În cele ce urmează sunt prezentate rezultatele cercetărilor experimentale privind extragerea din suprafețele pieselor metalice a asperităților sub formă de con Taylor de anumite dimensiuni și cu o distribuție prescrisă pe suprafețele pieselor metalice prin metoda descărcărilor electrice în impuls (DEI) și modificarea compoziției chimice a suprafeței formate la prelucrare

2. METODICA CERCETĂRILOR

Pentru efectuarea cercetărilor a fost utilizată instalația specială care este alcătuită din următoarele părți principale: generatorul de impulsuri de tipul –RC, blocul de amorsare, blocul de comandă.

Pentru realizarea cercetărilor se preparau probe de formă cilindrică sau plană din aliajul wolframului cu reniu, cu proprietățile prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

Proprietățile materialelor utilizate în procesul cercetărilor experimentale

Materialul	Temperatura de topire (°C)	Duritatea (HB)	Densitatea (kg/m ³ ·10 ⁻³)	Capacitatea termică specifică (cal/(g grad))
W + 10% Re	3180	200	21,02	0,0326

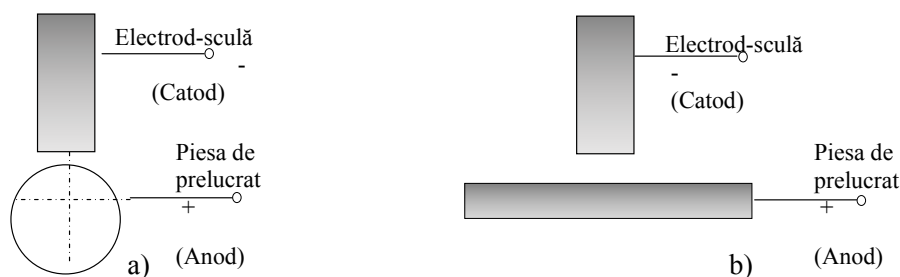


Fig. 1. Scheme de poziționare a electrozilor utilizate în procesul cercetărilor experimentale și conectarea acestora în circuitul de descărcare al generatorului de impulsuri de putere: a – cazul piesei cilindrice; b – cazul piesei plane.

Pentru cercetările experimentale privind extragerea conurilor Taylor pe suprafața cilindrică cu aplicarea DEI a fost utilizată perechea de electrozi: piesa-fir din materialul utilizat și electrodul-sculă din același material cu formă de bară cilindrică.

Electrozii prelucrați prealabil după metoda descrisă mai sus, se prindeau în elementele de poziționare ale dispozitivului de fixare. Apoi, electrozii se apropiau manual unul de altul, până la contactul acestora, și era selectată mărimea interstițiului.

În figura 1 sunt prezentate scheme de poziționare a electrozilor utilizate în procesul cercetărilor experimentale și conectarea acestora în circuitul de descărcare al generatorului de impulsuri.

Pentru cercetări experimentale privind extragerea asperităților conurilor Taylor pe suprafața plană cu aplicarea DEI a fost utilizată perechea de electrozi: piesă-placă din W + 10% Re cu suprafața de prelucrare plană și electrodul-sculă executat din același material (1 b).

Pe parcursul cercetărilor au fost obținute conurile Taylor la încărcarea bateriei generatorului la valori 50-100 V (regimul optim 60 V), 200 μF și 600 μF pentru grosimea electrozilor 0,2 mm, 0,25 mm, 0,4 mm și 4 mm executate din același material W + 10%Re și interstițiu între ei $S = 0,2$ mm (regimul optim) sau $S = 0,3$ mm.

Capacitatea bateriei de condensatoare se modifică în trepte (cu pasul de 100 μF) în limitele de 100 – 600 μF pentru anumite valori ale tensiunii de încărcare a bateriei de condensatoare. Aceste valori ale tensiunii, pentru cazuri aparte constituiau 60 V, 80 V, 100 V, 120 V, 150 V și 200 V.

Pentru determinarea influenței duratei impulsului asupra geometriei conurilor Taylor în procesul DEI, se modifica energia acumulată pe bateria de condensatoare menținând constantă durata impulsului. Cercetările se efectuau pentru mai multe valori ale duratei impulsului de descărcare și anume: 100 μs, 125 μs, 160 μs, 180 μs, 200 μs și 220 μs. Încercările se repetau nu mai puțin de 5 ori în scopul obținerii unor rezultate precise.

În calitate de electrozi se utiliza sârmă din wolfram + Re10% cu diametrul $d = 2$ mm. Descărcările electrice aveau loc în sistemul de electrozi confecțio-

nați din același material și situați perpendicular unul față de altul cu un interstițiu $S = 0,3$ mm, așa cum este prezentat în figura 2. Pentru toate cazurile anodul se poziționa vertical în poziția de sus.

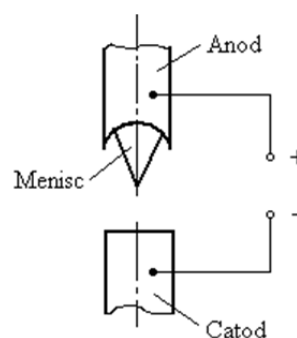


Fig. 2. Schema de poziționare a electrozilor în procesul cercetărilor experimentale.

3. REZULTATELE CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE ȘI INTERPRETĂRI

În lucrările realizate anterior [6, 9] a fost stabilit că, pentru a obține suprafețe cu asperități sub formă de conuri Taylor este necesară apariția fazei lichide pe suprafața prelucrată, extragerea asperității și congelarea ei (solidificarea ultrarapidă a materialului în formă de asperitate). Cercetările experimentale demonstrează că pentru realizarea tehnologiei de modificare a micro-geometriei suprafețelor cu extragerea asperităților sub formă de conuri Taylor este necesară satisfacerea următoarelor condiții:

- asigurarea topirii locale a piesei determinată cu relația:

$$Q = \frac{4W}{\pi d_c^2 S} \geq Q_{top}, \quad (1)$$

în care: Q este cantitatea de căldură degajată în canalul de plasmă în timpul DEI; W – energia degajată în canalul de plasmă; d_c – diametrul mediu al craterului cu fază lichidă pe suprafața catodului; S – mărimea interstițiului între electrozi; Q_{top} – densitatea volumetrică de topire a materialului piesei și se determină după relația $Q_{top} = q_{top} \cdot \rho$; $q_{top} \cdot \rho$ sunt

respectiv căldura specifică de topire și densitatea materialului piesei;

• în interstițiu se va crea un câmp electric cu intensitatea de cca. 10^8 V/m [4 -14];

$$E_{cr} = \sqrt[4]{64\pi^2\rho g\gamma \cdot 3 \cdot 10^4}, \quad (2)$$

în care: E_{cr} este intensitatea critică a câmpului electric; ρ – densitatea metalului; g – accelerația căderii libere; γ – tensiunea superficială a materialului în stare lichidă.

Direcția de acțiune a câmpului electric va coincide cu direcția acțiunii forței de greutate.

Aplicarea aparatului contemporan de cercetare (SEM) a permis a stabili că, suprafața laterală a asperităților formate este una complicată și prezintă

ondulații de ordin micro- și nano-metric (vezi fig. 3). Aceste ondulații posibil sunt cauzate de variația curentului în descărcarea electrică.

Este normal a pune întrebarea: „Care sunt cauzele apariției ondulațiilor pe suprafața laterală a conurilor Taylor?”. Răspunsul la această întrebare poate fi argumentat dacă se ține cont de faptul că, descărcarea electrică este policanală, petele electrodeice se nasc și mor iar curentul electric în impuls poartă un caracter variabil în timp cu întreruperi de ordinul nanosecundelor. Aceste fenomene pot cauza apariția undelor capilare transversale. Undele capilare transversale sunt de fapt și cauza ruperii picăturilor de pe aceste asperități. În favoarea acestei afirmații indică formarea unei suprafețe plane la vârful asperității în cazul ruperii picăturii (fig. 4).

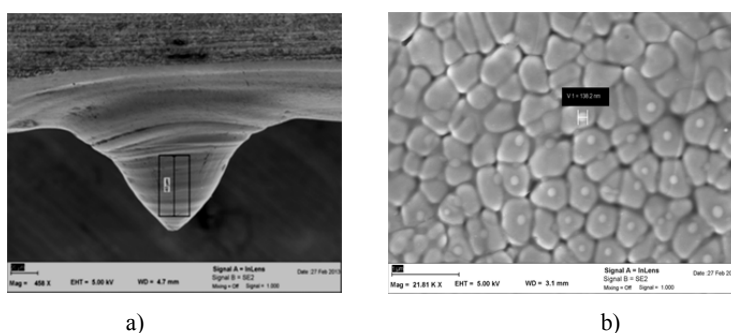


Fig. 3. Morfologia suprafeței asperităților de tip con Taylor:

a – imagine obținută prin metoda SEM; b – determinarea lungimii de undă medii pentru unda transversală.



Fig. 4. Vedere generală a suprafeței plane la vârful asperității în cazul ruperii picăturii.

În funcție de mediul de lucru din interstițiu în suprafața asperităților pot fi sintetizate faze ce conțin oxigen, azot, hidrogen și carbon la adâncimi nano-metrice [15], care la rândul lor modifică proprietățile funcționale a catozilor aplicați la termo-emisiune electronică (fig. 5, 6 și 7).

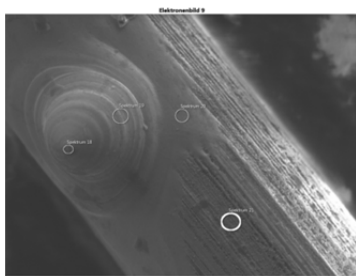
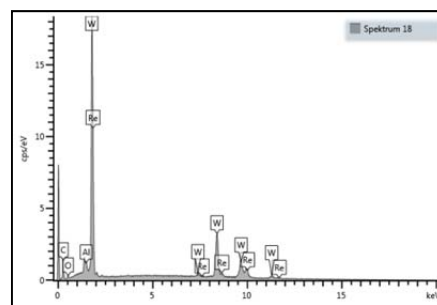
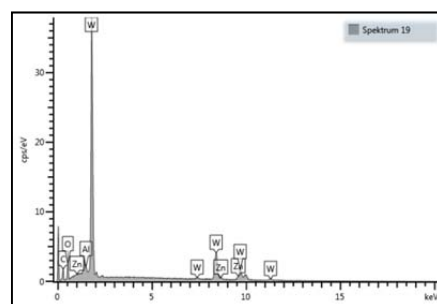


Fig. 5. Zonele de analiză EDX pe suprafața probei cilindrice prelucrate.

Rezultatele grafice și tabelare de mai jos ne permit a vorbi despre conținutul chimic a materialului catodului în diferite puncte inclusiv despre materialul din care este format meniscul conic.



a)



b)

Fig. 6. Difractograma EDX a zonelor probei prelucrate: a – în vârful meniscului; b – la baza meniscului.

Tabelul 2

Conținutul chimic în vârful menisculului conic

Elements	Apparent concentration	Apparent concentration	% by mass	Mass% Sigma	The default name	Elements
O	K_series	3.08	0.01037	2.67	0.29	SiO2
Al	K_series	2.20	0.01579	1.02	0.08	Al2O3
W	M_series	158.94	1.58944	91.94	0.66	W
Re	M_series	6.52	0.06519	4.37	0.62	Re
Totals:				100.00		

Tabelul 3

Conținutul chimic la baza menisculului conic

Elements	Apparent concentration	Apparent concentration	% by mass	Mass% Sigma	The default name	Elements
O	K_series	29.85	0.10046	10.74	0.34	SiO2
Al	K_series	1.76	0.01263	0.39	0.07	Al2O3
Zn	K_series	7.50	0.07497	1.65	0.30	Zn
W	M_series	325.51	3.25509	87.22	0.43	W
Totals:				100.00		

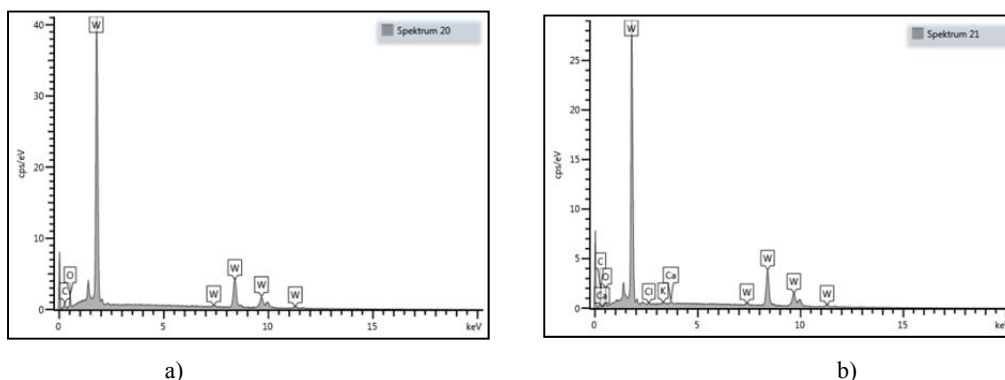


Fig. 7. Difractograma EDX a zonelor probei prelucrate: a – în apropierea craterului; b – un punct arbitrar pe suprafața catodului.

Tabelul 4

Conținutul chimic a materialului catodului din Wolfram în apropierea craterului

Elements	Apparent concentration	Apparent concentration	% by mass	Mass% Sigma	The default name	Elements
O	K_series	22.59	0.07601	8.27	0.34	SiO2
W	M_series	356.68	3.56680	91.73	0.34	W
Totals:				100.00		

Tabelul 5

Conținutul chimic al materialului catodului din Wolfram

Elements	Apparent concentration	Apparent concentration	% by mass	Mass% Sigma	The default name	Elements
O	K_series	26.33	0.08859	12.31	0.35	SiO2
Cl	K_series	0.60	0.00528	0.31	0.08	NaCl
K	K_series	0.90	0.00764	0.34	0.08	KBr
Ca	K_series	1.64	0.01463	0.57	0.08	Wollastonite
W	M_series	254.08	2.54076	86.47	0.37	W
Totals:				100.00		

Din datele prezentate în tabelele 2-5 și figurile 5 a,b - 6 a,b putem constata că, cea mai mare cantitate de oxigen se dizolvă în materialul piesei la baza me-

niscului și la marginea craterului, loc în care se întrunesc condițiile favorabile pentru aceasta (acțiunea plasmei 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 congelarea metalului topit are loc cu viteze de ordinul 10^6 K/s).

Pentru cazul prelucrării suprafețelor în regim de tratare chimico-termică cu aplicarea DEI [5, 15], au loc procese de difuziune și modificare a compoziției chimice la adâncimi cuprinse în limitele 0- 230 nm. Este important a menționa că, în aceste condiții de prelucrare în afara elementelor tradiționale ce intră în compoziția aliajului de execuție a probei se atestă și elemente improprie. Astfel pentru difractograma prezentată în figura 6 se atestă apariția lantanului. Acest fapt a fost atestat pe mai multe probe. Dacă se

ține cont de faptul că temperatura la interfață probă-plasmă este de ordinul 10^4 K (comparabilă cu temperatura suprafeței soarelui) am pute presupune că, în aceste condiții de prelucrare se produc și reacții de sinteză la nivel de nucleu al elementelor chimice, fapt ce necesită cercetări suplimentare.

Tabelul 6

Conținutul chimic al zonei probei plane prelucrate

Element	Weight%	Atomic%
C K	3.00	22.71
O K	2.67	15.18
Fe K	13.25	21.59
La L	2.48	1.62
W M	78.61	38.90
Totals:	100.00	

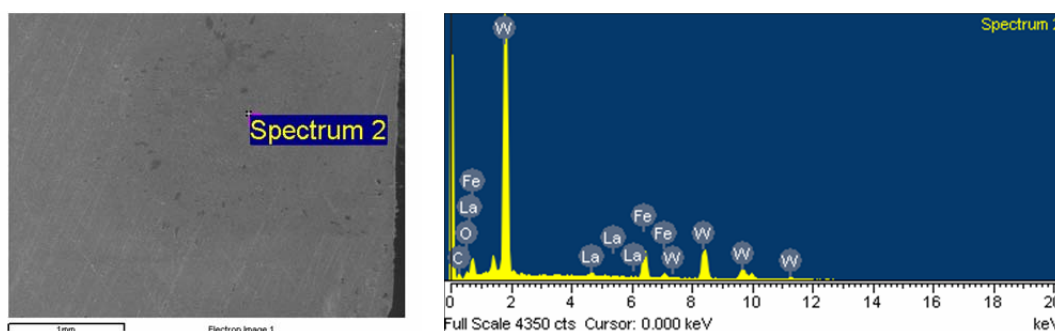


Fig. 6. Zona de analiză și difractograma EDX a suprafeței probei plane prelucrate.

4. CONCLUZII

- Modificarea micro- și nano-geometriei suprafețelor permite sporirea ariei ei de câteva ori;
- Cantitatea de oxigen dizolvată în stratul de suprafață al pieselor metalice sub acțiunea canalului de plasmă al descărcărilor electrice în impuls este funcție de compoziția chimică a aliajului de execuție al probei și regimul energetic de prelucrare;
- Influența descărcărilor electrice în impuls asupra micro- și nano-geometriei suprafeței piesei este mai evidentă atunci ea este cuplată în circuitul de descărcare în calitate de anod.

BILIOGRAFIE

- [1] Laurențiu Slătineanu, Gheorghe Nagiț, Oana Dodun, Margareta Coteață, Francisco Chinesta, Antonio Goncalves-Coelho, Jorge Pamies Teixeira, Manuel San Juan, Loredana Santo and Francisco Santos, *Non-traditional manufacturing processes*, Tehnica-Info, Chișinău, 2004, p. 301, ISBN 9975-63-164-9.
- [2] Niculae Ion Marinescu, Liliana Popa, Alexandra Banu, Daniel Ghiculescu, Elena Lacatus, Sergiu Nanu, *Tehnologii cu energii concentrate pentru micro și nanostraturi*, Editura Printech, 2008, p. 310, ISBN 978-606-521-104-9.
- [3] Pavel, Topala; Petru Stoicev, *Tehnologii de prelucrare a materialelor conductibile cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls*. Chișinău: Editura „Tehnica-INFO”. 2008. p. 265.
- [4] Topala, Pavel, *Condition of thermal treatment and chemical-superficial innards, with the adhibition electric discharge in impulses*. 2007, Non-conventional technologies review. Nr.1, p.129-132.
- [5] Pavel Topala, Alexandr Ojegov, *The protection of interior cylindrical surfaces using oxide pellicles obtained while applying electrical discharges in impulse*. Agrarian State University of Moldova. Science papers. Vol. 21. Chisinau, 2008. p. 171-174.
- [6] Topala Pavel, *Research regarding the acquiring metal powder deposits layers with the application of electrical discharges in impulse*. The resume of the Ph.D. theses. Bucharest, Polytechnic University, 1993, 32 pg.
- [7] Topală, Pavel, *Conditiions of thermic treatment and chimico superficial innards, with the adhibition electric discharge in impulses, Nonconventional technologies review*. Nonconventional technologies review, București: Editura Bren, 2005, p. 27-30.
- [8] Topală, Pavel. *Electrical charges as mesure for removed metal mass the electrical disarge machining*. Iasi: Editura PIM, Neconventional Tehnologies Review, Nr. 4, 2007, p. 103-108.
- [9] Габович, М. Д. *Жидкометаллические эмиттеры ионов*. Успехи физических наук. Том 140. вып 1, 1983. с. 137-151.
- [10] Лубан, Р. Б.; Пеккер, Л. С.; Галинов, И. В. *О возможном механизме переноса материала анода на катод при электроискровом легировании металлов*. Электронная обработка материалов. №. 5, 1990. с. 13-14.
- [11] Габович, М. Д.; Празный, В. Я. *О механизме возбуждения нелинейных капиллярных волн на*

поверхности жидкого металла находящегося в контакте с ионной плазмой. Журнал экспериментальной и теоретической физики. Том. 85, вып. 1, 1983. р. 146.

- [12] Ставицкий, В. И. *Электроискровая прецизионная обработка материалов. Научные основы точных материалов формообразования поверхностей*, ЗОМ, №. 6, Кишинев, 2001. с. 5-32.
- [13] Григорьев, А. И.; Ширяева, С. О.; Белоножко, Д. Ф.; Климов, А. В. *О форме конуса Тейлора и характерном времени его роста*. ЗОМ, №. 4, Кишинев, 2004. с. 34-40.
- [14] П. Топала; В. Душенко; А. Гитлевич; *Об условиях образования расплава на поверхности детали-катода при электроискровом легировании на установках типа "Разрад"*. Электронная обработка материалов. 1990. №. 6. с. 17-18.
- [15] Topala, Pavel; Tighineanu, Ion; Stoicev, Petru; Ojegov, Alexandr; Hirbu, Arefa. *Method of formation nano-metric oxide and hydro-oxide strata in amorphous state*. The 18-th International salon of research, innovation and technological transfer „Inventica 2014”, 2-4 July 2014, Editura Performantica, Iasi, Romania, 2014, p. 556-557, ISSN 1844-7880.