

ACȚIUNEA PLASMEI DESCĂRCĂRILOR ELECTRICE ASUPRA SUPRAFEȚELOR METALICE

Pavel TOPALA, Arefa HIRBU, Alexandr OJEGOV
Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, Republica Moldova

Rezumat: În lucrare sunt prezentate rezultatele cercetărilor experimentale privind aplicarea descărcărilor electrice în impulsuri de înaltă tensiune la modificarea micro-geometriei suprafețelor metalice. Divizarea canalului de plasmă într-o multitudine de micro-canale asigură formarea simultană pe suprafața prelucrată a unui mare număr de meniscuri pe durata unei descărcări solitare. Se demonstrează că meniscurile de formă conică sporesc aria suprafeței prelucrate de 8 ori, iar intensitatea curentului de termo-emisie electronică de 10 ori.

INTRODUCERE

În prezent, prelucrarea prin electroeroziune s-a divizat în două direcții principale: prelucrarea dimensională care are ca scop principal prelevarea unei părți de material de pe suprafața semifabricatului în scopul modificării formei și dimensiunilor acestuia [1, 2, 7, 10, 12] pentru obținerea produsului în condiții tehnice impuse și formarea stratului de depunere care are ca scop principal transferul materialului prelevat de pe suprafața unuia dintre electrozi pe suprafața celuilalt pentru a modifica proprietățile și compoziția chimică și structurală a piesei prelucrate [4, 6]. Prima direcție de prelucrare și-a găsit o aplicare destul de variată în construcția de mașini și aparate, permițând în primul rând prelucrarea materialelor care nu se supun prelucrării prin metodele clasice (carburi metalice cu temperaturi înalte de topire de tipul WC, TiC, TaC, semiconductori, etc) și asigurând prelucrarea suprafețelor cu caracter complicat (găuri, orificii, cavități, proeminențe etc.), precum și, nu în ultimul rând, automatizarea totală a procesului de prelucrare [7].

Cea de-a doua direcție de aplicare a acestei metode, legată de modificarea compoziției și structurii stratului de suprafață a pieselor utilizate în construcția de mașini și aparate, în prezent s-a ramificat după cum urmează:

- formarea straturilor de depunere din materiale compacte, în care rolul principal în modificarea stratului de suprafață al piesei prelucrate îl joacă materialul prelevat de pe suprafața electrodului – sculă [6];

- formarea straturilor de depunere din pulberi și amestecuri de pulberi, în care rolul principal în modificarea proprietăților stratului de suprafață al piesei prelucrate revine în principal materialelor pulberilor și, într-o măsură mai mică, electrozilor – scule, întrucât uneori materialul sculei nu influențează compoziția și proprietățile depunerii [4, 6];

- modificarea compoziției și proprietăților stratului de suprafață al piesei fără modificarea dimensiunilor piesei sau însoțită de micșorarea rugozității suprafeței prelucrate și aceasta fiind de fapt o direcție relativ nouă, în literatura de specialitate se găsește mai mult ca o constatare științifică decât ca un procedeu bine definit și aplicat în practică [5];

- modificarea micro-geometriei suprafețelor cu formarea pe ele a meniscurilor de tip con Taylor în vederea conferirii proprietăților de emisie și absorbție a radiațiilor [3, 14, 16, 17].

În toate cazurile de aplicare a acestei metode de prelucrare se presupune că rugozitatea suprafeței prelucrate este în mod direct legată de mărimea craterelor cu fază lichidă care iau naștere pe suprafața prelucrată, însă, în cazul formării straturilor de depunere, se observă creșterea unor zone separate ale depunerilor ce încalcă condiția de formare a straturilor continue. Aceasta se datorează apariției unor asperități inițiale sau induse, ce servesc drept

concentratoare pentru câmpul electric al descărcării electrice în impulsuri și influențează direcționarea prelevării și transferului de material fie din faza lichidă a electrodului-sculă, fie din materialul pulbere introdus în interstițiu pentru formarea depunerii cu proprietăți speciale [4, 6].

Este necesar de menționat că în prezent ia naștere o altă direcție de aplicare a electroeroziunii, și anume, modificarea micro-geometriei suprafețelor pieselor metalice.

1. METODOLOGIA CERCETĂRII EXPERIMENTALE

Instalația experimentală, a cărei schemă este prezentată în fig. 3.1, constă din următoarele elemente: sursa de curent continuu de alimentare la tensiunea $U = 25$ kV, străpungătorul Str., bateria de condensatori (C), rezistența de balast R , electrodul-sculă 1 și piesa de prelucrat 2. Prin intermediul electrodului-sculă are loc divizarea curentului de descărcare în mai multe canale. Aceasta facilitează desfășurarea descărcării în impulsuri, ceea ce conduce la densități mari de curent și prin aceasta la creșterea randamentului de utilizare a energiei de descărcare. Interstițiul dintre electrozi este $S = 5$ mm. Electrodul-sculă are secțiunea transversală 17×7 mm², în care erau localizate 600 de fire de cupru cu diametrul de 0,35 mm izolate între ele.

Măsurarea parametrilor impulsurilor de curent (durata, forma și valoarea amplitudică) [10] și vizualizarea lor se efectuează prin intermediul osciloscopului cu memorie Osc (C8-13), șuntat prin rezistență $R_s = 0,003$ Ω [14].

Legarea la pământ se efectuează pentru a proteja descărcarea prin impulsuri de influența elementelor reactive.

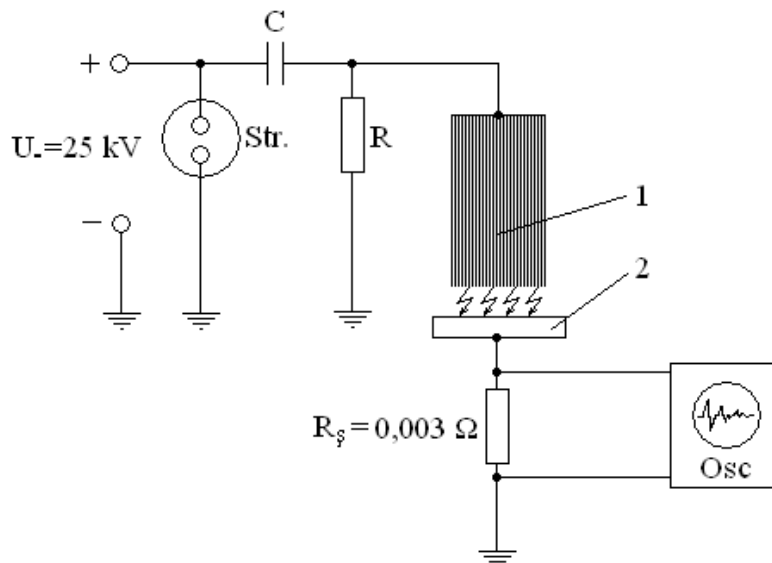


Fig. 3.1. Schema de principiu a instalației experimentale de măsurare a parametrilor descărcării în impulsuri: Str. – străpungător; Osc – osciloscop cu memorie; R_s – rezistența de șunt; 1 – electrod-sculă; 2 – piesa de prelucrat.

În fig. 3.2-3.4 este prezentată forma impulsurilor de descărcare obținute. Se observă că forma impulsurilor este în dependență directă de valoarea capacității și rezistenței de balast care formează un generator de tip RC. Forma oscilației descărcării în impulsuri obținută în cadrul cercetărilor se observă datorită inductanței electrodului 1 din fig. 3.1.

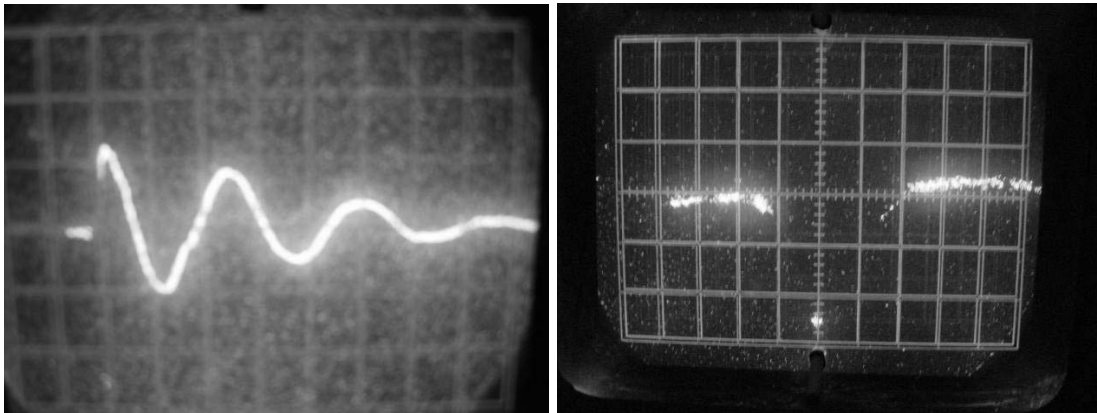


Fig. 3.2. Aspectul general al impulsului de curent pentru capacitatea $C = 1/12 \mu\text{F}$ și rezistența de balast $R = 8,2 \text{ M}\Omega$: a) valoarea unei diviziuni pentru timp este $1 \mu\text{s}/\text{div}$ și pentru tensiune $100 \text{ V}/\text{div}$; b) respectiv, $0,1 \mu\text{s}/\text{div}$ și $100 \text{ V}/\text{div}$.

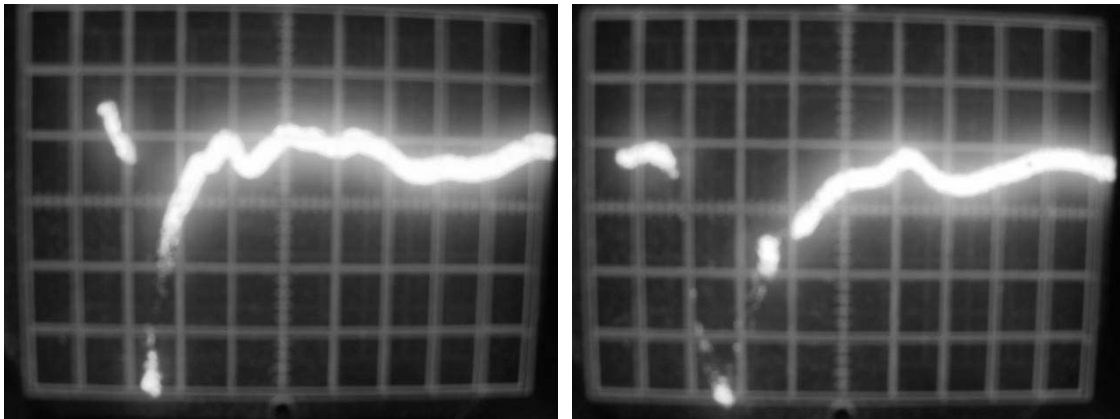


Fig. 3.3. Aspectul general al impulsului de curent pentru capacitatea $C = 5 \text{ nF}$ și rezistența de balast $R = 8,2 \text{ M}\Omega$: a) valoarea unei diviziuni pentru timp este $0,2 \mu\text{s}/\text{div}$ și pentru tensiune $200 \text{ V}/\text{div}$; b) respectiv, $0,1 \mu\text{s}/\text{div}$ și $200 \text{ V}/\text{div}$.

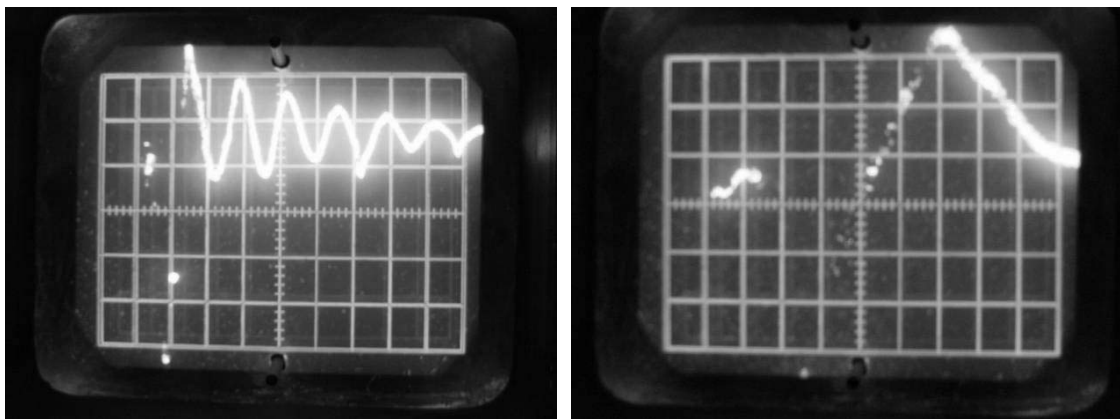


Fig. 3.4. Aspectul general al impulsului de curent pentru capacitatea $C = 17,5 \text{ nF}$ și rezistența de balast $R = 8,2 \text{ M}\Omega$: a) valoarea unei diviziuni pentru timp este $1 \mu\text{s}/\text{div}$ și pentru tensiune $200 \text{ V}/\text{div}$; b) respectiv, $0,1 \mu\text{s}/\text{div}$ și $200 \text{ V}/\text{div}$.

Analizând forma impulsurilor din oscilogramme, s-a ajuns la concluzia că ea depinde de anumiți parametri de funcționare ai generatorului și, în primul rând, de capacitatea bateriei de

16 Tehnologii moderne

condensatori (v. tab. 3.1). Astfel, în cazul când capacitatea constituia $1/12 \mu\text{F}$ amplitudinea curentului era de 100 kA. Amplitudinea scade corespunzător în cazul micșorării capacității bateriei de condensatori.

Tabelul 3.1

Caracteristicile impulsurilor de descărcare electrică

Nr crt.	Capacitatea condensatoului, $C, \mu\text{F}$	Energia acumulată pe capacitate, W_C, J	Durata impulsului, $\tau_{\text{imp}}, \mu\text{s}$	Amplitudinea impulsului în osciloscop U_{osc}, V	Amplitudinea impulsului de curent I_s, kA	Intensitatea curentului în interstițiu $\int_0^{\tau} i_s dt, \text{kA}\cdot\text{s}$
1.	1/12	8	0,2	300	100	50
2.	$5 \cdot 10^{-3}$	0,78	0,1	80	27	4
3.	$17,5 \cdot 10^{-3}$	2,73	0,15	120	40	7

Energia acumulată în bateria de condensatori ($W_c = \frac{CU^2}{2}$) este egală aproximativ cu 26 J. Schema fiind unipolară și ținând cont de pierderile ce se produc pe elementele circuitului electric, în energie termică se transformă cca. 8 J. Ecuația bilanțului termic pentru procesul izobar poate fi scrisă sub forma:

$$Q = \frac{i+2}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T;$$

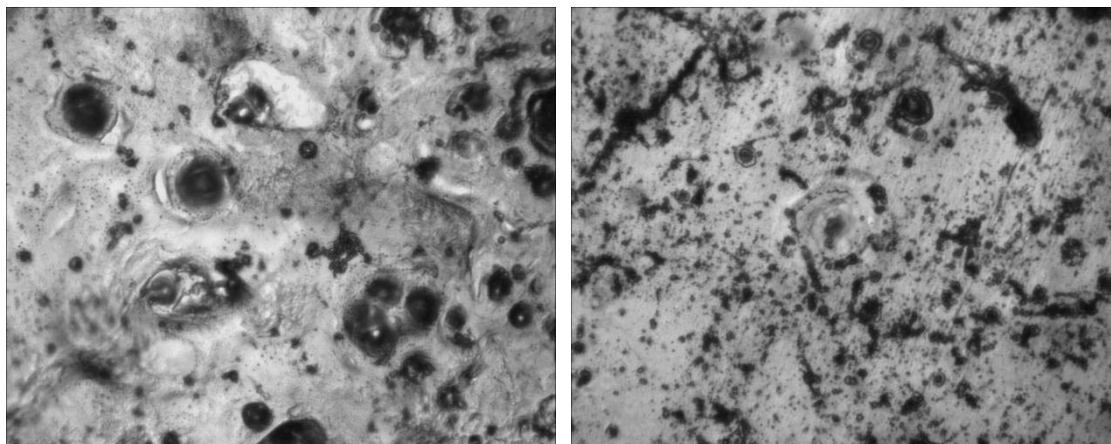
în care i este numărul gradelor de libertate ale moleculelor de aer ($i = 5$); m - masa cuprinsă în partea activă a spațiului dintre electrozi.

$$Q = \eta W_c;$$

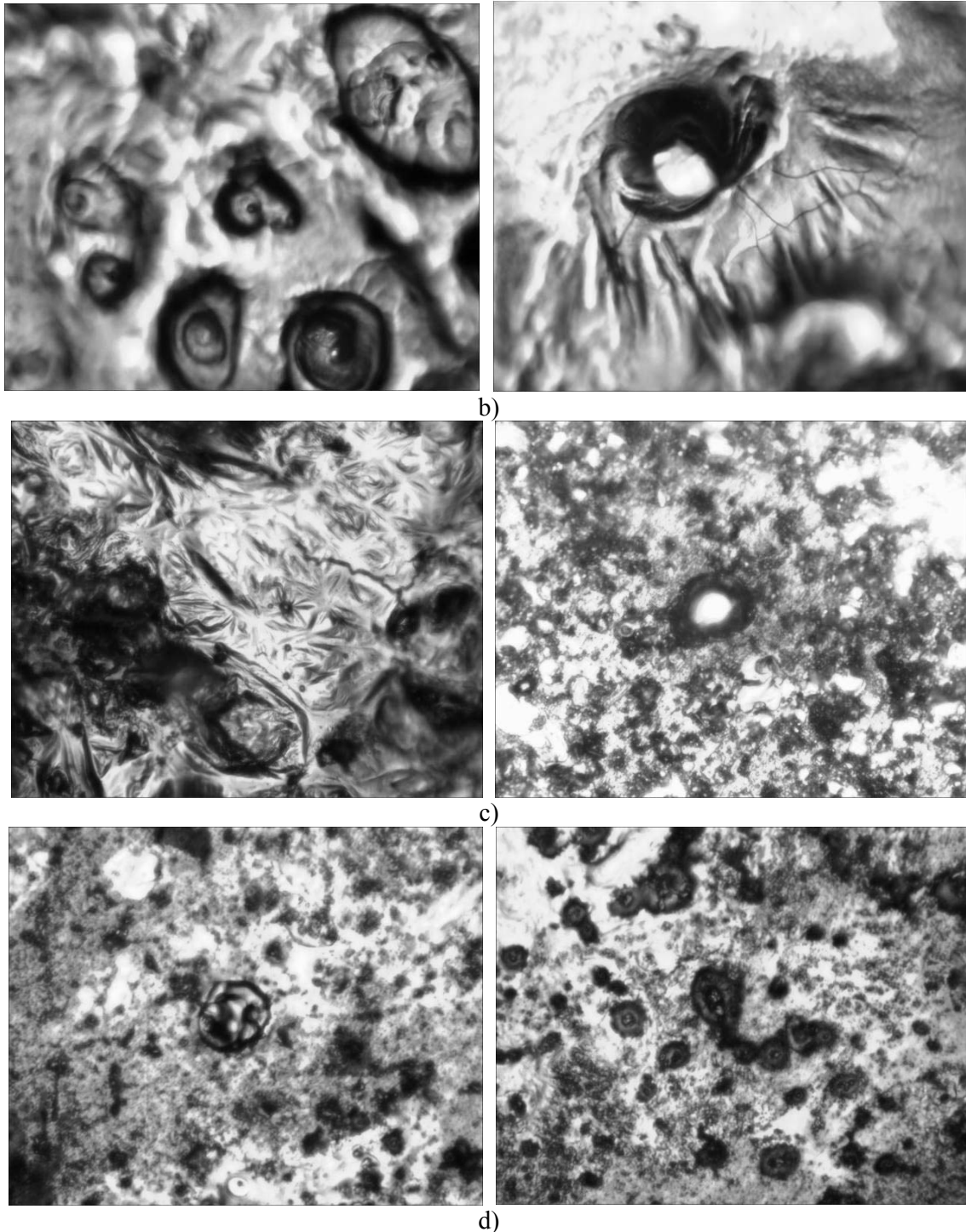
Astfel, la descărcări electrice în impulsuri de scurtă durată variația temperaturii în interstițiu, în mediu de aer, constituie $\Delta T \approx 10^4 \text{K}$.

2. ANALIZA REZULTATELOR EXPERIMENTALE

Suprafețele probelor au fost preparate prin lustruire până la starea de oglindă. În urma prelucrării acestea suportau anumite modificări: pe ele se atestau zone ale influenței termice



a)



de culoarea metalului proaspăt decapat (în acestea se produc procese de îmbogățire cu elemente prezente în mediul de lucru (fig.4.3)) și zone în care s-a produs topirea suprafeței (acestea prezentau cratere sau meniscuri extrase și solidificate sub formă de asperități conice (fig.4.1, 4.2)).

Fotografierea structurilor și micro-geometriei suprafețelor rezultate în urma acțiunii descărcărilor electrice în impulsuri a fost realizată cu utilizarea microscopului metalografic XJM600T, dotat cu un sistem digital de înregistrare a informației.

Imaginile structurilor superficiale ale materialelor cercetate sunt prezentate în fig. 4.1, 4.2 și 4.3.

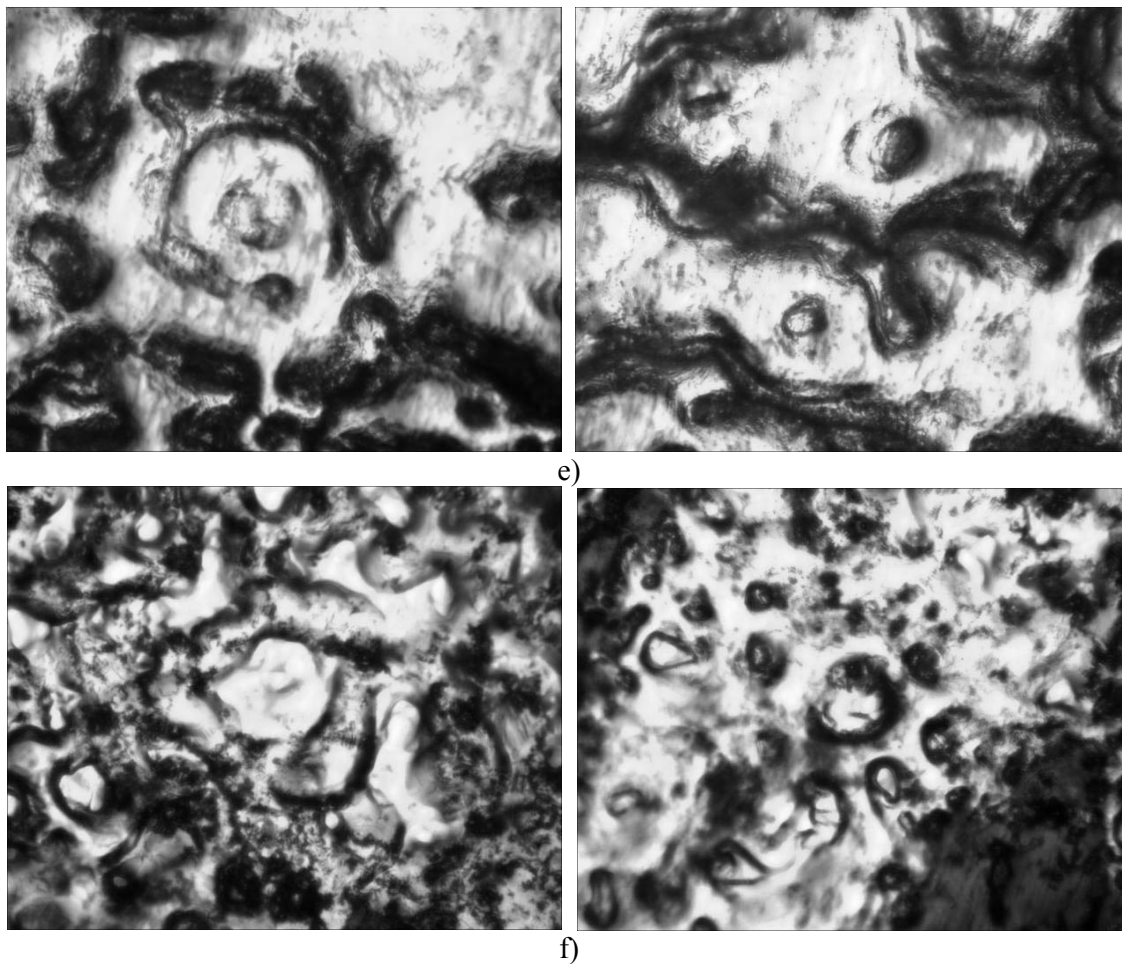
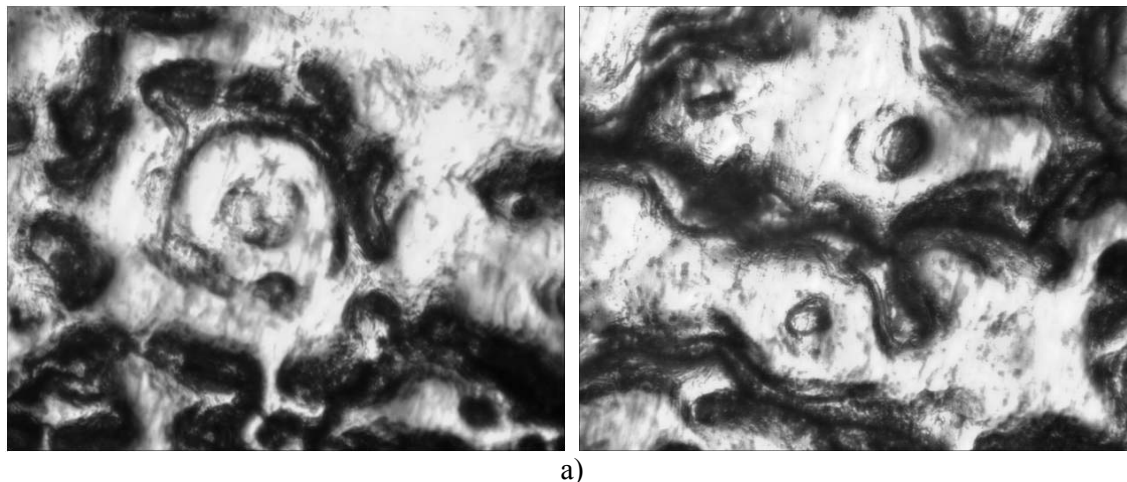


Fig. 4.1. Aspectul general al suprafeței pieselor prelucrate prin descărcări electrice în impulsuri (energia degajată în interstițiu $W=8$ J; mărimea interstițiului $S=5$ mm; durata impulsului $\tau_{imp}=0,2$ μ s; numărul de impulsuri – 30; piesa – anod), $\times 400$: a – oțel 45; b – aliaj de titan VT-8; c – aliaj de aluminiu (duraluminiu) D16; d – cupru tehnic pur M0; e – alamă L63; f – bronz BrB2.



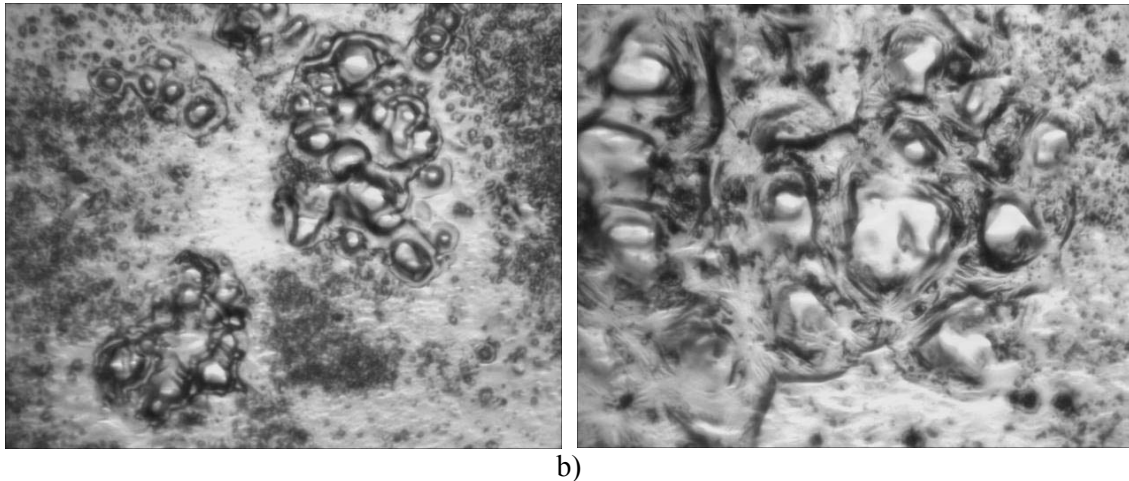


Fig. 4.2. Aspectul general al suprafeței alamei L63 prelucrate cu descărcări electrice în impulsuri (energia degajată în interstițiu $W = 8$ J; mărimea interstițiului $S = 5$ mm; durata impulsului $\tau_{imp} = 0,2$ μ s; numărul de impulsuri – 30), $\times 400$: a – piesa – anod; b – piesa – catod.

În figurile 4.1 - 4.3 putem observa că pe suprafața supusă interacțiunii cu canalul de plasmă apar zone în care chiar și la durate extrem de mici ale impulsurilor de curent se produce topirea locală. Sub acțiunea câmpului electric al descărcării, din zonele de topitură se extrag meniscuri de formă conică care în urma răcirii ultrarapide se solidifică pe suprafața prelucrată.

Dacă ținem cont de rezultatele obținute anterior de către autorii [9], acest lucru nu ar trebui să se întâmple, deoarece topirea are loc sub acțiunea “petelor electrodice calde”, a căror durată de naștere și viață depășește cu mult durata impulsurilor aplicate de noi. Din acest motiv considerăm că problema privind originea, esența și durata de viață a petelor electrodice va rămâne încă mult timp deschisă.

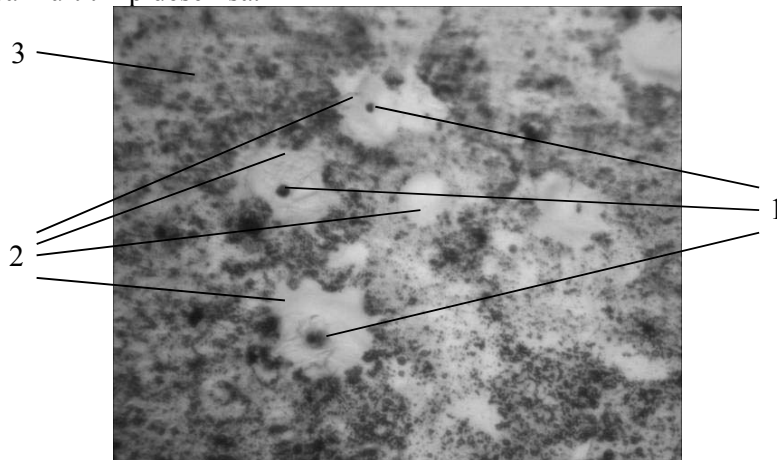


Fig. 4.3. O porțiune a suprafeței alamei L63 prelucrată cu descărcări electrice în impulsuri (energia degajată în interstițiu $W = 8$ J; mărimea interstițiului $S = 5$ mm; durata impulsului $\tau_{imp} = 0,2$ μ s, piesa – catod), $\times 400$: 1 – meniscuri formate în urma acțiunii petelor electrodice „calde”; 2 – zona influenței termice, formată în urma acțiunii petelor electrodice „reci”; 3 – zona neprelucrată.

Este important de menționat că în imediată apropiere de aceste meniscuri pe suprafața prelucrată se observă micro-fisuri. Ținând cont de faptul că conductivitatea termică a metalelor este relativ înaltă, iar cantitatea metalului topit pe o unitate de suprafață este foarte

mică, am putea determina viteza procesului de răcire. Aceasta este de ordinul $5 \cdot 10^4$ K/ μ s, ceea ce poate condiționa formarea pe suprafețele prelucrate a sticlelor metalice în stare amorfă.

Divizarea canalului de plasmă într-o multitudine de micro-canale asigură formarea pe suprafața prelucrată a unui mare număr de meniscuri. Rezultatele cercetărilor executate anterior [3, 16, 17] au demonstrat că un singur menisc extras de pe o porțiune de suprafață provoacă sporirea ariei acesteia de 8 ori. Evident, capacitatea de emisie sau absorbție a suprafețelor este direct proporțională cu aria activă a suprafeței corpului și în acest caz rezultatele obținute sunt benefice pentru aplicare în acest domeniu. Dacă în cazul aplicării descărcărilor electrice în impulsuri de tensiune joasă (10^2 V) aria suprafeței prelucrate la o descărcare solitară constituie $10 \dots 10^2 \mu\text{m}^2$ [17, 18], atunci aplicarea descărcărilor electrice de tensiune înaltă și durată scurtă permite a spori aria de prelucrare de mai multe ori (de la 5 la 100 mm^2). Cercetând capacitatea de emisie electronică a suprafeței catodului din tunurile electronice [18], s-a constatat că în aceleași condiții de funcționare catodul cu micro-geometrie sub formă de meniscuri asigură formarea fasciculelor de electroni cu o intensitate de 10 ori mai mare în raport cu catodul cu suprafață netedă.

3. CONCLUZII

1. Datorită faptului că energia în zona de prelucrare se degajă într-un timp foarte scurt (0,2 μ s), iar densitatea de energie minimă de descărcare depășește aproximativ de 10 ori valoarea ei critică de tranziție din starea solidă în starea lichidă (~ 4 J/ μ s), se observă formarea clară a conurilor Taylor pe suprafețele materialelor cercetate.

2. Deoarece coeficientul termic de dilatare liniară al titanului și aliajelor lui este mai mic decât al celorlalte materiale supuse experimentului, pe suprafața lui au fost observate micro-fisuri de formă regulată, cauzate probabil de structura cristalină a aliajului respectiv.

3. Răcirea extrem de rapidă a metalului pe suprafața probei poate provoca cristalizarea acestuia în stare amorfă.

BIBLIOGRAFIE

1. Laurențiu Slătineanu. *Tehnologii neconvenționale în construcția de mașini*, Tehnica Info, Chișinău, 2000, p.252.
2. Artamonov B.A., Volkov Iu.S., Drojalova V.I. i dr. *Elektrofiziceskie i electrohimiceskie metodî obrabotki materialov*. T. 1, "Vîșșaiia șkola", Moskva, 1983, s. 242.
3. Topală Pavel, Olaru Ion, Rusnac Vladislav. „Noi secvențe la tabloul fizic al electroeroziunii”, in: *Culegere de lucrări științifice, Tehnologii Moderne, Calitate, restructurare*, Chișinău, 2005, pp. 239-242.
4. Topala Pavel, Stoicev Petru, *Tehnologii de prelucrare a materialelor conductibile cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls*. Chișinău, Tehnica Info, 2008, p.265.
5. Topala, P., Stoicev P., Epureanu A., Beșliu V., „O vozmojnosti legirovania metaliceskih poverhnostei na ustanovkah dlea electroisicrovoi obrabotki v rejime nedonapreajenia”, in: *Mașinostroenie i Tehnișfera XXI veka.*, *Materialî Mejdunarodnoi naucno-tehniceskoi konferenții*. Donețk. 2006., s. 266-269.
6. Ghitlevici, A. E., Mihailov, V. V., Parkanskii, N. Ia., Revuțkii, V. M. *Electroisicrovoie leghirovanie metaliceschih poverhnostei*, Știința, Chișinău, 1985, p. 196.
7. Gavrilaş, I., Marinescu, N. I., *Prelucrarea prin electroeroziune și electrochimic-abrazivă*. Vol. 1 și 2, București, Editura Tehnică, 1980.
8. Constantin Diaconescu, *Cercetări privind structura generatoarelor de impulsuri cu adaptare flexibilă, în timp real, la condițiile procesului de prelucrare prin eroziune electrică*, Rezumatul tezei de doctorat, Universitatea „Lucian Blaga” din Sibiu, 2008, p. 37.
9. Mițkevici, M.K.; Bușic, A.I.; Bakuto, I.A.; Șilov, V.A.; Divoino, I.Gh., *Elektroerozionnaia obrabotka metallov*. Nauka i tehnika, Minsk, 1988.
10. Țițu, M., Nanu, D., Oprean, C., Diaconescu, C., Țițu, Gh. A., *Echipament electronic pentru generarea unor descărcări singulare, electrice în impuls*, Brevet OSIM nr. 118687,

2003, Medalia de Aur la Salonul Mondial al Invențiilor Tehnicilor și Produselor noi, Geneva, 2008.

11. Marinescu N.I., Sturzu A., Visan A., Gavrița I., *Tehnologii moderne în construcția de mașini*, București 1984, p.199.

12. Topală Pavel, „Aplicări ale electroeroziunii în dezvoltarea tehnologiilor fine de prelucrare superficială a pieselor”, in: *Analele Științifice*, Serie Nouă, Fasciculul A., Tomul XX, Bălți, 2004, pp. 66 – 69.

13. Aurel Nanu, Dan Nanu, *Prelucrarea dimensională prin eroziune electrică în câmp magnetic*, Editura Facla, Timișoara, 1981, p. 307.

14. I. Grigoriev, S. O. Șireeva, D. F. Belonjko, A. V. Klimov, „O forme „konusa Teilora,, i haracternom vremeni ego rosta”, *Electronnaia obrabotka materialov*, 2004, 4, pp. 34 - 40.

15. Topală Pavel. „The energy distribution in the gap at the gap technological applying of the electrical discharges in impulses”, in: *Nonconventional technologies review*, Nr.1, Editura PIM, Iași, 2007, pp. 129 – 132.

16. Topala Pavel, Rusnac Vladislav, „Experimental investigations concerning the extraction of cone meniscus on metal surfaces with electrical discharge machining (EDM) adhibition”, *Buletin of the Polytechnic Institute of Iassy*, T. Liv, 2008, p.

17. Vladislav Rusnac, „Cercetări experimentale privind modificarea microgeometriei suprafețelor pieselor metalice prin metoda electroeroziunii”, *Fizica și Tehnica: Procese, modele, experimente*, nr.1, 2008.

18. Vladislav Rusnac, “Establishing the emission properties of conductible surfaces machined by applying EDI”, in: *Proceedings of the 15th International Conference, Modern Technologies, Quality and Innovation. 25-27 May 2011, Vadul-lui-Vodă, Chișinău, Republic of Moldova*, pp. 1161-1164. ISSN 2066-3919.

Primit la redacție: 5 decembrie 2011