

CZU 621.9.048.4

## **CERCETĂRI PRIVIND MODIFICAREA STRUCTURALĂ, A COMPOZIȚIEI CHIMICE ȘI MICROGEOMETRIEI SUPRAFETELOR PIESELOR ÎN REGIMUL DE ÎNTREȚINERE A DESCĂRCĂRII ELECTRICE ÎN IMPULS PE PETE ELECTRODICE „RECI” ȘI „CALDE”**

Conducător științific: **Pavel Topală**, conf.dr.hab.;

Executor responsabil: **Alexandru Balanici**, conf.dr.

Tema de cercetare are ca obiectiv studiul fundamental și aplicativ al fenomenelor electroerizive în dezvoltarea de mai departe a tehnologiilor neconvenționale de prelucrare a materialelor. Rezultatele prezentate se aplică la modificarea microgeometriei suprafețelor pieselor în vederea sporirii proprietăților de absorbție și emisie, cât și durificarea straturilor de suprafață la adâncimi mici.

Realizarea cercetărilor științifice la tema sus menționată a permis la elaborarea și demonstrarea experimentală a unor noi ipoteze științifice. Dintre cele mai importante, pot fi menționate următoarele:

Petele electrodice servesc în calitate de surse de căldură și câmpuri electrice de intensitate înaltă.

Forma de calotă sferică a craterului pe suprafața prelucrată (fig. 1) indică asupra faptului că sursa de căldură (pata electrodică anodică sau catodică) care provoacă încălzirea suprafețelor este punctiformă, fiind situată la o înălțime  $h_{p.e.}$  față de suprafața prelucrată. În mod logic, apare întrebarea: de ce o numim pată electrodică (cu suprafață plană), și nu sursă punctiformă de căldură de formă sferică? Posibil că această denumire a fost dată din motivul imaginilor obținute prin metodele de fotografiere și filmare a acesteia, care provocau apariția unei imagini plane pe placa fotografică [4, 6, 15]. Luînd în considerație faptul că imaginea unui corp sferic pe o suprafață plană totdeauna reprezintă o imagine plană (cerc), putem admite că din acest motiv i-a fost dată denumirea de pată – cauzată și de mișcarea cu viteze relativ mari [1, 3, 18].

O altă întrebare este care este motivul că în aceste “pete” se degajă o mare cantitate de căldură? Răspunsul poate fi dat numai analizînd funcțiile pe care acestea le îndeplinesc. Pentru a asigura circulația curenților în conturul de descărcare și interstițiu, acestea îndeplinesc lucrul de extragere a particulelor încărcate din electrozi. În același timp, în acestea are loc frînarea ionilor încărcăți pozitiv în pata catodică în procesul apropierii acestor particule de ea și frînarea electronilor emiși (posibil, și a ionilor negativi formați în mediul de lucru) de catod în pata anodică la apropierea lor de aceasta. Din momentul ce electronii emiși de către catod trec de pata catodică, aceștia sunt supuși, într-o careva măsură, frînării de către cea care i-a extras din corpul solid. Similar, sunt supuși frînării ionii pozitivi atît în pata propriu zisă, cât și după trecerea de ea. În acest caz, am

putea face o analogie cu trioda, care, în cazul de față, are, în calitate de componente, respectiv: catodul (sau anodul), „pata” electrodică catodică (ori anodică) și canalul de plasmă.

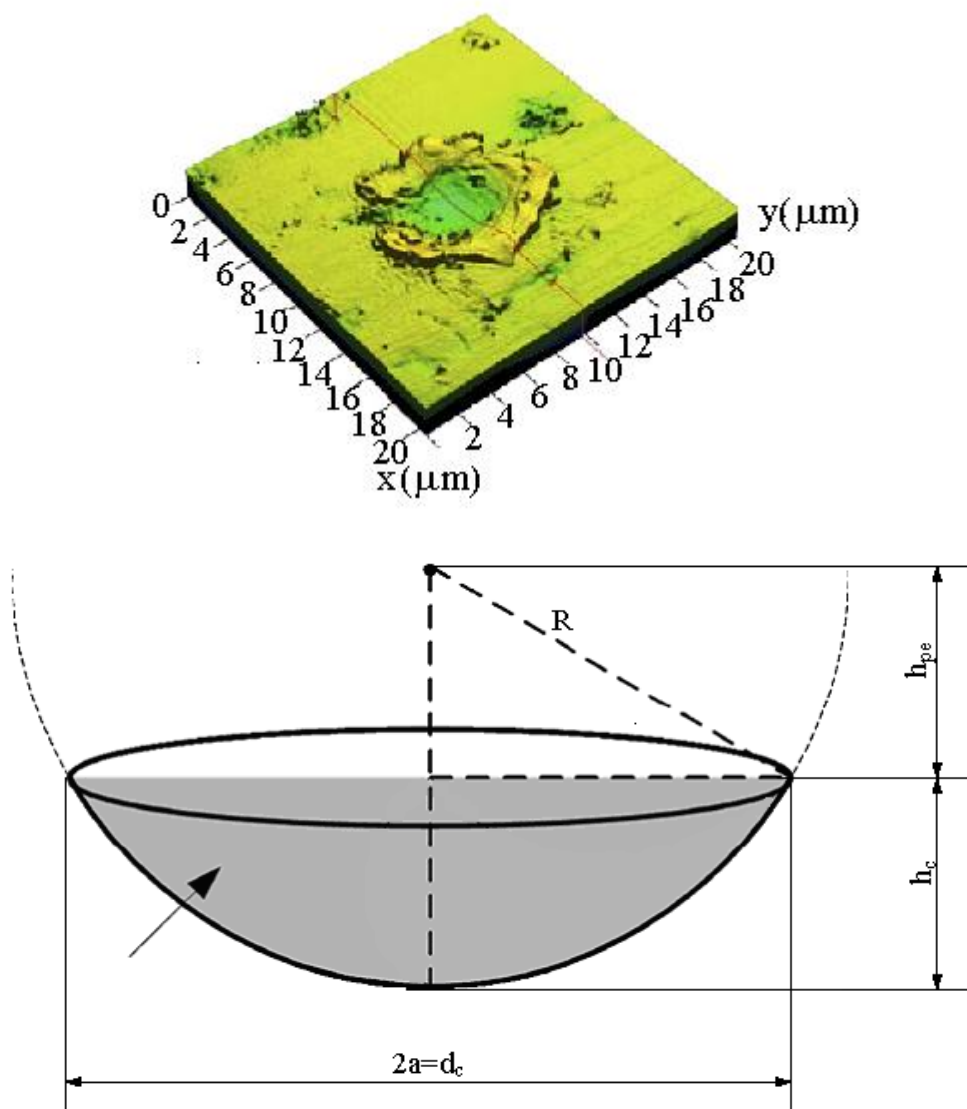


Fig.1 Vederea generală a unui crater de eroziune format de o pată electrodică punctiformă

Din cele expuse mai sus, am putea determina la ce distanță de suprafața prelucrată se află așa-numitele pete electrodice. Acceptînd că petele electrodice sunt punctiforme și situate la o înălțime  $h_{p.t.}$  față de suprafața prelucrată (fig. 1), pentru raza vectoare de acțiune a cîmpului electric al petei electrodice putem scri următoarea relație:

$$R = h_c + h_{p.e.}, \quad (1)$$

în care  $h_c$  și  $h_{p.e.}$  sunt, adâncimea craterului și, respectiv, înălțimea la care se află pata electrodică față de suprafața de prelucrat. Formarea craterului este cauzată de energia ce se degajă în sectorul de sferă cu volumul format de două corpuri geometrice: calota sferică a craterului și conul, a cărei generatoare este raza vectoare  $R$ , care se sprijină pe sursa punctiformă de energie și pe marginea craterului. Astfel, pentru determinarea înălțimii centrului petei electrodice față de suprafața prelucrată, pot fi scrise două relații după cum urmează:

$$h_{pe} = R - h_{cs}, \quad (2)$$

$$h_{pe} = \sqrt{R^2 - a^2}. \quad (3)$$

Egalînd părțile stîngi ale ecuațiilor (2) și (3) și executînd transformările respective, vom obține pentru raza vectoare următoarea relație:

$$R = \frac{h_{cs}^2 + a^2}{2h_{cs}}, \quad (4)$$

în care -  $R$  este raza calotei sferice,  $h_{cs}$  - înălțimea calotei sferice ce mărginește craterul de eroziune. Din relația (2), după modificările respective, poate fi determinată grosimea stratului anodic sau catodic, cunoscînd parametrii craterului obținut la electroeroziune:

$$h_{pe} = \frac{a^2 - h_{cs}^2}{2h_{cs}} \quad (5)$$

Astfel, în conformitate cu relația (5), cunoscînd parametrii craterului format la electroeroziune, putem determina înălțimea la care se află sursa de căldură ce a provocat apariția acestuia. În cazul în care se ia în considerație relația dintre diametrul craterului și adâncimea lui, determinate în mod experimental în lucrările [1, 5, 15, 18] și confirmată mai recent de către autorii lucrărilor [7, 21], obținem:

$$2a = 9,6236h_{cs} + 0,0101 \quad (6)$$

Dacă ținem cont de faptul că diametrul craterului obținut constituie  $10^{-6} \dots 10^{-5}$  m, atunci ușor putem observa că și înălțimea la care se află sursa de energie termică și cîmp electric este de același ordin.

Luînd în considerație cele expuse mai sus, putem descrie procesul de eroziune electrică ca un fenomen integral și complex, ce trece prin următoarele faze [1, 7, 21]:

- amorsarea descărcării electrice în impuls cu formarea canalului de conductivitate. Aceasta contactează cu suprafețele electrozilor prin intermediul petelor electrodice „reci”;

- dezvoltarea canalului de plasmă care, contactînd cu suprafețele electrozilor prin intermediul petelor electrodice „calde”, provoacă topirea suprafețelor;

– perturbarea suprafeței metalului lichid cu formarea meniscului de formă semirotundă (sub acțiunea mișcării convective termice, a câmpului electric de intensitate înaltă, a forțelor gravitaționale și a celor de tensiune superficială);

– în cazul intensităților mari ale curenților de descărcare în interstițiu, iau naștere, simultan, două sau mai multe canale. Din suprafețele electrozilor se extrag, respectiv, două sau mai multe meniscuri (acestea se pot contopi din cauza forțelor Lorentz, prin intermediul cărora interacționează curenții paraleli de aceeași direcție);

– sub acțiunea câmpului electric, datorită distribuției superficiale a sarcinii electrice, are loc formarea picăturilor prin scurgerea lichidului electrizat în direcția de acțiune a câmpului;

– dacă forțele de tensiune superficială sunt depășite după valoare de cele electrodinamice, are loc ruperea picăturilor de pe suprafața meniscului cu transferurilor pe suprafața electrodului opus sau expulzarea din interstițiu. Este evident că procesele expuse mai sus se produc simultan, pe suprafețele ambilor electrozi. Astfel, după ruperea particulelor are loc mișcarea în sensuri opuse a două fluxuri de particule: cele de dimensiuni mai mari provin de la anod, iar cele de dimensiuni mai mici de la catod. Anume prin acesta poate fi explicat procesul de amestecare a materialelor electrozilor cu formarea de noi aliaje la formarea straturilor de depunere;

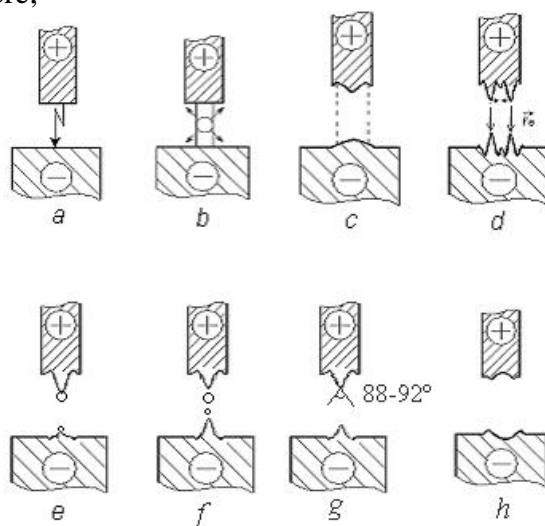


Fig. 2. Fazele procesului electroeroziuni în condiții normale

– în procesul formării și ruperii picăturii, meniscul emisferic se transformă în unul conic cu unghiul de la vîrf cuprins în limitele de 88...92° (adică unghiul de alunecare a lichidului constituie cca 45°, acesta fiind un unghi optim). Conurile Taylor pot servi și în calitate de emiteri de ioni care permit a elucidarea procesului de electroeroziune în stare de vapori;

– când descărcarea electrică ia sfârșit, pot avea loc două situații: dacă materialul extras sub formă de menisc reușește să se cristalizeze pînă la scurgerea în direcție inversă, atunci acesta își păstrează forma și dimensiunile; în cazul în care materialul nu s-a cristalizat, sub acțiunea forței de tensiune superficială sau și sub acțiunea forței de greutate, acesta se scurge în direcție opusă, alunecînd pe suprafața semisferică a craterului și este expulzat din ea, cristalizîndu-se sub formă de undă concentrică pe marginile acestuia.

În baza celor expuse mai sus, au fost constatate și realizate următoarele [1, 7, 10, 15, 20, 21]:

– procesul de descărcare electrică în impuls poate fi aplicat la modificarea microgeometriei suprafețelor pieselor metalice;

– în procesul cercetărilor experimentale au fost determinate condițiile minime și maxime de apariție a meniscurilor de formă conică pe suprafețele pieselor metalice;

– suprapunerea câmpului magnetic în procesul modificării microgeometriei suprafețelor pieselor metalice joacă un rol deosebit;

– formarea completă a meniscurilor (conurilor Taylor) este posibilă la un interstițiu a cărui valoare constituie  $S = 0,2\text{mm}$ ;

– în baza instalației destinate pentru modificarea microgeometriei suprafețelor pieselor metalice, proiectate și elaborate de către colectivul de cercetare, pot fi construite echipamente tehnologice industriale.

Concepția modelului fizic de transfer a materialului electrodului-sculă, executat din grafit, pe suprafața piesei supuse prelucrării prin descărcările electrice în impuls, în regim de subexcitare, pleacă de la analiza rezultatelor experimentale obținute anterior de autorii lucrărilor [1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10]. S-a stabilit că o eroziune mai evidentă a grafitului are loc pentru conectarea electrodului în circuitul de descărcare a generatorului de impulsuri de curent în calitate de catod.

În lucrările [14, 21], autorii au stabilit că cantitatea de material prelevat de pe suprafața electrodului, în procesul descărcărilor electrice în impuls, poate fi determinată prin relația:

$$m = kRU_e \int_0^t i(t)dt, \quad (7)$$

în care  $k$  este un coeficient de proporționalitate;  $\rho$  - densitatea materialului electrodului;  $U_e$  - căderea de tensiune la suprafața electrodului;  $i$  - valoarea momentană a curentului descărcării electrice în impuls;  $\tau$  - durata descărcării electrice în impuls.

Pentru aceleași condiții de tratare termică sau termochimică, în conformitate cu lucrările [1, 5, 8, 17, 21, 23], poate fi scris raportul:

$$\frac{m_a}{m_c} = \frac{U_a}{U_c}, \quad (8)$$

în care  $m_a$  și  $m_c$  sunt, respectiv, masa erodată a anodului și catodului, iar  $U_a$  și  $U_c$  – căderile de tensiune la suprafețele anodului și catodului. Dacă ținem cont de faptul că eroziunea electrodului din grafit este mai mare în cazul conectării lui în calitate de catod, rezultă că și căderea de tensiune la suprafața lui este mai mare:

$$U_c > U_a. \quad (9)$$

Odată cu sporirea căderii de tensiune la suprafața electrodului-catod, crește și cantitatea de energie degajată la suprafața lui, care este egală cu:

$$W_c = U_c \int i(t) dt. \quad (10)$$

În conformitate cu teoria electroeroziunii, materialul este prelevat de pe suprafața anodului sub formă de ioni pozitivi, pe când din cea a catodului sunt emiși, în esență, electroni. Aceste constatări nu sunt valabile și pentru electrodul executat din grafit, utilizat în calitate de catod. Dacă ținem cont de faptul că procesul electroeroziunii este unul electrochimic, ce decurge la temperaturi înalte, putem presupune că procese recombinatorice și disociative au loc atât la suprafața electrodului-anod a electrodului-catod, cât și în canalul de plasmă.

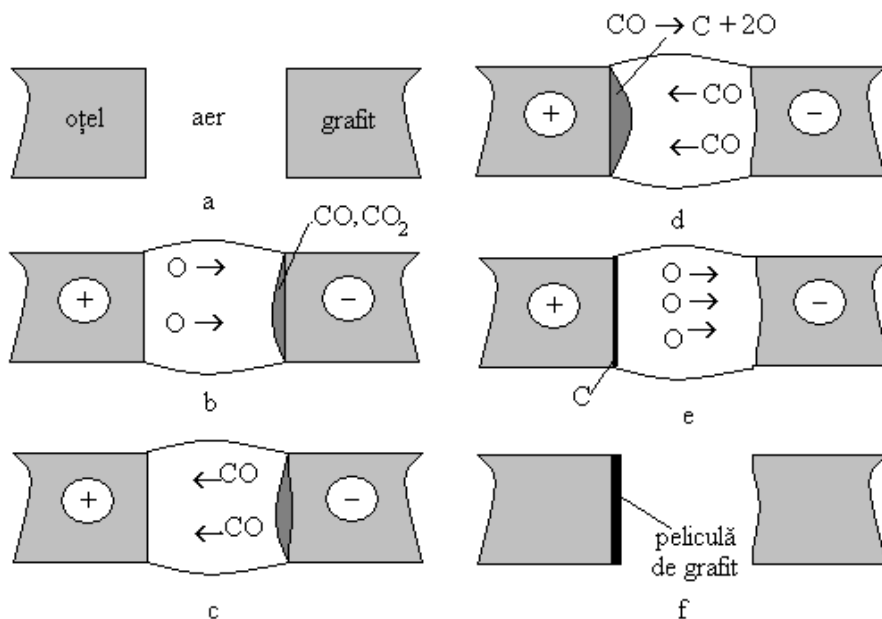


Fig. 3. Modelul fizic al formării peliculei de grafit pe suprafața piesei sub acțiunea descărcărilor electrice în impuls: a) starea inițială a electrozilor; b) formarea oxidului și bioxidului de carbon; c) electrizarea moleculei de gaz; d) reacția de recombinare a grafitului; e) formarea pelicului de grafit și oxigenului; f) starea finală a electrozilor

Reeșind din condițiile reale de tratare termică sau termochimică (fig. 3, a) (mediul de lucru aer, la presiunea atmosferică), am putea presupune că, datorită faptului că oxigenul din canalul de plasmă interacționează mai intensiv cu suprafața electrodului-catod, au loc reacții de oxidare cu degajarea oxidului de carbon CO și, posibil, formarea bioxidului de carbon CO<sub>2</sub> conform reacțiilor (fig. 3, b):



Drept confirmare a proceselor de oxidare a grafitului la suprafața catodului pot servi rezultatele obținute de către autorii lucrărilor [1, 13, 14, 19] referitor la procesele de formare a peliculelor de oxizi pe suprafețele pieselor metalice cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Oxidul de carbon în plasma descărcării electrice în impuls se electrizează negativ prin captarea unui electron și este supus deplasării spre suprafața anodului-piesă (fig. 3, c).

Datorită faptului că energia degajată la suprafața anodului este mai mare decât cea în interstițiu, molecula de gaz se disociază în ioni de carbon și oxigen (fig. 3,d). Cei de oxigen revin în canalul de plasmă, executând din nou oxidarea superficială a catodului, iar cei de carbon se recombina la suprafața anodului, formând pelicula de grafit (fig. 3,e). În continuare, pelicula de grafit formată pe suprafața piesei, sub acțiunea căldurii degajate la interfața cu plasma din canalul de descărcare, este supusă proceselor de difuzie în suprafața piesei, cu formarea stratului durificat. Nu este exclusă și eroziunea unei cantități de grafit de pe această suprafață în ultimă fază. În baza acestui model au fost realizate următoarele [2, 3, 4, 6, 12, 13, 19]:

- a fost concepută și realizată o instalație experimentală, ce permite tratarea termică și termochimică, precum și formarea peliculelor de grafit pe suprafața pieselor, aplicând descărcările electrice în impuls, în regimul petelor electrodice „reci”;

- au fost determinați parametrii funcționali și constructivi principali ai instalației, care influențează procesul de tratare termică;

- s-a realizat tehnologia de tratare termică și termochimică a suprafețelor piesei cu aplicarea impulsurilor unipolare și bipolare de curent;

- s-a realizat sporirea microdurității suprafeței prelucrate la utilizarea electrodului-sculă executat din grafit în regim de anod, catod și combinat ;

- s-a realizat formarea depunerilor din grafit pe suprafața piesei;

- s-a observat că la depunerea din grafit, utilizând impulsurile unipolare, microduritatea stratului alb este de circa 1,5-2 ori mai mare decât microduritatea materialul de bază;

- s-a stabilit, în mod experimental, că microduritatea suprafeței tratate cu electrod-sculă (anod-catod) executat din grafit, la descărcări electrice cu impulsuri bipolare, crește până la 10 ori față de microduritatea inițială a materialului piesei;

– cercetările experimentale au demonstrat faptul că microduritatea suprafeței tratate cu electrod-sculă (catod-anod) executat din grafit cu impulsuri bipolare crește până la 18 ori față de microduritatea materialului de execuție al piesei;

– s-a stabilit că grosimea stratului superficial, tratat cu impulsuri bipolare, variază în limitele 5-14 $\mu$ m pentru regimurile de prelucrare studiate;

– s-a determinat, experimental, că există o anumită grosime limită a stratului superficial, după care acesta se distruge;

– în baza instalației experimentale realizate, poate fi concepută o instalație industrială destinată tratării termice sau termochimice prin descărcări electrice în impuls.

Rezultatele cercetărilor efectuate de membrii colectivului de cercetare au fost reflectate în următoarele lucrări:

1. Topală, P., Stoicev, P. Tehnologii de prelucrarea a materialelor conductibile cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. TEHNO-INFO. Chișinău, 2008. 265 p.
2. Topală, Pavel, Ojegov, Alexandr. Formation of oxide thin pellicles by means of electric discharges in pulse // Annals of the Oradea University. Fascicle of management and technological engineering, volume VII (XVII), România, ISSN 1583-0691, CNCSIS „Clasa B+”, 2008. p. 309.
3. Topală, Pavel, Pînzaru, Natalia. Criteria for projecting tool-electrodes applied in the formation of surface layers with electric discharges in pulse// Annals of the Oradea University. Fascicle of management and technological engineering, volume VII (XVII), România. ISSN 1583-0691, CNCSIS „Clasa B+”, 2008. p. 310.
4. Topală, Pavel, Ojegov, Alexandr. Formation of oxide thin pellicles by means of electric discharges in pulse // Annals of the Oradea University. Fascicle of management and technological engineering, volume VII (XVII), CD-ROM România. ISSN 1583-0691, CNCSIS „Clasa B+”, 2008. p. 1824-1829.
5. Topală, Pavel, Pînzaru, Natalia. Criteria for projecting tool-electrodes applied in the formation of surface layers with electric discharges in pulse // Annals of the Oradea University. Fascicle of management and technological engineering, volume VII (XVII), CD-ROM, România. ISSN 1583-0691, CNCSIS „Clasa B+”, 2008. p.1830-1835.
6. Pereteatcu, Pavel. Contribuții privind intensificarea alierii prin scînteii electrice la acțiunea cu surse energetice din exterior // Autoreferat al tezei de doctor în tehnică / Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, - 2008. 20 p.
7. Rusnac, Vladislav. Modificarea microgeometriei suprafețelor pieselor la formarea straturilor de depunere prin metoda electroeroziunii // Rezumat tezei de doctor în tehnică / Universitatea „Dunarea de Jos” din Galati, România, 2008. 58 p.
8. Beșliu, Vitalie. Cercetări privind tratarea termică și termochimică a suprafețelor pieselor prin aplicarea descărcărilor electrice în impuls // Rezumat tezei de doctor în tehnică / Universitatea „Dunarea de Jos” din Galati, România, 2008. 54 p.
9. Topală, Pavel, Slătineanu, Laurențiu, Dodun, Oana, Pînzaru, Natalia. Influence of some factors on the powder deposition process by electrical discharges //



MECHANICS Proceedings of the International Scientific Conference. Rzeszów University of Technology, Poland. Rzeszów, June 2008. ISSN 0209-2689, 2008. p. 277-282.

10. Rusnac, Vladislav. Modelarea prin metoda rețelelor neuronale a procesului de modificare a microgeometriei suprafețelor metalice sub acțiunea descărcărilor electrice în impuls // Universitatea Agrară de Stat din Moldova. Lucrări științifice, V. 21. Chișinău, 2008, p. 160-164, ISBN 978-9975-64-132-6.

11. Topală, P., Stoicev, P., Balanici, A., Pînzaru, N. Упрочнение и восстановление деталей машин нанесением покрытий из порошковых материалов электроимпульсными разрядами // Universitatea Agrară de Stat din Moldova. Lucrări științifice, V. 21. Chișinău, 2008, c. 164-170, ISBN 978-9975-64-132-6.

12. Topală, P., Ojegov, A. Protejarea suprafețelor cilindrice interioare a țevelor industriale cu pelicule de oxizi obținute la aplicarea descărcărilor electrice în impuls // Universitatea Agrară de Stat din Moldova. Lucrări științifice, V. 21. Chișinău, 2008, p. 171-174, ISBN 978-9975-64-132-6.

13. Beșliu, V. Influența tratării termochimice prin aplicarea descărcărilor electrice cu impulsuri bipolare a supra microdurității și grosimii stratului superficial // Universitatea Agrară de Stat din Moldova. Lucrări științifice, V. 21. Chișinău, 2008, p. 175-178, ISBN 978-9975-64-132-6.

14. Topală, Pavel, Beșliu, Vitalie. Graphite deposits formation on innards surface on athibition of electric discharges in impulses // Buletinul Institutului Politehnic din Iași. Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași. Tomul LIV (LVIII), fasc. 2, Secția Construcției de mașini / 12<sup>th</sup> International Conference-TMCR-2008. Iași, România, May 29-31, 2008, p. 105-111, ISSN 1011-2855..

15. Topală, Pavel, Rusnac, Vladislav. Experimental investigations concerning the extraction of cone meniscus on metal surfaces with electrical discharge machining (EDM) adhibition // Buletinul Institutului Politehnic din Iași. Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași. Tomul LIV (LVIII), fasc. 2, Secția Construcției de mașini / 12<sup>th</sup> International Conference-TMCR-2008. Iași, România, May 29-31, 2008, p. 113-120, ISSN 1011-2855.

16. Topală, Pavel, Alexandr, Ojegov. Formation of oxide thin pellicles by means of electric discharges in pulse // Buletinul Institutului Politehnic din Iași. Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași. Tomul LIV (LVIII), fasc. 2, Secția Construcției de mașini / 12<sup>th</sup> International Conference-TMCR-2008. Iași, România, May 29-31, 2008, p. 121-128, ISSN 1011-2855.

17. Topală, Pavel, Pînzaru, Natalia. Criteria for projecting tool-electrodes applied in the formation of surface layers with electric discharges in pulse // Buletinul Institutului Politehnic din Iași. Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași. Tomul LIV (LVIII), fasc. 2, Secția Construcției de mașini / 12<sup>th</sup> International Conference-TMCR-2008. Iași, România, May 29-31, 2008, p. 129-135, ISSN 1011-2855.

18. Topală, P., Stoicev, P. Applied electric discharges in impulse of development non-conventional technologies // Пятая Международная Конференция «Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий». Тезисы докладов. 22-26 сентября 2008, Большая Ялта, Жуковка. Автономная Республика Крым, Украина. p. 41.
19. Beșliu, Vitalie. Cercetări privind cementarea stratului superficial al suprafețelor pieselor din oțel cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls // FIZICĂ ȘI TEHNICĂ: procese, modele, experimente. Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, 2008, nr. 1, p. 90-96, ISSN 1857-0437.
20. Rusnac, Vladislav. Cercetări experimentale privind modificarea microgeometriei suprafețelor pieselor metalice prin metoda electroeroziunii. // FIZICĂ ȘI TEHNICĂ: procese, modele, experimente. Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți, 2008, nr. 1, p. 97-104, ISSN 1857-0437.
21. Pavel, Topală. Studiul fundamental și aplicativ al efectelor electroerozive în tehnologiile neconvenționale / Autoreferat al tezei de doctor habilitat în tehnică, - Ch., 2008, 51 p.
22. Топала, П.А., Стойчев, П.Н., Баланич, А.М., Пынзару, Н.А. Исследования изменения интенсивности формирования покрытий из порошковых материалов с применением импульсных разрядов // Материалы международной конференции „ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, МЕХАНИЗМОВ, ОБОРУДОВАНИЯ, ИНСТРУМЕНТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ”, часть 2, - Санкт-Петербург, 2008. с.172-183.

## **RESEARCH ON STRUCTURAL MODIFICATION, CHEMICAL COMPOSITION AND MICRO GEOMETRY OF MACHINE PIECES SURFACES IN THE REGIME OF MAINTENANCE OF AN ELECTRIC IMPULSE DISCHARGE ON “COLD” AND “HOT” ELECTRODE SPOTS**

Research Conductor: **Pavel Topala**, Associate Professor, Doctor Habilitat;  
Responsible for implementation: **Alexandru Balanici**, Associate Professor, PhD

The objectives of the research theme are fundamental and applied studies of electro erosive phenomena in further development of non-conventional technologies of material processing. The presented results are applied to modifying the micro geometry of machine pieces surfaces with a view to increasing the properties of absorption and emission as well as to hardening surface strata at small depths.