

Pavel Topală

Petru Stoicev

**Tehnologii de prelucrare a materialelor conductibile cu
aplicarea descărcărilor electrice în impuls**

Recomandat pentru publicare
de Senatul Universitatii de Stat A. Russo
prin hotarirea nr. 5 din 16.01.2008

CZU 621.7.04 +621.983 (075.8)

T76

Tehnologii de prelucrare a materialelor conductibile cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls

În monografie sînt sintetizate rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale privind amorsarea și dezvoltarea descărcărilor electrice în impuls între electrozii situați în mediu dielectric, efectelor provocate de interacțiunea canalului de plasmă cu suprafețele electrozilor. Este propus un nou model fizic al prelevării materialului la electroeroziune în baza dezvoltării undelor capilare pe suprafața metalului lichid în câmpul electric al descărcărilor electrice în impuls. În calitate de surse de câmpuri electrice și căldură sînt considerate petele electrodice. Sînt prezentate procedee tehnologice de modificare a microgeometriei suprafețelor, formării straturilor de depunere din materiale compacte și pulberi, tratării termice și chimico-termice superficiale cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls.

Monografia este destinată specialiștilor din domeniul tehnologiilor neconvenționale de prelucrare a materialelor, cercetătorilor, doctoranzilor, masteranzilor, inginerilor și studenților de la facultățile de profil.

Technologies of Processing Conductible Materials by the Application of Electric Discharges in Impulse

The paper contains a synthesis of the results of theoretic and experimental investigations concerning the development of electric discharge in the impulse between the electrodes situated in dielectric medium, the effects provoked by the interaction of the plasma canal and the surface of electrodes. The authors offer a physical model of the detachment of material during electroerosion on the basis of capillary waves development on the liquid metal surface in the electric field of electric discharges in impulse. Electrode spots are regarded as sources for electric fields and heating. The authors also present technological procedures of microgeometric surface modification, deposition of compact and powder materials, thermic and superficial chemical thermic treatment by the application of electric discharges in impulse.

The paper is addressed to specialists in the field in nonconventional technologies of processing of materials, researchers, doctoral and master's students, engineers and students of specialized faculties.

Redactor: dr.conf. **Alexandru Balanici**

Paginare computerizată și tehnoredactare: master în tehnică **Natalia Pînzaru**

Recenzenți: dr.hab.șt.tehn. conf. **Grigore Marian**, Universitatea Agricolă de Stat a Moldovei; dr.conf. **Victor Pogora**, Universitatea Tehnică a Moldovei

Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții

Tehnologii de prelucrare a materialelor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls /Pavel Topală, Petru Stoicev; Univ. de Stat «A. Russo» Bălți, Univ. Tehnica a Moldovei
Ch.: Tehnica-Info, 2008 (Tipogr. Iasi).-267p.

Bibliogr.

ISBN

100 ex.

ISBN..

© P.Topală, P.Stoicev, 2008

| | |
|--|----|
| Prefață..... | 8 |
| I. Descărcarea electrică în impuls..... | 15 |
| 1.1. Generalități..... | 15 |
| 1.2. Parametrii descărcărilor electrice în impuls..... | 16 |
| 1.3. Caracteristicile electrodinamice ale descărcărilor electrice în impuls..... | 18 |
| 1.4. Forme de impulsuri a descărcărilor electrice..... | 20 |
| 1.5. Măsurarea parametrilor descărcărilor electrice în impuls..... | 21 |
| 1.6. Variația căderii de tensiune și rezistenței active a canalului de plasmă în funcție de mărimea interstițiului..... | 26 |
| 1.7. Distribuția energiei în interstițiu la aplicarea tehnologică a descărcărilor electrice în impuls..... | 33 |
| Bibliografie..... | 39 |
| II. Interacțiunea canalului de plasmă cu suprafețele electrozilor, particulele de pulberi și mediul de lucru..... | 43 |
| 2.1. Amorsarea și dezvoltarea canalului de plasmă în interstițiu..... | 43 |
| 2.2. Procese caracteristice prelucrării suprafețelor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls..... | 47 |
| 2.3. Dilatarea canalului de plasmă și coraportul căderilor de tensiune anodică și catodică..... | 60 |
| 2.4. Petele electrodice - surse punctiforme de căldură la aplicarea descărcărilor electrice în impuls în scopuri tehnologice..... | 65 |
| 2.5. Stabilirea valorii critice a curentului descărcării electrice în impuls necesar pentru formarea fazei licide a materialului suprafeței prelucrate.. | 68 |
| 2.6. Cantitatea de sarcină ce parcurge interstițiul la o descărcare electrică în impuls ca factor determinativ al prelevării de masă a materialului electrozilor | 71 |
| 2.7. Transferul de masă în faza solidă și procesele de difuzie în straturile de suprafață ale pieselor la interacțiunea lor cu plasma canalului descărcării electrice în impuls..... | 74 |

| | |
|---|-----|
| 2.8. Interacțiunea particulelor de pulberi cu canalul de plasmă al descărcării electrice în impuls..... | 86 |
| Bibliografie..... | 90 |
| III. Perturbarea suprafeței metalului lichid în câmpul electric al DEI cu dezvoltarea undelor capilare – un nou mecanism al eroziunii electrice | 100 |
| 3.1. Cercetări teoretice și experimentale privind perturbarea suprafețelor metalului lichid în câmp electric..... | 100 |
| 3.2. Tipuri de cratere obținute la prelucrarea suprafețelor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls..... | 101 |
| 3.3. Dezvoltarea perturbațiilor pe suprafața metalului lichid în condițiile descărcării electrice în impuls..... | 104 |
| 3.4. Modelul fizic al procesului electroeroziunii..... | 107 |
| 3.5. Stabilirea condițiilor de apariție a fazei lichide necesare pentru extragerea meniscurilor..... | 111 |
| 3.6. Unele rezultate ale cercetărilor experimentale privind extragerea meniscurilor pe suprafețele pieselor executate din diferite materiale..... | 117 |
| Bibliografie..... | 130 |
| IV. Aplicarea descărcărilor electrice în impuls la prelucrarea dimensională a pieselor..... | 135 |
| 4.1. Generalități..... | 135 |
| 4.2. Procedee tehnologice de prelucrare dimensională cu aplicarea DEI... | 138 |
| 4.3. Influența parametrilor tehnologici asupra intensității electroeroziunii la prelucrarea dimensională în medii lichide..... | 146 |
| 4.3.1. Influența energiei descărcării electrice în impuls asupra volumului de material prelevat la prelucrarea dimensională..... | 146 |
| 4.3.2. Influența intensității curentului asupra productivității la prelucrarea dimensională cu aplicarea DEI..... | 148 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.3. Influența duratei descărcărilor electrice în impuls asupra productivității la prelucrarea dimensională | 149 |
| 4.3.4. Influența frecvenței descărcărilor electrice în impuls asupra productivității la prelucrarea dimensională prin electroeroziune..... | 151 |
| 4.3.5. Influența parametrilor de natură neelectrică asupra productivității prelucrării dimensionale prin electroeroziune.... | 152 |
| 4.3.6. Rolul dielectricului utilizat asupra productivității la prelucrarile dimensionale cu aplicare DEI..... | 155 |
| 4.3.7. Dielectrice utilizați la prelucrarea prin electroeroziune..... | 157 |
| Bibliografie..... | 160 |
| V. Formarea straturilor de depunere cu rupere de contact..... | 163 |
| 5.1. Generalități..... | 163 |
| 5.2. Instalații și echipamente utilizate la formarea depunerilor cu aplicarea DEI cu rupere de contact..... | 168 |
| 5.2.1. Descrierea instalațiilor și echipamentului..... | 168 |
| 5.2.2. Instalația „Elitron-22”..... | 170 |
| 5.2.3. Reglarea debitului pulberi introduse în interstițiu la formarea depunerilor..... | 173 |
| 5.3. Cercetări tehnologice privind formarea straturilor de depunere prin descărcări electrice cu rupere de contact..... | 175 |
| 5.3.1. Formarea straturilor de depunere din materiale compacte prin descărcări electrice cu rupere de contact..... | 175 |
| 5.3.2. Cercetări tehnologice privind formarea straturilor de depunere din pulberi metalice prin descărcări electrice cu rupere de contact..... | 180 |
| Bibliografie..... | 185 |
| VI. Formarea straturilor de depunere din pulberi în regim de subexcitare..... | 188 |
| 6.1. Esența formării straturilor de depunere cu aplicarea DEI în regim de subexcitare..... | 188 |

| | |
|---|-----|
| 6.2. Echipamente aplicate la formarea straturilor de depunere din pulberi cu aplicarea DEI în regim de subexcitare..... | 194 |
| 6.3. Măsurarea interstițiului frontal la formarea depunerii din pulberi cu aplicarea DEI în regim de subexcitare..... | 198 |
| 6.4. Determinarea locului de introducere a particulelor de pulberi în interstițiu la formarea straturilor de depunere în regim de subexcitare..... | 199 |
| 6.5. Cercetări tehnologice privind formarea straturilor de depunere din pulberi metalice prin descărcări electrice în regim de subexcitare..... | 201 |
| 6.5.1. Variația intensității masice de formare a depunerii în funcție de mărimea interstițiului pentru diferite materiale..... | 201 |
| 6.5.2. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de debitul de pulberi din dozator pentru diferite materiale..... | 205 |
| 6.5.3. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de energia degajată în interstițiu..... | 208 |
| 6.5.4. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de mărimea razei particulei de pulberi metalice..... | 212 |
| 6.5.5. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de frecvența descărcărilor electrice.. | 215 |
| 6.5.6. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de timpul specific de prelucrare..... | 217 |
| 6.6. Grosimea straturilor de depunere formate din pulberi metalice cu aplicarea DEI..... | 219 |
| 6.7. Depunerea straturilor din pulberi metalice pe suprafețe plane..... | 221 |
| 6.7.1. Descrierea echipamentului tehnologic..... | 221 |
| 6.7.2. Stabilirea parametrilor de lucru la formarea depunerilor din pulberi pe suprafețe plane cu aplicarea DEI..... | 225 |

| | |
|--|-----|
| Bibliografie..... | 231 |
| VII. Tratarea termică și chimico-termică a suprafețelor pieselor cu aplicarea DEI în regim de subexcitare..... | 239 |
| 7.1. Generalități..... | 239 |
| 7.2. Echipamente pentru tratarea termică și termo-chimică a suprafețelor prin descărcări electrice în impuls..... | 240 |
| 7.3. Stabilirea condițiilor de tratare termică și chimico-termică superficială a pieselor, cu aplicarea DEI în regim de subexcitare..... | 244 |
| 7.4. Tratarea termică a suprafețelor pieselor executate din oțeluri de construcție și aliajele titanului cu aplicarea DEI..... | 249 |
| 7.5. Oxidarea superficială a pieselor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls..... | 251 |
| 7.6. Rezultatele cercetărilor experimentale privind obținerea straturilor de oxizi..... | 253 |
| 7.6.1. Grosimea straturilor de oxizi formate cu aplicarea DEI în funcție de regimul de prelucrare | 257 |
| 7.6.2. Proprietăți ale straturilor de oxizi formate cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls..... | 259 |
| Bibliografie..... | 262 |

Prefață

Descărcarea electrică în impuls ca proces de transformare rapidă a energiei câmpului electric în energie de alte tipuri prezintă interes ca obiect al cercetării nu numai în fizică și energetică, dar și din punct de vedere al implementării în practica de prelucrare a materialelor.

În prezent este făcută o încercare de sistematizare a rezultatelor teoretice și experimentale privind fenomenele electroerozive, termice și termo-chimice ce se produc în interstițiul format de electrozi la descărcările electrice în impuls. Este făcută o analiză a interacțiunii canalului de plasmă al descărcărilor electrice în impuls cu particulele de pulberi introduse în interstițiu la formarea straturilor de depunere.

Primul capitol a monografiei este consacrat definiției descărcării electrice în impuls, determinării parametrilor acesteia (duratei, căderii de tensiune pe interstițiu, curentului în impuls, energiei degajate în interstițiu și frecvenței impulsurilor de curent). Un rezultat semnificativ al acestuia este determinarea energiei descărcării electrice în impuls și redistribuirea ei între coloana canalului de plasmă și electrozi, care joacă un rol determinativ în dezvoltarea efectelor ce au loc în straturile de suprafață a electrozilor.

Cel de-al doilea capitol reflectă rezultatele cercetărilor experimentale privind interacțiunea canalului de plasmă cu suprafețele electrozilor pentru descărcările electrice în regim de subexcitare. Astfel se stabilește că, caracterul și legitățile fenomenelor electroerozive sunt determinate de petele electrodice „reci” și „calde” prin intermediul cărora canalul de plasmă interacționează cu suprafețele electrozilor. Petele electrodice sunt precăutate în calitate de surse punctiforme de energie situate la o anumită înălțime în raport cu suprafața prelucrată. Cantitatea masei prelevate de material de pe suprafețele electrozilor este funcție de: modul de includere a electrodului în conturul de descărcare al generatorului de impulsuri de curent (anod sau catod), proprietățile fizico-mecanice al materialului de execuție al electrozilor, mărimea interstițiului, regimul energetic de prelucrare, durata impulsurilor de curent, cantitatea de sarcină ce parcurge circuitul de descărcare pe

durata unui impuls, etc. Se stabilește că, transferul de masă pe suprafața prelucrată are loc atât în faza lichidă, cât și solidă a acesteea, iar adâncimea transferului de masă este funcție de regimul energetic de prelucrare, mărimea interstițiului, durata impulsului de curent și durata pauzelor dintre două impulsuri premărgătoare. Se demonstrează că, particulele de pulberi metalice introduse în interstițiu devin parte integrantă a conturului de descărcare și timpul lor de topire este determinat de fluxul sumar de căldură provenit de la canalul de plasmă și căldura Joule-Lentz degajată pe rezistența activă a acestora la parcurgerea lor de către curent.

Capitolul al treilea reflectă rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale privind: stabilirea unui nou tablou fizic de prelevare a materialului electrozilor la electroeroziune prin apariția și dezvoltarea undelor capilare pe suprafața metalului lichid în câmp electric; stabilirea condițiilor de extragere și cristalizare a meniscurilor; definitivarea unei tehnologii noi și performante de creștere a meniscurilor sub formă de con Taylor pe suprafețele pieselor prelucrate.

În cel de-al patrulea capitol sunt analizate legitățile prelucrării dimensionale prin electroeroziune. Prin analiza rezultatelor experimentale obținute de diferiți autori se stabilesc posibilitățile performante ale acestui tip de prelucrare la obținerea pieselor de dimensiuni mici executate din materiale dificil sau chiar imposibil de prelucrat prin procedee clasice. Se stabilește că, productivitatea procesului și precizia de prelucrare sunt funcție de: energia, durata și frecvența impulsurilor de curent, proprietățile materialului de prelucrat și cel al mediului dielectric de prelucrare. Se demonstrează că, și la prelucrarea dimensională procesele erozive au loc de fapt în mediu gazos, dar faza incipientă de amorsare a descărcării electrice în impuls are loc în mediu lichid dielectric, căruia îi revine funcția de evacuare a produselor de eroziune din zona de lucru.

Capitolul al cincilea prezintă o analiză a legităților de formare a straturilor de depunere din materiale compacte și pulberi cu amorsarea descărcării electrice în impuls cu rupere de contact. Se demonstrează că, intensitatea formării depunerii pe suprafața prelucrată a piesei este funcție de proprietățile materialului de realizare a acesteea, parametrii regimului de prelucrare, dimensiunile particulelor de pulberi și

debitul lor din dozator. Grosimea straturilor formate este limitată din motivul apariției tensiunilor remanente de natură termică.

În capitolul șase sunt stabilite legitățile de formare a straturilor de depunere din pulberi cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls în regim de subexcitare. Acesta stabilește că, intensitatea formării depunerilor este funcție de regimul energetic de prelucrare, frecvența impulsurilor de curent, debitul de pulberi din dozator, mărimea interstițiului, locului de introducere a pulberii în interstițiu. Se demonstrează că, pentru formarea depunerilor continui și cu productivitate înaltă se recomandă a utiliza pulberi cu diametrele echivalente a particulelor de ordinul micrometrilor. Procedul de formare a depunerilor din pulberi cu microsudarea particulelor pe suprafața electrodului-sculă a permis rezolvarea problemei de formare a straturilor de depunere pe suprafețe plane și profilate cu sporirea randamentului de utilizare a pulberii în limitele a 90...100%.

Ultimul capitol descrie procedeele de tratare termică și chimico-termică a suprafețelor pieselor. Stabilește legitățile de modificare a structurii și compoziției chimice a straturilor de suprafață a pieselor în lipsa formării depunerii. În regim de tratare termică a pieselor executate din oțeluri de construcție și aliaje ale titanului microduritatea lor sporește de 2...3 ori, rugozitatea acestora rămânând intactă ori chiar micșorându-se. Este descrisă tehnologia formării straturilor de oxizi pe suprafețele pieselor în condiții normale care permit sporirea rezistenței active a acestora de la 10^{-1} până la $10^6\Omega$.

Autorii speră că, această monografie va fi utilă cercetătorilor din domeniul tehnologiilor neconvenționale, doctoranzilor, masteranzilor, inginerilor și studenților de la facultățile ingineresti de profil.

Semne convenționale utilizate în lucrare

ρ – densitatea substanței, $\frac{kg}{m^3}$;

L – căldura latentă de evaporare, $\frac{cal}{g}$;

a – coeficient de conductibilitate termică, $\frac{W}{m \cdot K}$;

τ – timpul de expunere, s;

f – frecvență, Hz;

W – energia, J;

ω – frecvența ciclică, Hz;

α – coeficientul de tensiune superficială, $\frac{N}{m}$;

ρ_p – densitatea metalului piesei, $\frac{kg}{m^3}$;

$k = 2\pi/\lambda$ - numărul de undă;

λ – lungimea de undă, m;

σ – densitatea superficială a sarcinii, C/m²;

g – accelerația căderii libere, m/s²;

ε_0 - permitivitatea electrică a vidului, S/m;

ξ - permitivitatea electrică a aerului, S/m;

E – intensitatea câmpului electric în interstițiu, V/m;

b_0 – raza particulei de pulberi, m;

S - mărimea măsurată a interstițiului, mm;

γ_a - eroziunea specifică a anodului, mg/cm²;

Δm_c – variația masei catodului, g;

Δm_a – variația masei anodului, g;

t_p - timpul de prelucrare, s;

t_{sp} - timpul specific de prelucrare, $\frac{min}{cm^2}$;

γ_c - variația masică specifică a catodului, mg/cm²;

γ_a - eroziunea specifică a anodului, mg/cm²;

$\Delta\gamma$ - intensitatea masică de formare a depunerilor, mg/min;

K_t - coeficientul transferului de material pe catod;

P- debitul de pulberi, mg/min;

f - frecvența descărcărilor în impuls, Hz;

W – energia degajată în interstițiu, J;

A_p – aria suprafeței prelucrate, cm²

n – numărul de treceri a electrodului-sculă pe suprafața prelucrată a piesei;

a, b – constante proprii pentru materiale de depunere;

c, d, k, m – exponenți politropici care se stabilesc experimental și sînt funcție atît de proprietățile materialului pulberii cît și de condițiile de prelucrare;

C - capacitatea bateriei de condensatoare a generatorului de impulsuri, μF ;

I_{sc} - curentul de scurt-circuit a generatorului de impulsuri, A;

U - tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare, V;

m_{c1} - masa catodului pînă la prelucrare, g;

m_{c2} - masa catodului după prelucrare, g;

m_{a1} - masa anodului pînă la prelucrare, g;

m_{a2} - masa anodului după prelucrare, g;

I - curentul în interstițiu, A;

I_p - curentul ce trece prin particulă, A;

d- diametrul canalului de plasmă, mm;

$K=0,25\dots0,30$ (se determină pe cale experimentală) ;

ΔU_p - caderea de tensiune pe particula de pulberi, V;

U_a - tensiunea anodului, V;

J - densitatea curentului în interstițiu, $\frac{A}{mm^2}$;

q_{top} - căldura specifică de topire a materialului piesei, kJ/kg;

t - durata a descărcării electrice solitare, s;

U_e - căderea de tensiune pe interstițiu, V;

Q_{top} - căldura de topire a materialului piesei, kJ/kg;

η - randamentul instalației ;

b_0 - raza particulei de pulberi metalice, m;

Q_p - căldura specifică de topire a materialului particulei de pulberi metalice, kJ/kg;

ρ_p - densitatea materialului particulei de pulberi metalice, kg/m³

r_c - raza craterului cu fază lichidă format pe suprafața atacată a catodului, m;

r_a - raza craterului cu fază lichidă format pe suprafața atacată a anodului, m;

n_0 - numărul de particule de pulberi metalice ce se conțin în interstițiu la momentul declanșării descărcării electrice în impuls;

v - cota parte din interstițiu prin care trece descărcarea;

h - înălțimea de încărcare, m;

t_i - durata descărcării electrice în impuls, s;

t_p - timpul de pauză dintre două descărcări, s;

N - numărul de particule de pulberi metalice aflate în interstițiu;

V_p - volumul caracteristic al particulei de pulberi metalice, m³;

U_{oc} - căderea totală de tensiune pe porțiunea de circuit, V;

X_{oc} - rezistența totală a porțiunii circuitului de descărcare, Ω ;

I_0 - curentul total pentru un impuls în aceleași condiții, A;

S - interstițiul frontal, m;

$U(t)$ - căderea de tensiune indicată de aparatul de măsură, V;

$I(t)$ - valoarea instantanee a curentului în interstițiu, A;

U_l - căderea de tensiune în interstițiu, V;

W_s - energia descărcării degajată în interstițiu, J;

T_i - durata impulsului, s;

$R_{\text{ș}}$ – rezistența de șuntare, Ω ;

R - rezistența activă a canalului de conductibilitate a descărcării electrice în impuls, Ω ;

r_{cp} - raza canalului de plasmă format în interstițiu la o descărcare electrică în impuls, mm;

n_e - concentrația electronilor, $1/\text{m}^3$;

μ_e - mobilitatea electronilor, m/s;

e - sarcina electronului, c.

B-coeficient dependent de proprietățile materialului și de dimensiunile particulelor;

N_i - numărul de particule depuse în timpul unui impuls.

I. Descărcarea electrică în impuls.

1.1. Generalități

Descărcările electrice în general reprezintă o sursă concentrată de energie care în prezent s-au afirmat într-un domeniu larg aplicativ în tehnologiile de prelucrare a materialelor. Astfel putem constata că, descărcările electrice sub formă de arc se aplică pe larg în tehnologiile de sudare și debitare a materialelor [1, 2], de formare a depunerilor [3], de microoxidare a suprafețelor pieselor aplicate în diferite construcții industriale [4] etc.

Odată cu inventarea de către soții B.R. Lazarenko și N.I. Lazarenko a metodei de prelucrare a materialelor prin electroeroziune, aceștea au introdus în uz un nou termen “descărcare electrică prin scîntee” sau „scîntee electrică”. Acest tip de descărcări electrice a fost aplicat la început pentru prelucrarea dimensională [5, 13, 14, 15, 19, 27], iar apoi și la formarea superficială a straturilor de depunere din materiale compacte [21] și pulberi [9]. Dezvoltarea de mai departe a acestei metode de prelucrare a făcut posibilă și rectificarea suprafețelor pînă la clase superioare de rugozitate [22]. Însă în literatura de specialitate ce ține de acest domeniu de aplicare a descărcărilor electrice se întîlnesc diferiți termeni cum ar fi: descărcare electrică în impuls, „microspark” etc. Utilizarea de către diferiți autori a diferitor termenologii duc în eroare cercetătorii creînd senzația că se vorbește de diferite metode de prelucrare. Din acest motiv pentru început vom determina ce au în vedere aceștea și dacă în fond este o deosebire esențială între acești termeni.

Astfel pentru “scîntea electrică” [13, 14, 15, 17, 23], „micro-electro discharge” [8, 10, 11, 12] și „descărcarea electrică în impuls” [9] este caracteristică: prezența a doi electrozi, între electrozi se formează un joc, numit interstițiu, cuprins în limitele de la $2 \cdot 10^{-6} \dots 10^{-3} \text{m}$, o durată a impulsului de curent din interstițiu de $10^{-8} \dots 10^{-4} \text{s}$, căderea sumară de tensiune pe electrozi constituie cca 20V, iar între electrozi se formează un nor de plasmă și toate acestea decurg în medii dielectrice. Din cele menționate mai sus rezultă că, de fapt, aceste noțiuni reflectă aceeași esență, adică pot fi precăutate ca sinonime. În lucrarea [6] sunt

aduse argumente elocvente în conformitate cu care acestea sunt precăutate ca faza incipientă a descărcării electrice prin arc. În desfășurarea de mai departe a acestei lucrări se va utiliza descărcarea electrică în impuls (DEI).

1.2. Parametrii descărcărilor electrice în impuls

În timpul prelucrării dimesionale cu aplicarea DEI, între sculă și piesa de prelucrat nu există contact direct, ele fiind permanent despărțite de o peliculă de lichid dielectric, sau gaz - la formarea straturilor de depunere. Prin tensiunea produsă de generator mediul dielectric (gaz sau lichid) este străpuns printr-o descărcare electrică în impuls de durată scurtă ($10^{-8} \dots 10^{-4}$ s) care, datorită temperaturii ce o dezvoltă (peste 10000°C) topește local piesa de prelucrat și electrodul-sculă. După o pauză necesară deionizării mediului dielectric, electrodul-sculă și piesa de prelucrat sunt supuse din nou acțiunii tensiunii și are loc o nouă descărcare electrică ce produce topirea locală și prelevarea de material dintr-un alt punct al piesei (la prelucrarea dimensiopnală) sau al electrodului – sculă (la formarea straturilor de depunere). Frecvența descărcărilor poate atinge pînă la 400kHz. Descărcarea electrică în impuls ce se produce între electrodul-sculă și piesă este de fapt o descărcare în plasmă [6, 14, 15, 18] și are toate caracteristicile acesteia, care o deosebesc fundamental de o descărcare prin arc electric. Este vorba în primul rînd de densitățile de curent de ordinul 10^6 - $10^8 \text{A}/\text{cm}^2$ și apoi de valorile cîmpului electric de cca $10^4 \text{V}/\text{cm}$, ce nu se pot atinge la descărcarea prin arc electric. O altă caracteristică importantă a descărcării electrice în impuls este aceea că, pe parcursul ei, tensiunea pe interstițiu scade totdeauna la o valoare cuprinsă în limitele 15-25V pentru generatoarele de impulsuri comandate și 40-70V pentru generatoare de relaxare. Datorită acestor caracteristici prelucrarea prin electroeroziune cu aplicarea DEI are un caracter intens de eroziune, bine orientat și bine dozat spre deosebire de descărcarea în arc electric care are efect distructiv, nedirijat, conducînd la productivități mici, dar producînd uzuri mari ale electrodului-sculă. Referitor la modul în care se produce DEI între electrodul-sculă și piesă există mai multe teorii dintre cele mai cunoscute sunt [15]:

a) teoria canalului de descărcare prin scînteie în cazul lichidelor dielectrice pure. Cu toate că în practică nu există dielectric absolut pur, se poate asimila un dielectric curat, bine filtrat cu un asemenea dielectric. În acest caz înaintea descărcării electrice în impuls se stabilește un curent electronic între cele mai apropiate puncte de la suprafața electrodului-sculă și a piesei de prelucrat. Deoarece electronii acestui curent au o energie scăzută, ei nu pot produce ionizarea mediului dielectric, însă produc o încălzire locală ce conduce la formarea unei bule de gaz. Prin această bulă de gaz are loc descărcarea în impuls care produce ulterior prelevarea de material;

b) teoria formării canalului de descărcare în cazul lichidelor dielectrice reale, industriale. Conform acestei teorii în lichide dielectrice reale ce conțin și impurități de natura produselor de eroziune sau a produselor de piroliză, se formează un canal ionizat de descărcare prin intermediul punților formate de particulele. După o descărcare are loc o altă descărcare pe direcția a două puncte mai apropiate;

c) teoria formării canalului de descărcare în mediu gazos include în sine două mecanisme: primul, la contactarea celor doi electrozi se degajă căldura Joule-Lentz pe rezistența activă dintre aceștea, ceea ce favorizează emisia de electroni și, respectiv, formarea canalului de conductivitate; cel de-al doilea presupune aplicarea asupra interstițiului a câmpurilor electrice de intensitate înaltă ($10^7 \dots 10^8 \text{V/m}$) care facilitează emisia de electroni cu accelerarea acestora și formarea canalului de conductivitate în avalanșă.

În desfășurarea de mai departe a acestei lucrări vor fi precăutate în general formele impulsurilor de curent și tensiune aplicate asupra interstițiului la prelucrarea dimensională și formarea straturilor de suprafață și, în particular, metodica determinării parametrilor acestora.

1.3. Caracteristicile electrodinamice ale descărcărilor electrice în impuls

În conformitate cu I.S.O. terminologia aplicată privind descărcările electrice în impuls poate fi prezentată cum urmează [14]:

– durata descărcării electrice în impuls (t_i), este timpul efectiv a scurgerii curentului prin zona de lucru. Durata efectivă a acesteea, se măsoară în secunde, fig. 1.1.

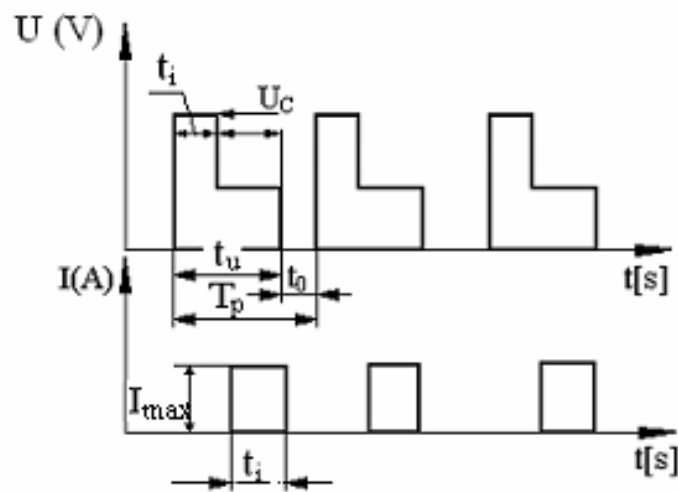


Fig. 1.1. Caracteristicile impulsului

– frecvența descărcărilor electrice în impuls (f_s) se definește ca inversul duratei descărcării și se măsoară în Hz:

$$f_s = \frac{1}{t_s} \text{ (Hz)} \quad (1.1)$$

– întârzierea declanșării descărcării electrice în impuls (t_i) – este durata de timp de la stabilirea punerii sub tensiune a electrodului-sculă și a piesei pînă la momentul declanșării descărcării. Se măsoară în secunde;

– durata impulsului de tensiune (t_i) – este timpul cît se ține sub tensiune scula și piesa. Este dată de suma:

$$t_u = t_i + t_i \quad (1.2)$$

– durata pauzei impulsului (t_0) – este intervalul de timp în care cei doi electrozi sunt scoși de sub tensiune. Se măsoară în secunde;

– perioada impulsului (T) – este durata de timp între două puneri succesive sub tensiune a sculei și a piesei și se măsoară în secunde:

$$T_p = t_i + t_i; \quad (1.3)$$

– frecvența impulsurilor (f_p) – este valoarea inversă a perioadei și se exprimă în Hz:

$$f_p = \frac{1}{T} \quad (1.4)$$

În afară de cele menționate mai sus se mai definesc și alte mărimi care caracterizează descărcările electrice în impuls, cum ar fi:

– coeficientul de umplere a impulsurilor de curent, (K_i):

$$K_i = \frac{t_i}{T} = t_i \cdot f_p, \quad (1.5)$$

unde: t_i este durata impulsului de curent (durata DEI).

– coeficientul de umplere a impulsurilor de tensiune, (K_U):

$$K_U = \frac{t_u}{T} = t_u \cdot f_p, \quad (1.6)$$

unde: t_u este durata impulsului de tensiune;

– puterea maximă a impulsurilor (P_m).

Descărcarea electrică în impuls permite obținerea unei puteri maxime a impulsurilor (P_m) mai mare decât puterea medie a sursei (P_S):

$$P_m > P_S \text{ (kW)} \quad (1.7)$$

din motivul duratei de timp mult mai mici în care energia se degajă în interstițiu la o DEI.

1.4. Forme de impulsuri a descărcărilor electrice

Dacă se ia în considerație o descărcare solitară între cei doi electrozi, pot apărea patru tipuri diferite de descărcări [5, 14, 20].

a) descărcarea normală are loc atunci când dielectricul este curat, iar tensiunea aplicată asupra electrozilor este superioară tensiunii de străpungere a dielectricului, (fig. 1.2, a). Energia descărcării electrice în impuls provoacă prelevarea de material, iar unda de șoc provocată de încălzirea și evaporizarea dielectricului și metalului duce la îndepărtarea produselor de eroziune din interstițiul de lucru;

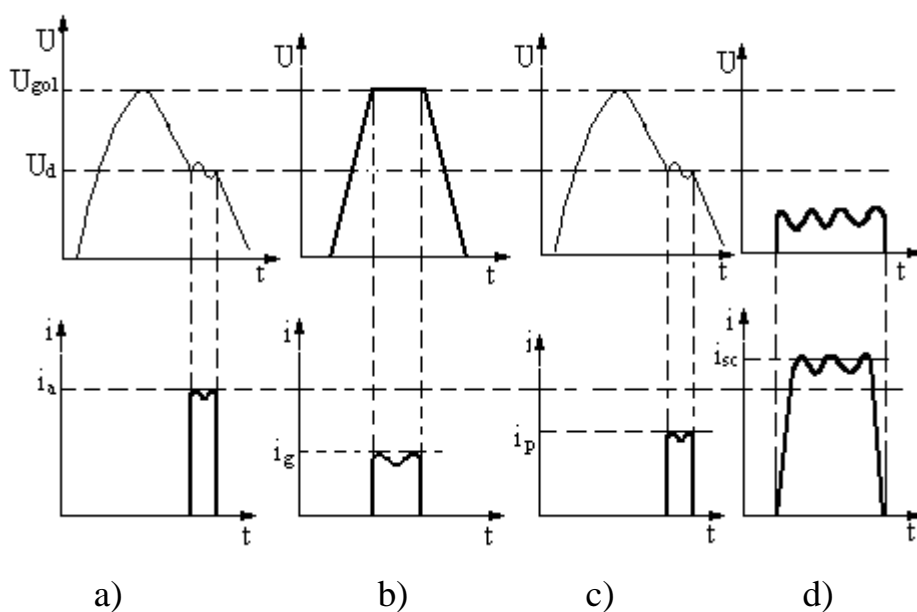


Fig. 1.2. Tipuri de descărcări electrice în impuls

b) descărcarea în gol are loc în condițiile unui interstițiu de lucru (S) mult mai mare decât cel normal, fără a se mări tensiunea aplicată celor doi electrozi. Acest lucru se întâmplă, de obicei, în condițiile impurificării dielectricului cu medii conductoare altele decât particulele metalice erodate. În acest caz nu se produce prelevarea de material însă se consumă curent datorită faptului că valoarea curentului nu este nulă, (fig. 1.2, b). În acest caz curentul se consumă pentru încălzirea dielectricului prin efectul Joule-Lentz;

c) descărcarea fictivă, (fig. 1.2, c) are loc între particule încărcate electric la potențiale diferite. Aceste descărcări consumă curent, însă nu produc prelevare de material.

d) descărcarea în scurtcircuit, (fig. 1.2, d) are loc atât la atingerea celor doi electrozi cât și la formarea unei punți metalice din particule erodate între cei doi electrozi. În acest caz descărcarea devine staționară sau quasistaționară, obținându-se prelevarea de material în condiții de arc electric. Productivitatea este mare, însă precizia joasă.

1.5. Măsurarea parametrilor descărcărilor electrice în impuls

În procesele tehnologice de prelucrare dimensională și formare a depunerilor, un rol important îl au parametrii descărcărilor în impuls. Se impune astfel cunoașterea: duratei impulsului de curent t_i , amplitudinii curentului electric I_m , tensiunii electrice U_i , și energiei care se degajă în interstițiu W_s . Studiul acestor parametri pentru cazul formării depunerilor s-a efectuat prin oscilografiera impulsurilor generate de generatorul instalației “ Razread-2M ” [9, 17].

Pentru determinarea intensității maxime a curentului în impuls și căderii de tensiune pe interstițiu a fost utilizat osciloscopul cu memorie U8-13. În acest scop a fost aplicat șuntul coaxial special cu rezistența $R_s = 0.003\Omega$ și a fost elaborat un divizor de tensiune. Schema bloc de măsurare a caracteristicilor electrodinamice a descărcărilor electrice în impuls este prezentată în (fig. 1.3). Cum se vede din figură șuntul este conectat în serie în circuitul de descărcare, iar divizorul de tensiune – paralel cu interstițiul format de anod și catod. Energia degajată în impuls, precum și energia degajată în interstițiu, se determină prin metoda osciloscopării, altfel spus – prin metoda integrării:

$$W = \int_0^{\tau} I(t)U_e(t)dt, \quad (1.8)$$

$$W_s = \int_0^{\tau} I(t)U_s(t)dt, \quad (1.9)$$

unde: $I(t)$ – valoarea momentană a curentului;

$U_c(t)$ – valoarea momentană a tensiunii;

$U_s(t)$ – valoarea momentană a tensiunii pe interstiții.

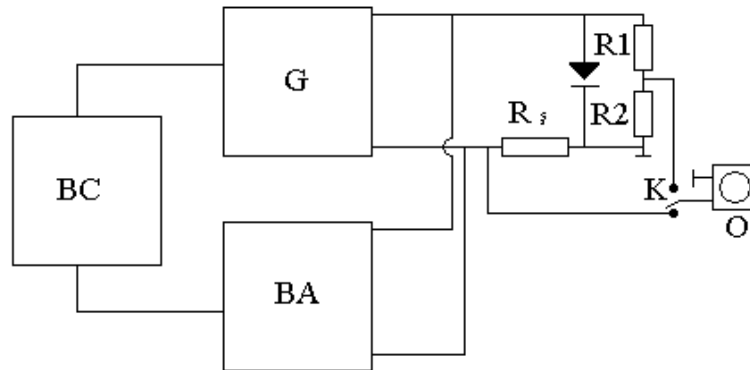


Fig. 1.3. Schema bloc de măsurare a caracteristicilor electrodinamice a descărcărilor electrice în impuls:

BC- bloc de comandă; G- generator de impulsuri;

BA- bloc de amorsare; O- osciloscop; R_s - șunt;

R1-R2- divizor de tensiune; K- comutator.

Pentru a determina căderea de tensiune pe interstițiu, la schimbarea mărimii acestuia, curentul în impuls se menține constant prin schimbarea cantității de energie acumulată pe bateria de condensatoare.

Oscilogramele au fost obținute după metodica descrisă în lucrarea [18], cu oscilograful universal cu memorie tip U8-13, în regim de urmărire ori așteptare. Tensiunea descărcării s-a măsurat direct pe interstițiu, iar intensitatea curentului prin intermediul unui șunt, coaxial de inductanță mică [14], care era legat în serie în circuitul catodic. La măsurarea tensiunii pe interstițiu, U_s , și curentului I_s o pondere mare în eroarea valorii măsurate o are forța electromotoare de autoinducție, (U_L), a porțiunii de circuit pe care se efectuează măsurarea și componenta activă a porțiunii, U_a . De obicei, în circuitul de măsurare intră o porțiune a conturului de descărcare constituit din electrodul-anod și piesa-catod, care se leagă la aparatul de înregistrare.

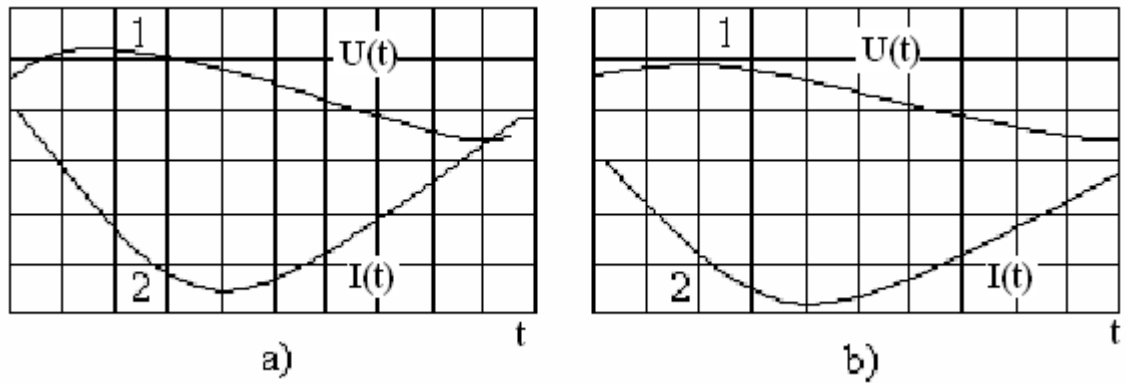


Fig. 1.4. Oscilogrammele tensiunii (1) și intensității curentului (2), din interstițiu
a) pentru scurtcircuit ($S=0$);
b) pentru interstițiul $S=0,1$ mm.

Tensiunea de încărcare a condensatoarelor de lucru $U_c=240V$, valoarea unei diviziuni pentru tensiunea $50V/div$, pentru curent $2V/div$, $R_s=0,003$ impulsului, intensității curentului cât și căderii de tensiune pe interstițiu pe durata impulsului

Tensiunea U_S este proporțională cu valoarea curentului la o descărcare pentru un impuls și ponderea ei în mărimea erorii poate fi determinată experimental dacă pentru o valoare identică intensității curentului impulsului (de scurtcircuit) se măsoară tensiunea.

În practică, această situație se realizează foarte greu, motiv pentru care se determină valoarea rezistenței totale a porțiunii circuitului de descărcare ce participă la măsurare cu relația:

$$X_{oc} = \frac{U_{oc}}{I_o} [\Omega], \quad (1.10)$$

în care U_{oc} reprezintă căderea totală de tensiune pe porțiunea de circuit, pentru $S=0$, (electrozii în scurtcircuit), iar I_o - curentul total pentru un impuls în aceleași condiții (fig. 1.4, a).

Pentru determinarea energiei degajate în interstițiu se vor utiliza oscilogrammele căderii de tensiune și intensității curentului (fig. 1.4, b) pentru o

anumită mărime a interstițiului frontal S. Valorile tensiunii pe interstițiu și energia descărcării se calculează cu relațiile:

$$U_e = \int_0^{t_i} U(t)dt - X_{oc} \int_0^{t_i} I(t)dt, \quad (1.11)$$

$$W_S = \int_0^{t_i} U_s(t)I(t)dt \quad (1.12)$$

în care: $U(t)$ și $I(t)$ sunt valorile instantanee ale tensiunii și curentului; U_s este căderea de tensiune pe interstițiu; $U(t)$ - căderea de tensiune ce o indică aparatul de măsură; X_{oc} - rezistența totală a porțiunii circuitului de descărcare ce intră în circuitul de măsurare; $I(t)$ - curentul în interstițiu; W_S - energia descărcării degajată în interstițiu; t_i - durata impulsului. Valorile integralelor definite de expresiile (1.11) și (1.12) se calculează ca arii ale suprafețelor cuprinse între curbele intensității curentului și respectiv căderii de tensiune și axa timpului din oscilograme (fig. 1.4). Este important de menționat că inițial oscilogramele se înregistrează prin intermediul șuntării interstițiului cu un conductor din cupru cu diametrul de $25 \mu m$, iar încărcarea bateriei de condensatoare C_1 se realizează în starea închisă a tiristorului chee din conturul de descărcare (fig. 1.5). După încărcare aceasta se deschide prin comanda de la panou. Acest mod de lucru este impus de necesitatea asigurării protecției oscilografului. Experiențele se repetă cu un divizor de tensiune și pentru cazul utilizării impulsului de amorsare. Acestea arată că durata scurtă a acestui impuls nu influențează măsurările, iar rezultatele în ambele cazuri sunt identice. Datele experimentale referitoare la măsurarea parametrilor energetici din interstițiu (căderea de tensiune, curentul maxim I_m și durata impulsului, t_i), vor fi prezentate în continuare.

Tabelul 1.1

Parametrii impulsurilor în funcție de mărimea interstițiului S_f și tensiunea de încărcare a condensatoarelor de lucru, U_C

| S_f (mm) | U_C [V] | t_i , [μs] | I_{max} [A] | U_s [V] | W [J] |
|------------|-------------|---------------------|----------------|-----------|---------|
| 0,1 | 160 | 200 | 1350 | 30,0 | 2,7 |
| | 240 | 200 | 1500 | 30,1 | 3,8 |
| | 320 | 200 | 1950 | 32,0 | 4,8 |
| | 400 | 200 | 2375 | 30,0 | 6,8 |
| 0,5 | 160 | 200 | 1300 | 35,0 | 2,9 |
| | 240 | 200 | 1400 | 34,9 | 4,5 |
| | 320 | 200 | 1795 | 34,9 | 5,3 |
| | 400 | 200 | 2210 | 34,95 | 7,2 |
| 1,0 | 160 | 200 | 1159 | 37,8 | 3,1 |
| | 240 | 200 | 1315 | 38,2 | 4,9 |
| | 320 | 200 | 1700 | 38,0 | 5,5 |
| | 400 | 200 | 2105 | 38,5 | 7,7 |
| 1,5 | 160 | 200 | 1100 | 42,1 | 3,3 |
| | 240 | 200 | 1730 | 41,5. | 5,3 |
| | 320 | 200 | 1700 | 43,1 | 5,7 |
| | 400 | 200 | 2050 | 42,0 | 7,61 |
| 2,0 | 160 | 200 | 985 | 49,5 | 3,3 |
| | 240 | 200 | 1039 | 50,0 | 5,27 |
| | 320 | 200 | 1465 | 51,3 | 7,9 |
| | 400 | 200 | 1832 | 50,0 | 7,95 |

În baza rezultatelor obținute se poate constata că tensiunea pe interstițiul (U_s) la aceleași valori ale interstițiului (S) este constantă și practic nu depinde de tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare (U_C). În schimb, intensitatea curentului în interstițiu se modifică proporțional cu valorile tensiunii U_C , iar energia degajată crește cu pînă la 20%, odată cu creșterea mărimii interstițiului S în limitele 0,1-2,0 mm (tabelul 1.1).

1.6. Variația căderii de tensiune și rezistenței active a canalului de plasmă în funcție de mărimea interstițiului

Rezultatele diferitor cercetări de aplicare a materialelor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls, nu totdeauna pot fi repetate de alți cercetători în condiții similare, datorită faptului că în literatura de specialitate lipsesc factorii caracteristicii descărcării electrice în impuls. În cazul aplicării descărcărilor electrice în impuls (prelucrarea dimensională prin electroeroziune, tratamente termice și chimico-termice superficiale, depunerea straturilor de protecție etc.) s-a propus să fie acceptați următorii factori: W -energia impulsului; $I(t)$ -valoarea curentului unui impuls; $U(t)$ -căderea de tensiune pe interstițiu; τ -durata impulsului de descărcare; f -frecvența descărcărilor în impuls [17,18,19, 20, 22, 24, 29].

Determinarea reală a acestor mărimi, deschid posibilități largi pentru confirmarea veridicității unor sau altor rezultate. Conform metodicii [18], energia acumulată pe baterieea de condensatoare $W_c = \frac{CU^2}{2}$ nu poate servi ca mărime reală în procesele tehnologice, deoarece energia acumulată pe bateria de condensatoare a generatorului și cea degajată în interstițiu au mărimi absolut diferite. Prima se degajă atât pe circuitul de descărcare cât și în interstițiu, motiv pentru care nu se poate calcula exact cantitatea de energie degajată în interstițiu. Dacă vorbim despre procesele de prelucrare la care valoarea interstițiului se schimbă de la zero până la 2.5...3 mm, atunci se schimbă nu numai cantitatea de energie degajată în interstițiu, dar, posibil și coraportul dintre cantitate de energie degajată pe suprafețele electrozilor și cea a coloanei de plasmă.

Un caz particular de aplicare descărcărilor electrice în impuls îl reprezintă instalația de formare a straturilor de depunere de tipul "Razread" [9, 23, 25, 26]. Este de menționat că, în procesul de funcționare a acestor instalații mărimea interstițiului se schimbă în limitele indicate mai sus, iar tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare variază de la 80 pînă la 500V, la o capacitate a bateriei

de condensatoare de $600\mu\text{F}$. Din aceasta rezultă că tensiunea aplicată electrozilor nu totdeauna este suficientă pentru străpungerea interstițiului.

Pentru a asigura o funcționare normală a acestei instalații în ea există un bloc generator de impulsuri de amorsare cu o tensiune de până la $U_{\text{max}}=12\text{kV}$, și un curent de până la 0.1mA cu o durată $10\mu\text{s}$.

Să analizăm unele rezultate experimentale privind principalii parametri ai descărcărilor electrice în impuls în condițiile descrise mai sus. Determinarea parametrilor descărcării electrice sa efectuat prin intermediul osciloscopierii conform metodicii descrise mai sus. În calitate de aparat de înregistrare a fost utilizat osciloscopul cu memorie de tipul CЧ-1-10 [9, 31, 32].

Cantitatea de energie degajată în interstițiu la o descărcare electrică solitară se determină cu relația (1.9):

Tabelul 1.2

Căderea de tensine pe interstițiu și energia degajată în el ca funcție de mărimea lui pentru valoarea constantă a curentului ce îl parcurge

| Nr. exp. | S (mm) | $U_c(\text{V})$ | $I_a, (\text{A})$ | $t_i (\mu\text{s})$ | $U_s (\text{V})$ | $W_c, (\text{J})$ | $W_s, (\text{J})$ |
|----------|--------|-----------------|-------------------|---------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 0.1 | 148 | 1350 | 250 | 20 | 6.57 | 2.94 |
| 2 | 0.3 | 150 | | | 21 | 6.75 | 3.04 |
| 3 | 0.4 | 157 | | | 23 | 7.38 | 3.10 |
| 4 | 0.5 | 157 | | | 25 | 7.38 | 3.17 |
| 5 | 0.6 | 159 | | | 29 | 7.5 | 3.25 |
| 6 | 0.8 | 160 | | | 30 | 7.68 | 3.33 |
| 7 | 1.0 | 160 | | | 36 | 7.68 | 3.40 |
| 8 | 1.25 | 160 | | | 38 | 7.68 | 3.47 |
| 9 | 1.5 | 162 | | | 43 | 7.87 | 3.58 |
| 10 | 1.7 | 163 | | | 46 | 7.97 | 3.87 |
| 11 | 1.85 | 165 | | | 50 | 8.1 | 3.82 |
| 12 | 2.0 | 170 | | | 54 | 8.67 | 3.90 |

Pentru a determina căderea de tensiune pe interstițiu, la schimbarea mărimii acestuia, curentul în impuls se menținea constant prin schimbarea cantității de energie acumulată pe bateria de condensatoare (tab. 1.2).

Au fost efectuate aceleași măsurări și pentru cazul când energia acumulată pe bateria de condensatoare este o mărime constantă. (tab. 1.3) $W_c = \text{const}$, pentru diferite valori ale tensiunii de încărcare a bateriei de condensatoare ($U_c = 160; 240; 320; 400$ V). Pentru efectuarea măsurărilor valorii curenților de descărcare și a duratei impulsului a fost utilizat un șunt coaxial cu rezistența de $R_s = 0.003 \Omega$.

Tabelul 1.3

Căderea de tensiune pe interstițiu și energia degajată în el și a energiei acumulate pe bateria de condensatoare a generatorului ca funcție de mărimea acestuia

| S, (mm) | U_c, (V) | W_c, (J) | I_{\max}, (A) | U_s(V) | W_s(J) |
|----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 0.1 | 160 | 7.68 | 1350 | 21 | 3.04 |
| | 240 | 17.28 | 1500 | 20.05 | 4.3 |
| | 320 | 30.72 | 1950 | 20.55 | 4.8 |
| | 400 | 48.00 | 2375 | 20.8 | 6.82 |
| 0.5 | 160 | 7.68 | 1300 | 26 | 3.17 |
| | 240 | 17.28 | 1400 | 25.2 | 4.5 |
| | 320 | 30.72 | 1795 | 25.8 | 5.3 |
| | 400 | 48.00 | 2210 | 26.1 | 7.2 |
| 1 | 160 | 7.68 | 1159 | 30.5 | 3.4 |
| | 240 | 17.28 | 1315 | 31.1 | 4.9 |
| | 320 | 30.72 | 1700 | 30.0 | 5.5 |
| | 400 | 48.00 | 2105 | 30.0 | 7.7 |
| 1.5 | 160 | 7.68 | 1100 | 37.9 | 3.58 |
| | 240 | 17.28 | 1230 | 38.2 | 5.3 |
| | 320 | 30.72 | 1700 | 38.0 | 5.7 |
| | 400 | 48.00 | 2050 | 38.5 | 7.01 |
| 2.0 | 160 | 7.68 | 985 | 49.5 | 3.9 |
| | 240 | 17.28 | 1039 | 50.0 | 5.27 |
| | 320 | 30.72 | 1465 | 51.3 | 7.9 |
| | 400 | 48.00 | 1832 | 50.0 | 7.95 |

Dacă vom face o analiză succintă a rezultatelor prezentate în tabelul 1.2 putem ușor observa că mărimea duratei impulsului de descărcare t_i rămîne practic constantă pentru toate valorile tensiunii de încărcare a bateriei de condensatoare.

Aceasta se datorește faptului că parametrii conturului de descărcare rămân constanți.

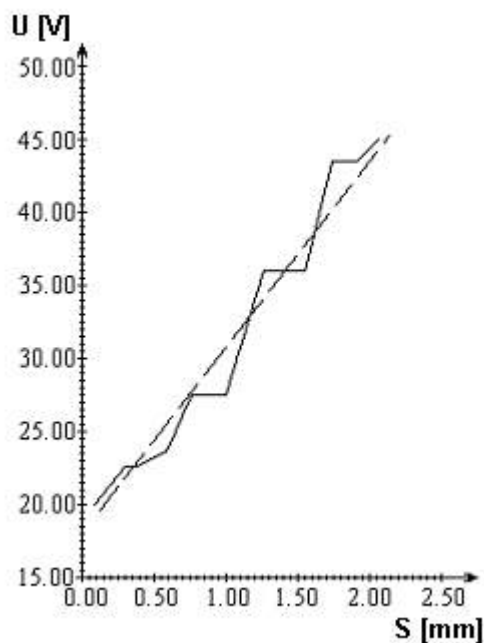


Fig. 1.6. Variația valorii tensiunii pe interstițiu funcție de mărimea lui

În cazul schimbării valorii tensiunii pe interstițiu (fig. 1.6), odată cu variația mărimii acestuia, putem ușor observa că tensiunea pe el crește proporțional cu mărimea lui. Conform rezultatelor obținute în lucrările [9, 16, 20, 22], căderea de tensiune pe interstițiu, pentru valorile fixate ale acestuia, poate fi exprimată cu relația:

$$U_i = A(t) + B(t) \cdot S, \quad (1.13)$$

în care $A(t) = U_a(t) + U_c(t)$, iar $U_a(t)$ și $U_c(t)$ sunt, respectiv, căderea de tensiune anodică și catodică;

Astfel, în conformitate cu rezultatele lucrărilor [20, 22], poate fi determinată căderea sumară de tensiune în zona anodică și cea catodică a descărcării și gradientul de potențial $B(t)$ pe canalul de plasmă:

$$B_t = \frac{\partial U(t)}{\partial S} = E_s(t) \quad (1.14)$$

în care $E_s(t)$ – prezintă intensitatea câmpului electric în interstițiu.

Rezultatele măsurărilor și ilustrarea lor grafică (fig. 1.6) pot fi descrise cu relația:

$$U_s = 19.206 + 14.235S \quad (1.15)$$

Curba variației tensiunii în dependență de mărimea interstițiului își are începutul într-un punct U_s (pentru $S=0$) care este o mărime constantă pentru o pereche de electrozi (de exemplu, anod Cu și catod oțel-3).

Relația 1.15 ne indică asupra faptului, că căderea de tensiune pe interstițiu variază odată cu schimbarea mărimii acestuia după o funcție aproximativ rectilinie. Din relația 1.15 devine evident faptul că odată cu creșterea mărimii interstițiului, pentru a asigura circulația curentului electric, este necesară sporirea intensității câmpului electric în interstițiu și, ca rezultat, tensiunea pe acesta va crește.

Este important ca în acest proces să cunoaștem variația rezistenței interstițiului pe parcursul unei descărcări electrice solitare. În acest scop din oscilogramele sincrone a $U_i(t)$ și $I_i(t)$ a fost construită dependența $R_s = f(t)$ pentru întreaga durată a descărcării (fig. 1.7). Pentru $20\mu s$ curbele nu sunt prezentate grafic datorită faptului că în aceasta perioadă are loc procesul de amorsare a descărcării în interstițiu, valoarea curentului este extrem de mică, iar aparatura de înregistrare nu poate fixa aceste mărimi. În acest timp are loc ionizarea gazului din interstițiu.

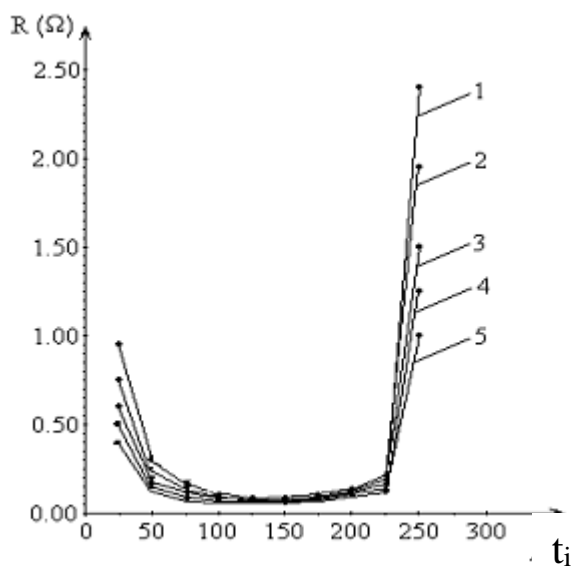


Fig. 1.7. Variația rezistenței funcție de durata impulsului

Oricum, putem afirma că, odată cu dezvoltarea canalului de plasmă în interstițiu, rezistența interstițiului se micșorează.

După panta curbelor 1, 2, 3, 4, 5 (fig. 1.7) se poate ușor observa faptul că, dacă tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare a impulsului de putere este mai joasă, atunci, și rezistența canalului de descărcare scade mai lent, și invers.

În lucrările [19, 24, 30] se afirmă că, capacitatea bateriei de condensatoare a generatorului și rezistența conturului de descărcare influențează direct proporțional atât gradul de ionizare a interstițiului cât și dilatarea canalului de plasmă, iar ca rezultat rezistența lui se micșorează. Curbele construite pentru: $U_c=480V$ (1); $U_c=400V$ (2); $U_c=320V$ (3); $U_c=240V$ (4); $U_c=160V$ (5), ne indică asupra faptului că, la o tensiune mai înaltă de încărcare a bateriei de condensatoare ionizarea interstițiului are loc mai rapid [9, 30, 31].

Echilibrul dinamic dintre procesele ionizării și recombinației interstițiului la descărcarea bateriei de condensatoare încărcată la o tensiune mai mică, se stabilește la o densitate mai mică de ionizare, iar ca rezultat, rezistența descărcării trebuie să fie mai mare, fapt ce rezultă din rezultatele cercetărilor experimentale.

Pentru perioada de timp cuprinsă între 50 și 125 μs mărimea rezistenței active a interstițiului se schimbă foarte puțin (în limitele $0,15 \div 0,3$ și $0,1 \div 0,2\Omega$) datorita dilatării canalului de plasmă.

Din analiza rezultatelor experimentale putem stabili că, procesul de ionizare este mai dificil și necesită o durată de timp mai mare, pe cînd deionizarea interstițiului se petrece aproximativ de două ori mai repede.

Cercetările efectuate de autorii lucrărilor [28, 29, 30, 31, 32] indică asupra faptului că, materialul electrozilor practic nu influențează caracterul schimbării rezistenței active a interstițiului.

Drept una din cauzele principale, din care unii cercetători nu pot reconstitui experiențele altora, este energia impulsului. Determinarea corectă a acesteea este un factor de importanță primordială. Autorii lucrărilor [27, 28, 30,

31] au stabilit această mărime prin integrarea nemijlocită a curbelor schimbării tensiunii și a curentului în timp, obținute prin osciloscopierea sincronă (vezi fig. 1.4 și tabelele 1.2, 1.3). Rezultatele obținute confirmă presupunerile, că, nu toată energia acumulată de bateria de condensatoare se degajă în interstițiu. Putem ușor observa că, diferența dintre energia acumulată pe bateria de condensatoare și cea degajată în interstițiu este destul de mare. Ultima nu depășește, (pentru cazul ilustrat în tabelul 1.2), cota de 45% din energia acumulată.

Să analizăm și cazul energiei degajate în impulsul de descărcare, atunci când mărimea interstițiului se schimbă (ceea ce de fapt se întâmplă în toate procesele de prelucrare din cauza electroeroziunii). Pentru a stabili o corelație dintre mărimea energiei degajate în interstițiu și energia acumulată pe bateria de condensatoare $W = \frac{CU^2}{2} = const$ au fost măsurate mărimile acestora. Din cele prezentate în tabelul 1.3 devine evident faptul că odată cu creșterea mărimii interstițiului crește și energia impulsului degajată în el la $\frac{CU^2}{2} = const$. Acest fapt se datorește, în primul rând, creșterii rezistenței active a interstițiului. Canalul de plasmă din interstițiu nu poate fi echivalat după proprietăți cu un conductor obișnuit.

Rezistența activă (R) a canalului de conductibilitate a descărcării electrice în impuls determină eficacitatea transformării energiei câmpului electric în energia termică de mișcare a particulelor din interstițiu [29, 31, 32]:

$$\frac{R}{S} = \frac{E}{i} = \frac{1}{\pi \cdot r_{cp}^2 \cdot n_e \cdot \mu_e \cdot e}, \quad (1.18)$$

unde: R - rezistența activă a canalului de conductibilitate a descărcării electrice în impuls; S – mărimea interstițiului; r_{cp} - raza canalului de plasmă format în interstițiu la o descărcare electrică în impuls; n_e - concentrația electronilor; μ_e - mobilitatea electronilor; e - sarcina electronului.

1.7. Distribuția energiei în interstițiu la aplicarea tehnologică a descărcărilor electrice în impuls

Mai sus a fost descrisă metodică determinării cantității de energie degajate în interstițiu la o descărcare solitară, însă este cunoscut faptul că aceasta se redistribue între suprafețele electrozilor și mediul de lucru [30].

În cazul aplicării descărcărilor electrice în impuls, pentru realizarea prelucrărilor dimensionale la care mărimea interstițiului este de numai câțiva micrometri [21, 22, 27], energia degajată în interstițiu se distribuie între electrozi și mediul de lucru, și aceste mărimi rămân practic constante pentru tot ciclul de prelucrare, asemănător cazului formării straturilor de depunere din materiale compacte cu rupere de contact [23]. În cazul prelucrării materialelor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls în regim de subexcitare, la care mărimea interstițiului variază între 0,03...2,5 mm, mărimea energiei utilizate și respectiv distribuția ei între coloana de plasmă a descărcării electrice în impuls și suprafețele electrozilor, joacă un rol important în efectele termice ce au loc în suprafețele acestora, cât și în efectele erozive de pe acestea, din care motiv analiza degajării de energie, cât și distribuția acesteea între colana de plasmă și suprafețele electrozilor este importantă. Aceasta este determinativă în numirea regimurilor de prelucrare în diferite cazuri, cât și în conceperea și elaborarea de noi procedee și echipamente de prelucrare superficială a pieselor, în cazul aplicării descărcărilor electrice în impuls în calitate de sursă concentrată de energie.

În una din primele lucrări din acest domeniu [9] a fost demonstrat faptul că, odată cu creșterea mărimii interstițiului, cantitatea de energie degajată în el crește neesențial și că ea se redistribue între canalul de plasmă și suprafețele electrozilor.

În cazul, în care se ia în considerație faptul că, căderea sumară de tensiune pe suprafețele electrozilor este o mărime constantă după cum a fost stabilit pe cale experimentală în lucrările [9, 31, 32], iar mărimea sumară a curentului se micșorează pe contul creșterii rezistenței active a interstițiului, atunci cantitatea de energie degajată pe suprafețele electrozilor se micșorează proporțional acestuia.

Dacă vom precăuta dependența energiei degajate în canalul de plasmă de mărimea interstițiului, atunci vom constata că, aceasta crește proporțional cu mărimea lui sau, mai bine zis, cu mărimea rezistenței active a acestuia. Aceste constatări se justifică prin creșterea intensității luminozității și sunetului odată cu creșterea mărimii interstițiului pentru una și aceeași cantitate de energie acumulată pe baterea de condensatoare (în acest caz conturul de descărcare poate fi precăutat ca unul în care componentele C și L rămân constante, iar R crește).

În cazul, în care se ia în considerație faptul că, la aplicarea descărcărilor electrice în impuls se atestă două tipuri de eroziune bine pronunțate și provocate de tipurile de pete electrodice predominant active pe suprafețele electrozilor, atunci redistribuirea energiei poate fi utilizată în diferite scopuri tehnologice, ca de exemplu, pentru formarea straturilor de depunere din materiale compacte și pulberi (când pe suprafețele electrozilor apare faza lichidă), rectificarea, tratarea termică și chimico-termică (când pe suprafețele electrozilor iau naștere numai pete electrodice „reci” care se întrețin pe aspirități și impurități, și care provoacă efecte de natură termică în straturile de suprafață a pieselor prelucrate).

Redistribuirea energiei în cazul descărcărilor electrice în impuls poate fi demonstrată prin cel puțin două căi. Cunoscând căderile sumare de tensiune pe suprafețele electrozilor și pe canalul de plasmă odată cu creșterea valorii interstițiului și calculând cantitatea de sarcină ce parcurge circuitul de descărcare putem determina cantitatea de energie degajată pe aceste componente. Cunoscând efectele erozive de pe suprafețele electrozilor și cantitatea de sarcină ce a parcurs conturul de descărcare putem determina căderea de tensiune pe petele electrodice (anodice și catodice) cât și coraportul dintre ele, iar ca rezultat am putea stabili valoarea critică a densității de curent necesară pentru apariția atât a petelor electrodice “reci” cât și celor “calde” și, respectiv, să numim ori să alegem un anumit regim energetic de prelucrare a suprafețelor pieselor.

În tabelul 1.4 prin S , W_c , W_s , W_e , W_{cp} – sunt prezentate respectiv: mărimea interstițiului, energia acumulată pe baterea de condensatoare a generatorului de impulsuri de curent, energia degajată în interstițiu la o descărcare electrică solitară,

energia sumară degajată pe suprafețele electrozilor și energia degajată pe canalul de plasmă din interstițiu.

Tabelul 1.4

Distribuția energiei acumulate pe baterea de condensatoare la descărcarea electrică în impuls între interstițiu, canalul de plasmă și electrozi

| Nr. exp. | S (mm) | W_c , (J) | W_s , (J) | $\int_0^{\tau} i_s(t)dt$ | W_e , (J) | w_{cp} , (J) |
|----------|--------|-------------|-------------|--------------------------|-------------|----------------|
| 1 | 0.1 | 6.57 | 2.94 | 0,147 | 2,82 | 0,12 |
| 2 | 0.3 | 6.75 | 3.04 | 0,1447 | 2,77 | 0,27 |
| 3 | 0.4 | 7.38 | 3.10 | 0,1347 | 2,58 | 0,52 |
| 4 | 0.5 | 7.38 | 3.17 | 0,1268 | 2,43 | 0,74 |
| 5 | 0.6 | 7.5 | 3.25 | 0,1120 | 2,15 | 1,1 |
| 6 | 0.8 | 7.68 | 3.33 | 0,111 | 2,13 | 1,2 |
| 7 | 1.0 | 7.68 | 3.40 | 0,0944 | 1,81 | 1,59 |
| 8 | 1.25 | 7.68 | 3.47 | 0,0913 | 1,75 | 1,72 |
| 9 | 1.5 | 7.87 | 3.58 | 0,0832 | 1,61 | 1,97 |
| 10 | 1.7 | 7.97 | 3.87 | 0,0841 | 1,61 | 2,26 |
| 11 | 1.85 | 8.1 | 3.82 | 0,0764 | 1,46 | 2,38 |
| 12 | 2.0 | 8.67 | 3.90 | 0,0722 | 1,38 | 2,52 |

Analizînd datele experimentale prezentate în tabelul 1.4 putem constata că, odată cu creșterea mărimii interstițiului crește și energia degajată în el. Acest fapt se datorește în primul rînd, creșterii mărimii rezistenței active a canalului de plasmă. În același timp se stabilește o redistribuție evidentă a energiei sumare degajate în interstițiu W_s , între electrozi W_e și canalul de plasmă W_{cp} . Dacă la valoarea interstițiului de 0,1 mm pe electrozi se degajă 95,9% din energia sumară, atunci la interstițiu de 2mm pe suprafețele lor se degajă numai 35,38% din energia sumară degajată în interstițiu ceea ce condiționează și modificarea esențială a efectelor erozive și cele termice în acestea. În calitate de dovadă a celor expuse mai

Tabelul 1.5

Variația căderii de tensiune, energiei acumulate și celei degajate în interstițiu, în funcție de mărimea lui și tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare a generatorului

| S, (mm) | U_c , (V) | U_s (V) | W_c , (J) | W_s , (J) | $\int_0^{\tau} i_s(t)dt$ | W_e (J) | W_{cp} (J) |
|---------|----------------|--------------|-------------|----------------|--------------------------|--------------|-----------------|
| 0,1 | 160 | 21 | 7,68 | 3.04 | 0,144 | 2,76 | 0,28 |
| | 240 | 20,05 | 17,28 | 4.3 | 0,214 | 4,1 | 0,2 |
| | 320 | 20,55 | 30,72 | 4.8 | 0,233 | 4,47 | 0,33 |
| | 400 | 20,8 | 48 | 6.82 | 0,327 | 6,27 | 0,55 |
| 0,5 | 160 | 26 | 7,68 | 3.17 | 0,121 | 2,32 | 0,85 |
| | 240 | 25,2 | 17,28 | 4.5 | 0,178 | 3,41 | 1,09 |
| | 320 | 25,8 | 30,72 | 5.3 | 0,205 | 3,936 | 1,364 |
| | 400 | 26.1 | 48 | 7.2 | 0,275 | 5,28 | 1,92 |
| 1 | 160 | 30,5 | 7,68 | 3.4 | 0,111 | 2,13 | 1,27 |
| | 240 | 31,1 | 17,28 | 4.9 | 0,157 | 3,01 | 1,89 |
| | 320 | 30,0 | 30.72 | 5.5 | 0,183 | 3,513 | 1,987 |
| | 400 | 30,0 | 48 | 7.7 | 0,256 | 4,9 | 2,8 |
| 1.5 | 160 | 37,9 | 7.68 | 3.58 | 0,094 | 1,8 | 1,78 |
| | 240 | 38,2 | 17.28 | 5.3 | 0,138 | 2,64 | 2,66 |
| | 320 | 38,0 | 30.72 | 5.7 | 0,150 | 2,88 | 2,82 |
| | 400 | 38,5 | 48 | 7.01 | 0,182 | 3,49 | 3,52 |
| 2.0 | 160 | 49,5 | 7.68 | 3.9 | 0,078 | 1,49 | 2,41 |
| | 240 | 50,0 | 17.28 | 5.27 | 0,105 | 2,016 | 3,254 |
| | 320 | 51,3 | 30.72 | 7.9 | 0,153 | 2,93 | 4,97 |
| | 400 | 50,0 | 48 | 7.95 | 0,159 | 3,052 | 4,898 |

sus pot servi rezultatele cercetărilor formării straturilor de depunere din pulberi metalice [9, 23, 25, 26] în care se stabilește că, aceasta este posibilă pentru intersrții cuprinse în limitele de 0,1...1,5 mm.

Rezultatele prezentate în tabelul 1.5 ilustrează variația căderii de tensiune, energiei sumare degajate în interstițiu (pentru bateria de condensatoare a generatorului cu capacitatea de 600 μ F, tensiunile de încărcarea acestea de 160, 240, 320 și 400V), celei degajate pe suprafețele electrozilor și pe coloana de plasmă în funcție de mărimea interstițiului. Din rezultatele experimentale putem constata că, căderea de tensiune pe interstițiu este funcție de mărimea acestuia și, practic, nu depinde de tensiunea la care se încarcă batereea de condensatoare. Odată cu creșterea mărimii interstițiului cantitatea de energie degajată în el (pentru o mărime constantă a energiei acumulate pe batereea de condensatoare) crește de 1,14...1,16 ori, datorită creșterii rezistenței active a acestuia. În aceleași condiții se atestă micșorarea randamentului utilizării energiei. Astfel dacă pentru $U_c = 160V$ energia sumar degajată în interstițiu W_s constituie 39,58...50,78%, atunci pentru $U_c = 400V$ acesta constituie 14,20...16,56%, din cea acumulată pe batereea de condensatoare, pentru variația mărimii interstițiului în limitele de 0,1...2,0mm. Dacă ținem cont de faptul că, durata impulsului de curent pentru toate cazurile constituie 250 μ s, atunci putem afirma că, micșorarea randamentului energiei degajate în interstițiu se datorește creșterii gradientului de energie, ceea ce provoacă sporirea considerabilă a componentei reactive a rezistenței conturului de descărcare a instalației în consumul energiei.

Analizînd coraportul dintre energia degajată pe canalul de plasmă și suprafețele electrozilor putem constata că, acesta se micșorează de la 9,85 pînă la 0,61% (pentru $U_c=160V$) și de la 11,4 pînă la 0,62% (pentru $U_c=400V$), în favoarea canalului de plasmă. Este important de menționat că, pentru mărimea interstițiului de 1,5mm, cantitatea de energie ce se degajă pe suprafețele electrozilor este practic egală cu cea degajată în canalul de plasmă, indiferent de cantitatea de energie acumulată pe batereea de condensatoare. Redistribuirea cantității de energie sumar degajată în interstițiu între suprafețele electrozilor și

canalul de plasmă se datorește creșterii mărimii rezistenței active a acestuia. Odată cu creșterea mărimii interstițiului are loc micșorarea curentului în conturul de descărcare a generatorului și micșorarea cantității de energie degajată pe suprafețele active ale electrozilor.

Determinarea corectă a parametrilor electrodinamici ale descărcărilor electrice în impuls, cunoașterea căderilor de tensiune pe interstițiu și redistribuirea energiei degajate pe componentele lui, vor permite studierea mai aprofundată a fenomenelor ce se produc în el și aplicarea acestora la elaborarea de noi procedee de prelucrare a materialelor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls.

Bibliografie

1. Stoian, Leonard; Palfavi, Atilia; Vintilă, Nicolae; Alexandru, Maniu. Tehnologia materialelor. București: Ed. Didactică și pedagogică, 1980. 656 p.
2. Topală, Pavel, Tehnologia materialelor, Universitatea de Stat Alecu Russo, Bălți 2001. 188 p.
3. Kiseliiov, Iurii. Studiul și elaborarea tehnologiei și a utilajului de tăiere a metalelor cu arcul de plasmă la polaritate inversă, Autoreferat al tezei de doctor habilitat în tehnică. Chișinău: 2005. 39 p.
4. Черненко, В. И.; Снежко, Л.А.; Папанова, И.И. Получение покрытий анодно-искровым электролизом. Л.: Химия. 1991. 128 с.
5. Артамонов, Б.А.; Вишницкий, А.Л.; Волков, Ю.С.; Глазков, А.В.; Размерная электрическая обработка металлов, Москва: Высшая школа, 1979, 336 с.
6. Носуленко, В.И. О физической природе, об общих отличиях и технологических возможностях электрических разрядов и классификации способов электроразрядной обработки металлов, ЭОМ, № 3, 2006. с. 4-13.
7. Мицкевич, М. К.; Бушик, А. И.; Бакуто, И. А.; Шилов, В. А.; Девойно, И. Г.; Электроэрозионная обработка металлов. Минск: “Наука и техника”, 1988. 216 с.
8. Гитлевич, А. Е.; Михайлов, В. В.; Парканский, Н. Я.; Ревуцкий, В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей, Кишинев: Штиинца, 1985. 196 с.
9. Topala, Pavel, Cercetări privind obținerea straturilor de depunere din pulberi metalice cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Rezumatul tezei de doctorat. București: Universitatea Politehnica. 1993. 32 p.
10. Tosun, N.; Cogun, C.; Pihtili, H. The Effect of Cutting Parameters on Wire Crater Sizes in Wire EDM, Springer-Verlag London Limited. Int.: Adv Manuf. Technol (2003) 21: 857-865.

11. Her, M-G.; Weng, F.-T.; Micro-hole Machining of Copper Using the Electro-discharge Machining Process with a Tungsten Carbide Electrode Compared with a Copper Electrode, Springer-Verlag London Limited, Int: J Adv Manuf. Technol. 2001. 17: 715-719.
12. Yu, S. F., Lee; B.Y.; Lin, W.S. Waveform Monitoring of Electric Discharge Machining by Wavelet Transform, Springer-Verlag London Limited, Int.J. Manuf. Technol. 2001. 17: 339-343
13. Лазаренко, Б. Р. Способ нанесения металлических покрытий. /Авт. Изобрет. Авт. свид. 89933 (СССР). Оpubл. в Б.И. 12.
14. Лазаренко, Б. Р.; Лазаренко, Н.И. Электрическая эрозия металлов, Госэнергоиздат 48. Москва: Ленинград. 1944.
15. Лазаренко, Б. Р.; Лазаренко Н. И. Физика электроискрового обработки металлов. КБТИ Министерство электропромышленности. Москва: 1946. 76 с.
16. Золотых, Б. Н.; Круглов, А. И. Тепловые процессы на поверхности электродов при электроискровой обработке металлов. В кн.: Проблема электрической обработки материалов. вып.1. Изд-во А.Н.С.С.С.Р. Москва, 1960. с. 65 – 76.
17. ***Электроискровое легирование металлических поверхностей, Библиографический указатель литературы за 1974-1979 г.г., Кишинёв: Штиинца. 1981 60 с.
18. Золотых, Б. Н. Электроискровой контактный способ упрочнения металлических поверхностей. Госэнергоиздат. Москва: Ленинград. 1951. 54 с.
19. Мицкевич, М. К.; Бушик, А.И.; Бакуто, И. А.; Шилов, В. А.; Мрочек, Ж.А. с. 730522 (С.С.С.Р.) Способ электрического нанесения тонкослойных покрытий. Авт. изобрет. Ад. – Оpubл. в БИ № 16 1980.
20. Золотых, Б.Н.; Мельдер, Р.Р. Физические основы электроэрозионной обработки. Москва, 1977.

21. Коваленко, В.С.; Верхотуров, А.Д.; Головкин, Л.Ф.; Подчерняева Ю. А. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов Москва, 1986, 276 с.
22. Попилов, Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1982. 399 с.
23. Гитлевич, А. Е.; Михайлов, В.В.; Парканский, Н.,Я.; Ревуцкий, В. М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев: Штиинца, 1985. 196 с.
24. Мицкевич, М. К.; Бушик, А. И.; Бакуто, И. А.; Шилов, В. А.; Девойно, И. Г. Электроэрозионная обработка металлов. Минск: Наука и техника, 1988. 216 с.
25. Гитлевич, А. Е.; Топала, П. А.; Иванов, И. В.; Пушкина, Т. В. Электроискровое формирование покрытий из порошковых материалов на установках типа Разряд. Электроэрозионные и другие методы легирования. Кишинев, 1989. с. 121 – 123.
26. Топала, П. А.; Урсан, Б. А. Получение антизадирных покрытий из порошковых бронз. Электроэрозионные и другие методы легирования. Кишинев, 1989, с. 82 – 91.
27. Gavrilaş, I.; Marinescu, N.; Visan, A. Modern technologies in machine-building. Bucharest: Politechnics Institute, 1997, 199 p.
28. Калеко, Д. М. Расширение столба дуги при конденсаторной сварке. Автоматическая сварка. 1975, №9, с. 12-15.
29. Мицкевич, М. К.; Гитлевич, А. Е.; Бакуто, И. А.; Бушик, А. И.; Шилов, В. А. Динамика импульсного разряда в условиях использования его для электроискрового легирования. ЭОМ, 1986, №3, с. 22-25.
30. Рыбалко, А. В.; Хамурарь, В. И. Электрические параметры процесса электроэрозионного легирования. ЭОМ, 1988, №5, с. 25-32.

31. Topală, Pavel; Balcănuță, Nicolae. Caracteristicile electrodinamice ale descărcărilor electrice în impuls. Tehnologii moderne. Calitate, Restructurare. Culegere de lucrări științifice. Chișinău, 2001, p. 203-208.
32. Topală, Pavel. Caracteristicile electrodinamice ale descărcărilor electrice în impuls. In: Analele Științifice ale USB „Alec Russo” din Bălți, 2001, Tomul XIX, p. 97-101.

II. Interacțiunea canalului de plasmă cu suprafețele electrozilor, particulele de pulberi și mediul de lucru

2.1. Amorsarea și dezvoltarea canalului de plasmă în interstițiu

Este cunoscut faptul că tensiunea de amorsare, ca funcție de mărimea interstițiului S și presiunea gazelor P , se descrie cu legitatea lui F. Paschen [85], care poate fi interpretată în baza teoriei de străpungere a lui Charles H. Townes. În conformitate cu această legitate tensiunea minimă de amorsare în aer la presiune normală, în funcție de materialul electrozilor, constituie aproximativ 250...300V. În același timp pentru cazul formării depunerilor din materiale compacte cu rupere de contact diapazonul tensiunilor utilizate este de numai 15...200V, ceea ce este inferior minimului curbei lui F. Paschen. Astfel rezultatele cercetărilor a mai multor autori [31, 32, 34-36, 85] demonstrează că, la tensiunea de amorsare de 100...200V mărimea interstițiului poate atinge 5...10 μm .

Anterior în lucrarea [85] a fost menționat că, străpungerea interstițiului la prelucrările prin electroeroziune în condițiile când tensiunea de amorsare constituie $U_{am} \leq 300V$, nu poate fi lămurită în baza avalanșei de ionizare din două motive: lipsește tensiunea de mărime necesară pe interstițiu pentru accelerarea electronilor care ar supune ionizării moleculele și atomii mediului de lucru la ciocnire cu acestea și este insuficient numărul necesar de ciocniri a electronilor cu moleculele și atomii în interstițiu.

Analizând amorsarea descărcărilor electrice din contul curentului de autoemisie autorii lucrărilor [36, 85] au subliniat că, în acest caz este necesar a lua în considerație acțiunea pondemotoră a câmpului electrostatic, care poate provoca tensiuni mecanice considerabile, iar acestea pot depăși limita de rezistență a materialului electrozilor. De exemplu, pentru tensiunea electrică de străpungere a interstițiului, tensiunea mecanică (τ) ce se exercită asupra suprafețelor electrozilor poate fi calculată cu relația $\tau = \frac{E^2}{8\pi}$ și constituie cca 450 MPa (E – reprezintă modulul lui Iung).

Pentru cazul utilizării descărcărilor electrice în impuls în regim de subexcitare este semnificativ faptul că, asupra interstițiului (suplimentar la impulsul de putere care este responsabil de efectele termice și erozive, dar care crează o intensitate a câmpului electric insuficientă de a străpunge interstițiul), se aplică un impuls de putere mică dar tensiune înaltă (12...24 kV), care este responsabil de formarea canalului de conductibilitate, prin care apoi se degajă energia acumulată pe baterea de condensatoare a generatorului de impulsuri de putere. Acest tip de impulsuri se aplică și în cazul formării straturilor de depunere din pulberi metalice. Pentru formarea straturilor de depunere din pulberi metalice acestea sunt introduse în interstițiu în zona anodică [87] pentru a le asigura o durată de timp mai mare de interacțiune cu canalul de plasmă al descărcării electrice în impuls.

Se cunoaște că un corp metalic introdus în câmpul electric se electrizează, prin urmare, am putea considera că și particulele de pulbere deasemenea se electrizează. Cantitatea de sarcină electrică ce se acumulează pe suprafața particulei de pulberi metalice, în conformitate cu lucrarea [87], poate fi calculată cu relația:

$$q = \frac{2\pi^3}{3} \xi \varepsilon_0 E b_0^2, \quad (2.1)$$

unde : ε_0 - permitivitatea electrică a vidului, ξ - permitivitatea electrică a aerului, E – intensitatea câmpului electric pe interstițiu, b_0 – raza particulei de pulberi.

Astfel particula devine un corp conductor și prin acesta poate circula un curent electric. Amorsarea se va produce la un interstițiu, care, pentru o anumită cădere de

tensiune, va asigura intensitatea suficientă a câmpului electric între particule. Pentru interstiții $S \leq 0,01mm$ se satisface relația empirică a lui Wathed [36]:

$$E = aS^{-p}, \quad (2.2)$$

în care a și p sunt niște constante.

Dacă admitem că această relație este valabilă și în cazul prezenței particulelor de pulberi în interstițiu care formează un lanț între electrozi poate fi determinată mărimea interstițiului ca funcție de concentrația particulelor de pulberi în el. Notăm prin S – mărimea interstițiului, r – raza particulei de pulbere, U – căderea de tensiune pe interstițiu, n – numărul de particule ce formează țugul în momentul de timp precăutat, $n+1$ - numărul de interstiții elementare formate de particulele de pulberi din țug (inclusiv cele formate de particulele marginale cu electrozii). Atunci expresiile: $(S - 2rn)/(n+1)$ va constitui mărimea interstițiului dintre particulele separate; $U_{am} = U/(n+1)$ – diferența de potențial pe interstițiile elementare dintre particule și $E_n = U/(S - 2rn)$ – intensitatea câmpului electric între particule.

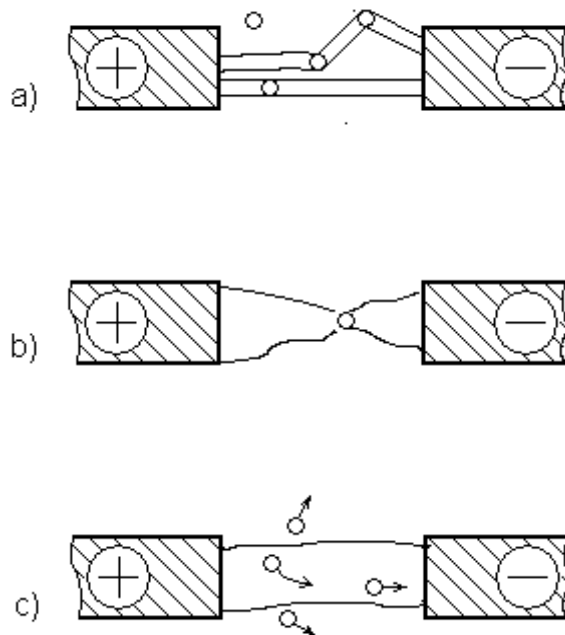
În momentul străpungerii interstițiului intensitatea câmpului electric E_n atinge valoarea intensității de amorsare E_{am} . Presupunem că E_{am} satisface condiția lui Wathed [85]. Atunci, făcând înlocuirile respective, pentru intensitatea câmpului electric din interstițiu efectiv intraparticolar vom obține următoarea relație:

$$\frac{U}{S - 2rn} = a((S - 2rn)/(n+1))^{-p} \quad (2.3)$$

Această relație indică că, sporirea densității particulelor de pulberi în interstițiu provoacă micșorarea esențială a tensiunii necesare de amorsare a descărcărilor electrice în impuls.

În baza analizei fenomenelor ce se produc în interstițiu se propune un nou model fizic al procesului de amorsare și dezvoltare a canalului de plasmă în interstițiu în prezența particulelor de pulberi. Astfel, tabloul fizic de amorsare și dezvoltare al canalului de plasmă din interstițiu poate fi interpretat după cum urmează:

canalul de amorsare, în majoritatea cazurilor, se închide prin particulele de pulberi datorită faptului că acestea provoacă sporirea intensității câmpului electric. El poate avea forma neliniară (fig. 2.1, a). În acest caz este posibilă și dezvoltarea neuniformă a canalului de plasmă a descărcării electrice de putere cu umplerea neuniformă a interstițiului cu plasmă.



a) *străpungerea interstițiului cu formarea canalului de conductibilitate;*

b) *dezvoltarea plasmei în zonele electrozilor;*

Fig. 2.1. Schema de dezvoltare a canalului descărcării și interacțiunii lui cu particulele de pulberi

Odată cu amorsarea descărcării electrice are loc încălzirea și evaporarea explozivă a suprafeței particulelor. Aceasta provoacă localizarea zonelor de dezvoltare intensă a plasmei la electrozi, fapt ce condiționează la rândul său căderea de potențial la suprafețele electrozilor [87].

La amorsarea descărcărilor cu impuls de tensiune înaltă durata amorsării este de $2,0-2,5 \cdot 10^{-6}$ s.

După ionizarea interstițiului, în mod sincron și continuu, se începe descărcarea de putere (tensiune joasă). Datorită energiei degajate apare și se dezvoltă canalul de plasmă. Viteza de dilatare a canalului de plasmă este de circa $2 \cdot 10^2$ m/s. Datorită acestui fapt plasma umple interstițiul într-un timp de doar 20 μ s. Dimensiunile

canalului de plasmă sunt funcție de energia degajată în interstițiu. Canalul poate să se dezvolte uniform (fig. 2.1, c) sau mai întâi în zonele electrodice (fig. 2.1, b), și să umple neuniform, ca urmare a umplerii în continuare a interstițiului. Această schemă de dezvoltare a canalului de plasmă este caracteristică descărcărilor, în deosebi pentru cazurile insuficienței de tensiune de amorsare. Particulele de pulberi, care nu au fost cuprinse de canalul de plasmă, sunt expulzate din interstițiu sub acțiunea undei de șoc, care însoțește dilatarea lui.

2.2. Procese caracteristice prelucrării suprafețelor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls

Cercetările anterioare, referitoare la depunerea straturilor din pulberi metalice [37, 38, 39], au demonstrat că, și în cazul unor valori mari ale interstițiului ($S=0,5\div 1,5$ mm), când cea mai mare parte a energiei descărcării se degajă în interstițiu (pentru $U_c=100\div 500$ V și $C=100\div 600$ μ f), electrozii sunt totuși supuși eroziunii și materialul lor atît în faza lichidă cît și cea de vapori participă la formarea straturilor superficiale. În lucrarea [28] se menționează că ponderea materialului electrozilor în strat poate atinge 20%, prin urmare, în funcție de cantitatea acestui material, vor depinde în mod direct proprietățile straturilor depuse.

Evidențierea factorilor care determină depunerea straturilor din pulberi, a demonstrat că, cei mai importanți dintre aceștia sunt interstițiul (S) și energia de descărcare (W_s) [40]. Acești parametri determină elementul principal al procesului de depunere și anume – interacțiunea plasmei cu particulele de pulbere și cu suprafețele electrozilor. Modificarea lor determină posibilitățile aplicative ale metodei. Pornind de la aceste constatări s-a impus dezvoltarea de către autor a acestor cercetări, prezentate în acest capitol. Influența energiei W_s și a interstițiului S asupra eroziunii electrice, pentru valori ale interstițiului de cîtiva zeci de micrometri, a fost cercetată în lucrările lui B. N. Zolotâh [40, 41].

Bilanțul energetic în interstițiu poate fi exprimat cu relația:

$$W_s = W_a + W_{cp} + W_k, \quad (2.4)$$

în care W_a , W_c , W_k sunt, respectiv, energiile transmise anodului, canalului descărcării și catodului, iar W_i este energia degajată în interstițiu la un impuls. S-a demonstrat că energia transmisă electrozilor W_{el} poate fi determinată cu relația:

$$W_{el} = \int_0^{t_i} U(t) \cdot i(t) \cdot dt - S \int_0^{t_i} \varepsilon(t) \cdot i(t) \cdot dt \quad (2.5)$$

unde: $U(t)$ și $i(t)$ sunt respectiv tensiunea și curentul în descărcare; t_i - durata impulsului; $\varepsilon(t)$ - intensitatea momentană a câmpului electric în interstițiu.

Relația (2.5) determină ce parte a energiei W_s , este transmisă electrozilor. Cercetările experimentale efectuate de B.N. Zolotâh [41] la început, iar mai apoi continuate de către autorul lucrării [77] realizate prin variația valorii interstițiului S și păstrarea constantă a duratei t_i , au stabilit că cu creșterea valorii interstițiului crește și energia care se degajă în canalul de plasmă, această dependență fiind însă neliniară (fig. 2.1). Datorită acestui proces, energia transmisă electrozilor se micșorează și corespunzător scade și eroziunea lor.

La valori mari ale interstițiului (sute de μm) caracterul proceselor de electroeroziune este diferit. S-a demonstrat că, la variația valorii interstițiului S , de la 3 pînă la 500 μm [42], schimbarea eroziunii electrice nu este liniară. Pentru unele materiale precum Al, Ti, oțel, creșterea interstițiului pînă la 100-250 μm , provoacă creșterea eroziunii, iar peste aceste limite se înregistrează o scădere a eroziunii ($\Delta\gamma_w$).

Neconcordanța rezultatelor cercetărilor experimentale obținute de diferiți autori, referitor la influența valorii interstițiului S asupra proceselor de electroeroziune, indică asupra faptului că fenomenele ce au loc pe suprafețele electrozilor sunt complexe și depind de condițiile în care se realizează procesul de prelucrare.

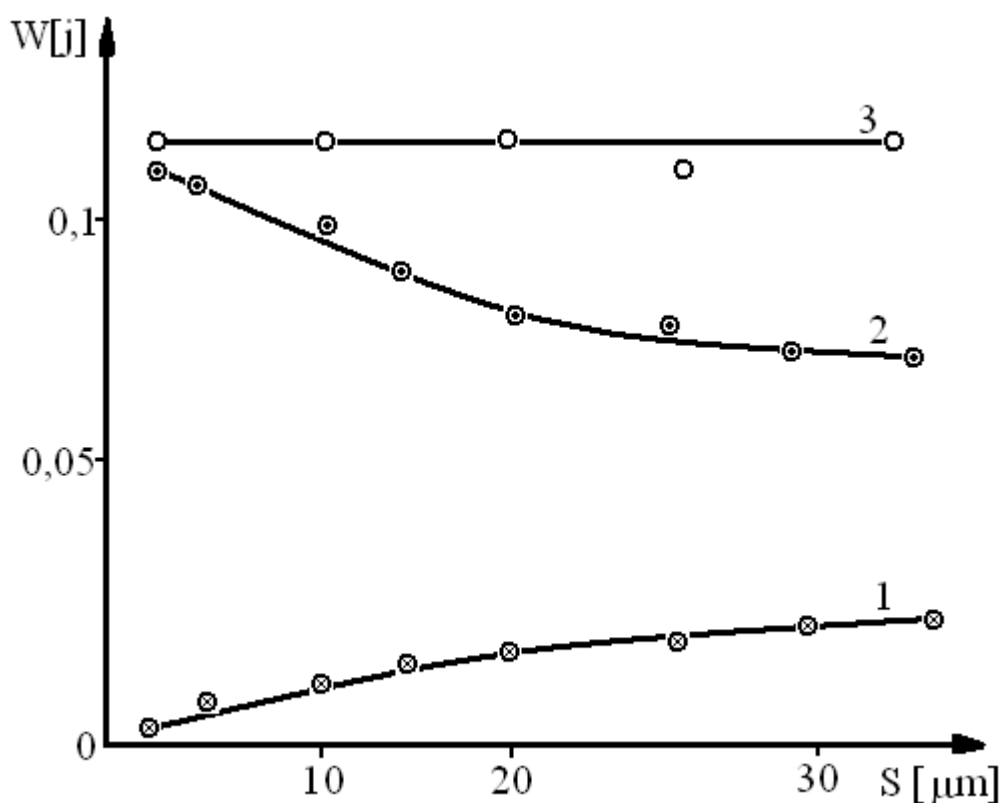


Fig. 2.2. Dependența energiei degajate în interstițiu (W_s), transmisă electrozilor (W_{el}) și canalului descărcării (W_{cp}), în funcție de mărimea interstițiului S , [41].

A fost cercetată interacțiunea plasmei canalului DEI cu suprafața unor electrozi executați din oțel 3 și oțel 45, titan BT 1-0 cu cupru M3, la variația interstițiului în limitele $S= 0,03-3\text{mm}$, a tensiunii de încărcare a bateriei de condensatoare $U_c=80-400\text{ V}$ și a capacității bateriei $C1=600\ \mu\text{f}$. Prelucrarea s-a efectuat în aer cu electrozi sub formă de anod-bară ascuțit conic și catod plan. În calitate de sursă a fost utilizat generatorul instalației „Razread-2M” care a permis cercetarea interacțiunii plasmei cu suprafața electrozilor cu unul și respectiv mai multe impulsuri.

În ultimul caz s-a cercetat varianta în care craterele s-au situat alături ori s-au suprapus, adică s-a realizat procesul de prelucrare continuă a catodului, fără introducerea pulberii metalice în interstițiu. Acest proces s-a realizat prin

schimbarea frecvenței descărcărilor în limitele $f=1\div 40\text{Hz}$ și prin deplasarea piesei de prelucrat de formă plană, în raport cu electrodul-anod executat sub formă de bară cilindrică și ascuțită la capătul de lucru sub formă de emisferă.

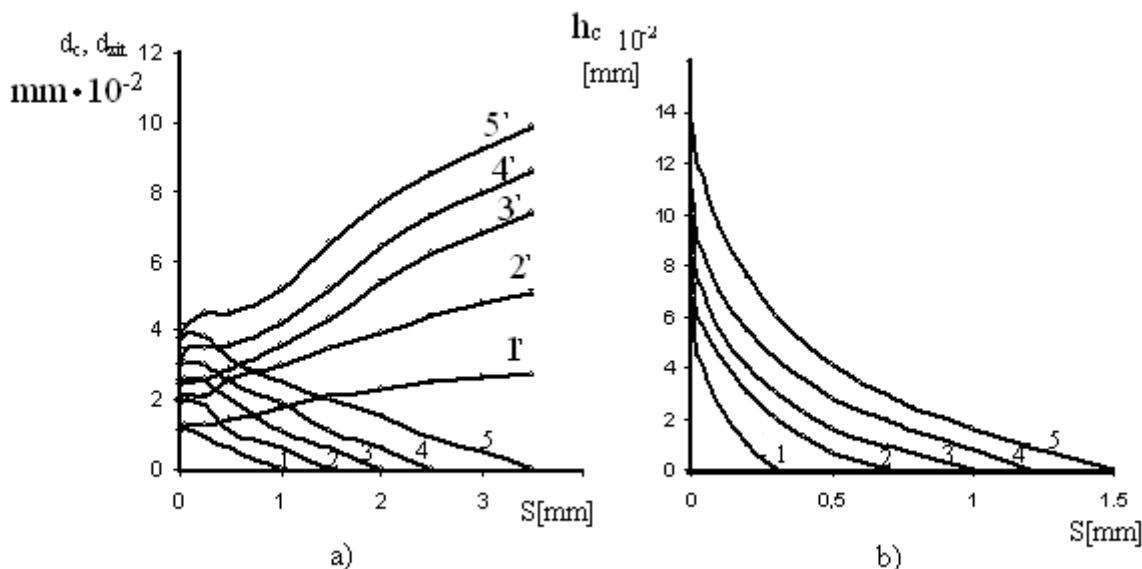


Fig. 2.3. Dependența diametrelor craterului cu faza lichidă d_c ($1\div 5$), zonei de acțiune termică d_{zit} ($1'\div 5'$) (a) și a adâncimii craterului h_c (b) de mărimea interstițiului, pentru diferite tensiuni de încărcare a condensatoarelor de lucru: 1,1'-80 V; 2,2'-160 V; 3,3'-240 V; 4,4'-320 V; 5-5'-400 V. Materialul catodului – Oțel 3.

În cazul cercetărilor în care s-au utilizat descărcările solitar, s-a determinat diametrul craterului, când acesta a fost omogen, diametrul fazei lichide și zonei suplimentare ce a apărut în afara limitelor fazei lichide în cazul eroziunii totale. Parametri asemănători au fost determinați și în cazul prelucrării continue, însă în acest caz în loc de diametrul craterului s-au măsurat lățimea fișiei de fază lichidă H_L ori lățimea zonei suplimentare H_{zit} .

Cercetările au demonstrat că pentru interstiții mai mici de $1\div 2\text{mm}$ (limite ce sunt stabilite de tensiunea descărcărilor) pe suprafața plăcii –catod s-au obținut cratere cu geometrie și cu dimensiuni caracteristice electroeroziunii obișnuite în mediul

gazos [40, 43]. S-a constatat că pentru valori ale interstițiului $S > 1 \div 2$ mm și îndeosebi, pentru energii mari ale descărcării ($W > 3,17$ J), în punctul de acțiune al plasmei, craterul degenerează într-o pată sau în câteva pete plane de fază lichidă solidificată, cu dimensiuni de la fracțiuni de μm până la câțva μm (fig. 2.7), adâncimea craterelor fiind mai mică decât dimensiunile lor transversale. În cazul descărcărilor singulare, între cratere și grupe de cratere se întâlnesc porțiuni de suprafață neafectate de acțiunea plasmei.

Cele două cazuri ale electroeroziunii menționate mai sus, nu sunt caracteristice pentru descărcările utilizate la prelucrarea dimensională și la alierea suprafețelor prin rupere de contact.

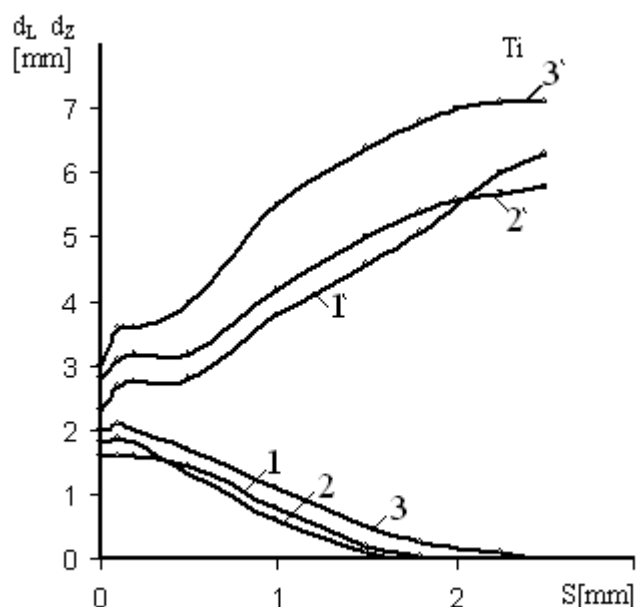


Fig. 2.4. Dependența diametrului craterului cu faza lichidă d_c (1-3) și a diametrelor zonei de acțiune termică d_{zit} (1' - 3') de mărimea interstițiului, pentru $U_C=240$ V, obținute pe suprafețele catodilor din cupru (1,1'), oțel 3 (2,2') și titan BT-1 (3,3').

Anterior, aceste cazuri ale eroziunii electrozilor au fost observate și cercetate pentru descărcările electrice în arc electric în condițiile de vid [44] și descărcările în impuls, în aer, pentru $U > 500$ V.

Rezultatele ilustrate mai sus, indică asupra faptului că, pentru tensiunile utilizate în cazul prelucrării dimensionale și alierii superficiale pentru DEI în aer, în regim de subexcitare ($S=0,03\div 3,0$ mm), se observă un proces asemănător de eroziune.

Fenomenele menționate anterior pot fi lămurite în baza acelor condiții în care se desfășoară cercetările executate de autori. Se știe că în cazul prelucrării dimensionale și alierii cu rupere de contact electric, valorile interstițiului sunt destul de mici (zeci de μm la prelucrarea dimensională și numai câțiva μm la aliere [28, 29]), motiv pentru care plasma descărcării se găsește într-o stare de comprimare radială, iar procesele de pe suprafețele electrozilor și din canalul DEI sunt practic inseparabile.

În aceste condiții eroziunea în zona de interacțiune a plasmei cu suprafața electrodului se manifestă prin apariția unui crater, al cărui diametru este egal cu diametru canalului de plasmă [29, 41].

În cazul cercetărilor experimentale realizate de autorii acestei lucrări, ($S\geq 0,03$ mm), sau creat condiții favorabile pentru evidențierea caracterului multicanal al DEI. Acest caracter a fost observat și cercetat, pentru prima dată, de I. Gh. Nekrașevici și I. A. Bacuto [27, 51, 53]. Cercetînd caracterul discret al amprentelor de eroziune și desfășurata în timp a spectrogramelor descărcărilor electrice, autorii mai sus menționați au elaborat un mecanism de „migrație” a procesului de eroziune a metalelor, conform căruia, în fiecare moment de timp, curentul nu curge prin toată zona de interacțiune a electrozilor cu jetul de plasmă, ci numai printr-o porțiune de suprafață mult mai mică. Acest proces se realizează prin canale cu diametre foarte mici, care continuu „migreză” în zona descărcării. Datorită diametrului foarte mic al canalului descărcării în punctul de interacțiune („pata”) cu electrodul, densitatea de curent este mare, ($10^7\text{-}10^8$ A/cm²), ceea ce provoacă încălzirea și vaporizarea explozivă a materialului electrodului. După prelevarea prin vaporizare explozivă, canalul se deplasează pe altă porțiune de suprafață. Rezultatul integral al eroziunii la o descărcare este determinat, de suma eroziunilor elementare provocate de mulțimea de canale „migratoare” [28].

În funcție de condițiile evoluției descărcării, în punctele de contact ale plasmei din canalele de descărcare cu suprafețele electrozilor apar zone de interacțiune, denumite pete electrodice, de două tipuri: „reci” și „calde” [44-48].

Petele „reci” apar imediat după străpungerea interstițiului și „se mișcă” foarte repede (urma erozivă se prezintă sub forma unor cratere mici separate (fig 2.5), fără semne evidente de topire), iar petele „calde” apar mai târziu pe locul celor „reci”, posedă o viteză mai mică „de mișcare” și produc o eroziune substanțial mai mare ca primele (în punctele de acțiune a lor apare faza lichidă a materialului electrodului [44, 45]).

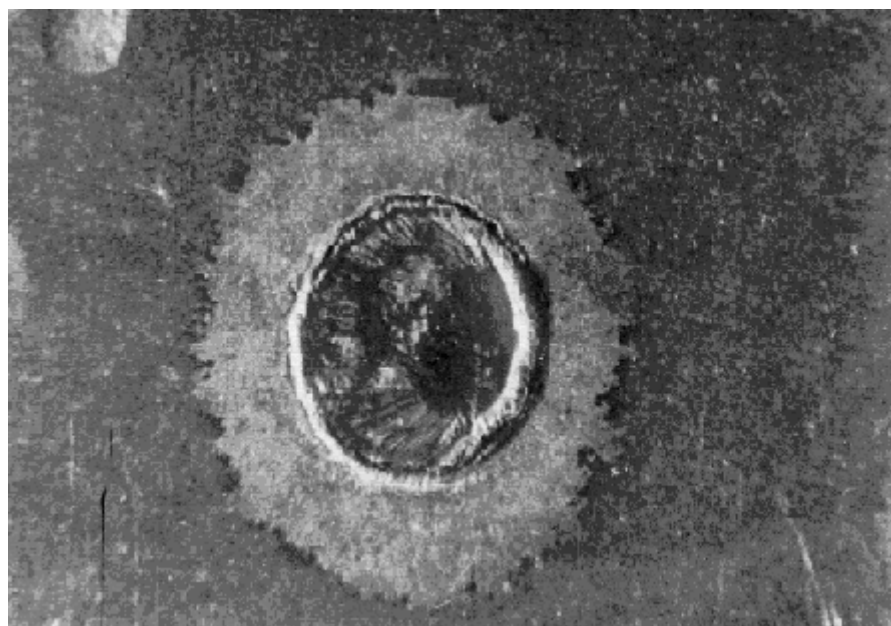


Fig. 2.5. Vederea generală a craterului pe suprafața catodului din Oțel 3 cu două zone: cea centrală cu fază lichidă (zona de acțiune a petelor electrodice „calde”) și zona acțiunii termice (zona de acțiune a petelor electrodice „reci”)

Rezultatele experimentale indică asupra faptului că, în diferite cazuri pot predomină petele „reci” ori cele „calde” și ca rezultat, se schimbă caracterul eroziunii electrice, iar efectele termice de interacțiune a plasmei cu electrozii sunt funcție de mărimea interstițiului, parametrii descărcării electrice în impuls și alți factori prin care poate fi determinat aspectul prelucrării. În calitate de exemplu poate servi prelucrarea termică a oțelului 65 în vid [58], când în regimul de

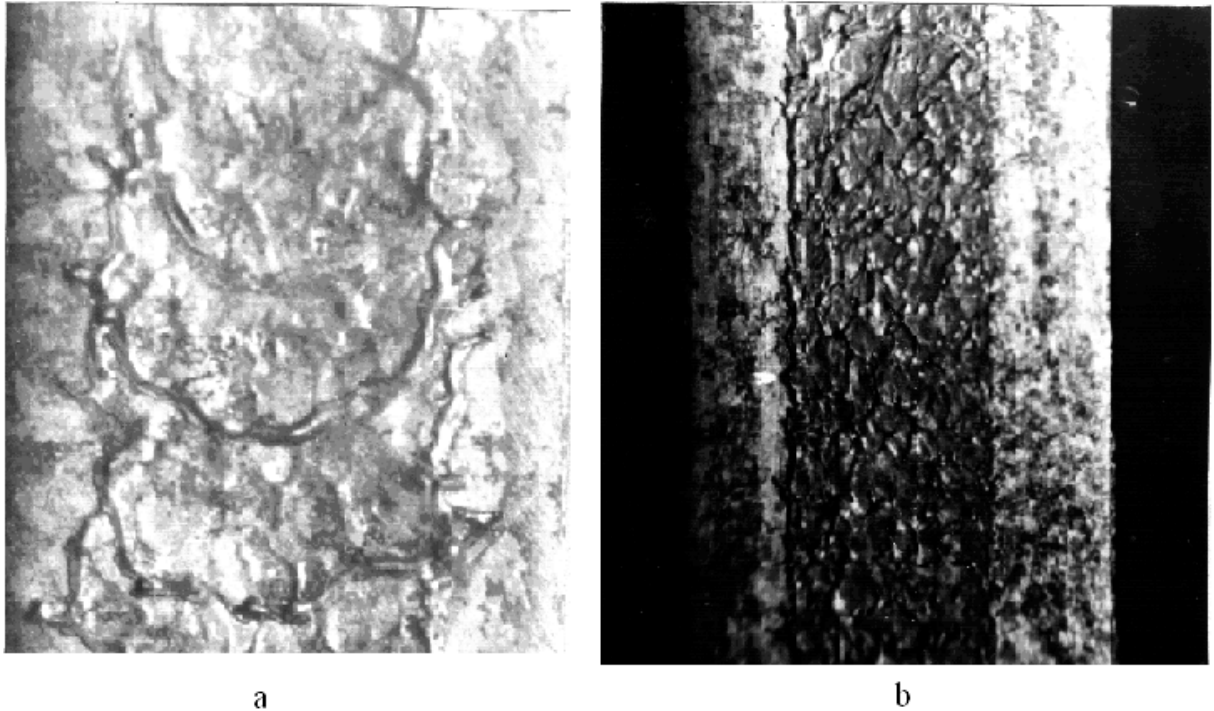


Fig. 2.6. Vedere generală a zonelor de interacțiune a plasmei cu suprafața catodului la prelucrarea continuă; *a* – cu suprapunere parțială a craterului; *b* – cu suprapunerea multiplă a craterelor (se evidențiază existența celor două zone, conform figurii 2.5)

întreținere a arcului electric cu suprafața prelucrată, ponderea cea mai mare le revine petelor electrodice „reci”. Prelucrarea superficială cu aplicarea arcului electric în regimul întreținerii lui pe pete electrodice „reci” a permis formarea straturilor superficiale cu microduritatea de 790-820 GPa (mai mare decât cea inițială, de 1,5 ÷ 2 ori) și cu adâncimea de 100÷200 μm. Din cele expuse mai sus rezultă că, și acțiunea separată a petelor electrodice « reci » poate provoca modificări structurale în materialul supus prelucrării, iar ca rezultat al acestora, să provoace transformarea proprietăților fizico-mecanice ale lui.

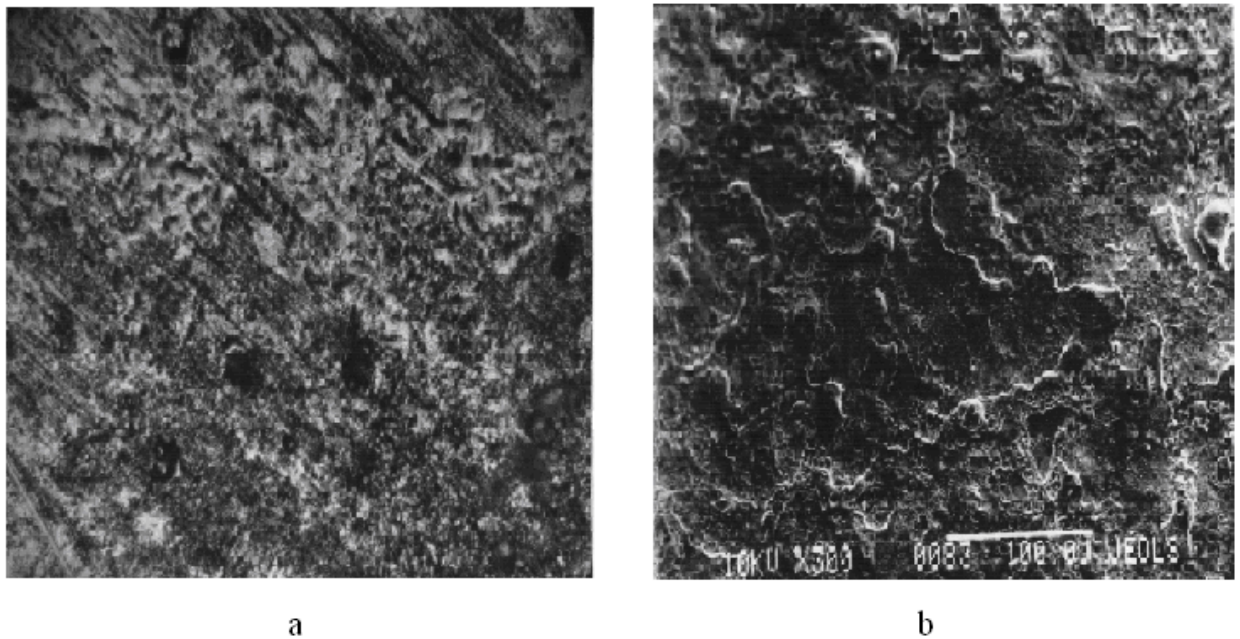


Fig. 2.7. Ampretele eroziunii catodului în zona de acțiune termică a canalului DEI (petelor electrodice „reci”):

a – microscopie optică Neofoto – 22(x450), *b* – microscopie electronică

Aprecierea cantitativă a procesului electroeroziunii pentru descărcări solitare în cazul unor valori mici ale interstițiului ($S < 0,2 \div 0,3$ mm), practic este imposibil de realizat din cauza transferului reciproc de masă între electrozi, formării compușilor chimici (oxizi, nitrați, ș.a.) și mai ales datorită schimbării foarte mici a masei probei cercetate, (masa erodată de material de pe suprafața electrodului la o descărcare fiind de cca $10^{-6} - 10^{-4}$ g).

În figurile 2.8 și 2.9 sunt prezentate variațiile maselor catozilor din oțel și titan și, respectiv, a anozilor din cupru, oțel și grafit în funcție de mărimea interstițiului. Analizând aceste funcții putem constata că, la valori ale interstițiului de $S \leq 0,2 \div 0,3$ mm, se observă o creștere a masei catozilor (fig. 2.8) care poate fi explicată pe baza transferului materialului anodului pe catod. În domeniul valorilor $S = 0,3 \div 0,8$ mm se observă o eroziune a catodului, iar pentru $S > 1,2 \div 1,5$ mm, când interacțiunea suprafeței electrodului cu canalul de plasmă se realizează

predomnant prin intermediul petelor electrodiocce „reci”, uzura catodului este foarte mică.

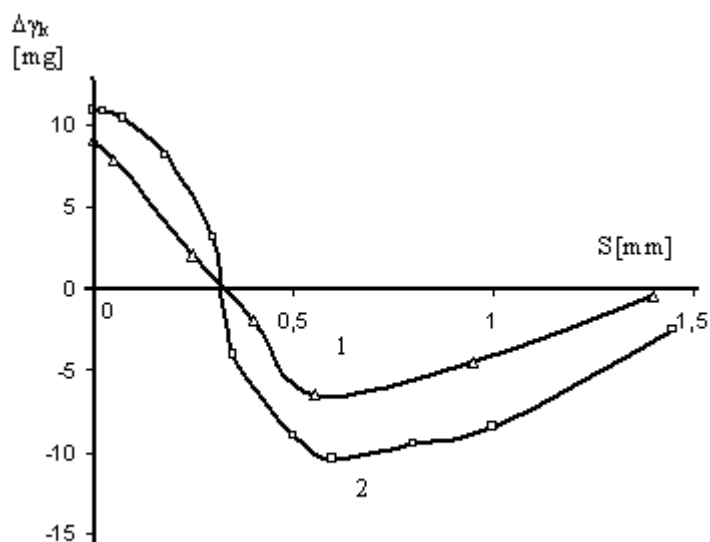


Fig. 2.8. Variația masei catodului din oțel (1) și titan (2) în funcție de mărimea interstițiului; $U_e=240$ V; $f=40$ Hz; timpul specific de prelucrare 1 min/cm^2

Cu creșterea valorilor interstițiului se micșorează, de asemenea și eroziunea anozilor din cupru și oțel (fig. 2.9). Eroziunea anodului din grafit are un caracter diferit de cel al anozilor din oțel și cupru (fig.2.9) și asemănător cu cel al catodului metalic (fig. 2.8). Acest efect poate fi explicat în baza a două argumente: legăturilor interatomare mai slabe la formarea rețelei cristaline a grafitului și specificul conductivității electrice a acestuia.

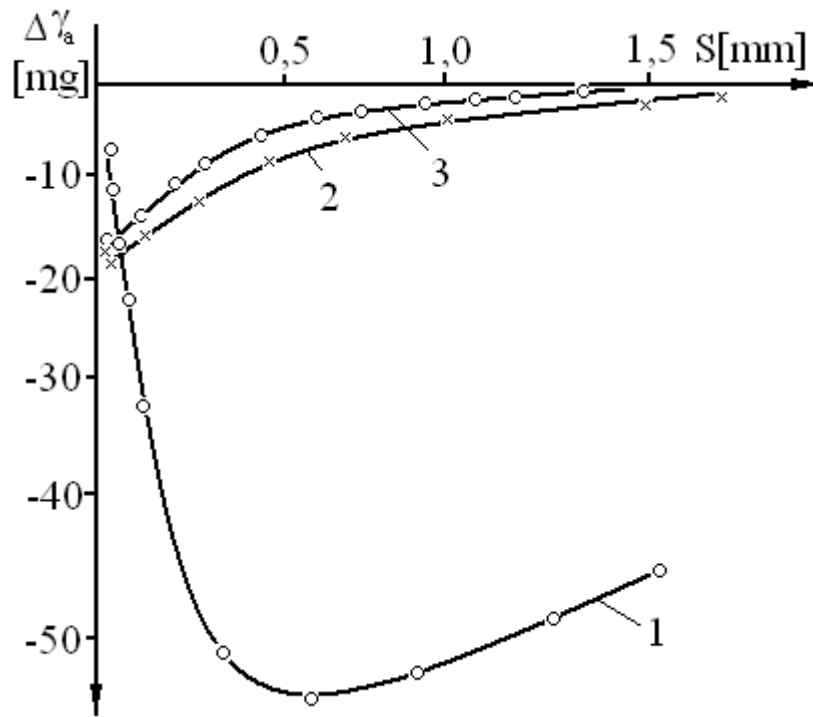


Fig. 2.9. Variația masei anodului de grafit (1), oțel (2) și cupru (3) în funcție de mărimea interstițiului: $U_c = 240$ V, $f = 40$ Hz și $t = 1$ min/cm²

Din graficele prezentate în figura 2.10 poate fi stabilită limita de separație a interacțiunii predominante a petelor „reci” sau „calde” cu suprafața catodului și caracterul uzurii în acest domeniu cercetat, al mărimii interstițiului. Aceasta este importantă pentru alegerea regimului de prelucrare în lipsa depunerilor [54] și pentru aprecierea particularității interacțiunii particulelor de pulberi cu suprafața piesei (în fază lichidă ori solidă) în cazul formării depunerilor straturilor. În figura 2.10 zona hașurată reprezintă limitele de acțiune a petelor electrodice „calde”, între curbele 1 și 2 – zona de acțiune a petelor electrodice „reci” și „calde”, iar deasupra curbei 2 – numai acțiunea petelor electrodice „reci”, fără topirea suprafeței și schimbarea esențială a geometriei.

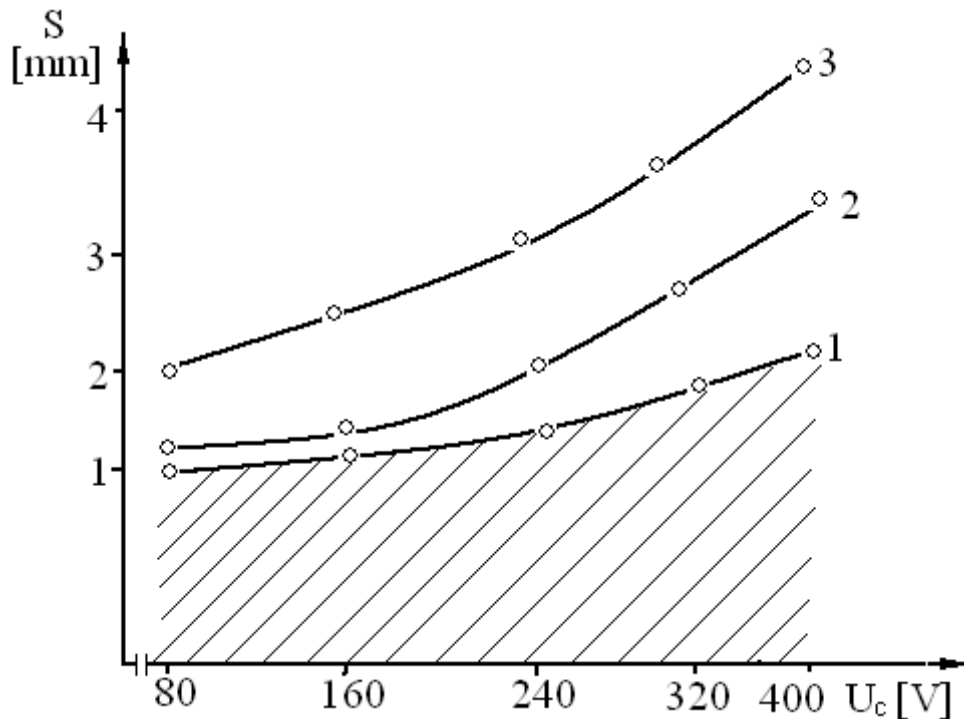


Fig. 2.10. Mărima interstițiului S în funcție de tensiunea de încărcare a condensatoarelor de lucru U_c care determină limitele existenței urmelor petelor „calde” sub formă de fază lichidă (porțiunea hașurată) și urmele petelor electrodice „reci” (sub curba 3); între curbele 1 și 2 se constată acțiunea simultană ambelor tipuri de pete electrodice: „calde” și „reci”

La studierea suprafeței catozilor și anozilor supuși interacțiunii cu canalul de plasmă, au fost observate niște vîrfuri cu înălțimea de 0,1 – 0,7 mm, uniform distribuite pe toată suprafața acestora. Pentru energia DEI de 4,2 J și mărimea interstițiului $S=0,3\text{mm}$, pe suprafața electrodului-anod executat din wolfram se observă vîrfuri conice (fig. 2.11). Înălțimea maximă au avut-o vîrfurile situate în zona frontală a electrozilor. Acestea au apărut pe suprafața activă conică sau sferică a electrozilor, cînd diametrul zonei de acțiune al petelor „reci” a rămînea constant la creșterea mărimii interstițiului (curbele 1'÷5', fig. 2.3).

Din cauza apariției și creșterii vîrfurilor în aceste limite, zona de acțiune a petelor „reci”, ramînea constantă (v. fig. 2.3). Înălțimea vîrfurilor crește odată cu creșterea

interstițiului. Creșterea înălțimii vîrfurilor are loc astfel, încît interstițiul dintre vîrf și suprafața plană a catodului ramîne relativ constantă.

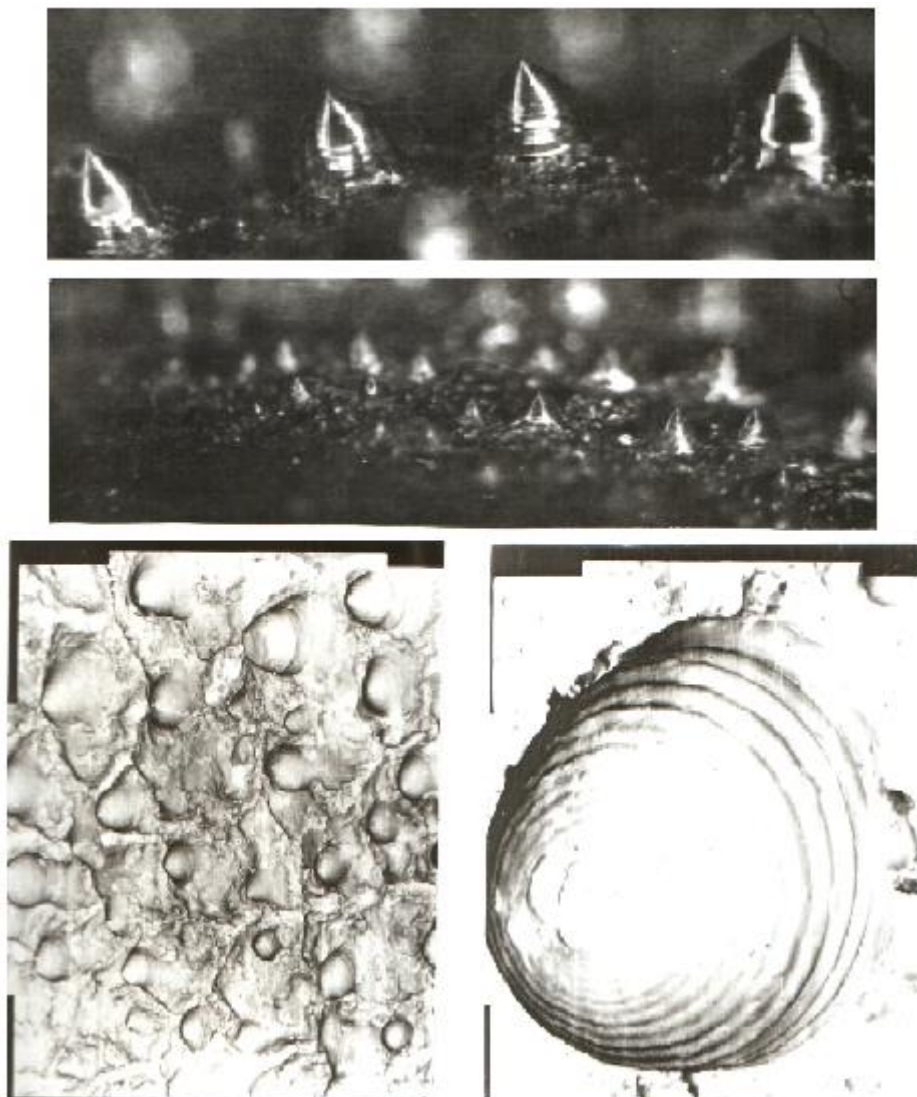


Fig. 2.11. Vîrfuri pe suprafața anodului din wolfram, după interacțiunea cu descărcările electrice în impuls la $S=0,3$ mm și $W=4,2$ J:

a – zona frontală; *b* – zona periferică (microscopie optică); *c* – microscopie electronică

Vîrfuri de formă conică se observă atunci cînd electrodul îndeplinește funcția de anod, dar sa stabilit că și la polaritate inversă ele apar, însă, forma lor nu este atît de perfectă ca în cazul anodului.

Apariția vîrfurilor și creșterea înălțimii lor în cazul experiențelor realizate este analogică excitării undelor capilare pe suprafața metalului lichid în câmp electric congelate prin răcire bruscă [22, 23]. Este necesar a menționa că aceste unde sunt condiționate de instabilitatea suprafeței metalului lichid într-un câmp electric perpendicular. Experimental acest tip de unde a fost observate numai în anumite condiții (în prezența vidului, fascicolului de plasmă hidrogenică, o densitate anumită a curentului etc.), analogia cu apariția undelor capilare fiind convențională și necesită dovezi suplimentare.

Astfel pentru descărcările electrice în impuls ce au loc în aer, în condiții normale în regim de subexcitare, pentru parametrii impulsului caracteristici procesului de depunere a straturilor din pulberi metalice se observă câteva particularități în uzura, respectiv eroziunea electrozilor: în funcție de valoarea interstițiului și a energiei descărcării, acțiunea acesteea asupra suprafeței electrozilor condiționează formarea craterelor cu fază lichidă solidificată în ele avînd dimensiuni de la fracțiuni pînă la cîteva micrometri (zona acțiunii petelor electrodice reci) fără semne evidente de topire; în limita de bază a variației valorii interstițiului se distinge existența ambelor tipuri de eroziune (la centru sunt situate craterele cu fază lichidă, iar în jurul lui zona craterelor mici); creșterea valorii interstițiului condiționează micșorarea craterului cu fază lichidă și creșterea zonei de acțiune a petelor electrodice „reci”, care pentru $S > 1,5 - 2$ mm devine predominantă; caracterul uzării electrozilor prin eroziune ne indică existența mai multor canale de descărcare simultan; în anumite condiții pe suprafața electrodului cilindric apar vîrfuri ce influențează mărimea zonei de uzură.

2.4. Dilatarea canalului de plasmă și coraportul căderilor de tensiune anodică și catodică

Fenomenele electroerozive din interstițiu la descărcările electrice în impuls, necătfînd la faptul că sunt cercetate de foarte mult timp, încă nu au ajuns la o

variantă finală a tabloului acestora [1, 4-11]. Diferiți cercetători privesc lucrurile din diferite unghiuri de vedere și respectiv redau esența acestora în mod diferit.

Pînă în prezent se socotea că, sursa de căldură ce încălzește și topește suprafața electrozilor este plană și este situată pe suprafața prelucrată a acestuia. Această ipoteză pare a fi greșită din start, fiindcă majoritatea absolută a craterelor de eroziune poartă în sine urma calotei sferice ideale. Rezultă că dacă această ipoteză ar fi corectă, atunci calota sferică ar trebui să ia forma unei jumătăți de sferă, însă aceasta nu se întîmplă.

Pentru valori relativ mari ale interstițiului (0,1...2,5mm) se propune a precăuta în calitate de surse punctiforme de căldură petele anodice și catodice situate la o anumită distanță de la suprafața prelucrată și care simultan servesc în calitate de centru al calotei sferice obținute în rezultatul eroziei. Este normal a admite că hotărîtoare în efectele erozive sunt petele electrodice de tipul II [18, 45], adică petele electrodice „calde” [46-49], care iau naștere la contopirea a două sau cîtorva pete electrodice de tipul I sau „reci”. Pentru a înțelege mai bine ce se întîmplă în interstițiu vom admite că densitatea de curent într-o pată electrodică „rece” este o mărime constantă, iar în cea „caldă” această mărime este cuantificată și este multiplă cu un număr întreg de curenți specifici ai primelor. Datortită eferctului Pintch în procesul descărcării electrice în impuls mai multe canale de descărcare prin care curg curenți paraleli și de aceeași direcție se atrag și se contopesc, astfel formîndu-se canale de conductivitate care se sprigină pe pete electrodice „calde”. Dacă admitem, că densitatea de curent în ele este o mărime constantă și presupunem, că simultan există doar două canale de conductivitate care se contopesc, atunci rezultă un nou canal al cărui diametru poate fi determinat din condițiile expuse mai sus, ținînd cont de mărimea curenților care circulă prin ele cum urmează:

$$j_1 = \frac{4I_1}{\pi d_1^2}, \quad j_2 = \frac{4I_2}{\pi d_2^2}. \quad (2.6)$$

În relațiile de mai sus I_1 și I_2 sunt respectiv curenții din canalele de conductivitate, iar d_1 și d_2 diametrele acestora. Dacă admitem că, din cauza efectului Pinch cele două canale se contopesc formînd altul nou cu densitatea de curent:

$$j_3 = \frac{4I_3}{\pi d_3} \quad (2.7)$$

și că densitatea de current în cele trei canale este identică:

$$j_1 = j_2 = j_3 = const, \quad (2.8)$$

iar curentul în canalul nou format va fi egal cu suma curenților din primele două, putem scrie:

$$\frac{4I_1}{\pi d_1^2} = \frac{4(I_1 + I_2)}{\pi d_3^2} = \frac{8I_1}{\pi d_3^2}, \quad (2.9)$$

din care rezultă:

$$d_3 = d_1 \sqrt{2}. \quad (2.10)$$

Prin analogie, dacă se contopesc mai multe canale se va obține unul nou al cărui diametru poate fi exprimat cu relația:

$$d_n = d_1 \sqrt{n} \quad (2.11)$$

în care d_1 reprezintă diametrul unui canal elementar de conductivitate.

Comparînd ultima relație cu cea dedusă de către autoarea S. I. Drabkina [31] putem observa că ele nu sunt identice, însă ultima descrie mult mai simplu procesele de creștere a diametrului canalului de plasmă din interstițiu ținînd cont de densitatea cuantificată de curent.

În cazul eroziunii electrice la descărcări solitare masa de material (m) prelevată de pe suprafața electrodului poate fi calculată cu relația:

$$m = k\rho U_s \int_0^{\tau} i(t) dt, \quad (2.12)$$

în care: k este un coeficient de proporționalitate, ρ -densitatea materialului electrodului, U_s - căderea de tensiune pe interstițiu, $i(t)$ - valoarea momentană a curentului descărcării electrice în impuls.

Cunoscînd masa materialului topit la o descărcare solitară și socotind pata electrodică în calitate de sursă punctiformă de căldură situată la înălțimea $H=R-h$

față de suprafața atacată a electrodului vom observa, că atât baa de metal lichid cât și zona influenței termice situate sub ea iau forma unei calote sferice de rază R, iar energia se degajă într-un sector de sferă.

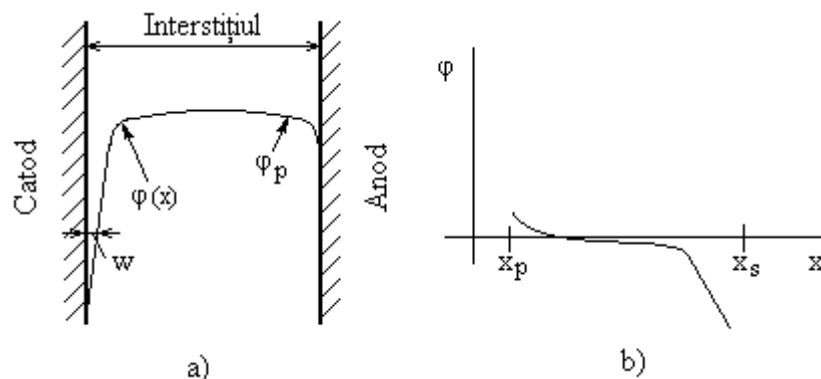


Fig. 2.11. Distribuția tipică a potențialului în interstițiu (a). Profilul potențialului în diferite regiuni ale intersițiului (b) [80]

Din rezultatele cercetărilor executate de mai mulți cercetători [2, 6, 12, 13] se cunoaște că, în condiții identice mai puternic erodează electrodul care îndeplinește funcția de anod. În cazul în care se precaută circuitul format de cei doi electrozi și canalul de plasmă ca unul conectat în serie, putem admite că în acesta circulă în mod integral unul și același curent, din care rezultă eroziunea masică a anodului, respectiv a catodului, ca funcție de căderea de tensiune la suprafețele acestora cum urmează:

$$-\Delta m_a = -k\rho U_a \int_0^{\tau} i(t) dt, \quad (2.13)$$

$$\Delta m_k = k\rho U_k \int_0^{\tau} i(t) dt. \quad (2.14)$$

În relația 2.13 semnul “minus” pentru cantitatea de masă erodată a anodului indică asupra faptului că de pe suprafața acesteia are loc prelevare de material. Semnul ”plus” din 2.14 indica creșterea de masă a catodului, pe suprafața lui are loc formarea de depunere cu transfer de material.

Pentru căderea de tensiune pe interstițiu la descărcările electrice în impuls, în conformitate cu rezultatele obținute de autorii [73, 74], se satisface relația:

$$U_s = 19,206 + 14.02S, \quad (2.15)$$

în care:

$$U_k + U_a = 19,206. \quad (2.16)$$

În conformitate cu rezultatele obținute de autorii lucrărilor [7, 14, 15], relațiile în formă generală, pentru căderile de tensiune pe interstițiu și straturile anodice și catodice pot fi scrise cum urmează:

$$U_s = A(t) + B(t)S, \quad (2.17)$$

$$A(t) = U_a(t) + U_k(t), \quad (2.18)$$

în care $U_a(t)$ și $U_k(t)$ reprezintă respectiv căderea anodică și cea catodică de tensiune, iar $B(t) = \frac{\partial U(t)}{\partial S} = E_s(t)$ gradientul de potențial pe interstițiu sau mai bine

zis pe canalul de plasmă. Comparînd relațiile obținute de autorii [87] și [7, 97] între ele putem stabili că, căderea sumară de tensiune la suprafețele electrozilor în condiții concrete de prelucrare (electrozi executați din materiale concrete, mediul dielectric în care decurg descărcările electrice în impuls nemodificate în procesul prelucrării) reprezintă o mărime constantă. Însă în același timp, este de menționat faptul că, mai mulți autori [97, 43, 49, 80] au subliniat că, căderile de tensiune respective sunt: pozitivă la catod și negativă la anod. Cunoscînd masa de material supusă eroziunii la fiecare din acestea și căderea sumară de tensiune la suprafețele electrozilor din relațiile (2.13) și (2.14) putem scrie:

$$\frac{-\Delta m_a}{\Delta m_k} = \frac{-U_a}{U_k}. \quad (2.19)$$

Luînd în considerație relațiile de mai sus deducem relația de calcul pentru valorile tensiunilor anodice și catodice cum urmează:

$$19,206V = U_k \left(1 + \frac{m_a}{m_k}\right),$$

sau (2.20)

$$U_a = U_k \frac{m_a}{m_k}.$$

Ultimile două relații indică asupra faptului că, în cazul aplicării descărcărilor electrice în impuls la formarea straturilor de depunere atît procesele erozive, cît și cele de transfer de masă (pentru aceleași condiții de parcurgere a curentului a conturului de descărcare) sunt determinate, în esență, de căderile de tensiune la

suprafețele electrozilor. Căderile de tensiune la suprafețele electrozilor la rîndul lor sunt funcție de proprietățile fizico-mecanice a materialului de execuție a acestora.

2.4. Petele electrodice - surse punctiforme de căldură la aplicarea descărcărilor electrice în impuls în scopuri tehnologice

Pe parcursul efectuării cercetărilor fenomenului electroeroziunii de către savanții din diferite centre științifice a fost stabilită forma de calotă sferică a craterului rezultat calotă sferică pe suprafața prelucrată a anodului și catodului la interacțiunea acestuia cu canalul de plasmă al descărcării electrice în impuls [2, 3, 4, 10, 46, 50, 56]. Dacă sursa de căldură care provoacă topirea materialului ar fi plană, atunci și craterul rezultat ar trebui să copie aproximativ conturul acesteia și să încălzească materialul în conformitate cu acesta, ceea ce în realitate nu se întîmplă.

Forma de calotă sferică a craterului atît pe suprafața prelucrată a catodului cît și a anodului (fig. 2.12) indică că, sursa de căldură (pata electrodică anodică sau catodică) care provoacă încălzirea suprafețelor este punctiformă și este situată la o înălțime $h_{p.e.}$ față de suprafața prelucrată. Apare logic întrebarea, de ce atunci 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 acesteea care provocau apariția unei imagini plane pe placa fotografică [30, 45]. Luînd în considerație că, imaginea unui corp sferic pe o suprafață plană totdeauna reprezintă o imagine plană (cerc) putem presupune că, din acest motiv i-a fost dată denumirea de pată deși aceasta mai este cauzată și de mișcarea ei cu viteză relativ mari [30].

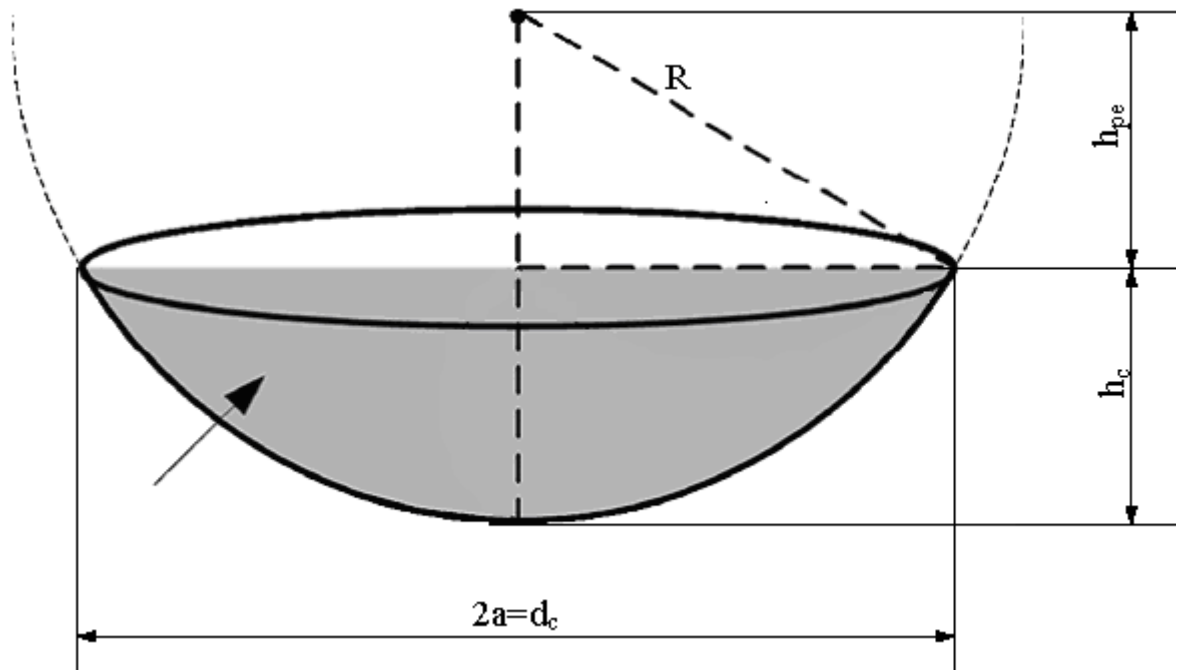
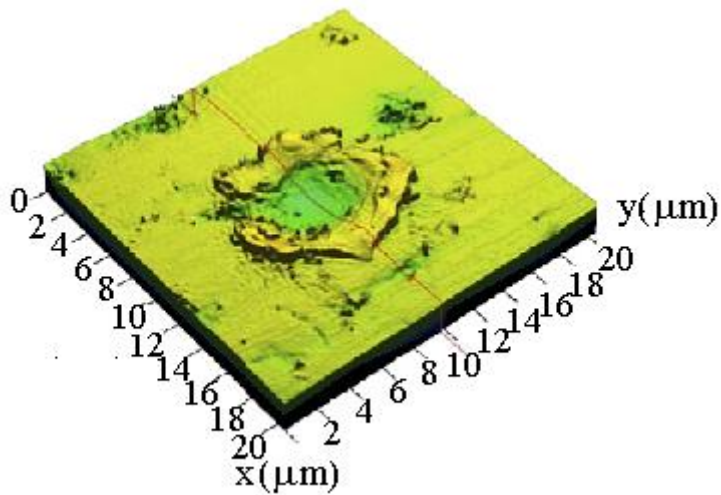


Fig. 2.12. Vederea generală a unui crater de eroziune format de o pată electrodică punctiformă

O altă întrebare care este la fel logic să apară ar fi următoarea: “Care-i motivul că în aceste “pete” se degajă o mare cantitate de căldură?” Răspunsul acesta poate fi dat numai analizând 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 electric (electronilor din catod și ionilor pozitivi din anod) din electrozi. În același timp are loc frînarea ionilor încărcăți

pozitiv în pata catodică în procesul apropierii acestor particule de ea, și frînarea electronilor emiși (posibil și ionilor negativi formați în mediul de lucru) de catod în pata anodică la apropierea lor de aceasta. Putem presupune că, 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 atât în pata propriu zisă, cât și după trecere 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.

Din cele expuse mai sus, putem face o încercare de a determina care este grosimea stratului anodic și celui catodic, adică 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 (vezi fig. 2.12), atunci pentru raza vectorie după care acționează cîmpul electric al petei electrodice putem scrie următoarea relație:

$$R = h_c + h_{p.e.}, \quad (2.21)$$

în care h_c și $h_{p.e.}$ sunt respectiv adîncimea craterului și 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 vectorie 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 cum urmează:

$$h_{pe} = R - h_{cs}, \quad (2.22)$$

$$h_{pe} = \sqrt{R^2 - a^2}, \quad (2.23)$$

unde R este raza vectorie, iar a – semidiametrul craterului (fig. 2.12)

Egalînd între ele părțile stîngi ale ecuațiilor (2.22) și (2.23) și executînd transformările respective, pentru raza vectorie (raza după care acționează cîmpul electric și cel termic generat de pata electrodică) vom obține:

$$R = \frac{h_{cs}^2 + a^2}{2h_{cs}} \quad (2.24)$$

în care R este raza calotei sferice, h_{cs} - înălțimea calotei sferice ce mărginește craterul de eroziune. Intriducând reelația (2.24) în relația (2.22), după modificările respective, poate fi determinată grosimea stratului anodic sau catodic cunoscând parametrii craterului obținut la electroeroziune:

$$h_{pe} = \frac{a^2 - h_{cs}^2}{2h_{cs}} \quad (2.25)$$

Astfel, în conformitate cu relația (2.25), cunoscând 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 lucrarea [87] și confirmată mai recent de către autorii lucrării [79] cu relația:

$$2a = 9,6236h_{cs} + 0,0101 \quad (2.26)$$

poate fi determinat diametrul craterului exprimat prin adâncimea lui.

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

2.5. Stabilirea valorii critice a curentului descărcării electrice în impuls necesar pentru formarea fazei licide a materialului suprafeței prelucrate

Reeșind din rezultatele, obținute de diferiți autori la studierea descărcărilor electrice [8, 10, 12, 24, 59] și eroziei suprafețelor electrozilor în procesul descărcărilor electrice în impuls [37, 38, 59-61], putem considera, că procesele erozive sunt influențate de acțiunea petelor electrodice de tipul doi (petelor electrodice „calde”).

Datorită efectului Pinch, în procesul descărcării solitare are loc contopirea a două și mai multe canale de conductivitate, prin care circulă curenți paraleli. Dacă presupunem că densitatea curentului în canalele existente este una și aceeași și în

același timp curenții circulă prin două canale paralele care se contopesc, atunci canalul nou format va avea diametrul diferit de primele două și prin el va trece un curent cu densitatea $j_3 > j_1$ și j_2 .

Din condiția formării topiturii pe suprafața piesei [83] poate fi determinat diametrul canalului de descărcare, dacă admitem că diametrul acestuia coincide cu diametrul craterului:

$$d_c = \sqrt{4W_s / \pi S Q_t} \quad (2.27)$$

în care $W = \int_0^{\tau} U(t) i(t) dt$ este energia degajată în interstițiu, S – mărimea interstițiului, Q – căldura specifică de topire a materialului $Q=qS$.

În lucrările [33, 77, 87] se demonstrează, că căderea de tensiune pe interstițiu depinde de mărimea acestuia și materialul electrozilor.

Ridicînd la patrat, ecuația (2.27) și făcînd substituțiile respective și luînd în considerație că efectele erozivee sunt cauzate de căderile de tensiune electrodice (U_l): care sunt niște mărimi constante vom obține:

$$d_c^2 = \frac{4U_l}{\pi S Q_t} \int_0^{\tau} i(t) dt \quad (2.28)$$

Notînd $\Delta = \frac{U_l}{S Q_t}$, obținem:

$$d_c^2 = \frac{4\Delta}{\pi} \int_0^{\tau} i(t) dt \quad (2.29)$$

sau

$$\frac{1}{\Delta} = \frac{4 \int_0^{\tau} i(t) dt}{\pi d_c^2} \quad (2.30)$$

Valoarea integralei $\int_0^{\tau} i(t) dt$ reprezintă curentul sumar I_3 pentru toată perioada descărcării. Astfel din ecuația (2.333) poate fi calculată valoarea densității curentului j_3 , necesară pentru formarea fazei lichide pe suprafața prelucrată:

$$j_3 = \frac{4 \int_0^{\tau} i(t) dt}{\pi d_c^2} \quad (2.31)$$

Reeșind din expresia (2.34) poate fi determinată densitatea critică a curentului, necesară pentru apariția fazei lichide pe suprafețele de lucru a electrozilor confecționate din diferite materiale. În tabelul 2.3 sunt prezentate valorile calculate ale densității critice a curentului la formarea fazei lichide pe suprafețele prelucrate a pieselor pentru diferite materiale de execuție, în funcție de modul conectării electrozilor în circuitul de descărcare a generatorului de impulsuri de curent.

Tabelul 2.3 [31]

Dependența diametrelor craterelor, căderilor de tensiune pe interstițiu, densității curenților de către mărimea interstițiului pentru diferite materiale.

| Materialul electrodului | Diametrul craterului pe suprafața anodului | Diametrul craterului pe suprafața catodului | S, (mm) | U _s , (V) | j ₃ , (A/mm ²) pe anod | j ₃ , (A/mm ²) pe catod |
|----------------------------|--|---|------------|-------------------------|---|--|
| Oțel – 30 | 2,85 | 1.55 | 0.1 | 20.8 | 129.6 | 438.4 |
| | 2.35 | 1.40 | 0.5 | 25.75 | 161.2 | 454.3 |
| | 1.70 | 1.10 | 1.0 | 36.0 | 239.9 | 573.3 |
| Cu | 1.65 | 1.15 | 0.1 | 21.8 | 369 | 753 |
| | 1.38 | 1.05 | 0.5 | 27.75 | 432 | 1218 |
| | 1.12 | 0.78 | 1.0 | 37.07 | 516 | 1237 |
| Ti | 2.55 | 2.15 | 0.1 | 21.05 | 160.4 | 225 |
| | 1.85 | 1.72 | 0.5 | 26.82 | 238.0 | 671 |
| | 1.03 | 0.85 | 1.0 | 36.78 | 561.5 | 1344 |

Datele prezentate în tabel ne indică că, pentru una și aceeași mărime a interstițiului, căderea de tensiune pe el practic puțin se modifică cu schimbarea materialului electrozilor, iar densitatea critică a curentului, necesară pentru apariția fazei lichide pe suprafața prelucrată, esențial depinde de proprietățile termofizice ale acestora.

Rezultatele experimentale obținute de diferiți autori [19, 21, 33, 77, 87] demonstrează că pentru condiții identice eroziunea anodului, practic, în toate cazurile este mai mare decât eroziunea catodului.

Dimensiunile craterelor care se formează pe suprafețele electrozilor, confecționați din același material, sunt diferite și în toate cazurile mai mari pe anod. Cu toate că în circuitul de descărcare circulă unul și același curent densitatea lui pe anod (j_A) și catod (j_C) va fi diferită din motivul diferenței diametrelor craterelor formate.

2.6. Cantitatea de sarcină ce parcurge interstițiul la o descărcare electrică în impuls ca factor determinativ al prelevării de masă a materialului electrozilor

Cercetătorii preocupați de investigațiile fenomenelor electroerozive tind a stabili relația dintre cantitatea de material topit și prelevat de pe suprafața prelucrată ca funcție de diferiți parametri: frecvența impulsurilor de curent, mărimea interstițiului, proprietățile materialului din care sunt executați electrozii, curentul mediu în impuls, energia descărcărilor electrice în impuls etc.

Majoritatea absolută a cercetărilor [4, 12, 16, 36, 79-82] consideră că, factorul principal ce influențează cel mai considerabil procesele erozive este energia descărcărilor electrice în impuls. Au fost obținute un șir de relații cu ajutorul cărora se determină unii parametri alee efectelor erozive, cum ar fi::

$$d_c = kW, \quad (2.32)$$

$$h_c = kW, \quad (2.33)$$

$$\Delta\gamma = k \frac{CU^2}{2}, \quad (2.34)$$

$$\Delta\gamma = kW, \quad (2.35)$$

în care d_c este diametrul craterului format în rezultatul unei descărcări electrice solitare; h_c -adâncimea crateruli; $\Delta\gamma$ - cantitatea masică de material prelevat sau depus; k - coeficient de proporționalitate dependent de proprietățile materialului de execuție al electrozilor și condițiile de prelucrare; C -capacitatea bateriei de

condensatoare a generatorului de impulsuri de curent; U -tensiunea de încărcare a acestora; W - energia descărcărilor electrice în impuls.

Relațiile 2,35...2,38 sunt relativ simple, însă în același timp ele introduc un șir de neclarități din care motiv rezultatele obținute de diferiți cercetători nu pot fi interpretate adecvat. Analizând relația (2.38) putem constata că, energia acumulată pe baterieea de condensatoare nu poate servi în calitate de indice tehnologic, deoarece toate circuitele de descărcare conțin rezistențe active, capacitive, inductive și, respectiv, în procesul descărcării electrice în impuls o parte din energia acumulată pe bateria de condensatoare este disipată de acestea (tebela 2.2). Cantitatea de energie pierdută pe acestea, la rândul său, este funcție de mai mulți factori cum ar fi: corelația dintre inductanță și capacitate, modul de conectare a acestora în porțiunea de circuit, gradientul de energie introdus în interstițiu într-o unitate de timp etc.

În relațiile (2.31, 2.32, 2.33) sub noțiunea de energie a descărcărilor electrice în impuls (W) se subînțeleg diferite lucruri, spre exemplu [67]:

$$W = u_e i_e t_d, \quad (2.36)$$

$$W_s = \int_0^{\tau} I(t) U_s(t) dt \quad (2.37)$$

În relația (2.35) mărimile fizice W , u_e , i_e și t_d sunt, respectiv, energia în impuls; căderea de tensiune în impuls; curentul electric în impuls și durata lui, iar în relația (2.37) mărimile W_s , $I(t)$, $U_s(t)$, τ - reprezintă respectiv: energia degajată în interstițiu pe parcursul unei descărcări solitare, valoarea momentană a curentului de descărcare, căderea de tensiune pe interstițiu și durata descărcării; electrice în impuls. Relația (2.37) este una din cele mai reușite pentru aplicare în cercetare și tehnologie din motivul că asigură veridicitatea informației privind influența energiei degajate nemijlocit în interstițiu asupra fenomenelor erozive.

S-a stabilit experimental că pentru mărimi constante ale interstițiului căderile de tensiune pe el reprezintă mărimi constante. Luînd în considerație aceste rezultate relația (2.37) o putem scrie astfel:

$$W_s = U_s \int_0^{\tau} i_s(t) dt . \quad (2.38)$$

Integrala definită pe domeniul $0 \dots \tau$, din relația de mai sus, prezintă nu altceva decât cantitatea de sarcină ce trece prin interstițiu în decursul unei descărcări solitare. Autorii lucrărilor [11, 79, 84] au stabilit că, între volumul craterului de eroziune și energia degajată în interstițiu există următoarea relație:

$$V_c = k W_s , \quad (2.39)$$

Dacă vom înmulți ambele părți ale acestei egalități la ρ (densitatea materialului de execuție al electrozilor) și vom lua în considerație că pentru o anumită mărime a interstițiului căderea sumară de tensiune este de asemenea o mărime constantă, atunci vom obține o nouă egalitate:

$$V_c \rho = k \rho W_s , \quad (2.40)$$

ori

$$m = k \rho U_s \int_0^{\tau} i(t) dt . \quad (2.41)$$

Relația (2.41) demonstrează că, cantitatea de material prelevată la electroeroziune este direct proporțională cu cantitatea de sarcină ce parcurge interstițiul pe durata descărcării electrice în impuls. Această relație este valabilă pentru cazurile când în interstițiu se crează condiții pentru apariția fazei lichide. În cazurile când electroeroziunea are loc în stare solidă, sau atât în stare solidă cât și lichidă, această relație va avea două componente fiecare dintre ele modificându-se în funcție de condițiile de prelucrare. Valabilitatea acestei relații pentru cazul eroziunii în stare solidă a fost confirmată de cercetările executate în [47, 86, 87], pentru cazul grafitului tehnic în funcție de energia degajată în interstițiu și, respectiv, de cantitatea de sarcină ce a parcurs conturul de descărcare.

2.7. Transferul de masă în faza solidă și procesele de difuzie în straturile de suprafață ale pieselor la interacțiunea lor cu plasma canalului descărcării electrice în impuls

Se cunoaște că, aplicarea descărcărilor electrice în impuls și-a găsit o largă utilizare în recondiționarea și durificarea superficială a pieselor mașinilor și aparatelor datorită proprietăților unice pe care le posedă: permit a realiza prelucrarea locală strict localizată fără a proteja restul suprafeței; suprafața de prelucrare nu necesită o pregătire prealabilă, nu supune încălzirea piesa în procesul formării stratului; asigură o adeziune înaltă a stratului format cu suprafața prelucrată a piesei; asigură posibilitatea utilizării în scopul formării straturilor de suprafață a unei game largi de materiale etc. [57, 87, 90]. Cu toate că sunt evidente prioritățile de care dispune această metodă de prelucrare însă procesele de difuzie care o însoțesc și care influențează procesul de formare a straturilor, proprietățile acestora și a adâncimii substraturilor sunt prea puțin cercetate.

Unul din factorii principali care determină procesul de saturație a suprafeței catodului cu elemente de aliere este procesul transferului de masă. Ca rezultat al acestuia au loc transformări cu caracter fizico-chimic care pot determina procedeul de prelucrare al suprafeței (formarea straturilor de depunere prin transferul materialului anodului sau celui al pulberii introdu-se în interstițiu; prelucrarea termică sau chimico-termică a suprafeței prelucrate în lipsa transferului de material al anodului, ci numai prin saturarea cu elementele mediului de lucru sau modificarea structurii stratului de suprafață din contul acțiunii termice a plasmăi descărcării electrice în impuls). Studiul aprofundat a acestor fenomene ar permite stabilirea influenței diferitor parametri a acțiunii impulsive asupra caracterului și adâncimii transferului de masă, mărimii concentrației elementelor în diferite zone ale stratului de suprafață și stabilirea posibilităților de dirijare cu aceste fenomene. Pentru început a fost studiat procesul transferului de masă în condițiile formării straturilor de depunere la alierea superficială cu scînteii electrice cu rupere de contact [62, 63, 64] și la descărcări electrice solitare, generate de instalații de tipul

„Razread” [76] sau asemănătoare ei [66]. În primul caz a fost observat transferul de masă în fază solidă la adâncimi considerabile – de zeci de micrometri, în al doilea – această mărime nu depășea câțiva micrometri ceea ce nu prezenta interes practic pentru metodele de durificare a suprafețelor.

În condițiile reale de formare a straturilor de depunere din pulbere interacțiunea plasmei canalului de descărcare cu suprafața prelucrată este multiplă cu una și aceeași porțiune de suprafață, din care motiv în cercetările realizate a fost aleasă varianta prelucrării continue a pieselor, care asigură condiția interacțiunii multiple. În conformitate cu metodica descrisă în [53, 55, 71] a fost realizată cercetarea procesului transferului de masă a elementelor (izotopilor radioactivi de $Fe^{55,59}$) în straturile de suprafață a pieselor executate din oțeluri de construcție (Oțel 3 și Oțel 45) și din titan de puritate tehnică (BTI-0), supuse interacțiunii cu plasma descărcărilor electrice în impuls la instalația de tipul „Razread-M”. Timpul specific de prelucrare a unei porțiuni de suprafață constituia $t = 0,5 \text{ min/cm}^2$ și acesta asigură interacțiunea a cca 75...250 de descărcări electrice în impuls cu una și aceeași porțiune de suprafață a catodului.

Cercetarea influenței interacțiunii impulsive multiple a radiației laser și ultrasunetului asupra transferului de masă în fază solidă a demonstrat că, adâncimea pătrunderii și distribuirii elementelor în anumite puncte fixe crește esențial odată cu sporirea numărului de interacțiuni. Comparând rezultatele transferului de masă obținute în condițiile descărcărilor electrice în impuls în regim de subexcitare la prelucrarea continuă (fig. 2.12, 2.13), cu cele obținute de către autorii [70, 76] la interacțiunea suprafeței cu descărcări electrice solitare, putem atesta o tendință asemănătoare în schimbarea legităților variației adâncimii transferului de masă și concentrației elementelor după adâncimea stratului de suprafață.

Astfel, în cazul descărcărilor electrice în impuls, în aer și amoniac, adâncimea de pătrundere în faza solidă în decursul unei descărcări solitare nu depășește $7 \mu\text{m}$. O adâncime similară de transfer masic se atestă și la interacțiunea plasmei descărcărilor electrice în impuls generate de instalații de tipul „Razread-M” cu

suprafețele probelor executate din Fe, Ti, Al [76]. În cazul cercetării de autorii acestei lucrări, acțiunea multiplă a descărcărilor electrice în impuls provoacă sporirea adâncimii transferului de masă de 3...5 și mai multe ori (vezi fig. 2.12 și 2.13). Aceleași rezultate sunt obținute și de către autorii lucrării [88]. În aceste cazuri adâncimea caracteristică a transferului de masă constituie 10-40 μm . O astfel de adâncime a fost atestată și pentru cazul acțiunii asupra suprafeței prelucrate cu unde ultrasonore, când cantitatea sumară de solicitări constituia $10^4 - 10^5$ pentru un ciclu de prelucrare.

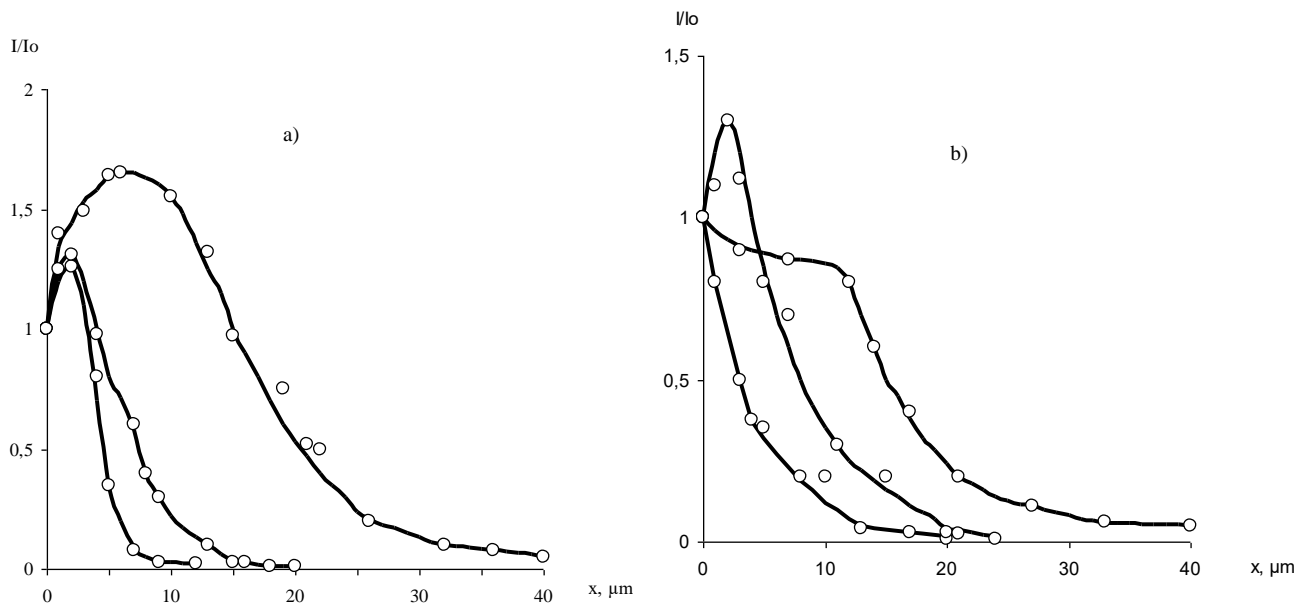


Fig. 2.12. Distribuția izotopului $\text{Fe}^{55,59}$ în straturile de suprafață a pieselor executate din Oțel 45 (a) și titanului BT 1-0 (b) după interacțiunea multiplă a descărcărilor electrice în impuls pentru: $U_c = 240 \text{ V}$ și $S = 2 \text{ mm}$ (1), $S = 1 \text{ mm}$ (2), $S = 0,5 \text{ mm}$ (3)

În condițiile experimentale precăutate în lucrare, pentru toate cazurile interacțiunii a canalului de plasmă descărcării electrice în impuls cu suprafața prelucrată a piesei, maximul concentrației elementului radioactiv se atestă la o anumită adâncime de la suprafața prelucrată a piesei, adică curbele concentraționale (fig. 2.12) posedă o valoare extremă, asemănătoare cu cele obținute în cazurile alierii cu scînteii electrice cu rupere de contact și la interacțiune cu radiație laser. Un astfel de mers al curbelor concentraționale este caracteristic pentru interacțiunea surselor

concentrate de energie care provoacă apariția fazei lichide pe suprafața prelucrată a piesei. În cazul alierii superficiale cu DEI cu rupere de contact – aceasta este faza lichidă a materialului de depunere și cel al materialului piesei. Pentru interacțiunea cu radiație laser și descărcări electrice în regim de subexcitare aceasta este faza lichidă a materialului piesei prelucrate.

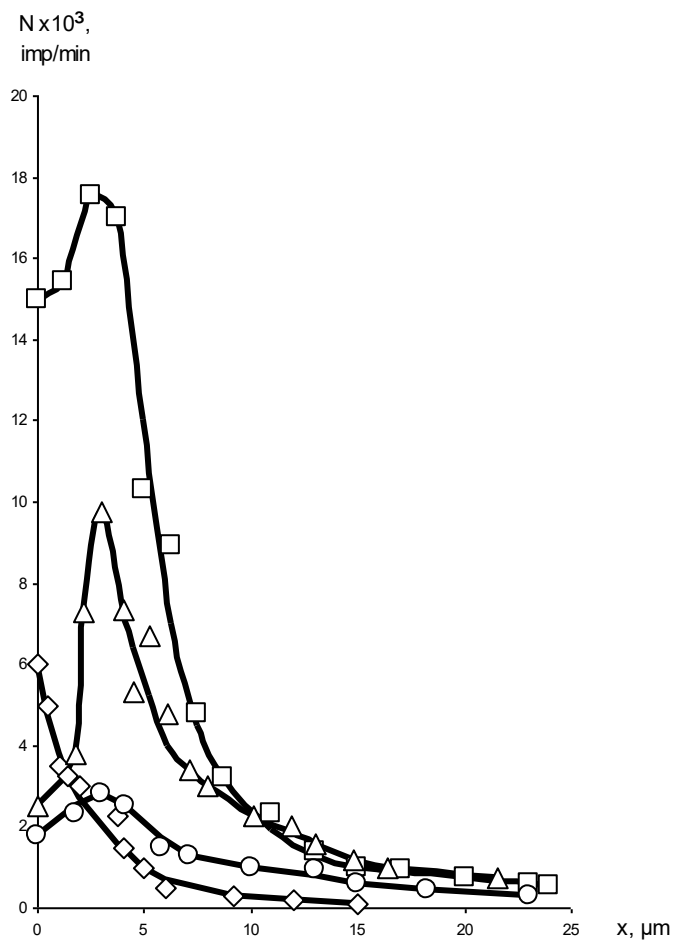


Fig. 2.13. Distribuția izotopului $Fe^{55,59}$ în straturile de suprafață a pieselor executate din Oțel 3 după interacțiunea multiplă a descărcărilor electrice în impuls pentru: $S = 0,5 \text{ mm}$ U_c (V) 160(1), 240 (2), 320 (3), 400 (4)

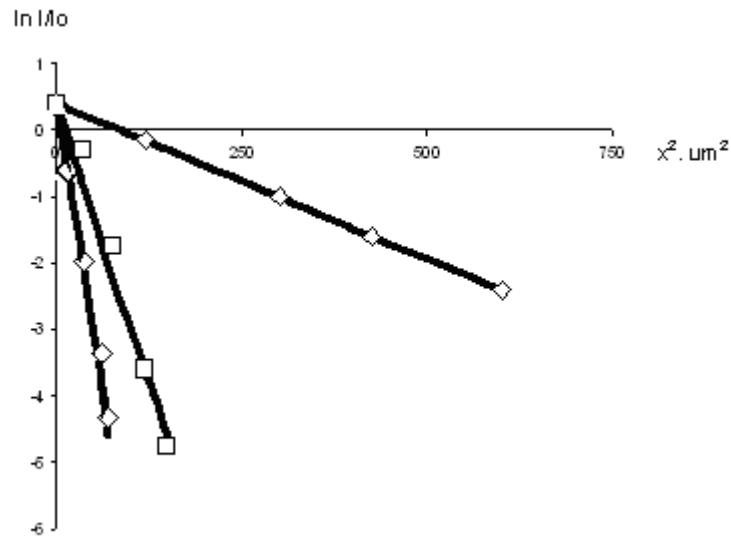


Fig. 2.14. Curbele concentraționale a izotopului $\text{Fe}^{55,59}$ în faza solidă a catodului executat din Oțel 45, în coordonatele $(\ln \frac{I}{I_0}, x^2)$, pentru: $S = 2 \text{ mm}$; $W = 5,57 \text{ J}$ (1); $S = 1 \text{ mm}$; $W = 4,9 \text{ J}$ (2); $S = 0,5 \text{ mm}$; $W = 4,3 \text{ J}$ (3)

În procesul interacțiunii plasmei descărcărilor electrice în impuls cu suprafața prelucrată a piesei și formării fazei lichide pe aceasta are loc amestecarea convectivă și transferul convectiv al elementelor în toată adâncimea stratului de fază lichidă [75], ceea ce provoacă micșorarea concentrației elementului cercetat în zona de suprafață a stratului format. Pentru cazul prelucrărilor superficiale în lipsa apariției fazei lichide pe suprafața prelucrată se atestă prezența maximului-extremă pe curba concentrațiilor în zona de început al acesteea. De exemplu, la interacțiunea suprafeței prelucrate cu impulsurile de ultrasunet curba distribuției elementelor nu are extremă. Un caracter asemănător a curbelor concentrației elementelor obținute de către autorii lucrării [88] pentru cazul acțiunii asupra suprafeței prelucrate cu plasma descărcărilor electrice în impuls solitare, la care faza lichidă practic este prezentă totdeauna, este determinat de particularitățile metodice ale cercetării transferului de masă, la care stratul cristalizat de suprafață era supus șlefuirii în trepte, ceea ce după părerea autorilor asigură obținerea rezultatelor veridice despre transferul de masă numai în faza solidă. Este necesar a

menționa că, șlefuirea strat cu strat nu totdeauna permitea stabilirea exactă a graniței dintre faza lichidă și cea solidă a suprafeței prelucrate, din care motiv această metodă de cercetare poate induce erori în rezultatele finale ale cercetărilor.

Analiza curbelor concentraționale, obținute pentru cazul menținerii energiei constante a descărcărilor electrice în impuls la variația mărimii interstițiului a permis a stabili că, mărimea acestuia influențează esențial transferul de masă atât în cazul probelor executate din oțeluri de construcție cât și din titan (fig. 2.12). Aceasta se datorește în primul rând modificării caracterului de interacțiune a plasmei descărcărilor electrice în impuls cu suprafețele prelucrate (efecte electroerizive, efecte termice și chimico-termice).

Cercetările suprafețelor prelucrate prin metoda microscopiei electronice au permis a stabili că, pentru interstiții a căror mărimi constituie cca 2mm pe suprafața catodului se observă formarea microcraterelor erozive cu adâncimi cuprinse în limitele 1...2 μ m, care și reprezintă zonele din care poate lua naștere faza lichidă și, posibil, cea de vapori, cauzate de formarea petelor electrodice „reci”. Numai în această zonă este posibilă amestecarea convectivă a elementelor, ceea ce și se atestă pe sectorul de întorsătură al curbei 1 (fig. 2.4) la adâncimi de 2...3 μ m a stratului de prelucrare. Sectorul inițial al curbei 2 (fig. 2.12, b) este similar celui al curbei obținute pentru cazul S=1 mm, însă pentru această mărime a interstițiului iau naștere petele electrodice „calde” care provoacă apariția mai abundentă a fazei lichide. Se atestă micșorarea ariei suprafeței de interacțiune a canalului de plasmă cu electrodul (crește densitatea fluxului de căldură Q pe aceasta), ceea ce condiționează variația adâncimii transferului de masă și distribuția elementelor în adâncul stratului prelucrat. În cazul în care interacțiunea canalului de plasmă cu suprafața prelucrată se realizează preponderent prin intermediul petelor electrodice „calde” zona fazei lichide ocupă practic toată suprafața. Intensitatea amestecării, adâncimea transferului de masă și concentrația elementelor sporește în adâncime ceea ce se atestă de către curba 3 (fig. 2.12), obținută pentru S=0,5mm. Partea dreaptă a curbei 3 (fig. 2.12, b) după dimensiunile sale depășește zona amestecării convective și constituie cca 20...25 μ m.

Reeșind din aceste considerente putem admite că, începînd cu această adîncime transferul de masă are loc în faza solidă. Acest sector al curbei 3 și celor similare a curbelor 1 și 2 iau forma de dreaptă în sistema de coordonate cu axele $\ln(I/I_0) - x^2$ (fig. 2.14), ceea ce atestă unul și același mecanism al transferului de masă în toate cele trei cazuri. Unele deosebiri ale curbelor prezentate în fig. 2.12, b, obținute la interacțiunea canalului de plasmă al descărcării electrice în impuls cu suprafețele pieselor executate din titan de puritate tehnică, se explică în primul rînd prin particularitățile eroziunii acestuia [54, 69, 91] la interacțiune cu canalul de plasmă în condiții normale. Astfel pentru $S=2\text{mm}$, cînd interacțiunea canalului de plasmă cu suprafața prelucrată are loc prin intermediul petelor electrodice „reci” este necesar a lua în considerație caracterul exploziv al eroziunii în zona de contact al canalelor migratoare cu suprafața titanului și reacția activă a acestuia cu oxigenul la temperaturi înalte. Cantitatea mică de vapori și lichid care se formează în procesului eroziunii interacționează cu mediul înconjurător formînd oxizi și nitrizi, din care motiv este evidentă lipsa sectorului de întorsătură pe curba concentrațiilor elementului de aliere (curba 1, fig. 2.12, b). Concentrația aproape constantă a elementelor în adîncimea stratului de $0...12-15 \mu\text{m}$ pentru mărimea interstițiului $S=0,5\text{mm}$ (curba 3, fig. 2.12, b), poate fi lămurită prin expulzarea picăturilor de metal lichid din canalul de plasmă al descărcării electrice în impuls și formarea intensivă a oxizilor și nitrizilor în partea superioară a băii de metal care împiedică amestecarea convectivă a elementelor.

Sporirea energiei descărcării electrice în impuls cu menținerea valorii constante a interstițiului (de exemplu $S=0,5...0,7\text{mm}$) nu provacă creșterea direct proporțională a transferului de masă și concentrației elementelor în adîncimea stratului prelucrat (fig. 2.13), asemănător cazului alierii superficiale cu rupere de contact [66]. În ultimul caz prezența contactului direct dintre electrozi împiedică migrarea canalului de plasmă al descărcării electrice în impuls și expulzarea fazei lichide din zona de interacțiune a acestuia cu suprafețele electrozilor, astfel se asigură o interacțiune aproape constantă a sursei de căldură cu suprafața prelucrată

pe durata descărcării electrice cu formarea stratului de depunere a cărei grosime este funcție de energia descărcării.

În cazul prelucrării suprafețelor cu aplicarea descărcărilor electrice în regim de subexcitare, prezența interstițiului de mărimi considerabile crează condiții favorabile pentru dilatarea canalului de plasmă, expulzarea fazei lichide a materialului electrozilor în mediul de lucru, instabilității sursei de căldură care migrează pe suprafețele prelucrate ale electrozilor și, ca rezultat, se modifică atât transferul de masă cât și concentrația elementelor în adâncimea stratului prelucrat. Creșterea energiei descărcării electrice în impuls duce la sporirea cantității de material expulzat de pe suprafața catodului [65], iar aceasta provoacă micșorarea concentrației elementelor în partea superioară a stratului (vezi sectoarele inițiale a curbelor din fig. 2.13) în care au loc procese intensive de amestecare convectivă a elementelor. Transferul de masă în faza solidă rămâne practic constant. Pentru energii minime ale descărcărilor electrice în impuls, curba concentrațională 1 (fig. 2.13) reflectă în principiu transferul de masă în faza solidă, din motivul formării unei cantități infime de fază lichidă care, probabil, este expulzată de pe suprafața prelucrată.

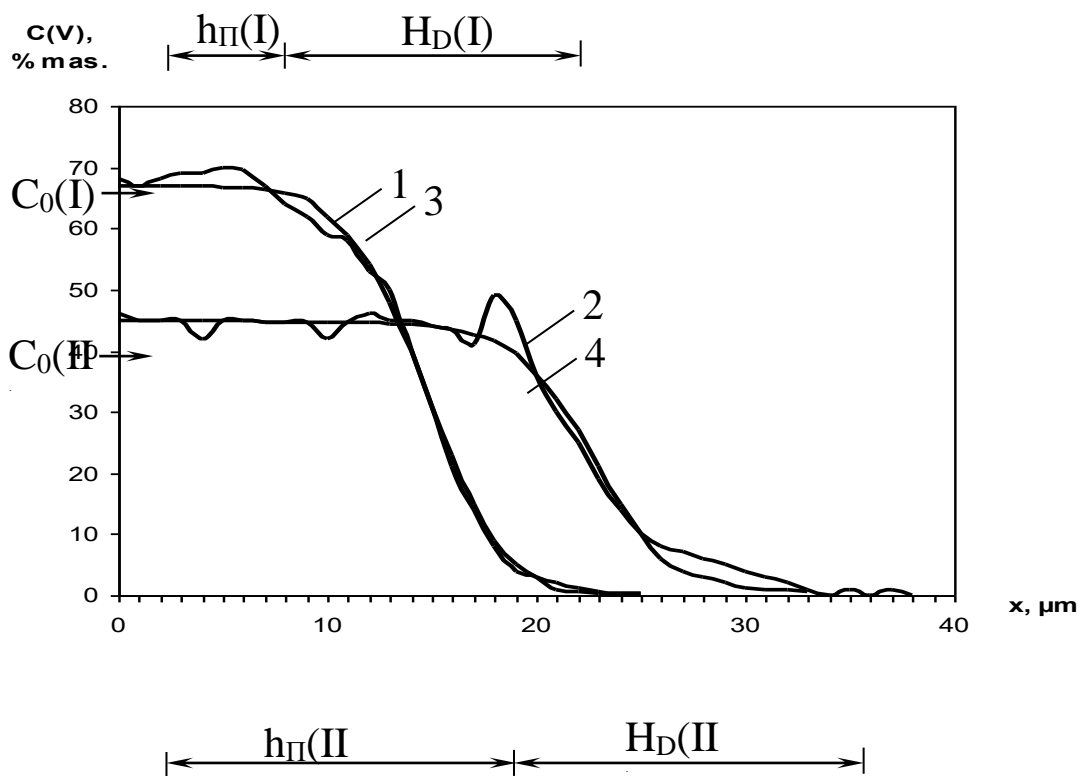


Fig.2.15. Curbele de distribuție a vanadiului în adâncimea stratului de depunere format la aliere superficială cu rupere de contact pe suprafețele pieselor executate din tantal: 1- regimul experimental I; 2 – regimul experimental II; 3 – curba teoretică pentru regimul I; 4 – curba teoretică pentru regimul II. $C_0(I)$, $C_0(II)$ – concentrația vanadiului în zonele de amestecare; $h_{\Pi}(I)$, $h_{\Pi}(II)$ – grosimea zonelor de amestecare; $h_D(I)$, $h_D(II)$ – grosimea zonelor difuzionale pentru regimurile I și II corespunzător [66]

În afara spectrului larg de procese fizice care se dezvoltă și decurg pe suprafețele electrozilor în funcție de mărimea interstițiului și energia descărcărilor electrice în impuls și care influențează transferul de masă a elementelor, este necesar a sublinia rolul sursei de căldură create de descărcarea electrică în impuls în activarea proceselor de transfer de masă. Anterior de către autorii lucrării [52] a fost demonstrat că, unul din factorii importanți care determină intensitatea procesului de transfer de masă este densitatea fluxului de căldură.

Dacă, utilizând datele lucrării [76], comparăm densitățile fluxurilor de căldură la prelucrarea oțelurilor pentru interstiții $S = 2 \text{ mm}$; 1 mm și $0,5 \text{ mm}$ pentru mărimea constantă a energiei descărcării electrice în impuls (densitatea fluxului termic este

determinată de aria suprafeței de interacțiune a canalului de plasmă cu suprafața catodului) cu adâncimea transferului de masă, atunci aceste rapoarte constituie respectiv: 1; 1,4; 2,2 și 1; 1,54; 3. Din aceste date rezultă că, cu micșorarea mărimii interstițiului și sporirea densității fluxului termic, adâncimea transferului de masă practic este proporțională cu ultimul. Cercetările executate de către autorii lucrărilor [65, 69, 70, 76] au demonstrat că, straturile formate cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls sunt compuse din două zone distincte după concentrația în ele a elementelor de aliere: prima este zona distribuției, practic uniforme, a elementelor de aliere, numită zona de amestecare și cea de-a doua – zonă difuzională (fig. 2.16). În prima zonă se produc procese metalurgice complicate cauzate de vaporizare, topire și amestecarea fazelor lichide a materialelor de aliere și cel al matricei materialului piesei, pe când în cea de-a doua decurg procese de difuzie cauzate de procesele termice în faza solidă la adâncimi considerabile a materialului piesei.

Efectuând analiza curbelor experimentale (fig. 2.12, 2.13, 2.14), obținute de către autorii lucrării [65], și dependenței $\ln(I/I_0) = f(h^2)$ putem scrie următoarele relații:

$$\ln(I/I_0) = a - kh^2, \quad (2.42)$$

$$h = \sqrt{\frac{a - \ln \frac{I}{I_0}}{k}}, \quad (2.43)$$

în care a este adâncimea fazei lichide; k – coeficient de proporționalitate dependent de proprietățile materialului de execuție a piesei și regimul tehnologic de prelucrare; h – adâncimea stratului de difuzie.

Se cunoaște că, coeficientul de difuzie D în metale la interacțiunea impulsivă cu surse concentrate de energie este de câteva ori mai mare decât la prelucrarea clasică izotermică. La interacțiunea cu surse concentrate de energie în regim impulsiv coeficientul de difuzie poate atinge valori cuprinse în limitele $10^{-7} \dots 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ [69, 70]. La prelucrarea materialelor metalice cu plasmă în regim de detonare, coeficientul de difuzie a elementelor ușoare (azot, oxigen, carbon) atinge valori cuprinse în limitele $10^{-5} \dots 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$ [65]. Acest efect poate fi lămurit în baza

inducerii vacanțelor dezechilibrate în baza deformațiilor și apariției zonelor cu fază lichidă pe suprafața prelucrată.

Una din problemele cheie în determinarea coeficientului de difuzie la prelucrarea superficială cu descărcări electrice în impuls o constituie stabilirea duratei de timp în care are loc procesul de difuzie propriu-zis, deoarece curbele de distribuție a elementelor în straturile prelucrate prezintă rezultatele integrale ale interacțiunii multiple a canalului de plasmă cu suprafața prelucrată, ceea ce provoacă modificarea ciclică a temperaturii în suprafața prelucrată. Astfel putem menționa că, fiecare ciclu de prelucrare decurge în două etape: de temperatură înaltă - când canalul de plasmă al descărcării electrice în impuls interacționează cu suprafața catodului și cea de temperatură joasă, cauzată de pauza dintre două descărcări electrice premergătoare.

Din cele descrise în lucrarea [65], coeficientul efectiv de difuzie al elementelor D_{ef} , în condițiile aplicării descărcărilor electrice poate fi determinat cu relația:

$$D_{ef} = N(D_1 t_1 + D_2 t_2), \quad (2.44)$$

în care: N este numărul ciclurilor de prelucrare; D_1 și D_2 - corespunzător coeficienții de difuzie pe parcursul descărcării electrice în impuls și în pauza dintre două descărcări; t_1 și t_2 sunt duratele timpului descărcării electrice în impuls și a pauzei.

Cantitativ numărul ciclurilor de prelucrare corespunde celui al descărcărilor electrice în impuls cu care aceasta interacționează porțiunea de suprafață prelucrată a piesei. Dacă ținem cont că, fiecare descărcare electrică în impuls lasă pe suprafața prelucrată o amprentă sub formă de cerc cu diametrul d_0 , iar suprafața prelucrată - un patrat cu latura a , suprafața ei constituie $A_d = a^2$, atunci pentru o suprafață A_0 , pentru care se determină concentrația elementelor putem scrie: $A_0 = \pi d_0^2 / 4$. Reeșind din faptul că, la prelucrarea suprafețelor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls $A_d \geq A_0$, cantitatea ciclurilor de prelucrare se va determina cu relația:

$$N = (A_d / A_0) f T, \quad (2.45)$$

în care f reprezintă frecvența descărcărilor electrice în impuls, iar T - timpul de prelucrare a suprafeței probei.

În intervalul de timp ce constituie pauza dintre două descărcări electrice premergătoare redistribuirea elementelor în stratul de depunere nu are loc deoarece temperatura este mult mai mică, prin urmare și viteza de difuzie în această perioadă este deasemenea mică [65, 66].

Pentru descrierea mecanismului difuziei a fost aplicată, în conformitate cu [65], ecuația unidimensională a elementelor dintr-un strat de grosimea h într-un corp semiinfinit:

$$\frac{\partial I_j}{\partial t} = D \frac{\partial^2 I_j}{\partial x^2}, (j = 1, \dots, N). \quad (2.46)$$

Condițiile inițiale pentru primul ciclu de prelucrare au fost stabilite cum urmează:

$$I_1(x,0) = \begin{cases} I_0, & \text{dacă } 0 \leq x \leq h; \\ 0, & \text{dacă } x > h, \end{cases} \quad (2.47)$$

în care I_0 reprezintă intensitatea inițială a radiației izotopului de $\text{Fe}^{55,59}$ din stratul de suprafață depus pe suprafața probei. Pentru ciclurile următoare intensitatea inițială a radiației elementului precăutat se determină din condițiile celei finale a ciclului precedent ținându-se cont de grosimea stratului depus în continuare.

$$I_1(x,0) = \begin{cases} I_0, & \text{dacă } 0 \leq x \leq h; \\ I_{j-1}(x-h), & \text{dacă } x > h. \end{cases} \quad j \geq 2. \quad (2.48)$$

Grosimea stratului h se consideră constantă pentru fiecare ciclu de prelucrare și se determină separat pentru fiecare caz, reeșind din ecuația de echilibru a cantității de substanță [69] cu relația:

$$h = \frac{\int_0^{\infty} I(x) dx}{I_0 N}. \quad (2.49)$$

2.8. Interacțiunea particulelor de pulberi cu canalul de plasmă al descărcării electrice în impuls

Una din metodele contemporane de formare a straturilor de depunere, ce se bucură de un șir de priorități, cum ar fi: diversitatea mare a materialelor utilizate, posibilitatea formării straturilor de tip sândviș; asigurarea unei adeziuni perfecte cu materialul piesei; simplitatea realizării metodei și utilajului aplicat etc., este metoda depunerilor din pulberi.

Într-un șir de lucrări [68, 72, 87] a fost deja demonstrat că, transferul de material al pulberii pe suprafața prelucrată este condiționat de forțele electrodinamice, iar timpul de transfer al particulelor de pulberi este suficient pentru ca acestea să se contopească cu suprafața prelucrată pe durata descărcării în impuls. Totodată, pentru a obține o depunere calitativă este necesar ca în același timp particulele de pulberi să se și topească. Pentru practicieni este important a cunoaște cum se poate determina durata de topire a particulelor de pulberi ce nimeresc în interstițiul descărcării electrice în impuls. Autorii lucrărilor [25, 72, 87] au elaborat relații de calcul a timpului de topire a particulelor, ținând cont de proprietățile materialului pulberilor, dimensiunile particulelor și de topirea lor prin schimbul de căldură cu plasma canalului descărcării electrice în impuls. Este oare corect a pune problema astfel?

În lucrarea [68] s-a demonstrat experimental că, particula de pulberi ce se află în interstițiu devine parte integrantă a circuitului de descărcare, adică prin ea circulă curent electric. Ar fi logic să punem întrebarea, în ce măsură căldura Joule-Lentz influențează topirea particulelor de pulberi și poate oare acest efect să fie neglijat la calculul timpului de topire a acestora? Forma geometrică a particulelor de pulberi aplicate la formarea straturilor de depunere poate fi sferică, circulară, neregulată etc. Pentru a simplifica analiza problemei vom considera că acestea au forma de sferă. La o primă aproximare particula sferică o vom înlocui cu o particulă

cilindrică a cărei diametru este egal cu cel real al fracției pulberii, iar lungimea o vom calcula reeșind din condiția că volumul particulei este o mărime constantă:

$$V = \text{const sau } \frac{4}{3}\pi r^3 = \pi r^2 l, \quad (2.50)$$

din care rezultă că particula precăutată va avea raza r și lungimea $l = 4r/3$.

Cantitatea de căldură degajată în particulă conform efectului Joulez-Lentz va fi:

$$Q_{J-L} = \int_0^{\tau} I_p^2(t) R dt = \int_0^{\tau} I_p(t) U_p(t) dt, \quad (2.51)$$

în care $I_p(t)$ este intensitatea curentului în particulă, R – rezistența activă a particulei.

Mărimea curentului electric în interstițiu este variabilă în timp. Canalul se dilată și dimensiunea lui transversală poate depăși de multe ori diametrul particulei. Din acest motiv nu putem considera că curentul ce circulă prin interstițiu circulă și prin particulă.

Din diferite surse de literatură se cunoaște că, căderea de tensiune pe interstițiu este funcție doar de mărimea lui și nu depinde de curentul electric ce curge prin el. În acest caz, putem admite că $d_{c.p} \sim I$, iar densitatea curentului în interstițiu pe parcursul unei descărcări este o mărime constantă egală cu:

$$j = \frac{4I_{max}}{\pi d_{cr}^2}, \quad (2.52)$$

în care I_{max} este valoarea amplitudinei curentului în impuls, d_{cr} – diametrul craterului de eroziune pe suprafața piesei. Ținând cont de valoarea lui j pentru determinarea energiei Joule-Lentz degajată pe particula de pulbere putem scrie:

$$w_p = j(\pi b_0^2) U_p t, \quad (2.53)$$

în care U_p este căderea de tensiune măsurată experimental prin osciloscopare. Vom determina cantitatea de căldură Joule-Lentz ce se degajă pe particulă în decursul unei descărcări electrice în impuls, iar apoi vom calcula cu cât v-a crește temperatura unei particule de pulberi în această perioadă de timp.

Măsurarea corectă a căderii de tensiune pe particula de pulberi ce se află în interstițiu este foarte importantă, deoarece conform relației (2.53) aceasta este unul din parametrii de bază care direct proporțional influențează cantitatea de căldură degajată pe particulă.

Dacă în interstițiu lipsesc particule de pulberi mărimea lui efectivă s_e este egală cu s_0 (vezi fig. 2.17), iar dacă în interstițiu este o particulă de pulberi de diametru d_p , mărimea efectivă a lui se va calcula cu relația:

$$S_e = S_1 + S_2, \text{ sau } S_e = S_0 - d_p. \quad (2.54)$$

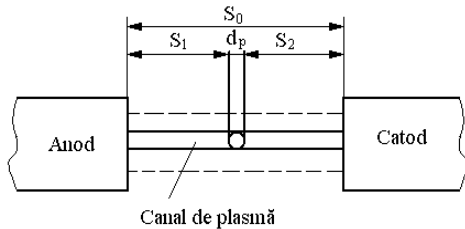


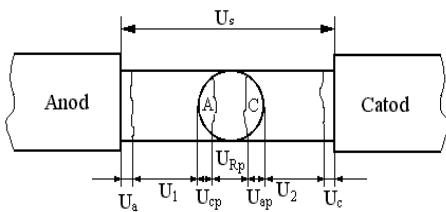
Fig. 2.17. Interstițiu cu particulă de pulberi în el

În cazul cînd determinăm căderea de tensiune pe particula de pulberi ar fi o eroare să considerăm că aceasta este pur și simplu egală cu diferența dintre căderi de tensiune pe interstițiu cu pulberi și căderea de tensiune pe interstițiu fără pulberi. Dacă analizăm fig.2.18 vom observa că, în cazul prezenței particulei de pulbere în interstițiu, căderea totală de tensiune

pe acesta poate fi exprimată cu relația:

$$U_p = U_{ap} + U_{Rp} + U_{cp}, \quad (2.55)$$

în care: U_{ap}, U_{Rp}, U_{cp} sunt respectiv căderea de tensiune anodică, pe rezistența activă



Distribuția căderilor de tensiune pe componentele interstițiului în prezența particulei de pulbere

și cea catodică a particulei de pulberi. Măsurarea directă a căderii de tensiune pe particula de pulberi este practic imposibil. Din acest motiv se propune a măsura mai întîi căderea sumară de tensiune (U_{sp}) pe interstițiu în care se află și particula (sau particulele, care de fapt vor prezenta niște elemente a circuitului și ca rezultat, pe ele va cădea aceeași diferență de potențial) de pulberi. Cunoscînd mărimea

interstițiului efectiv, în aceleași condiții, numai în lipsa pulberilor, se va măsura căderea de tensiune (U_{se}) pe acesta pentru o descărcare electrică în impuls.

Astfel putem scrie relația de calcul a căderii efective de tensiune (U_{pe}) pe particula de pulberi ce se află în interstițiu în procesul formării straturilor de depunere prin descărcări electrice în impuls:

$$U_{pe} = U_{sp} - U_{se} . \quad (2.56)$$

Ținând cont că, timpul de topire a particulelor de pulberi este funcție atât de granulația lor cât și de proprietățile materialului de eleborare a lor, conform [72], vom scrie:

$$\tau_m = \frac{b_0 Q_m \rho}{3q_\Sigma} \quad (2.57)$$

în care b_0 este raza particulei de pulberi, Q_m căldura specifică de topire a materialului pilberii; ρ - densitatea lui; q_Σ - fluxul sumar mediu de energie pe particula de pulberi. În conformitate cu cele expuse în [25, 72, 87] și, luând în considerație căldura Joule-Lentz fluxul sumar mediu de energie poate fi determinat cu relația:

$$q_\Sigma = \frac{kW_s}{2\pi d(S+d)t} + \frac{w_p}{A_p t}, \quad (2.58)$$

unde: W_s este energia degajată în interstițiu; S - mărimea efectivă a interstițiului; d - diametrul craterului cu fază lichidă de pe suprafața piesei; w_p -energia Joule-Lentz degajată pe particulă; A_p -aria suprafeței particulei de pulberi.

Pentru particulele din pulberi cu diametrul fracțiunii de $100 \mu m$, executate din Cu, W, și Fe, energia degajată pe rezistența activă a acestora în decursul unei descărcări electrice în impuls este destul de considerabilă, iar fluxul de căldură sumar pe ele crește de 1,7...2,5 ori, respectiv, micșorându-se durata topirii lor. Acest fapt se confirmă experimental, obținându-se straturi de depunere din particule cu granulație și mai mare decât cea indicată.

Din cele expuse mai sus vom concluda că, la formarea straturilor de depunere din pulberi metalice prin metoda descărcărilor electrice în impuls particulele de pulberi devin parte integrantă a conturului de descărcare iar topirea lor este influențată puternic de încălzirea lor și prin efectul Joule-Lentz.

Bibliografie

1. Лазаренко, Б. Р. Способ нанесения металлических покрытия. Авт. Изобрет. Авт. свид. 89933 (СССР)., Опубл. в Б.И. 12.
2. Лазаренко, Б.Р.; Лазаренко, Н.,И. Электрическая эрозия металлов. Госэнергоиздат 48. Москва: Ленинград, 1944.
3. Лазаренко, Б.Р.; Лазаренко, Н.И. Физика электроискровой обработки металлов. КБТИ Министерство электропромышленности. Москва. 1946. 76 с.
4. Золотых, Б.Н. О физической природе электроискровой обработки металлов. Москва: Изд-во. АН СССР. 1957. с. 38 – 69.
5. Золотых, Б.Н.; Круглов, А.И. Тепловые процессы на поверхности электродов при электроискровой обработке металлов. В кн.: Проблема электрической обработки материалов. вып.1. Изд-во. Москва: А.Н.С.С.С.Р., 1960. с. 65 – 76.
6. Золотых, Б. Н. О расчёте технологических характеристик процесса размерной электроискровой обработки материалов. вып.1. Москва: Изд-во. АН СССР, 1960. с. 221 – 232.
7. Золотых, Б. Н. Основное вопросы качественной теорий электроискровой обработки в жидкой диэлектрической среде. В. кн.: Проблемы электрической обработки материалов. Москва: Изд-во. А.Н. С.С.С.Р. 1962. с. 5 – 43.
8. Золотых, Б. Н.; Мельдер, Р. Р. Физические основы электроэрозионной обработки. Машиностроение 43. Москва, 1977.
9. Некрашевич, И. Г.; Бакуто И. А. К вопросу о механизме электрической эрозии металлов, В.кн.: Сб. Научных трудов Ф.Т.И. АН БССР ВИП.2. Изд-во. АН БССР, МИНСК. 1955. с. 167 – 176.
10. Бакуто, И. А., О зависимости электроэрозионного эффекта от электрического режима разряда. В.кн.: Сб. научных трудов Ф.Т.И. АН БССР. вып.5. Изд-во. АН БССР, МИНСК. 1959. с. 213 – 222.

11. Некрашевич, И. Г.; Бакуто, И. А. Механизм эрозии металлов при электрическом импульсном разряде. В.кн.: Сб. научных трудов Ф.Т.И. АН БССР вып.5. Изд-во: АН БССР, МИНСК. 1960. с. 193 – 215.
12. Некрашевич, И. Г.; Бакуто, И. А. К вопросу о современном состоянии теоретических представлений об электрической эрозии металлов. В.кн.: Электроискровая обработка металлов. Москва: Изд-во. АН СССР, 1963. с. 24 – 28.
13. Буравлев, Ж. М.; Рудневски, Н. К.; Грикит, И. А. Спектральный анализ металлов и сплавов. Киев: Техника, 1976, 190 с.
14. ***Электроискровое легирование металлических поверхностей, Библиографический указатель литературы за 1943-1973 г.г. Кишинёв: Штиинца, 1974. 87 с.
15. ***Электроискровое легирование металлических поверхностей. Библиографический указатель литературы за 1974-1979 г.г. Кишинёв: Штиинца, 1981. 60 с.
16. Мицкевич, М. К.; Бушик, А. И.; Шилов, В. А.; Мрочек, Ж. А.с. 730521 (СССР) Способ электрического нанесения покрытий. Авт. изобрет. Ад. – Оpubл. в БИ16, 1980.
17. Золотых, Б. Н.; Мельдер, Р. Р. Физические основы электроэрозионной обработки. Москва, 1977.
18. Бакуто, И. А.; Мицкевич, М. К. О факторах, влияющих на образование покрытий при электроискровом способе обработки. Электронная обработка материалов 3, 1977. с. 17 – 19.
19. Чяругин, Н. В. Влияние физико-химических явлений на технологические показатели процесса электроискрового легирования. Авт. дис. канд. техн. Наук. Тула, 1984.
20. Коваленко, В. С.; Верхотуров, А. Д.; Головкин, Л. Ф.; Подчерняева, Ю. А. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов. Москва, 1986.

21. Кжен, Иг. А.; Золотов, А. А.; Потехин, К. Ф.; Максимов, Н. Г. Исследование влияния некоторых факторов на интенсификацию механизированного электроискрового легирования металлических поверхностей. 4, 1982. с. 26-28.
22. Михайлов, В. В.; Дурадзы, В. Н.; Гитлевич, А. Е.; Андреева, Л. Н. Воздействие искрового разряда и электролитной плазмы на поверхности слои металлов. Электронная обработка материалов 5. 1981. с. 26 – 28.
23. Гитлевич, А. Е.; Михайлов, В. В.; Факторович, А. А. Об эффекте увлечения глубины диффузии через поверхность, подвергнутую электроискровому легированию. Электронная обработка материалов 4. 1991. с. 28 – 30.
24. Костин, Б. А.; Богородский, Е. С.; Звонков, А. Д. Электроискровое легирование с предварительным нанесением паст. Электронная обработка материалов 6. 1988. с 13 – 15.
25. Сонин, В. И. Газотермическое напыление материалов в машиностроении. М.: Машиностроение, 1973. 152 с.
26. Попилов, Л. Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение, 1982. 399 с.
27. Леонтьев, П. А.; Чекалова, Н. Г.; Хан, М. Г. Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов. М.: Metallurgy, 1986. 144 с.
28. Гитлевич, А. Е.; Михайлов, В. В.; Парканский, Н. Я.; Ревуцкий, В. М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев: Штиинца, 1985. 196 с.
29. Золотых, Б. Н.; Мельдер, Р. Р. Физические основы электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1977. 43 с.
30. Мицкевич, М. К.; Бушик, А. И.; Бакуто, И. А.; Шилов, В. А. Изучение динамики процессов переноса материала электродов в сильноточном импульсном разряде. ЭОМ, №4, 1977. с. 18 – 19.

31. Дрaбкина, С. И. К теории развития канала искрового разряда. ЖЭТФ, вып.4, 1951.
32. Гегечкори, Н., М. Экспериментальное исследование канала искрового разряда. ЖЭТФ, вып.4, 1951.
33. Зингерман, А. С. О расширении разрядного канала ЖТФ, вып.5. 1956. с. 1015 – 1020.
34. Калеко, Д. М. Расширение столба дуги при конденсаторной сварке. Автоматическая сварка. №9, 1975. с. 12 – 15.
35. Мицкевич, М. К.; Гитлевич, А. Е.; Бакуто, И. А.; Бушик, А. И.; Шилов, В. А. Динамика импульсного разряда в условиях использования его для электроискрового легирования. ЭОМ, №3, 1986. с. 22 – 25.
36. Мицкевич, М. К.; Бушик, А. И.; Бакуто, И. А.; Шилов, В. А.; Девойно, И. Г. Электроэрозионная обработка металлов. Минск: Наука и техника, 1988. 216 с.
37. Гитлевич, А. Е.; Ревуцкий, В. М. Особенности явлений на электродах при низковольтном разряде на промежутках больше пробивных. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по импульсным методам обработки материалов. Минск: ФТИ АН БССР, 1978. с. 196 – 197.
38. Топала, П. А. Особенности явлений на электродах при низковольтных разрядах на промежутках больше пробивных. Тезисы докладов Республиканской конференции молодых ученых. Кишинев: Штиинца, 1986. с. 252 – 253.
39. Душенко, В. Ф.; Парканский, Н. Я.; Гитлевич, А. Е. Оптимизация процесса электроискрового легирования порошковыми материалами. ЭОМ, №5, 1978. с. 27 – 29.
40. Золотых, Б. Н. Физические основы электроискровой обработки металлов. М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1953. 107 с.
41. Золотых, Б. Н.; Круглов, А. И. Методика и результаты исследования потенциалов канала импульсного низковольтного разряда. В кн.

- Проблемы электрической обработки материалов. М.: изд-во. АН СССР, 1960. 20 с.
42. Зингерман, А. С.; Каплан, Д. А. Зависимость электрической эрозии анода от расстояния между электродами. ЖТФ, Т. XXVIII, в. 2, 1958. с. 386 – 393.
43. Намитоков, К. К. Электроэрозионные явления. Изд-во. Энергия, 1978. 456 с.
44. Любимов, Г. А.; Раховский, В. И. Катодное пятно вакуумной дуги. УФН, т. 125. вып. 4, 1978. с. 665 – 706.
45. Бушик, А. И. Исследование динамики процессов при импульсном разряде на сложных электродах. Автореф. Дисс. канд. ф. м. наук. Минск: ФТИ АН БССР, 1973. 23 с.
46. Некрашевич, И. Г.; Бакуто, И. А. К вопросу о механизме электрической эрозии металлов. В кн.: Сб. научных трудов ФТИ АН БССР, вып. 2. Минск: изд-во. АН БССР, 1995. с. 167 – 176.
47. Бакуто, И. А. О зависимости электроэрозионного эффекта от электрического режима разряда. В кн.: Сб. научных трудов ФТИ АН БССР. с. 213 – 222.
48. Некрашевич, И. Г.; Бакуто, И. А. Механизм эрозии металлов при электрическом импульсном разряде. В кн.: Сб. научных трудов ФТИ АН БССР, вып. 6. Минск: изд-во. АН БССР 1960. с. 193 – 215.
49. Некрашевич, И. Г.; Бакуто, И. А. К вопросу о современном состоянии теоретических представлений об электрической эрозии металлов. М.: изд-во. АН СССР, 1963. с. 24 – 28.
50. Гитлевич, А. Е.; Топала, П. А.; Куку, И. И.; Иванов, В. И.; Снегирев, В. А. О возможности упрочнения металлических поверхностей на установках для электроискрового легирования типа «Разряд».- ЭОМ, №2, 1987. с. 24 – 26.

51. Гордеев, В. Ф.; Пустогаров, В. А.; Завидей, В. И.; Поваляев, О. А. Излучательная способность поверхности дугового пятна на вольфрамовом катоде поверхности. №3, 1987. с. 73 – 77.
52. Душенко, В. Ф.; Гитлевич, А. Е.; Ревуцкий, В. М.; Михайлов, В. В. О возможном механизме диффузии при электроискровом легировании и других видах импульсного воздействия на металлы. ЭОМ, №3, 1980. с. 36 – 39.
53. Ревуцкий, В. М.; Гитлевич, А. Е.; Михайлов, В. В.; Мазанко, В. Ф.; Фальченко, В. М.; Душенко, В. Ф. Исследования распределения элементов в электроискровых покрытиях с помощью радиоактивных изотопов. ЭОМ, №6, 1981. с. 32 – 35.
54. Ревуцкий, В. М.; Мазанко, В. Ф.; Зворыкин, Л. О.; Фальченко, В. М.; Михайлов, В. В. Влияние параметров импульсного разряда на распределение элементов электродов в электроискровых покрытиях. ЭОМ, №1, 1983. с. 22 – 24.
55. Герцрикен, Д. С.; Кривко, В. П.; Ларииков, Л. Н.; Полоцкий, И. Г.; Прокопенко, Г. И.; Фальченко, В. М. Ускорение диффузионных процессов в железе при многократном ударном нагружении. ФХОМ, №4, 1979. с. 154 – 156.
56. Гитлевич, А. Е.; Топала, П. А.; Снегирев, В. А.; Игнатьков, Д. А. Особенности электрической эрозии электродов при импульсных разрядах, протекающих в режиме недонапряжения. ЭОМ, №3, 1988. с. 9 – 12.
57. Парканский, Н. Я.; Мазур, В. А.; Гитлевич, А. Е. Особенности поверхностных слоев катода при электроискровом нанесении порошковых материалов. ЭОМ, №1, 1981. с. 32 – 35.
58. Булат, В. Е.; Эстерлис, М. Х. Очистка металлических изделий от окалина, окисной пленки и загрязнений электродуговым разрядом в вакууме. ФХОМ, №3, 1987. с. 49 – 53.

59. Некрашевич, И. Г.; Бакуто, И. А. К вопросу о современном состоянии теоретических представлений об электрической эрозии металлов. В кн.: Электроискровая обработка металлов. М.: изд-во. АН СССР, 1963. с. 23 – 28.
60. Парканский, Н.Я. Исследования процесса электроискрового нанесения покрытий из порошковых материалов в электрическом поле. Автореф. дисс. канд. тех. наук ИПМ АН УССР, Киев, 1979. 19 с.
61. Исследования физических закономерностей деструкции и конденсации материала электродов при сильноточных импульсных разрядах. Отчет физико-технического института АН БССР. № гос. рег. 0183.00.14.758., 1985.
62. Лазаренко, Н. И. Изменение исходных свойств поверхности катода под действием искровых электрических импульсов, протекающих в газовой среде. В кн.: Электроискровая обработка металлов. Изд-во АН СССР, вып. I, 1957. с. 70 – 94.
63. Лазаренко, Б. Р.; Гитлевич, А. Е.; Парканский, Н. Я. Электроискровое легирование с использованием электрического поля. ЭОМ, №6, 1976. с. 23 – 25.
64. Лазаренко, Н. И. Технологический процесс изменения исходных свойств металлических поверхностей электрическими импульсами. В кн.: Электроискровая обработка металлов. вып. 2 М.: Изд-во. АН СССР, 1960. с. 26 – 66.
65. Пячин, С. А.; Заводинский, В. Г.; Гниденко, А. А.; Чебиряк, Ю. А. Оценка коэффициентов взаимной диффузии переходных металлов при электроискровом легировании тантала. Физика и химия обработки материалов, №3, 2004. с. 59 – 65.
66. Погребняк, А. Д.; Кульментьева, О. П.; Кшнякин, В. С.; Тюрин, Ю. Н.; Колесниченко, О. В. Упрочнение и массоперенос при импульсной плазменно-детонационной обработке. Физика и химия обработки материалов, №2, 2002. с. 40 – 48.

67. Banerjee, S. B.V.S.S.S. Pasad and P.K.Mishra, „Analysis of three-dimensional transient heat conduction for predicting wire erosion in the electrical discharge machining process”. *Journal of Materials Processing Technology*, 94, 1999. p. 208 – 215.
68. Гитлевич, А. Е.; Топала, П. А.; Ревуцкий, В. М.; Шистик, В. М. Взаимодействие частиц порошка с каналом импульсного разряда в условиях электроискрового нанесения покрытий, ЭОМ, Кишинев, №.6, 1988. с. 20 – 25.
69. Гитлевич, А. Е.; Топала, П. А.; Мазанко, В. Ф.; Фальченко, В. В.; Томашевский, Н. А.; Носолвский, О. И. Массоперенос в поверхностных слоях стали и титана при многократных воздействиях импульсных разрядов, ЭОМ, Кишинев, №.6, 1989. с. 20 – 23.
70. Немошкаленко, В. В.; Топала, П. А.; Томашевский, Н. А.; Мазанко, В.Ф.; Носовский, О. И. Особенности формирования поверхностных слоев при искровых разрядах Киев: *Металлофизика*, Т.12, №.3, 1990. с. 132 – 133.
71. Гитлевич, А.Е.; Топала, П. А.; Михайлюк, А. И. Способ электроискрового легирования. А.С.(СССР), №.125533, М.К14, В23 Н9/00, 1989.
72. Topală, Pavel; Balanici, A. M.; Ursan, B. A. Mișcarea particulelor de praf metalic în câmpul descărcării electrice. Sesiunea de comunicări științifice, Pitești, 1992. p. 88 – 94.
73. Topală, Pavel; Bălcănuță, Nicolae. Caracteristicile electrodinamice ale descărcărilor electrice în impuls. *Tehnologii moderne. Calitate, Restructurare. Culegere de lucrări științifice*, Chișinău, 2001. p. 203 – 208.
74. Topală, Pavel; Bălcănuță, Nicolae. Tratamente termice superficiale a pieselor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls, URU, *Culegere de lucrări științifice*, Cahul, 2001.
75. Топала, П.; Стойчев, П.; Епуряну, А.; Руснак, В. О возможности легирования металлических поверхностей на установках для

- электроискровой обработки в режиме недонапряжения. International Scientific and Technical conference „Machine-Bulding and technospere of the XXI century”, Donetsk 2006. p. 266 – 270.
- 76.Топала, П., А. Массоперенос и диффузионные процессы в поверхностных слоях деталей машин при электроискровой обработке. “Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования и технологической оснастки”. Санкт-Петербург, 2007. 11 с.
- 77.Topală, Pavel. The energy distribution in the gap at the gap tehnological applying of the electrical discharges in impulses. Iași: Editura PIM, Nonconventional Tehnolgies Reviev, Nr.1, 2007. p. 129 – 132.
- 78.Topală, Pavel. Electrical charges as mesure for removed metal mass the eelectrical discharge machining. Iași: Editura PIM, Nonconventional Tehnolgies Reviev, Nr.4, 2007. p. 103 – 108.
- 79.Tosun, N.; Cogun, C.; Pihtili, H. The effect of cutting parameters on wire crater sizes in wire EDM. The international journal of advanced manufacturing technology 21, 2003. – P. 857 – 865.
- 80.Sandeep, Dhanik; Suhas, S., Joshi. Modeling of a single resistance capacitance pulse discharge in micro-electro discharge machining. Journal of manufacturing science and engineering. vol. 127, November 2005. p. 759 – 767.
- 81.Артамонов, Б. А.; Волков, Ю. С.; Дрожалова, В. И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Т1 и Т2. Москва: Высшая школа, 1983.
82. Marinescu, N. I.; Sturzu, A.; Vison, A.; Gavrilaş, I. Tehnologii moderne în construcția de mașini, București, 1984. 199 p.
- 83.Топала, П.; Душенко, В.; Гитлевич, А. Об условиях образования расплава на поверхности детали – катода при электроискровом легировании на установках типа „Разряд”. Кишинев: Электронная обработка материалов, № 6, 1990. с. 17 – 18.

84. Slătineanu, Laurențiu. Tehnologii neconvenționale în construcția de mașini. Chișinău: Tehnica INFO, 2000. 252 p.
85. Гитлевич, А. Е.; Михайлов, В. В.; Парканский, Н. Я.; Ревуцкий, В. М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев, 1985.
86. Бушик, А. И.; Мицкевич, М. К.; Шилов, В. А.; Бакуто, И. А. Некоторые аспекты реакции низковольтного импульсного разряда на удлинение межэлектродного промежутка. Мат. 4-го. Всесоюз. симпозиума по сильноточной электронике. Т.2. Томск, 1982. с. 28 – 31.
87. Topală, P. Cercetări privind obținerea straturilor din pulberi metalice prin descărcări electrice în impuls: Rezumatul tezei de doctorat. București, 1993. 32 p.
88. Ghitlevich, A. E.; Topală, P. A.; Mazanko, V. F.; Felichenko, V. V.; Tomashevsky, N. A.; Nosovsky, O. I. Mass-transfer in surface layers of steel and titanium during multiple influencing by impulse discharges. Chișinău: Electronic processing of materials, N. 6, 1989. p. 20 – 23.
89. Gavrilaş, I.; Martinescu, N.; Visan, A. Modern technologies in machine-building. Bucharest: Politechnics Institute, 1997.
90. Bălcănuță, N. Contribuții privind obținerea straturilor din pulberi metalice prin eroziune electrică în regim de subexcitare. Rezumatul tezei de doctorat, Galați, 2005.
91. Nemoshkalenko, V. K.; Topală, P. A.; Tomashevsky, N. A.; Mazanko, V. F.; Nosovsky, O. I. The peculiarities of formation of surface layers during spark discharges. Kiev: Metallo-physics, V.12, N. 3, 1990. p. 132 – 133.

III. Perturbarea suprafeței metalului lichid în câmpul electric al DEI cu dezvoltarea undelor capilare – un nou mecanism al eroziunii electrice

3.1. Cercetări teoretice și experimentale privind perturbarea suprafețelor metalului lichid în câmp electric

Acest capitol prezintă studii și investigații legate de cercetarea procesului electroeroziunii după modelul dezvoltării undelor capilare pe suprafața metalului lichid în câmpul descărcării electrice în impuls. Determinarea legităților de extragere și cristalizare a meniscurilor de dimensiuni micrometrice în scopul aplicării lor în electronică, construcția emiterilor de electroni pentru microscopul electronic, construcția instalațiilor industriale de prelucrare a materialelor cu fascicule de electroni, modificarea microgeometriei suprafețelor pieselor în scopul conferirii acestora a unor proprietăți deosebite (electrice, optice etc.), reprezintă dar câteva domenii de utilizare suprafețelor cu microgeometrie prescrisă.

Pentru realizarea acestei direcții de cercetare au fost propuse următoarele obiective:

- studierea tabloului fizic de apariție și dezvoltare a undelor capilare pe suprafața metalului lichid în câmp electric;
- stabilirea condițiilor de extragere și cristalizare a meniscurilor;
- definitivarea unei tehnologii moderne și performante de creștere a meniscurilor sub formă de con Taylor;

– proiectarea și elaborarea unor modele de echipamente tehnologice pentru realizarea procedeului.

Ca metodă tehnologică, aceasta are la bază un fenomen fizic numit electroeroziune. Clasicii acestei tehnologii B. Lazarenco, N. Lazarenco, B. Zolotîh, V. Zingerman etc.[1, 2, 3-9, 16] au elaborat un tablou fizic interpretativ a acestui fenomen pentru condițiile descărcărilor electrice în impuls în mediu dielectric lichid. Acesta în câteva secvențe poate fi exprimat astfel: la început între electrozi are loc formarea canalului de conductibilitate prin efectul strimer. La etapa a doua se degajă energia acumulată pe bateria de condensatoare a generatorului de impulsuri de curent. Canalul de conductibilitate se dilată foarte repede și în jurul lui se formează o bulă de gaz volumul căreia crește după inerție. Datorită depunerii create materialul topit de pe suprafețele electrozilor este expulzat în interstițiu. La finele descărcării bula se sparge particulele de metal nimeresc în lichidul dielectric, unde se cristalizează, apoi sunt preluate de acesta și înlăturate din interstițiu. Autorii acestui tablou al electroeroziunii [1, 2, 3-9, 16, 17, 34, 47] nu exclud și acțiunea forțelor electrodinamice asupra prelevării de material, însă nu-i atribue acesteea un rol esențial.

Într-un șir de lucrări publicate mai recent [18, 21, 22, 39, 42, 44, 46], autorii susțin că, tabloul fizic al electroeroziunii este altul decât cel prezentat de clasici și că, un rol deosebit de important îl joacă câmpul electric din interstițiu și dezvoltarea sub acțiunea lui a undelor capilare pe suprafața metalului lichid, care și provoacă prelevarea de material de pe suprafețele electrozilor.

3.2. Tipuri de cratere obținute la prelucrarea suprafețelor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls

S-a efectuat un spectru larg de cercetări privind modificarea microgeometriei suprafețelor pieselor prin dezvoltarea undelor capilare pe suprafața metalului lichid în condițiile descărcării electrice în impuls [24].

În toate lucrările publicate referitor la electroeroziune se afirmă că, fenomenul este însoțit de apariția pe suprafețele electrozilor a craterelor. Tradițional se considera că acestea au forma unei calote sferice, iar dacă se semnalau și alte forme ale lor, ele nu se luau în considerație. Din analiza cercetărilor executate de autorii lucrărilor [29, 30, 48] rezultă că de fapt au fost înregistrate trei tipuri de cratere, toate avînd forma calotei sferice: prima cu profil neted; a doua cu profil rugos și cel deal treilea avînd la mijloc un menisc (fig. 3.1).

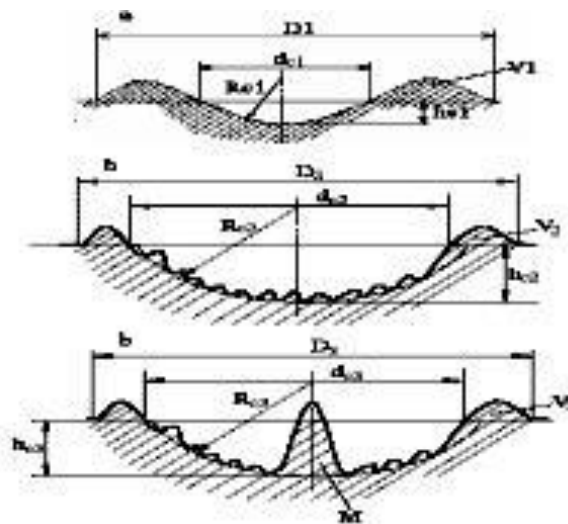


Fig. 3.1. Tipuri de cratere obținute la prelucrarea dimensională prin electroeroziune. D_1, D_2, D_3 – diametrele craterelor împreună cu valul; d_{c1}, d_{c2}, d_{c3} – diametrele a trei tipuri de cratere; h_{c1}, h_{c2}, h_{c3} – adîncimea craterelor; M – menisc; V – val. [24].

Meniscurile au fost observate atît pe suprafața craterului catodului, cît și pe cea a anodului executați din diferite materiale [45, 46, 48, 51].

Meniscurile prezentate în (fig. 3.1) sunt caracteristice pentru procesul de formare a depunerilor din materiale compacte. Dacă analizăm imaginile prezentate în fig. 3.2 atunci putem constata că, meniscuri se obțin practic pe toate tipurile de materiale ce conduc curentul electric. Observarea lor pe suprafețele electrozilor executați din materiale greu fuzibile este mai ușoară din motivul că, cantitatea

materialului topită la o DEI este mică și procesul de înghețare a lor este mai favorabil.

Apariția meniscurilor, orientarea lor, precum și dimensiunile diferite ale acestora pentru cazul unei descărcări solitare, atât la prelucrările dimensionale, cât și la formarea depunerilor, indică direct asupra faptului că, ele nu pot apărea din motivul depresiunii din canalul de plasmă și, cu atât mai mult, confirmă structura policanal al spotului de plasmă din interstițiu.

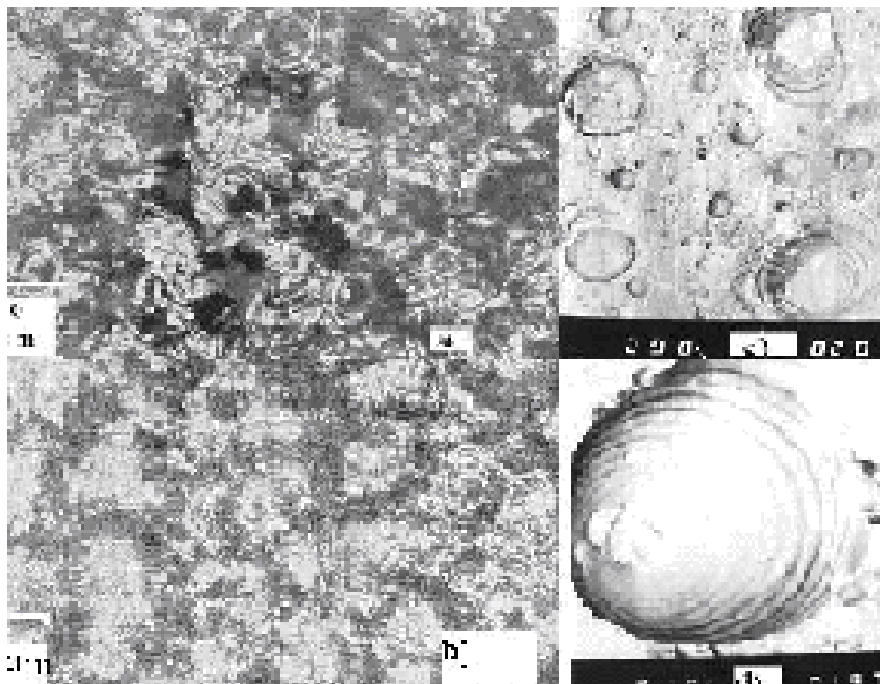


Fig. 3.2 Microstructura suprafețelor electrozilor prelucrați prin electroeroziune din:

a) *Ge* ($U = 100V$; $C = 200pF$;)

b) *Si* ($U = 150V$; $C = 550pF$;))

c) *Porțiunea suprafeței electrodului din W și menisc separat pe suprafața lui (d)*
[24].

Într-un șir de lucrări [29, 31, 40, 48] se menționează deja că, este posibil ca pe suprafața metalului lichid în câmp electric să se dezvolte unde capilare care provoacă apariția unui menisc conic, de pe suprafața căruia se rup picături ori se vaporizează metalul sub formă de ioni. În prezent se cunosc lucrări [29, 48] ce

țin de tehnologia prelucrărilor prin electroeroziune și în care se presupune că are loc acest mecanism. Autorii acestor lucrări susțin că, indiferent de mediul în care se produc descărcările electrice în impuls, predominante în procesul mecanismului de electroeroziune sunt undele capilare care se dezvoltă pe suprafața metalului lichid în prezența câmpului electric.

În procesul cercetărilor s-a constatat că, în centrul craterului se formează un menisc [48]. De evidențiat că meniscuri pot apărea nu numai pe suprafața anodului dar și pe suprafața catodului. În acest caz, atât dimensiunile cât și forma lor considerabil se deosebesc.

Acest fenomen se datorește faptului că, în procesul descărcării electrice, anodului i se transmite o parte mai mare de energie degajată în interstițiu de cât catodului [6, 10]. Este important de evidențiat, că asupra metalului topit în afară de forțele precăutate, în mecanismul clasic al electroeroziunii elaborat de către B. Lazarenko și N. Lazarenko acționează și alte forțe valorile cărora sunt nu mai puțin importante.

În afara forțelor menționate la analiza tabloului fizic al fenomenului electroeroziunii pot fi evidențiate și [6, 34], forța de presiune a fascicolului de electroni (ioni), forța de reacție a vaporilor de metal, forța datorată presiunii statice a vaporilor de metal în crater.

S-a observat că înălțimea meniscurilor depind de următorii factori: energia de descărcare, durata de descărcare, materialul electrozilor, aplicarea asupra interstițiului a câmpurilor electrice și magnetice suplimentare.

3.3. Dezvoltarea perturbațiilor pe suprafața metalului lichid în condițiile descărcării electrice în impuls

După cum s-a menționat mai sus, într-un șir de lucrări în acest domeniu [19, 20, 32, 42, 44, 49, 50] se înaintează ipoteza despre dezvoltarea undelor capilare pe

suprafața metalului lichid în câmp electric considerînd-o drept una fundamentală în dezvoltarea fenomenului electroeroziunii. Autorii acestor lucrări consideră că, forțele ce determină procesul perturbării sunt: electrodinamică - creată de câmpul electric, de greutate și de tensiune superficială a metalului în stare lichidă.

Relația de dispersie pentru apariția perturbațiilor pe suprafața metalului lichid în câmp electric, în sistemul de măsură CGS, în conformitate cu [32] poate fi scrisă:

$$\omega^2 = \frac{k}{\rho} (g\rho - 4\pi\sigma^2 k + \alpha k^2), \quad (3.1)$$

în care: ω – frecvența ciclică; α – coeficientul de tensiune superficială;
 ρ – densitatea metalului; $k = 2\pi/\lambda$ - numărul de undă; λ – lungimea de undă;
 σ – densitatea superficială a sarcinii electrice; g – accelerația căderii libere.

Pentru ca suprafața metalului lichid să se afle în stare de echilibru, este necesar ca ω să fie totdeauna un număr real, pentru toate valorile lui k , adică partea dreaptă a ecuației (3.1) să fie mai mare ca zero. Respectiv condiția de perturbare (excitare) poate fi scrisă:

$$g\rho - 4\pi\sigma^2 k + \alpha k^2 < 0. \quad (3.2)$$

În conformitate cu lucrarea [35] densitatea critică σ_{cr} de sarcină electrică pe suprafața metalului lichid poate fi calculată cu relația:

$$\sigma_{cr} = \sqrt{\frac{g\rho\gamma}{4\pi^2}}. \quad (3.3)$$

În sistemul de unități CGS:

$$E = \frac{4\pi\sigma}{\varepsilon} \cong 4\pi\sigma. \quad (3.4)$$

Deoarece permitivitatea dielectrică a aerului $\varepsilon \approx 1$ [36], intensitatea critică a câmpului electric pentru perturbarea suprafeței poate fi determinată cu relația:

$$E_{cr} = \sqrt[4]{64\pi^2 \rho g \gamma}. \quad (3.5)$$

În acest mod perturbarea de tipul Tonks-Frenkel se poate dezvolta cu condiția că:

$$E \geq E_{cr}. \quad (3.6)$$

În relația (3.5) mărimile ρ , g , γ se introduce în sistemul CGS. Dacă transformăm aceste mărimi în sistemul SI atunci această ecuație capătă forma:

$$E_{cr} = \sqrt[4]{64\pi^2 \rho g \gamma \cdot 3 \cdot 10^4} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

Tabelul 3.1.

Intensitatea câmpului electric pentru dezvoltarea undelor capilare

| Metal | Densitate $\rho_{\text{Top}} \text{ g/cm}^3$ | γ din/cm | E_{cr} 10^6 V/m | λ_{min} μm | σ |
|-------|---|--------------------|--------------------------------|---|----------|
| Sn | 7,0 | 540 | 6,6 | 48 | 31 |
| Ag | 9,3 | 910 | 8,1 | 80 | 38 |
| Cu | 8,0 | 7300 | 8,5 | 114 | 40 |
| Ni | 8,0 | 1725 | 9,1 | 150 | 43 |
| Mo | 8,99 | 2110 | 13,2 | 175 | 46,2 |
| Fe | 6,9 | 1870 | 12,7 | 160 | 41 |
| Al | 2,38 | 925 | 6,4 | 82 | 29 |
| W | 18,2 | 2250 | 16,1 | 186 | 56,5 |
| Ti | 4,45 | 1390 | 8,6 | 102 | 36,4 |
| Zn | 6,5 | 975 | 8,94 | 91 | 36,8 |
| Cr | 7,34 | 1600 | 11,7 | 130 | 40,2 |
| Pb | 10,88 | 442 | 8,3 | 42 | 35 |
| Pt | 18,5 | 2345 | 18,05 | 195 | 57 |
| Zr | 5,23 | 950 | 8,2 | 44 | 33,3 |
| Ir | 18,85 | 2500 | 18,3 | 198 | 56,5 |
| V | 5,12 | 940 | 8,1 | 42 | 33,07 |
| Tl | 10,95 | 465 | 8,25 | 42,7 | 33,54 |
| In | 6,6 | 990 | 9,1 | 66 | 35,6 |
| Ga | 5,0 | 700 | 7,3 | 49 | 33,5 |

| | | | | | |
|----|------|------|------|----|----|
| Ge | 4,78 | 1400 | 6,95 | 64 | 36 |
|----|------|------|------|----|----|

Intensitatea câmpului electric în cazul alierii prin electroeroziune constituie $E \approx 10^7 - 10^8 \text{ V/m}$, ceea ce este mult mai mare decât E_{cr} la temperatura de topire la care poate avea loc perturbarea de tipul Tonks-Frenkel.

Din (3.2) urmează că aceasta se dezvoltă pentru k cuprins în limitele:

$$\frac{E^2 - \sqrt{E^4 - E_{cr}^4}}{8\pi \cdot \alpha} \leq k \leq \frac{E^2 + \sqrt{E^4 + E_{cr}^4}}{8\pi \cdot \alpha} \quad (3.8)$$

Rezultă că pentru diferite metale poate fi calculată lungimea de undă minimă pentru care se poate dezvolta la perturbare. Rezultatele unor calcule pentru $E = 10^8 \text{ V/m}$ sunt prezentate în tabelul 3.1.

3.4. Modelul fizic al procesului electroeroziunii

Procesul de eroziune electrică este indisolubil legat de implementarea tehnologiilor neconvenționale. Acestea și-au găsit aplicarea la prelucrările dimensionale (obținere de piese, debitare și rectificare) și tratamente superficiale (depuneri de straturi de materiale complicate, pulberi, amestecuri de pulberi etc.), însă în prezent domeniul de aplicare și răspîndire a tehnologiilor de acest tip în industria constructoare de mașini sunt limitate. Pînă în prezent s-a efectuat un larg spectru de cercetări pentru sporirea productivității (mărirea frecvenței de lucru a generatoarelor de impulsuri de curent, aplicarea câmpurilor electrice și magnetice, aplicarea ultrasunetelor etc.). Rezultatele obținute au permis întrucîtva îmbunătățirea situației, dar nu suficient pentru a conferi metodei un nou impuls de dezvoltare.

Dacă fenomenul electroeroziunii se dezvoltă după tabloul fizic elaborat de clasicii acestei metode de prelucrare, productivitatea ar fi o funcție directă cu frecvența și energia impulsurilor, însă aceasta nu se întâmplă.

Acest lucru se confirmă și în cazul alierii superficiale cu aplicarea DEI care se execută în condiții atmosferice normale – cu atât mai mult că, în acest caz formarea unei depresiuni simțitoare practic este exclusă.

O analiză a rezultatelor obținute de diferiți cercetători [11-14, 51] indică asupra faptului că, acestea nu pot fi interpretate din punctul de vedere al tabloului fizic clasic. Într-un șir de lucrări s-a demonstrat că, pe suprafața metalului topit în câmp electric se dezvoltă unde capilare care provoacă apariția unui menisc conic de pe suprafața căruia se rup particule ori se vaporizează metalul sub formă de ioni. În prezent se cunosc o serie de lucrări [11-14, 33, 38, 51] dedicate eroziunii electrice, în care se presupune că are loc acest mecanism. Reieșind din acestea au fost determinate matematic condițiile în care pot lua naștere unde de acest tip și lungimea de undă a acestora.

Acestea confirmă că, indiferent de mediul în care se produc descărcările electrice în impuls, predominante în procesul de electroeroziune sunt undele capilare pe suprafața metalului lichid în câmp electric. Rezultatul calculelor teoretice este confirmat pentru un șir de metale în mod experimental (tab. 3.1).

Din cele expuse mai sus, putem descrie procesul de eroziune electrică ca un fenomen integral și complex ce trece prin următoarele faze [24, 44]:

- în faza întâia (Fig. 3.3, a) are loc străpungerea interstițiului prin micșorarea rezistenței electrice a acestuia, cu formarea canalului sau canalelor de conductibilitate. Acesta face legătura dintre electrozi cuplându-se cu ei prin intermediul petelor electrodice „reci” – faza de amorsare. Petele „reci” încălzesc și pregătesc suprafața pentru descărcarea de forță, datorită faptului că au drept suport microneregularitățile suprafeței prelucrate. Dilatarea canalului de conductibilitate este însoțită de unda de șoc și luminozitate;

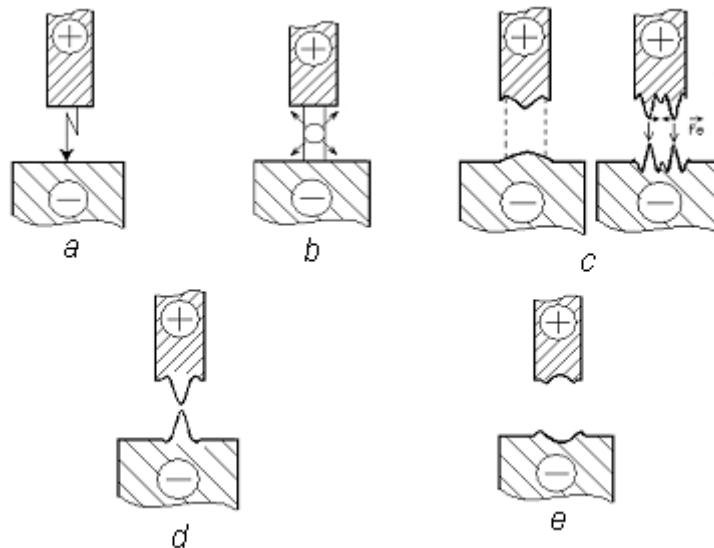


Fig. 3.3. Modelul teoretic al procesului electroeroziunii

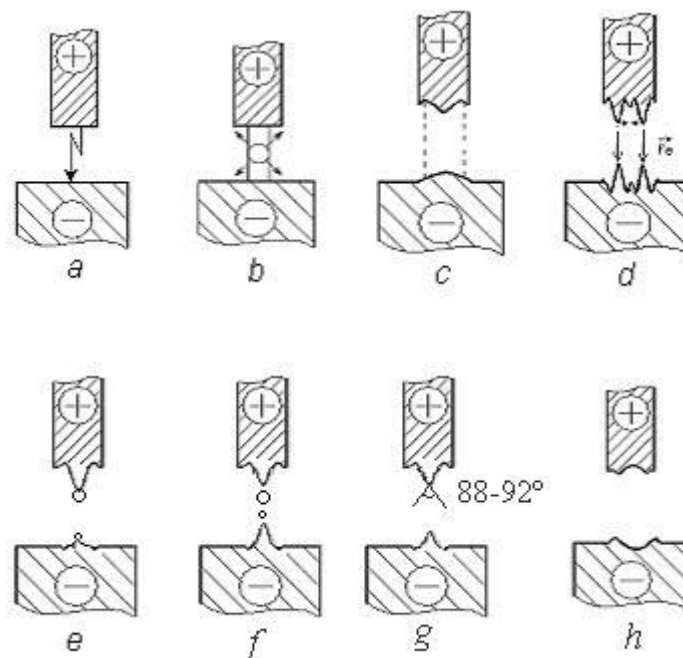


Fig. 3.4. Fazele procesului electroeroziunii în condiții normale

- în faza a doua (Fig. 3.3, b) iau naștere petele electrodice „calde” care topesc materialul electrozilor mai puternic sau mai puțin puternic formând baia de metal lichid;

- sub acțiunea câmpului electric suprafața metalului lichid este perturbată, pe ea iau naștere unde capilare cu formarea meniscurilor sub formă de conuri Taylor (Fig. 3.3, c);

- în faza a patra (Fig. 3.3, d) din meniscuri, sub acțiunea câmpului electric, sunt extrase particule care servesc în calitate de emițătoare de ioni sau electroni ori din care se rup picături. În cazul când există mai multe canale de conductivitate simultan, datorită faptului că în ele circulă curenți paraleli, ele se pot contopi prin atragerea curenților paraleli de același sens, și respectiv se contopesc și meniscurile, care în unele cazuri pot scurtcircuita interstițiul prin punțile formate;

- în ultima fază (Fig. 3.3, e) când energia acumulată pe baterie de condensator se epuizează, intensitatea câmpului electric scade la zero. Sub acțiunea forțelor de greutate și de tensiune superficială, lichidul se scurge rapid fiind evacuat din inerție pe marginile craterului format, unde se și cristalizează.

Cercetările de ultimă oră demonstrează că, modelul de mai sus poate fi completat cu următoarele faze (Fig. 3.4):

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

- dezvoltarea canalului de plasmă, care contactând și 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, câmpului electric de intensitate înaltă, forțelor gravitaționale și celor de tensiune superficială);

- în cazul intensităților mari a curenților de descărcare în interstițiu iau naștere simultan două și 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 electric;

– în cazul când forțele de tensiune superficială sunt depășite după valoare de cele electrodinamice are loc ruperea picăturilor de pe suprafața meniscului cu transferul pe suprafața electrodului opus sau expulzarea din interstițiu. Meenționăm că, procesele expuse mai sus se produc simultan pe suprafețele ambilor electrozi și că, 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 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);

– în procesul formării și ruperii picăturii, meniscul semisferic se transformă în unul conic cu unghiul de la vârful cuprins în limitele de $88...92^\circ$ (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 elucidă procesul de electroeroziune în stare de vapori;

– când descărcarea electrică ia sfârșit pot avea loc două cazuri: dacă materialul extras sub formă de menisc dovedește 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, atunci 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, este expulzat din acesta și se cristalizează sub formă de undă concentrică pe marginile acestia.

S-a observat că, practic toate craterele obținute la eroziunea electrică au o formă ideală a calotei sferice. Aceasta are loc datorită faptului că la microdescărcare (prelucrarea dimensională) energia degajată pe suprafață depinde de vectorul intensității cîmpului electric. Baia de metal lichid copie raza vectorială a cîmpului electric. În acest caz se confirmă ipoteza înaintată în capitolul 2 precum că, pata electrodică [27, 28] care este cauza încălzirii și topirii diferite (în aceleași condiții ale descărcării electrice solitare) a anodului și catodului reprezintă o sursă punctiformă de căldură, în care, se și închid liniile de forță ale cîmpului electric creat de căderile anodice și catodice de potențial.

3.5. Stabilirea condițiilor de apariție a fazei lichide necesare pentru extragerea meniscurilor

Ținând cont de faptul că în lucrările [43, 48] au fost stabilite condițiile de formare a fazei lichide pe suprafața prelucrată pentru forma cilindrică a canalului de plasmă care interacționează cu suprafața prelucrată (relațiile 2.4 și 2.5) și luând în considerație că, baea de metal pe suprafața prelucrată se formează sub acțiunea petei electrodice punctiforme, vom considera că diametrul craterului cu fază lichidă a apărut ca rezultat al acțiunii singulare și poate fi determinat din egalitatea:

$$\frac{1}{12} \pi d_c^2 h_{pe} = \frac{1}{\alpha} W_{pe} \quad (3.9)$$

unde: d_c este diametrul craterului cu fază lichidă; h_{pe} - înălțimea la care se află pata electrodică în raport cu suprafața prelucrată a electroduului (anod sau catod); W_{pe} - energia degajată de pata electrodică la o descărcare electrică solitară, α este un coeficient de proporționalitate care depinde de proprietățile fizico-mecanice a materialului de execuție al electroduului; expresia $\frac{1}{12} \pi d_c^2 h_{pe}$ reprezintă volumul canalului conic cuprins între pata electrodică și suprafața de prelucrat a piesei.

Cantitatea de energie degajată de o pată electrodică se va determina cu relația:

$$W_{pe} = U_{pe} \int_0^{\tau} i(t) dt \quad (3.10)$$

în care U_{pe} reprezintă căderea de tensiune eficace pe pata electrodică (anodică sau catodică), $i(t)$ - valoarea momentană a curentului ce trece prin ea, iar τ - durata de viață a petei electrodice (sau timpul de interacțiune al ei cu suprafața prelucrată).

Din motivul diversității mari de materiale aplicate în prezent în construcția de mașini și aparate și lipsa în literatura de specialitate a informației privind căderile de tensiune anodică și catodică, imposibilitatea stabilirii exacte a duratei

de viață a petei electrodice, în perioada imediat următoare pentru stabilirea condițiilor de apariție a fazei lichide pe suprafața prelucrată a piesei vom aplica relațiile stabilite anterior de către autorii lucrărilor [43, 48].

Mai jos, în conformitate cu [23, 26] se prezintă dependența diametrelor craterelor cu faza lichidă (1) și adâncimii acestora (2) de raportul W/S (Fig. 3.5). Din analiza dependenței grafice și rezultatelor experimentale prezentate în tabelul 3.2, se poate concluziona că, pentru apariția fazei lichide pe suprafața catodului, este absolut necesar ca energia degajată în canalul de plasmă în timpul descărcării electrice în impuls să fie transmisă suprafeței catodului, și cantitativ să fie suficientă topirii în zona de contact plasmă - corp solid, condiție care poate fi scrisă sub forma:

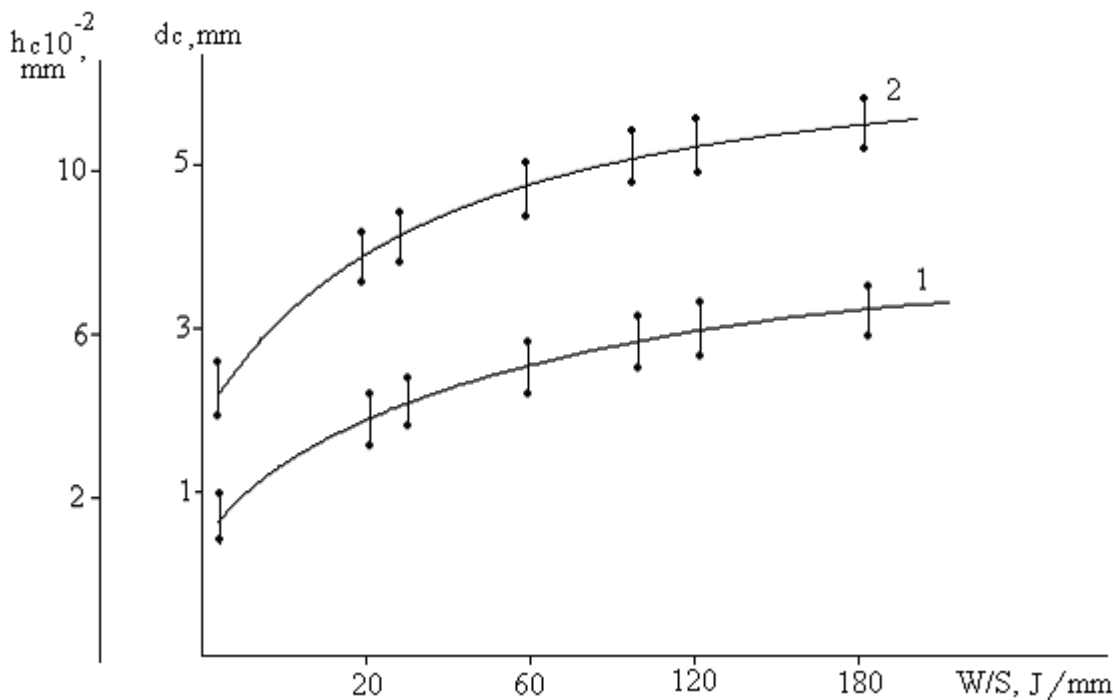


Fig. 3.5. Dependența diametrelor craterelor cu faza lichidă (1) și adâncimii (2) de raportul W/S [23, 26]

$$Q = \frac{4W}{\pi d_c^2 S} \geq Q_{top}, \quad (3.11)$$

în care Q_{top} este densitatea volumică de topire a materialului piesei să fie determinată cu relația:

$$Q_{top} = q_{top} \cdot \rho. \quad (3.12)$$

q_{top} și ρ sunt respectiv căldura specifică de topire și densitatea materialului piesei.

Diametrul mediu al craterului cu faza lichidă pe suprafața catodului, pentru descărcarea solitară poate fi determinat cu relația:

$$d_c = \sqrt{\frac{4W}{\pi QS}}, \quad (3.13)$$

Tabelul 3.2 [23, 26]

Densitatea energiei în interstițiu (pentru forma cilindrică a canalului de plasmă)
în condițiile formării fazei lichide pe catod

| $S_{[mm]}$ | $P_1 = \frac{4W_1}{d^2 S}$ | $P_2 = \frac{4W_2}{d^2 S}$ | $P_3 = \frac{4W_3}{d^2 S}$ | $P_4 = \frac{4W_4}{d^2 S}$ |
|----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| $\frac{I}{mm}$ | $\frac{J}{mm^3}$ | $\frac{J}{mm^3}$ | $\frac{J}{mm^3}$ | $\frac{J}{mm^3}$ |
| 0.1 | 6,11 | - | - | - |
| 0,3 | 3,62 | 3,52 | 3,98 | 3,8 |
| 0,5 | 3,19 | 3,39 | 3,13 | 4,42 |
| 0,6 | 7,05 | 3,89 | 3,05 | - |
| 1,0 | 9,84 | 4,55 | 3,55 | 2,5 |
| 1,3 | - | 9,44 | 4,51 | 3,1 |
| 1,5 | - | - | 6,52 | 4,1 |
| 1,7 | - | - | 7,55 | 4,7 |
| 2,0 | - | - | - | 5,33 |

Reeșind din dependențele grafice prezentate în fig. 3.5, se determină volumul craterelor de pe suprafața catodului (sau anodului), cu relația:

$$V_c = 0.4h_c d_c^2 \quad (3.14)$$

în care: h_c – adîncimea craterului; d_c – diametrul craterului;

Rezultatele obținute sunt ilustrate în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3

Adîncimea, diametrul și volumul craterului cu faza lichidă ca funcție de densitatea liniară a energiei degajate în interstițiu

| Nr. | $h_c \cdot 10^{-2}$, [mm] | d_c , [mm] | W/S, [J/mm] | V_c , [mm ³] |
|-----|-------------------------------|--------------|----------------|----------------------------|
| 1. | 4.8 | 0.8 | 0.2 | 0.0122 |
| 2. | 7.7 | 1.8 | 20 | 0.0997 |
| 3. | 8.0 | 2.0 | 31 | 0.128 |
| 4. | 9.5 | 2.5 | 60 | 0.237 |
| 5. | 10.4 | 2.8 | 98 | 0.326 |
| 6. | 10.7 | 3.0 | 120 | 0.385 |
| 7. | 11.5 | 3.3 | 180 | 0.5 |

În fig. 3.6 este prezentată vederea generală a unui menisc extras de pe suprafața metalului. Din figură se observă, că diametrul craterului este egal cu:

$$d_c = \frac{3}{2} \lambda, \quad (3.15)$$

în care λ este lungimea undei capilare perturbate pe suprafața metalului lichid.

Introducînd relația 3.15 în relația 3.14, obținem formula de calcul a lungimii de undă dezvoltate pe suprafața perturbată:

$$\lambda = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{V_c}{1,2R_z}}. \quad (3.16)$$

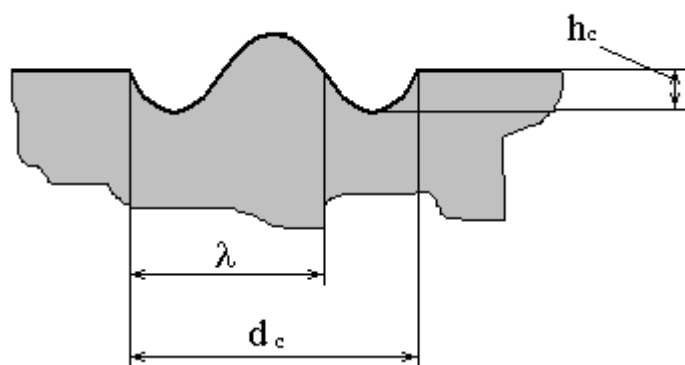


Fig.3.6. Vederea generală a unui menisc extras de pe suprafața metalului
 λ - lungimea de undă a suprafeței perturbate; d_c – diametrul craterului;
 h_c – adîncimea craterului.

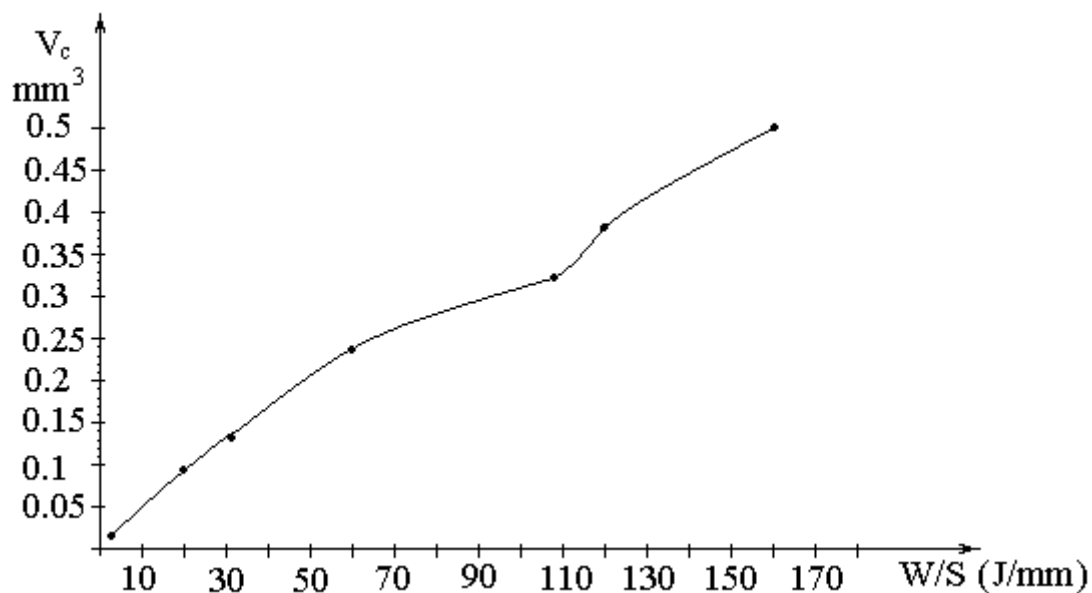


Fig. 3.7. Variația volumului craterelor ca funcție de raportul W/S

În conformitate cu relația (3.16) vom menționa că, lungimea unei capilare pe suprafața perturbată este determinată de volumul craterului și rugozitatea suprafeței prelucrate. Adică, valoarea lungimii de undă poate fi calculată dacă sunt cunoscute rugozitatea suprafeței prelucrate și volumul craterului. Din analiza lucrărilor [24, 25, 44, 48] vom constata, că, expresia (3.16) este valabilă numai în cazul descărcării solitare monocanal. În cazul când au loc o serie de descărcări tabloul se complică. În primul rând se obține un număr destul de mare de cratere, dimensiunile cărora diferă din motivul suprapunerii. În afară de aceasta, apare nu un singur, dar mai multe microcanale de descărcare. Din aceste motive relația (3.16) nu poate fi aplicată pentru determinarea lungimii de undă a suprafeței perturbate.

Analizând cele spuse mai sus, vom menționa că, pentru determinarea volumului mediu a craterelor în cazul unui șir de descărcări poate fi aplicată metoda integrării.

În fig. 3.7 se prezintă graficul ce exprimă variația volumului craterelor de raportul W/S. După cum se vede volumul craterelor este funcție exponențială de creșterea raportului W/S.

3.6. Unele rezultate ale cercetărilor experimentale privind extragerea meniscurilor pe suprafețele pieselor executate din diferite materiale

Reeșind din faptul că în condițiile prelucrării dimensionale prin electroeroziune mărimea interstițiului constituie circa $(3...10) \cdot 10^{-6}m$ și căderea de potențial pe aceasta este de 14V pentru alamă, 17V pentru cupru, 18V pentru aluminiu și 22V pentru oțel, iar depunerile de pulberi se produc la interstiții de

ordinul 0,5...1,2mm, cu căderi de tensiune cuprinse între 25...50V, rezultă că mărimea intensității câmpului electric în interstițiu va constitui $10^5 \dots 10^6$ V/m.

Ne rămîne să verificăm dacă de fapt în interstițiu se crează căderea de potențial necesară asigurării unei intensități considerabile a câmpului electric ca condiție de importanță primordială pentru dezvoltarea mecanismului undelor capilare în procesul de electroeroziune. Din condițiile de apariție a fazei lichide pe suprafețele electrozilor se poate afirma că totdeauna indiferent de materialul acestora, este necesar ca densitatea de energie degajată pe parcursul descărcării să fie mai mare decît căldura specifică volumică $Q = q \cdot \rho$ de topire a materialului acestora. Acest deziderat este ușor realizabil cunoscînd anumiți parametri (mărimea interstițiului, diametrul presupus al amprenteii de interacțiune al canalului de plasmă cu suprafața prelucrată, proprietățile fizice ale materialului de prelucrat etc.).

Pentru executarea lucrărilor experimentale a fost elaborat un stand [19, 49], care conține blocul de alimentare, blocul impulsurilor de curent de putere mare, blocul impulsurilor de curent de putere joasă și tensiune înaltă pentru amorsarea descărcărilor electrice de tensiune joasă la interstiții relativ mari, blocul de dirijare a acestor două, o sistemă de fixare și reglare a interstițiului în baza microscopului biologic, un șunt coaxial pentru măsurarea parametrilor descărcărilor electrice în impuls prin osciloscopare și un osciloscop cu memorie pentru înregistrarea simultană a semnalelor duble (cădere de tensiune și curentul electric din interstițiu pe parcursul descărcărilor electrice solitare).

De la primele încercări experimentale efectuate cu electrozi executați din același material (anodul și catodul), sub formă de bare cu diametre cuprinse între 1...3 mm, cu capătul de lucru ascuțit și șlefuit la semisferă, pentru așa materiale ca Zr, W, Ta și Ti se observă evident extragerea meniscurilor de formă aproximativ cilindrică ce au extremitatea superioară sub formă de con. Dimensiunile acestor meniscuri atît ca valoare amplitudică cît și ca diametru, sunt funcție de mai mulți factori care necesită cercetări mai detaliate. Vom menționa doar că, meniscurile apar atît pe suprafața anodului, cît și pe cea a catodului. Pe anod ele de regulă au

dimensiuni mai mari, fapt ce poate fi explicat în baza criteriului Palatnik, datorită polarității electroeroziunii, cât și fenomenului de redistribuire a energiei degajate în interstițiu pe parcursul unei descărcări între suprafețele electrozilor și rezistența activă a interstițiului.

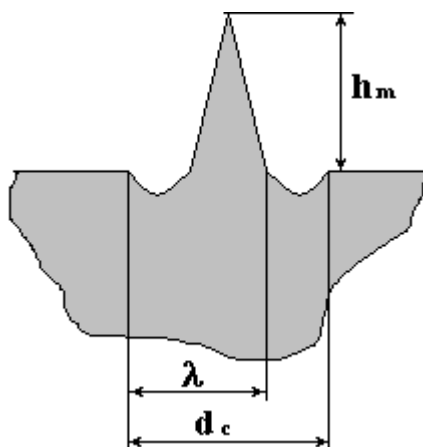


Fig. 3.8. Vederea generală a schemei de formare a unui menisc

Reeșind din rezultatele obținute putem afirma că, în cazul descărcărilor electrice în impuls pot fi create condițiile suficiente și necesare pentru extragerea și creșterea meniscurilor. Ultimile fiind amplasate pe suprafața prelucrată într-un anumit mod pot defini domeniul de aplicabilitate a acestora în practică (fie ca suprafețe cu proprietăți de emisie a electronilor, posibil ca suprafețe cu proprietăți de absorbție a undelor electromagnetice etc.). În fig. 3.8 este prezentată vederea generală a schemei de formare a unui menisc pentru cazul descărcărilor electrice în impuls. Din această schemă se poate ușor observa, că materialul pentru formarea meniscului conic este extras din baa de metal lichid formată pe suprafața prelucrată a electrodului. În momentul dispariției câmpului electric aplicat asupra meniscului, acesta, sub acțiunea forței de greutate și celei de tensiune superficială, se scurge în craterul de forma calotei sferice și după inerție este expulzat din el, formînd unda (valul) de metal în jurul acestuia. La o primă aproximare această schemă poate fi utilizată pentru măsurarea lungimilor de undă excitate la o descărcare solitară și pentru măsurarea aproximativă a înălțimii meniscului extras.

În conformitate cu cele prezentate în tabelul 3.4 putem constata, că pentru diferite materiale energia degajată (pentru formarea fazei lichide) în interstițiu este

| Material | Simbolul chimic | Înălțimea meniscului h_m , [mm] | Lungimea de undă λ , [mm] | Energia W_s , [J] | Numărul de descărcări | Mărimea interstițiului [mm] | Tensiunea pe interstițiu U_s , [V] |
|----------|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Niobiu | Nb | 0.06 | 0.36 | 0.58 | 1 | 0.2 | 21 |
| Cupru | Cu | 0.03 | 0.36 | 0.26 | 1 | 0.2 | 21 |
| Zirconiu | Zr | 0.03 | 0.52 | 3.17 | 1 | 0.2 | 21 |
| Titan | Ti | 0.02 | 0.06 | 1.03 | 1 | 0.2 | 21 |
| Volfram | W | 0.02 | 0.06 | 18.72 | 1 | 0.2 | 21 |

diferită, cu toate că lungimile de undă obținute pentru grupele de materiale: wolfram și titan, niobiu și cupru sunt aceleași. Dacă precăutam înălțimea meniscurilor, atunci putem constata că ea este aceeași în perechi pentru electrozii executați din titan și wolfram, cupru și zirconiu și cea mai mare pentru niobiu.

Tabelul 3.4

Înălțimile meniscurilor și lungimile de undă pentru diferite materiale

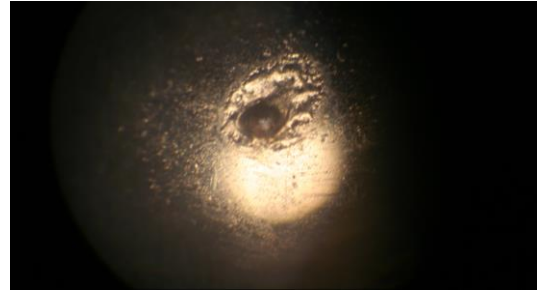
Aceste rezultate confirmă ipoteza despre apariția și dezvoltarea undelor capilare pe suprafața metalului lichid în câmpul descărcării electrice în impuls, însă necesită cercetări suplimentare în vederea stabilirii condițiilor minime necesare pentru dezvoltarea acestora, depistarea posibilităților de amplificare a undelor capilare în scopul sporirii productivității la prelucrarea dimensională și cea a formării straturilor de depunere, înghețarea meniscurilor pe suprafața prelucrată în vederea conferirii ei a unor proprietăți deosebite, iar în cazul depistării posibilităților de anihilare parțială sau totală a undelor capilare la toate procedeele de prelucrare prin electroeroziune, ar permite îmbunătățirea calității suprafeții din contul micșorării rugozității acesteia, sporirii uniformității stratului de suprafață prelucrat și activării lui în scopul interacțiunii mai intensive cu elementele mediului de prelucrare.

În fig. 3.9 sunt prezentate meniscuri extrase de pe suprafața anodului executat din oțel IIIX15 și niobiu la una și aceeași energie a descărcării electrice în impuls. Energia se menține constantă variind cu tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare și cu capacitatea acesteia. Mărimea interstițiului în procesul de lucru nu se schimbă. Cu scopul obținerii condițiilor identice, electrozii aveau forma sferică și erau confecționate din oțel IIIX15. De menționat că, cu mărirea capacității bateriei de condensatoare durata de descărcare crește esențial.



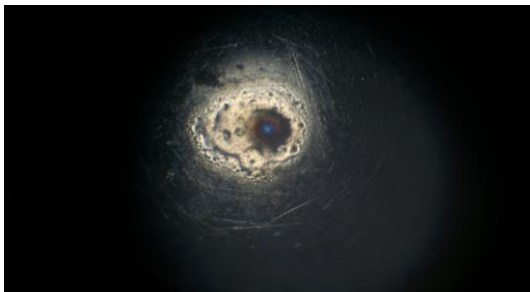
a)

$C = 100\mu\text{F}$; $U = 89\text{V}$; $W = 0.4\text{J}$;
 $S = 0.2\text{mm}$; (Oțel IIIX15)



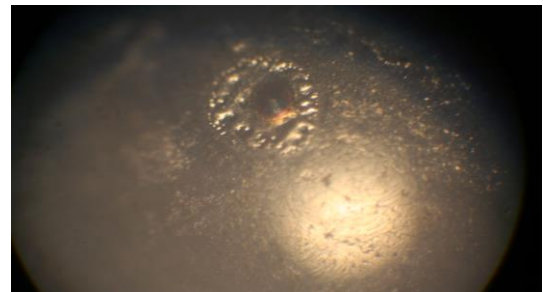
b)

$C = 200\mu\text{F}$; $U = 63\text{V}$; $W = 0.4\text{J}$;
 $S = 0.2\text{mm}$; (Oțel IIIX15)



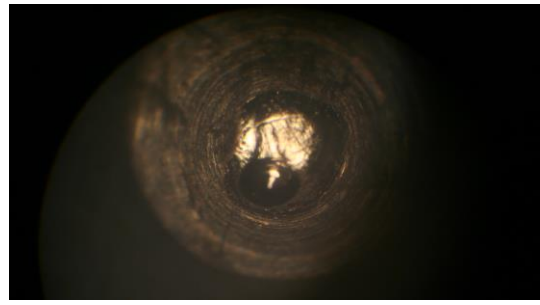
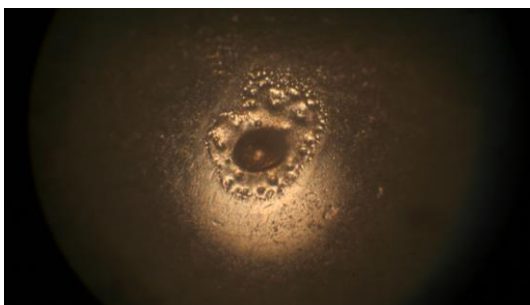
c)

$C = 300\mu\text{F}$; $U = 51\text{V}$; $W = 0.4\text{J}$;
 $S = 0.2\text{mm}$; (Oțel IIIX15)



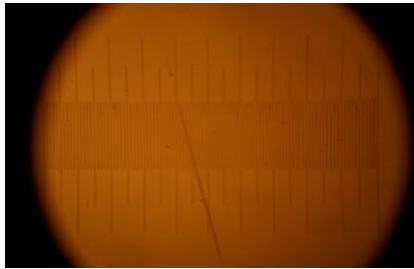
d)

$C = 400\mu\text{F}$; $U = 44\text{V}$; $W = 0.4\text{J}$;
 $S = 0.2\text{mm}$; (Oțel IIIX15)



e)

$C = 500\mu\text{F}$; $U = 40\text{V}$; $W = 0.4\text{J}$;
 $S = 0.2\text{mm}$; (Oțel IIIX15)

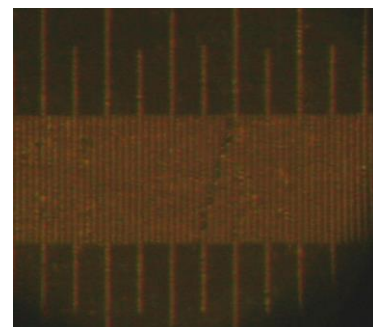
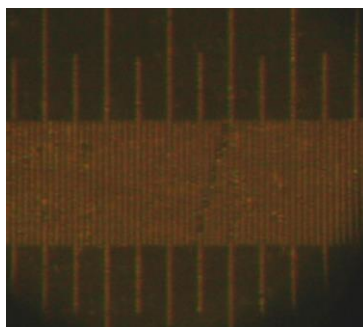
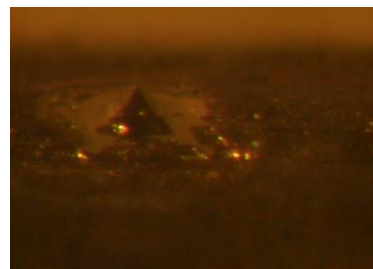


f)

$C = 100\mu\text{F}$; $U = 89\text{V}$; $W = 0.4\text{J}$;
 $S = 0.2\text{mm}$; (Niobiu)

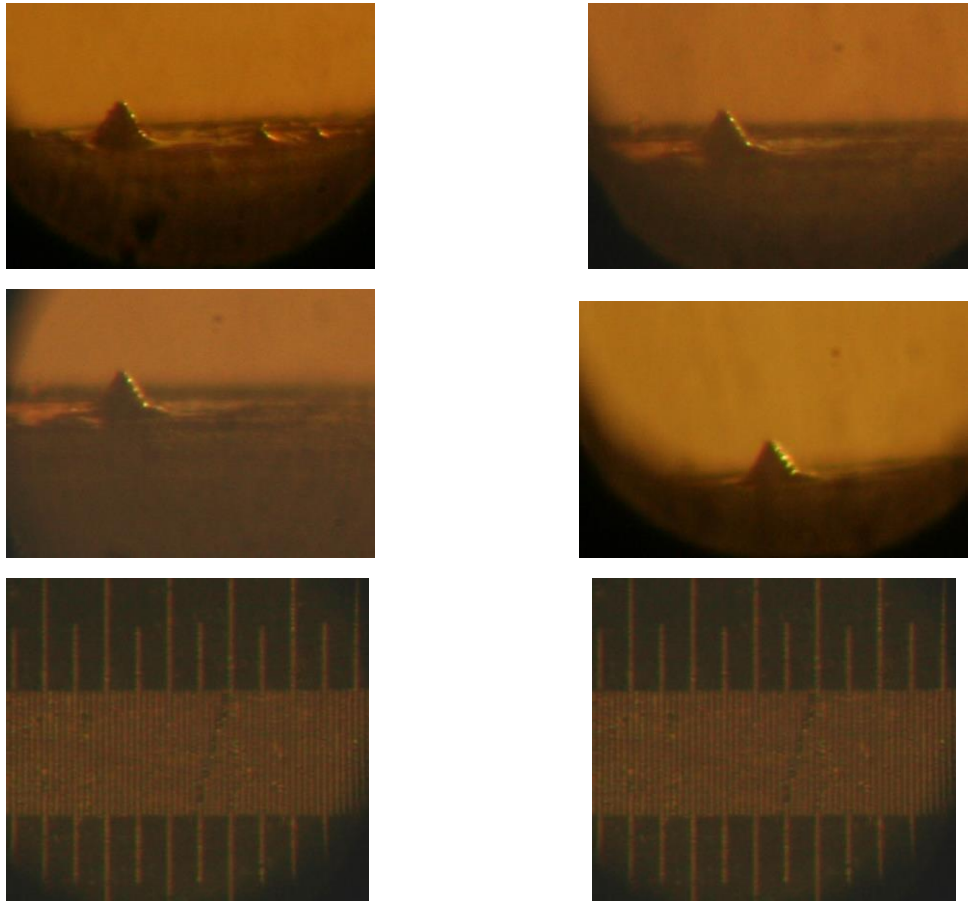
g)

Fig. 3.9. Meniscuri extrase de pe suprafața anodului (material - Oțel IIIX15, niobiu – f.)



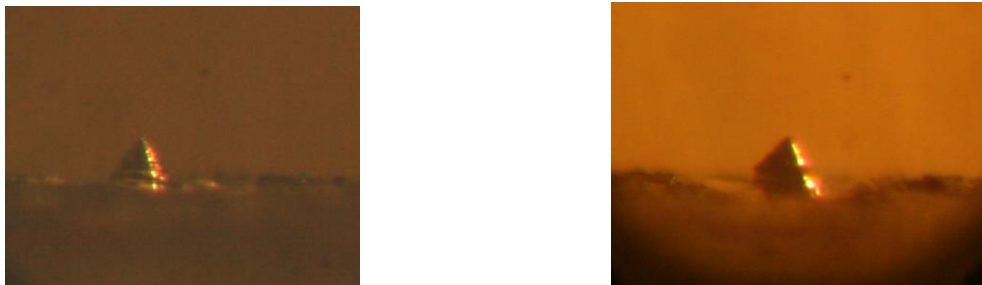
Prețul unei diviziuni 0,01mm

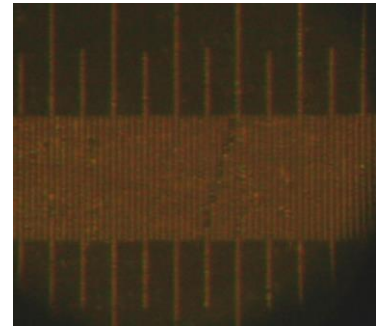
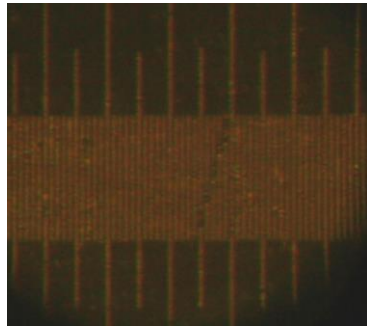
Materialul W + Re (10%); Anodul este situat în poziția de jos; Mărimea interstițiului $S = 0,2\text{mm}$; Tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare $U_c = 60\text{V}$; $W=0,054\text{J}$; $C=100\mu\text{F}$; $\tau=100\mu\text{F}$.



Prețul unei diviziuni 0,01mm

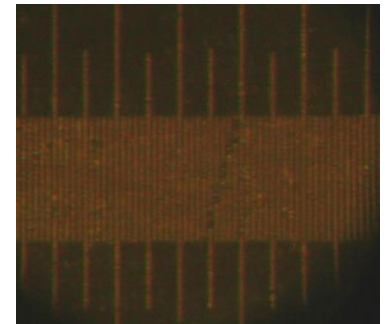
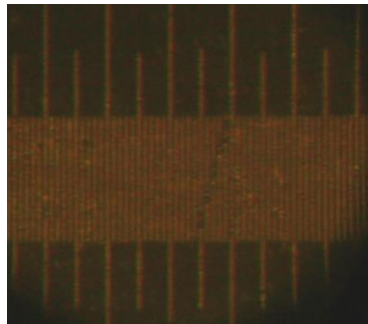
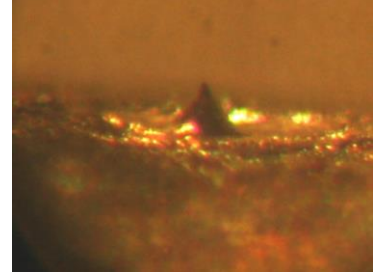
Materialul W + Re (10%); Anodul este situat în poziția de sus; Mărimea interstițiului $S = 0,2\text{mm}$; Tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare $U_c = 60\text{V}$; $W=0,054\text{J}$; $C=100\mu\text{F}$; $\tau=100\mu\text{F}$.





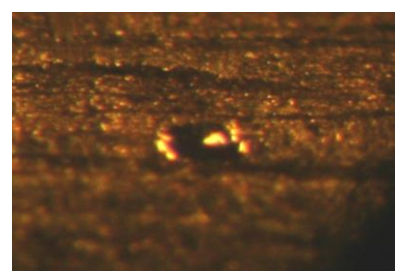
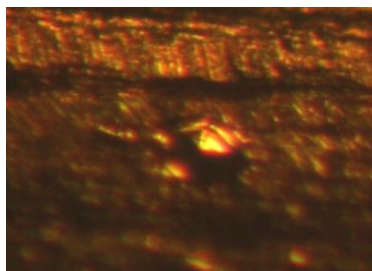
Prețul unei diviziuni 0,01mm

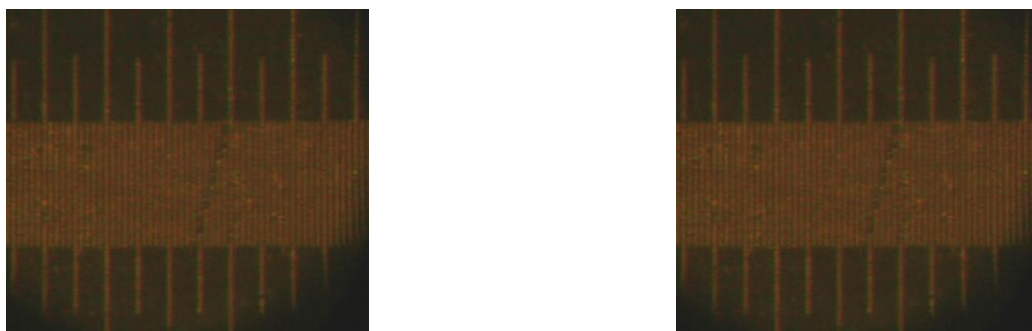
Materialul W; Anodul este situat în poziția de jos; Mărimea interstițiului $S = 0,2\text{mm}$; Tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare $U_c = 60\text{V}$; $W=0,054\text{J}$; $C=100\mu\text{F}$; $\tau=100\mu\text{F}$.



Prețul unei diviziuni 0,01mm

Materialul W; Anodul este situat în poziția de sus; Mărimea interstițiului $S = 0,2\text{mm}$; Tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare $U_c = 60\text{V}$; $W=0,054\text{J}$; $C=100\mu\text{F}$; $\tau=100\mu\text{F}$.





Prețul unei diviziuni 0,01mm

Materialul Ni; Anodul este situat în poziția de jos; Mărimea interstițiului $S = 0,2\text{mm}$; Tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare $U_c = 40\text{V}$.

Fig. 3.11. Meniscuri extrase de pe suprafața $W + \text{Re}$ (10%), W și Ni în condiții de laborator

Durata impulsului de descărcare τ , după cum se vede și din fig. 3.9 influențează procesul de formare a meniscurilor. Efectuând analiza suprafețelor cercetate, se observă că, cu creșterea duratei impulsului, cresc diametrul craterului și a bazei meniscului cresc (fig. 3.9, e). Cu scopul de a concentra sau a disipa energia degajată în interstițiu, zona de lucru se introducea în câmp magnetic pulsant. S-a observat că, în cazul când vectorul inducției câmpului magnetic și vectorul intensității câmpului electric au același sens, densitatea energiei în interstițiu crește considerabil, ceea ce condiționează micșorarea diametrului craterului și a bazei menisculului de pe suprafața anodului. Corespunzător crește și înălțimea meniscurilor. În cazul când liniile de forță au sensuri opuse, are loc disiparea energiei ce duce la mărirea diametrului craterului și, corespunzător, bazei menisculului (înălțimea menisculului scade). Acest fenomen poate fi explicat prin faptul, că la aplicarea câmpului magnetic pulsant asupra proceselor de electroeroziune, are loc focusarea sau defocusarea fluxului electron-ionic [37]. Mai jos (fig. 3.9, g) este prezentată scara de măsură cu ajutorul căreia se determină dimensiunile reale a bazei meniscurilor și diametrele craterelor. Valoarea unei diviziuni a acestei scări este egală cu 0,01mm.

În lucrarea [41] a fost stabilit că eroziunea suprafețelor electrozilor este determinată de parametrii energiei descărcării electrice în impuls și de mărimea

| | | | | | | | |
|----|-----|----|-----|------|-----|-----|-----|
| 1. | 100 | 60 | 93 | 0,18 | 100 | 49 | 84 |
| 2. | 200 | 60 | 126 | 0,36 | 125 | 70 | 84 |
| 3. | 300 | 60 | 150 | 0,54 | 160 | 84 | 112 |
| 4. | 400 | 60 | 166 | 0,72 | 180 | 98 | 140 |
| 5. | 500 | 60 | 170 | 0,90 | 200 | 112 | 168 |
| 6. | 600 | 60 | 176 | 1,08 | 220 | 126 | 196 |

Tabelul 3.6

Diametrul bazei meniscului și înălțimea lui ca funcție de capacitatea bateriei de condensatoare, tensiunea de încărcare a acesteea și durata impulsului de descărcare pentru anozii sau catozii executați din (W)

| Nr. | C, (μF) | U_c , (V) | I_m , (A) | W_c , (J) | τ , (μs) | h_m , (μm) | $d_{b.m.}$, (μm) |
|-----|----------------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 1. | 100 | 60 | 100 | 0,18 | 100 | 28 | 56 |
| 2. | 200 | 60 | 146,6 | 0,36 | 125 | 35 | 84 |
| 3. | 300 | 60 | 166,6 | 0,54 | 160 | 42 | 112 |
| 4. | 400 | 60 | 180 | 0,72 | 180 | 56 | 140 |
| 5. | 500 | 60 | 186,6 | 0,90 | 200 | 63 | 168 |
| 6. | 600 | 60 | 200 | 1,08 | 220 | 70 | 182 |

Mai jos (figura 3.11) sunt arătate oscilogramele obținute în procesul cercetărilor pentru aliajul W+10%Re și W.

U, (mV)

U,(mV)

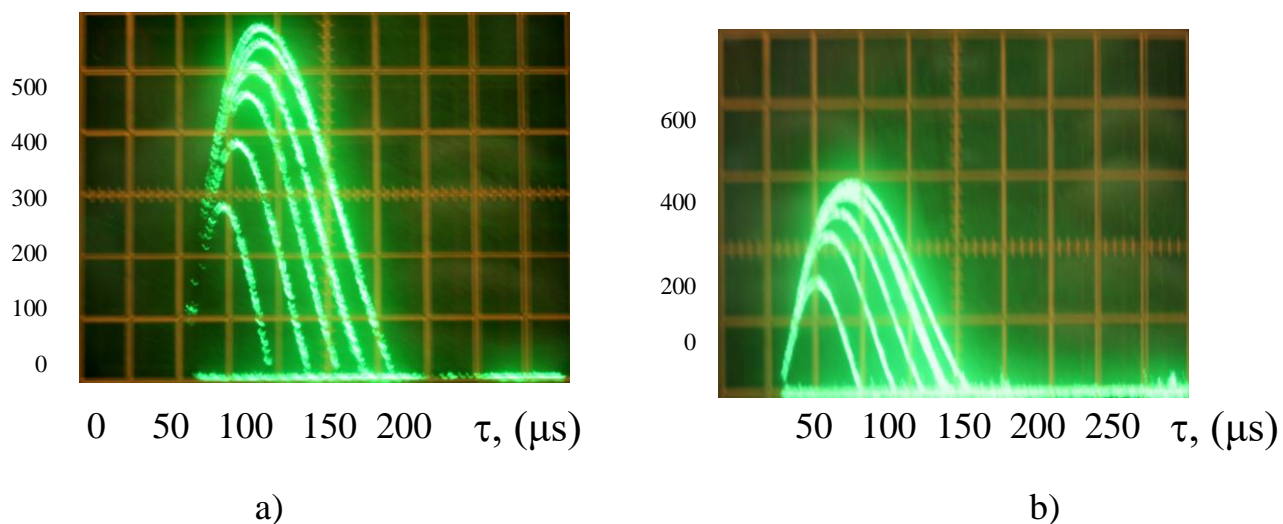


Fig. 3.11. Oscilogramme obținute în procesul cercetărilor (a-W+10%Re; b-W).

În figura 3.12 este prezentată dependența înălțimii meniscurilor de energia acumulată pe baterie de condensatoare pentru materiale precăutate.

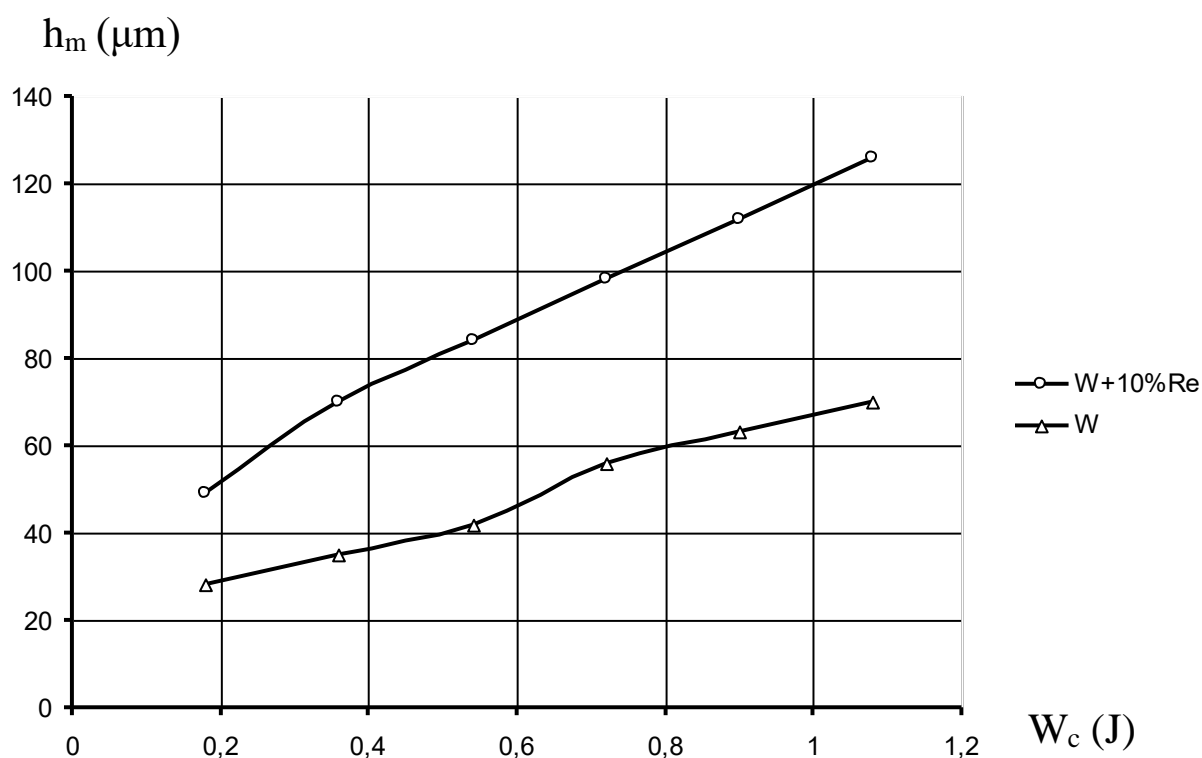


Fig. 3.12. Dependența înălțimii meniscurilor de energia acumulată pe bateria de condensatoare.

De menționat că, în procesul cercetărilor se schimbă nu numai înălțimea meniscurilor dar și diametrul bazelor acestora. Mai jos, în figura 3.13 este

prezentată dependența diametrelor bazei menisculului de energia acumulată pe bateria de condensatoare.

După cum se vede din tabelele și graficele prezentate mai sus, înălțimea meniscurilor și diametrul bazei acestora depinde în mare măsură de energia acumulată pe bateria de condensatoare. Energia este un parametru foarte important ce influențează formarea meniscurilor pe suprafețele metalelor. Din graficul prezentat în figura 3.14 se observă că pentru valorile energiei 0,36J; 0,54J; 0,72J și 0,90J diametrele bazei meniscurilor practic sunt identice. La energiile date pe suprafețele acestor două materiale pot fi obținute meniscuri cu diametrile bazelor identice dar cu înălțime diferită.

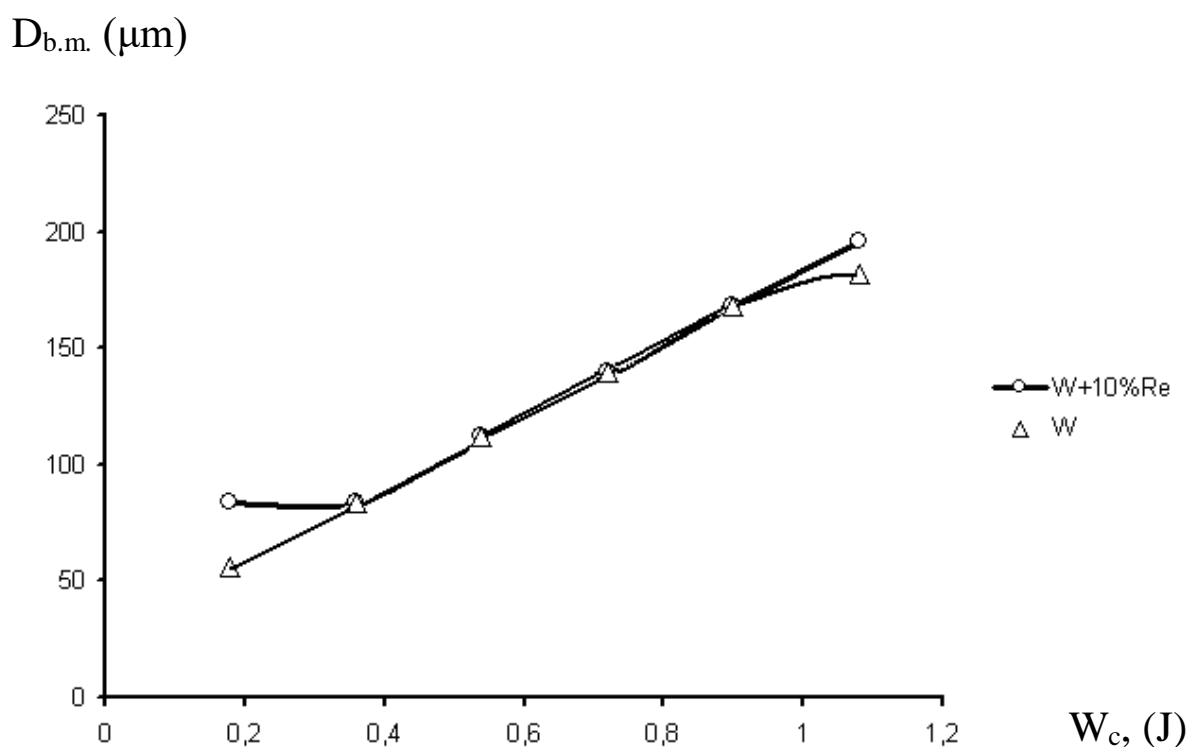


Fig. 3.13. Dependența diametrelor bazei meniscurilor de energia acumulată pe bateria de condensatoare.

Obținerea meniscurilor pe suprafața aliajului $W+10\%Re$, cu înălțime mai mare în comparație cu înălțimea acestora pe suprafața W , se explică prin „efectul reniu” [15]. Așa metale ca, W și Mo temperatura de topire a căroră este mare, sunt

fragile din care motiv aplicabilitatea lor este limitată. Alierea acestor metale cu *Re* duce la creșterea plasticității, rezistenței la uzură, micșorarea temperaturii de trecere în stare lichidă.

Bibliografie

1. Лазаренко, Б. Р. Способ нанесения металлических покрытии. Авт. Изобрет. Авт. свид. 89933 (СССР)., Опубл. в Б.И. 12.
2. Золотых, Б. Н. Физические основы электроискровой обработки металлов. Гос. тех. издат. Москва, 1953. 107 с.
3. Золотых, Б. Н.; Круглов, А. И. Тепловое процессы на поверхности электродов при электроискровой обработке металлов. В кн.: Проблема электрической обработки материалов. вып.1., Изд-во. А.Н.С.С.С.Р., Москва, 1960. с. 65 – 76.
4. Золотых, Б. Н., О расчёте технологических характеристик процесса размерной электроискровой обработки материалов. вып.1. Изд-во. АН СССР, Москва, 1960. с. 221 – 232.
5. Золотых, Б. Н. Основное вопросы качественной теорий электроискровой обработки в жидкой диэлектрической среде, В.кн.: Проблемы электрической обработки материалов. Изд-во. А.Н. С.С.С.Р., Москва, 1962. с. 5 – 43.
6. Золотых, Б. Н.; Мельдер, Р. Р. Физические основы электроэрозионной обработки. Машиностроение 43, Москва, 1977.
7. Некрашевич, И. Г.; Бакуто, И. А. К вопросу о механизме электрической эрозии металлов. В.кн.: Сб. Научных трудов Ф.Т.И. АН БССР ВИП.2, Изд-во. АН БССР, МИНСК, 1955. с. 167 – 176.
8. Бакуто, И. А., О зависимости электроэрозионного эффекта от электрического режима разряда. В.кн., Сб. научных трудов Ф.Т.И. АН БССР. вып.5, Изд-во. АН БССР, МИНСК. 1959. с. 213 – 222.

9. Некрашевич, И. Г.; Бакуто, И. А. Механизм эрозии металлов при электрическом импульсном разряде. В.кн.: Сб. научных трудов Ф.Т.И. АН БССР вып.5, Изд-во. АН БССР, МИНСК, 1960. с. 193 – 215.
- 10.***Электроискровое легирование металлических поверхностей, Библиографический указатель литературы за 1943-1973 г.г., Кишинёв: Штиинца, 1974. 87 с.
- 11.Коваленко, В. С.; Верхотуров, А. Д.; Головкин, Л. Ф.; Подчерняева, Ю.А. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов. Москва, 1986.
- 12.Михайлюк, А. И.; Гитлевичи, А. Е.; Рапопорт, Л. С. Влияние режимов электроискрового легирования на структуру и износостойкость железа. Электронная обработка материалов № 4, 1988. с. 10 – 15.
- 13.Коробейник, В. Ф.; Рудюк, С. И.; Коробейник, С. В. Особенности формирования микротопографии, структуры и субструктуры поверхностного слоя при электроискровом легировании. Электронная обработка материалов 1, 1989. с. 15 – 17.
- 14.Лазаренко, Б. Р.; Лазаренко, Н. И.; Бакал, С. З. Некоторые особенности процесса электроискрового легирования металлических поверхностей в вакууме. Электронная обработка материалов № 4, 1969. с. 27 – 30.
- 15.Гиндин, И. А.; Аксенов, Б. К.; Мотевитый, В. М.; Стародублов, Я. Д. К вопросу о зависимости прочности при растяжении от количества дефектов кристаллической структуры. Физика металлов и металловедение 44, 1977. с. 864 – 871.
- 16.Зингерман, А. С. О расширении разрядного канала ЖТФ, вып.5, 1956. с. 1015 – 1020.
- 17.Некрашевич, И. Г.; Бакуто, И. А. К вопросу о механизме электрической эрозии металлов. В кн.: Сб. научных трудов ФТИ АН БССР, вып.2. Минск: изд-во. АН БССР, 1995. с. 167 – 176.
- 18.Гитлевич, А. Е.; Топала, П. А.; Куку, И. И.; Иванов В. И.; Снегирев, В.А. О возможности упрочнения металлических поверхностей на

- установках для электроискрового легирования типа «Разряд». ЭОМ, №2, 1987. с. 24 – 26.
19. Гитлевич, А. Е.; Топала, П. А.; Снегирев, В. А.; Игнатков, Д. А. Особенности электрической эрозии электродов при импульсных разрядах, протекающих в режиме недонапряжения. ЭОМ, №3, 1988. с. 9 – 12.
20. Топала, П. А. Электроискровое легирование металлических поверхностей в режиме недонапряжения. Всесоюзная школа-семинар. Электрофизические методы и технологий воздействия на структуру и свойства материалов. Ленинград, судостроение, 1990. с. 90 – 91.
21. Galinov, I.V.; Luban, R. B.; Pekker, L. S. O fiziceskih protessah v mejelektroodnom promejutke pri elektroiskrovom leghirovanii metallov. Kisinev: Elektronnaea obrabotka materialov. Nr, 1990. p. 11 – 13.
22. Topala, Pavel. Influence of different factors above intensity process of electroerozion. Chişinău: Universitatea Tehnică a Moldovei, Meridian Ingineresc, Nr.2, 2006. p. 94 – 98.
23. Топала, П.; Стойчев, П.; Епуряну, А.; Бешлиу, В. О возможности легирования металлических поверхностей на установках для электроискровой обработки в режиме недонапряжения, машиностроение и техносфера XXI века. Материалы Международной научно-технической конференции. Донецк, 2006. с. 266 – 269.
24. Topală, Pavel; Olaru, Ion; Rusnac, Vladislav. Noi secvențe la tabloul fizic al electroeroziunii. Culegere de lucrări științifice. Tehnologii Moderne. Calitate restructurare. Chişinău, 2005. p. 299 – 302.
25. Топала, П. О роли приэлектродных падений напряжения в развитии электроэрозионных процессов, International Scientific and Technical conferance „Machine-Bulding and technospere of the XXI century”. Donetsk, 2006. p. 258 – 262.
26. Топала, П.; Стойчев, П.; Епуряну, А.; Бешлиу, В. Упрочнение металлических поверхностей на участках для электроискрового

- легирования. International Scientific and Technical conference „Machine-building and technosphere of the XXI century”. Donetsk, 2006. с. 262 – 66.
27. Topală, Pavel. The energy distribution in the gap at the gap technological applying of the electrical discharges in impulses. Iași: Editura PIM, Nonconventional Tehnologies Review, Nr.1, 2007. p. 129 – 132.
28. Topală, Pavel. Electrical charges as measure for removed metal mass the eelectrical discharge machining. Iasi: Editura PIM, Nonconventional Tehnologies Review, Nr.4, 2007. p. 103 – 108.
29. Tomas, Botzel. Tehnology of Electrical Discharge Machining, MAHO, Hansen Gmb H, 6114, CroB-Umstad, 1991.
30. Мещеряков, Г. Н.; Фотеев, Н. К.; Зацепина, Т. А.; Мещеряков, Н. Г. Влияние состава рабочей жидкости и материала электрода-инструмента на параметры шероховатости поверхности стальной детали обработанной электроэрозионным способом. Кишнев: Электронная обработка материалов, № 2, 1992. с. 2 – 3.
31. Габович, М. Д. Жидкометаллические эмиттеры ионов. Успехи физических наук. том 140. вып 1, 1983. с. 137 – 151.
32. Лубан, Р. Б.; Пеккер, Л. С.; Галинов, И., В. О возможном механизме переноса материала анода на катод при электроискровом легировании металлов., Электронная обработка материалов. Nr.5, 1990. с. 13 – 14.
33. Popel, S. I.; Kozhurkov, V. N.; Zhukov, A. A. - hv. Akad. Nauk SSSR, met. (5), 1975. 69 с.
34. Marinescu, N. I.; Sturzu, A.; Vison, A.; Gavrilăș, I. Tehnologii moderne în construcția de mașini. București 1984. 199 p.
35. Paramokov, V. A.; Karamyshev, E. P.; Ukhov, V. F. In: "Fiz.khim. poverkh.Rasp" Tbilisi, 1977 (Colloq on physics and chemistry of surface melts) 1155, Metsniyereba, 1977.
36. Ayushina, E. D.; Levin, E. S. Gel'd P.V. Russ J.Phys. Chem., (11) 1969. 43 p.
37. Davies, V. de L.; West, J. M. -J. Inst. Met. 1963-1964. p. 92, 208.

38. Goumiri, L.; Joud, J. C. Surf. Sci. 1979. p. 83, (2), 471.
39. Галинов, И.; Лубан, Р.; Пекер, Л. О физических процессах в межэлектродном промежутке при электроискровом легировании металлов. Кишинев: Электронная обработка материалов, 1990.
40. 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. p. 146.
41. Balanici, Alexandru; Topală, Pavel; Abramciuc, Alexandru; Pereteatcu, Pavel; Rusnac, Vladislav; Beşliu, Vitalie; Cazacu, Ala. Raport științific. „Noi tehnologii avansate de prelucrare, recondiționare și de tratare a pieselor de construcții de mașini utilizate în industria alimentară, electrotehnică și electronică, în vederea creșterii performanțelor industriale”, Bălți, 2005.
42. Ставицкий, В. И. Электроискровая прецизионная обработка материалов. Научные основы точных материалов формообразования поверхностей, ЭОМ, №.6, Кишинев, 2001. с. 5 – 32.
43. Топала, П.; Душенко, В.; Гитлевич, А. Об условиях образования расплава на поверхности детали – катода при электроискровом легировании на установках типа „Разряд”. Кишинев: Электронная обработка материалов, № 6, 1990. с. 17 – 18.
44. Topală, Pavel; Olaru, Ion; Balcănuță, Nicolae; Rusnac, Vladislav; Cazacu, Ala; Russu, Aurel. Cercetări privind modificarea microgeometriei suprafețelor pieselor prin dezvoltarea undelor capilare pe suprafața metalului lichid în condițiile descărcării electrice în impuls. Raport științific. Universitatea de Stat “A.Russo”, Bălți. Num. înregist. de Stat 0104 MD.02523, 2006. 72 p.
45. Григорьев, А. И.; Ширяева, С. О.; Белоножко, Д. Ф.; Климов, А. В. О ФОРМЕ КОНУСА ТЕЙЛОРА И ХАРАКТЕРНОМ ВРЕМЕНИ ЕГО РОСТА. Кишинев: ЭОМ, №.4, 2004. с. 34-40.

- 46.Ставицкий, Б. И. Электроискровая прецизионная обработка материалов. Научные основы особоточных методов формообразования поверхностей. Кишинев: ЭОМ, №.1, 2002. с. 5 – 32.
- 47.Slătineanu, Laurențiu. Tehnologii neconvenționale în construcția de mașini. CHIȘINĂU: TEHNICA INFO, 2000. 252 p.
- 48.Topală, P. Cercetări privind obținerea straturilor din pulberi metalice prin descărcări electrice în impuls. Rezumatul tezei de doctorat. București, 1993. 32 p.
- 49.Topală, P. Research on obtaining of layers of metallic powders through electric impulse discharges. Summary of doctorate thesis. University „Politehnica“, Bucharest, 1993. 32 p.
- 50.Topală, P. Electro-spac alloying of metallic surfaces in the undertension regime. All-Union school-seminar „Electro-physical methods and technologies of influencing over structure and properties of metallic materials“. All-Union scientific-technical society. Leningrad, 1980. p. 90 – 91.

IV. Aplicarea descărcărilor electrice în impuls la prelucrarea dimensională a pieselor

4.1. Generalități

Fenomenul de distrugere a suprafețelor electrozilor sub acțiunea plasmei descărcărilor electrice poartă numele de *eroziune electrică*. Acest fenomen a fost pus în baza unui șir de procedee tehnologice. În conformitate cu cele expuse de B. Lazarenko [27] pentru a efectua investigații este necesară o instalație (fig. 4.1) care conține o sursă de alimentare de curent continuu, o rezistență de limitare a curentului 1, o baterie de condensatoare 2, electrozii anod 3 și catod 4 situați într-un mediu dielectric 5.

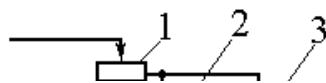


Fig. 4.1 Schema generală a procesului de prelucrare prin electroeroziune în mediu dielectric lichid

Să precăutăm fazele principale în conformitate cu care are loc procesul de

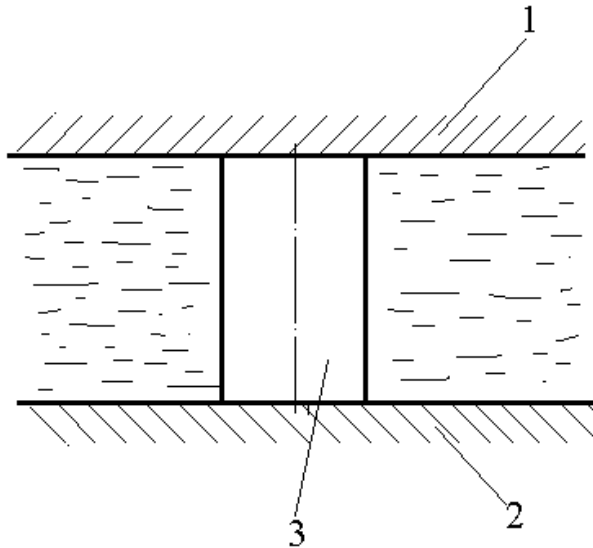


Fig. 4.2. Canalul de conductivitate format după străpungetrea emdiului dielectric lichid

acestea.

Faza întâia a procesului de electroeroziune constă în faptul că datorită intensității mari a câmpului electric are loc ionizarea interstițiului și între electrozii 1 și 2 începe să circule curentul electric, adică se formează canalul de conductibilitate 3 care prezintă o zonă cilindrică îngustă (fig. 4.2) umplută cu substanță încălzită (plasmă). În ea se conțin ioni și electroni.

La faza a doua în jurul canalului de conductibilitate se formează o bulă de gaz constituită din vaporii mediului și metalului electrozilor. Bula se dilată cu o viteză foarte mare și la granița dintre mediu și aceasta apare un front cu densitate sporită a substanței însoțit de o undă de șoc [7] (fig. 4.3).

electroeroziune la prelucrarea dimensională [1, 3]. La apropierea reciprocă a electrozilor intensitatea câmpului electric crește invers proporțional cu mărimea interstițiului:

$$E = U / S \quad (4.1)$$

în relația (4.1) U este tensiunea aplicată asupra electrozilor, iar S - mărimea interstițiului formați de

În rezultatul dezvoltării de mai departe a descărcării electrice în impuls pe suprafețele electrozilor iau naștere pete electrodice „reci” și „calde”. Acestea provoacă încălzirea și topirea suprafețelor electrozilor 1 și 6 cu formarea băilor de metal lichid 2, toate aceste fiind cuprinse în bula de gaz 3 din dielectricul 5. Sub acțiunea forțelor electrodinamice ale câmpului electric asupra suprafeței metalului lichid electrizat, posibil și a depresiunii din bula de gaz, și a efectelor termice are loc ruperea metalului de pe suprafețele electrozilor atât sub formă de atomi separați, vapori cât și picături 4 (fig. 4.4). Cele descrise reprezintă faza a treia.

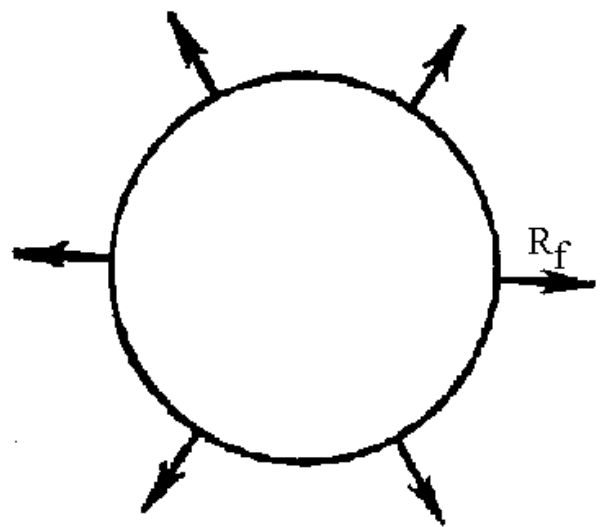


Fig. 4.3. Direcțiile de propagare a undei de șoc

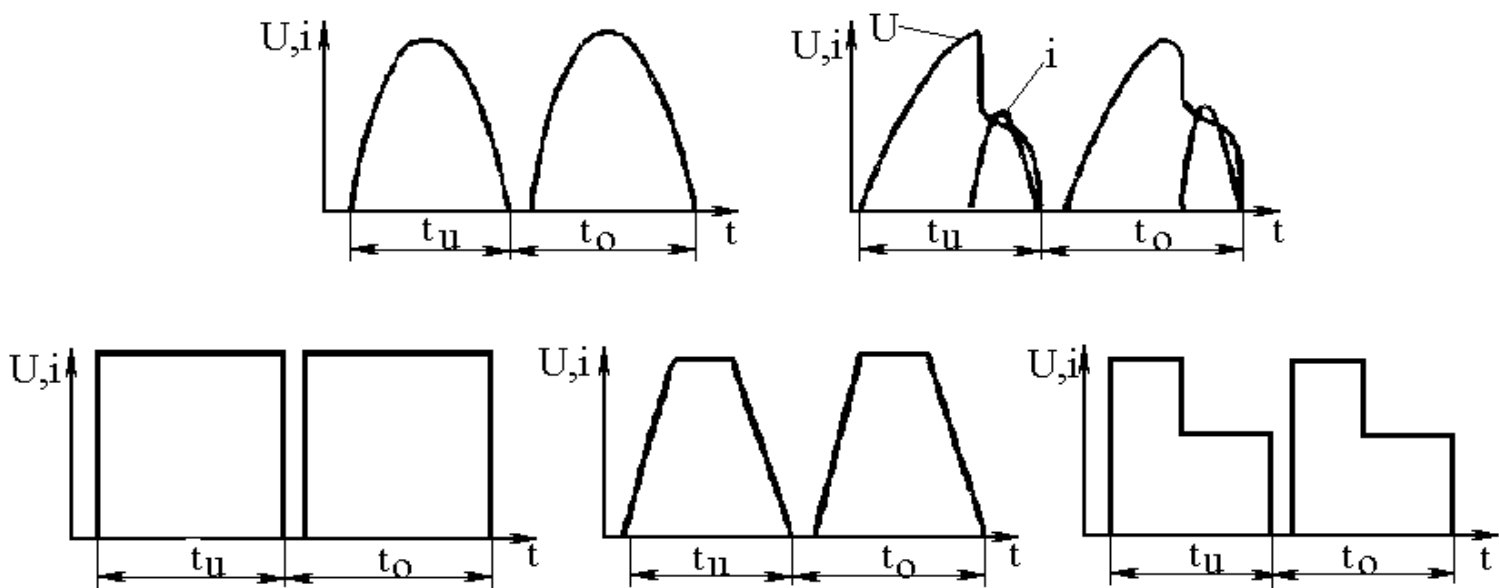


Fig. 4.4. Forme de impulsuri de current și tensiune aplicate la prelucrarea dimensională

În cazul când materialul piesei prelucrate este fragil sub acțiunea temperaturilor înalte este posibilă nu numai topirea materialului, dar și ruperea lui prin fisurare cu înlăturarea lui din interstițiu sub formă de particule solide. Pe suprafața electrodului anod, cât și celui catod apar niște urme sub formă de adâncituri numite cratere. Materialul prelevat este preluat și înlăturat din zona de lucru de către lichidul dielectric.

Durata impulsurilor t_u este o mărime invers proporțională cu frecvența f acestora. Deoarece între impulsuri există pauze la calculul valorii t_u trebuie luată în considerație și mărimea ($m = T/t_u$) egală cu raportul perioadei de repetare a impulsurilor către durata unui impuls:

$$t_u = 1/(mf) \quad (4.2)$$

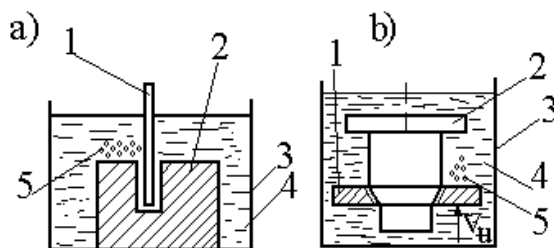
La prelucrarea prin electroeroziune impulsurile de tensiune și curent după formă pot fi foarte diverse însă totdeauna vor fi unipolare (fig. 4.4). Forma impulsurilor se alege în așa fel, ca pentru anumiți parametri ai acestuia să fie atinsă o eficiență superoară în utilizarea energiei consumate, adică să se obțină un crater cu un volum cât mai mare.

În procesul de prelucrare dimensională cu aplicarea DEI îndepărtarea metalului de pe suprafața piesei prelucrate se înfăptuiește cu o serie de impulsuri. Forma și dimensiunile craterelor obținute vor fi diferite de cele obținute în cazul descărcărilor electrice solitare. Descărcările electrice în impuls utilizate la prelucrările prin electroeroziune pot decurge atât în medii lichide cât și gazoase. De fapt această diferențiere a mediilor de lucru pentru descărcările în impuls nu este corectă, fiindcă deosebirea de mediu lichid și gazos este valabilă numai pentru faza incipientă a descărcării- formarea canalului de conductibilitate. Odată cu formarea acestuia descărcările electrice pentru perechile de electrozi scufundați în lichid sau gaz decurg după aceleași legități.

4.2. Procedee tehnologice de prelucrare dimensională cu aplicarea DEI

Datorită posibilităților largi de concentrare a energiei, descărcările electrice în impuls și-au găsit o arie largă de aplicare la realizarea diferitor procedee de prelucrare dimensională prin metoda electroeroziunii [23].

1.**Străpungerea**-înlăturarea materialului din cavități, canale, găuri și adâncituri în exterior. În fig. 4.5 sunt prezentate schemele de prelucrare a unei adâncituri (a) și a unei bare fasonate (b).



Electrodul-sculă 1 se deplasează către piesa 2 cu viteza V_s . Ambii electrozi sunt scufundați în dielectricul 4 conținut în baia 3. Podusele

prelucrării 5 sunt expulzate din interstițiu și se depun la fundul băii. Prin străpungere pot fi obținute suprafețe cu axă atât rectilinie cât și curbilinie.

Există două variante ale străpungerii:

copierea directă, când electrodul-sculă este situat deasupra piesei (fig. 4.5 a);

copiera inversă, când piesa prelucrată se află deasupra electrodului-sculă (fig. 4.5 b). Mișcarea de avans în acest caz poate fi înfăptuită de către piesă. Ultima

Fig. 4.5. Scheme de prelucrare dimensională: a) străpungerea unei adâncituri și b) prelucrarea unei suprafețe fasonate pe piesă-bară

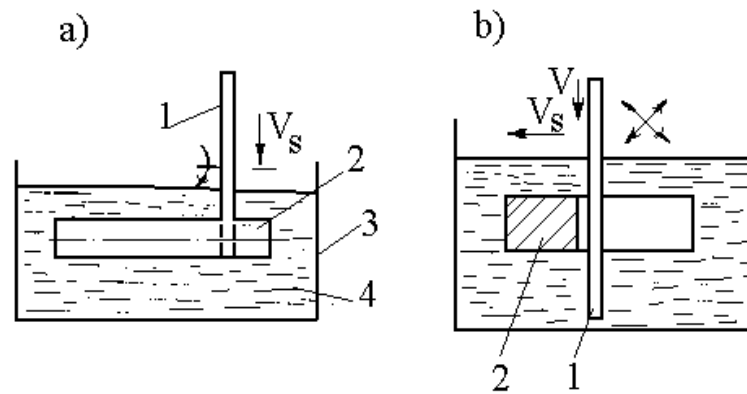


Fig. 4.7. Scheme de debitare a pieselor cu electrod-sculă: a) bară profilată și b) electrod-sculă disc sau placă
variantă facilitează evacuarea produselor eroziunii din interstițiu și permite sporirea preciziei de prelucrare.

2. Rectificarea prin electroeroziune schema tehnologică a căreia este prezentată în

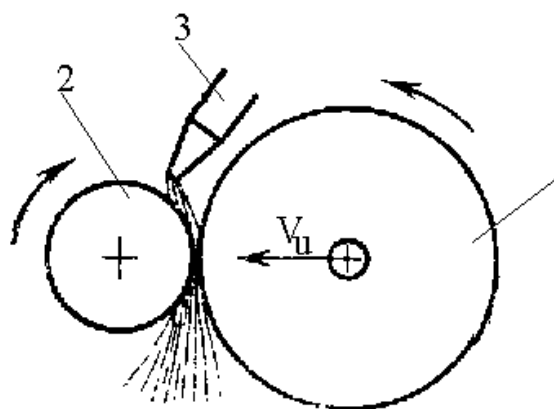


fig. 4.6 . Electrosculă 1 sub formă de disc execută mișcări de translație și de rotație față de semifabricatul 2 cu viteza V_s .

Fig. 4.6. Schema realizării rectificării suprafețelor cu aplicarea DEI

Semifabricatul îndeplinește o mișcare de rotație. Lichidul dielectric este introdus în interstițiu prin intermediul furtunului 3. În cazurile când gabaritele piesei sunt mici prelucrarea se poate executa și în baia de lichid.

3. Debitarea cu sculă profilată și neprofilată permite împărțirea semifabricatului în bucăți cu suprafețe rectilinii ori diferite de acestea. Electrosculă profilată (fig. 4.7 a) poate fi executat sub formă de disc ori placă. El este deplasat către semifabricatul 2 cu viteza V_s în plan, sau de rotație deplasat în lungul piesei. Prelucrarea se execută în dielectricul 4 conținut în baia 3. În cazul utilizării

electrodului-sculă neprofilat (fig. 4.7 b) acesta se execută sub formă de sîrmă cu diametrul de 0,02...0,3mm sau bară, care se pot deplasa în orice direcție a semifabricatului 1. În scopul omiterii inpreciziei de prelucrare pe contul uzării electrodului-sculă, acesta este depănat ori deplasat în lungul axei sale cu viteza V . Prelucrarea se execută în baia cu lichid dielectric.

Procedeele sus menționate pot fi realizate în practică prin:

a) prelucrarea dimensională cu electrod filiform [25]. În varianta inițială acest procedeu de prelucrare presupune existența în zona de prelucrare a unui electrod-fir (sculă conectată în calitate de catod în circuitul de descărcare a generatorului de impulsuri de curent), sprijinit pe două reazeme sub formă de role dintre care prima funcționează în regim de derulare, iar cea de a doua – în regim de înfășurare (astfel ca firul să fie tot timpul întins), existînd în același timp încă o mișcare în plan orizontal a unui semifabricat de tip placă și fiind îndeplinite și alte condiții specifice prelucrării dimensionale prin electroeroziune. În interstițiul format de piesă și electrodul-sculă se introduce un jet de lichid dielectric care îndeplinește funcția de înlăturare a produselor prelucrării (fig. 4.8).

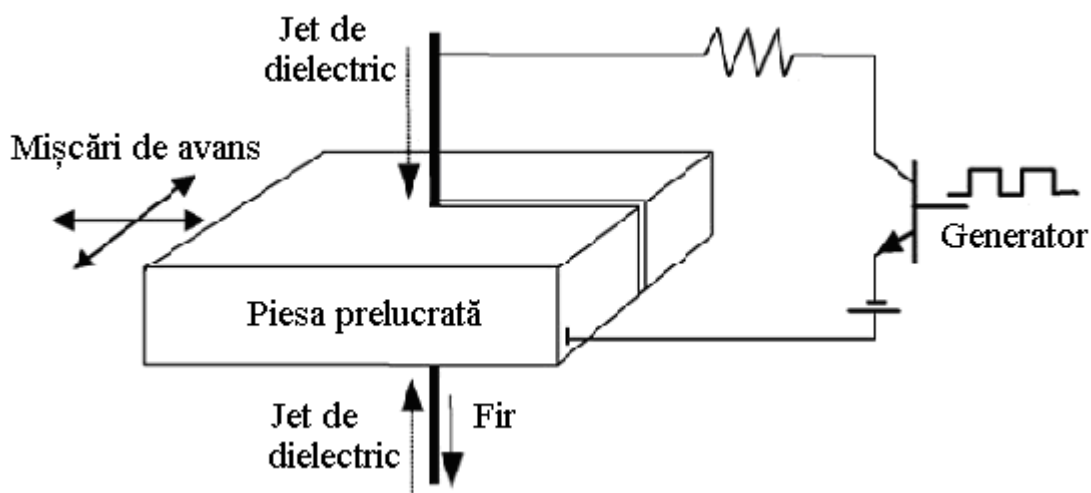


Fig. 4.8. Schema de tăiere a pieselor cu fir la prelucrarea dimensională [4]

Actualmente o asemenea schemă de prelucrare a fost completată cu posibilitatea executării de către electrodul-sculă a unor deplasări comandate de asemenea în plan orizontal, astfel devenind posibilă extinderea formei suprafețelor obținute de

la cele plane la cele profilate. Mașinile de prelucrat cu electrod filiform sunt dotate cu sisteme de comandă numerică, ceea ce asigură condiții pentru obținerea unei precizii ridicate de prelucrare (0,001...0,005mm) și realizare a unei rugozități destul de scăzute ($R_a=0,1...3,2\mu\text{m}$).

Diametrul electrodului filiform este de 0,01...0.3mm; aceasta se execută din cupru, wolfram, molibden și oțel. În unele cazuri miezul firului se execută dintr-un material rezistent la încovoiere, iar învelișului dintr-un material rezistent la uzură prin electroeroziune. Firul trebuie să aibă o lungime cât mai mare (7000...12000m) pentru a sigura prelucrarea continuă a conturilor de lungimi considerabile a pieselor. Mașinile-unelte contemporane sunt dotate cu sisteme ce asigură schimbarea automată a direcției de depănare a firului, în cazurile când se acceptă utilizarea aceluiași fir de mai multe ori.

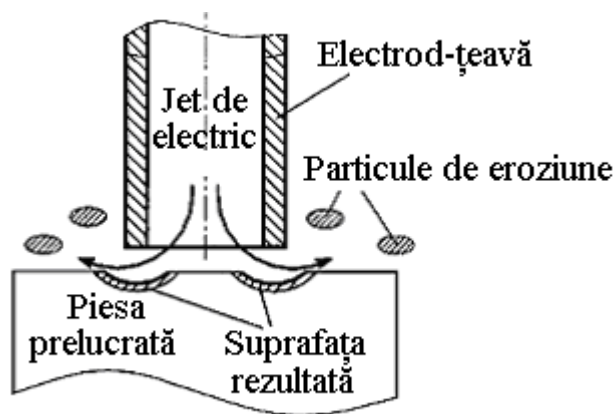


Fig. 4.9. Schema străpunerii găurilor cu electrod-țeavă [5]

b)prelucrarea dimensională cu electrod masiv. Utilizarea unui electrod masiv și a unei singure mișcări de lucru, după o direcție rectilinie, a constituit o

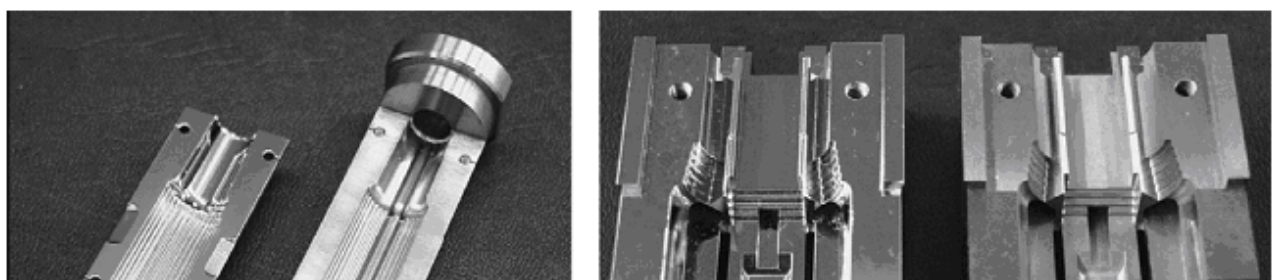


Fig. 4.10. Semifforme pentru presarea materialelor plastice obținute cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls la prelucrarea dimensională [6]

caracteristică principală a primelor procedee de prelucrare dimensională prin metoda electroeroziunii. O asemenea schemă tehnologică asigură simplitatea și precizia impusă pentru realizarea procedeului (fig. 4.10) la realizarea matricelor și

puansoanelor aplicate la prelucrarea materialelor prin deformare plastică, sau a formelor permanente aplicate la turnarea prin presiune a pieselor de dimensiuni mici și precizie sporită.

În scopul asigurării unei productivități mari, a unei precizii ridicate și a unei rugozități scăzute a suprafețelor obținute se aplică faze distincte de degroșare ($R_a \geq 25 \mu m$), semifinisare, finisare ($R_a = 0,2 \dots 0,8 \mu m$). Pentru fiecare dintre aceste faze se utilizează electrozi-scule distincti sau trepte diferite la același electrod. Pentru introducerea lichidului dielectric în zona de prelucrare există diferite soluții (prin circulație laterală, prin inecție sau absorbție, cu circulație mixtă, prin interiorul electrodului-sculă sau al semifabricatului). În unele cazuri este necesar a se asigura un traseu de lungime cât mai scăzută de parcurs pentru particulele metalice în spațiul existent între suprafața electrodului-sculă și suprafața prelucrată a semifabricatului, în scopul evitării descărcărilor electrice parazite care afectează precizia de prelucrare. Astfel în cazul prelucrării suprafețelor profilate cu geometrie strict impusă (fig. 4.11 a și b) sau a găurilor nestrăpunse cu axă rectilinie, adoptarea unei soluții de absorbție a lichidului dielectric prin interiorul electrodului-sculă va evita abaterea de formă și precizie a suprafeței rezultante.

În cazurile când este necesară obținerea unor suprafețe complicate (fig. 4.11) prin simplă copiere a formei părții active a electrodului-sculă, poate deveni o problemă asigurarea unei bune circulații a lichidului dielectric în zona de prelucrare. Rezolvarea problemei este simplă prin execuția unor orificii de evacuare în electrodul-sculă, însă trebuie să se țină cont de faptul că, diametrul acestor orificii nu trebuie să fie mai mare decât dublul mărimii interstițiului lateral (pentru a evita apariția miezurilor).

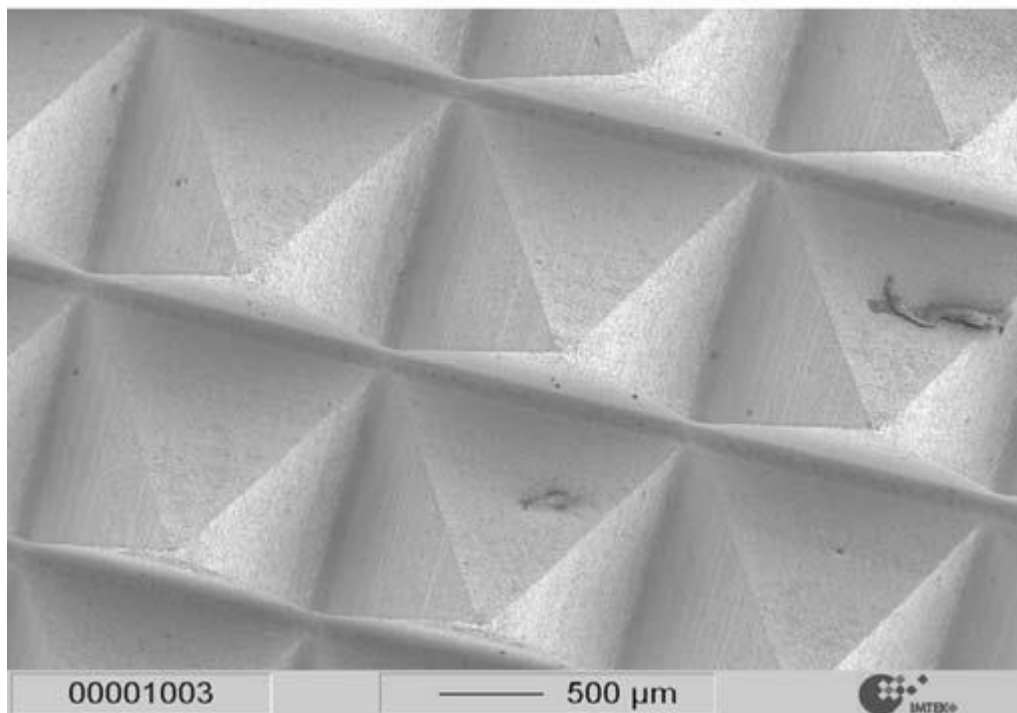
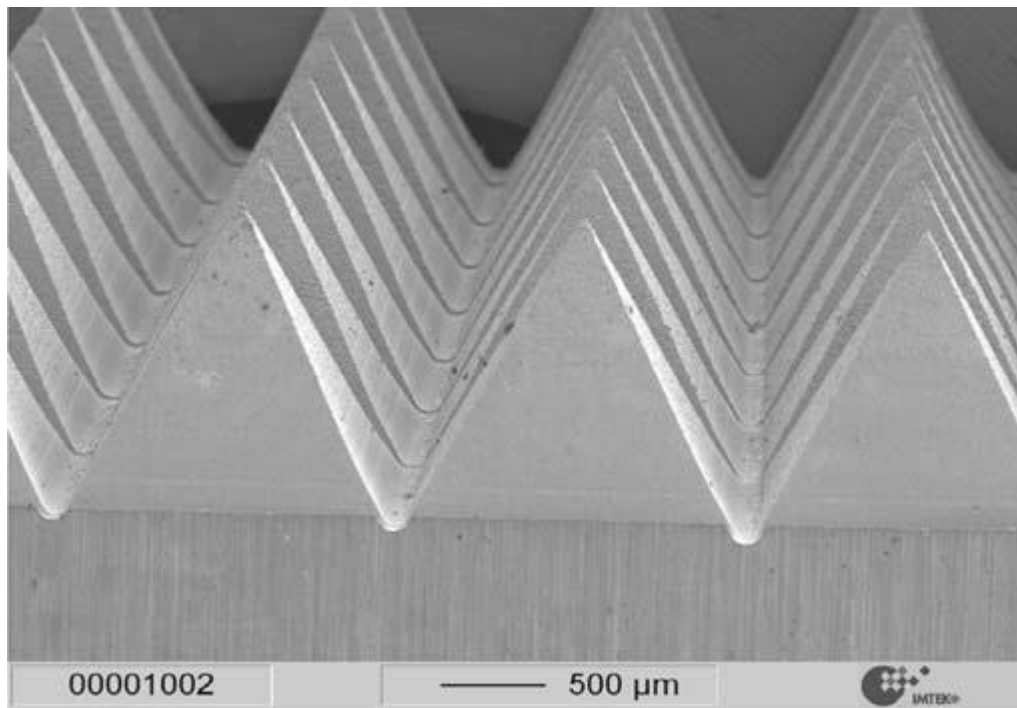


Fig. 4.11. a, b. Suprafețe cu geometrie prescrisă obținute pe piesele executate din oțeluri aliate

Un aspect deosebit al acestui tip de prelucrări îl constituie necesitatea obținerii unei rugozități mari a suprafeței prelucrate în cazul unor operații finale, acesta fiind cazul matricelor pentru injectarea maselor plastice. În scopul satisfacerii preferințelor cumpărătorilor de a dispune de obiecte din materiale plastice a le căror suprafețe să fie caracterizate de asperități cu o anumită înălțime, se recurge la o

prelucrare finală în regim de degroșare. Descărcările electrice realizate într-un regim energetic mai superior și în stil repetat vor genera cavități de dimensiuni mai mari, în care va pătrunde ulterior, prin injecție materialul plastic supus prelucrării și care va copia inversul acestor cavități.

Dacă la început, era vorba despre o prelucrare prin copiere (forma electrodului-sculă regăsindu-se pe suprafața rezultată a piesei), ulterior sau elaborat procedee care permiteau și rotirea măcar a unuia dintre electrozi sau deplasarea electrodului-sculă după traectorii complexe și realizarea unor suprafețe a căror formă este mult diferită de cea a electrodului-sculă (fig. 4.12).

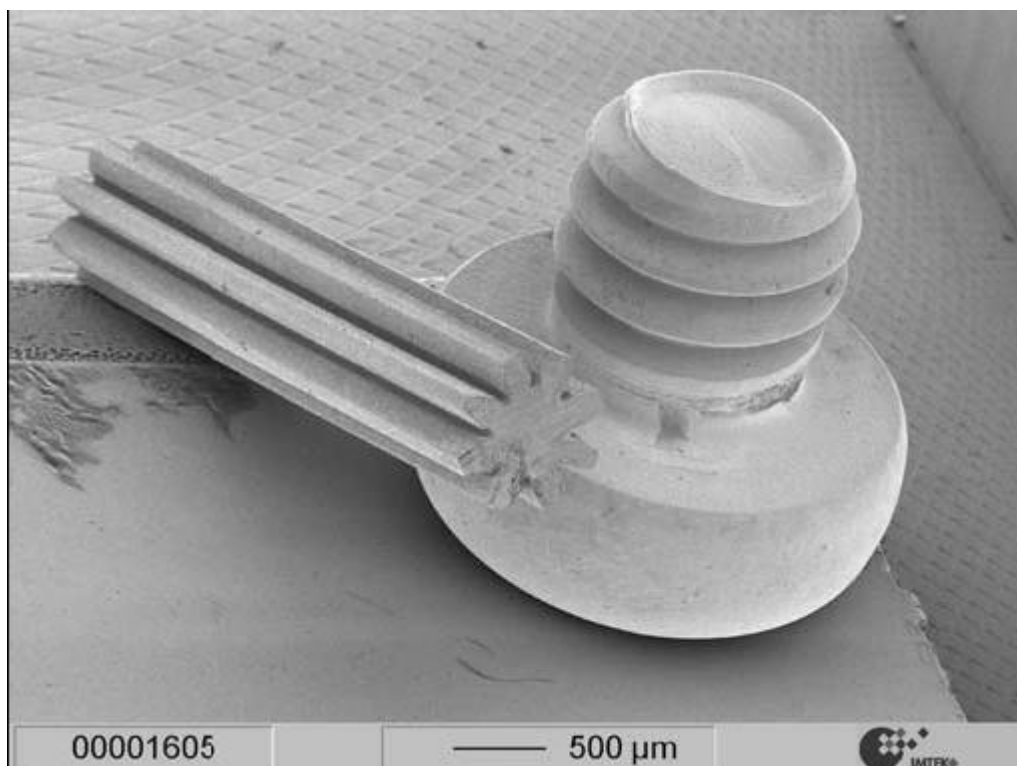


Fig. 4.12. Piese de dimensiuni mici cu suprafețe complicate executate din carburi metalice prelucrate cu aplicarea DEI

4.3. Influența parametrilor tehnologici asupra intensității electroeroziunii la prelucrarea dimensională în medii lichide

În cazul prelucrării dimensionale cu aplicarea DEI [16, 18, 19, 21, 22] intervin atât parametrii electrici, cât și parametrii neelectrici. Influența acestora se manifestă atât asupra productivității prelucrării, cât și asupra calității suprafeței rezultate.

4.3.1. Influența energiei descărcării electrice în impuls asupra volumului de material prelevat la prelucrarea dimensională

Procesul de prelucrare dimensională cu aplicarea DEI este în esență un proces electrotermic [2, 7, 10, 14, 16, 18, 29, 41, 108, 307, 378] din care motiv cantitatea de metal prelevată în cazul electroeroziunii de pe cei doi electrozi este proporțională cu energia transmisă prin interstițiu suprafețelor lor. În cazul unei descărcări solitare volumul de metal îndepărtat din piesă (V_p) poate fi determinat cu relația:

$$V_p = K_p \cdot W \quad (4.3)$$

în care: K_p - este coeficient de proporționalitate dependent de proprietățile fizico-termice al materialului de execuție al piesei, W – energia descărcării electrice în impuls (J).

Pentru materialul prelevat din electrodul-sculă poate fi determinat cu relația:

$$V_s = K_s \cdot W$$

$$(4.4)$$

O prezentare grafică a funcțiilor exprimate cu relațiile (4.3), (4.4) sunt redată în fig. 4.13.

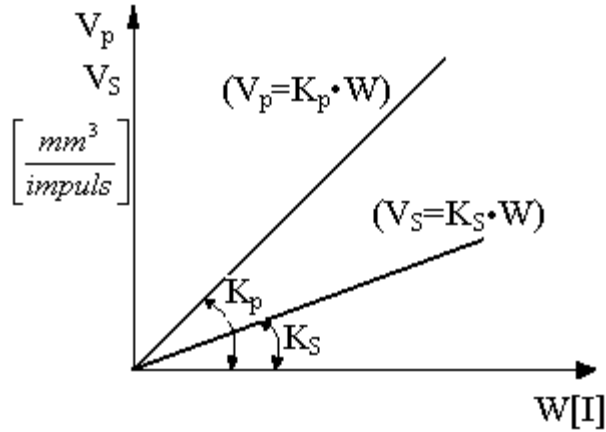


Fig. 4.13. Dependența dintre productivitate și energia impulsului la prelucrarea dimesnională cu aplicarea DEI

Variația energiei unei descărcări solitare (dW) pentru o perioadă de timp se poate exprima cu relația:

$$dW = U(t)I(t)dt$$

(4.5)

în care: $U(t)$, $I(t)$, t - reprezintă căderea de tensiune instantanee, intensitatea momentană a curentului și respectiv durata descărcării electrice în impuls.

Productivitatea (dV_p) prelucrării dimensionale într-o unitate de timp (în condițiile descărcărilor electrice repetate) se exprimă cu relația:

$$dV_p = f \cdot K_p \cdot U(t)I(t)dt \quad (4.6)$$

în care: f - reprezintă frecvența descărcărilor electrice în impuls. Relația (4.6) poate fi scrisă și sub forma:

$$dV_p = f \cdot K_p dW \quad (4.7)$$

Aceste două relații trebuie să aibă o importanță deosebită datorită implicațiilor lor atât de ordin calitativ, cât și tehnologic. Revenind la energia descărcării electrice în impuls (W) din relația 4.7, putem ușor demonstra că, sporirea acesteia din considerente tehnologice și calitative, nu poate fi realizată prin creșterea tensiunii (U) din motivul că pentru interstiții de mărime constantă pentru una și aceeași preche de electrozi ea prezintă o mărime constantă, din care motiv pot fi variate numai intensitatea curentului (I) și durata descărcării electrice în impuls (t_i) [22].

4.3.2. Influența intensității curentului asupra productivității la prelucrarea dimensională cu aplicarea DEI

Rezultatele cercetărilor experimentale realizate de către autorii lucrărilor [20, 21, 27] au demonstrat că, odată cu creșterea intensității curentului descărcării electrice în impuls (I) crește și productivitatea prelucrării, fig. 4.15.

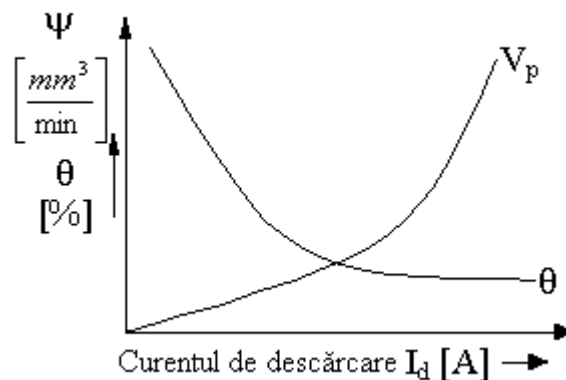


Fig. 4.14. Influența curentului descărcării electrice în impuls asupra productivității procesului de prelucrare dimensională și asupra uzurii relative a sculei, [22, 24, 27]

Totodată uzura relativă a sculei Q , definită ca raportul dintre uzura absolută a sculei (V_s) și productivitatea prelucrării (V_p) scade [19]:

$$Q = \frac{V_s}{V_p} \cdot 10^2 \quad (\%) \quad (4.8)$$

Cu cât productivitatea este mai mare, cu atât, uzura relativă a sculei este mai mică, fapt ce se observă și în fig. 4.14 prin cele două curbe corespunzătoare unor intensități în creștere ale curentului DEI. Referitor la intensitatea maximă admisă există limitări impuse de natura celor doi electrozi (proprietăți termice și electrice ale materialelor de execuție a lor) precum și de imposibilitatea evacuării rapide a căldurii ce ia naștere în interstițiul de lucru.

4.3.3. Influența duratei descărcărilor electrice în impuls asupra productivității la prelucrarea dimensională

Atât creșterea energiei cât și cea a duratei descărcării electrice în impuls provoacă sporirea productivității la prelucrarea dimensională (fig. 4.15). Acest fapt se datorește inertității proceselor de încălzire și topire a materialelor metalice, care necesită sporirea duratei descărcărilor electrice în impuls.

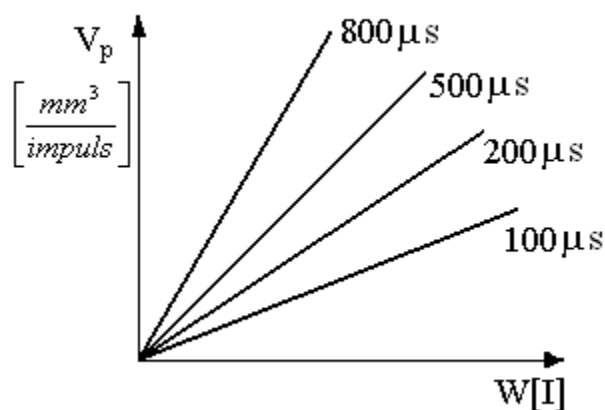


Fig. 4.15. Dependența dintre productivitatea de prelevare a materialului la prelucrarea dimensiobnală și energia descărcării electrice în impuls la diferite durate ale acesteea [25, 26]

Această durată nu poate crește însă oricât, deoarece se poate ajunge în această situație la condiția de arc electric, ceea ce duce, pe deoparte la scăderea productivității, datorită pierderii de căldură prin conductivitatea termică a materialului de execuție a piesei. Productivitatea de prelucrare față de durata de descărcare prezintă un maxim, (fig. 4.16). Acest maxim se deplasează spre valori mai mari ale duratei de descărcare, la energii mai mari ale DEI.

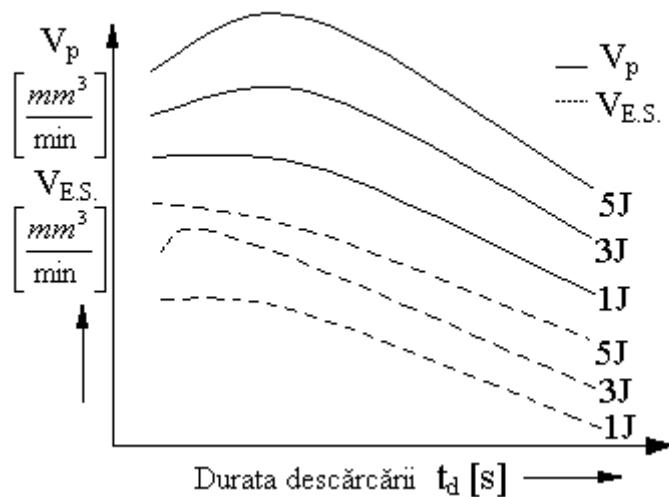


Fig. 4.16. Dependența dintre productivitate, uzura sculei de durata descărcării la diferite energii ale impulsului

Cu cât conductivitatea termică a materialului pisei este mai înaltă, cu atât maximum de productivitate se obține la valori mai reduse ale timpului de descărcare. Se ajunge aici la o situație de optim între uzura sculei (V_s) care trebuie să fie cât mai mică și productivitatea de prelucrare ce trebuie să fie cât mai mare. Acest optim se poate ilustra dacă se folosește în locul uzurii (V_s) a electrodului-sculă, uzura relativă (Q), fig. 4.17.

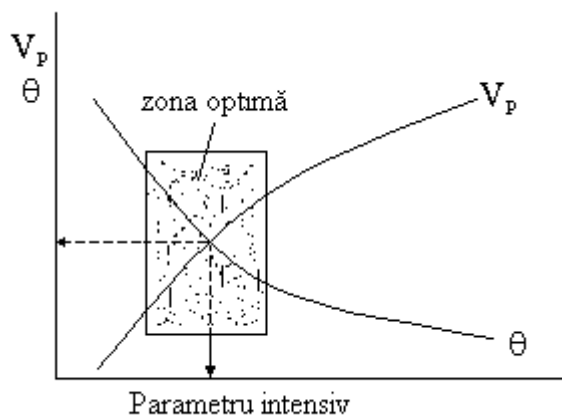


Fig. 4.17. Ilustrarea optimului dintre uzura minimă a sculei și productivitatea maximă a prelucrării

Se observă că timpul optim de descărcare se situează în zona punctului de intersecție dintre (V_p) și (Q) .

4.3.8. Influența frecvenței descărcărilor electrice în impuls asupra productivității la prelucrarea dimensională prin electroeroziune

Din relația (4.6) rezultă că odată cu creșterea frecvenței descărcărilor electrice în impuls crește și productivitatea (V_p) . Acest lucru este însă valabil numai atunci, când această creștere se realizează pe seama reducerii timpului de pauză (t_p) . De către autorii lucrărilor[22-25], s-a demonstrat că, timpul de pauză nu poate fi redus sub o anumită limită din cauza timpului necesar deionizării mediului dintre cei doi electrozi. Creșterea frecvenței pe seama reducerii duratei descărcării duce, așa cum s-a arătat deja, la scăderea productivității și la creșterea uzurii relative a electrodului-sculă, (fig. 4.18) în schimb scade și rugozitatea suprafețelor prelucrate. Se deduce de aici că, în cazul prelucrării de finisare se recomandă prelucrarea cu impulsuri de frecvențe sporite.

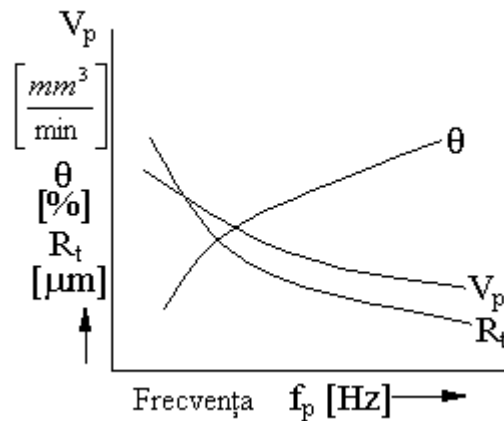


Fig. 4.18. Funcția dintre productivitatea prelucrării dimensionale, uzura relativă a sculei și rugozitatea suprafeței prelucrate, de frecvența descărcărilor electrice în impuls [24]

4.3.9. Influența parametrilor de natură neelectrică asupra productivității prelucrării dimensionale prin electroeroziune

Din punct de vedere cantitativ parametrii neelectrici sunt cuprinși în constanta de proporționalitate (K_p). Dintre parametrii neelectrici cei mai importanți sunt: distanța dintre cei doi electrozi (interstițiul), aria suprafeței prelucrate, natura dielectricului și parametrii lui hidrodinamici etc. Este greu de analizat separat fiecare din acești parametri, pentru că mulți dintre ei se influențează reciproc. Modificarea interstițiului de lucru provoacă imediat și modificarea presiunii și a vitezei dielectricului, corespunzător se modifică și debitul acestuia.

Influența presiunii dielectricului asupra productivității este ilustrată în fig. 4.19, fig. 4.20. Dielectricul poate fi introdus în zona interstițiului de lucru printr-un ajustaj (pentru soluția recomandată la obținerea unor cavități de adâncime mică) sau prin electrodul-sculă cav (în acest caz existînd soluția trimerii sale sub presiune prin interstițiu sau soluția aspirării lui interstițiu). Ambele variante conduc la o îndepărtare rapidă a produselor de eroziune.

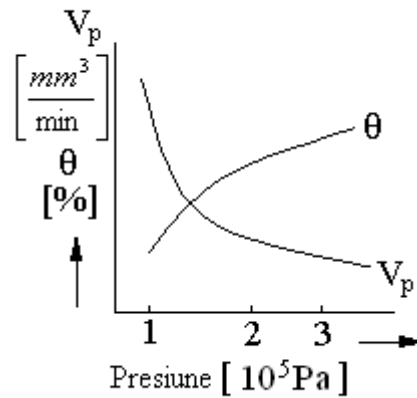


Fig. 4.19. Dependența productivității prelucrării dimensionale și a uzurii sculei în funcție de presiunea dielectricului la procesul de degroșare

În fig. 4.19 este prezentată influența presiunii dielectricului [24, 25] asupra productivității și a uzurii relative a sculei în cazul procesului de degroșare, iar în fig. 4.20 aceleași dependențe pentru procesul de finisare.

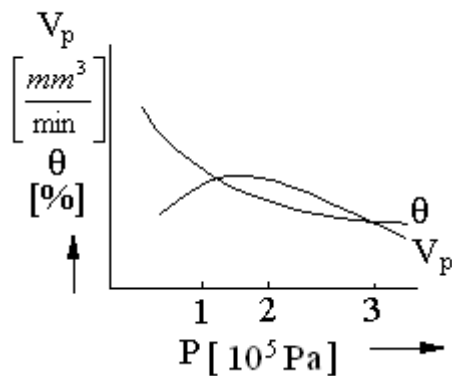


Fig. 4.20. Dependența productivității și a uzurii relative în funcție de presiunea dielectricului la procesul de finisare

Rezultă că la degroșare presiunea dielectricului trebuie să fie mai mică sub $10^5 Pa$, numai în acest caz productivitatea este mai mare și uzura relativă a sculei mică [25].

În cazul finisării optimul presiunii se situează în jurul valorii de $1,5 \cdot 10^5 Pa$.

În ce privește influența ariei suprafeței prelucrate ca parametru neelectric, fig. 4.21, ea se manifestă în sensul scăderii productivității și a calității prelucrării cu depășirea unei anumite mărimi a ariei suprafeței, odată cu creșterea acesteia. Acest lucru se datorește dificultății cu care sunt îndepărtate produsele eroziunii din interstițiul de lucru în cazul unor suprafețe mari de prelucrare. Suprafața de prelucrat este limitată și din punct de vedere al parametrilor electrotehnologici. La o anumită putere instalată a generatorului de impulsuri de curent se ajunge, la situația de a nu putea asigura o densitate de curent optimă atunci când se mărește suprafața de prelucrare. Acest lucru se răsfrânge în principal asupra productivității.

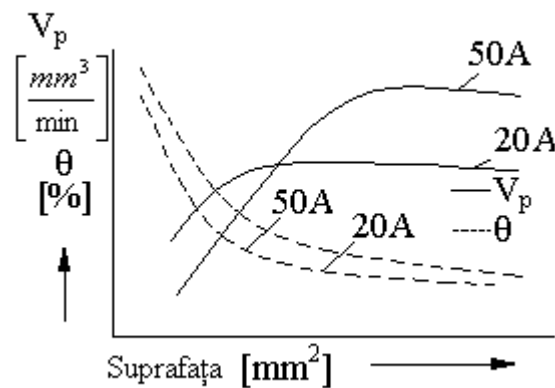


Fig. 4.21. Influența ariei suprafeței de prelucrare asupra productivității și uzurii relative a sculei

4.3.10. Rolul dielectricului utilizat asupra productivității la prelucrările dimensionale cu aplicare DEI

Rolul principal al dielectricului este acela de a asigura și stimula formarea canalelor de ionizare în timpul descărcărilor electrice în impuls dintre electrodul-sculă și obiectul prelucrării. Pe lângă acest rol dielectricul mai îndeplinește funcția de agent de îndepărtare a produselor de eroziune precum și cel de preluare și

îndepărtare a căldurii ce ia naștere în interstițiul de lucru ca urmare a descărcărilor electrice. Pentru a asigura prelucrarea în condiții de productivitate sporită dielectricul trebuie să satisfacă următoarele prescripții [23-25]:

- să aibă conductivitate electrică redusă,
- să nu-și modifice vâscozitatea în timpul prelucrării,
- să prezinte punct de inflamabilitate cât mai ridicat,
- să nu se descompună și să nu producă subproduși nocivi,
- să nu se ionizeze în timpul prelucrării,
- să prezinte rezistența chimică față de acțiunea aerului,
- să aibă un cost redus și să fie ușor de recondiționat.

Indiferent de calitatea și natura dielectricului nu se poate evita distrugerea parțială a dielectricului în special prin fenomenul de piroliză care generează în rîndul dielectricilor organici în: hidrogen, acetilenă, oxigen, parafine, fum, cocs sau chiar pulberi fine de diamant. Piroliza consumă o mare parte din energie și duce și la creșterea vâscozității și conductivității dielectricului cu efecte negative asupra productivității și calității prelucrării. Pe lângă produsele solide de piroliză în dielectric se mai găsesc produse de eroziune foarte fine ce nu sunt reținute de circuitele de filtrare. În conformitate cu rezultatele obținute de autorii lucrării [23] în fig. 4.22 este prezentată funcția productivității prelucrării dimensionale cu aplicarea DEI de gradul de impurificare a dielectricului. Se observă că la un grad de impurificare a dielectricului la valori de circa 2% productivitatea are valoare relativ constantă, la creșteri relativ mici de numai 4% a impurificării productivitatea scade cu 30-40% din cea inițială. Această scădere este cu atât mai accentuată cu cât energia de descărcare este mai mare [24].

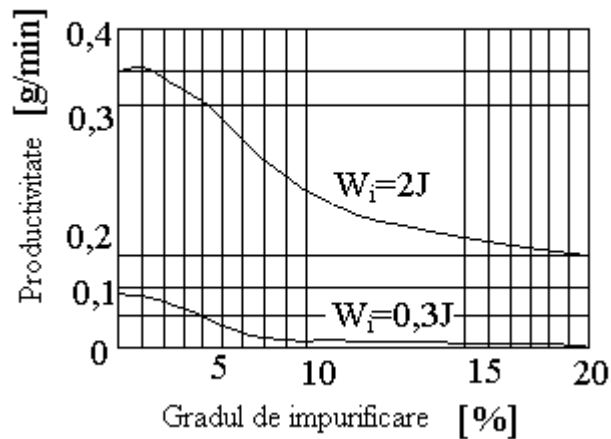


Fig. 4.22. Influența gradului de impurificare a dielectricului asupra productivității procesului de electroeroziune

Temperatura dielectricului influențează productivitatea prelucrării în sensul că, la temperaturi mici sub 40-50°C crește vâscozitatea, ceea ce duce la scăderea vitezei de evacuare a produselor de eroziune. La temperaturi prea mari, au loc evaporări ale dielectricului cu degajări de gaze, ceea ce conduce la apariția unei instabilități pronunțate a procesului electroeroziv.

În fig. 4.23 este prezentată influența pe care o exercită variația temperaturii dielectricului asupra productivității procesului de prelucrare dimensională în cazul a trei dielectrici obișnuiți.

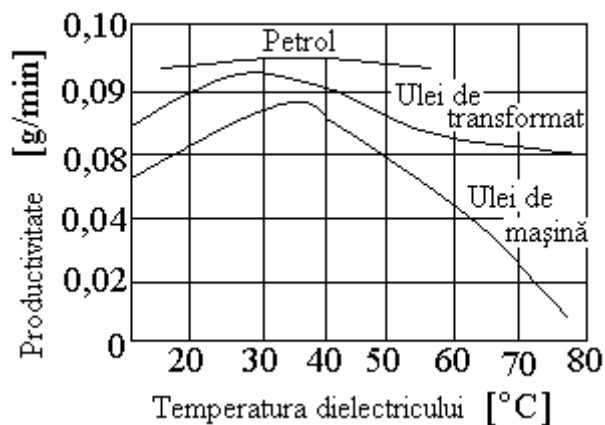


Fig. 4.23. Influența temperaturii dielectricului asupra productivității procesului de electroeroziune

4.3.11. Dielectrici utilizați la prelucrarea prin electroeroziune

Petrolul – este dielectricul cu utilizarea cea mai răspândită la prelucrarea dimensională cu aplicarea DEI, întrucât prezintă o vîscozitate foarte scăzută în comparație cu uleiurile. Nu trebuie de neglijat nici prețul de cost mult mai scăzut al lui în comparație cu uleiurile. Ca un dezavantaj al acestuia trebuie menționat punctul de inflamabilitate scăzut, ceea ce duce la pericole de incendiu. Punctul de inflamabilitate crește prin adăugarea de sulf în procent de pînă la 2-3%. Sulful mai are efect și de scădere a uzurii electrodului-sculă prin formarea la suprafața acestuia a unor pelicule protectoare de sulfuri, precum și de sporire a productivității cu 20-60%. Utilizarea lichidelor dielectrice în bază de petrol este recomandabilă pentru regimurile de finisare, precum și la prelucrarea carburilor metalice.

Uleiuri minerale – sunt dielectrici cu utilizare largă în special la regimurile de degroșare. Pentru a putea fi folosite în condiții optime și la regimuri de finisare este necesar ca acestea să aibă o vîscozitate cît mai scăzută. Cînd nu se dispune de uleiuri cu vîscozitatea dorită se purcede la diluarea cu petrol. Același procedeu se practică și atunci cînd vîscozitatea atinge valori prea ridicate ca urmare a impurificării. Punctul de inflamabilitate a uleiurilor este mai ridicat decît a petrolului. Cu toate acestea, faptul că uleiurile sunt utilizate și la regimurile de degroșare cu efecte termice puternice, provoacă pericole de incendiu datorită, gazelor inflamabile ce iau naștere în timpul procesului de piroliză.

Apă dublu distilată. Din punct de vedere economic apa dublu distilată reprezintă dielectricul ideal, iar din cel de vedere tehnic nu este chiar așa, deoarece apa se ionizează relativ repede, transformîndu-se din dielectric în electrolit, iar legea care guvernează transferul de masă nu este legea Joule-Lentz ci legea

Faradey; pe lângă fenomenul de eroziune are loc și un efect de dizolvare anodică a materialului piesei. Acest efect poate juca și un rol benefic atunci când efectul este concentrat pe suprafețe mici, ducând la lustruirea acestora, așa cum este cazul prelucrării prin eroziune cu fir, fapt ce face ca utilizarea de bază a apei bidistilate să fie aplicată la prelucrarea dimensională cu electrod filiform. Există și substanțe de deionizare care adăugate la apa reciclată restabilesc constanta dielectrică a acesteia.

Pentru a corespunde în permanență condițiilor optime de lucru dielectricul trebuie purificat. Reamintim că impuritățile din dielectric provin, în primul rând, din produsele de eroziune ale obiectului prelucrării, precum și din produsele de eroziune a electrodului-sculă ca urmare a uzurii acestuia. Afară de aceste considerente, particulele metalice într-o gamă granulometrică foarte largă se găsesc în dielectric și produse de piroliză. Purificarea se poate realiza prin:

- sedimentare mecanică,
- centrifugare,
- filtrare cu material filtrant, filtrare cu hidrocicloane,
- filtrare magnetică.

Cu toate operațiile de regenerare aplicate la perioade regulate sunt necesare înlocuirea totală a dielectricului. Această perioadă variază în funcție de regimul de exploatare: continuu sau discontinuu, intensitatea regimului electroeroziv, volumul rezervorului de dielectric etc., putând să asigure o perioadă de lucru de la 30 la 180 zile.

Bibliografie

1. Sandeep, Dhanik, Suhas, S. Joshi. Modeling of a Single Resistance Capacitance Pulse Discharge in Micro-Electro Discharge Machining, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2005. vol. 127, 759 – 767.

2. Tosun, N., Cogun and H. Pihtili The Effect of cutting Parametrs on Wire Croter Sizes in Wire, Int J. Adv Technol 2003. 857 – 865.
3. Her, M. – G. and Weny, F. – T. Micro-hole Machininy of Copper Usiny the Electro-discgarge Machining Process with a tunysten Carbide Electrode compared with a Copper Electrode. Int: J. Adv Manuf. Technol. 2001. 715 – 719.
4. 1. J.A. Sanchez a, J.L. Rodil a, A. Herrero, b, L.N. Lopez, de Lacalle a, A. Lamikiz a, On the influence of cutting speed limitation on the accuracy of wire-EDM corner-cutting, Journal of Materials Processing Technology 182 2007. 574–579.
5. Norliana, Mohd, Abbas; Darius, G. Solomon; Md. Fuad, Bahari. A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM), International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 2007. 1214–1228.
6. Y. Uno^a; A. Okada^a; K. Uemura^b; P. Raharjo ^b; S. Sano ^c; Z. Yuc; S. Mishima ^d. A new polishing method of metal mold with large-area electron beam irradiation, Journal of Materials Processing Technology 187–188. 2007. 77–80.
7. Лазаренко, Б. Р.; Лазаренко, Н.И. Электрическая эрозия металлов, Госэнергоиздат 48. Москва: Ленинград. 1944.
8. Золотых Б. Н., Физические основы электроискровой обработки металлов. Гос. тех. издат. Москва. 1953. 107 с.
9. Золотых, Б. Н., О расчёте технологических характеристик процесса размерной электроискровой обработки материалов, вып.1. Изд-во. АН СССР. Москва. 1960. с. 221 – 232.
- 10.Бакуто, И.А., О зависимости электроэрозионного эффекта от электрического режима разряда, В.кн., Сб. научных трудов Ф.Т.И. АН БССР. вып.5, Изд-во. АН БССР, МИНСК. 1959. с. 213 – 222.
- 11.Некрашевич, И. Г.; Бакуто, И. А. К вопросу о современном состоянии теоретических представлений об электрической эрозий

- металлов. – В.кн.: Электроискровая обработка металлов. Москва: Изд-во. АН СССР, 1963. с. 24 – 28.
12. Намитоков, К.К. Электроэрозионные явления. Энергия 456. Москва. 1978.
13. Головейко, А. Г. Исследование процессов на электродах в условиях мощного импульсного разряда. Автореферат дис. канд. физ.-мат. Наук 27. Минск. 1963.
14. Буравлев, Ж. М.; Рудневски, Н. К.; Грикит, И. А. Спектральный анализ металлов и сплавов. Техника. Киев. 1976. 190 с.
15. ***Электроискровое легирование металлических поверхностей, Библиографический указатель литературы за 1943-1973 г.г. Кишинёв: Штиинца, 1974. 87 с.
16. ***Электроискровое легирование металлических поверхностей, Библиографический указатель литературы за 1974-1979 г.г. Кишинёв: Штиинца, 1981. 60 с.
17. Золотых, Б. Н.; Мельдер, Р. Р. Физические основы электроэрозионной обработки. Москва. 1977.
18. Лазаренко, Б. Р.; Лазаренко, Н. И.; Бакал, С. З. Некоторые особенности процесса электроискрового легирования металлических поверхностей в вакууме. Электронная обработка материалов № 4. 1969. с. 27 – 30.
19. Хасуй А. Техника напыления. М.: Машиностроение, 1975. 288 с.
20. Мицкевич, М.К.; Бушик, А.И.; Бакуто, И.А.; Шилов, В.А.; Девойно, И.Г. Электроэрозионная обработка металлов. Минск: Наука и техника, 1988. 216 с.
21. Топала, П. А.; Ревуцкий, В.М. Процессы на электродах при низковольтных разрядах на промежутках больше пробивных. Пятое Всесоюзное совещание по электрической обработке металлов. Кишинев. 1985. с. 73 – 74.
22. Nanu, Aurel „Tehnologia materialelor” Chişinău

23. Артамонов, Б.А.; Волков, Ю.С.; Дрожалова, В.И. и др. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Т1 и Т2. Москва: Высшая школа, 1983.
24. Marinescu, N.I.; Sturzu, A.; Vişan, A.; Gavrilaş, I. Tehnologii moderne în construcția de mașini. București, 1984. 199 p.
25. Slătineanu, Laurențiu. Tehnologii neconvenționale în construcția de mașini. Chișinău: Tehnica INFO, 2000. 252 p.
26. Achimescu, N. Study of the process of special forms during processing by electrical erosion – geometrical and substantial aspects. Summary of the doctorate thesis. Timișoara: IPTV, 1983. 28 p.
27. Gavrilaş, I.; Marinescu, N.; Vişan A. Modern technologies in machine-building, Bucharest: Politechnics Institute, 1997.

V. Formarea straturilor de depunere cu rupere de contact

5.1. Generalități

Printre variantele existente de formare a straturilor de depunere din pulberi cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls pot fi evidențiate două grupe : cu rupere de contact, la care pulberea este liber turnată pe suprafața de prelucrat [22] sau cu rupere de contact la care pulberea este alipită prealabil de suprafața prelucrată și apoi prin contactările periodice a electrodului-sculă și dezvoltarea descărcărilor electrice în impuls este topită și depusă pe suprafața piesei cu formarea stratului depunerii [1]. Cea de-a doua variantă presupune utilizarea pulberilor fine și prezența unui liant care influențează compoziția chimică și proprietățile stratului format. La realizarea primei variante materialul pulberii este consumat neeconom.

Autorii lucrării au propus un procedeu de formare a depunerilor din pulberi cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls cu rupere de contact esența căruia constă

[4] în aceea, că materialul pulverulent se introduce între electrozi în zona de acțiune a descărcărilor în momentul deplasării electrodului-sculă (anod) în jos spre suprafața piesei-catod (fig. 5.1). Acesta se realizează ușor cu instalațiile industriale de tipul EFI și Elitron, port sculele cărora sunt dotate cu dispozitive speciale de alimentare a interstițiului cu pulberi.

Deoarece procesul de formare a depunerilor și calitatea acestora sunt funcție de precizia de dozare a pulberii și introducerea continuă sau sacadată a acesteea în interstițiu vom analiza câteva scheme tehnologice de realizare a acestui procedeu. În unul din cazuri, materialul pulberii se introduce în zona de prelucrare prin electrozi tubulari (schema axială de introducere) (fig. 5.2) aceasta permite o prelucrare mai completă a pulberii, deoarece ieșirea pulberii din electrodul-sculă totdeauna are loc în zona de acțiune a canalului de plasmă al descărcării electrice în impuls.

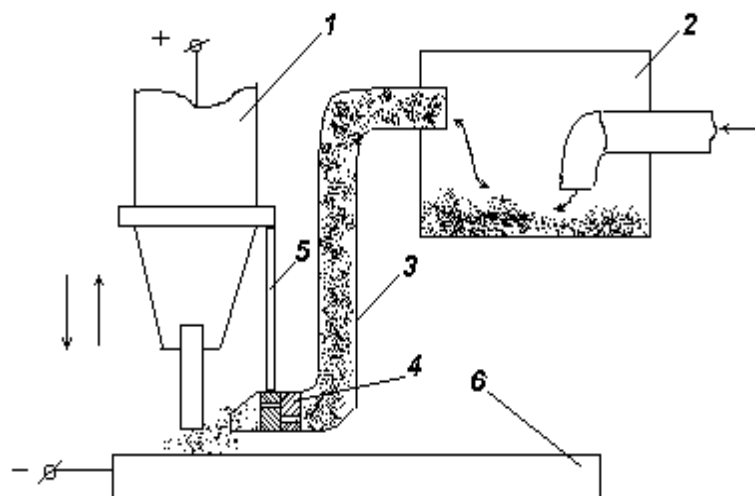


Fig. 5.1. Dispozitiv pentru formarea depunerilor cu rupere de contact din pulber cu introducerea dozată a acesteea în interstițiu în perioadele de apropiere a electrozilor: (1) vibrator; (2) alimentator cu pulbere; (3) tub de racordare; (4) clapetă; (5) pîrghie; (6) piesă de prelucrat.

Cercetările experimentale au demonstrat, că această schemă de introducere a pulberii în interstițiu este mai eficientă la formarea depunerilor pe suprafețe plane. Necătînd la simplitatea realizării acestui procedeu el necesită fabricarea electrozilor-scule tubulari executați din același material cum și cel de fabricare al pulberii pentru a evita influența materialului acestuia asupra compoziției și proprietăților depuneri formate.

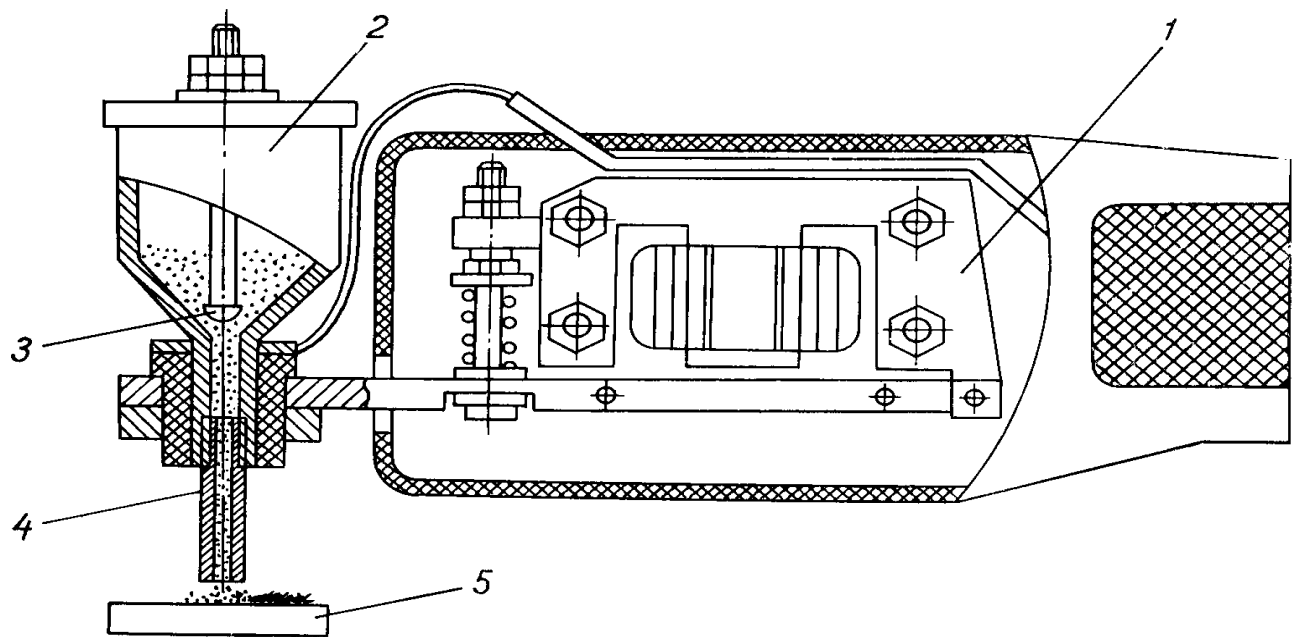


Fig. 5.2. Dispozitiv pentru formarea depunerilor din pulberi cu introducerea dozată a materialului dispers prin electrodul tubular : vibrator(1); alimentator cu pulberi (2); element de dozare (3); electrod (4); piesă de prelucrat (5).

Un caz aparte îl prezintă, schema de introducere a pulberii în interstițiu prin partea laterală sau prin partea frontală a electrodului-sculă (fig. 5.3) creînd astfel posibilitatea ca la contactarea electrozilor și amorasarea descărcării electrice în

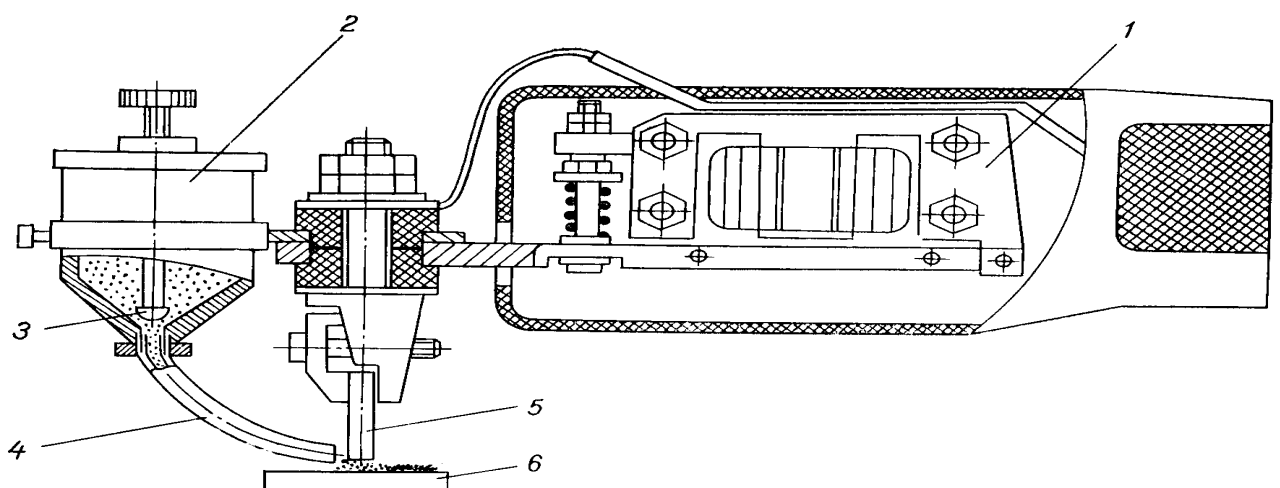


Fig. 5.3. Schema introducerii frontale a materialului dispers:

- 1) vibrator;
- 2) alimenator de pulberi;
- 3) element de dozare;
- 4) niplu;
- 5) electrod;
- 6) piesa de prelucrat

impuls, canalul de plasmă al acesteea să atace suprafața de prelucrat a piesei, deja acoperită cu pulberi.

Aceste scheme de introducere a pulberii în interstițiu sunt mai tehnologice și permit aplicarea depunerilor și pe suprafețele pieselor cilindrice (fig. 5.4). Ultima schemă de realizare a procedului permite mecanizarea procesului de formare a depunerii și îi asigură stratului format continuitate deplină și uniformitate după grosime. În scopul realizării celor menționate mai sus dozatorul cu pulbere este instalat în așa mod, ca getul de pulberi să pătrundă în interstițiu tangențial la suprafața piesei de prelucrat. Particulele de pulberi, nimerind în interstițiu, sub acțiunea schimbului de căldură cu plasma descărcărilor electrice în impuls și căldurii Joule-Lentz degajate pe rezistența activă a acestora la parcurgerea lor de către curentul descărcărilor electrice în impuls se topesc. Sub acțiunea forțelor electrodinamice sunt transferate pe suprafața de prelucrat a piesei și interacționând cu faza ligidă a materialului acestea formează stratul de depunere.

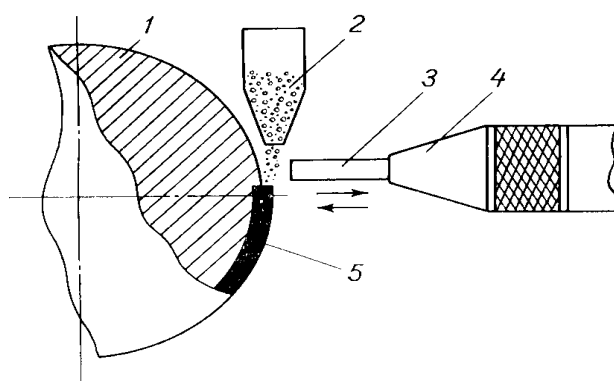


Fig. 5.4. Schema formării depunerii pe suprafețele de rotație a pieselor cilindrice:

- 1) piesă (catod);
- 2) alimentator cu pulbere;
- 3) anod;
- 4) vibrator;
- 5) strat aliat.

Schemele tehnologice prezentate mai sus permit realizarea dozării relativ fine și introducerii pulberii în interstițiu însă, pentru fiecare caz aparte (regim de formare a depunerii și material al piesei de prelucrat) debitul pulberii din dozator se determină în mod experimental reeșind din condiția de prelucrare și cea de utilizare maximă a pulberii.

Comparând rezultatele obținute la formarea depunerilor din materiale compacte cu cel al formării straturilor cu aplicarea pulberilor pot fi puse în evidență un șir de avantaje ale ultimului.

De exemplu, acesta asigură formarea depunerilor pe suprafețele pieselor executate din materiale ușor fuzibile cum ar fi aluminiul și magneziul, din motivul redistribuirii energiei degajate în interstițiu între canalul de plasmă, suprafețele electrozilor și particulele de pulberi. Acest efect condiționează micșorarea energiei de activare a suprafeței prelucrate ce condiționează eroziunea mai mică a acesteea.

Pe de altă parte, considerabil se ușurează formarea depunerilor (cu grosimea de 0,2...0,3 mm) din pulberi executați din materiale ușor fuzibile (cositor, plumb, cadmiu, stibiu ș.a.) pe suprafețele pieselor executate din aliajele de construcție. Prelucrarea cu electrozi compacți din materialele enumerate este neefectivă, iar în unele cazuri practic imposibilă. În timpul impactului cu suprafața piesei de prelucrat electrozii-scule se deformează. În afară de aceasta, din cauza temperaturii de topire joase a anodului, prelucrarea chiar și la regimuri cu valori minime ale energiei descărcării (1,0...0,1 J) provoacă transferul unei cantități considerabile a fazei lichide de material de depunere la o descărcare solitară și, ca urmare, formarea unor depuneri cu denivelări.

Este necesar a pune în evidență posibilitatea formării depunerilor cu mai multe faze din amestecuri de pulberi executate din diferite materiale. De exemplu, la alierea superficială cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls la introducerea în interstițiu a pulberilor din metale ușor fuzibile (cositor, stibiu) și metale greu fuzibile sau cu compușii lor (Ti, Zr, TiC, ZrC) au fost realizate depuneri compozite cu structuri eterogene (fig. 5.5).

Astfel procedele precăutate mai sus sporesc considerabil posibilitățile aplicative ale descărcărilor electrice în impuls cu rupere de contact la formarea depunerilor pe contul posibilității de prelucrare a pieselor executate din materiale ușor fuzibile (aluminiu, magneziu) și lărgirea gamei materialelor utilizate la formarea depunerilor.

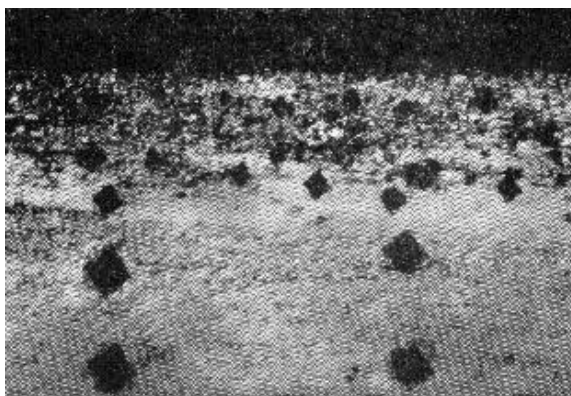


Fig. 5.5. Microstructura aliajului din aluminiu Al25 după formarea depunerii din amestecul de pulberi (TiC+Al+Sn). Energia descărcării – $4J \times 200$.

5.2. Instalații și echipamente utilizate la formarea depunerilor cu aplicarea DEI cu rupere de contact

5.2.1. Descrierea instalațiilor și echipamentului

În ultimele decenii a secolului XX au fost inventate și elaborate o serie de instalații ce permit formarea straturilor de depunere, atât a suprafețelor plane cât și a celor cu o configurație complexă ale pieselor [22, 33, 47]. În scopul lărgirii domeniilor de utilizare au fost elaborate mai multe instalații experimentale atât cu dirijare manuală cât și automată. Caracteristicile principale a acestor instalații sunt prezentate în tabelul 5.1.

Ambele tipuri de instalații au frecvența impulsurilor de curent de la 1 la 100 Hz; productivitatea 2-10 cm^2/min ; capacitatea bateriei de condensatoare – 600 μF ; timpul de funcționare neîntrerupt – 8 ore; diametrul granulelor de pulberi utilizate $3 \leq d \leq 200 \mu m$.

Tabelul 5.1

Caracteristicile tehnologice a instalațiilor manuale de formare a straturilor de depunere

| Denumirea instalației | Productivitatea (cm/min) | Productivitatea ($\mu\text{g}/\text{cm}$). | Grosimea stratului depus, (mm). | Înălțimea neregularităților, (μm) | Tensiunea de lucru, (V). | Pute-rea, (kW). | Dimensiunile instalației | Masa |
|-----------------------|--------------------------|--|---------------------------------|--|--------------------------|-----------------|--------------------------|------|
| EFI-10M | 0,25-2 | 0,6/14,7 | 0,05-0,1 | 10 | 220 | 0,5 | 546x360x318 | 60 |
| EFI-45 | 0,5-2 | 0,5-14,7 | 0,05-0,1 | 10 | 220 | 0,5 | 546x360x318 | 40 |
| EFI-46,46A | 0,5-2 | 0,5-18 | 0,05-0,12 | 10 | 220 | 0,5 | 411x286x303 | 27,5 |
| EFI-23M | 1,5-5 | 18-80 | 0,14 | 20-160 | 220 | 1 | 555x350x365 | 50 |
| EFI-25M | 3,3 | 10-65 | 0,3 | 40-80 | 220 | 1,6 | 420x490x750 | 200 |
| EFI-25A | 6 | 52-168 | 0,05-0,3 | 15-50 | 380/220 | 2,5 | 590x530x1190 | 80 |
| EFI-7M | 3-6 | 9,1-106 | 0,04-0,14 | 12-60 | 380/220 | 3,2 | 590x530x1200 | 180 |
| EFI-22 | 4-12 | 0,29-19,2 | 0,05-0,15 | 2-40 | 380/220 | 3,5 | 590x530x1200 | 185 |
| ELITRO N-12 | pînă la 3 | | 0,01-0,1 | 40 | 220 | 0,22 | 12 | 12 |
| ELITRO | pînă la 3 | | 0,01- | 25 | 220 | 0,33 | 25 | 25 |

| | | | | | | | | |
|----------------|-----------|--|---------------|-------|-----|-----|----|----|
| N-14 | | | 0,03 | | | | | |
| ELITRO N-22 | pînă la 5 | | 0,01- 0,12 | 16-80 | 220 | 0,4 | 22 | 22 |

5.2.2. Instalația „Elitron-22”

Instalația experimentală „Elitron-22” (fig. 5.7) în lucrarea de față este utilizată în scopul cercetării fenomenelor de electroeroziune pe suprafețele electrozilor în procesul alierii suprafețelor metalice cu utilizarea materialelor compacte, unde piesa îndeplinește funcția de catod, iar anodul sub formă de bară joacă rolul de sculă.

Schema principială a instalației este reprezentată în fig. 5.6. Această instalație se alimentează de la rețeaua electrică industrială monofazată (220 V). Circuitul de putere este alcătuit din transformatorul T_1 , puntea de redresare D_1 , și bateria de condensatoare C_1 . De la bobina secundară a transformatorului T_1 , prin puntea de redresare D_1 , se încarcă bateria de condensatoare C_1 . Tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare poate fi reglată pe trepte de la 15V pînă la 200V. La contactarea periodică a anodului cu catodul se închide circuitul condensator, anod, catod, condensator. Descărcarea electrică are loc la ruperea contactului electric dintre anod și catod.

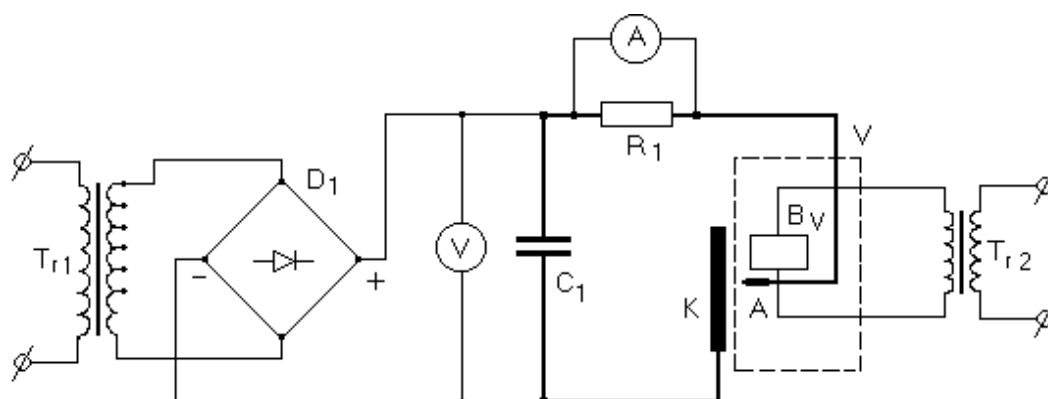


Fig. 5.6. Schema electrică principială a instalației pentru alierea suprafețelor metalice prin descărcări electrice în contact

A – anodul.

K – catodul.

Anodul sculă este fixat pe portelectrod (fig. 5.8). Acest lucru ne permite prelucrarea nu numai a suprafețelor plane, dar și suprafețe complexe interne sau externe. Tot aici este montat într-un corp dielectric un vibrator care se alimentează de la transformatorul T_2 . La contactarea periodică a anodului sculă A cu catodul-piesă K prin intermediul vibratorului V , are loc descărcarea electrică în impuls fapt ce condiționează topirea suprafețelor electrozilor. Sub acțiunea forțelor electrodinamice are loc transferul materialului topit de pe anod pe suprafața catodului și formarea stratului de depunere.

Instalația are 6 regimuri de funcționare ce pot fi reglate prin bobina secundară a transformatorului de putere T_1 , mod în care pot fi schimbate regimurile energetice de încărcare a bateriei de condensatoare C_1 . Puterea instalației este de $0,5 \text{ kW}$. Capacitatea bateriei de condensatoare este de $400 \mu\text{F}$.



Fig. 5.7. Instalația Elitron-22

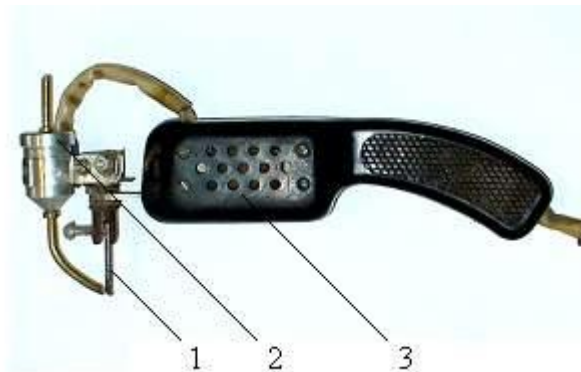


Fig. 5.8 Vibratorul instalației „Elitron-22” (3), dotat cu electrodul sculă (1) și dispozitivul de dozare a pulberii (2).

Pentru introducerea pulberii în interstițiu s-a folosit un buncăr ce a fost montat pe suportul de fixare al anodului.

Capacitatea buncărului este de 15-20 g de pulberi metalice, care se introduc prin gaura de alimentare 3 (fig. 5.8). Datorită vibrațiilor produse de vibratorul *V* pulberile se introduc uniform în interstițiu. Cu ajutorul șurubului de dozare *I* se poate regla debitul de pulberi introduse în interstițiu.

Pentru evitarea descărcărilor în gol, îndeosebi la regimuri energetice mici, instalația este dotată cu un reglator al frecvenței vibratorului, diapazonul de reglare fiind de la 40...100 Hz.

5.2.3. Reglarea debitului pulberi introduse în interstițiu la formarea depunerilor

Pentru introducerea pulberilor metalice în jetul de plasmă sau în canalul descărcării electrice se utilizează mai multe tipuri de dozatoare cum sunt cele cu șurub melc, vibrante, electrodinamice etc.

În cazul depunerilor de pulberi metalice cu descărcări electrice în contact, la instalația „Elicon-22” fig. 5.7, a fost utilizat un dozator obișnuit ce a fost montat pe portelectrodul vibrant, cu reglarea canalului de pulberi metalice prin ridicarea sau coborîrea acului de dozare, ce formează un interstițiu dozator între acul de dozare și corpul buncărului (fig. 5.9). În buncăr se toarnă aproximativ 20 g de pulberi metalice în timp ce ștuțul de dozare este închis. După ce șurubul de reglare se fixează la un debit minimal în regim de lucru al vibratorului, se cronometrează timpul de curgere, iar pulberea metalică ce s-a scurs prin ștuțul de dozare a fost cântărită la un cântar analitic cu precizia de 0,0001g. Astfel după stabilirea debitului (g/min) necesar se fixează șurubul de dozare 1 cu piulița de fixare 2 (fig. 5.10) în așa fel, ca, în urma vibrațiilor să nu se schimbe debitul de pulberi introdus în interstițiu.

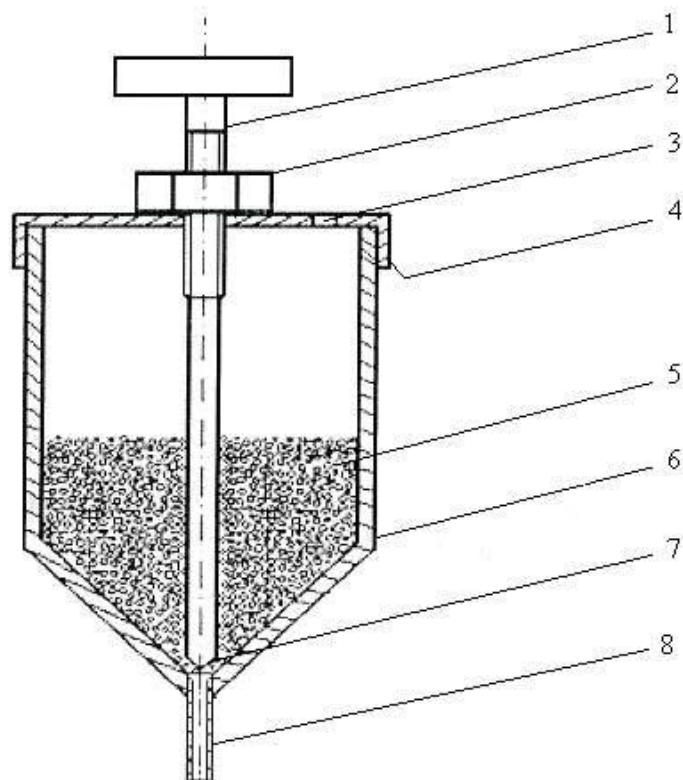


Fig. 5.10. Dispozitivul de dozare a pulberilor al instalației „Elitron 22”

1 - șurubul de dozare; 2 - piulița de fixare; 3 - gaură de alimentare; 4 - capac buncăr; 5 - granule de pulberi metalice; 6 - buncărul; 7 - jocul dintre corpul buncărului și șurubul de dozare; 8 - ștuțul de scurgere a pulberilor

Sistemele utilizate în instalația „Razread-M”, ca și cele menționate mai sus, au o serie de dezavantaje. Astfel, pentru reglarea debitului de pulberi din buncăr (fig. 5.10), este necesară deconectarea instalației pentru ridicarea sau coborîrea acului de dozare. În afară de aceasta, curgerea pulberii poate fi întrerupă din cauza aglomerării particulelor la ieșire, proces care la aceste sisteme este foarte frecvent în cazul utilizării unor pulberi cu particule a căror formă nu este sferică.

5.3. Cercetări tehnologice privind formarea straturilor de depunere prin descărcări electrice cu rupere de contact

5.3.1. Formarea straturilor de depunere din materiale compacte prin descărcări electrice cu rupere de contact

În procesul formării depunerilor pe suprafețe metalice cu aplicarea DEI descărcări electrice cu rupere de contact, rezultatele obținute depind de o serie de condiții a căror respectare este inevitabilă. Astfel, intensitatea formării depunerii pe suprafața

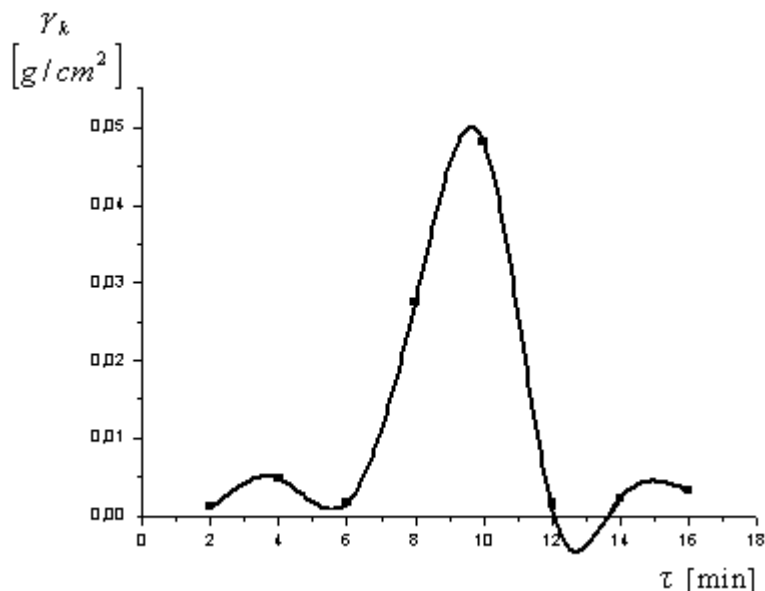


Fig. 5.11. depunerile Oței45, ar

le de timp la formarea de prelucrare: catodul-

piesei de prelucrat, este funcție de cantitatea de energie degajată în interstițiu, (care la rândul său depinde de parametrii energetici ai instalației utilizate) de proprietățile materialului de aliere cât și de timpul specific al prelucrării.

Pentru determinarea cantității de material depuse pe catod ($\Delta\gamma$) în funcție de timp, s-au realizat depuneri pe probe din Oțel-45 cu suprafața de 4 cm^2 . Timpul specific prelucrării pentru fiecare probă a fost mărit cu pași de 2 minute, începînd de la $t=2\text{min}$.

Dependența creșterii de masă a probei $\Delta\gamma$, în funcție de timp este reprezentată în fig. 5.11.

Cercetările experimentale au demonstrat că, în primele minute de prelucrare are loc creșterea masei piesei prelucrate, materialul erodat al anodului se depune pe suprafața catodului din ce în ce mai intensiv, apoi la continuarea prelucrării procesul de depunere încetinește, după care se declanșează procesul invers. În dependența grafică (fig. 5.11), prezența valorilor negative a variației masei catodului confirmă declanșarea procesului invers unde are loc expulzarea nu numai a materialului depus, ci și distrugerea suprafeței piesei. Cercetările experimentale au demonstrat că, din cauza acestor particularități specifice ale alierii cu electroscoarței nu totdeauna putem obține rezultatele dorite. Motivul distrugerii depunerii și în continuare materialului suprafeței piesei este cauzat de tensiunile remanente de natură termică ce iau naștere în acestea la impact cu canalul de plasmă al DEI. În cazul dat alierea a fost efectuată pe aceeași suprafață (2cm^2), de 8 ori, timpul prelucrării fiind mărit cu 2 minute la fiecare încercare. Cîntărirea a fost efectuată de fiecare dată pînă la și după prelucrare la un cîntar analitic cu precizia de $0,0001\text{g}$.

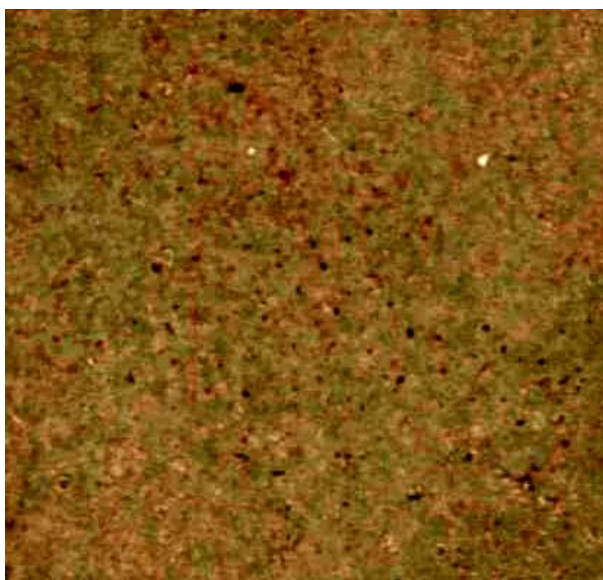


Fig.5.12. Strat obținut prin metoda alierii prin descărcări electrice prin scînteie cu rupere de contact cu material compact (Catod – oțel-45; Anod – BrOȚS-5-5-5. Imagine mărită $\times 16$.)

În figura 5.12 este prezentată vederea frontală a stratului de depunere format din material compact, bronz BrOȚS-5-5-5, pe proba de oțel-45. În imagine se scot în evidență niște pete întunecate, sub formă de „goluri”, care confirmă faptul că la un anumit moment, în cazul prelucrării îndelungate a unei și aceeași suprafețe are loc erodarea stratului depus, expulzându-se nu numai materialul depus, ci are loc și distrugerea materialului piesei [14, 15, 18, 21]. Proba expusă în fig. 5.12, corespunde cazului cînd are loc procesul invers.

Imaginea din fig. 5.12 a fost obținută prin scanare cu o rezoluție suficient de mare, apoi mărită la calculator de 16 ori.

Dependența din fig. 5.13 reprezintă procesul de aliere realizat pe probe și intervale de timp diferite pe suprafața de 1 cm^2 a epruvetelor supuse depunerii. Tot aici se confirmă și fenomenul descris în fig. 5.12. Curba nu are valori negative datorită faptului că suprafața prelucrată s-a înnoit de fiecare dată. Astfel, anodul în procesul de prelucrare cu portelectrod manual poate contacta atît cu suprafețe neprelucrate, unde se petrece alierea, cît și cu suprafețe ce deja au fost supuse prelucrării, pe care descărcările se suprapun și are loc cumulara solicitărilor energetice, iar ca

rezultat, starea materialului, sub acțiunea tensiunilor remanente se agravează din care motiv stratul de depunere se distruge.

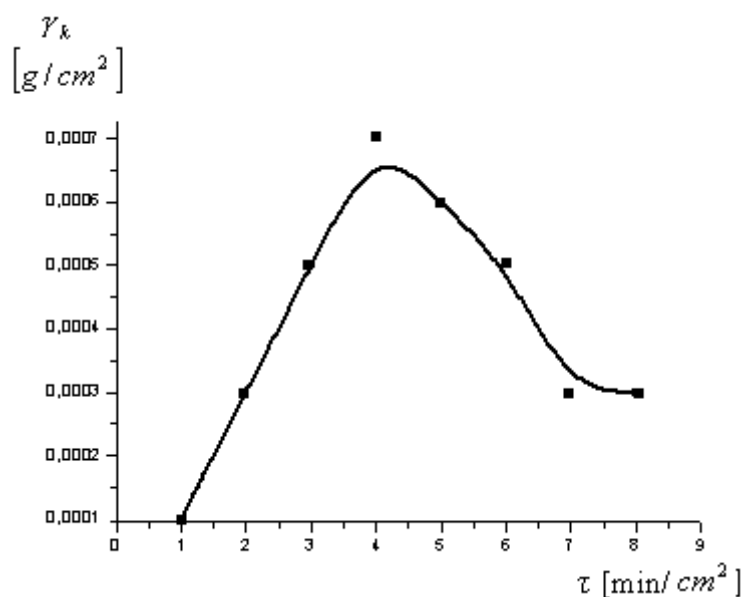


Fig. 5.13. Dependența intensității masice de formare a depunerii funcție de timpul specific de prelucrare (materialul electrozilor și regimul de prelucrare: catodul-Oțel 45, anodul-BrOȚS-5-5-5, $I=0,8$ A , $f=90$ Hz, $A=1$ cm²)

În (fig. 5.14) este prezentată funcția privind variația intensității masice de formare a depunerii $\Delta\gamma$ de durata prelucrării suprafeței. Dependența dată indică asupra faptului că pentru obținerea rezultatului dorit în urma prelucrării prin această metodă un rol important îl are timpul specific de prelucrare. Timpul specific de prelucrare a unei suprafețe depinde de proprietățile fizico-chimice ale materialului de depunere și cel a materialului piesei. La utilizarea practică a acestei metode se va construi graficul funcției creșterii masei piesei în funcție de timp, apoi stabilind timpul specific optim de prelucrare a unei suprafețe de 1cm^2 , se va determina timpul de prelucrare pentru suprafața de prelucrat a piesei cu relația [18, 21]:

$$\tau_{pr} = \tau_{sp} \cdot A_{pr}$$

unde τ_{sp} - este timpul specific de prelucrare, iar A_{pr} - este aria de prelucrat a piesei.

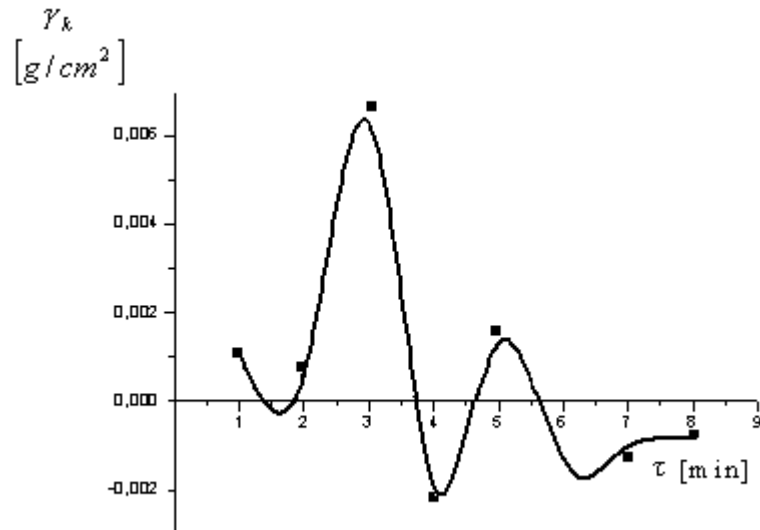


Fig. 5.14 Variația intensității masice de formare a depunerii funcție de durata prelucrării (materialul electrozilor și regimul de prelucrare: catodul-Oței45, anodul-BrOȚS-5-5-5, $I=0,8$ A, $P=0,1580$ g/min, $f=90$ Hz, $d_g=120-130$ μ m,

Toate cercetările se executată pe suprafețe metalice plane din oțel-45, cu electrod din bronz (BOȚS 6-6-6), dar poate fi folosită și o gamă largă de cupluri de materiale în funcție de rezultatul pe care dorim să-l obținem.

Astfel, dacă analizăm cele prezentate în fig. 5.14, putem concluda că la prima etapă de prelucrare $\Delta\gamma$ se micșorează și ia valori negative, fapt ce s-ar putea explica prin eroziunea catodului, datorită rugozității dezvoltate a suprafeței inițiale de prelucrare, după care urmează o creștere considerabilă a masei catodului cu atingerea maximumului după cca 2,5...3 minute de prelucrare după care urmează din nou o scădere a acesteia. Ultimul fenomen poate fi cauzat de starea tensionată care se creează în stratul de depunere [5, 8, 9, 13,]. Din rezultatele prezentate în fig. 5.14 putem concluda că, procesul poartă un caracter variabil și pentru a obține o depunere maximă se recomandă a prelucra suprafața în regimul indicat nu mai mult de 3 minute.

5.3.2. Cercetări tehnologice privind formarea straturilor de depunere din pulberi metalice prin descărcări electrice cu rupere de contact

Cercetările experimentale, privind obținerea straturilor de depunere din pulberi metalice prin descărcări electrice în impuls cu rupere de contact au demonstrat, că asupra intensității formării acestora pe suprafața catodului influențează determinativ parametrii energetici ai regimului de prelucrare și debitul pulberii metalice ce este introdusă în interstițiu.

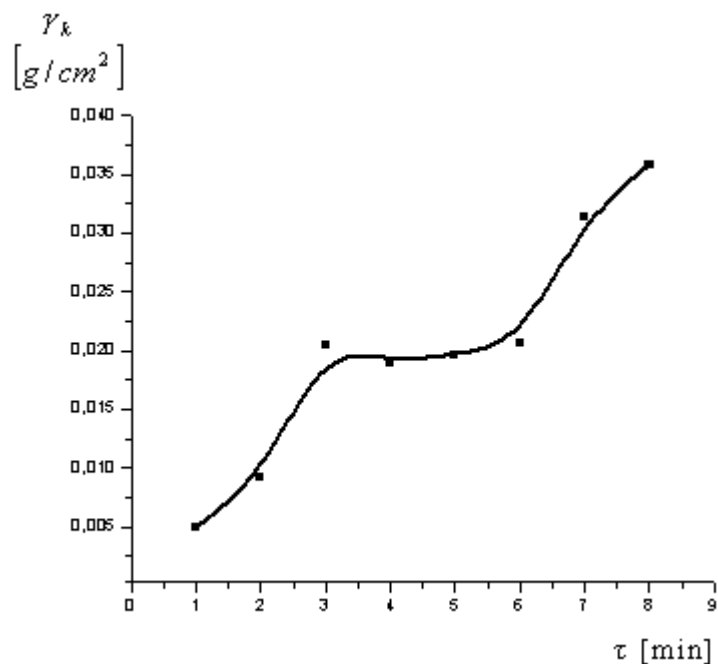


Fig.5.15. Dependența intensității masice de formare a depunerii funcție de timpul prelucrării $\Delta\gamma = f(\tau)$ (materialul electrozilor și regimul de prelucrare: catodul-Oțel 45; anodul - cupru M-3; pulberi-BrA-7; $I=0,8$ A; $P=0,1580$ g/min; $f=90$ Hz; $d_g=120-130$ μm .)

Ca și în cazul depunerii straturilor din materiale compacte nu mai puțin important este timpul de prelucrare a suprafeței piesei. Timpul de prelucrare al unei unități de suprafață (timpul specific de prelucrare), limitează grosimea stratului de depunere, iar în unele cazuri observăm și procesul invers de eroziune.

Parametrii energetici ai instalației în combinație cu debitul pulberii introduse în interstițiu pot influența esențial calitatea stratului depus. Astfel, la regimuri energetice mari și debit sporit al pulberilor metalice pot fi obținute straturi poroase. Au fost studiate mai multe cazuri de prelucrare cu descărcări electrice în impuls cu

rupere de contact în care s-au cercetat variația masei catodului în funcție de: timpul de prelucrare (fig. 5.15); intensitatea curentului (fig. 5.16) și debitul pulberii din dispozitivului de dozare (fig. 5.17).

Dacă analizăm curba variației masei catodului în funcție de intensitatea curentului (fig. 5.16), pentru cazul când în interstițiu sînt introduse particule de pulberi, putem observa că aceasta poartă un caracter variabil și complicat.

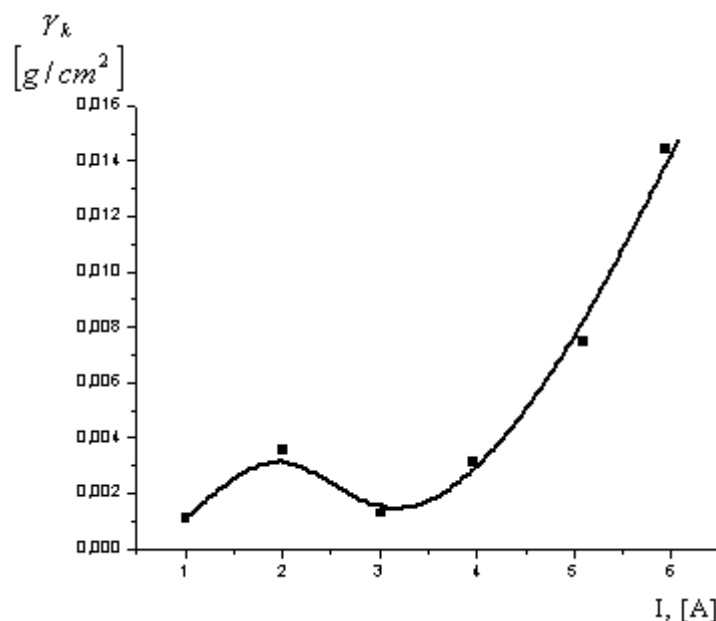


Fig. 5.16. Dependența variației masei catodului în funcție de intensitatea curentului electric $\Delta\gamma = f(I)$ (materialul electrozilor și regimul de prelucrare: catodul-Oței45; anodul - cupru M-3; pulberi-BrA-7; $\tau = 1$ min; $P = 0,1580$ g/min; $f = 90$ Hz; $d_g = 120-130$ μm .)

În prima fază când curentul crește pînă la 2 A se atinge un maxim, după care intensitatea formării depunerii se micșorează puțin. Acest fapt poate fi lămurit în baza fenomenelor concurente de multiplicare a canalelor de conductivitate și scădere a densității curentului [4, 7, 8, 10-12, 16, 17]. După ce curentul depășește valoarea de 3A, observăm o creștere liniară a intensității formării depunerii în funcție de intensitatea curentului. Această creștere poate fi explicată prin faptul că procesul de multicanalitate practic dispare datorită efectului puternic de lentilă electromagnetică care se manifestă prin efectul Pinch la interacțiunea curenților paraleli. Din aceste motive putem afirma că, canalul de plasmă al descărcării se

dilată proporțional cu mărimea curentului și, deci, poate capta un număr mai mare de particule de pulberi proporțional dimensiunilor canalului de conductivitate din interstițiu.

Pentru stabilirea influenței debitului de pulberi metalice asupra creșterii masei catodului, au fost realizate cercetări experimentale, în baza cărora a fost construită funcția grafică (fig. 5.17). Odată cu creșterea debitului de pulberi metalice în procesul de prelucrare, crește și viteza de depunere a stratului obținut cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls cu rupere de contact [4].

După cum se poate observa din figura 5.17, funcția construită poartă un caracter exponențial. Pentru debitul cuprins în limitele 0...0,4 g/min curba poate fi aproximată cu o dreaptă a cărei unghi de înclinare este relativ mic. Aceasta se explică prin faptul că din șuvița de pulberi, canalul descărcării preia o cantitate crescândă de particule, dar le prelucrează numai pe cele din zona centrală, astfel asigurându-se obținerea unei depuneri calitative [18, 21]. Pe măsura creșterii de mai departe a debitului se observă și un spor considerabil al masei catodului, însă odată cu aceasta particulele sînt prelucrate numai superficial și stratul depus devine poros și deteriorabil. Pe suprafața prelucrată se observă neomogenitățile depunerii (fig. 5.18).

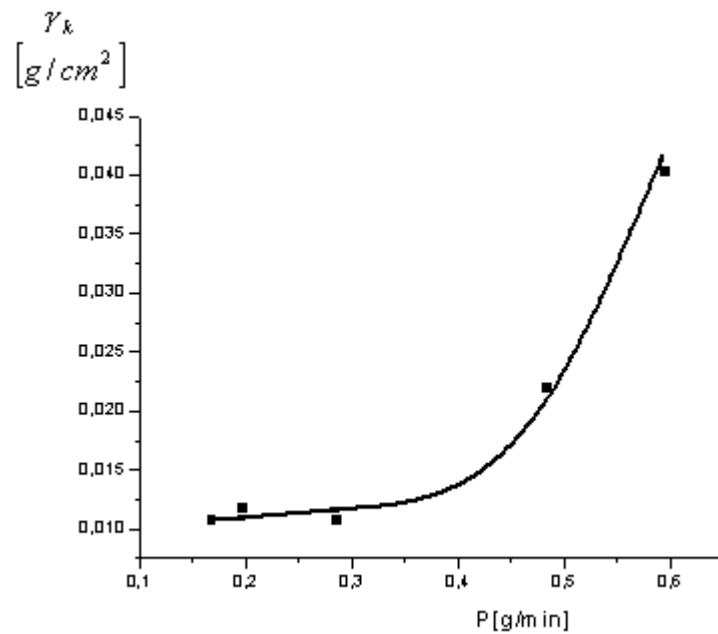


Fig. 5.17. Dependența variației masei catodului în funcție de debitul de pulberi metalice $\Delta\gamma = f(P)$ (materialul electrozilor și regimul de prelucrare: catodul-Oțel 45; anodul - cupru M-3; $I=0,8$ A; pulberi-BrA-7; $\tau=1$ min; $f=90$ Hz; $d_g=120-130$ μm .)



Fig.5.18. Strat obținut prin metoda depunerii pulberilor metalice cu aplicarea descărcărilor în impuls cu rupere de contact (Catod – otel-45; Anod – BrOȚS-5-5-5. Pulberi metalice BrA-7.

În toate cazurile de prelucrare descrise mai sus au fost utilizate pulberi de puritate industrială de tipul BrA-7 cu diametrul granulelor de 120-160 μm și au fost depuse pe probe din Oțel-45, iar anodul fiind confecționat din cupru de marca M-3.

În figura 5.18 este prezentată vederea frontală a unei depuneri din pulberi metalice din bronzul de Br-7, cu diametrul granulelor de pulberi metalice de 120-160 μm , anodul fiind executat din material compact bronz BrOȚS-5-5-5, iar piesa din Oțel-45. Cercetînd suprafața prelucrată putem observa că în fond ea este relativ omogenă, însă se observă și unele goluri care apar din două motive [6, 18, 19-21]: primul din cauza conducerii neuniforme a electrodului-sculă pe suprafața prelucrată ceea ce corespunde calificării operatorului, și a doua - autodistrugerea depunerii din cauza tensiunilor remanente mari, apărute în stratul de depunere.

Bibliografie

1. ***Электроискровое легирование металлических поверхностей, Библиографический указатель литературы за 1974-1979 г.г., Кишинёв: Штиинца, 1981. 60 с.
2. Коробейник, В. Ф.; Жеребцов, В. М. Электроискровое восстановление рабочей поверхности прокатных валков. Электронная обработка материалов № 6, 1981. с. 40 – 43.
3. Кжен, Иг. А.; Золотов, А. А.; Потехин, К. Ф.; Максимов, Н. Г. Исследование влияния некоторых факторов на интенсификацию механизированного электроискрового легирования металлических поверхностей. Электронная обработка материалов 4, 1982. с. 26-28.
4. Абрамчук, А. П.; Бовкун, Г. А.; Михайлов, В. В.; Ткаченко, Ю. Г. Антифрикционные покрытия на алюминии и его сплавах, сформированные электроискровым легированием их порошковых материалов. Порошковая металлургия 7, 1983. с. 23 – 26.
5. Гитлевич, А.Е.; Топала, П.А.; Снегирев, В.А.; Игнатков, Д.А. Особенности электрической эрозии электродов при импульсных

- разрядах, протекающих в режиме недонапряжения. ЭОМ, №3, 1988. с. 9 – 12.
6. Ливурдов, В.И.; Парканский, Н.Я.; Гитлевич, А.Е.; Снежко, В.А.; Ревуцкий В.М. Структура и эксплуатационные свойства деталей с покрытиями, полученными электроискровым легированием порошковыми материалами. ЭОМ, №5, 1980. с. 33 – 35.
 7. А.С. (СССР) №837716 М.Кл³ В 23 Р I/18. Способ электроискрового нанесения покрытий. Гитлевич, А.Е.; Парканский, Н.Я.; Ревуцкий, В.М.; Михайлов, В.В. Оpubл. Б.И. №22, 1981.
 8. Парканский, Н.Я. Исследования процесса электроискрового нанесения покрытий из порошковых материалов в электрическом поле. Автореф. дисс. канд. тех. наук-ИПМ АН УССР, Киев. 1979. 19 с.
 9. Топала, П.; Стойчев, П.; Епуряну, А.; Бешлиу, В. О возможности легирования металлических поверхностей на установках для электроискровой обработки в режиме недонапряжения, машиностроение и техносфера XXI века. Материалы Международной научно-технической конференции. Донецк. 2006. с. 266 – 269.
 10. Гитлевич, А. Е; Топала, П. А.; Ревуцкий, В.М.; Шистик, В.М. Взаимодействие частиц порошка с каналом импульсного разряда в условиях электроискрового нанесения покрытий. ЭОМ, Кишинев. Nr.6, 1988. с. 20 – 25.
 11. Топала, П. А.; Гитлевич, А.Е.; Беляков, А.В. Возможности и особенности электроискрового нанесения покрытий из порошковых материалов. Порошковые сплавы для авиационной техники. Сборник докладов. Москва. 1988. с. 98 – 99.
 12. Топала, П. А.; Беляков, А.В.; Гитлевич, А.Е.; Негара, И.Х. Упрочнение металлических поверхностей при электроискровом нанесении из порошковых материалов. Повышение надежности и долговечности материалов и деталей машин на основе методов термической и химико-термической обработки,. Москва. 1988. с. 73 – 80.

- 13.Топала, П. А.; Вишнеvский, А.Н. Процессы на поверхности катода-деталит при его упрочнении плазмой импульсного разряда. Электроэрозионные и другие методы легирования. Кишинев. 1989.
- 14.Topală, Pavel; Pereteatcu, Pavel; Sveatoslav, Juravski. Aplicarea straturilor de depunere în scopul sporiri durabilității sculelor așchietoare. Tehnologii Moderne Calitate Resrtucturare. Chișinău,:Tehnico Info., 1999. p. 182 – 184.
- 15.Topală, Pavel; Epureanu, Alexandru; Balanici, Alexandru; Bălcănuță, Nicolae. Straturi cu proprietăți antifricțiune obținute cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Conf. Internațională, Tehnologii moderne, calitate, restructurare. vol.II, Chișinău. 2003. p. 279 – 282.
- 16.Топала, П.; Стойчев, П.; Епуряну, А.; Руснак, В. О возможности легирования металлических поверхностей на установках для электроискровой обработки в режиме недонапряжения. International Sientific and Tecnical conferance „Machine-Bulding and technospere of the XXI century”. Donetsk. 2006. p. 266 – 270.
- 17.Balanici, A.; Ambramciuc, A.; Topală, P.; Pereteatcu, P.; Znovenco, S. Cercetări privind procesul de prelucrare complexă a suprafețelor metalice prin electroeroziune și plasmă electrolitică. In: Raport științific Universitatea de Stat „A. Russo“. Bălți. Num. Înregist. de Stat 0197MD. 001238. 2000. 66 p.
- 18.Topală, P. Cercetări privind obținerea straturilor din pulberi metalice prin descărcări electrice în impuls: Rezumatul tezei de doctorat. București. 1993. 32 p.
- 19.Ghitlevici, A.E.; Mihailov, V.V.; Parkansky, N.A.; Revutsky, V.M. Electro-spak alloyng of metallic surfices. Chișinău: Știința, 1985. 180 p.
- 20.Topală, P. Electro-spac alloyng of metallic surfices in the undertension regime. In: All-Union school-seminar „Electro-physical methods and technologies of influencing over structure and properties of metallic

materials“. In: All-Union scientific-technical society. Leningrad. 1980. p. 90 – 91.

21. Bălcănuță, N. Contribuții privind obținerea straturilor din pulberi metalice prin eroziune electrică în regim de subexcitare. Rezumatul tezei de doctorat. Galați. 2005.

22. Лазаренко, Б. Р. Способ нанесения металлических покрытий. Авт. Изобрет. Авт. свид. 89933 (СССР)., Опубл. в Б.И. 12.

23. Лазаренко, Б. Р.; Лазаренко, Н.И. Электроискровая обработка токопроводящих материалов. Москва: Изд-во. АН СССР, 1958. 182 с.

VI. Formarea straturilor de depunere din pulberi în regim de subexcitare

6.1. Esența formării straturilor de depunere cu aplicarea DEI în regim de subexcitare

Esența formării straturilor din pulberi metalice constă în încălzirea particulelor pulberii metalice pînă la temperaturile de topire și, respectiv, vaporizare, transportarea lor cu viteze mari și depunerea pe suprafața piesei, fie în încălzirea și topirea unui strat-obținut prin alte metode pe suprafața piesei-împreună cu materialul de bază. Avantajele acestor metode sunt: posibilitatea utilizării unei game largi de materiale (pot fi utilizate metale, semiconductori și dielectrici); multitudinea combinațiilor amestecurilor din pulberi ce permit obținerea straturilor cu o gamă largă a proprietăților fizico-chimice și mecanice; productivitatea sporită; costul mic al pulberilor în raport cu cel al materialelor compacte și accesibilitatea lor pentru întreprinderi. Caracteristicile definite de avantajele prezentate permit utilizarea pe scară largă a acestor metode în practica industrială.

Din punct de vedere al perspectivei pentru obținerea straturilor din pulberi metalice pot fi utilizate descărcările electrice în impuls, care permit realizarea unor densități mari de energie în volume mici și reglarea acesteia în limite foarte largi. În baza descărcărilor electrice în impuls, la Institutul de fizică aplicată AS al Moldovei, a fost elaborată metoda DEI pentru formarea straturilor din pulberi

metalice în câmp electric [6, 7, 49, 50], cu scopul de aliere a suprafețelor și formarea straturilor de protecție.

Depunerea straturilor din pulberi metalice cu utilizarea câmpurilor electrice se produce ca rezultat al interacțiunii particulelor de pulbere cu jetul de plasmă și transportarea fazei lichide și a vaporilor pe suprafața piesei-catod [6, 7]. Schema electrică principială a acestui proces este prezentată în figura 6.1. Particulele de pulberi având dimensiunile de (20-200) μm se introduc în interstițiul $S=0,3...1,5$ mm la o tensiune de încărcare a bateriei de condensatoare a generatorului de impulsuri de curent de $U_c = 80...480\text{V}$. La această tensiune aplicată asupra interstițiului, practic este imposibilă amorsarea descărcărilor electrice în impuls însoțită de străpungerea interstițiului.

Metoda de depunere a pulberilor metalice cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls în câmp electric constant a fost aplicată și cercetată profund de Parcanskii N. Ia. [7].

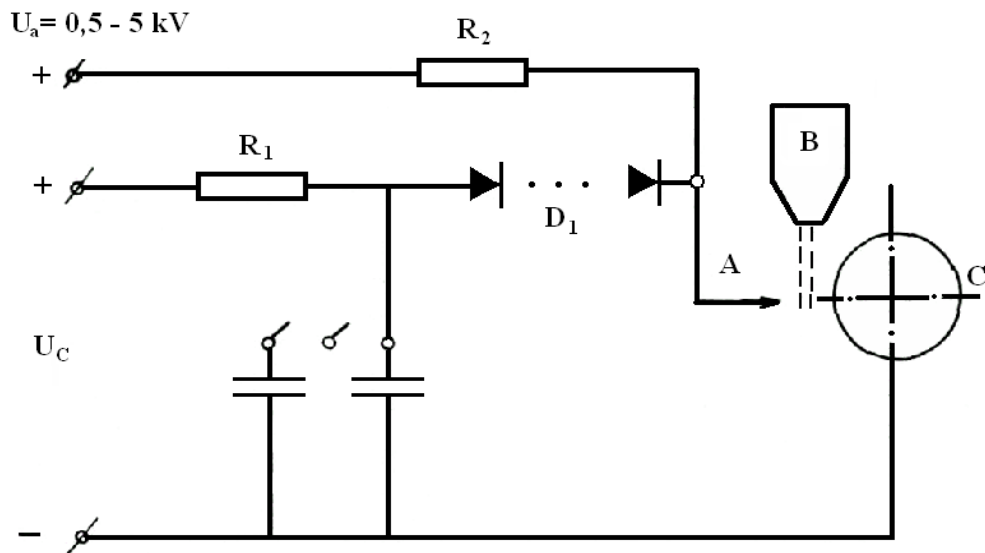


Fig.6.1. Schema electrică principală a instalației pentru depunerea straturilor din pulberi metalice în câmp electric constant:

A – electrodul sculă anod;

B – buncărul cu pulbere;

C – catodul-piesă;

U_a – tensiune de amorsare;

U_c – tensiunea de încărcare a condensatoarelor de lucru;

Au fost astfel studiate fenomenele fizice ce au loc la interacțiunea particulelor de pulbere cu plasma, s-au determinat parametrii pentru topirea, vaporizarea, transportarea particulei de pulberi, au fost stabilite legile de bază ale formării stratului de depunere din diferite materiale în funcție de regimul de prelucrare și proprietățile fizico-chimice, mecanice și de exploatare ale straturilor obținute.

Cu ajutorul unor filmări cu viteze mari (320.000 cadre/s) cu camera de luat vederi de tipul (OP.2M) s-a demonstrat că fenomenul amorsării descărcării în interstițiu este similar cu cel ce se petrece în vid. Particula de pulberi intrând în

interstițiu se electrizează, se mișcă spre catod și când ajunge în zona acestuia între catod și particulă are loc o microdescărcare, a cărei plasmă amorsează descărcarea de bază. La o durată de timp mai mică de 10^{-5} s, începe procesul de vaporizare a particulei de pulberi. Vaporii materialului particulei de pulberi sub acțiunea câmpului electric din interstițiu se deplasează spre catod. În același timp are loc deplasarea particulei spre aceeași suprafață, unde se formează stratul de depunere. Variind parametrii regimului de prelucrare pot fi obținute straturi formate atât din faza de vapori cât și din combinația de faze vapori-lichid.

Cantitatea de material ce se depune pe catod depinde de parametrii energetici ai descărcării electrice în impuls, de proprietățile materialului și dimensiunile particulelor, iar grosimea stratului poate atinge (30-300) μm . Structura stratului este asemănătoare celei obținute cu aplicarea radiației laser sau celei de la prelucrarea cu DEI cu rupere de contact [7, 60]. De obicei în structura stratului se deosebesc trei zone: albă, de interacțiune a materialului de depunere cu cel al materialului piesei și influențată termic. Componenta și proprietățile zonei albe sunt determinate de compoziția și proprietățile materialului pulberii și de fenomenele termice și micrometalurgice care au avut loc în ea. Zona de interacțiune reprezintă o porțiune de trecere, în care au avut loc procese de difuziune între materialul depus și cel de bază. În această zonă au fost depistate faze ale diagramelor de stare ale materialelor pulbere-piesă. Zona influențată termic depinde de materialul piesei, iar adâncimea ei este determinată de regimul de prelucrare.

Deoarece temperatura în canalul descărcării este mai mare de $8 \cdot 10^3 \dots 10^4 \text{K}$, practic particulele de orice material pot fi încălzite pînă la topire și vaporizare și utilizate la obținerea depunerilor.

Durata scurtă a interacțiunii între plasmă – particulă ($10^{-5} \dots 10^{-3}$ s) reduce la minim procesele de oxidare, iar în unele cazuri previn procesele de disociere a compușilor chimici ce sunt utilizați ca material pentru formarea de straturi, păstrînd astfel duritatea ridicată a acestora.

La depunerea pulberilor prin metoda aplicării descărcărilor electrice în impuls, densitatea energiei în interstițiu poate fi reglată foarte precis și în limite largi, iar odată cu aceasta și starea materialului de depunere (vapori, vapori-lichid), precum și cantitatea materialului depus la acțiunea unui impuls. Spre deosebire de metoda utilizării laserelor, în acest caz nu este necesară depunerea prealabilă a materialului pulberii pe suprafața piesei.

Întroducerea în canalul de plasmă ori pe suprafața catodului a particulelor de pulbere, permite sinteza compușilor chimici atât în canalul de plasmă, cât și pe suprafața prelucrată.

S-a constatat [6, 49] că, în cazul amorsării descărcărilor prin intermediul câmpului electric constant este imposibilă dirijarea tehnologică a procesului în scopul obținerii stratului de depunere continuu și omogen atât din punct de vedere a grosimii, cât și a compoziției chimice. Acesta se datorește faptului că, nu poate fi asigurată pătrunderea uniformă, în timp, a particulelor de pulberi în interstițiu. Granulele de particule în câmpul electric se mișcă neuniform și ca urmare amorsarea descărcărilor are loc la intervalee diferite de timp neuniform, iar ca rezultat condensatoarele de lucru se încarcă diferit de la un impuls la altul, și nu totdeauna la tensiunea necesară, făcând imposibilă stabilirea unui regim de prelucrare optim [6, 7].

Cercetările au demonstrat că utilizarea rațională a pulberii în procesul formării straturilor este funcție de raportul dintre tensiunea de lucru și intensitatea câmpului de amorsare a descărcărilor electrice în impuls, ceea ce complică simțitor procesul tehnologic de formare a depunerii [7].

În scopul înlăturării dezavantajelor prezentate, a fost elaborată o nouă variantă a acestei metode, la care, în scopul amorsării descărcărilor, asupra interstițiului se aplică un impuls de tensiune înaltă și putere mică [49].

Încercările prealabile au demonstrat că, în funcție de proprietățile fizico-chimice ale materialului – pulberii metalice, frecvența impulsurilor poate fi variată între 5-40 Hz. Alegerea corectă a frecvenței DEI permite particulei să treacă prin

toate fazele necesare, astfel eliminându-se influența descărcărilor următoare asupra transportului și depunerii ei pe catod.

La această variantă, valoarea tensiunii impulsurilor de amorsare nu influențează practic formarea stratului, neimpunându-se alegerea unui raport între tensiunile impulsurilor de amorsare și celor de putere. Avantajele prezentate mai sus permit o utilizare mai completă a posibilităților energetice ale sursei de impulsuri de amorsare și de putere la fiecare descărcare, și ale materialului particulelor care pătrund în interstițiu.

Deși, această variantă de formare a straturilor de depunere din pulberi cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls în regim de subexcitare este superioară primei și elimină neajunsurile prezentate, s-a constatat că utilizarea acesteia în practică necesită încă studii și cercetări suplimentare.

Din analiza efectuată rezultă că obținerea straturilor de depunere din pulberi metalice cu aplicarea DEI, are ca bază următoarele faze: formarea canalului de plasmă în interstițiu, interacțiunea acestuia cu particulele de pulberi și transferul lor pe suprafața catodului-piesă. Conform rezultatelor cercetărilor realizate în lucrarea [7], după străpungerea interstițiului prin șirul particulelor de pulberi se formează canalul de plasmă care interacționează atât cu particulele cât și cu suprafețele electrozilor. Formarea canalului propriu-zis se petrece într-un timp foarte scurt ($10^{-7} \dots 10^{-6}$ s), iar procesele legate de interacțiunea lui cu suprafața prelucrată și particulele de pulberi sunt mai lente ($5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$ s).

Rezultă, că pînă la depunerea particulelor pe suprafața catodului, acestea sunt afectate de plasma din canalele de descărcare.

Formarea stratului este determinată de dinamica dezvoltării canalului de plasmă și interacțiunea acesteia cu particulele de pulberi din interstițiu. Cercetările ulterioare au arătat că apariția și dilatarea canalului de plasmă este însoțită de o undă de șoc, care apare ca rezultat al creșterii presiunii la etapa inițială de dezvoltare a DEI [54-58]. În cazul obținerii straturilor din pulberi metalice cu aplicarea descărcărilor electrice, în câmp electric constant [7], s-a menționat că o parte din particule sunt aruncate din interstițiu de către unda de șoc, interacționînd

cu partea periferică a canalului de plasă. Ca rezultat, are loc vaporizarea parțială a particulei de pulberi, iar vaporii se deplasează spre catod. Dilatarea rapidă a canalului de plasmă (cu o viteză de cca 300 m/s), apariția undei de șoc, încălzirea particulelor pînă la temperaturi de topire și vaporizare, determină faza inițială a procesului de depunere care depășește în timp contopirea particulei cu suprafața de prelucrat.

În punctele de interacțiune a suprafețelor electrozilor cu canalele de plasmă ale descărcărilor electrice în impuls, au loc o serie de fenomene și procese precum: apariția unor cratere ca rezultat al topirii și vaporizării materialelor electrozilor, schimbarea structurii și fazelor datorită micșorării grăunților, deformații plastice, călire, apariția fisurilor, recristalizarea, formarea oxizilor și nitruților, transferul de masă în faza lichidă și solidă etc. [6, 51, 52]. În funcție de condițiile dezvoltării descărcării electrice în impuls, este posibil transferul reciproc de material între electrozi, asemănător alierii cu rupere de contact [6] sau prin alte metode [53].

Neuniformitatea canalului de plasmă după lungime (prezența zonei anodice și catodice) [58, 59] impune problema stabilirii locului de introducere a particulelor de pulberi în interstițiu în vederea obținerii unui transfer optim.

Dezvoltarea canalului de plasmă este funcție de forma și poziționarea electrozilor, de dimensiunile și mișcarea acestora, de construcția electrodului-sculă, elemente care influențează procesul de depunere.

Enumerînd avantajele procesului de obținere a straturilor din pulberi metalice cu aplicarea descărcărilor electrice în regim de subexcitare, se poate afirma că pînă în prezent, pentru acest proces sunt elaborate echipamente experimentale (vezi tab. 6.1) pentru implementarea lui la scară industrială.

Tabelul 6.1

Caracteristicile tehnice a instalațiilor experimentale pentru obținerea
straturilor din pulberi metalice.

| Instalația | Alimentarea | Puterea, (kW). | Tensiunea de lucru | Dimensiunile (mm) |
|---------------|--|-------------------|----------------------------------|--|
| RAZREAD | Rețea trifazată, 380/200±5%; f=50Hz | <6,0 | 100-500 | Generator – 1670x1340x890 Mașina -unealtă 1670x1340x890 |
| RAZREAD- M | Rețea monofazată 220±10%; f=50Hz | <5,0 | 80;160; 240; 320; 400; 480 | Generator – 600x650x500 Mașina-unealtă 955x460x50 |

6.4. Echipamente aplicate la formarea straturilor de depunere din pulberi cu aplicarea DEI în regim de subexcitare

Cercetarea aspectelor fizice și tehnologice ale procesului de depunere prin metoda electroeroziunii s-a efectuat cu ajutorul unei instalații complexe, concepută și realizată la Universitatea de Stat, „A. Russo” din Bălți, R. Moldova.

Această instalație permite formarea straturilor de depunere atât pe suprafețe plane, cât și pe cele cilindrice exterioare. În componența ei intră două blocuri electromecanice, care funcționează independent și se alimentează de la același generator de impulsuri construit în baza instalației „Razread-M” [8, 9, 45]. Caracteristicile de bază a instalației „Razread-M” sunt prezentate în tabelul 6.2.

a)



b

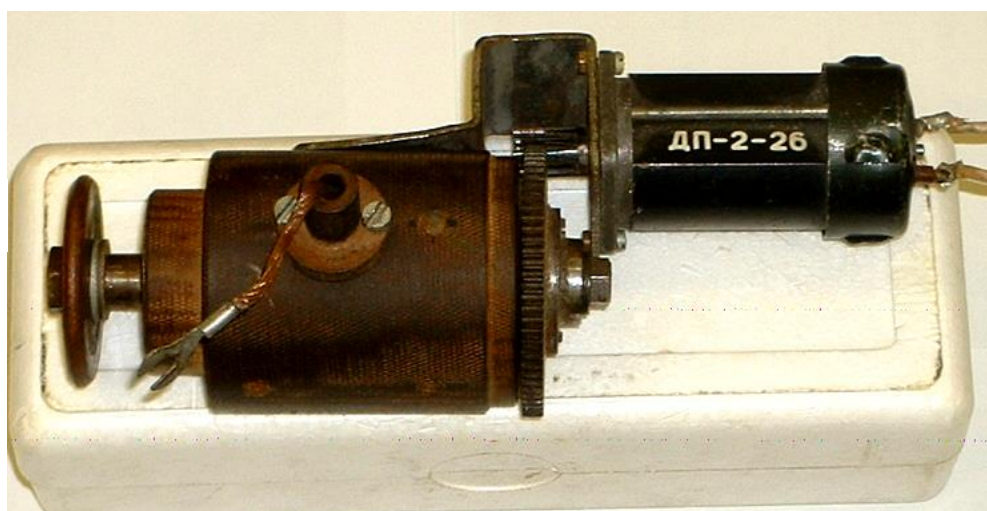


Fig. 6.2 a) Instalația pentru cercetarea proceselor de eroziune și depunerea straturilor de pulberi metalice: 1. Panoul de comandă a blocului de prelucrare a pieselor cilindrice; 2. Universalul pentru fixarea pieselor; 3. Portelectrodul; 4. Buncărul; 5. Camera de lucru; 6. Generatorul de impulsuri (compus din blocul de putere și cel de amorsare).

Blocul de bază este o parte mecanică a instalației „Razread-M” [45]. Acest bloc este destinat cercetării procesului de obținere a straturilor din pulberi metalice pe probe cilindrice cu diametrele de pînă la 50 mm și lungimi pînă la 250 mm. De asemenea este posibilă depunerea pe suprafețe frontale plane, piesele fiind fixate în universalul instalației și rotirea sculei cu 90° față de axa verticală. În componența acestui bloc intră panoul de comandă 1, care permite reglarea frecvenței de rotație a piesei-catod, electrodului-sculă și deplasarea lui orizontală, universalul 2, care

servește pentru orientarea și fixarea probelor sau pieselor, portelectrodul 3 cu electrod sub formă de disc și dozatorul de pulberi 4. Frecvența de rotație a sculei poate fi reglată în limitele 0...50 rot/min.

Tabelul 6.2

Caracteristicile tehnice ale instalațiilor de tipul „Razread”

| Denumirea instalației | Tensiunea de lucru (V) | Capacitatea bater. de condensatoare | Tensiunea de amorsare (kV) | Frecvența impulsurilor (Hz) | Diametrul granulelor pulberilor metalice (μm) | Debitul de pulberi (g/min) | Grosimea stratului depus (μm) | Înălțimea neregularităților (μm) | Productivitatea (cm ² /min) |
|-----------------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--|
| RAZREAD | 50-300 | 100-600 | 0,5-5 | 5-40 | 10-200 | 1-20 | 50-200 | 20-150 | 3-8 |
| RAZREAD-M | 50-400 | 100-600 | 15 | 5-200 | 10-200 | 1-20 | 50-100 | 20-150 | 5-12 |

Amplasarea portelectrodului și a mecanismului de deplasare orizontală în cameră, reduce considerabil zgomotele produse de descărcări.

Cercetările prealabile au demonstrat că unele ansambluri electromagnetice ale instalației „Razread-M” nu puteau satisface necesitățile de cercetare și au fost esențial modificate constructiv.

Electrodul-sculă servește în calitate de anod și este executat din cupru de puritate tehnică (M3 ГОСТ 859-78) sub forma unui disc pentru ai asigura rezistența la eroziune și pentru a reduce la minim influența materialului acestuia asupra compoziției stratului de depunere.

Pentru dozarea și introducerea pulberii în interstițiu a fost conceput și realizat un dispozitiv care funcționează după principiul efectului de suspensie magnetică [19, 21]. Jetul de pulbere curge din dozator și este introdus în canalul de plasmă din interstițiu, sub acțiunea forței de greutate.

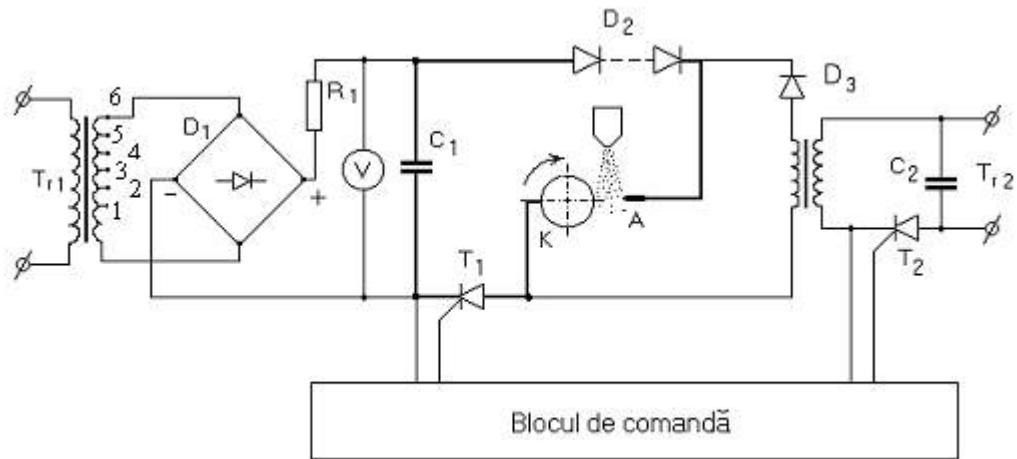


Fig. 6.3 Schema electrică principală a instalației pentru depunerea straturilor din pulberi metalice în condițiile amorsării descărcărilor prin intermediul unui impuls de amorsare de tensiune înaltă

Schema electrică principală a instalației de tipul „Razread” este prezentată în fig. 6.3. Impulsurile de putere se obțin prin intermediul unui generator tip RC, după care se transmit ansamblului de electrozi: catod (K) și anod (A). Încărcarea bateriei de condensatoare C_1 (constituită din șase condensatoare de tip „mb” ($U=1$ kV, $C=100 \mu f$)) se produce cu ajutorul transformatorului Tr_1 alimentat de la rețeaua monofazată de 220 V.

De pe bobina secundară prin contactele 1-6 (fig. 6.2), puntea de redresare D_1 alcătuită din diode tip D 247 și rezistența de limitare a curentului R_1 , se încarcă bateria de condensatoare C_1 . Coloana de diode D_2 , tip B1-200-16, îndeplinește funcția de tampon, protejînd de străpungere blocul de putere a generatorului de impulsuri de tensiune joasă, cu impulsurile de amorsare de tensiune înaltă.

Impulsurile de amorsare se produc la descărcarea condensatorului C_2 pe bobina primară a transformatorului de tensiune înaltă T_2 . De la bobina secundară a transformatorului T_2 (fig. 6.3) prin diodele D_3 impulsul de amorsare ($I=0,2$ mA, $U=10...24$ kV) atacă electrozii. Diodele D_3 , servesc pentru eliminarea părții negative a semiundeii curentului de descărcare. Prin intermediul tiristorilor T_1 și T_2 la comanda blocului de dirijare, (care constituie un multivibrator) se deschid simultan ambele circuite de descărcare fapt ce permite sincronizarea în timp a

impulsurilor de amorsare și putere și asigură stabilitatea procesului de prelucrare. Blocul de comandă permite reglarea în trepte a tensiunii de încărcare a condensatoarelor C_1 . Pulberea metalică aflată în buncăr, se introduce în interstițiu sub formă de suspensie, în curgere continuă sub acțiunea forței de greutate.

6.3. Măsurarea interstițiului frontal la formarea depunerii din pulberi cu aplicarea DEI în regim de subexcitare

Pentru studierea influenței mărimii interstițiului frontal, asupra proceselor de formare a straturilor de depuneri din pulberi, este necesară cunoașterea și reglarea mărimii acestui parametru. Măsurarea valorii interstițiului frontal a fost efectuată prin câteva metode. În procesul experimentelor, pe blocul 1 (fig. 6.2, a) interstițiul se măsoară cu ajutorul unui comparator cu cadran cu precizia de 0,01 mm. 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 [45].

Metoda a doua presupune utilizarea calibrelor ce permite măsurarea interstițiului pe intervalul de valori de (0,03 – 2 mm). Controlul valorii efective, în ambele cazuri, se efectuează cu o a treia metodă, cu ajutorul microscopului de măsurat MPB-2.

6.4. Determinarea locului de introducerea a particulelor de pulberi în interstițiu la formarea straturilor de depunere în regim de subexcitare

După cum a fost menționat deja în funcție de mărimea interstițiului are loc redistribuirea energiei degajate în el între canalul de plasmă și suprafețele electrozilor. La introducerea particulelor de pulberi în interstițiu acest proces se

complică și mai mult, deoarece acestea devin parte integrantă a conturului de descărcare și preiau o parte din energia degajată în interstițiu.

Dacă se analizează influența locului de introducere a particulelor în interstițiu [60-62] asupra intensității procesului de depunere, se poate constata (fig. 6.4) că, viteza de depunere maximă pe suprafața prelucrată a catodului are loc atunci, când particulele de pulbere pătrund în canalul de plasmă al descărcării electrice în impuls în zona anodică a interstițiului.

Această funcție a intensității masice de formare a depunerii poate fi explicată astfel: în primul rând se asigură un timp maxim al schimbului de căldură dintre particula de pulberi și canalul de plasmă al descărcării electrice în impuls până la interacțiunea ei cu suprafața prelucrată a piesei; totodată, așa cum a fost demonstrat de către autorii lucrării [63], parametrul de bază ce determină mișcarea particulei în interstițiu este forța electrodinamică, care poate fi maximă la anod din cauza căderii superioare de tensiune la anod (în [8] este demonstrat că pentru interstiții relativ mari, tensiunea anodică o poate depăși pe cea catodică de 2-3 ori).

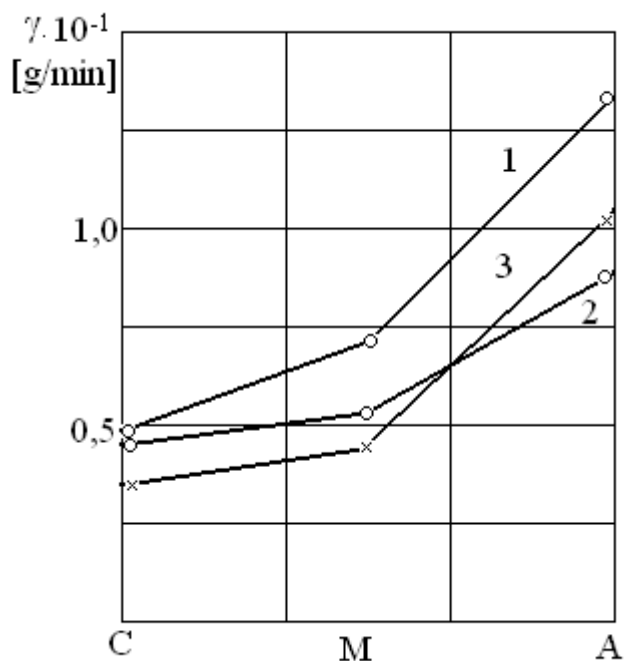


Fig. 6.4. Dependența vitezei de depunere a probei în funcție de zona introducerii pulberilor în interstițiu: C- catod, M- mediu, A- anod,

Forma conică a canalului de plasmă, cu baza mică a trunchiului de con situată la suprafața electrodului-sculă (anod) condiționează densități mari de energie în zona anodică. Nimerind în zonă anodică a interstițiului, particula de pulbere se încarcă cu sarcină electrică pozitivă fie din motivul contactării cu scula, fie din motivul încălzirii momentane și termoemisie de electroni și sub acțiunea forțelor electrodinamice se deplasează doar spre suprafața prelucrată a piesei-catod.

6.5. Cercetări tehnologice privind formarea straturilor de depunere din pulberi metalice prin descărcări electrice în regim de subexcitare

Cercetarea procesului formării straturilor de depunere prin descărcări electrice în impuls în regim de subexcitare [16, 18, 24, 25] a demonstrat că o mare influență asupra intensității depunerilor pe suprafața catodului, o au următorii factori: parametrii energetici ai descărcării, mărimea interstițiului și locul introducerii pulberii în acesta. Este cunoscut faptul [16, 24] că timpul specific de prelucrare a unei unități de suprafață limitează grosimea depunerilor, iar în unele cazuri are loc și procesul invers, de eroziune. Frecvența descărcărilor, viteza liniară a piesei și debitul de pulbere din dispozitivul dozator, determină procesul de depunere și, îndeosebi, în combinație pot influența puternic calitatea stratului format.

Nu s-au efectuat studii separate pentru stabilirea influenței vitezei liniare a piesei asupra intensității formării depunerilor, deoarece, pentru limitele acesteia de 0,1...2,3 *m/min* ($n=25...260$ *rot/min*) la o durată a impulsului descărcării electrice de 200 μs , pentru o descărcare solitară, piesa se află practic în stare de repaus față de electrodul sculă. În procesul formării stratului de depunere, scula și piesa se rotesc una în întâmpinarea alteia, ceea ce condiționează micșorarea vitezei relative ale suprafețelor electrozilor, în momentul de timp când acestea se află în interstițiu.

6.5.1. Variația intensității masice de formare a depunerii în funcție de mărimea interstițiului pentru diferite materiale

Cercetările experimentale privind stabilirea influenței mărimii interstițiului asupra intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice s-a desfășurat pe standul de laborator prezentat în fig. 6.3, în următoarele condiții: debitul de pulberi – 1,7 g/s; energia DEI – 4,3 J; densitatea liniară a energiei degajate în interstițiu – 9,25 J/mm; raza particulei - 55 μ m; frecvența impulsurilor – 70 Hz; timpul specific de prelucrare – 0,8 s.

În cercetările experimentale efectuate s-a studiat variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice la prelucrarea suprafețelor pieselor cilindrice cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls în regim de subexcitare în funcție de mărimea interstițiului, pentru pulberi din următoarele materiale:

1. bronz *BrAJN-10-4-4*;
2. aliaj *VJL-2M*;
3. aliaj *PT-19N-01*;
4. carbură de bor *BrC*.

Analizând rezultatele experimentale prezentate în tabelul 6.3 precum și dependențelor din (fig. 6.5) a fost stabilită funcția intensității masice a formării depunerilor, pentru cele patru cazuri funcție de mărimea interstițiului. În urma cercetărilor experimentale privind determinarea creșterii intensității masice a formării depunerilor, $\Delta\gamma$ în funcție de mărimea interstițiului S (fig. 6.5), în limitele interstițiului 0,3... 1mm s-a înregistrat o creștere a mărimii $\Delta\gamma$ pînă la o valoare maximă, urmată de o descreștere [16, 45].

Această variație poate fi explicată prin aceea că la o valoare mică a interstițiului, volumul canalului de plasmă este mic și el nu poate prelua o cantitate mare de particule de pulberi. Odată cu creșterea mărimii interstițiului S , crește și volumul canalului de plasmă, respectiv, se mărește cantitatea de pulbere preluată de plasmă din șuvița ce curge lent din dispozitiv. În același timp, crește energia

degajată în interstițiu cu 5-10 % în raport cu cea degajată în el în lipsa pulberii din interstițiu.

Tabelul 6.3

Variația intensității masice de formare a stratului din pulberi metalice în funcție de mărimea interstițiului pentru diferite materiale.

| Nr. de ordine | S [mm] | $\Delta\gamma$ [g/min] | | | |
|---------------|--------|------------------------|--------|-----------|-------|
| | | BrAJN-10-4-4 | VJL-2M | PT-19N-01 | BrC |
| 1. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2. | 0,3 | 1,62 | 0,8 | 0,6 | 0,11 |
| 3. | 0,43 | 1,94 | 1,22 | 0,9 | 0,21 |
| 4. | 0,57 | 2,18 | 1,43 | 1,1 | 0,28 |
| 5. | 0,7 | 2,315 | 1,6 | 1,18 | 0,34 |
| 6. | 0,83 | 2,41 | 1,645 | 1,2 | 0,385 |
| 7. | 0,965 | 2,4 | 1,65 | 1,195 | 0,38 |
| 8. | 1,095 | 2,32 | 1,53 | 1,12 | 0,33 |
| 9. | 1,228 | 2,18 | 1,43 | 1,05 | 0,29 |
| 10. | 1,36 | 1,92 | 1,215 | 0,94 | 0,2 |

Caracterul variației intensității masice de formare a depunerilor în funcție de mărimea interstițiului $\Delta\gamma=f(S)$, este identic cu cel al variației volumului canalului de plasmă din intervalul interelectrodic [24, 26, 45], însă valorile maxime sunt puțin deplasate unele față de altele deoarece valoarea reală a interstițiului în timpul curgerii pulberii prin el este puțin mai mică decât valoarea interstițiului măsurat. Micșorarea intensității masice de formare a depunerilor $\Delta\gamma$, pentru valori ale interstițiului mai mari de $S=1mm$ (fig. 6.5), se explică prin micșorarea densității energiei în interstițiu. Cantitatea energiei degajate în interstițiu are o creștere mult mai lentă decât cantitatea de particule cuprinse în volumul canalului de plasmă. Prin urmare densitatea de energie degajată în canalul de descărcare este o mărime ce influențează procesul de depunere a pulberilor.

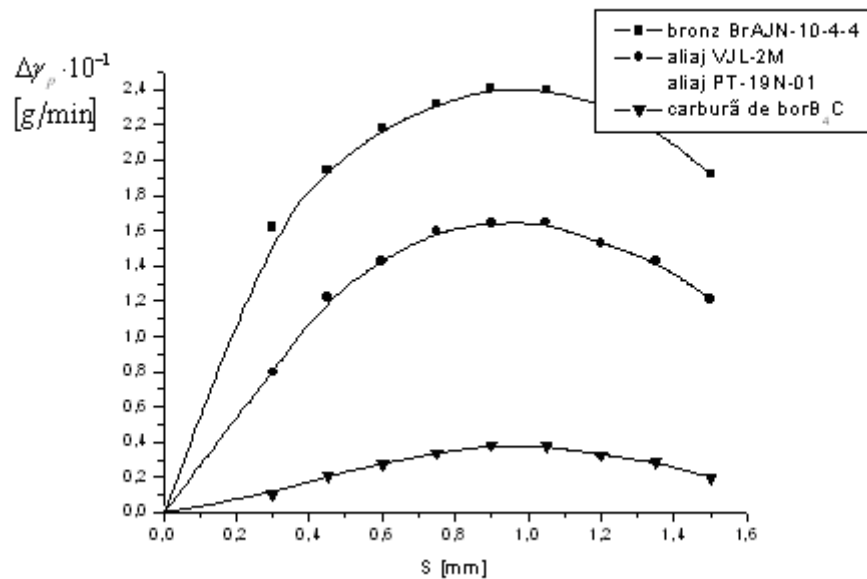


Fig. 6.5. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de mărimea interstițiului (1-bronz BrAJN-10-4-4; 2- aliaj VJL-2M; 3- aliaj PT-19N-01; 4- carbură de bor B₄C)

Odată cu creșterea mărimii interstițiului, se mărește și volumul canalului de plasmă și, respectiv numărul particulelor de pulberi metalice ce nimeresc în el, aceasta la rândul său preia o cantitate de energie mai mare, însă insuficientă pentru a le încălzi și topi pe toate. Totodată redistribuirea energiei între pulbere și suprafețele electrozilor conduc la degenerarea craterului cu faza lichidă de pe suprafața piesei în cratere mici separate între ele, ceea ce este în defavoarea procesului formării straturilor de depunere [45, 47].

Toate curbele prezentate în figura 6.5 poartă același caracter și pot fi approximate cu expresia:

$$\Delta\gamma = x - yS^2 \quad (6.1)$$

Cum se vede din figura 6.5, pentru materialele pulberilor utilizate în cazul cercetărilor, curbele obținute sunt deplasate una față de alta pe verticală, ceea ce confirmă faptul, că pentru diferite materiale la prelucrarea cu unul și același regim, intensitatea formării depunerilor este diferită. Această diferență este determinată de

proprietățile termo-fizice a materialelor pulberilor, forma particulelor de pulberi și dimensiunile echivalente ale acestora, locul de introducere a acestora în interstițiu, tensiunea impulsului de amorsare și curentul acestuia etc.

6.5.2. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de debitul de pulberi din dozator pentru diferite materiale

Pentru stabilirea influenței debitului de pulberi metalice din dozator asupra vitezei de depunere a straturilor, au fost realizate cercetări experimentale în baza cărora s-au construit curbele $\Delta\gamma=f(P)$ din figura 6.6. S-a constatat că pentru toate cazurile cercetate, indiferent de materialul de depunere la debite mici, se respectă creșterea direct proporțională a sporului de masă $\Delta\gamma$ față de debit odată cu creșterea lui, însă, în funcție de materialul de depunere, atingerea valorii maxime are loc pentru debite diferite. Creșterea direct proporțională a $\Delta\gamma$ pentru debite mici, poate fi pusă pe seama utilizării incomplete a energiei degajate în interstițiu și a randamentului mic al instalației, în acest regim de lucru. Atingerea valorii maxime este cauzată de cantitatea de energie maximă, care se degajă la o descărcare solitară, și de cantitatea limită de energie necesară pentru prelucrarea unei cantități de material, ținând cont de proprietățile sale specifice. Este evident faptul că pentru aceleași condiții de prelucrare numai proprietățile materialului influențează punctul maxim al acestei funcții.

Este important a menționa că, și în cazul când nu este introdusă pulbere în interstițiu se observă o creștere puțin simțitoare a masei piesei. Aceasta se datorește prin faptul că, are loc o prelevare minimă de material de pe suprafața electrodului sculă, în deosebi când acesta este executat sub formă de bară sau con, fiindcă are loc procesul de acumulare a căldurii în el. În cazul când în interstițiu sunt introduse pulberi are loc redistribuirea energiei canalului de descărcare între particulele de pulberi și suprafețele electrozilor [29, 34, 36]. Efectele erozive ale electrozilor se diminuează, iar intensitatea formării depunerii crește în baza transferului particulelor de pulberi.

Variația intensității masice de formare a stratului din pulberi metalice în funcție de debitul de pulberi pentru diferite materiale

| Nr. de ordine | BrAJN-10-4-4 | | VJL-2M | | PT-19N-01 | | BrC | |
|---------------|--------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|
| | p [g/ min] | $\Delta\gamma$ [g/min] | p [g/ min] | $\Delta\gamma$ [g/min] | p [g/ min] | $\Delta\gamma$ [g/min] | p [g/ min] | $\Delta\gamma$ [g/min] |
| 1. | 0 | 0,08 | 0,27 | 0,23 | 0 | 0,08 | 0 | 0,08 |
| 2. | 0,36 | 0,3 | 0,54 | 0,41 | 0,25 | 0,22 | 0,21 | 0,21 |
| 3. | 0,7 | 0,5 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,43 | 0,35 |
| 4. | 1,05 | 0,75 | 1,07 | 0,78 | 0,75 | 0,55 | 0,65 | 0,13 |
| 5. | 1,39 | 0,95 | 1,34 | 0,93 | 1 | 0,71 | | |
| 6. | 1,74 | 1,2 | 1,6 | 1,1 | 1,25 | 0,89 | | |
| 7. | 2,08 | 1,42 | 1,87 | 1,3 | 1,5 | 1,04 | | |
| 8. | 2,43 | 1,63 | 2,14 | 1,46 | 1,755 | 1,13 | | |
| 9. | 2,78 | 1,68 | 2,41 | 1,4 | 2 | 0,94 | | |
| 10. | 3,13 | 1,37 | 2,68 | 1,05 | 2,25 | 0,58 | | |

Atingerea valorii maxime, corespunde regimului de utilizare completă a energiei și indică faptul că, pentru fiecare regim în parte, creșterea de masă maximă se obține pentru un anumit debit de pulbere. Deci cantitatea de pulbere pe care o poate topi și transfera o descărcare solitară pe suprafața piesei-catod, depinde de proprietățile materialului supus prelucrării. Pentru porțiunea liniară a acestor dependențe, se poate scrie [36, 45, 47]:

$$\Delta\gamma_p \approx p^n \quad (6.2)$$

În baza analizei rezultatelor experimentale în vederea stabilirii influenței debitului de pulbere metalică P asupra creșterii intensității masice de formare a stratului de depuneri din pulberi metalice $\Delta\gamma$, pentru diferite materiale, poate fi determinat pentru fiecare material de depunere debitul optimal al lui din dispozitivul de dozare. Din figura 6.6 se observă clar că, dacă pentru carbura de bor B_4C acesta constituie $0,8\text{g/min}$ atunci pentru bronzul $BrAJN-10-4-4$ ce este de $2,0\text{ g/min}$ și respectiv se obțin intensități de depunere $2,6 \cdot 10^{-2}$ și $1,75 \cdot 10^{-1}\text{g/min}$.

Depășirea limitei valorilor optime ale debitului pulberilor metalice provoacă

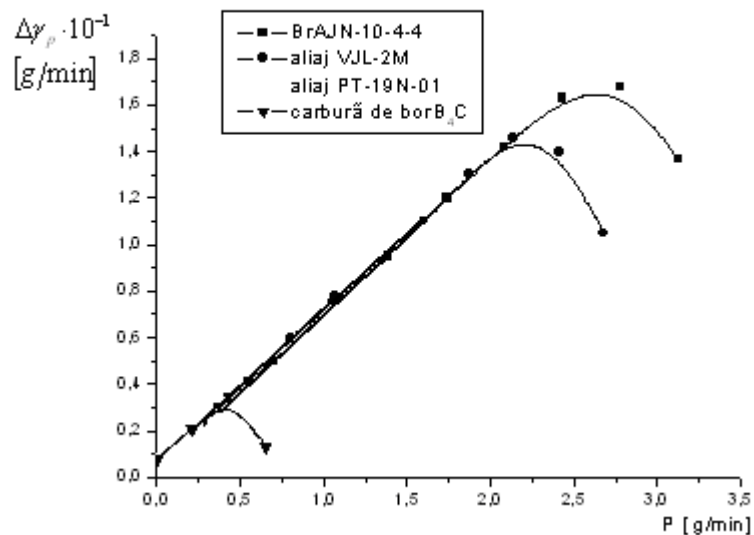


Fig. 6.6. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de debitul ei P din dozator:

1 - bronz $BrAJN-10-4-4$; 2- aliaj $VJL-2M$; 3-aliaj $PT-19N-01$; 4-carbură de bor B_4C

o scădere rapidă a intensității depunerilor ca rezultat al supraîncărcării interstițiului cu particule de pulberi metalice și insuficienței de energie degajate în el pentru prelucrarea acestora. Cercetarea amănunțită a procesului cu utilizarea unei game mai largi de materiale, ar putea stabili o legitate de determinare a debitului optim exprimată prin proprietățile termo-fizice ale acestora. Aceasta la rândul ei asigură alegerea corectă a regimului de prelucrare în condiții optime.

6.5.3. Variația intensității masice de formarea depunerii din pulberi metalice în funcție de energia degajată în interstițiu

Curbele creșterii masei pieselor catod în funcție de energia degajată în interstițiu (fig. 6.7) sunt de formă exponențială. Este necesar să se menționeze că, funcțiile exponențiale pentru $W/S > 0,3 \text{ J/mm}$ sînt asemănătoare cu cele obișnuite în cazul cercetării mărimii craterelor de eroziune în funcție de energia descărcării. De aici rezultă că ambele dependențe sunt determinate de densitatea energiei din interstițiu și de proprietățile termo-fizice ale materialului prelucrat. Pentru valori ale raportului W/S cuprinse între zero și $0,3 \text{ J/mm}$, procesul decurge în condiții dificile, materialele de depunere pătrund în interstițiu numai pentru cazul particulelor submicronice, dar datorită dilatării rapide a canalului descărcării, sunt expulzate din acesta [12, 17, 28].

Tabelul 6.5

Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de densitatea de energie W/S din interstițiu.

| Nr. de ordine | W [J] | $\Delta\gamma$ [g/min] | | | |
|---------------|-------|------------------------|--------|-----------|------|
| | | BrAJN-10-4-4 | VJL-2M | PT-19N-01 | BrC |
| 1. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2. | 0,79 | 0,05 | 0,26 | 0,36 | 0,42 |
| 3. | 1,56 | 0,075 | 0,33 | 0,46 | 0,58 |
| 4. | 2,33 | 0,1 | 0,42 | 0,55 | 0,72 |
| 5. | 3,11 | 0,12 | 0,52 | 0,67 | 0,9 |
| 6. | 3,9 | 0,16 | 0,65 | 0,83 | 1,07 |
| 7. | 4,67 | 0,195 | 0,79 | 0,96 | 1,24 |
| 8. | 5,45 | 0,22 | 0,97 | 1,14 | 1,42 |
| 9. | 6,22 | 0,29 | 1,19 | 1,38 | 1,63 |
| 10. | 7 | 0,35 | 1,5 | 1,67 | 1,87 |

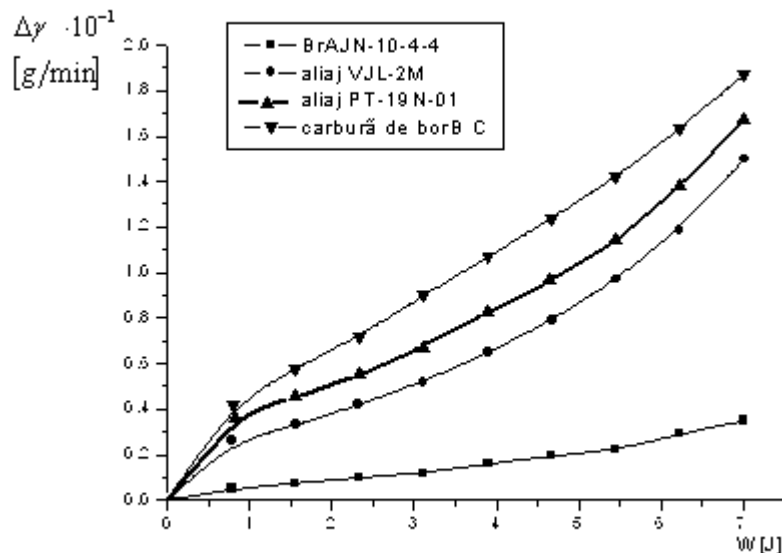


Fig. 6.7. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de energia W , degajată în interstițiu la o descărcare solitară, pentru debitul de pulbere $P=2$ g/min, $S=0,5$ mm; 1-Bronz BrAJN – 10-4-4; 2-aliaj VJL-2M; 3-aliaj PT-19N-01; 4-carbură de bor BrC

Acest fapt este confirmat de dependența $d_c^2 \approx W/S$ și de relația de calcul a fluxului de căldură pe suprafața particulei [35, 36, 41]. Această dependență este totuși în contradicție cu dinamica formării fascicolului de plasmă și interacțiunea acestuia cu mediul de lucru. Când diametrul și lungimea canalului de plasmă cresc, sporesc și pierderile de energie.

Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de densitatea de energie din interstițiu W/S.

| Nr. de ordine | W/S [J/mm] | $\Delta\gamma$ [g/min] | | | |
|---------------|------------|------------------------|--------|-----------|------|
| | | BrAJN-10-4-4 | VJL-2M | PT-19N-01 | BrC |
| 1. | 2 | 0,5 | 0,37 | 0,25 | 0,13 |
| 2. | 3,5 | 0,7 | 0,55 | 0,4 | 0,13 |
| 3. | 5 | 0,87 | 0,72 | 0,56 | 0,2 |
| 4. | 6,5 | 1,08 | 0,9 | 0,7 | 0,26 |
| 5. | 8 | 1,23 | 1,08 | 0,87 | 0,3 |
| 6. | 9,5 | 1,45 | 1,26 | 1,03 | 0,34 |
| 7. | 11 | 1,64 | 1,44 | 1,18 | 0,38 |
| 8. | 12,5 | 1,84 | 1,63 | 1,34 | 0,42 |
| 9. | 14 | 2,04 | 1,8 | 1,5 | 0,47 |

Caracterul acestei dependențe poate fi lămurit în baza analizei datelor din tabelul 1.4 și 1.5 care indică că energia acumulată pe baterea condensatoare a generatorului de impulsuri de curent este o mărime constantă, pe când energia degajată în interstițiu crește odată cu mărirea lui. Creșterea energiei degajate în interstițiu, provoacă sporirea volumului canalului de plasmă [45, 46], și respectiv în el pot pătrunde un număr mai mare de particule de pulberi.

Deci, datorită sporirii cantității de particule prelucrate, crește și intensitatea formării depunerii. Prin urmare creșterea de masă este cauzată de degajarea căldurii prin efectul Joule-Lentz, atât în canalul de plasmă, cât și în particulele pulberii. Cercetările experimentale demonstrează că energia degajată în interstițiu în prezența particulelor de pulberi este cu 3...5% mai mare decât în lipsa lor.

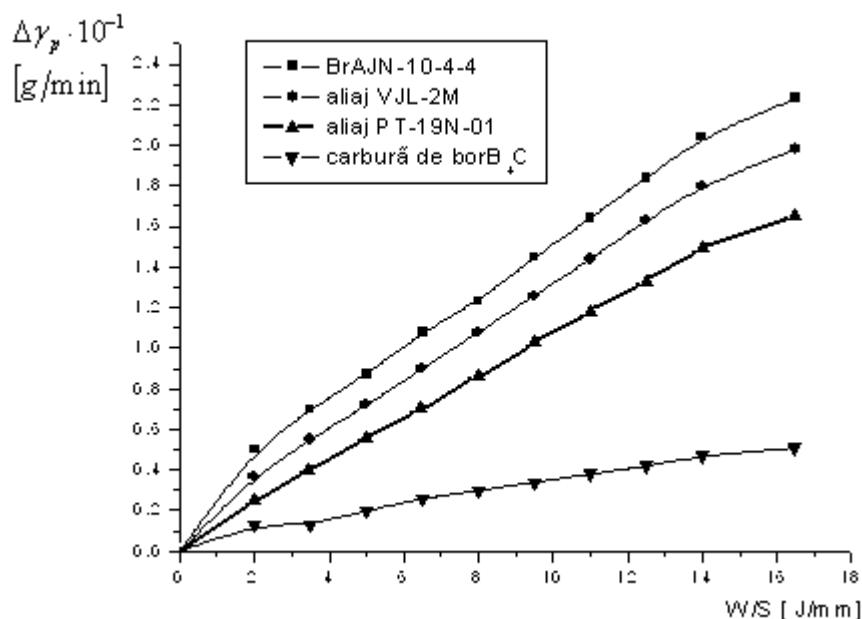


Fig. 6.8. Influența densității de energie degajată în interstițiu asupra intensității formării depunerii $\Delta\gamma_p$ pentru diferite valori ale raportului W/S (energia degajată în interstițiu raportată la mărimea interstițiului). ◆ – BRAJN-10-4-4, ■ – PT-19N-01, ▲ - Oțel-3, x – Carbură de bor BrC.

Dependențele prezentate în figura 6.8 confirmă relația pentru fluxul de căldură pe particula de pulberi și timpul de topire a ei. Aceste dependențe pot fi approximate cu relații de forma [43, 45, 47]:

$$\Delta\gamma \approx \left(\frac{W}{S}\right)^K \quad (6.3)$$

Cercetările efectuate în acest subcapitol au drept scop elucidarea cauzelor influenței regimului energetic asupra intensității formării depunerii. Ele au stabilit că cercetarea în complex a dependenței $\Delta\gamma \approx \left(\frac{W}{S}\right)^K$ are o legătură directă cu cercetările efectuate anterior, privind stabilirea condițiilor de formare a fazei lichide pe suprafața piesei. În baza acestor cercetări sa stabilit că, energia degajată în interstițiu W și mărimea acestuia S , provoacă schimbări de eroziune pe suprafețele sculei și piesei și condiționează redistribuirea energiei între sculă-canal-

piesă, iar ca rezultat are loc schimbarea volumului canalului de plasmă, deci și a cantității de particule de pulbere ce pot fi prelucrate în el.

Plus de aceasta, în condițiile creșterii interstițiului pentru una și aceeași cantitate de energie acumulată pe baterea de condensatoare a generatorului de impulsuri de curent, se observă o creștere de 10...15% a energiei degajate în interstițiu [40, 43, 45, 47]. Deci efectiv, aceste cercetări ne indică o dependență direct proporțională între creșterea intensității depunerii și densitatea energiei în interstițiu. De asemenea se observă o creștere a intensității masice de formare a depunerii până la valori optime pentru interstiții de 0,5...1 mm (vezi fig. 6.4) pentru limitele lui $W = 1...7 J$.

6.5.4. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de mărimea razei particulei de pulberi metalice

În funcție de dimensiunile particulei de pulberi și de materialul lui de fabricare a acestuia pentru obținerea straturilor calitative este necesar să se aleagă regimul prelucrării. Pentru creșterea intensității procesului de depunere se impune alegerea dimensiunilor particulelor și a regimurilor eficiente de prelucrare. În acest scop au fost prezentate dependențele intensității masice a formării depunerii, în funcție de raza particulei de pulbere pentru diferite materiale (figura 6.8). Aceste dependențe indică asupra faptului că, odată cu creșterea razei particulei b_0 , are loc o scădere a intensității procesului de depunere pentru toate materialele cercetate, mărimea scăderii fiind determinată de proprietățile materialului de depunere. Astfel, în cazul bronzului *BrAJN-10-4-4*, creșterea razei particulei (fig. 6.8) de la 10 μm la 100 μm provoacă o scădere a intensității de depunere de 10 ori, pentru aliajul *PT-19N-01* numai de ≈ 5 ori, iar pentru *BrC* de 2 ori.

Tabelul 6.7

Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de mărimea razei particulei de pulberi metalice.

| Nr. de ordine | B_0 [μm] | $\Delta\gamma$ [g/min] | | | |
|---------------|----------------------------|---------------------------|--------|-----------|------|
| | | BrAJN-10-4-4 | VJL-2M | PT-19N-01 | BrC |
| 1. | 10 | 0,63 | 1,08 | 2,21 | 2,33 |
| 2. | 20 | 0,43 | 0,89 | 1,96 | 2,09 |
| 3. | 30 | 0,38 | 0,8 | 1,74 | 1,87 |
| 4. | 40 | 0,34 | 0,72 | 1,5 | 1,64 |
| 5. | 50 | 0,3 | 0,63 | 1,27 | 1,42 |
| 6. | 60 | 0,25 | 0,55 | 1,04 | 1,2 |
| 7. | 70 | 0,21 | 0,46 | 0,82 | 0,98 |
| 8. | 80 | 0,17 | 0,38 | 0,58 | 0,76 |
| 9. | 90 | 0,12 | 0,29 | 0,36 | 0,55 |
| 10. | 100 | 0,08 | 0,2 | 0,12 | 0,33 |

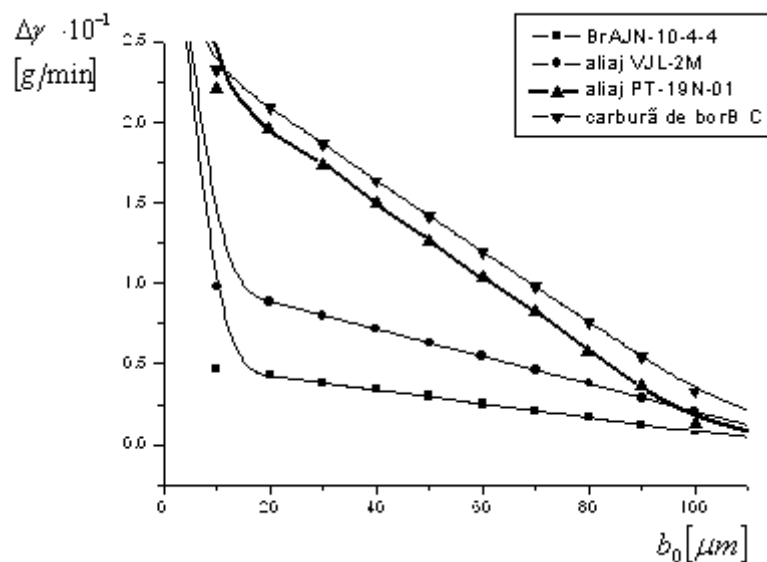


Fig. 6.9. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice, în funcție de mărimea razei particulei de pulberi metalice. $W=5,7$ J, $f=60$ Hz, timpul prelucrării 2 min. Materialele de depunere : 1) \times BrAJN-10-4-4; 2) Δ VJL-2M, 3) \blacksquare PT-19N-01, 4) \blacklozenge BrC

Aceste dependențe indică clar că pentru obținerea unei intensități sporite de formare a depunerii este necesară utilizarea particulelor de dimensiuni cât mai mici [28, 35, 42, 44, 45, 46].

Aceasta se explică prin faptul că într-o unitate de volum (ex. 1mm^3), încap mai multe particule de dimensiuni mai mici, umplerea este mai bună, iar ca

rezultat, interstițiul real se micșorează, energia degajată în mediul înconjurător scade, și respectiv, cea utilă crește, iar ca urmare, crește și intensitatea formării depunerilor.

Dependențele prezentate în figura 6.8. Pentru diametrele particulelor cuprinse în limitele 20...100μm pot fi descrise cu relația [16-18, 22, 45]:

$$\Delta\gamma_p \approx b_0^{-K} \quad (6.4)$$

Analiza rezultatelor obținute indică asupra necesității utilizării particulelor de cu raza mică atât din punct de vedere a intensității formării depunerilor, cât și a utilizării energiei. Aceasta se explică prin faptul că pentru una și aceeași masă de particule de rază mică ori mai mare, procesele termice în plasmă se petrec diferit.

În cazul utilizării particulelor de dimensiuni mai mici, pentru una și aceeași masă de particule, aria suprafețe prin care are loc schimbul de căldură dintre pulbere și plasmă crește factorul ce duce la încălzirea mai rapidă a particulelor pînă la topire. Vom menționa, că durata de topire a particulelor din wolfram cu raza de 25 μm constituie $130 \cdot 10^{-6}$, cupru $99 \cdot 10^{-6}$ și oțel $34 \cdot 10^{-6}$ [22, 35, 36]. Aceasta ne indică și faptul că, utilizînd particule de rază mică datorită sporirii coeficientului de umplere a interstițiului cu pulberi și micșorării timpului de topire a particulelor, putem micșora durata descărcării electrice în impuls, și respectiv putem mări frecvența descărcărilor electrice în impuls, iar proporțional cu aceasta și intensitatea formării depunerilor (fig. 6.10).

6.5.5. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de frecvența descărcărilor electrice

Cercetările privind stabilirea dependenței intensității creșterii de masă a piesei (catod) la formarea straturilor de depunere din pulberi metalice indică asupra faptului că, aceasta crește direct proporțional cu creșterea frecvenței impulsurilor, pentru toate materialele utilizate la încercări. Aceste dependențe pot fi exprimate cu relația:

$$\Delta\gamma_p = 60N_i \cdot f^\beta \cdot \rho \cdot V_p$$

(6.5)

în care: f - frecvența impulsurilor de lucru, β - exponent dependent de proprietățile fizico-mecanice a materialului de fabricare a pulberilor, forma și de dimensiunile particulelor, N_i - numărul de particule depuse în timpul unei descărcări electrice în impuls, ρ - densitatea materialului pulberii metalice, V_p - volumul unei particule de pulberi.

Tabelul 6.8

Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de frecvența impulsurilor descărcărilor electrice

| Nr. de ordine | f [Hz] | $\Delta\gamma$ [g/min] | | | |
|---------------|--------|------------------------|--------|-----------|------|
| | | BrAJN-10-4-4 | VJL-2M | PT-19N-01 | BrC |
| 1. | 10 | 0,28 | 0,18 | 0,12 | 0,04 |
| 2. | 23,3 | 0,52 | 0,4 | 0,24 | 0,1 |
| 3. | 36,66 | 0,78 | 0,63 | 0,4 | 0,16 |
| 4. | 50 | 1,03 | 0,84 | 0,53 | 0,22 |
| 5. | 63,33 | 1,28 | 1,07 | 0,67 | 0,27 |
| 6. | 76,66 | 1,52 | 1,3 | 0,82 | 0,32 |
| 7. | 90 | 1,78 | 1,52 | 0,97 | 0,38 |
| 8. | 103,3 | 2,01 | 1,74 | 1,1 | 0,42 |
| 9. | 116,63 | 2,28 | 1,98 | 1,24 | 0,48 |
| 10. | 130 | 2,52 | 2,22 | 1,49 | 0,53 |

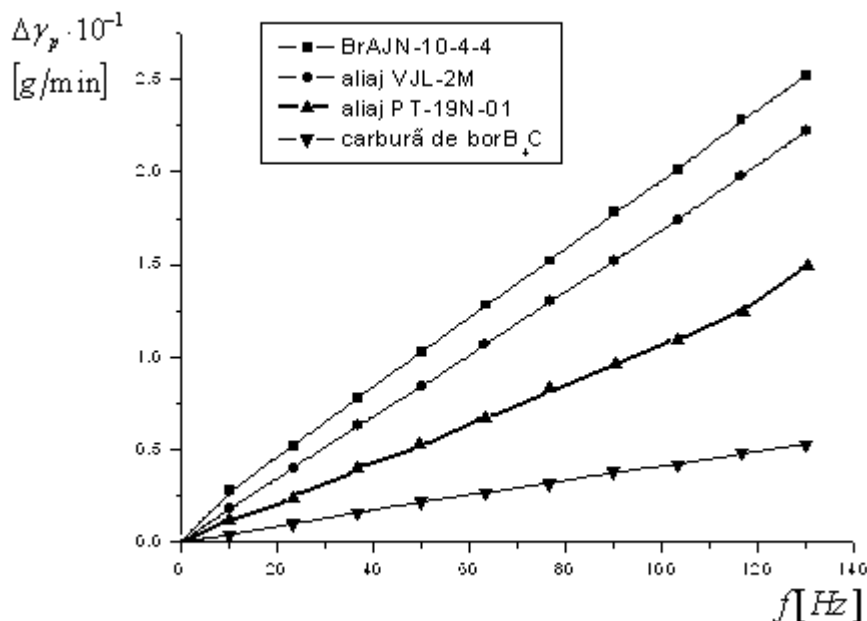


Fig. 6.10. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de frecvența impulsurilor descărcărilor electrice.

1) BrAJN-10-4-4; 2) VJL-2M, 3) PT-19N-01, 4) BrC.

În rezultatul cercetărilor experimentale, au fost construite dependențele prezentate în figura 6.10 și dedusă cu relația 6.5, care indică că frecvența descărcărilor în impuls influențează direct proporțional intensitatea formării depunerii din pulberi metalice. Aceasta confirmă funcționarea perfectă a dispozitivului de dozare a pulberii și indică că pentru a spori productivitatea este necesară aplicarea generatoarelor de impulsuri de curent cu frecvențe mai mari de 120 Hz, adică mai mare decât cele utilizate la executarea cercetărilor experimentale. Cu relația 6.5 poate fi calculată intensitatea formării depunerilor precum și timpul de prelucrare necesar pentru obținerea unor straturi cu parametrii prescriși.

6.5.6. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de timpul specific de prelucrare

În unele din lucrările ce țin de domeniul formării straturilor de depunere cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls [1-4, 48], a fost stabilit că, unul din neajunsurile acestei metode este imposibilitatea obținerii depunerilor de grosimi mai mari. În procesul formării depunerilor se atinge o grosime limită, după care nu numai că nu se mai poate obține o creștere a grosimii stratului depus, dar se atestă procesul invers- de micșorare a înălțimii acestuia. Mai târziu, în lucrările [6, 7, 10, 11, 45] s-a stabilit că și în cazul formării depunerilor din pulberi metalice sau prin utilizarea electrozilor compacți, creșterea de masă a piesei (catod) se produce pînă la un anumit timp specific de prelucrare. La creșterea a timpului de prelucrare intensitatea masică de formare a stratului de depunere scade ca și în cazul depunerii cu aplicarea descărcărilor electrice cu rupere de contact. Timpul specific de prelucrare (t_{sp}), este timpul de prelucrare raportat la o unitate de suprafață prelucrată.

$$t_{sp} = \frac{t_{pr}}{A_{pr}} \left[\frac{\text{min}}{\text{cm}^2} \right] \quad (6.6)$$

Pentru cercetările analizate, în lucrarea de față, intensitatea formării straturilor de depunere din pulberi metalice funcție de timpul specific de prelucrare este prezentată în fig. 6.10, din care se observă că pentru condiții identice de prelucrare, materialele se comportă diferit.

Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de timpul specific de prelucrare pentru diferite materiale de depunere.

| Nr. de ordine | T [min/cm ²] | $\Delta\gamma$ [g/min] | | | |
|---------------|-----------------------------|---------------------------|--------|-----------|-----|
| | | BrAJN-10-4-4 | VJL-2M | PT-19N-01 | BrC |
| 1. | 0,2 | 0,26 | 0,1 | 0,16 | 0,2 |
| 2. | 0,33 | 0,35 | 0,26 | 0,29 | 0,4 |
| 3. | 0,47 | 0,45 | 0,44 | 0,43 | 0,6 |
| 4. | 0,6 | 0,54 | 0,6 | 0,56 | 0,8 |
| 5. | 0,73 | 0,64 | 0,76 | 0,7 | |
| 6. | 0,86 | 0,73 | 0,92 | 0,83 | |
| 7. | 1 | 0,84 | 1,06 | 0,93 | |
| 8. | 1,13 | 0,93 | 1,13 | 0,95 | |
| 9. | 1,26 | 1,025 | 1,01 | 0,91 | |
| 10. | 1,4 | 1,125 | 0,85 | 0,76 | |

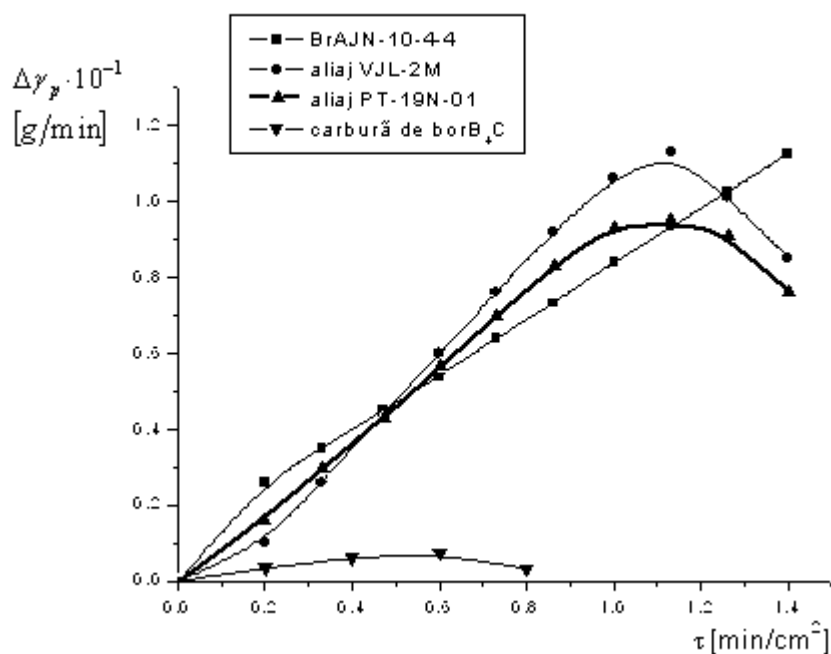


Fig. 6.11. Variația intensității masice de formare a depunerii din pulberi metalice în funcție de timpul specific de prelucrare pentru diferite materiale de depunere

◆ – BRAJN-10-4-4, ■ – PT-19N-01, △ - Oțel-3, x – Carbură de bor BrC

Astfel, în cazul bronzului *Br0-10* pentru timpul specific de prelucrare de 1,5 min/cm², valoarea maximă a mărimii $\Delta\gamma$, nu este atinsă, în timp ce în cazul aliajului

PT-19N-01 valoarea maximă a mărimii este atinsă la 1 min/cm^2 , iar pentru carbura de bor la numai $0,3-0,5 \text{ min/cm}^2$.

Limitarea creșterii de masă, ca rezultat a grosimii depunerii, depinde atât de energia descărcării cât și de proprietățile materialului depus, și îndeosebi de proprietatea de călibilitate a acestuia [45]. În rezultatul cercetărilor metalografice efectuate, s-a constatat că grosimea stratului depus este condiționată de duritatea lui. Apariția fisurilor în stratul depus, din punct de vedere a timpului specific de prelucrare se produce mai devreme pentru materiale mai ușor calibile.

Cercetările efectuate, în scopul aprecierii influenței timpului specific de prelucrare, asupra intensității formării depunerii au stabilit că, în cazul alierii suprafețelor metalice, prin electroeroziune cu materiale compacte, grosimea depunerii formate este limitată [3, 4].

Una din cauzele limitării timpului specific de depunere a straturilor din pulberi metalice este apariția tensiunilor remanente de natură termică. În calitate de argument în favoarea acestei afirmații servește sporirea duratei timpului specific de prelucrare (t_{sp}) la regimuri energetice joase, ale descărcărilor electrice în impuls.

6.6.Grosimea straturilor de depunere formate din pulberi metalice cu aplicarea DEI

Din punct de vedere tehnologic un parametru care necesită a fi pronosticat, este grosimea stratului de depunere. Acest parametru este destul de important fiindcă în unele cazuri el este determinativ în aplicarea tehnologică a metodei. Până în prezent, atât din cercetările de autori cât și din a celor efectuate de alți cercetători, se știe că grosimea straturilor obținute este limitată. Grosimi relativ mari (de circa 1mm), au fost obținute în deosebi pentru bronzuri, pe când pentru aliajele dure de tipul BK și TTK de numai $30 \mu\text{m}$.

Analizând rezultatele experimentale ale autorilor monografiei și cele din lucrările [16, 17, 45], în cazul formării straturilor de depunere din diferite materiale, pentru grosimea depunerii a fost dedusă următoarea relație:

$$H = \frac{P^c \cdot f^d \cdot W^k (a - bS^2) \cdot r^m}{\rho \cdot A} \cdot n \quad (6.7)$$

în care P - debitul de pulberi; f - frecvența descărcărilor în impuls; r - raza echivalentă a particulelor de pulberi; W - energia degajată în interstițiu; S - mărimea interstițiului; ρ - densitatea materialului particulelor; A - aria suprafeței prelucrate; n - numărul de treceri a electrodului-sculă pe suprafața prelucrată a piesei; a, b - constante proprii ale materialelor de depunere; c, d, k, m - exponenți de putere care se stabilesc experimental și sînt funcție atît de proprietățile materialului pulberii cît și de condițiile de prelucrare.

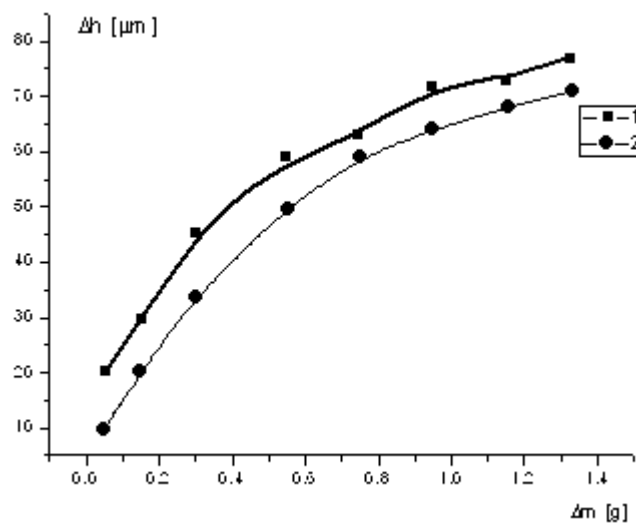


Fig. 6.12. Dependența grosimii stratului de depunere în funcție de variația masică a piesei-catod: 1 – BrO-10, 2 – PT-19N-01

Curbele prezentate în fig. 6.12 prezintă dependența grosimii stratului de depunere funcție de variația masei a piesei-catod la formarea depunerilor din pulberi cu aplicarea DEI în regim de subexcitare.

Ținînd cont de rezultatele experimentale obținute de autorii lucrărilor [32-34, 38, 39] pentru determinarea grosimii stratului de depunere relația (6.7) poate fi scrisă sub forma:

$$H = \frac{\Delta m}{\rho \cdot A} \cdot n \quad (6.8)$$

unde
$$\Delta m = P^c \cdot f^d \cdot W^k (a - bS^2) r^m \quad (6.9)$$

Uniformitatea de depunere a stratului se caracterizează prin grosimea stratului depus (sau a mărimii Δm pe fiecare unitate de suprafață). Dacă în procesul prelucrării manuale, pe diferite porțiuni de suprafață timpul de prelucrare este diferit caracterul, suprafeței obținute nu este continuu mecanizarea proceselor de prelucrare asigură formarea depunerii uniforme pe toată suprafața piesei.

Compactitatea straturilor și existența unor adâncituri sau aspirități se apreciază vizual sau se măsoară utilizând metoda de analiză cu ajutorul microscopului.

6.7. Depunerea straturilor din pulberi metalice pe suprafețe plane.

6.7.1. Descrierea echipamentului tehnologic

Cercetările descrise în paragrafele 6.5.1...6.5.6 privind stabilirea influenței parametrilor principali ai regimului de prelucrare asupra vitezii de depunere a straturilor din pulberi metalice, au fost efectuate pentru cazul suprafețelor exterioare de rotație, problema formării depunerilor pe suprafețe plane și profilate rămânând în continuare deschisă. După cum rezultă din cercetările prezentate în lucrările [45, 47], în acest caz, pulberile din dispozitivul de dozare se introduceau în interstițiu prin curgere continuă.

Metoda descrisă în lucrările [11, 13, 15] permit doar prelucrarea suprafețelor cilindrice exterioare. După cum a fost demonstrat în lucrările [14, 16-18, 22, 23] prelucrarea conform procedeele tehnologice descrise în [11, 24] asigură formarea straturilor de depunere cu grosimi de până la 0,7 mm, necesită introducerea particulelor de pulberi metalice în zona anodică prin curgere continuă din dispozitivul de dozare. Această metodă permite și prelucrarea suprafețelor plane, însă se pot realiza doar suprafețe mici de ordinul a câțiva cm^2 , iar pentru aceasta piesa (tip flanșă sau bucșă) se fixează în universalul instalației și se supune unei mișcări de rotație. Formarea depunerii pe suprafața prelucrată a piesei se începe de la centru. Datorită faptului că scula efectua o mișcare de avans transversală, iar traectoria după care se forma stratul de depunere descria o

spirală, nu putea fi obținut un strat de aceeași grosime și continuu pe toată suprafața prelucrată, fiindcă viteza relativă dintre suprafața prelucrată a piesei și electrodului –sculă se modifica pe măsura creșterii razei de rotație a porțiunii de suprafața prelucrată. Procedul prezentat în paragrafele 6.1 și 6.5 poate fi aplicat numai în cazul prelucrării suprafețelor frontale ale bușelor inelare în cazul în care mișcarea de avans transversal al sculei este nulă, adică atunci când fâșia ce prezintă suprafața prelucrată poate fi obținută la o singură trecere.

Pentru a prelucra în același mod suprafețe plane, era necesar ca suprafața prelucrată să fie orientată în poziție verticală, iar direcția cursei de lucru să fie de jos în sus. Dar și în acest caz particulele de pulberi care nu intrau în interacțiune cu plasma, se aglomerau în interstițiu, provocând îmbâcsirea acestuia, ceea ce conducea la imposibilitatea respectării regimului tehnologic prescris.

Pentru rezolvarea acestor probleme, au fost dezvoltate cercetări teoretice și experimentale care au condus la conceperea unui nou echipament și, respectiv, procedeu tehnologic [20] a cărei schemă de principiu este prezentată în figura 6.12. În acest caz, al depunerii straturilor din pulberi metalice pe suprafețe plane, electrodul-sculă 1 are formă de disc, fiind realizat din cupru tehnic M-3, pentru a avea o rezistență mai mare la electrieroziune.

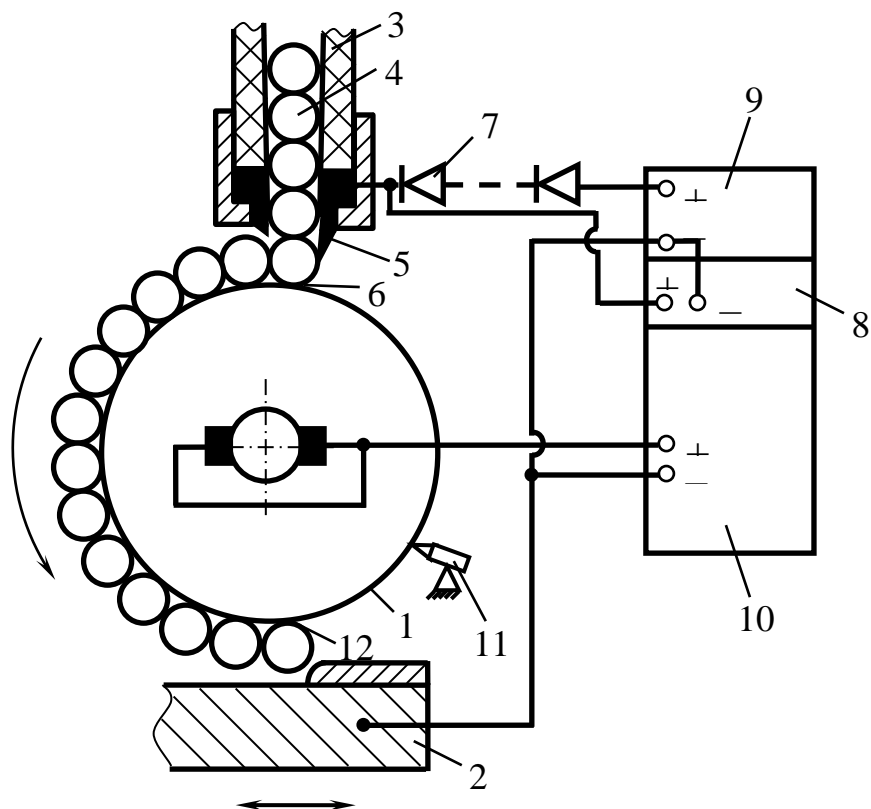


Fig. 6.12. Schema echipamentului pentru obținerea straturilor din pulberi metalice pe suprafețe plane exterioare

Sistemul de alimentare a interstițiului cu pulbere metalică (fig. 6.12) este realizat dintr-un tub capilar din material dielectric, al cărui diametru interior se alege mai mare decât al particulelor de pulberi de 1,1...1,2 ori, pentru evitarea formării dopurilor. În partea de jos al tubului capilar este situat un electrod ajutător 5, realizat din grafit electrotehnic marca MP Gh.-6 pentru evita microsudarea particulelor de pulbere metalică 4 pe suprafața lui, reglat la distanța 6, mai mică decât diametrul particulei față de electrodul-sculă 1. Electrodul ajutător 5 este conectat la borna pozitivă a generatorului de impulsuri de amorsare 7, și, printr-un șir de diode de protecție 8 legate în serie, la polul pozitiv al generatorului de impulsuri de putere mică 9. Electrodul-sculă 10 este conectat la borna pozitivă a generatorului 10 de impulsuri de putere. Bornele negative ale generatoarelor 7, 9 și 10 sunt conectate la piesa de prelucrat 2.

Pentru menținerea dimensiunilor sculei, aceasta se află în contact permanent cu creionul din diamant 11, care înlătură de pe suprafața anodului-sculă resturile de particule de pulbere care nu au fost transferate pe suprafața piesei de către descărcarea electrică de putere.

Pentru obținerea impulsului de amorsare și a celui de lucru, a fost utilizată instalația „Razread” [8, 45], iar impulsurile de microsudare a particulelor de pulbere metalică pe suprafața de lucru a electrodului-sculă au fost obținute cu utilizarea generatorului de impulsuri de curent al instalației EFI-46 A [5, 37, 47] la care capacitatea condensatorului de lucru a fost micșorată pînă la $20\mu\text{F}$, iar tensiunea de încărcare s-a reglat în limitele 20...30 V, prin intermediul unui autotransformator.

Instalația pentru depunerea pulberilor metalice funcționează cum urmează următor: în spațiul 6, dintre electrodul-sculă 1 și electrodul auxiliar 5, sa introdus particulele de pulbere 4 prin tubul capilar 3. Scula 1 execută o mișcare de rotație. La pornirea generatorului de impulsuri de amorsare 7 și simultan a generatorului de impulsuri de putere mică 9, impulsul de amorsare străpunge lanțul: electrod auxiliar 5 – particula de pulbere metalică 4 – sculă 1 - piesă 2. În același timp acționează impulsul de putere mică de la generatorul 9, care realizează topirea particulei 4 în punctul de contact cu scula 1 și ca rezultat se obține microsudarea particulei cu scula și formarea unei pete de contact 12. La rotirea sculei 1 și atingerea de către particula microsudată a zonei de lucru, respectiv a interstițiului format între sculă-particulă și piesă, intră în funcțiune și generatorul impulsurilor de putere 10.

Impulsul de putere generat de 10, provoacă topirea microsudurii și ruperea particulei de pulbere metalică de pe suprafața sculei, încălzirea și transferarea ei pe suprafața piesei cu formarea depunerii. În timpul desfășurării procesului tehnologic electrodul-sculă sub formă de disc execută o mișcare relativă, compusă dintr-o mișcare de rotație în jurul axei sale și o mișcare de translație (de avans) în lungul suprafeței piesei prelucrate.

Acest procedeu de prelucrare permite obținerea atât a depunerilor discrete, cât și a celor continui, prin corelarea vitezei de avans a electrodului-sculă și frecvenței DEI.

Dispozitivul de alimentare [19, 21, 30, 31], realizat în baza tubului capilar 3, asigură formarea în interiorul său, a unei coloane de particule, care nimerind în interstițiul 6 sunt microsudate, una câte una, pe suprafața exterioară a sculei.

Este important a sublinia că, străpungerea interstițiului de lucru piesă-disc și a impulsului de microsudare a particulei de pulbere metalică pe suprafața sculei, se realizează simultan de către impulsul de amorsare de tensiune înaltă. Acest fapt determină o sincronizare în timp a proceselor de microsudare a particulelor de pulberi pe suprafața electrodului-sculă și de formare a depunerii. Din motivele menționate este posibilă utilizarea particulelor de pulberi metalice cu suprafețe oxidate și celor fabricate din semiconductori.

6.7.2. Stabilirea parametrilor de lucru la formarea depunerilor din pulberi pe suprafețe plane cu aplicarea DEI

Utilizarea echipamentelor și a procedeelor descrise în lucrările [19, 21, 30, 31], a permis a simplificarea metodicii alegerii parametrilor de lucru ai procesului tehnologic. Pentru determinarea condițiilor apariției fazei lichide pe suprafața piesei, a fost aplicată relația de calcul (2.10), în care mărimea interstițiului a fost înlocuită cu valoarea efectivă a acestuia:

$$S_{ef} = S_F - 2b_o \quad (6.10)$$

unde $2b_o$ este diametrul particulei de pulbere care se microsudează pe suprafața de lucru a electrodului-sculă.

Calculul timpului de topire a particulei din pulbere metalică se efectuează și în acest caz, conform relației (2.60).

În cazul realizării acestui procedeu de formare a depunerilor particula microsudată pe suprafața sculei, de la începutul descărcării se află în zona anodică

și chiar participă direct la formarea acestei zone. Deci, se asigură niște condiții favorabile pentru topirea ei. Pentru un astfel de procedeu de depunere se aplică energii mici ale descărcărilor în impuls pînă la 2 J și interstițiul efectiv poate fi micșorat.

Deoarece valoarea efectivă a interstițiului este de ordinul a 0,1...0,2 mm, iar ruperea particulei de pe suprafața sculei în conformitate cu lucrarea [21] are loc la începutul impulsului de lucru, viteza inițială a acesteia va fi zero, iar intensitatea câmpului electric ce o transportă va depinde de căderea de tensiune pe interstițiu, relația pentru calculul vitezei particulei în câmpul descărcării solitare în conformitate cu [27, 45] are forma:

$$V = U\tilde{S}_F^{-\frac{1}{2}}\rho^\gamma(b_0 + \ln b_0) \quad (6.11)$$

în care: U este căderea de tensiune pe interstițiu, iar S, ρ , b_0 sunt respectiv mărimea interstițiului, densitatea materialului particulei, și raza echivalentă a particulei.

Regimul energetic al descărcărilor electrice în impuls se alege reeșind din condiția ca particula să se topiască complet pe durata descărcării; în baza acestui fapt valoarea duratei descărcării electrice în impuls se alege cu 10-15% mai mare decît valoarea obținută pentru timpul de topire.

Viteza formării depunerii din pulberi, este direct proporțională cu masa „m” a unei particule înmulțită cu fregvența „f” a impulsurilor de lucru. Pentru sporul de masă $\Delta\gamma$ al piesei poate fi calculat cu relația:

$$\Delta\gamma_p = m \cdot f \cdot 60 \quad (6.12)$$

După cum a fost menționat mai sus procedeul permite realizarea depunerilor continui și discrete. Caracterul de continuitate al depunerii va fi funcție de viteza de avans pe care o va primi electrodul-sculă. Viteza de avans a sculei se determină cu relația:

$$V_{av} = 2k b_0 f \quad (6.13)$$

în care k - este coeficientul de suprapunere a zonelor de prelucrare obținute în rezultatul interacțiunii descărcării solitare cu suprafața piesei (în cazul cînd acesta ia valori $k \leq 0,5$ se obțin depuneri continui, iar dacă $k \geq 1$ se obțin depuneri discrete

ce conțin zone separate distribuite pe suprafața prelucrată într-o anumită ordine), $2b_0$ -diametrul particulei de pulberi (mm) și f - frecvența descărcărilor electrice în impuls (Hz).

Este absolut necesar menționa că, la realizarea acestui procedeu de formare a depunerilor pe suprafețe plane se asigură un randament sporit de utilizare a pulberii. Randamentul η al utilizării pulberii se definește cu raportul dintre creșterea de masă a piesei $\Delta\gamma_p$ și debitul de pulbere din dozator (P):

$$\eta = \frac{\Delta\gamma_p}{P} \cdot 100\% \quad (6.14)$$

Această mărime este foarte importantă deoarece ea presupune utilizarea particulelor pulberii metalice într-un singur ciclu de prelucrare. Aceasta asigură evitarea proceselor de oxidare, îmbibare cu azot și cu alte elemente ale mediului de lucru a depunerii obținute. De asemenea, randamentul determină continuitatea depunerii și uniformitatea acesteia după grosime (v. tabelul 6.10).

Este important a menționa faptul că, datele privind randamentul utilizării pulberii metalice la depunere exprimă în mod direct și intensitatea formării acesteia. În dependență de numărul de particule microsudate pe suprafața sculei și apoi rupte de pe ea, și transferate pe suprafața prelucrată a piesei într-o unitate de timp, va crește și intensitatea formării depunerii. Atît randamentul utilizării pulberii metalice [20], cît și intensitatea formării depunerii depind de diametrul microsudurii particulei de pulberi metalice pe suprafața sculei (fig. 6.13).

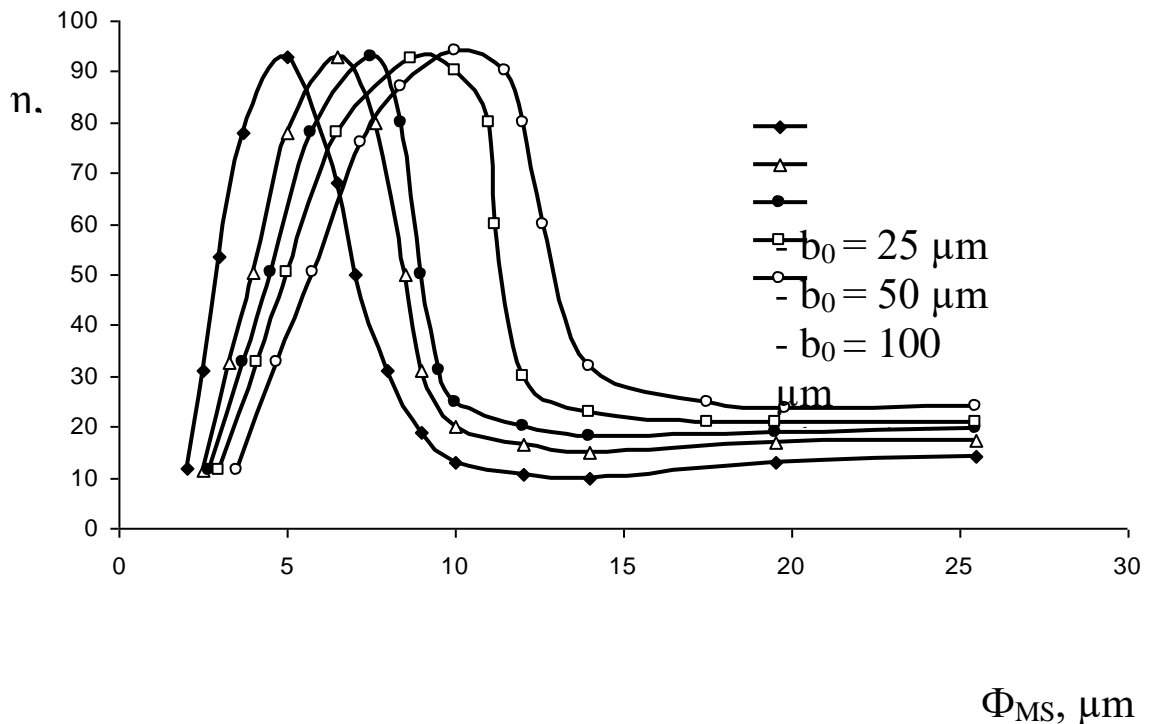


Fig. 6.13. Variația randamentului utilizării pulberii metalice în funcție de diametrul zonei de microsudură a particulei cu electrodul- sculă

În figura 6.14 și tabelul 6.10 este prezentată dependența randamentului de utilizare a pulberilor, în funcție de diametrul zonei de microsudură a particulei cu suprafața sculei, pentru pulberi din bronz al cărui diametru este cuprins în limitele: 1-50 μm , 2-100 μm , 3-200 μm , 4-300 μm , 5-400 μm . Această dependență arată că limitele diametrului optim al zonei de microsudură a particulei de pulbere cu suprafața sculei sunt cuprinse între 5 și 10 μm , ceea ce corespunde energiei impulsului de microsudare de 0,015 J.

Pentru valori mai mici ale acestei zone randamentul de utilizare a pulberilor este mic datorită desprinderii lor de pe suprafața sculei sub acțiunea forței centrifuge, iar în cazul valorilor mai mari de 10 μm , această mărime scade deoarece o parte mai mare a materialului particulei rămîne pe suprafața sculei.

Caracteristicile depunerii formate din pulberi pe suprafețe plane cu
aplicarea DEI

| Materialul stratului | Diametrul particulelor μm | Continuitatea stratului % | Uniformitatea (raportul dintre grosimea maximă și cea minimă) | Grosimea stratului μm | Conpoziția fizică | Randamentul de utilizare a pulberii metalice |
|----------------------|--------------------------------------|---------------------------|---|----------------------------------|--------------------|--|
| BrO-10 | 50 | 98 | 1,1 | 650 | Oxizi lipsesc - | 95 |
| | 100 | 100 | 1,2 | 700 | | 98 |
| | 200 | 100 | 1,2 | 700 | | 97 |
| | 300 | 100 | 1,2 | 700 | | 98 |
| | 400 | 98 | 1,2 | 700 | | 95 |
| Ni | 50 | 98 | 1,1 | 500 | | 95 |
| | 100 | 100 | 1,1 | 530 | | 97 |
| | 200 | 100 | 1,2 | 550 | | 97 |
| | 300 | 99 | 1,2 | 575 | | 97 |
| | 400 | 100 | 1,2 | 600 | | 95 |
| SNGhN | 50 | 100 | 1,1 | 220 | | 95 |
| | 100 | 99 | 1,1 | 250 | | 97 |
| | 200 | 100 | 1,2 | 300 | | 97 |
| | 300 | 100 | 1,15 | 350 | | 97 |
| | 400 | 100 | 1,2 | 420 | | 95 |

Acest procedeu de obținere a depunerilor de pulberi metalice, presupune transferul unei particule la fiecare descărcare sub formă de impuls de lucru, ceea ce micșorează productivitatea masică de formare a depunerii în comparație cu cel al pelucării suprafețelor cilindrice, prezentat în paragrafele 6.5 și 6.6.

Procedeu prezentat asigură utilizarea practic totală a pulberii metalice, micșorarea esențială a interstițiului, înlătură apariția zgomotelor provocate de undele de șoc, iar în cazul aplicării descărcărilor în impuls de frecvențe cuprinse în

limitele 0,1 și 1 kHz asigură o productivitate sporită. Pentru realizarea în practică a acestui procedeu sunt necesare generatoare de impulsuri de curent ce ar asigura caracteristicile necesare. Conceperea de către autorul lucrării [20] a procedului și utilajului pentru prelucrarea suprafețelor plane, a permis utilizarea lor și în cazul prelucrării suprafețelor cilindrice, și profilate. Straturile de depunere obținute conform acestui procedeu și cu utilizarea echipamentului descris [20] dispun de o continuitate de 98...100%. Uniformitatea acestora (v. tabel 6.10) se află în limitele 1,1...1,2, iar grosimea depunerilor poate atinge 700 μm. Micșorarea energiei impulsului de prelucrare $W < 2 \text{ J}$ a permis realizarea unor depuneri în care conținutul de oxizi sa micșorat, din cauza descreșterii volumului canalului de plasmă, iar odată cu el și a cantității gazului plasmogen cu care interacționează faza lichidă a particulelor de pulberi și a suprafeței de prelucrare a piesei. Concomitent se menține la un nivel mai constant conținutul chimic al depunerii din motivul descompunerii mai lente a compușilor activi din aliajul de fabricare a particulelor de pulberi.

Bibliografie

1. Самсонов, Г. В.; Верхотуров, А. Д.; Бовкун, Г. А.; Сычев, В. С. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Киев. 1976.
2. Антоско, В. Я.; Гитлевич, А. Е.; Коваль, Н. П. К вопросу об ограничении толщины упрочненного слоя при электроискровом легировании. Электронная обработка материалов № 4. 1975. с. 21-22.
3. Гитлевич, А. Е.; Парканский, Н. Я.; Игнатьков Д. А. Об ограничении толщины слоев, формируемых в процессе электроискрового легирования. Электронная обработка материалов № 3, 1981. с. 25 – 29.
4. Верхотуров, А. Д.; Подчерняева, И. А.; Кириленко, С. В. Хрупкое разрушение поверхностного слоя, формируемого в процессе электроискрового легирования. Электронная обработка материалов 1. 1986. с. 28 – 31.

5. Перетятку, П. В.; Михайлов, В. В.; Герцрикен, П. С.; Мазанко, В. Ф. Влияние магнитного поля на структуру и фазовый состав покрытий, полученных при электроэрозионном легировании. Электронная обработка материалов 4. 1995.
6. Гитлевич, А.Е.; Михайлов, В.В.; Парканский, Н.Я.; Ревуцкий, В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев: Штиинца, 1985. 196 с.
7. Парканский, Н.Я. Исследования процесса электроискрового нанесения покрытий из порошковых материалов в электрическом поле. Дисс. канд. техн. наук. Киев: Институт проблем материаловедения АН УССР.
8. Гитлевич, А.Е.; Ревуцкий, В.М. Особенности явлений на электродах при низковольтном разряде на промежутках больше пробивных. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по импульсным методам обработки материалов. Минск: ФТИ АН БССР, 1978. с. 196 – 197.
9. Гитлевич, А.Е.; Топала, П.А.; Куку, И.И.; Иванов, В.И. Снегирев, В.А. О возможности упрочнения металлических поверхностей на установках для электроискрового легирования типа «Разряд». ЭОМ, №2, 1987. с. 24 – 26.
10. Гитлевич, А.Е.; Топала, П.А.; Снегирев, В.А.; Игнатков, Д.А. Особенности электрической эрозии электродов при импульсных разрядах, протекающих в режиме недонапряжения. ЭОМ, №3, 1988. с. 9 – 12.
11. Парканский, Н.Я. Исследования процесса электроискрового нанесения покрытий из порошковых материалов в электрическом поле. Автореф. дисс. канд. тех. наук-ИПМ АН УССР, Киев. 1979. 19 с.
12. Лазаренко, Б.Р.; Гитлевич, А.Е.; Парканский, Н.Я. Электроискровое легирование с использованием электрического поля. ЭОМ, №6, 1976. с. 23 – 25.
13. Топала, П.А. Электроискровое легирование металлических поверхностей в режиме недонапряжения. Всесоюзная школа-семинар.

- Электрофизические методы и технологий воздействия на структуру и свойства материалов. Ленинград, судостроение. 1990. с. 90 – 91.
- 14.Топала, П.; Стойчев, П.; Епуряну, А.; Руснак, В. Упрочнение металлических поверхностей на участках для электроискрового легирования, и техносфера XXI века. Материалы Международной научно- технической конференции. Донецк. 2006. с. 262 – 266.
- 15.Гитлевич, А. Е.; Топала, П. А.; Ревуцкий, В.М.; Шистик, В.М.; Взаимодействие частиц порошка с каналом импульсного разряда в условиях электроискрового нанесения покрытий. ЭОМ, Кишинев. Nr.6, 1988. с. 20 – 25.
- 16.Топала, П. А.; Гитлевич, А.Е.; Беляков, А.В. Возможности и особенности электроискрового нанесения покрытий из порошковых материалов. Порошковые сплавы для авиационной техники. Сборник докладов. Москва. 1988. с. 98 – 99.
- 17.Топала, П. А. Электроискровое легирование металлических поверхностей в режиме недонапряжения, Всесоюзная школа-семинар. Электрофизические методы и технологии воздействия на структуру и свойства металлических материалов. Ленинград: Судостроение. 1990. с. 90 – 91.
- 18.Топала, П. А. Бесконтактный процесс электроискрового нанесения покрытий из порошковых материалов. Электрофизические технологии в порошковой металлургии. Москва. 1990. с. 97 – 98.
- 19.Гитлевич, А.Е.; Топала, П. А.; Негара, И.Х. Устройство на основе магнитоожигения для дозированной подачи порошковых материалов при элетроискровом легировании. ЭОМ. Кишинев. Nr.1, 1990. с. 70 – 73.
- 20.Топала, П. А.; Димитров, А.Н. Способ нанесения покрытий и устройство для его реализации. А.С.(СССР), Nr.1704971, М.К14, В23 Н9/00. 1990.

21. Гитлевич, А.Е.; Топала, П. А.; Куку, И.И. Устройство для дозированной подачи порошковых материалов в межэлектродный промежуток, А.С.(СССР), №.1574385 М.К14, В23 Н9/00. 1989.
22. Топала, П. А.; Беляков, А.В.; Гитлевич, А.Е.; Негара, И.Х. Упрочнение металлических поверхностей при электроискровом нанесении из порошковых материалов. Повышение надежности и долговечности материалов и деталей машин на основе методов термической и химико-термической обработки. Москва. 1988. с. 73 – 80.
23. Топала, П. А., Электроискровое нанесение покрытий с применением порошковых материалов. Электрические технологии в порошковой металлургии. Киев. 1988. с. 90 – 92.
24. Гитлевич, А.Е.; Топала, П. А.; Иванов, И.В.; Пушкина, Т.В. Электроискровое формирование покрытий из порошковых материалов на установках типа Разряд. Электроэрозионные и другие методы легирования. Кишинев. 1989. с. 121 – 123.
25. Топала, П. А.; Вишневский, А.Н. Процессы на поверхности катод-деталит при его упрочнении плазмой импульсного разряда. Электроэрозионные и другие методы легирования. Кишинев. 1989.
26. Топала, П. А.; Урсан, Б.А. Получение антизадирных покрытий из порошковых бронз. Электроэрозионные и другие методы легирования. Кишинев. 1989.
27. Topală, Pavel; Balanici, A.M.; Ursan, B.A. Mișcarea particulelor de praf metalic în câmpul descărcării electrice. Sesiunea de comunicări științifice. Pitești. 1992. p. 88 – 94.
28. Топала, П. А. Упрочнение металлических поверхностей при электроискровом нанесении порошковых материалов. Повышение надежности и долговечности материалов на основе новых методов термической обработки. Хмельницк. 1988. 91 с.

29. Topală, Pavel. Topirea particulelor de pulberi metalice în plasma descărcărilor electrice în impuls. Tehnologii Moderne Calitate Resrtucturare. Chișinău: Tehnico Info, 1999. p. 276 – 278.
30. Topală, Pavel, Dispozitiv de dozare a pulberii. Salonul Internațional de noutăți tehnice Inventa -99. București. 1999. 90 p.
31. Topală, Pavel. Dispozitiv de dozare a pulberii. Al III-lea salon de Invenții și produse noi Proinvent 99. București. 1999. 62 p.
32. Topală. Pavel; Epureanu, Alexandru; Balanici, Alexandru; Bălcănuță, Nicolae. Straturi cu proprietăți antifricțiune obținute cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Conf. Internațională. Tehnologii moderne, calitate, restructurare. vol.II, Chișinău. 2003. p. 279 – 282.
33. Topală, Pavel, Aplicații ale electroeroziunii în dezvoltarea tehnologiilor fine de prelucrare superficială a pieselor. In: Analele Științifice ale USB A.Russo. Bălți: Tomul XX, 2003. p. 66 – 70.
34. Topală, Pavel; Epureanu, Alexandru; Balanici, Alexandru; Cănanău, Nicolae; Bălcănuță, Nicolae. Structura metalografică a straturilor din pulbere metalice formate cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Conf. Internațională, Tehnologii moderne, calitate, restructurare. vol. II, Chișinău. 2003. p. 283 – 286.
35. Topală, Pavel; Alexandru, Balanici; Nicolae, Bălcănuță. Determinarea elementelor regimurilor tehnologice de formare a straturilor de depunere din pulberi metalice obținute prin aplicarea descărcărilor electrice în impuls. In: Analele Științifice ale USB A.Russo. Bălți. Tomul XX, 2003. p. 70 – 73.
36. Topală, Pavel; Olaru, Ion; Balanici, Alexandru; Pereteatcu, Pavel. Interacțiunea particulelor de pulberi cu canalul de plasmă a descărcărilor electrice în impuls. Culegere de lucrări științifice. Tehnologii Moderne. Calitate restructurare. Chișinău. 2005. p. 303 – 306.
37. Topală, Pavel; Pereteatcu, Pavel; Balanici, Alexandru; Olaru, Ion; Mihailov, Valentin Efecte rezultante ale aplicării câmpului magnetic asupra interstițiului la alierea suprafețelor prin descărcări electrice. Culegere de

- lucrări științifice. Tehnologii Moderne. Calitate restructurare. Chișinău. 2005. p. 239 – 242.
38. Topală, Pavel. Proprietățile funcționale ale straturilor de depunere din pulberi formate prin metoda electroeroziunii. Universitatea de Stat „Alec Russo”, „Fizica și tehnica: Procese, modele, experimente”, Nr.1, 2006. p. 72 – 77.
39. Topală, Pavel; Stoicev, Petru; Olaru, Ion. Aplicarea straturilor de depunere formate prin metoda electroeroziunii la sporirea durabilității sculelor. Buletinul Institutului Politehnic din Iași. Tomul LII, Fasc 5C, 2006. p. 963 – 969.
40. Topală, Pavel. The energy distribution in the gap at the gap tehnological applyng of the electrical discharges in impulses. Iași: Editura PIM, Nonconventional Tehnolgies Reviev, Nr.1, 2007. p. 129 – 132.
41. Balanici, Alexandru; Topală, Pavel; Abramciuc, Alexandru; Pereteatcu, Pavel; Rusnac, Vladislav; Beșliu, Vitalie; Cazacu, Ala. Raport științific, „Noi tehnologii avansate de prelucrare, recondiționare și de tratare a pieselor de construcții de mașini utilizate în industria alimentară, electrotehnică și electronică, în vederea creșterii performanțelor industriale”. Bălți. 2005.
42. Abramciuc, A.; Balanici, A.; Topală, P.; Pereteatcu, P. Cercetări privind procesul de prelucrare complexă a suprafețelor metalice prin electroeroziune și plasmă electrolitică. Raport științific. Universitatea de Stat “A.Russo”. Bălți. Num. înregist. de Stat 0197M01238, 2000. 66 p.
43. Balanici, Alexandru; Topală, Pavel; Abramciuc, Alexandru; Pereteatcu, Pavel; Rusnac, Vladislav; Beșliu, Vitalie; Cazacu, Ala. Noi tehnologii avansate de prelucrare, recondiționare și de tratare a pieselor de construcții de mașini utilizate în industria alimentară, electrotehnică și electronică, în vederea creșterii performanțelor industriale. Raport științific. Universitatea de Stat “A.Russo”. Bălți. Num. înregist. de Stat 0101 MD.00143, 2005. 144 p.

44. Balanici, A., Ambramciuc, A.; Topală, P.; Pereteatcu, P.; Znovenco, S. Cercetări privind procesul de prelucrare complexă a suprafețelor metalice prin electroeroziune și plasmă electrolitică. Raport științific. Universitatea de Stat „A. Russo“. Bălți. Num. Înregist. de Stat 0197MD. 001238, 2000. 66 p.
45. Topală, P. Cercetări privind obținerea straturilor din pulberi metalice prin descărcări electrice în impuls. Rezumatul tezei de doctorat. București. 1993. 32 p.
46. Топала, П.А.; Беляков, А.В.; Гитлевич, А.Е. Возможности и особенности электроискрового нанесения покрытия из порошковых материалов. Порошковые сплавы для авиационной техники. М., 1988. 97 p.
47. Bălcănuță, N. Contribuții privind obținerea straturilor din pulberi metalice prin eroziune electrică în regim de subexcitare. Rezumatul tezei de doctorat. Galați. 2005.
48. Бакуто, И. А.; Мицкевич, М. К. О факторах, влияющих на образование покрытий при электроискровом способе обработки. Электроискровая обработка металлов 3, 1977. с. 17 – 19.
49. А.С. 837716 (СССР). Способ нанесения покрытий. Гитлевич, А.Е.; Парканский, Н.Я.; Ревуцкий, В.М.; Михайлов, В.В. Оpubл. в Б.И. №22. 1981.
50. А.С. 1151403 (СССР). Способ электроискрового нанесения покрытий и устройство для его осуществления. Михайлов, В.В.; Гитлевич, А.Е.; Ревуцкий, В.М.; Абрамчук, А.П. Оpubл. в Б.И. №15, 1985.
51. Палатник, Л.С. Превращения в поверхностном слое металлов под воздействием электрических разрядов. Известия АН СССР, сер. физич. т.15, №4, 1951. 467 с.
52. Коваленко, В.С.; Верхотуров, А.Д.; Головкин, Л.Ф.; Подчерняева, И.А. Лазерное и электроэрозионное упрочнение металлов. М.: Наука, 1986. 276 с.

53. Мицкевич, М.К.; Бушик, А.И.; Бакуто, И.А.; Шилов, В.А. Изучение динамики процессов переноса материала электродов в сильноточном импульсном разряде. ЭОМ, №4, 1977. с. 18 – 19.
54. Драбкина, С.И. К теории развития канала искрового разряда. ЖЭТФ, вып.4, 1951.
55. Гегечкори, Н.М. Экспериментальное исследование канала искрового разряда. ЖЭТФ, вып.4, 1951.
56. Зингерман, А.С. О расширении разрядного канала ЖТФ, вып.5, 1956. с. 1015 – 1020.
57. Калеко, Д.М. Расширение столба дуги при конденсаторной сварке. Автоматическая сварка, №9, 1975. с. 12 – 15.
58. Мицкевич, М.К.; Гитлевич, А.Е.; Бакуто, И.А.; Бушик, А.И.; Шилов, В.А. Динамика импульсного разряда в условиях использования его для электроискрового легирования. ЭОМ, №3, 1986. с. 22 – 25.
59. Мицкевич, М.К.; Бушик, А.И.; Бакуто, И.А.; Шилов, В.А.; Девойно, И.Г. Электроэрозионная обработка металлов. Минск: Наука и техника, 1988. 216 с.
60. А.С.509381 (СССР). Способ электроискрового нанесения покрытий. Лазаренко, Б.Р.; Гитлевич, А.Е.; Фурсов, С.П.; Парканский, Н.Я. Опубл. В Б.И. №13, 1976.
61. Лазаренко, Н. И., Изменение исходных электрических импульсов, протекающих в газовой среде, В кн.: Электроискровая обработка металлов, вып.1.-Изд-во АН СССР, Москва. 1970. с. 70 – 94.
62. Болога, М.К.; Сюткин, С.В.; Сердитов, В.М. Распределение частиц по скоростям при магнитоожигении в переменном поле. Магнитная гидродинамика, №1, 1982. с. 31 – 39.
63. Topală, Pavel; Ursan, V.A. Prioritățile rectificării electrochimice ale titanului tehnic. In: Sesiunea de comunicări științifice. Pitești. 1992. p. 95-102.

VII. Tratarea termică și chimico-termică a suprafețelor pieselor cu aplicarea DEI în regim de subexcitare

7.1. Generalități

Cercetările experimentale realizate de autor [38] privind stabilirea variației eroziunii diferitor materiale în funcție de mărimea interstițiului, frecvenței impulsurilor de curent, energiei descărcărilor electrice în impuls au permis a constata că, acesta crește pînă la anumite valori ale interstițiului atîngînd o valoare maximă, după care aceasta se micșorază inversproporțional interstițiului după o exponentă. În același timp a fost sesizat că, pentru grafitul de puritate tehnică această caracteristică diferă foarte mult în comparație cu materialele metalice și anume, în cazul cînd electrodul executat din grafit este conectat în conturul de descărcare în calitate de catod acesta erodează mai puternic și formează o peliculă subțire pe suprafața piesei anod. Din analiza rezultatelor difuziei în stare solidă prezentate în capitolul 2 sa stabilit că, acestea se supun anumitor legități atunci cînd piesa este conectată în funcție de catod.

Aceste constatări au permis a concluda că, procesele de cimentare a suprafețelor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls ar trebui să fie organizate cel puțin în două faze: la prima piesa se include în circuitul de descărcare a generatorului în calitate de anod pentru a asigura transferul de masă al grafitului erodat în fază solidă de pe electrodul/catod, apoi la cea de-a doua piesa se va conecta în circuitul de descărcare în calitate de catod pentru a asigura procesele de difuzie a carbonului în suprafața prelucrată cu formarea unui strat saturat cu carbon. Organizarea prelucrării în această consecutivitate necesită prezența a două instalații de prelucrare și respectiv ajustarea piesei la acestea, care la rîndul său devine mai costisitoare din cauza cheltuielilor suplimentare de timp și energie umană. Totodată, prelucrarea suprafețelor în acest mod contravine celor stabilite în paragraful 2.7 referitor variației adîncimii de difuzie a elementelor în stare solidă

ca funcție de timp. Aceasta înseamnă că, procesul de prelucrare va avea două componente care vor constitui duratele impulsurilor de prelucrare a suprafeței piesei la polaritate directă pentru formarea peliculei de grafit și celui de polaritate inversă care va asigura difuzia grafitului în suprafața piesei cu formarea stratului de compoziție chimică și respectiv proprietăți modificate. Aceste două impulsuri de prelucrare vor fi întrerupte de durata de timp necesară desfacerii piesei de pe prima instalație și prinderea, și fixarea ei pe cea de-a doua. În acest interval de timp, care este mult mai mare decât durata impulsurilor de prelucrare propriu-zise, piesa se răcește și eficacitatea de prelucrare scade. Din motivele enumerate mai sus, sa impus conceperea, proiectarea și realizarea unui generator de impulsuri de curent. Acesta ar asigura generarea țugurilor de impulsuri de curent de polaritate directă și inversă care ar decurge în timp unul după celălalt cu diferența de câteva microsecunde și care ar asigura prelucrarea piesei la un singur loc de muncă, evitând necesitatea cheltuielilor de timpi suplimentari și a instalațiilor. Analiza schemei electrice principiale a acestui generator și principiul de funcționare a lui sunt descrise în cele ce urmează.

7.2. Echipamente pentru tratarea termică și termo-chimică a suprafețelor prin descărcări electrice în impuls

După cum a fost menționat în lucrările [32, 33] tratamentele termice și termo-chimice a suprafețelor pieselor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls au loc fără topirea și vaporizarea materialului piesei supus prelucrării. Realizarea acestui tip de prelucrări este posibilă numai în cazul întreținerii descărcărilor electrice în impuls pe pete electrodice „reci”. Adică pentru a obține un tratament termic în lipsa formării fazei lichide a materialului piesei prelucrate este necesar ca durata descărcărilor electrice în impuls să fie mică și să constituie circa $10^{-7} \dots 10^{-6}$ s [33] ceea ce constituie durata de viață a petelor electrodice „reci”.

Ținând cont de acestea a fost proiectat și elaborat un generator de impulsuri de tip RCL care satisface condițiile impuse mai sus.

Așadar, generatorul de impulsuri de curent elaborat este destinat pentru tratarea termică și termo-chimică a suprafețelor pieselor prin descărcări electrice în impuls în scopul sporirii microdurateții [33] prin efectele de călire și, microdurateții și compoziției chimice a stratului format prin saturarea cu: carbon (cimentare), azot (niturare), oxigen (formarea peliculelor de oxizi stabili incluși în matricea materialului piese) și hidrogen-oxigen (hidrooxidare în scopul sporirii rezistenței la coroziune). Din cele expuse mai sus putem concluda că, la realizarea generatorului s-a ținut cont de durata de viață a petelor electrodeice „reci” [31]. Din rezultatele cercetărilor realizate de către autorii lucrărilor [32, 34, 37], rezultă că, adâncimea stratului prelucrat este direct proporțională cu durata impulsului de curent din care motiv duratele foarte mici ale lor devin inconveniente. Această inconveniență poate fi omise luând în considerație rezultatele experimentale obținute de către autorii lucrărilor [31, 32, 37, 39]. În lucrările menționate s-a stabilit ca, variind mărimea interstițiului de lucru se pot obține așa densități de energie pe suprafața prelucrată a piesei, încât acesta să n-o depășească pe cea necesară pentru dezvoltarea petelor electrodeice „reci”, chiar și pentru durate ale impulsurilor ce depășesc de multe ori durata de viață a petelor electrodeice „reci”.

În rezultatul analizei fenomenologiei interacțiunii canalului de plasmă al descărcării electrice în impuls cu suprafețele electrozilor [5, 6, 7, 8, 9, 14, 15, 20] și a schemelor existente de generatoare de impulsuri de curent elaborate de alți cercetători [21, 22, 29, 38] a fost concepută și realizată o nouă sursă de impulsuri, schema electrică principială a căreia este prezentată în fig. 7.1. Generatorul de impulsuri de curent pentru realizarea tratării termice și termo-chimice a suprafețelor cu aplicarea descărcări electrice în impuls constă din următoarele părți componente (fig. 7.1): generatorul impulsurilor de putere 1, blocul impulsurilor de amorsare 2 și blocul de comandă 3.

Blocul de amorsare 2 generează un impuls de curent de tensiune înaltă ($U_{am} = 1...12kV$) și curent de intensitate mică ($I_a = 10...15\mu A$) cu durata $\tau = 3...5\mu s$, care asigură formarea canalului de conductivitate în interstițiu și pe care apoi se degajă energia impulsului de putere care, și determină efectele necesare prelucrării

suprafeții. Acest bloc este alimentat de la tensiunea alternativă de 220V prin intermediul unui transformator multiplicator de tensiune Tr3 la bornele de ieșire a căruia valoarea tensiunii atinge 400V. Diodele D5, D6, D7, D8, rezistențele R1, R2 și capacitățile C2 și C3 permit atât redresarea curentului alternativ în curent continuu cât și o dublare de tensiune astfel ca pe capacitatea C4 să se încarce la o tensiune înaltă. Transformatorul Tr2 bobina primară a căruia constă dintr-o spirală, iar cea secundară din mai multe spire permite o sporire a tensiunii până la 12kV și care asigură străpungerea interstițiului cu formarea canalului de conductivitate în el. Această valoare relativ mare a tensiunii impulsului de amorsare asigură străpungerea peliculelor de impurități și oxizi de pe suprafața piesei și omite necesitatea pregătirii speciale a acestora (spălare de pelicule de uleiuri, curățare prin șlefuire de oxizi și impurități). Diodele D9 și D10 sînt destinate pentru anihilarea semiunde negative a impulsului ce apare la descărcări în circuitele oscilante, iar tiristorul T servește în calitate de chee și permite dirijarea momentelor de timp în care trebuie să se amorseze descărcarea prin reglarea frecvenței impulsurilor de curent.

Generatorul de impulsuri de putere 1 asigură prelucrarea suprafețelor prin generarea impulsurilor de tensiune joasă ($U_p = 18...400V$) și curenți de intensitate mare ($I_p = 10^0...10^2 A$). Acesta este alimentat de la rețeaua de 220V prin intermediul unui autotransformator A_{tr} . Autotransformatorul permite reglarea tensiunii de alimentare între în limitele 0...240V. La bornele de ieșire a autotransformatorului A_{tr} este conectat transformatorul Tr1 care asigură sporirea tensiunii de încărcare a bateriei de condensatoare până la tensiunea de 400V. Transformatorul Tr1 asigură și dezlegarea electromagnetică a blocului de putere de rețeaua de alimentare.

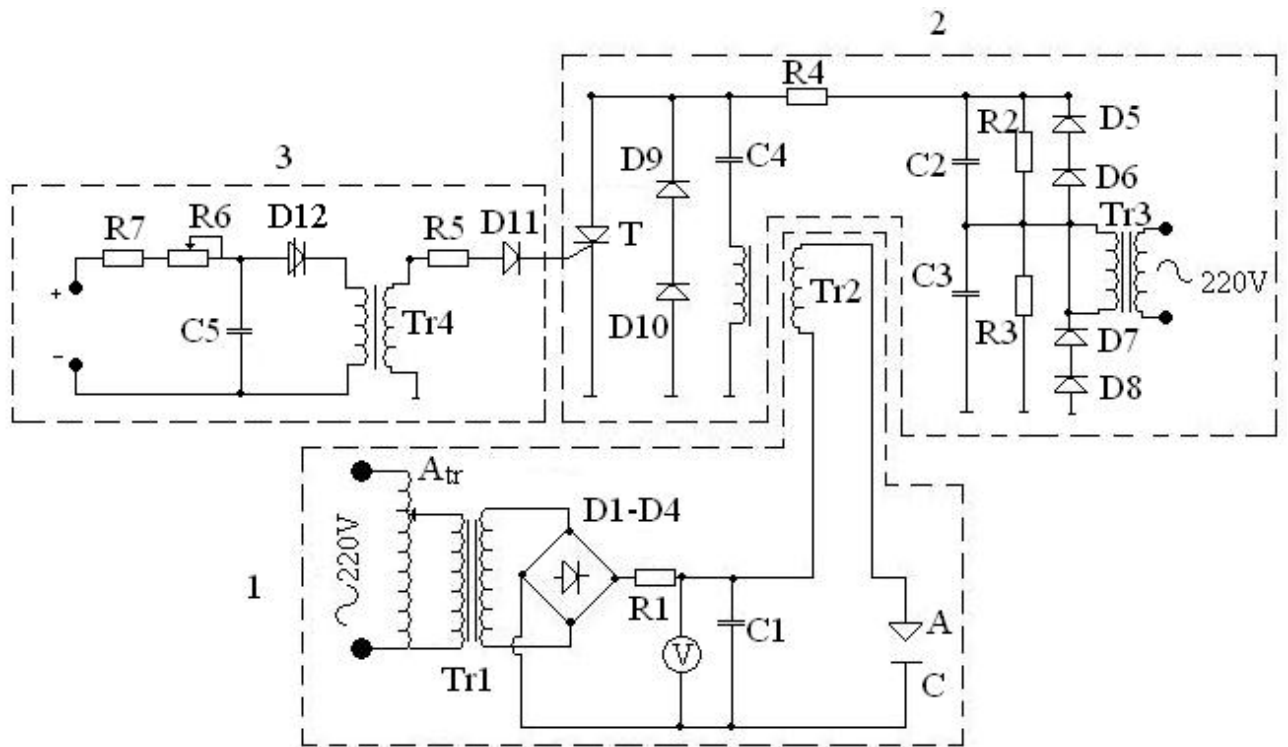


Fig. 7.1. Schema electrică principală a sursei de alimentare pentru tratarea termică și termochimică a suprafețelor pieselor cu descărcări electrice în impuls.

Diozii D1-D4 formează puntea redresoare, rezistența R1 este rezistența de balast (care limitează curentul de încărcare a bateriei de condensatoare și asigură evitarea situației de apariție a descărcării electrice prin arc), iar capacitatea C1 prezintă o baterie de condensatoare cu capacitatea maximă de $8\mu\text{F}$. Capacitatea bateriei de condensatoare poate fi reglată în trepte cu pasul de $0,5\mu\text{F}$ în limitele $0,5...8\mu\text{F}$.

Blocul de comandă 3 permite variația frecvenței impulsurilor de curent de putere și sincronizarea impulsurilor de amorsare cu primele prin conectarea ambelor blocuri la interstițiul format de electrodul-sculă și piesă. Blocul prezintă un simplu generator de impulsuri care permite deschiderea tiristorului T în funcție de mărimea rezistenței variabile R6. Rezistența variabilă R6 permite reglarea duratei de încărcare la tensiune maximă a capacității C5, și respectiv momentului de timp al deschiderii dinistorului D12. Deschiderea dinistorului D12 condiționează apariția unui impuls în bobina secundară a transformatorului Tr4 astfel la bornele de ieșire a transformatorului apare un semnal care prin rezistența R5 și dioda D11 duce la deschiderea tiristorului T.

Principiul de funcționare al generatorului prezentat în fig. 7.1 este următorul: blocul de amorsare și generatorul de impulsuri fiind alimentate de la rețea încarcă capacitățile C1 și C4 prin intermediul elementelor redresoare. În momentul când de la blocul de comandă apare un semnal la tiristorul T el se deschide și provoacă descărcarea capacității C4 pe bobina primară a transformatorului Tr2 de tensiune înaltă. Curentul care circulă prin ea se induce în bobina secundară creînd o tensiune înaltă. Această tensiune provoacă străpungerea interstițiului formînd canalul de descărcare prin care are loc descărcarea bateriei de condensatoare C1, adică descărcarea de bază. Analog procesul se repetă.

7.3. Stabilirea condițiilor de tratare termică și chimico-termică superficială a pieselor, cu aplicarea DEI în regim de subexcitare

Cercetările privind interacțiunea canalului de plasmă al descărcărilor electrice în impuls cu suprafețele electrozilor au demonstrat, că de fapt pentru fenomenul electroeroziunii sunt caracteristice două tipuri de efecte: tipul I- apariția pe suprafețele electrozilor a petelor electrodice “reci” care iau naștere pe aspiritățile și impuritățile de pe ele [38], și provoacă atît curățarea suprafețelor de impurități, cît și interacționează termic cu acestea, provocînd schimbări structurale în straturile superficiale de grosimi mici (de ordinul micrometrilor); tipul II- pe suprafețele electrozilor după petele electrodice “reci” iau naștere cele “calde” care provoacă topirea esențială a acesteia, însoțită de fenomene de vaporizare și prelevare a materialului electrozilor sub formă de picături [24]. Dacă tipul II de interacțiune a canalului de plasmă cu suprafețele electrozilor și-a găsit o aplicare destul de largă la prelucrările dimensionale [35] și cele de formare a straturilor de depunere atît din materiale compacte [10], cît și din pulberi [11, 38, 44], atunci acțiunile de tipul I au rămas în literatura de specialitate numai ca niște constatări științifice, din care motiv este necesară elucidarea condițiilor și efectelor de tratare termică superficială și a clarifica dacă acest tip de interacțiune este pur termic sau este o interacțiune termo-chimică.

Analizând rezultatele obținute de către autorul lucrării [19] s-a stabilit, că pentru a obține pe suprafețele pieselor o interacțiune de tipul I a suprafeței prelucrate cu canalul de plasmă, este necesar ca densitatea de energie pe suprafața prelucrată să fie mai mică decât căldura specifică de topire a materialului din care este executată piesa și aceasta din urmă poate fi exprimată cu relația:

$$Q < \frac{4W_s}{\pi d_c^2 \cdot S} \quad (7.1)$$

$$Q = q \cdot \rho$$

în care: q și ρ sînt respectiv căldura specifică de topire și densitatea materialului piesei; W_s - energia degajată în interstițiu, d_c – diametrul canalului de plasmă și S - mărimea interstițiului.

După cum se poate observa din relația (7.1), în cazul cînd se cunoaște regimul energetic de prelucrare, mărimea interstițiului și proprietățile termofizice ale materialului piesei poate fi determinat diametrul canalului de plasmă, care coincide după dimensiuni cu cel a amprentei acestuia pe suprafața prelucrată. Dacă se numește un coeficient de suprapunere a amprentelor $k=0,5\dots n$ și frecvența descărcărilor electrice în impuls f , poate fi determinată productivitatea procesului tehnologic de prelucrare cu relația:

$$P = \frac{k \cdot \pi \cdot d^2 \cdot f}{4} \quad (7.2)$$

În lucrarea [17] a fost demonstrat că, la aplicarea descărcărilor electrice în impuls în scopul prelucrărilor superficiale, procesele de eroziune însoțite de topirea și vaporizarea explozivă a materialului electrozilor pentru marea majoritate a metalelor și aliajelor studiate, au loc pentru durate ale impulsurilor de curent cuprinse în limitele 10^{-6} s. Rezultă că pentru a obține efectele scontate este necesar a asigura impulsuri de descărcare de durată relativ mică.

Efectele ce au loc pe suprafețele electrozilor sunt funcție [26, 27] de modul de includere a piesei în circuitul de descărcare (în calitate de anod sau de catod). Aceste deziderate au fost studiate în lucrarea [41] și sa stabit că pentru impulsuri

de durată scurtă acestea sînt “catodice”, iar de durată mare acestea sunt “anodice”- deci în cazul tratamentelor termice superficiale piesa se va include în circuit în calitate de catod. În cazul tratării termice a pieselor executate din oțeluri duritatea acestora crește de 2...3 ori, iar pentru cele din titan de 2...5 ori, pentru grosimi ale straturilor formate de la cîțiva pînă la cîteva zeci de micrometri. Adîncimea acestor straturi atinge valoarea maximă la trei treceri pentru oțeluri și la cinci pentru titan și aliajele lui.

Interacțiunea canalului de palmă cu suprafața electrodului-piesă nu totdeauna poartă un caracter pur termic, ci adesea suprafața piesei este îmbogățită cu elementele ce se conțin în mediul înconjurător și cu cele din conținutul materialului anodului-sculă.

După cum a fost stabilit în lucrarea [42] adîncimea de pătrundere a acestor elemente în stratul superficial al piesei este funcție atît de energia degajată în interstițiu, cît și de mărimea lui și poate fi exprimată cu relația:

$$h = \frac{kW_s}{AS} \quad (7.3)$$

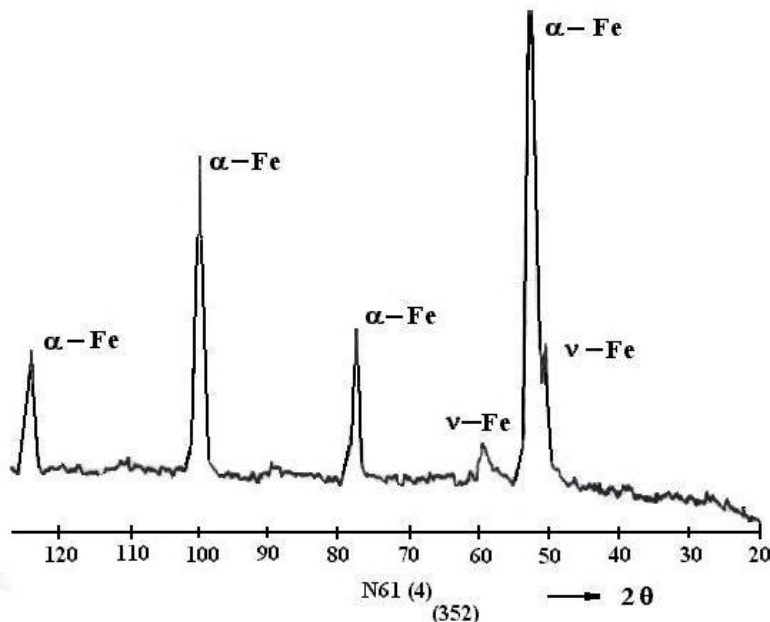


Fig. 7.2, a. Rentghenograma oțelului 45 tratat superficial în regimul petelor electrodice” reci”

termo-fizice ale materialului prelucrat.

în care $W_s = \int_0^{\tau} U(t)I(t)dt$ - este energia degajată în interstițiu în decursul unei descărcări; $U(t)$ și $I(t)$ -corepunzător tensiunea instantanee pe interstițiu și curentul momentan în el; τ - durata impulsului; A - aria suprafeței atacate la o descărcare; S -mărimea interstițiului; k - o constată, ce este funcție de proprietățile

Aceste straturi pot fi utilizate în diferite domenii ale construcției de mașini datorită faptului că, unele din ele dispun de o duritate înaltă [28], iar altele de o înaltă rezistență la coroziune.

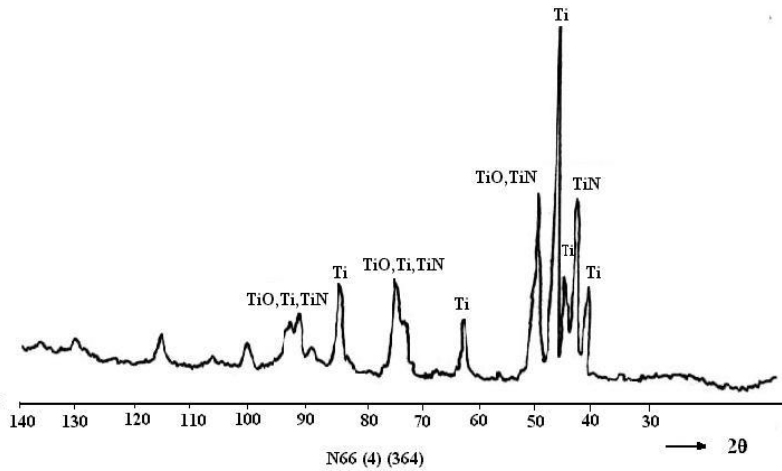


Fig. 7.2, b. Rentghenograma titanului BT-1-0 tratat superficial în regimul petelor electrodice reci

Din punct de vedere tehnologic formarea straturilor de tratare termică a suprafețelor pieselor executate din oțeluri și titan tehnic pur sau aliaje ale lui [234, 350, 371], pot fi realizate în condiții atmosferice obișnuite. În condiții normale pot fi obținuți compușii chimici de tipul $Fe-\gamma$ la

prelucrarea suprafețelor pieselor executate din Oțel-45 și TiN, TiO pentru piesele executate din aliajele titanului. Aceste faze au fost depistate prin metoda rentghenografică (vezi fig. 7.2, a și b). În cazul introducerii în interstițiu a particulelor de pulberi de dimensiuni mici, acestea pot fi topite vaporizate, și transferate pe suprafața prelucrată cu formarea straturilor de grosimi micrometrice, similar cazului bombardării cu ioni. După cum a fost menționat deja, chiar și la durate destul de mici ale descărcărilor electrice în impuls pe suprafața prelucrată a piesei se formează un strat de cca $1\mu m$ de fază lichidă ceea ce îi asigură stratului de depunere format o aderență net superioară în comparație cu prima. Astfel în cazul formării depunerilor subțiri din pulberi de paladiu sau amestecuri de nichel-crom [43] permite sporirea rezistenței la coroziune a pieselor de pînă la 10 ori. Aceasta se datorește faptului că în stratul superficial în afară de intermetalizi (fig. 7.3) se mai formează și oxizi (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) și hidrooxizi ($FeOOH$) în stare amorfă. Dat fiind faptul că, titanul este foarte receptiv față de elementele chimice

ce se conțin în atmosferă, în straturile superficiale formate sub acțiunea petelor electrodeice „reci” au fost depistate fazele TiO și TiN (fig. 7.2, b).

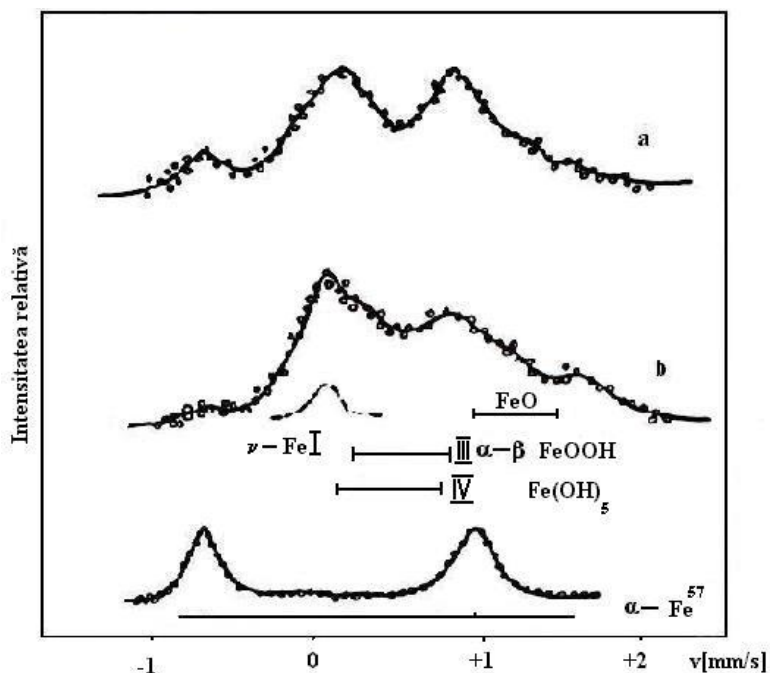


Fig. 7.3. Spectrograme Mosbauer a pieselor executate din oțel 3 prelucrate în regim de interacțiune termică

Astfel analizând cele expuse mai sus putem concluda că, în cazul aplicării descărcărilor electrice în impuls în scopul prelucrărilor superficiale ale pieselor executate din oțeluri, titan și aliajele lui, poartă un caracter termo-chimic și pot fi realizate următoarele:

- sporită microduritatea de 2...5 ori prin efecte de călire, cimentare și azotare;
- obținută o rezistență înaltă la coroziune fie prin formarea peliculelor de oxizi și hidrooxizi, fie prin îmbogățirea suprafeței cu elementele din electrodul-sculă sau cu vaporii obținuți din pulbere;
- productivitatea procesului este funcție de regimul energetic de prelucrare și frecvența descărcărilor electrice în impuls.

7.4. Tratarea termică a suprafețelor pieselor executate din oțeluri de construcție și aliajele titanului cu aplicarea DEI

Pe microșlifurile transversale ale probelor executate din oțeluri de construcție și aliaje ale titanului supuse interacțiunii cu canalul de plasma a descărcării electrice în impuls, se evidențiază clar așa numitul „strat alb” (fig. 7.4) caracteristic pentru prelucrarea dimensională și durificarea prin scînteii electrice [1-4]. Stratul alb se obține atât în cazul topirii suprafeței, cât și în cazul interacțiunii termice a plasmei DEI cu suprafața prelucrată în lipsa fazei lichide [12, 13, 16], la interstiții $S \geq 1,5 \dots 2,0$ mm. Pentru primul caz, stratul are o structură cu grăunți mărunți și microduritate sporită și apare la prelucrarea dimensională prin electroeroziune în medii lichide și gazoase [18, 19, 23] și la acțiunea asupra metalului cu plasma laserului pînă la topire.

În cazul doi, cînd practic lipsește acțiunea proceselor care însoțesc electroeroziunea suprafeței, apariția stratului durificat se datorește nu numai acțiunii termice, ci și chimico-termice, analog cazului acțiunii laserului fără topirea suprafeței.

În cazul utilizării în calitate de electrod-sculă a unui disc rotitor executat din wolfram, aliaj wolfram-cupru sau cupru de puritate tehnică pentru condițiile precăutate eroziunea acestora lipsește, din care motiv transferul de masă a elementelor acestora nu poate influența proprietățile stratului format, iar interacțiunea canalului de plasmă cu suprafața prelucrată poartă un caracter preponderent de natură termică.

Pentru interstiții $S > 1,5$ mm interacțiunea plasmei cu suprafața prelucrată condiționează formarea unui strat continuu și practic fără defecte, (fisuri sau pori) (fig. 7.4), a cărei microduritate depinde de numărul de treceri a plasmei pe una și aceeași porțiune de suprafață.



Fig. 7.4. Stratul alb pe oțel 45 după interacțiunea cu plasma descărcării electrice în impuls ($S=20$ mm, $W_s=5,27$ J, $f=10$ Hz)

Analiza probelor prelucrate în acest regim a demonstrat că pentru 2-3 treceri pentru oțel și pentru titan microduritatea atinge valori maxime (fig. 7.5). Creșterea în continuare a numărului de treceri determină o micșorare a microdurității oțelului, iar pentru titan, se atestă păstrarea constantă a acesteia (fig. 7.5). Este posibil ca în oțel să aibă loc procese de normalizare a straturilor supuse călirii în decursul actelor precedente de prelucrare. Grosimea straturilor albe pentru valori constante ale lui f (frecvența descărcărilor electrice în impuls) și W_s (energia degajată în interstițiu la o descărcare solitară), este funcție de mărimea interstițiului, sau mai bine zis, cum deja a fost demonstrat în capitolele 1 și 2 de energia degajată pe suprafețele electrozilor datorită redistribuirii ei între canalul de plasmă și suprafețele electrozilor, și se schimbă în limite de $20\div 30$ μm pentru interstiții $S < 1,5$ mm, până la $5\div 10$ μm pentru $S > 1,5$ mm. În limitele valorilor energiei degajate în impuls cuprinse între 1-7J și mărimii interstițiului $S=0,5-2,5$ mm, se observă o corelație între procesele transferului de masă, în stare solidă în stratul superficial (fig. 2.12, 2.13 și 2.14) și efectele de durificare.

Formarea stratului alb de duritate sporită la interacțiuni ale descărcărilor electrice în impuls cu suprafețele pieselor executate din oțel și titan în condițiile lipsei

pulberii în interațiune și eroziunii electrice neînsemnate a electrodului-sculă, indică mari posibilități de utilizare a acestui efect pentru elaborarea unor tehnologii de durificare a suprafețelor pieselor și sculelor așchietoare.

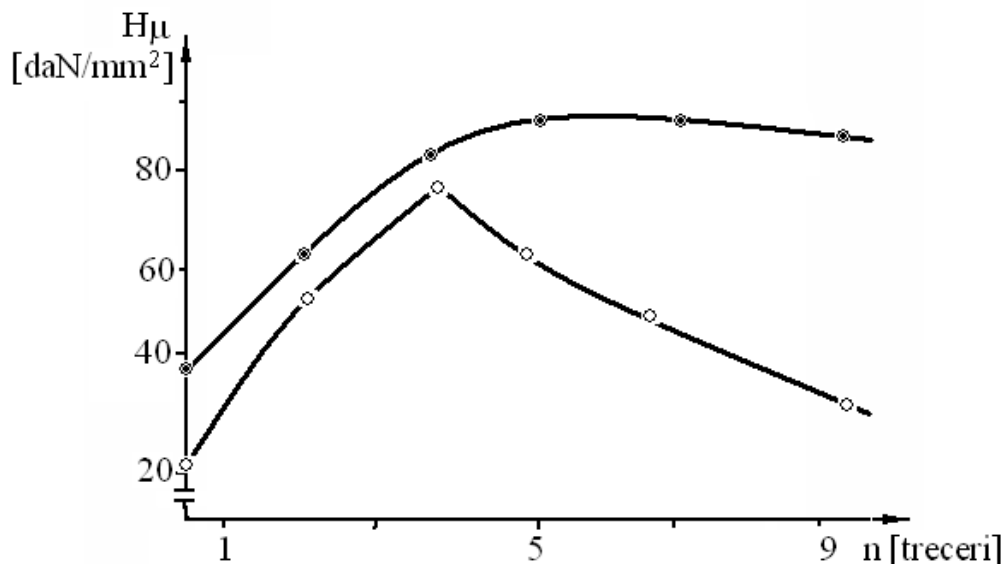


Fig. 7.5. Dependența microduranței H_{μ} a stratului alb, obținut pe oțel (1) și titan (2) după interacțiunea plasmii descărcării electrice în impuls, în funcție de numărul de treceri pentru: $S=2,0$ mm, $W_s=5,27$ J, $f=10$ Hz

7.5. Oxidarea superficială a pieselor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls

Procedeul face parte din metodele electrofizice de prelucrare a materialelor și anume din cele de prelucrare a materialelor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls. Sunt cunoscute o multitudine de procedee de prelucrare a materialelor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls care după scopul lor pot fi grupate în două direcții: cea de prelucrare dimensională și cea de formare a straturilor de depunere. Toate acestea presupun utilizarea într-un sens sau altul (rupere sau depunere de material) fenomenul electroeroziunii.

Oxidarea superficială a pieselor cu aplicarea DEI are ca obiectiv principal modificarea proprietăților stratului de suprafață a piesei supuse prelucrării prin acțiune termică sau chimico-termică a canalului de plasmă din interstițiu, adică acesta provoacă activarea suprafeței prelucrate și datorită ionizării componentelor din mediul de lucru și accelerării lor în câmpul electric al descărcării electrice în impuls provoacă implementarea acestora în suprafața prelucrată cauzând modificarea structurii și proprietăților acestor straturi.

În scopul evitării participării materialului electrodului-sculă la formarea stratului de suprafață a piesei prelucrate este necesar a exclude din start eroziunea acestuia. Este cunoscut faptul că, și în cazul acțiunii canalului de plasmă al descărcării electrice în impuls asupra suprafeței prelucrate prin intermediul petelor electrodice “reci” are loc eroziunea în stare solidă (ruperea de pe suprafața electrodului-sculă-anod a impurităților și microneregularităților) și impurificarea mediului de lucru cu aceste produse. Din aceste motive se impune elaborarea unui așa electrod-sculă a cărui suprafață va fi pură și de rugozitate minimă. Drept una din cauzele principale de eroziune a suprafețelor servește încălzirea lor prin efectul de cumulare a căldurii.

Căldura pe suprafețele electrozilor este cauzată de acțiunea petelor electrodice. Viteza cea mai mare de deplasare pe suprafețele electrozilor o au petele electrodice “reci” care pregătesc suprafața în vederea nașterii petelor electrodice “calde”. Pentru a evita acest proces este necesar a organiza funcționarea electrodului-sculă în așa fel ca pe suprafața lui să nu poată fi acumulată cantitatea de căldură necesară fenomenului de eroziune într-un anumit loc. Ultima condiție impune executarea constructivă a electrodului –sculă sub formă de disc rotitor subțire ceea ce permite evacuarea din interstițiu a porțiunii de suprafață lucrată și alunecarea petelor electrodice în direcția unei noi porțiuni de suprafață (din cauza intensității câmpului electric) prescrise și strict localizate.

În cazul rotirii cu viteze mari și foarte mari a electrodului-sculă are loc răcirea acestuia și refacerea rezistenței active a mediului dielectric și compoziției mediului

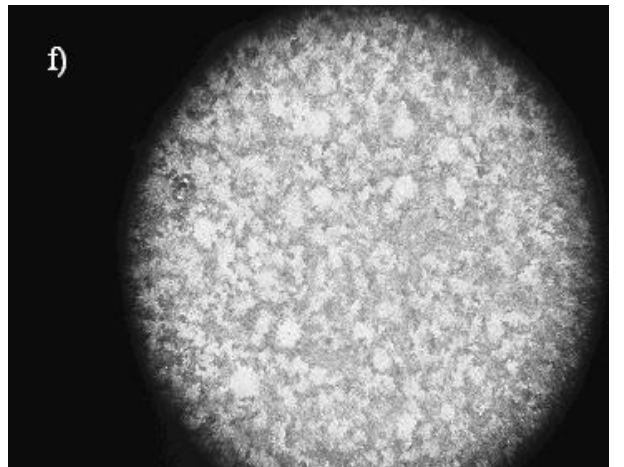
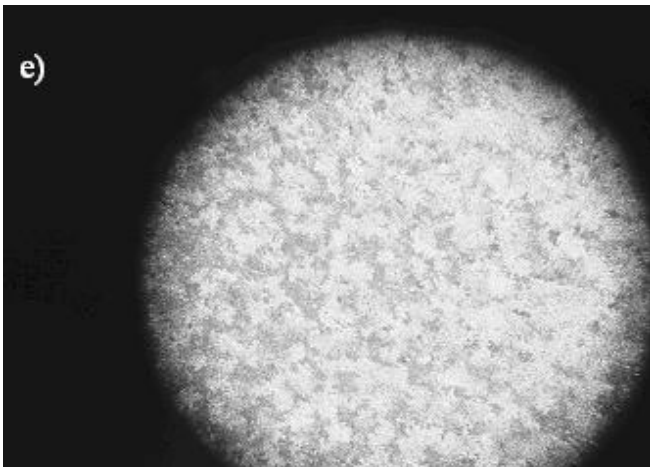
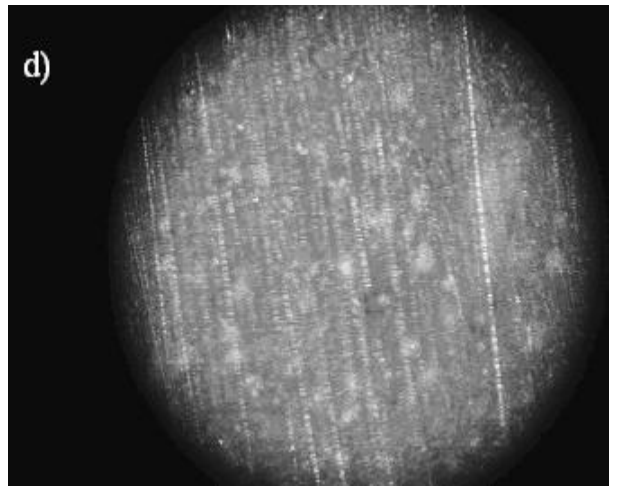
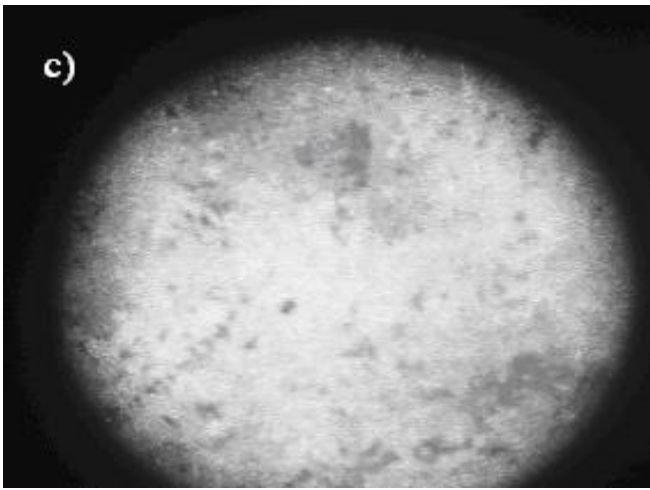
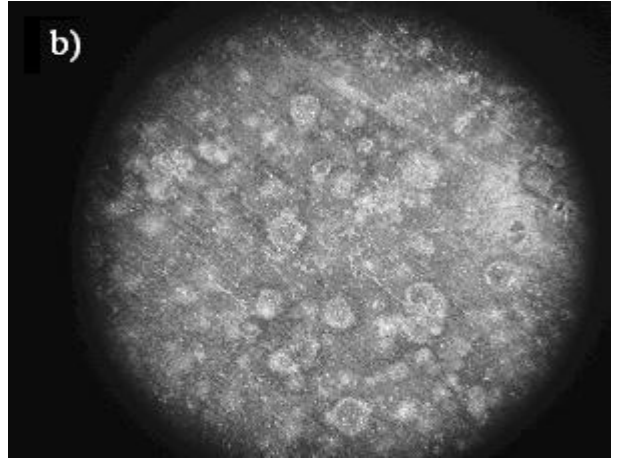
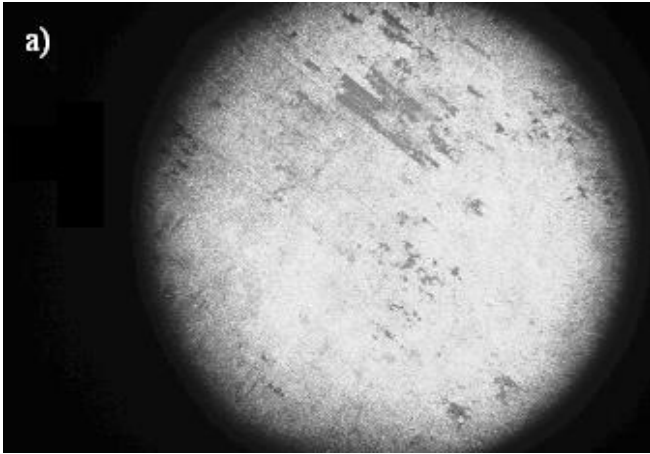
de lucru, ceea ce permite sporirea frecvenței descărcărilor electrice în impuls, iar proporțional cu ea și productivitatea procesului.

Electrodul-sculă a fost executat în așa fel ca să fie asigurată viteza lui de deplasare în raport cu suprafața prelucrată, egală sau mai mare cu cea de deplasare a petelor electrodeice de tipul I în vederea excluderii procesului de topire a suprafeței acestuia, evitării eroziunii lui și menținerii mărimii constante a interstițiului.

7.6. Rezultatele cercetărilor experimentale privind obținerea straturilor de oxizi

Analizând rezultatele cercetărilor experimentale obținute de către autorii lucrărilor [25, 30, 31, 33] s-a ajuns la concluzia că prelucrarea suprafețelor în scopul oxidării este necesar a fi executată cu energii relativ mici (până la 0,5 J). Pentru aceasta la generatorul de impulsuri au fost stabiliți următorii parametri: capacitatea bateriei de condensatoare a blocului de putere $C = 8 \mu\text{F}$, frecvența impulsurilor de curent $f = 40 \text{ Hz}$, tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare $U_c = 100\text{-}400 \text{ V}$, mărimea interstițiului $S = 0,5\text{...}1,5 \text{ mm}$.

Au fost efectuate cercetările experimentale variind mărimea interstițiului și tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare, adică variind energia descărcărilor electrice în impuls. În fig. 7.6 este prezentată vederea generală a suprafețelor probelor după prelucrare la diferite regimuri tehnologice.



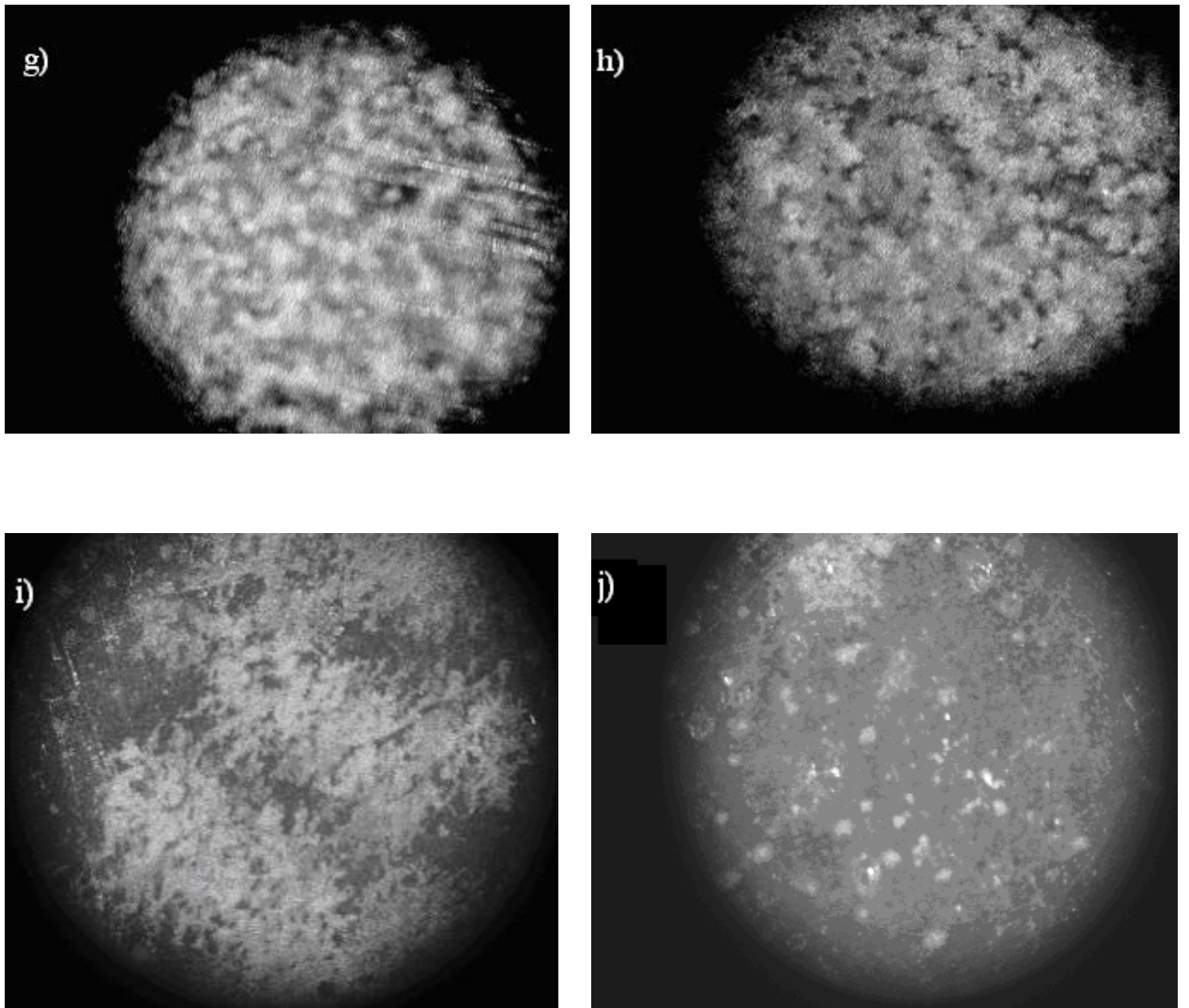


Fig. 7.6. Suprafața probelor după prelucrare: $C = 8 \mu\text{F}$, $f = 40 \text{ Hz}$;

- a) piesa – catod, $S = 1 \text{ mm}$, $U = 400 \text{ V}$;
- b) piesa – anod, $S = 1 \text{ mm}$, $U = 400 \text{ V}$;
- c) piesa – catod, $S = 1 \text{ mm}$, $U = 300 \text{ V}$;
- d) piesa – anod, $S = 1 \text{ mm}$, $U = 300 \text{ V}$;
- e) piesa – catod, $S = 0,5 \text{ mm}$, $U = 130 \text{ V}$;
- f) piesa – anod, $S = 0,5 \text{ mm}$, $U = 130 \text{ V}$;
- g) piesa – catod, $S = 0,5 \text{ mm}$, $U = 100 \text{ V}$;
- h) piesa – anod, $S = 0,5 \text{ mm}$, $U = 100 \text{ V}$;
- i) piesa – catod, $S = 1,2 \text{ mm}$, $U = 400 \text{ V}$;
- j) piesa – anod, $S = 1,2 \text{ mm}$, $U = 400 \text{ V}$.

Analizând suprafețele prelucrate s-a observat că, un strat mult mai uniform de oxizi și fără zone de străpungere a acestuia s-a format pe suprafețele probelor care au fost conectate în circuitul de descărcare în calitate de catod. Este necesar a menționa că, suprafețe mult mai calitative de o continuitate deplină se atestă pentru tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare de 400V la un interstițiu de 1,0 mm. Acest fenomen poate fi lămurit în baza petei mari de contact al canalului de plasmă cu suprafața prelucrată și valoarea optimă a densității de energie degajată în interstițiu, pe de o parte, și prin faptul că, plasma care s-a format în interstițiu conține ioni pozitivi ai oxigenului care sub acțiunea forțelor electrodinamice ale câmpului electric din interstițiu se mișcă spre suprafața prelucrată a catodului. Suprafața catodului fiind activată de către petele electrodice favorizează procesul de oxidare și difuzie a elementelor mediului în adâncimea piesei. Pe suprafețele probelor-anozi (la suprafețele cărora căderea de tensiune este mai înaltă) se observă cratere formate în urma străpungerii stratului de oxizi. În același timp procesul de oxidare a acestuia decurge mai puțin intens din motivul bombardării lui cu electroni emiși de către catod. Aceasta se datorește și faptului că pe lângă anodul care are sarcină pozitivă se acumulează electronii, ei având energia mare dovedesc să încălzească stratul subțire de dielectric de pe suprafața anodului și să-l străpungă. Și invers pe lângă catodul care emite electronii se formează un noraș de ioni pozitivi de Fe și gazul din mediul înconjurător. Ionii pozitivi intră în reacție cu ionii negativi de oxigen și hidrogen, și datorită căldurii degajate în rezultatul reacției chimice se formează stratul de oxizi sau hidroxizi pe suprafața catodului. Formarea oxidului sau hidroxidului este funcție de regimul energetic de prelucrare. La prelucrarea cu energii mai mari se formează oxidul, la energii mai mici – hidroxidul, deoarece hidroxidul este mai instabil din punct de vedere a energiei legăturilor chimice între atomi.

7.6.1. Grosimea straturilor de oxisizi formate cu aplicarea DEI în funcție de regimul de prelucrare

Prin metoda osciloscopării conform schemei de măsurare din fig. 1.7 a fost măsurată tensiunea și curentul în interstițiu, iar prin metoda integrării calculată energia degajată în interstițiu (vezi tab. 1.4, 1.5).

Prin analiza metalografică la microscopul MIM 6 a fost măsurată grosimea straturilor de oxid pe suprafața electrozilor.

În tabelul 7.1 sînt prezentate rezultatele experimentale obținute pentru diferite regimuri de prelucrare.

Tabelul 7.1

Grosimea stratului de oxizi în funcție de mărimea interstițiului și energia degajată în acesta la oxidarea superficială cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls

| Perechea de electrozi | Parametrii | Curentul în interstițiu I_s , A | Căderea de tensiune pe interstițiu U_s , V | Energia degajată în interstițiu W_s , J | Mărimea interstițiului S , mm | Grosimea stratului de oxid δ , nm |
|-----------------------|------------|-----------------------------------|--|---|---------------------------------|--|
| | Proba | | | | | |
| I | Anod | 0,051 | 38,0 | 0,31 | 1 | 230 |
| | Catod | | | | | 230 |
| II | Anod | 0,037 | 38,0 | 0,22 | 1 | 190 |
| | Catod | | | | | 190 |
| III | Anod | 0,023 | 34,0 | 0,12 | 0,5 | 120 |
| | Catod | | | | | 130 |
| IV | Anod | 0,019 | 34,0 | 0,09 | 0,5 | 100 |
| | Catod | | | | | 100 |
| V | Anod | 0,045 | 40,5 | 0,32 | 1,2 | 220 |
| | Catod | | | | | 230 |

Din tabela 7.1 se poate ușor observa că, căderea de tensiune pe interstițiu în funcție de mărimea lui este practic rectilinie și acest lucru se datorește faptului că, de fapt

odată cu mărirea interstițiului crește și rezistența lui activă în baza rezistenței mediului. Este necesar a menționa că la prelucrări de acest tip modificarea rezistenței interstițiului în baza prezenței în el a vaporilor de fier este exclusă din motivul lipsei fazei lichide și respectiv vaporizării materialului electrozilor.

Dependența grosimii stratului de oxid δ de energia degajată în interstițiu este prezentată în fig. 7.7.

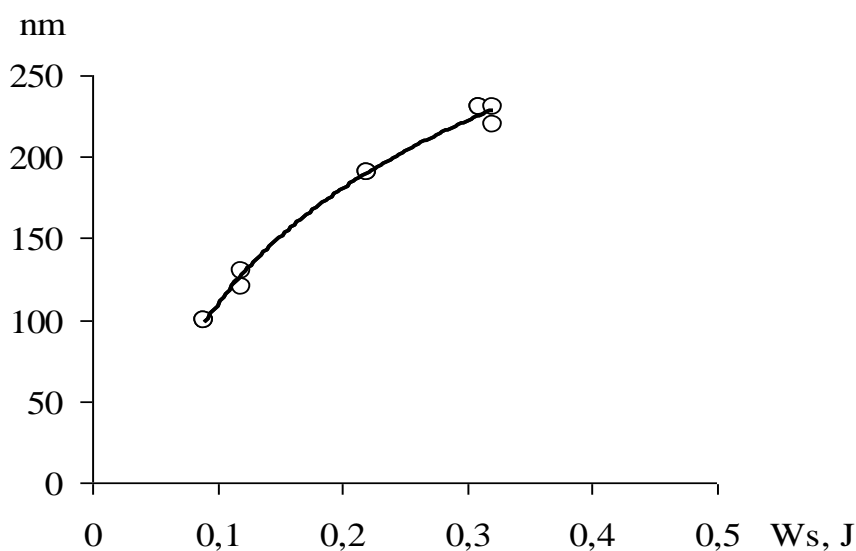


Fig. 7.7. Dependența grosimii stratului de oxizi de regimul de prelucrare

Analizând curba prezentată în fig.7.7 putem observa că, grosimea stratului de oxizi crește exponențial odată cu valoarea energiei degajate în interstițiu. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că, odată cu creșterea mărimii lui, randamentul utilizării energiei degajate scade, în același timp crește rezistența activă a interstițiului și o mai mare cantitate de energie este cheltuită pentru așa efecte secundare cum ar fi sporirea luminozității și intensității sunetului creat de unda de șoc.

7.6.2. Proprietăți ale straturilor de oxizi formate cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls

În scopul evidențierii modificării proprietăților straturilor de oxizi formate pe suprafețele pieselor executate din oțeluri de construcție a fost măsurată durezza acestora pînă și după prelucrare.

Încercările au fost efectuate la forța de apăsare $F = 17548 \text{ N}$ și diametrul bilei $D = 10 \text{ mm}$. Pentru determinarea durezzații au fost alese trei perechi de probe.

Durezza probelor după prelucrare s-a mărit de la HB125 pînă la HB137, ceea ce se datorește interacțiunii suprafeței prelucrate cu plasma descărcărilor electrice.

Tabelul 7.2

Diametrul amprenteii probelor d , mm

| Proba nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| Înainte de prelucrare | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,3 |
| După prelucrare | 4,1 | 4,15 | 4,2 | 4,1 | 4,1 | 4,1 |

Tabelul 7.3

Durezza probelor după Brenell HB, MPa

| Proba nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| Înainte de prelucrare | 1145 | 1145 | 1145 | 1145 | 1145 | 1145 |
| După prelucrare | 1271 | 1239 | 1208 | 1271 | 1271 | 1271 |

Măsurarea durezzații probelor (tab. 7.2 și 7.3) pînă la executarea încercărilor și după , a permis a stabili că, în toate cazurile se atestă o mărire neconsiderabilă a durezzații, ceea ce poate fi lămurit în baza efectelor termice și chimico-termice ce au loc în suprafața prelucrată sub acțiunea plasmei descărcărilor electrice în impuls. Se cunoaște faptul că, sub acțiunea efectului termic al plasmei în

suprafețele probelor au loc efecte de călire, saturare cu elementele mediului și în deosebi cu azotul formându-se nitrați, și nu în ultimul rând cu oxigenul și radicalilor apei formându-se oxizi și hidrooxizi. Numai formarea compușilor menționați mai sus poate provoca durificarea stratului de suprafață a probelor prelucrate. În același context poate fi amintit și faptul că efectele termice dau naștere tensiunilor remanente în suprafața prelucrată care la rândul lor sunt benefice pentru durificarea suprafeței.

În calitate de unul din factorii principali care atestă formarea straturilor de oxizi și hidrooxizi este modificarea rezistenței electrice a stratului de suprafață. În acest scop au fost executate un șir de măsurări a rezistenței active a probelor pînă și după prelucrare rezultatele cărora au fost centralizate în tabelul 7.4.

Tabelul 7.4

Rezistența electrică R, Ω

| Proba nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Înainte de prelucrare | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,07 | 0,09 | 0,09 |
| După prelucrare | $1,2 \cdot 10^6$ | $0,9 \cdot 10^6$ | $1,0 \cdot 10^6$ | $1,2 \cdot 10^6$ | $0,9 \cdot 10^6$ | $1,0 \cdot 10^6$ |

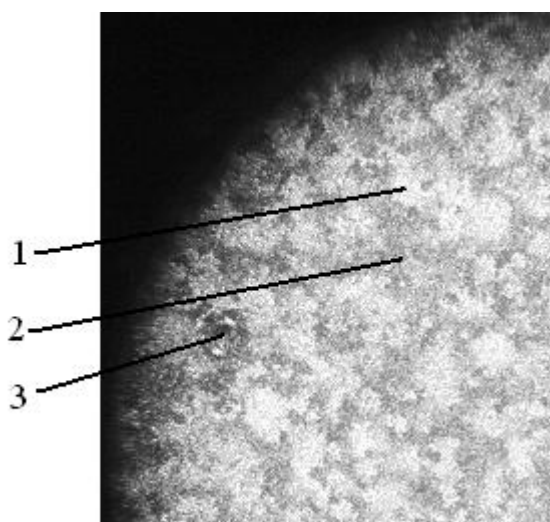


Fig. 7.8. Structura suprafeței probelor:

1 – oxidul; 2 – hidroxidul; 3 – metalul

Analizând rezultatele prezentate în tabelul 7.4 putem constata că, după prelucrare aceasta a crescut considerabil (de cca 10^6 ori). Rezistența s-a mărit din cauza că oxidul FeO reprezintă un bun dielectric. Diferența în valorile rezistențelor s-a obținut din motivul grosimei diferite a straturilor formate și posibil și a componenței chimice diferite a stratului obținut, ceea ce se confirmă cu rezultatele obținute de către autorii lucrării [45] (vezi fig. 2.6 – 2.7). Rezistența activă a straturilor de oxizi format este mai mare, pentru grosimi mai mari a acestora.

Analiza structurală a suprafeței prelucrate demonstrează că, pe acesta pot fi atestați în fond trei componenți principali: oxidul (FeO) , hidroxidul (Fe(OH)₃), metalul propriuzis (Fe), care s-a format în rezultatul străpungerii stratului de oxid sau hidroxid (fig. 7.8). Atestarea ultimului component poate fi cauzată din două motive și anume: discontinuitatea prelucrării suprafeței și străpungerea stratului de oxizi în anumite condiții de prelucrare. Ultimul efect poate fi omis prin generarea impulsurilor de amorsare de o anumită tensiune (critică).

Bibliografie

1. Головейко, А. Г. Исследование процессов на электродах в условиях мощного импульсного разряда. Автореферат дис. канд. физ.-мат. Наук 27. Минск. 1963.
2. ***Электроискровое легирование металлических поверхностей, Библиографический указатель литературы за 1943-1973 г.г. Кишинёв: Штиинца. 1974. 87 с.
3. ***Электроискровое легирование металлических поверхностей, Библиографический указатель литературы за 1974-1979 г.г. Кишинёв: Штиинца, 1981. 60 с.
4. Бакуто, И. А.; Мицкевич, М. К. О факторах, влияющих на образование покрытий при электроискровом способе обработки. Электронная обработка материалов 3, 1977. с. 17 – 19.

5. Душенко, В. Ф.; Гитлевич, А. Е.; Ревуцкий, В. М.; Михайлов В. В. О возможном механизме диффузии при электроискровом легировании и других видах импульсного воздействия на металл. Электронная обработка материалов 3, 1980. с. 36 – 39.
6. Михайлюк, А. И.; Рапопорт, А. С.; Гитлевич, А. Е. Влияние режимов электроискрового легирования на субструктуру и износостойкость некоторых металлов, Тез. докл. Всесоюз. Науч.-техн.конф. «Повышение надёжности и долговечности материалов и деталей машин на основе новых методов термической и химико-термической обработки». Москва. 1988. с. 111 – 112.
7. Лазаренко, Б. Р.; Михайлов, В. В.; Гитлевич, А. Е. Распределение элементов в поверхностных слоях при электроискровом легировании. Электронная обработка материалов № 3, 1977. с. 28 – 33.
8. Верхотуров А. Д.; Балов В. П.; Гузанов, Д. С.; Потепова, Н. М. Совместное поверхностное легирование безвольфрамовых твёрдых сплавов электроискровым и термодиффузионным методом. Электронная обработка материалов № 6. 1981. с. 12 – 14.
9. Гитлевич, А. Е.; Михайлюк, А. И.; Михайлов, В. В.; Процессы на электродах при электроискровом легировании- превращения на катоде. Электронная обработка материалов 3. 1995. с. 12-24.
10. Михайлюк, А. И.; Иванов, А. Н.; Капуткина, Л. М.; Гитлевич, А. Е. Особенности формирования субструктуры поверхностного слоя некоторых металлов после электроискрового легирования И ППД. Электронная обработка материалов 1. 1995. с. 19 – 24.
11. Гитлевич, А.Е.; Михайлов, В.В.; Парканский, Н.Я.; Ревуцкий, В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев: Штиинца, 1985. 196 с.
12. Парканский, Н.Я. Исследования процесса электроискрового нанесения покрытий из порошковых материалов в электрическом поле. Дисс. канд. техн. наук, Киев. Институт проблем материаловедения АН УССР.

13. А.С. 1151403 (СССР). Способ электроискрового нанесения покрытий и устройство для его осуществления. Михайлов, В.В.; Гитлевич, А.Е.; Ревуцкий, В.М.; Абрамчук, А.П. Оpubл. в Б.И. №15, 1985.
14. Гитлевич, А.Е.; Парканский, Н.Я.; Ревуцкий, В.М.; Речанник, И.С.; Покровский, А.М.; Говберг, М.Г. Оборудование для электроискрового легирования металлических поверхностей порошковыми материалами, ЭОМ, №:6, 1983. с. 78 – 80.
15. Гитлевич, А.Е.; Ревуцкий, В.М. Особенности явлений на электродах при низковольтном разряде на промежутках больше пробивных. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по импульсным методам обработки материалов. Минск: ФТИ АН БССР, 1978. с. 196 – 197.
16. Топала, П.А. Особенности явлений на электродах при низковольтных разрядах на промежутках больше пробивных. Тезисы докладов Республиканской конференции молодых ученых. Кишинев: Штиинца, 1986. с. 252 – 253.
17. Бушик, А.И. Исследование динамики процессов при импульсном разряде на сложных электродах. Автореф. Дисс.канд. ф.-м. наук. Минск ФТИ АН БССР, 1973. – 23 с.
18. Некрашевич, И.Г.; Бакуто, И.А. К вопросу о механизме электрической эрозии металлов. В кн.: Сб. научных трудов ФТИ АН БССР, вып.2- Минск: изд-во. АН БССР, 1995. с. 167 – 176.
19. Гитлевич, А.Е.; Топала, П.А.; Куку, И.И.; Иванов, В.И.; Снегирев, В.А. О возможности упрочнения металлических поверхностей на установках для электроискрового легирования типа «Разряд». ЭОМ, №2, 1987. с. 24 – 26.
20. Гитлевич, А.Е.; Топала, П.А.; Снегирев, В.А.; Игнатков, Д.А. Особенности электрической эрозии электродов при импульсных разрядах, протекающих в режиме недонапряжения. ЭОМ, №3, 1988. с. 9 – 12.

- 21.Лазаренко, Б.Р.; Гитлевич, А.Е.; Ткаченко, В.Н.; Фурсов, С.П. Влияние параметров разряда и конструкции разрядной системы на процесс нанесения покрытий из порошковых материалов. ЭОМ, №6, 1972. с. 24 – 26.
- 22.Лазаренко, Н.И. Технологический процесс изменения исходных свойств металлических поверхностей электрическими импульсами. В кн.: Электроискровая обработка металлов, вып.2 -М.: Изд-во АН СССР, 1960. с. 26 – 66.
- 23.Николенко, С.В.; Верхотуров, А.Д.; Коваленко, С.В. Поверхностная обработка титанового сплава электроискровым легированием. Перспективные материалы, №3, 2002. с. 13 – 19.
- 24.Топала, П.А. Электроискровое легирование металлических поверхностей в режиме неднапряжения. Всесоюзная школа-семинар. Электрофизические методы и технологий воздействия на структуру и свойства материалов. Ленинград, судостроение, 1990. с. 90 – 91.
- 25.Немошкаленко, В.В.; Топала, П. А.; Томашевский, Н.А.; Мазанко, В.Ф.; Носовский, О.И. Особенности формирования поверхностных слоев при искровых разрядах. Металлофизика. Киев. Т.12, №3, 1990. с. 132 – 133.
- 26.Топала, П. А. Электроискровое легирование металлических поверхностей в режиме недонапряжения, Всесоюзная школа-семинар Электрофизические методы и технологии воздействия на структуру и свойства металлических материалов. Ленинград. Судостроение. 1990. с. 90 – 91.
- 27.Топала, П. А. Бесконтактный процесс электроискрового нанесения покрытий из порошковых материалов. Электрофизические технологии в порошковой металлургии. Москва. 1990. с. 97 – 98.
- 28.Топала, П. А.; Вишневский, А.Н. Процессы на поверхности катода-деталит при его упрочнении плазмой импульсного разряда. Электроэрозионные и другие методы легирования. Кишинев. 1989.

29. Топала, П. А.; Ревуцкий, В.М. Процессы на электродах при низковольтных разрядах на промежутках больше пробивных. Пятое Всесоюзное совещание по электрической обработке металлов. Кишинев. 1985. с. 73 – 74.
30. Topală, Pavel; Bălcănuță, Nicolae. Tratamente termice superficiale a pieselor cu aplicarea descărcărilor electrice în impuls, URU, Culegere de lucrări științifice. Cahul. 2001.
31. Topală, Pavel. Conditions 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.
32. Топала, П.; Стойчев, П.; Епуряну, А.; Бешлиу, В. Упрочнение металлических поверхностей на участках для электроискрового легирования, International Sientific and Tecnical conferance „Machine-bulding and technospere of the XXI century”. Donetsk. 2006. с. 262 – 66.
33. Топала, П.; Стойчев, П.; Епуряну, А.; Руснак, В. О возможности легирования металлических поверхностей на установках для электроискровой обработки в режиме недонапряжения. International Sientific and Tecnical conferance „Machine-Bulding and technospere of the XXI century” Donetsk 2006. p. 266 – 270.
34. Топала, П.А. Массоперенос и диффузионные процессы в поверхностных слоях деталей машин при электроискровой обработке. “Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования и технологической оснастки”. Санкт-Петербург. 2007. 11 с.
35. Slătineanu, Laurențiu. Tehnologii neconvenționale în construcția de mașini. Chișinău: Tehnica INFO, 2000. 252 p.
36. Von, Diepen A.M.; Popma, Th. I.A. Temperature dependence of the hyperfine field in amorphouse Fe₂O₃, Solid State Comuns. –27, N. 1. 1987. p. 121 – 125.

37. Гитлевич, А.Е.; Михайлов, В.В.; Парканский, Н.Я.; Ревуцкий, В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев. 1985.
38. Topală, P. Cercetări privind obținerea straturilor din pulberi metalice prin descărcări electrice în impuls: Rezumatul tezei de doctorat. București. 1993. 32 p.
39. Ghitlevici, A.E.; Mihailov, V.V.; Parkansky, N.A.; Revutsky, V.M. Electro-spark alloying of metallic surfaces. Chișinău: Ed. Știința, 1985. 180 p.
40. Topală, P. Research on obtaining of layers of metallic powders through electric impulse discharges. Summary of doctorate thesis. University „Politehnica“. Bucharest. 1993. 32 p.
41. Brauner, V. Anodic and cathodic arcs in electro-erosion processing. Electronic processing of materials, N. 1, 1994. p. 32 – 36.
42. Nemoshkalenko, V.K.; Topală, P.A.; Tomashevsky, N.A.; Mazanko, V.F.; Nosovsky O.I. The peculiarities of formation of surface layers during spark discharges. Metallo-physics. Kiev. V.12, N. 3, 1990. p. 132 – 133.
43. Томашов, Н.Д.; Чернова, Г.П.; Корниенко, Л.П. и др. Сб. научн. тр.: Коррозионная стойкость титана в технологических средах химической промышленности. М.: НИИТЭ хим. 1982. 18 с.
44. Bălcănuță, N., Contribuții privind obținerea straturilor din pulberi metalice prin eroziune electrică în regim de subexcitare. Rezumatul tezei de doctorat. Galați. 2005.
45. Немошкаленко, В.В.; Топала, П. А.; Томашевский, Н.А.; Мазанко, В.Ф.; Носовский, О.И. Особенности формирования поверхностных слоев при искровых разрядах. Металлофизика. Киев. Т.12, Nr.3, 1990. с. 132 – 133.