

**Universitatea de Stat „Alec Russo” din Bălți**

**Facultatea de Științe Reale, Economice și ale Mediului**

**Catedra de științe fizice și inginerești**

# ElectrotehnoLOGII

**Lucrări de laborator**

**pentru specialitățile: Tehnologii de instruire și producere și Inginerie în  
construcția de mașini**

A elaborat:

Pereteatcu Pavel, dr., conf. cercetător

Cracan Cornel, inginer

**Bălți, 2016**



## Introducere

Denumirea generală de „*electrotehnologii*” îmbină diverse procese tehnologice, particularitățile deosebite ale cărora constau în utilizarea energiei electrice pentru realizarea transformărilor tehnologice ale materialului (schimbările de stare, compoziție, structură, formă și proprietăți de exploatare, etc.)

Electrotehnologiile ca domeniu separat al tehnologiei materialelor nu are limite strict fixate, însă practic ele pot fi clasificate în următoarele procese și metode:

1. Sudarea electrică (cu arc, contact, electrozgură, etc.);
2. Depuneri galvanice a acoperirilor metalice (galvanostegia, galvanoplastia);
3. Încălzirea prin inducție, cu curenți de frecvență ridicată și înaltă (topirea, lipirea, tratamente termice, etc.);
4. Metode ale tehnologiei electrono-ionice (vopsirea electrostatică electroforeza, etc.);
5. Metode electrofizicochimice și prelucrarea combinată a materialelor.

Este important de remarcat că pentru o mai bună însușire a materialului teoretic un rol deosebit îl are efectuarea lucrărilor practice de laborator cât și seminarelor în procesul cărora studenții au posibilitatea de a-și aprofunda cunoștințele obținute în cadrul orelor teoretice.

Prezentul îndrumar, propune un ciclu de lucrări, care are drept scop familiarizarea studenților în aspect teoretic și practic cu tehnici de laborator din domeniul metodelor electrofizice de prelucrare. El este adresat viitorilor specialiști, care vor să-și adâncească cunoștințele din domeniul tehnologiilor de vîrf.

Recenzenți:

1. V. Rusnac, dr., conf. univ.
2. A. Ojegov dr., lect. sup. univ.

# **Reguli de tehnica securității în laboratoare**

## **Măsuri de tehnica securității muncii la prelucrările prin tehnologii neconvenționale**

În cadrul proceselor tehnologice specifice tehnologiilor neconvenționale — așa cum s-a arătat — sînt utilizate o diversitate foarte mare de mașini și utilaje de prelucrare prin electroeroziune, electrochimie, laser, ultrasunete etc.

Principiile de funcționare ale instalațiilor de prelucrare prin tehnologii neconvenționale impun acordarea unei atenții deosebite atît la proiectarea, cit și la exploatarea lor.

În aceste condiții, sînt necesare măsuri speciale pentru evitarea diferitelor accidente de muncă, cit și a unor note profesionale pentru operatorii care lucrează pe aceste instalații.

Cele mai frecvente cauze care pot duce la diverse accidente de muncă sînt următoarele:  
—electrocutarea datorită tensiunilor relativ ridicate la care se lucrează (electroeroziune, laser);  
—aprinderea dielectricului din baia de lucru (electroeroziune);  
—posibilitatea producerii de explozii, ca urmare a amestecului de gaze-hidrogen, acetilenă etc. —în diverse proporții cu aerul (electroeroziune, electrochimie);  
—pericol de alunecare pe grătarele din lemn sau covoarele de cauciuc din jurul instalațiilor etc.

Ca atare, la operațiile care se execută pe instalațiile de prelucrări neconvenționale, pe lângă instrucțiunile generale privind protecția muncii, se impune respectarea unor măsuri suplimentare de protecție, specifice acestor locuri de muncă.

Aceste norme speciale de protecția muncii sînt prevăzute în Ordinul nr. 97 al Ministerului Industriei Construcțiilor de Mașini, în concordanța cu prevederile legii nr. 5/1965, referitoare la protecția muncii, cu Avizul Consiliului tehnico-economic al MICM nr. 115562/23.03.1979 și cu acordul Inspecției de Stat pentru protecția muncii din Ministerul Muncii (nr. 41192/ 22.05.1979) privind Normele de protecție a muncii în industria constructoare de mașini.

Actele normative menționate prevăd atît măsurile generale, cit și cele specifice de protecția muncii, corespunzător fiecărui tip de instalație.

## **Norme de tehnica securității muncii la instalațiile de prelucrare prin electroeroziune**

Desfășurarea în bune condiții a proceselor tehnologice pe instalațiile de prelucrare prin electroeroziune impune luarea următoarelor măsuri de protecția muncii:

—instalațiile vor fi prevăzute cu un sistem de interconținere a comenzilor care să nu permită executarea unei operații pînă nu sînt îndeplinite toate condițiile de lucru în deplină securitate;

—instalațiile vor fi dotate cu diferite dispozitive de protecție pentru evitarea aprinderii lichidului dielectric în timpul funcționării ca de exemplu: dispozitive de oprire a mașinii la depășirea temperaturii de 35<sup>0</sup> C a dielectricului și la scăderea nivelului în bazinul de lucru sub o anumită limită (20-50 mm) peste suprafața de prelucrat a piesei); dispozitivele de retragere a electrodului-sculă în caz de apariție a scurtcircuitelor;

—instalațiile vor fi prevăzute cu dispozitive care să blocheze capul de lucru în cazul întreruperii accidentale a circuitului electric și care să nu permită recuplarea mașinii în regim de lucru fără intervenția operatorului;

—se vor prevedea, în încăperea respectivă sau pentru fiecare utilaj în parte, instalații de evacuare a gazelor rezultate din procesul de prelucrare;

—lichidul dielectric se va manipula cu grijă, iar dacă este inflamabil se vor afișa în loc vizibil plăcuțe de atenționare cu următoarele inscripții „Pericol de foc”, „Manipularea cu foc deschis interzisă”, „Fumatul interzis” etc;

—punerea în funcțiune și exploatarea instalațiilor de prelucrat prin electroziune se va face numai de personalul desemnat și instruit în acest sens, conform indicațiilor producătorului instalației respective;

—este interzisă intervenția operatorului în bazinul de lucru sau atingerea electrodului-sculă în timpul când instalația este conectată pe regim de prelucrare;

—orice intervenție la partea electrică a mașinii se va face numai de personalul calificat, după deconectarea instalației de la rețeaua electrică.

—fiecare instalație trebuie să fie prevăzută cu un număr corespunzător de stingătoare de incendiu pentru instalații electrice și produse petroliere;

—pentru a se preveni producerea de dermatoze la nivelul mâinilor operatorilor (datorită dielectricului utilizat în bazinul de lucru al mașinii), se vor folosi pentru protecție creme sau mănuși de cauciuc.

### **Norme de tehnica securității muncii la instalațiile de prelucrare electrochimică**

Măsurile de protecție a muncii specifice instalațiilor de prelucrare electro-chimică sînt următoarele:

—instalația de prelucrat electrochimie se va amplasa într-un loc aerisit, pe cit posibil izolat de celelalte mașini-unelte, pentru a se preveni oxidarea elementelor componente ale acestora;

—pornirea și manevrarea instalațiilor de prelucrare electrochimică se va face numai de personalul calificat și instruit în acest sens;

—se interzice pornirea instalațiilor de prelucrat electrochimie cu bazinul de lucru deschis; se va verifica, înainte de pornirea mașinii, existența capacelor la părțile electrice ale instalației;

—în jurul instalației de prelucrat electrochimică (pe pardoseală), se va așterne un covor de cauciuc;

—instalațiile vor fi prevăzute cu ecrane de protecție împotriva stropiră cu electrolit;

- conductele de aducere a electrolitului de la reper la bazinul de lucru vor fi asigurate contra desfacerii în timpul funcționării;
- controlul sau verificarea piesei prelucrate se face numai după oprirea instalației și deconectarea sursei de curent.

### **Norme de tehnica securității muncii la instalațiile de prelucrarea cu plasmă**

În cazul utilizării în procesele tehnologice a instalațiilor de prelucrare cu plasmă electrolitică, principalele măsuri de tehnica securității muncii sînt următoarele:

- instalațiile trebuie să aibă toate părțile componente legate la pămînt,
- conductorii electrici mobili pentru racordarea la rețea și cablurile de alimentare a generatorului de plasmă trebuie să fie protejate împotriva deteriorării datorită stropilor de metal topit; protejarea se va face cu manșoane de protecție din material izolant;
- conectarea cablului de masă la semifabricat se va face prin utilizarea unor cleme de strîngere, a unor borne cu șurub sau a dispozitivelor magnetice;
- furtunul de alimentare cu apă pentru răcire trebuie să fie bine etanșat;
- după pornirea instalației nu se vor executa nici un fel de intervenții la părțile componente;

## **Lucrare de laborator**

### **Tema: Alierea prin scînteii electrice**

**Scopul lucrării:** Cercetarea procesului obținerii depunerilor prin metoda alierii cu scînteii electrice

**Obiectivele lucrării:**

1. Studiarea noțiunilor teoretice de bază a metodei alierii prin scînteii electrice;
2. Studiarea schemei electrice clasice a generatorului RC utilizat la ASE.
3. Construirea dependenței schimbării masei catodului funcție de timpul de prelucrare și energia descărcării.
4. Determinarea coeficientului transportului de masă anodică pe suprafața catodului

## Notiuni teoretice generale

Alierea prin scântei electrice (ASE) a suprafețelor metalice se bazează pe efectul eroziv polarizat și transferul materialului anodului (sculei) pe catod (piesa) la descărcarea electrică prin impuls în mediu gazos.

Procedeul alierii cu scântei electrice a suprafețelor metalice a fost elaborat de către B.R.Lazarenco și N.I.Lazarenco în același timp cu metoda prelucrării dimensionale prin eroziune electrică [1-8]. Printre particularitățile de bază ale alierii cu scântei electrice se poate menționa prelucrarea locală a suprafeței; alierea poate fi efectuată în locuri strict indicate cu raza de zecimi de milimetri și mai mult, neprotejând restul suprafeței piesei; o rezistență înaltă de adeziune a materialului depus cu suportul; lipsa încălzirii piesei în procesul prelucrării; posibilitatea utilizării în calitate de materiale de prelucrare atât a metalelor pure, cât și a aliajelor lor, compoziții metaloceramice, compuși greu fuzibili etc., îmbogățirea difuzivă a suprafeței catodului cu elemente componente a anodului fără schimbarea dimensiunilor catodului-piesă, lipsa necesității pregătirii prealabile a suprafeței supuse prelucrării.

Tehnologia alierii cu scântei electrice este foarte simplă, iar utilajul necesar este de gabarite mici și fiabil. Una din schemele cele mai simple, utilizate la alierea prin scântei electrice este prezentată pe fig.1. Schema reprezintă un generator RC, în care piesa (P) este cuplată în calitate de catod, iar ca electrod - scula (E-S) prin intermediul căruia se efectuează formarea straturilor superficiale pe piesă - în calitate de anod.

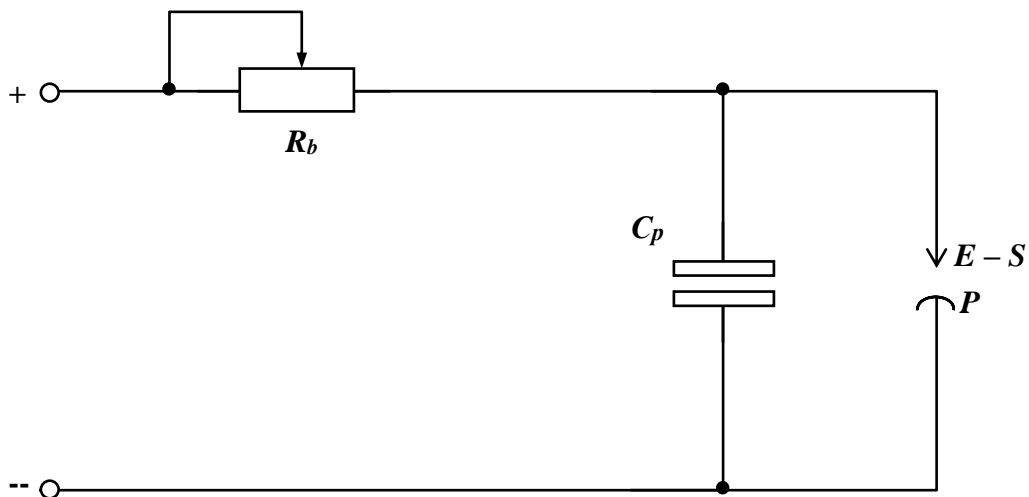


Fig.1.Schema electrică clasică utilizată pentru alierea prin scântei electrice  
 $E - S$  – electrodul sculă;  $P$  – piesa;  $C_p$  – condensator;  $R_b$  – rezistența de balast.

Schema funcționează în felul următor: condensatorul C se încarcă de la o sursă de curent continuu printr-o rezistență de balast  $R_b$ . Procesul ASE începe cu apropierea electrodului-sculă de piesă, și la o distanță între ele egală, sau mai mică, decât cea de străpungere, se începe amorsarea descărcării prin impuls, care în majoritatea cazurilor continuă și se termină cu contactul electrozilor.



După străpungerea interstițiului, datorită energiei acumulate în condensator - capacitate pe suprafețele electrozilor dezvoltă focare locale de topire și evaporare, ce duc la eroziunea electrică a electrozilor. Datorită efectului direcționat al transferului preponderent al materialului anodului erodat pe catod se asigură formarea pe acesta a stratului superficial cu proprietăți fizico-mecanice anumite. La sfârșitul descărcării, peste un interval de timp, începe retragerea anodului de la catod, care se termină cu întreruperea circuitului electric. Analog, procesul se repetă.

Vom examina mai profund procesele, care decurg în interstițiu. În momentul străpungerii în interstițiu apare un fir de plasmă cu o temperatură medie de  $(6-11) \times 10^3$  K și cu o densitate electronică de  $(4-13) \times 10^{16}$  cm<sup>-3</sup>. În rezultatul acțiunii lui pe suprafața electrozilor apar surse volumice și plane de căldură. Peste  $10^{-7}$  -  $10^{-8}$  sec. după străpungerea interstițiului, de pe suprafețele electrozilor începe evaporarea și prelevarea fazei lichide.

Fluxurile de vapori și lichid poartă o anumită rezervă de energie care depinde de proprietățile materialelor electrozilor și a parametrilor descărcării. Deoarece aceste fenomene decurg într-un interstițiu destul de mic care continuu se micșorează, în acest caz se crează condiții favorabile pentru transmiterea energiei acestor fluxuri electrozilor opuși. Sub acțiunea componentei electronice și ionice a plasmei descărcării în gaz, a fluxurilor de vapori și lichid, pe electrozi în locurile emanării energiei apar volume topite de forma viitoarelor adâncituri. Prelevarea vaporilor și a lichidului, cât și micșorarea intervalului duce la o creștere semnificativă a presiunii în interstițiu. Un contact durabil între anod și catod în procesul descărcării nu are loc, deoarece în zona evaporării presiunea vaporilor de metale poate atinge cca  $10^8$  Pa, ceea ce depășește substanțial presiunea, care se dezvoltă în sistemul electromagnetic al vibratorului. La străpungerea interstițiului prin contact, în faza inițială, are loc eruperea punții de contact care asigură curățarea prealabilă a suprafeței și formarea ulterioară a interstițiului pentru dezvoltarea descărcării prin plasmă.

Asupra volumelor de metale ale anodului și catodului care s-au contopit acționează câteva forțe: presiunea hidrodinamică a geturilor de flăcări, presiunea gazocinetică din partea canalului, forța câmpului electric, forța electrodinamică, presiunea reactivă. Sub acțiunea rezultantei acestor forțe volumul metalului lichid se deformează, apoi este aruncat din crater, dar deoarece aceasta decurge practic în contact, atunci este posibilă fuziunea fazelor lichide ale materialelor și amestecarea intensă hidrodinamică a acestora.

Datorită fenomenului de transfer direcționat, cantitatea fazei lichide pe anod este cu mult mai mare, decât pe catod și stratul superficial trebuie să fie constituit din materialele anodului, însă datorită amestecării hidrodinamice a materialelor anodului și catodului în stratul aliat se conține până la 40 - 80% de material al catodului. La alierea cu scânteii electrice interacțiunea fazelor lichide ale materialului electrozilor are loc preponderent pe suprafața catodului. Însă, conform rezultatelor experimental cu o parte din topitura materialului anodului care a interacționat cu mediul înconjurător

și materialul catodului, rămân pe suprafața lui. În rezultatul acestui fapt se schimbă proprietățile stratului superficial ale anodului, și ca urmare, rezistența lui la eroziune și volumul materialului anodului, transferat pe catod la descărcările ulterioare. Prezența materialului catodului în stratul superficial al anodului este condiționat atât de interacțiunea fluxului amestecului de vapori și lichid, fazelor lichide, cât și de tendința de aderență a electrozilor. După finalizarea descărcării începe faza următoare a procesului alierii cu scânteii electrice. În această fază are loc contactul puternic fizic între anod și catod.

Oscilogramele procesului au demonstrat, că timpul contactării electrozilor vibrator constituie 0,6-0,2 msec, ceea ce este cu mult mai mare, decât durata impulsului curentului. Ultima fază a procesului începe cu micșorarea forței mecanice, dintre electrozi, cauzată de retragerea electrozilor de la piesă și se finalizează prin întreruperea circuitului electric și cu înlăturarea anodului de la piesă la o distanță cu mult mai mare, decât cea de străpungere. Această distanță de obicei corespunde amplitudinii vibrațiilor anodului.

Astfel, dinamica procesului alierii cu scânteii electrice, prezentată aici, se realizează pe baza eroziunii electrice și a transferului pe catod a materialului compact și interacțiunea între acestea și elementele mediului interelectrodic, în rezultatul cărui fapt are loc schimbarea proprietăților fizico-chimice ale suprafeței prelucrate: duritatea, rezistența la uzură, refractabilitatea, rezistența la coroziune etc.

În așa fel, tabloul dinamicii procesului alierii prin scânteie se face pe baza eroziunii electrice și a transportului pe catod a materialului anodului compact și interacțiunea între ei și elementele mediului dintre electrozi, în rezultatul căruia pe suprafața catodului se formează soluții solide, compuși chimici, diferite aliaje și pseudoaliaje.

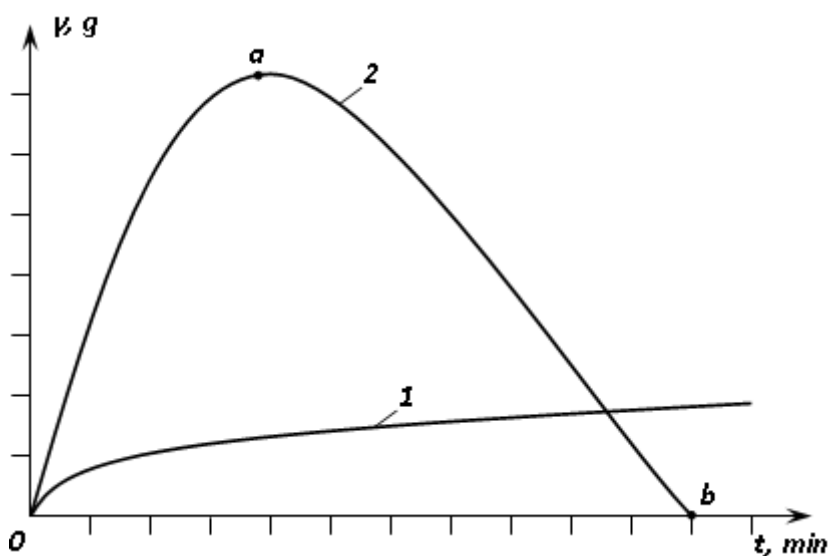


Fig. 2. Dependența adaosului masei catodului de timpul ASE pentru diferite valori ale energiei descărcării: 1 – pentru regimuri fine; 2 – pentru regimuri de mare putere (dure)

Avantajul principal al procesului alierii prin scînteii electrice constă în posibilitatea transportului pe suprafața supusă prelucrării a oricăror materiale electro-conductive. Formarea straturilor superficiale în cazul alierii prin scînteii electrice se efectuează discret prin acțiunea locală pe toate porțiunile suprafeței catodului.

Un interes deosebit în procesul alierii prin scînteii electrice reprezintă dependența grosimii stratului obținut de durata timpului de prelucrare (fig.2.).

Din desen se vede că în perioada de timp precăutată, anodul uniform „eliberează” cantități egale de material, iar catodul peste un anumit interval de timp devine incapabil de a primi materialul de pe anod. În primele minute pe catod se depune o cantitate maximală de material, se micșorează considerabil (segmentul b-c) și se începe procesul invers — înlăturarea materialului numai cu un anumit moment începe distrugerea stratului depus pînă la înlăturarea lui completă.

### **Aparate, dispozitive și materiale**

Instalații de aliere prin scînteii electrice (generatoare de impulsuri, electrozi-scule), electrozi de diferite materiale (anozi, catozi), cronometru, menghină, microscop metalografic, cîntar analitic, rechizite de cancelarie, caiet de lucru, riglă.

### **Mersul lucrării**

**Remarcă:** înainte de a începe lucrarea propriuzisă, studenții fac cunoștință cu (**cîntarul analitic**, la care se poate cîntări greutatea pînă la 200 g.) CA-200 ce are o precizie de 0,0001 g. și cu metodica cîntării mostrelor utilizate în experiment.

1. Se aleg materialele, care vor servi drept electrozi.
  - a. Anozii se confecționează în formă de cilindrică (de exemplu sîrmă cu 0 – 2, 3, 4 mm sau cilindri din pulberi sinterizate de același diametru) sau în formă de bare dreptunghiulare cu secțiunea 3x3, 3x2 sau 3x4 mm cu lungimea de 30 - 40 mm.
  - b. Catozii se confecționează de asemenea din diferite materiale metalice diferite dreptunghiulare, rotunde, cilindrice etc. Dimensiunile nu se limitează în cazul cînd în calitate de catod servește însăși piesa. În cazul cercetărilor, dimensiunile catodului se limitează pînă la 15x15x3 mm.
2. Materialul catodului preventiv se curăță cu hîrtie abrazivă în scopul înlăturării murdăriei de pe suprafața, care se va prelucra (de exemplu a ruginii).
3. Pe catod se alege o porțiune cu suprafața de 1 cm<sup>2</sup>, fiind evidențiată cu creionul sau cu un ac metalic.
4. Se efectuează analiza micro-structurală a suprafeței evidente sau a unei alte părți ale catodului utilizînd metodica cunoscută din studiul metalelor. Se desenează cu creionul într-un pătratcu o latura de 30 mm, sau cerc cu  $\varnothing$  30 mm, imaginea văzută la microscopul

metalografic.

5. Lucrarea dată se începe cu cântărirea preventivă a anodului și catodului, iar rezultatele se introduc în tabelul 1.

6. Anodul se fixează în electrod-sculă, iar catodul în menghină.

**\*Alierea prin scînteii electrice se efectuează la polaritate inversă. Anodul este conectat la polul pozitiv, iar catodul la polul negativ al generatorului ales pentru cercetare.**

7. Se alege regimul de lucru al generatorului. Prin regimul de lucru se are în vedere energia impulsului, care se calculează din relația:

$$W = \frac{CU^2}{2}$$

în care: W - energia impulsului, J;

C - capacitatea bateriei de condensatoare, mF;

U - tensiunea de pe electrozi, V.

\*Valoarea capacității se ia din schema principială de lucru a generatorului utilizat, iar tensiunea se măsoară cu un voltmetru de sistem magneto-electric.

Numărul de regimuri la diferite generatoare este diferit.

De exemplu generatorul Ālitron-22 are două regimuri după valoarea capacității, iar tensiunea poate varia de la 15-90 V, de la 2 pînă la 6. V la EFI – 10M. Astfel se poate varia energia descărcării în limite mai mari.

**Înainte de a începe lucrarea dată controlați unirea cu pămîntul a instalației !**

8. Se cuplează instalația la rețeaua de 220 V, se ia în mînă electrod-scula, se pornește generatorul, cronometrul și se începe astfel procesul de prelucrare a suprafeței de 1 cm<sup>2</sup> prin atingerea electrod-sculei de catod și purtînd-o pe suprafața aleasă astfel că timp de 1 minut să obținem acoperirea întregului sector ales.

**Atenție:** Nu se permite în procesul alierii un contact rigid dintre electrozi deoarece aceasta duce la scurtcircuitarea generatorului. Mîna operatorului pentru o mai bună manipulare a electrod-sculei trebuie să se sprijine pe masa de lucru.

9. După un minut de lucru se întrerupe procesul (timpul specific de aliere este 1 min/cm<sup>2</sup>). Apoi se eliberează electrozii (anodul și catodul) și se cântăresc pe rînd. Rezultatele se introduc în tabelul 1.

Experimentul se repetă de 10 ori, alierea efectuîndu-se pe aceeași suprafață.

Astfel în tabelă se vor primi 10 poziții de schimbare a masei anodului și tot atîtea de schimbare a masei catodului.

Pentru o mai mare precizie, experimentul poate fi repetat pentru același regim de lucru de 2 – 3 ori și poate chiar și mai mult, iar la sfîrșit se va primi în rezultat o medie aritmetică a schimbării masei catodului și anodului.

10. Măsurările se repetă și pentru un alt regim utilizând aceleași perechi de materiale conform p. 8 și 9.

11. După datele obținute se construiesc dependențele  $\Delta\gamma_k(t)$  și  $\Delta\gamma_a(t)$ , scara dependențelor se alege arbitrar.

12. Se fac cercetările vizuale ale suprafețelor supuse alierii.

13. Se calculează coeficientul transportului de masă anodică pe catod. Pentru aceasta se calculează  $\Delta\gamma_a(t)$  totală și  $\Delta\gamma_k(t)$  totală (pentru cele 10 puncte) pentru fiecare regim în parte.

Relația după care se poate calcula coeficientul transportului de masă este următoarea:

$$k = \frac{\Delta\gamma_k}{\Delta\gamma_a} * 100\%$$

*Tabelul 1*

N/o	Masa anodului la aliere $\Delta\gamma_{a1}$	Masa anodului după aliere $\Delta\gamma_{a2}$	$\Delta\gamma_a, \Delta\gamma_a$ $= \Delta\gamma_{a1} - \Delta\gamma_{a2}$	Masa catodului pînă la aliere $\Delta\gamma_{k1}$	Masa catodului după aliere $\Delta\gamma_{k2}$	$\Delta\gamma_k, \Delta\gamma_k$ $= \Delta\gamma_{k1} - \Delta\gamma_{k2}$
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

### **Evaluarea lucrării**

- I. Raportul explicativ al studentului trebuie să conțină următorul material:
  - a. Scurtă descriere a esenței realizării procesului de aliere prin scînteii electrice;
  - b. Rezultatele obținute, tabele și grafice;
  - c. Concluzii despre rezultatele obținute.
- II. Studentul trebuie să cunoască răspunsul la următoarele întrebări:
  1. Dați definiția alierii prin scînteii electrice.
  2. Explicați fazele decurgerii procesului alierii prin scînteii electrice.
  3. Cum se calculează și în ce unități se măsoară energia impulsului descărcării la alierea prin scînteii electrice ?
  5. Care sunt avantajele tehnologiei alierii prin scînteii electrice ?

### **Bibliografie:**

1. Ю. Н. Петров, И. И. Сафронов, С. П. Фурсов „Руководство по электроискровому легированию”, Кишинёв-1967, стр. 14-22.
2. А.Е. Гитлевич, В.В. Михайлов, Н.Я. Парканский, „Электроискровое легирование металлических поверхностей”, Кишинёв „Штиинца”-1985, стр. 4-14.

## Lucrarea de laborator

### Tema: Intensificarea procesului de aliere prin scânteii electrice

**Scopul lucrării:** Cercetarea influenței câmpului magnetic asupra procesului de aliere prin scânteii electrice.

#### **Obiectivele lucrării:**

- 1) Se studiază utilajul ce se folosește la lucrarea dată conform Fig.2.
- 2) Se efectuează cercetări experimentale a dependențelor  $\Delta\gamma_k(t)$  și  $\Delta\gamma_a(t)$  pentru perechile de materiale (anod, catod) alese:
  - a) în lipsa câmpului magnetic
  - b) în prezența câmpului magnetic (pentru diferite valori ale inducției câmpului magnetic).
- 3) Se construiesc dependențele  $\Delta\gamma_k(t)$  și  $\Delta\gamma_a(t)$  conform rezultatelor obținute conform pp. 2a, 2b
- 4) Se oformează o dare de seamă în corespundere cu pp. 1-3.

## Notiuni teoretice

Metodele electrofizice de prelucrare a materialelor reprezintă un domeniu deosebit de acțiune asupra mediilor sistemelor condensate sau compacte. Una din metoda de prelucrare electrofizică constituie tehnologia alierii prin scânteii electrice (ASE). Utilizarea acestei metode permite schimbarea proprietăților straturilor superficiale ale pieselor ce intră în componența organelor de mașini. Tot prin această tehnologie se pot schimba și caracteristicile de exploatare a sculelor de așchiat.

Esența acestei tehnologii constă în faptul că în procesul descărcării electrice la tensiuni joase într-un mediu gazos are loc distrugerea în temei a materialului anodului și transferul produselor eroziunii pe suprafața catodului. O acțiune multiplă a descărcărilor electrice pe suprafața electrozilor (anod, catod) provoacă formarea pe catod a acoperirii prin depuneri de material anodic. Acoperirile pe catod dispun de proprietăți care se deosebesc de proprietățile materialelor inițiale ale electrozilor. Părțile atractive (avantajele acestei metode constau în posibilitatea obținerii acoperirilor locale, adeziune puternică a depunerilor cu baza, încălzire neînsemnată a catodului în locul prelucrării, posibilitatea utilizării oricăror materiale electroconductive, compactitatea utilajului. Ca și orice proces tehnologic, alierea prin scânteie electrică dispune de neajunsuri, existența cărora substanțial frânează implementarea largă în diferite ramuri în industrie. Dintre ele putem remarca: grosimi mici ale depunerilor, rugozitate înaltă, productivitate joasă, neuniformitate sporită.

Fondatorii tehnologiei ASE (anul 1943) B.R. și N.I. Lazarenco iar mai târziu un număr mare de cercetători în rezultatul investigațiilor experimentale au demonstrat că formarea depunerilor superficiale prin această metodă de depunerilor superficiale prin această metodă depinde de un șir întreg de factori: energia descărcărilor electrice, compoziția chimică a mediului interstițial, natura materialului anodului (electrodului de lucru), cinematica mișcării electrodului - sculă pe suprafața catodului, timpul de lucru etc.

Pentru cercetarea influenței fiecărui factor au fost făcute diferite cercetări experimentale. Astfel a fost demonstrat că alierea cu scânteie electrică pentru obținerea unor depuneri care să satisfacă cerințele calității acoperirilor este rentabil de efectuat la energii de descărcare  $W < 3J$  ( $W = CU^2/2$ ). Cantitatea materialului transferat de pe anod pe catod, se determină prin relația:

$$\gamma_k = Wnt$$

în care  $\gamma_k$  - masa catodului după prelucrare

W - energia impulsului descărcării

n - numărul de impulsuri într-o unitate de timp

t - timpul de prelucrare.



Pentru mărirea grosimii depunerii pe catod s-a încercat de a influența compoziția chimică a mediului interstițial. Au fost efectuate cercetări utilizând medii care constau din gaze nobile Argon, Helium cât și în medii rarefiate. Inșă și în aceste cazuri se observa apariția maximului pe curba dependenței  $\gamma_k = f(t)$ . O altă cale propusă în direcția rezolvării problemei intensificării procesului ASE constă în influențarea tehnologiei obținerii depunerilor pe suprafața catodului cu surse suplimentare de energie, radiație LASER, oscilații ultrasonore, curent electric, câmpuri electrice, câmpuri magnetice. De exemplu aplicarea radiației LASER în procesul ASE a permis obținerea unor depuneri cu o uniformitate mai mare. Radiația LASER se aplică direct în procesul ASE cât și după efectuarea lui, prin acțiunea termică pe suprafața depunerilor, energia radiației contribuie la topirea lor și deci în rezultat contribuie la micșorarea rugozității prin netezire termică. Ultrasunetul utilizat ca sursă suplimentară de energie contribuie la îmbunătățirea uniformității depunerilor, micșorarea rugozității și creșterea microdurității superficiale, rezistenței la uzură a tensiunilor reziduale de comprimare etc. Alte surse suplimentare de energie pot fi considerate curentul electric continuu, alternativ, pulsant care poate fi introdus prin următoarele variante: numai prin anod (electrodul - sculă), numai prin catod (piesa supusă prelucrării) cât și concomitent prin anod și catod. Câmpul magnetic aplicat în procesul ASE contribuie la intensificarea formării acoperirilor, influențând cantitatea materialului transferat de pe anod pe catod, calitatea straturilor superficiale, uniformitatea depunerilor etc. Aplicarea câmpului magnetic în zona ASE poate fi efectuată după schemele prezentate în fig. 1 (a, b, c)

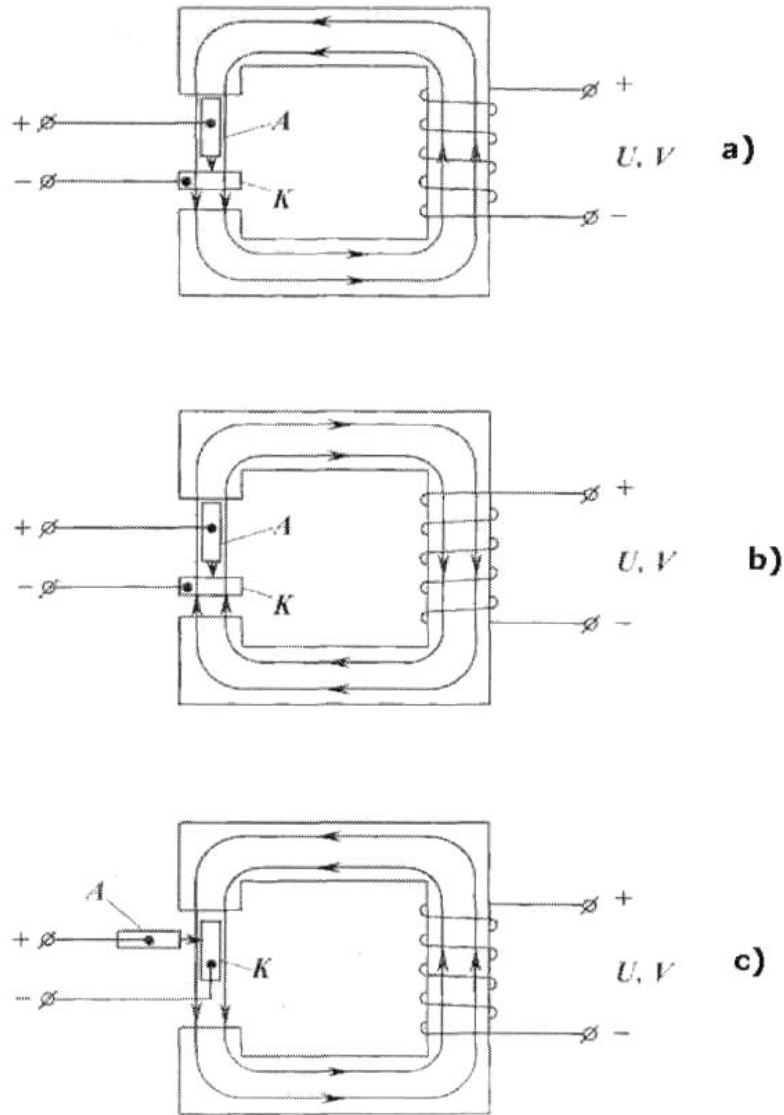


Fig. 1. Schemele de aplicare a câmpului magnetic

$$a) - \vec{B} \uparrow \uparrow \vec{I}_p$$

$$b) - \vec{B} \downarrow \uparrow \vec{I}_p$$

$$c) - \vec{B} \perp \vec{I}_p$$

în cazul *a* - vectorul inducției câmpului magnetic  $\vec{B}$  este paralel vectorului curentului din impuls  $\vec{I}_p$  însă direcțiile sunt aceleași  $\vec{B} \uparrow \uparrow \vec{I}_p$

în cazul *b* - vectorul inducției câmpului magnetic  $\vec{B}$  este paralel vectorului curentului din impuls  $\vec{I}_p$  însă direcțiile sunt opuse  $\vec{B} \downarrow \uparrow \vec{I}_p$

în cazul *c* - vectorul inducției câmpului magnetic  $\vec{B}$  este perpendicular vectorului curentului din impuls  $\vec{I}_p$  însă direcțiile sunt perpendiculare  $\vec{B} \perp \vec{I}_p$

Schema tehnologică a lucrării este prezentată în fig2. Ea constituie din următoarele părți:

Generator de impulsuri instalații de tipul EFI sau Elitron-22.

Sursă de câmp magnetic (o bobină înfășurată) pe un miez de fier cu un interstițiu.

Sursă de curent continuu pentru alimentarea bobinei magnetului.

Menghină pentru fixarea eşantioanelor supuse prelucrării.

Electrod – sculă.

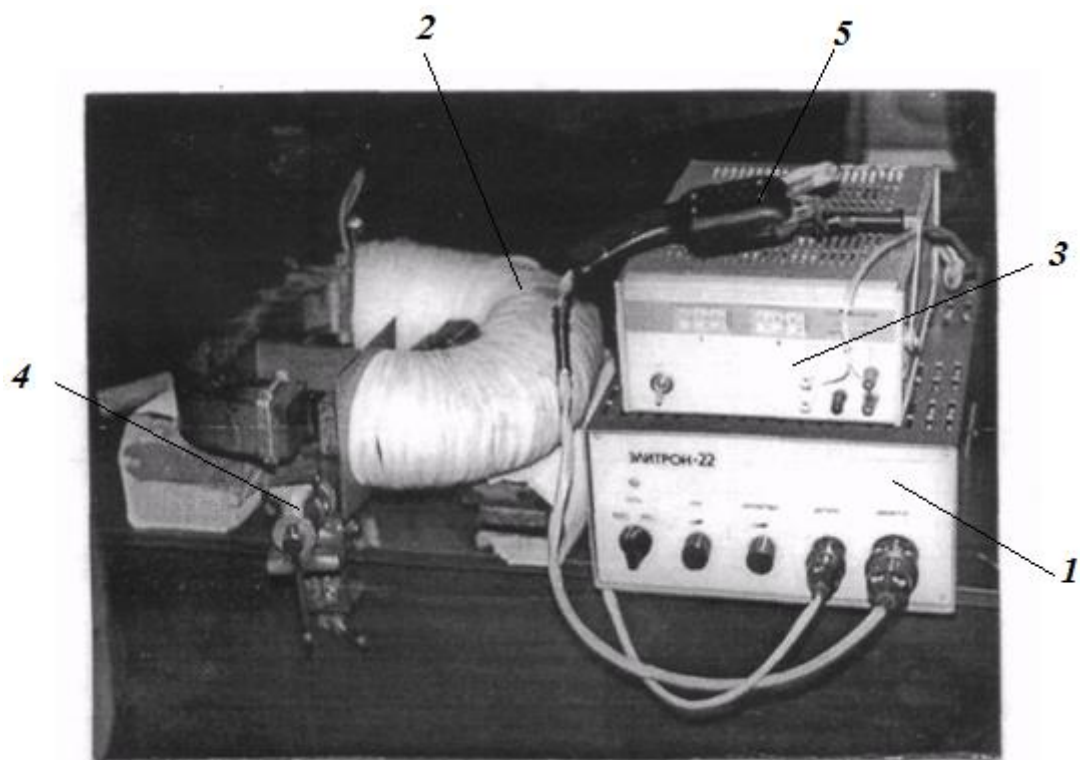


Fig. 2. Schema tehnologică de prelucrare prin ASE în câmp magnetic

1 – generator de impulsuri; 2 – sursa de câmp magnetic, 3 – sursa de alimentare a magnetului cu curent continuu reglabil; 4 – dispozitiv de fixare a probei; 5 – electrod-scula

Valoarea inducției câmpului magnetic se ia din tabelul 1.

*Tabelul nr. 1*

### Valoarea inducției câmpului magnetic

N/or	I (A)	U (V)	B (T)
1	0,01	9,4	0,0031
2	0,02	0,9	0,0065
3	0,03	1,4	0,0099
4	0,94	2,9	0,0144
5	0,05	2,5	0,0179
6	0,06	3,0	0,0214
7	0,07	3,5	0,0250
8	0,08	4,0	0,0286
9	0,09	4,5	0,0322
10	0,10	5,0	0,0357
11	0,11	5,5	0,0392

12	0,12	6,0	0,0427
13	0,13	6,5	0,0463
14	0,14	7,0	0,0498
15	0,15	7,5	0,0534
16	0,16	8,0	0,0570
17	0,17	8,5	0,0604
18	0,18	9,0	0,0640
19	0,19	9,4	0,0669
20	0,20	10,1	0,0716
21	0,21	10,6	0,0746
22	0,22	11,0	0,0780
23	0,23	11,3	0,0815
24	0,24	12,0	0,0851
25	0,25	11,5	0,0887
26	0,26	13,0	0,0924
27	0,27	13,3	0,0959
28	0,28	14,0	0,0995
29	0,29	14,3	0,103
30	0,30	15,0	0,107
31	0,31	15,3	0,110
32	0,32	16,0	0,113
33	0,33	16,3	0,117
34	0,34	17,0	0,120
35	0,35	17,3	0,124
36	0,36	18,0	0,127
37	0,37	18,3	0,131
38	0,38	19,0	0,135
39	0,39	19,3	0,138
40	0,40	20,3	0,144
41	0,41	20,5	0,147
42	0,42	21,3	0,151
43	0,43	21,8	0,154
44	0,44	22,4	0,158
45	0,45	22,8	0,161
46	0,46	23,4	0,166
47	0,47	23,9	0,169
48	0,48	24,2	0,171
49	0,49	24,7	0,175

50	0,50	25,3	0,179
51	0,51	25,8	0,183
52	0,52	26,3	0,186
53	0,53	26,8	0,189
54	0,54	27,3	0,193
55	0,55	27,8	0,196
56	036	28,3	0,200
57	03?	28,9	0,204
58	038	29,3	0,206
59	0,59	29,8	0209

### **Aparate, dispozitive și materiale**

Instalații de aliere prin scânteie electrică (generatoare de impulsuri, electrozi-scule), electrozi din diferite materiale (anozi, catozi), cronometru, menghină, cântar analitic, sursa de curent continuu cu posibilități de reglare a curentului, sursa de câmp magnetic continuu.

### **Mersul lucrării:**

**Remarcă.** înainte de a începe experimentul propriu zis, studenții fac cunoștință cu cântarul analitic CA200 (cântar analitic la care se poate cântări greutatea pînă la 200 g., ce are precizia de  $10^{-4}$  g.) și cu metoda cântării eșantioanelor mostrelor utilizate în experiment.

1. Se aleg perechile de materiale din care se vor confecționa electrozii. Este de dorit ca să se aleagă materiale cu proprietăți magnetice diferite (dia-, para- și fieromagnetice, Al, Cu, Ni, Fe etc).

a) Anozii se confecționează în formă de vergele cilindrice cu diametru 2..4 mm, sau de secțiune pătrată, dreptunghiulară 2x3, 3x3 mm cu lungimea de 30...40 mm.

b) Catozii în temei se confecționează în formă de plăcuțe pătrate cu latura de 15 mm sau dreptunghiulare cu laturile de 10...20 mm, grosimea pînă la 3...4 mm.

2. Pe catod se alege o porțiune cu suprafața de  $1 \text{ cm}^2$ , fiind evidențiată cu creionul sau cu un ac. De obicei se desenează un pătrat cu latura - 1 cm.

3. Se cântărește anodul, apoi catodul (pe rând) utilizând pentru aceasta cântarul analitic iar rezultatele se înscriu în tabelul nr. 2.

4. După cântărire anodul se fixează în electrod - sculă, iar catodul în menghină. Anodul este conectat la polul pozitiv iar catodul la polul negativ al generatorului de impulsuri ales pentru cercetări.

5. Se alege regimul de lucru al generatorului. Prin regim de lucru se are în vedere energia

impulsului care se calculează prin relația:

$$W=CU^2/2 \quad (1)$$

în care: W - energia impulsului în Jouli;  
 C - capacitatea bateriei de condensatoare în mF;  
 U - tensiunea de pe electrozi.

Tabelul nr. 2

N/o	Masa anodului la aliere $\gamma_{a1}$	Masa anodului după aliere $\gamma_{a2}$	$\Delta m$ , $\Delta y_a$ $\Delta \gamma_a = \Delta \gamma_{a1} - \Delta \gamma_{a2}$	Masa catodului pînă la aliere $\gamma_{k1}$	Masa catodului după aliere $\gamma_{k2}$	$\Delta m$ , $\Delta \gamma_k$ $\Delta \gamma_k = \gamma_{k1} - \gamma_{k2}$
1	2	3	4	5	6	7
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Valoarea capacității se ia din schema principială iar tensiunea se măsoară cu un voltmetru de sistemă magnetoelectrică sau cu avometru fiind conectat la bornele de ieșire a generatorului de impulsuri.

Numărul de regimuri la diferite generatoare este diferit. Ele diferă după tensiunea de alimentare a circuitului RC (valoarea minimă și maximă) cu reglare lină sau în trepte, sau de mărimea capacității bateriei de condensatoare.

6. Înainte de a începe experimentul propriu zis controlați unirea cu Pământul a instalației. Instalația-generator se alimentează la tensiunea de 220 V. Se controlează conexiunile tehnologice apoi cu întrerupătorul „Pornire” se cuplează circuitul generatorului astfel devenind alimentat de la rețea iar pe electrozi apare tensiunea de lucru. Se ia în mână dreaptă electrod-scula și se începe procesul de prelucrare a suprafeței de 1 cm<sup>2</sup>. Timpul de prelucrare se măsoară cu cronometru. Timpul specific de aliere constituie 1 min/cm<sup>2</sup>.

Nu se permite în procesul alierii un contact rigid dintre anod și catod, în caz contrar acest lucru ar duce la scurtcircuitarea generatorului de impulsuri.

Mâna operatorului pentru o mai bună manipulare a electrod-sculei trebuie să se sprijine pe masa de lucru de care este prinsă și menghina cu catodul.

7. După fiecare minută se cântăresc anodul și catodul aparte, iar rezultatele se înscriu în tabela 2. Experimentul se repetă de 10 ori, alierea efectuându-se pe aceeași suprafață. Astfel în tabelă se vor primi zece poziții de schimbare a masei anodului și masei catodului după fiecare minută de prelucrare. În partea a doua a lucrării se propune următoarele:

Efectuarea experimentului ASE în câmp magnetic.

1. Drept sursă de câmp magnetic servește o bobină înfășurată pe un miez de fier (electrotehnic moale) în formă de pătrat pe o latură a căruia este făcută o tăietură (interstițiu) ce servește drept polii magnetului. Bobina se alimentează de la o sursă de curent continuu cu posibilitatea reglării line a curentului de alimentare. Aceasta dă posibilitatea reglării în limite mari a intensității câmpului magnetic și a inducției lui în interstițiu.

2. Cercetările se fac utilizând aceeași instalație (generator) ca și în prima parte a lucrării la același regim, pentru aceleași perechi de materiale, se are în vedere materialul anodului și catodului.

3. Anodul poate fi utilizat același, dacă nu a erodat complet, în cazul contrar se schimbă cu altul. Pe catod se evidențiază din nou o porțiune în formă de pătrat sau dreptunghi cu suprafața de 1 cm .

4. Se fac aceleași cântăriri prelabile ale anodului și catodului aparte iar datele se înregistrează într-o altă tabelă de aceeași formă ca tabela nr. 1. După aceasta catodul se fixează între polii magnetului așa cum este arătat în fig. 1.

5. Se exclude atingerea părților catodului de polii magnetului, de aceea dimensiunile catodului trebuie corelate cu mărimea interstițiului.

6. Se alege inducția câmpului magnetic B în interstițiu reglând curentul și tensiunea de la sursa de energie electrică ce alimentează bobina magnetului. După valorile lor în tabela nr.1 anexă găsim valoarea B în TI (tesla).

7. Se efectuează timp de 1 minut acoperirea porțiunii pe catod. Apoi se oprește generatorul și sursa de curent, iar anodul și catodul se supun cântăririi aparte fiecare, iar rezultatul se înscrie în tabela nr.2. In așa fel se fac 10 măsurări.

8. Se trece la o valoare a lui B se face o altă tabelă de aceeași formă în care se vor înregistra rezultatele obținute (tabela 3).

9. După rezultatele obținute în tabelele 1, 2, 3 se construiesc dependențele pentru  $\Delta\gamma_k(t)$  și  $\Delta\gamma_a(t)$  B=0 și pentru alte două valori alese pentru B. Următoarea etapă va constitui toate dependențele pe un singur grafic.

10. Se calculează coeficientul transportului de masă anodică pe catod. Pentru acesta se calculează  $\Delta\gamma_k(t)$  și  $\Delta\gamma_a(t)$  integrala pentru cele zece măsurări în fiecare caz aparte B=0, B<sub>1</sub> și B<sub>2</sub> prin relația:

$$k = \Delta\gamma_k / \Delta\gamma_a * 100\% \quad (2)$$

Rezultatele obținute se compară și se fac concluzii necesare.

### **Evaluarea lucrării**

- I. Raportul explicativ al studentului trebuie să conțină următorul material:
  - a. Scurtă descriere a esenței realizării procesului de aliere prin scânteie electrică;
  - b. Descrierea utilajului folosit la efectuarea lucrării;
  - c. Rezultatele obținute tabelare și grafice;
  - d. Concluzii despre rezultatele obținute;
- II. Studentul trebuie să cunoască răspunsul la următoarele întrebări:
  1. Dați definiția alierii prin scânteie electrică
  2. Explicați fazele decurgerii procesului alierii prin scânteie electrică;
  4. Explicați schema clasică a unui generator de impulsuri;
  5. Cum se calculează și în ce unități se măsoară energia impulsului descărcării la alierea prin scânteie electrică ?
  6. Care sunt avantajele tehnologiei alierii prin scânteie electrică ?

### **Bibliografie:**

1. Ю. Н. Петров, И. И. Сафронов, С. П. Фурсов „Руководство по электроискровому легированию”, Кишинёв-1967, стр. 14-22.
2. А.Е. Гитлевич, В.В. Михайлов, Н.Я. Парханский, „Электроискровое легирование металлических поверхностей”, Кишинёв „Штиинца”-1985, стр. 4-14.
3. P.V. Pereteatcu „Contribuții privind intensificarea alierii prin scânteie electrice la acțiunea cu surse energetice din exterior”. Autoreferat la teza de doctor în tehnică.



## **Lucrare de laborator**

### **Tema: Prelucrarea dimensională prin eroziune electrică**

**Scopul lucrării:** Studierea principiilor fizice, tehnico-tehnologice de prelucrare dimensională prin eroziune electrică

**Obiectivele lucrării:**

1. Studierea stadiilor descărcării electrice;
2. Studierea condițiilor fizice necesare pentru realizarea prelucrării dimensionale prin eroziune electrică (PDEE);
3. Studierea posibilităților de generare a suprafețelor la PDEE.

## Notiuni teoretice generale

Prelucrarea dimensională prin eroziune electrică se bazează pe efectele erozive complexe, discontinue și localizate a unor descărcări electrice prin impuls, amorsate în mod repetat între obiectul de prelucrat și un electrod ajutător (fig. 1).

Pentru a putea urmări efectul eroziv al descărcărilor electrice prin impuls, în cele ce urmează se vor prezenta stadiile unei descărcări.

Se consideră două corpuri metalice (electrozi) conectate la o sursă de energie electrică și separate de un dielectric (fig. 1). La o tensiune și o putere suficientă a sursei, între electrozi apare o descărcare electrică care trece printr-o serie de stadii succesive: descărcare luminiscentă, scînteie, scînteie-arc și arc.

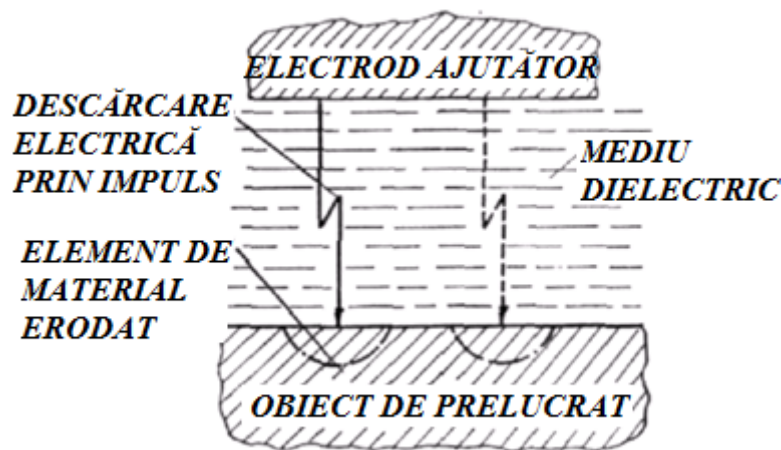


Fig. 1 Schema de principiu a prelucrării dimensionale prin eroziune electrică

Primul stadiu îl constituie apariția descărcării luminiscente la intensități ale câmpului electric superioare rigidității dielectrice a mediului. Descărcarea luminiscentă se caracterizează printr-o cădere mare de tensiune între electrozi (de ordinul  $10^2\text{V}$ ), curent mic și durată foarte redusă ( $10^{-8} \dots 10^{-7}\text{s}$  - fig. 2, A—B). Mecanismul amorsării descărcării constă din distrugerea în salturi a rigidității mediului dielectric dintre diferitele particule conducătoare pe care dielectricul le conține (străpungerea unor microcondensatori), în final întreaga punte devenind conductoare.

Curentul trecând prin punte îi micșorează rezistența, ceea ce conduce la creșterea valorii acestuia. La un moment dat, puntea explodează și rămîne un canal filiform, ionizat, bun conducător de electricitate, care permite trecerea unui curent puternic, în acest stadiu are loc încălzirea, ionizarea puternică și creșterea diametrului canalului descărcării. Acest stadiu tranzitoriu, nestabil al descărcării, este numit descărcare în scînteie și durează cca  $10^{-6}\text{s}$ , fiind caracterizat printr-o cădere de tensiune de ordinul  $10^2\text{V}$  (fig. 2, B-C).

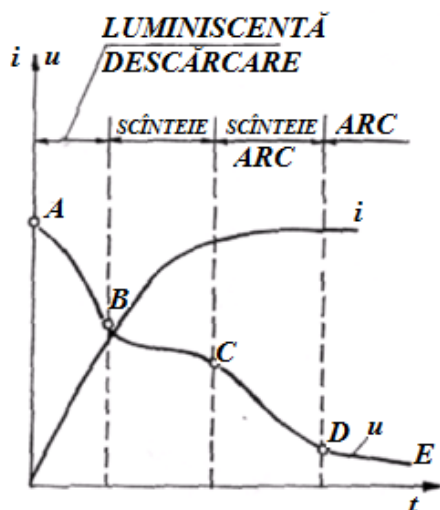


Fig. 2 Diagrama descărcării în arc

În stadiul următor, căderea de tensiune se micșorează la cea 30...35 V (fig. 2, C—D), stadiul de scînteie prelungit numindu-se descărcare în scînteie-arc. Faza de scînteie-arc ocupă o perioadă de timp de cea  $10^{-4}$ s, uneori mai mică, în funcție de intensitatea curentului care trece prin canalul descărcării.

Descărcarea în arc nestaționară începe la o cădere de tensiune de cea 30 V, după un timp de  $10^{-4}$ ...  $10^{-5}$ s de la începutul ei. Acest stadiu este caracterizat printr-o stabilizare a mărimii diametrului canalului descărcării și a intensității curentului (fig. 2, D-E).

Descărcările electrice în impuls utilizate în cazul prelucrării prin eroziune electrică au o durată de  $10^{-1}$ s.

Cîmpul electric aplicat celor doi electrozi determină forțe care deplasează particule în canalul filiform, ionizat putîndu-se considera existența a două componente ale curentului de descărcare, una electronică cu sens de circulație de la catod la anod și una ionică cu sens de circulație de la anod la catod.

Ținînd cont că sarcina electrică a electronului e este egală în valoarea absolută cu sarcina electrică a ionului  $Q_+$

$$|e| = |Q_+| \quad (1)$$

rezultă că forțele care acționează asupra lor vor fi egale

$$|F| = |F_+| \quad (2)$$

Considerînd masa electronului  $m$  și cea a ionului  $M$  și aplicînd relația lui Newton,  $F = m a$ , se obține:

$$\frac{F}{m} = \frac{dv}{dt} \quad \text{și} \quad \frac{F}{M} = \frac{dv_+}{dt} \quad (3)$$

Știind că  $m \ll M$

$$v_- \gg v_+ \quad (4)$$

Din relația (2) rezultă că timpul de parcurgere a interstițiului de către electroni este mult mai mic decât timpul necesar ionului.

Proportională cu timpul este contribuția fiecărei componente din curentul total. Astfel, la timpi scurți, curentul electronic este superior celui ionic, iar în cazul timpilor lungi, preponderența devine componenta ionică.

Considerând stadiile descărcării, se poate presupune că în stadiul tranzitoriu de scînteie efectul termic al descărcării se repartizează mai mult la anod, deoarece acestuia i se cedează energia electronilor frînați. În stadiul de arc nestaționar al descărcării, efectul termic este mai mare la catod datorită preponderenței componente ionice a curentului de descărcare.

Descărcările electrice în arc mai pot fi amorstate și prin ruperea unui contact electric, parcurs de curent, între electrozi.

### **Condiții fizice necesare pentru realizarea prelucrării dimensionale prin eroziune electrică**

Pentru ca prelucrarea să fie posibilă, trebuie să se respecte următoarele condiții fizice:

- introducerea directă a energiei electrice la suprafața obiectului de prelucrat. Pentru satisfacerea acestei condiții, se impune utilizarea unor materiale electroconductoare pentru obiectul de prelucrat și pentru electrod, conectarea acestora la tensiunea sursei de alimentare și realizarea condițiilor necesare amorșării descărcărilor prin străpungere, respectiv prin ruperea unui contact;
- dozarea temporară în impuls a energiei electrice în zona de interacțiune electrod - agent - obiect. Condiția este necesară pentru a se localiza acțiunea energiei de efect și pentru a dirija prin acest mijloc prelevarea de material. La dozări continue a energiei electrice, efectul termic al descărcării se propagă treptat în întregul volum al obiectului de prelucrat și prelevarea nu mai poate fi localizată. Din această cauză, durata descărcărilor se limitează la valori sub  $10^{-1}$ s;
- asigurarea unui caracter polarizat al descărcărilor electrice în impuls. Sub acțiunea efectului termic al descărcării electrice în impuls se va preleva material atât de la obiect, cât și de la electrod. Scopul urmărit este ca prelevarea de la obiect să fie mult mai mare ca cea de la electrod (uzura relativă a electrodului să fie cât mai mică). Fenomenul se poate dirija prin: conectarea obiectului și electrodului la polaritățile corespunzătoare, utilizarea la electrod a unor materiale cu rezistențe erozive mari și formarea pe acesta a unor pelicule protectoare contra eroziunii;

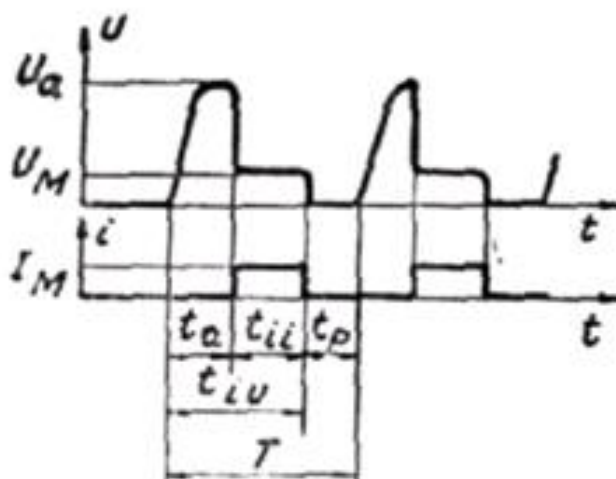


Fig. 3 Schema variației tensiunii și curentului la PDEE

$t_{ii}$ ;  $t_{iu}$  – durata impulsurilor de tensiune și respectiv a curentului;  
 $t_a$  – timpul de amortizare a descărcărilor;  $t_p$  – durata pauzei dintre impulsuri;  
 $T$  – perioada impulsurilor;  $U_M$ ;  $I_M$  – valorile tensiunii și a curentului în timpul descărcării.

➤ restabilirea continuă a stării inițiale în intervalul eroziv. Aceasta pentru ca descărcările să se poată repeta în timp în condiții practic identice. Pentru realizarea condiției, este necesară asigurarea unei evacuări eficiente a produselor eroziunii și restabilirea distanței de amortizare a descărcărilor.

### Prelucrarea cu descărcări amorțate prin străpungerea unui dielectric

În cazul prelucrării prin eroziune electrică, energia este transmisă obiectului de prelucrat în mod discontinuu, sub formă de impulsuri electrice.

Prin impuls electric se înțelege în general evoluția stării unui sistem electromagnetic, în care cel puțin una din mărimile caracteristice (tensiune, curent etc.) se abate brusc de la o valoare constantă, la care poate reveni după un interval de timp comparabil cu durata proceselor tranzitorii din sistemul considerat. În cazul unei succesiuni de impulsuri, pentru ca acesta să-și păstreze individualitatea, este necesar ca durata dintre două impulsuri succesive să depășească sensibil durata practică a proceselor tranzitorii.

Datorită mecanismului amorțării descărcărilor și a caracteristicilor circuitului de alimentare, variațiile tensiunii și curentului nu sînt simultane. Este deci necesară distingerea impulsurilor de tensiune de cele de curent, mărimile caracteristice ale descărcărilor în impuls amorțate prin străpungere fiind prezentate în fig. 3 de mai sus (mărimi similare intervin în cazul descărcărilor amorțate prin ruperea unui contact electric).

Pentru ca descărcările să aibă loc separat, este necesar ca durata pauzei dintre impulsuri să fie mai mare decît timpul necesar pentru deionizarea punții conductoare a descărcării și decît duratele proceselor electrice tranzitorii determinate de caracterul capacitiv sau inductiv al circuitului de alimentare.

O mărime caracteristică importantă a impulsurilor este coeficientul de umplere, definit ca raportul dintre durata și perioada impulsurilor. Se disting:

– coeficientul de umplere al impulsurilor de curent

$$K_i = t_{ii} / T = t_{ii} f \quad (5)$$

– coeficientul de umplere al impulsurilor de tensiune

$$k_u = t_{iu} / T = t_{iu} f \quad (6)$$

în care  $f = 1/T$  este frecvența impulsurilor, în  $s^{-1}$ .

Din punct de vedere fizic, aplicarea energiei în impuls permite concentrarea în timp a unei energii și puteri mari. Astfel, puterea maximă a impulsurilor  $P_M$  este mai mare decât puterea medie a sursei  $P_m$ , conform relației:

$$P_M = (1 / K_i) P_m [kW] \quad (7)$$

În funcție de modul de amorsare și de caracterul descărcărilor electrice în impuls se disting următoarele variante de bază ale procedurii de prelucrare prin eroziune electrică.

1. Prelucrarea prin eroziune electrică cu descărcări amorsate prin străpungerea unui mediu dielectric, în cadrul căruia se deosebesc:

1.1. Prelucrarea cu descărcări prin scînteie cu durata impulsurilor de curent  $t_{ii} = 10^{-4} \dots 10^{-7} s$  și coeficientul de umplere  $K_i < 0,1 \dots 0,2$ .

1.2. Prelucrarea cu descărcări în arc, în care caz durata impulsurilor  $t_{ii} = 10^{-1} \dots 10^{-4} s$  și coeficientul de umplere  $k_i > 0,2$ .

Între variantele de prelucrare prin descărcări în scînteie și în arc nu există o demarcație netă, în primul caz descărcările în impuls ajungînd în stadiul de scînteie sau scînteie-arc, iar în cel de-al doilea ploi în stadiul de arc nestăționar.

2. Prelucrarea prin eroziune electrică prin contact, cu descărcări în arc nestăționar amorsate prin ruperea contactelor electrice parcurse de curent, contacte stabilite temporar între electrod și obiectul de prelucrat. În acest caz sînt obligatorii exercitarea unei presiuni de contact și asigurarea unei mișcări relative între electrod și obiectul de prelucrat.

Schema unei mașini de prelucrat prin eroziune electrică dimensională este prezentată în fig.4.

Obiectul prelucrării și electrodul se conectează la ieșirea unui generator de impulsuri de tensiune. Între suprafețele în interacțiune există un interstițiu (cca 0,01 ... 0,5 mm) ocupat de un mediu dielectric. Pentru amorsarea descărcărilor se impune corelarea mărimii interstițiului și a rigidității dielectrice a mediului cu tensiune de mers în gol a generatorului. Fiecare descărcare se amorsează în locul unde condițiile sînt cele mai favorabile și anume la valoarea minimă a interstițiului real.

Descărcările electrice în impuls sînt însoțite de efecte erozive la obiectul prelucrării și la electrod. Pentru ca eficiența erozivă să fie cît mai ridicată, mediul dielectric trebuie să aibă astfel de proprietăți ca să realizeze atît concentrarea și localizarea descărcărilor, cît și răcirea eficientă a

electrozilor.

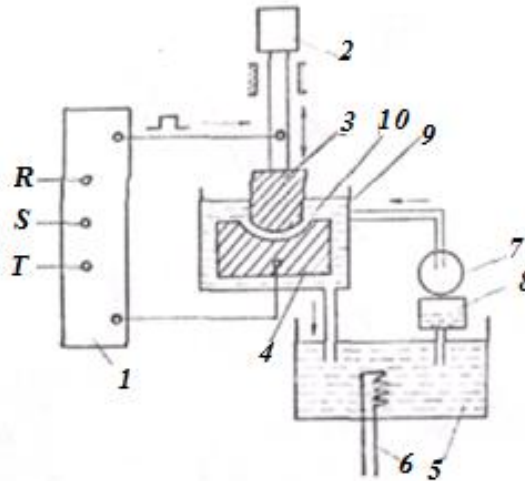


Fig. 4. Schema de principiu a unei mașini de prelucrat prin eroziune electrică:  
 1 – generator de impulsuri; 2 – sistem de reglare automată de impulsuri; 3 – electrod; 4 – obiect de prelucrat; 5 – rezervor; 6 – filtru; 7 – pompă; 8 – sistem de răcire;  
 9 - cuvă pentru mediul de lucru. 10 – lichid.

Producerea unei descărcări este urmată de o creștere locală a interstițiului, ceea ce determină ca următoarele să se amorseze în noi zone. În acest mod ele parcurg în mod succesiv întreaga suprafață de interacțiune, rezultând o creștere treptată a distanței dintre electrozi pînă la mărimi care nu mai permit amorsarea de noi descărcări. Pentru continuarea procesului se impune reducerea interstițiului la valori care să permită amorsarea, operație care se efectuează în mod continuu prin intermediul unui sistem de reglare automată a avansului.

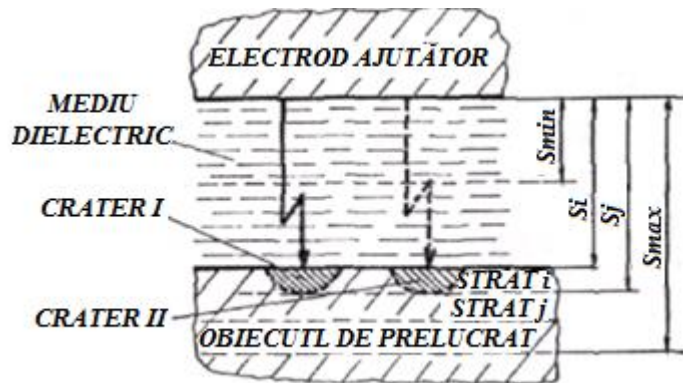


Fig. 5. Schema de principiu a generării suprafețelor prin copierea formei spațiale a electrodului în prelucrarea prin eroziune electrică:

$S_{max}$  – interstițiu maxim la care mai poate avea loc amorsarea descărcărilor;  
 $S_i; S_j...$  - interstiții corespunzătoare straturilor  $i, J$ , etc.

Ca urmare a descărcărilor în impuls repetate, produsele eroziunii se aglomerează în spațiul dintre suprafețele în interacțiune. Aceasta poate să conducă la apariția de zone cu conductivitate permanentă, caz în care nu mai apar descărcări prin străpungere și prelevarea nu mai poate fi localizată. Din acest motiv, particulele de metal prelevat trebuie îndepărtate din interstițiu. În acest proces un rol determinant îl au proprietățile hidrodinamice ale mediului dielectric. Se utilizează

frecvent lichide dielectrice (petrol, ulei, motorină), iar în cazuri speciale, apă distilată sau gaze sub presiune. Restabilirea continuă a proprietăților mediului se realizează cu ajutorul unei instalații de recirculare, filtrare și răcire.

### Mecanismul fizic al prelucrării prin eroziune

În condițiile prelucrării prin eroziune electrică, descărcările în impuls sînt caracterizate prin transformarea foarte concentrată a energiei electrice în special în energie termică și mecanică, densitatea volumică a energiei atîngînd valori pînă la 30 000 J/mm<sup>3</sup>, iar cea de putere de 300 kW/mm<sup>3</sup>. La suprafața anodului energia de dislocare este determinată de vitezele electronilor cu relația

$$F_{e-} = 1/2 \sum_1^n m v_-^2 \quad (8)$$

iar la suprafața catodului de energiile ionilor pozitivi

$$F_{Q+} = 1/2 \sum_1^n M v_+^2 \quad (9)$$

în care:  $v_-$ ,  $m$  sînt viteza și masa unui electron;  $v_+$ ,  $M$  — viteza și masa unui ion pozitiv.

Această transformare a energiei electrice are loc în special în. zonele de interacțiune a coloanei descărcării cu electrozii (zonele limitrofe suprafeței de contact a descărcării cu electrozii). De exemplu, la un interstițiu de 0,1 mm, 00% din energie se repartizează în zonele de interacțiune (adîncimea acestor zone este de ordinul 10-s mm) și numai 10% pe lungimea coloanei descărcării.

Principalele procese fizico - chimice care au loc sub acțiunea descărcării electrice în impuls sînt redate în fig. 6.

La suprafața obiectului de prelucrat are loc o încălzire bruscă a unor porțiuni limitate de metal, ca urmare a transformării energiei cinetice a sarcinilor electrice în mișcare și mai puțin în urma efectului Joule-Lenz prin metal. În funcție de caracteristicile impulsurilor și de constantele termofizice ale sistemului, aceste mici porțiuni pot să ajungă la temperatura de topire sau chiar de vaporizare și sînt expulzate în interstițiu, pe suprafața obiectului formîndu-se o serie de cratere. Zonele învecinate care nu au fost prelevate sînt afectate de șocul termic, producîndu-se modificări structurale și fisuri.

Procesul fizic de prelevare a materialului de la suprafața obiectului prelucrării însumează trei fenomene distincte care se completează reciproc:

— fenomenul termic este determinat de cedarea bruscă a energiei cinetice a sarcinilor electrice în mișcare. Funcție de valoarea acestor energii, îndepărtarea de material poate avea loc sub formă de: topire lentă sau violentă (rapidă), vaporizare liniștită sau rapidă, sau prin topire și vaporizare.

Starea de agregare fizică, lichid sau vapori, prin care se realizează prelevarea, este determinată de parametrii impulsurilor, în special de energia și durata acestora. Cum la transformarea unui volum specific de material în vapori se consumă o energie mai mare decît la transformarea aceluiași volum în



lichid, prelevarea sub formă de lichid este mai eficientă. Înseamnă că la o energie constantă a impulsului, cantitatea de material prelevat prin topire este mai mare.

La prelucrarea cu descărcări în scînteie și scînteie-arc, durata foarte mică de transmitere a energiei determină o vaporizare puternică cu un caracter de explozie, proces de prelevare denumit prin vaporizare rapidă.

În cazul descărcărilor în arc nestaționar, la durate mici ale impulsurilor procesul de îndepărtare este prin vaporizare liniștită, nedepășindu-se sensibil temperatura de evaporare.

La creșterea duratei impulsurilor prelevarea prin vapori este înlocuită treptat prin procesul mai eficient, de îndepărtare în stare lichidă sub formă de picături, fapt ce determină o creștere sensibilă a cantității de metal prelevat la aceeași cantitate de energie.

Sub acțiunea forțelor care însoțesc descărcarea în impuls, materialul în stare de vapori sau de picături de lichid este expulzat în interstițiu, unde se solidifică sub forma unor mici particule. Mărimea particulelor este dependentă de energia descărcării în impuls (fig. 7).

— fenomenul mecanic este determinat de existența în masa metalică a obiectului de prelucrat a unor bule de gaze, care datorită dilatației termice expulzează particulele. Ca urmare a expulzării de material de la suprafața electrozilor, în interstițiu se aglomerează particule de diferite dimensiuni. Volumul particulelor expulzate din crater se distribuie în jurul acestuia după o lege logaritmică, distanța de expulzare fiind cuprinsă de obicei între 1 ... 10 mm;

— fenomenul electrodinamic este determinat de rezistența sarcinilor electrice în mișcare din canalul descărcării electrice. Fiind vorba de curenți electrici variabili în timp, între cei doi electrozi apare un câmp electromagnetic și deci forțe electrodinamice care vor acționa asupra sarcinilor electrice în mișcare. Cum aceste sarcini pot apărea și la suprafața electrozilor, înseamnă că prelevarea se poate produce și ca urmare a forțelor ce apar în câmpul electro-magnetic.

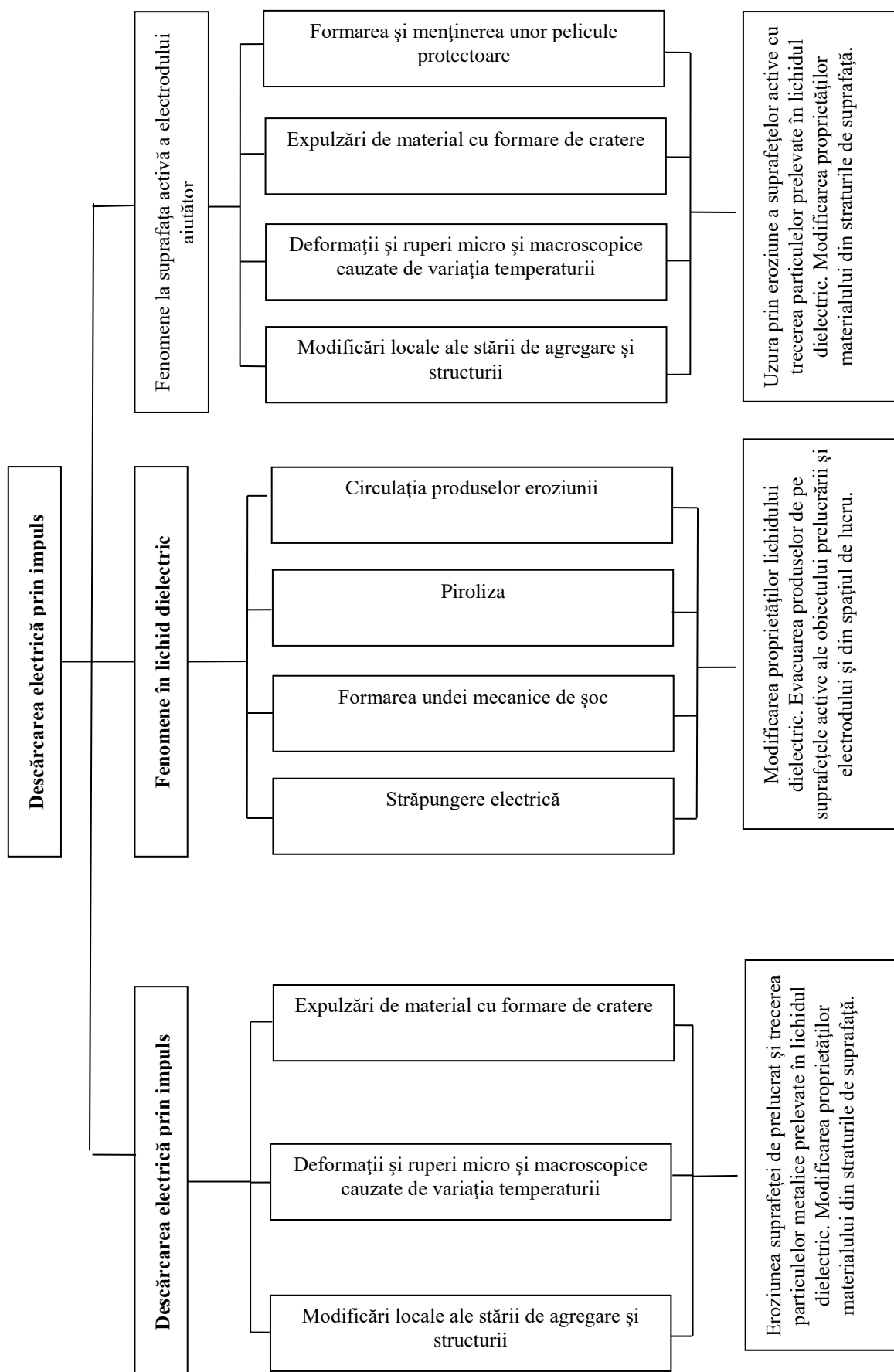


Fig. 6 Principalele procese fizico – chimice care au loc sub acțiunea descărcărilor electrice în impuls

Procesele termice avînd un rol determinant în prelevarea de metal, rezultă că prelucrabilitatea diferitelor-materiale poate fi caracterizată prin proprietățile lor termofizice. În acest scop se poate utiliza criteriul de proporționalitate a timpului de topire a unui volum de metal, la celelalte condiții de prelucrare constante (criteriul lui Palatnik)

$$\pi = c \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \theta^2 \quad (10)$$

în care:  $c$  este căldura specifică;  $\rho$  — densitatea;  $\lambda$  — coeficientul de conductivitate termică;  $\theta$  — temperatura absolută de topire.

Prelucrabilitatea prin eroziune electrică a unui material este invers proporțional cu criteriul lui Palatnik ( $\pi$ ).

O parte din energia termică a descărcării se repartizează pe lungimea canalului ionizat, pe suprafața cilindrică a acestuia avînd loc procesul de piroliză a lichidului dielectric. Astfel, pe lîngă produsele eroziunii electrozilor, în interstițiu apar și produse solide, gazoase sau în stare dizolvată a pirolizei (hidrocarburi nesaturate și saturate, azot, bioxid și oxid de C, parafine, gudroane, negru de fum șa.).

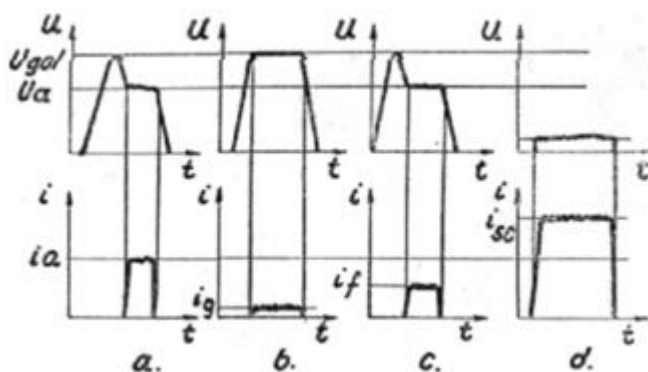


Fig. 7. Variația tensiunii și a curentului în funcție de timp, în cazul descărcării electrice posibile care pot apărea în interstițiu la prelucrarea prin eroziune electrică; a – descărcare normală; b – descărcare în gol; c – descărcare fictivă, d – descărcare în scurtcircuit

Datorită gradientilor mari de temperatură și a timpului scurt al desfășurării procesului de piroliză, proces însoțit de formarea unei cantități mari de gaze sub presiune, se creează o situație apropiată de explozie. În acest mod, acțiunea termică a descărcării electrice asupra lichidului dielectric determină apariția unui salt brusc de presiune, care se propagă cu viteză mare în interstițiu. Se formează astfel unda de șoc mecanică, a cărei centru este canalul ionizat al descărcării și care antrenează în mișcare produsele solide și gazoase ale eroziunii.

Unda de șoc poate fi provocată și de descărcările accidentale. Acestea au efecte negative asupra prelucrării, consumînd energie fără a produce prelevare sau degradînd suprafața electrozilor.

Descărcarea normală are loc la valori ale interstițiului (fig. 7.a)

$$s = U / E_s, \quad (11)$$

în care:  $s$  este valoarea interstițiului;  $U$  — tensiunea aplicată celor doi electrozi;  $E_s$  — rigiditatea dielectrică a mediului din interstițiu. Energia descărcării va provoca prelevarea la suprafața obiectului prelucrării și unda de șoc care îndepărtează produsele eroziunii din interstițiu.

Descărcarea în gol arc loc la valori ale interstițiului:

$$s > U / E_s \quad (11)$$

Acestea nu provoacă prelevare, consumînd însă energie datorită faptului că valoarea curentului nu este nulă, existînd o anumită circulație de particule. Undele de șoc provocate sînt neglijabile.

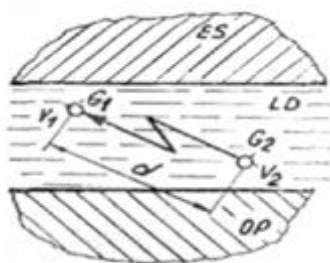
Descărcarea fictivă are loc între particulele gazoase sau solide încărcate electric (fig. 8. a).

Considerînd două particule  $G_1$  și  $G_2$ , încărcate la potențialele  $V_1$  și  $V_2$  și care se află la distanța  $d$ , descărcarea electrică va apărea cînd este satisfăcută inegalitatea:

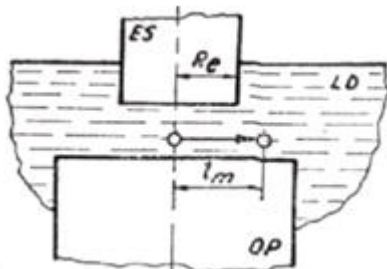
$$v_1 - v_2 / d = E_{12} \geq E_s \quad (12)$$

Acestea consumă energie electrică, datorită existenței unui curent care însă are valori mai mici decît curentul electric normal. Unda de șoc influențează mișcarea particulelor în interstițiu.

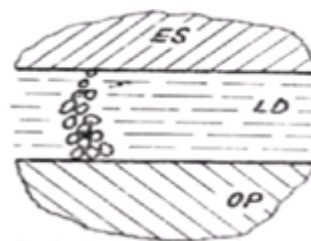
Descărcarea în scurtcircuit are loc fie în cazul în care mărimea interstițiului este nulă, fie în cazul în care în interstițiu apar aglomerări de particule prelevate, dar neîndepărtate (fig. 8.c). Descărcarea se transformă în arc staționar, valoarea curentului depășind mult valoarea necesară prelucrării. Teoretic se poate considera  $U \approx 0$ . Datorită acestor descărcări pe suprafața electrozilor apar arsuri, transformări structurale și fisuri de nedorit. Unda de șoc este neglijabilă, datorită absenței situației explozive.



a) Descărcare fictivă între două particule gazoase sau solide din interstițiu



b) Descărcarea medie liberă a unei particule din interstițiu



c) Apariția scurtcircuitului între electrod și obiectul prelucrării datorită aglomerării de particule prelevate și neîndepărtate de interstițiu

Fig. 8. Tipuri de descărcări în interstițiu

Repartiția statistică a locului de amorsare (deci și a locului de apariție undei de șoc), precum și interferența acțiunilor diferitelor unde de șoc determină un caracter dezordonat mișcării produselor eroziunii în interstițiu. Aceste mișcări au totuși o direcție predominantă și anume, direcția în care rezistența hidraulică este minimă — deci spre ieșirea din interstițiu.

Deplasarea unei particule este caracterizată prin mărimea deplasării libere a ei,  $l_m$ , înțelegînd

prin aceasta distanța medie la care se poate deplasa sub acțiunea undei de șoc, fără a se ciocni cu o altă particulă (fig. 8. b).

Se pot considera două situații limită:

$$l_m > R_e \quad (13)$$

și

$$l_m \leq R_e \quad (14)$$

Dacă este îndeplinită relația (1.16), evacuarea produselor eroziunii decurge în bune condiții, interstițiul neaglomerându-se cu impurități. În cazul în care este îndeplinită relația (1.17), particulele nu pot părăsi interstițiul creînd aglomerări care conduc la descărcări fictive sau chiar la descărcări în scurtcircuit.

Evacuarea este ușurată și de forțele ascensionale.

Pentru ca produsul de prelevare să fie stabil, este necesar ca volumul de produse ale eroziunii, transportat sub acțiunea undelor de șoc în afara interstițiului într-un anumit timp, să fie egal cu volumul de produse ale eroziunii care rezultă în timpul respectiv. În caz contrar, procesul decurge instabil, avînd loc periodic, aglomerări de produse și scurtcircuitări ale electrozilor. Produsele lichide sau dizolvate ale pirolizei se deplasează împreună cu lichidul de lucru, formînd un lot cu acesta și schimbîndu-i treptat proprietățile.

Fenomene erozive similare cu cele de la obiectul prelucrării au loc și la electrod. Eroziunea minimă a electrodului se realizează prin conectarea la polaritatea optimă (în funcție de stadiile respective ale descărcării) și prin utilizarea unor materiale cu valori ridicate ale criteriului Palatnik. Uzual se folosesc materiale cu o bună conductivitate termică sau cu o temperatură de topire ridicată. Tabelul 1 prezintă cîteva materiale, cu principalele proprietăți termofizice, uzual folosite ca electrozi pentru prelucrarea prin eroziune electrică.

*Tabelul 1*

**Materiale pentru electrozi la prelucrarea prin eroziune electrică**

Material	Căldura specifică C	Masa specifică $\rho$	Conductivitatea $\lambda$	Temperatura de topire $\theta_t$	Temperatura de fierbere $\theta_f$
Aluminiu	0,22	2,7	0,48	933	2543
Argint	0,0566	10,53	1,05	1233	2450
Beriliu	0,45	1,848	0,38	1550	3043
Crom	0,11	7,19	0,16	1823	2473
Cobalt	0,104	8,85	1,00	1763	2673
Cupru	0,092	8,93	0,19	1357	2855
Fier	0,108	7,86	0,25	1798	3160
Grafit	0,40	1,80	0,22	3600	4827
Nichel	0,106	8,85	0,78	1725	3110

Aur	0,0308	19,25	0,45	1336	2980
Plumb	0,03	11,34	0,05	600	2023
Wolfram	0,032	19,28		3650	5800
Zirconiu	0,067	6,57		2125	3853

Uzura electrozilor poate fi redusă prin conducerea procesului în așa mod ca pe suprafețele active ale electrozilor să se formeze o peliculă de grafit cristalizat. Această peliculă, cu rol de protecție, apare pe electrozi (constatăată experimental la Cu și grafit) când sînt îndeplinite următoarele condiții:

- în zona respectivă să existe în cantitate suficientă produse ale pirolizei din care se formează pelicula;
- temperatura porțiunii electrodului să nu fie inferioară temperaturii de formare a peliculei (~973K);
- este necesar un timp suficient ca pe porțiunea respectivă de suprafață să se poată depune o peliculă de grosime minimă.

Condițiile specificate sînt îndeplinite de impulsurile cu durate mari și frecvențe scăzute. În cazul frecvențelor ridicate, se poate asigura formarea peliculei de protecție dacă descărcările se dispun grupate spațial, condițiile fiind îndeplinite nu de descărcarea singulară, ci de întregul grup.

Reducerea uzurii se poate realiza și prin utilizarea unor impulsuri cu o formă diferită de cea dreptunghiulară, de exemplu, trapezoidală, prin care se poate micșora solicitarea termică a electrozilor.

Repartizarea energiei între electrozi nu este egală. La materiale identice ale electrozilor s-a constatat experimental că prelevarea are loc cu preponderența la electrodul conectat la un anumit pol, deci un efect de polaritate.

Corespunzător acestui efect, în cazul prelucrării cu descărcări în scînteie sau scînteie-arc, conectarea optimă este obiectul de prelucrat la anod și electrodul la catod, polaritatea denumită directă, iar la prelucrarea cu descărcări în arc nestaționar se utilizează conectarea în polaritate inversă (obiectul la catod și electrodul la anod).

### Posibilități de generare a suprafețelor

Se pot utiliza toate metodele de generare a suprafețelor. Generarea prin copiere prezintă un deosebit interes, fiind cea mai utilizată. În acest caz electrodul arc forma conjugată a suprafeței de prelucrat și execută o simplă mișcare liniară de avans.

Aplicarea metodei este posibilă datorită proprietății de selectivitate a procesului de amorsare a descărcărilor, care constă în localizarea lor în porțiunile cu interstițiu real minim. Proprietatea de selectivitate se poate exprima printr-o dependență funcțională a prelevării la un impuls  $\mu$ , față de mărimea interstițiului  $s$

$$\mu = f(s) \tag{15}$$

Tipuri de suprafețe care pot fi generate la prelucrarea prin eroziune electrică

MISCĂRI RECTILINII/ ALTERNATIVE	NU	1	2	3	4	5	6
MISCĂRI CIRCULARE	NU	1f	2f	3f	4f	5f	6f
2	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	
3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	
$\bar{x}$ - rotația în jurul axei x; $\bar{y}$ - rotația în jurul axei y; $\bar{z}$ - rotația în jurul axei z							

Descărcările electrice în impuls pot fi amorsate numai între anumite mărimi ale interstițiului, cuprinse între o valoare maximă  $S_{max}$  pînă la care se produce amorsarea descărcărilor și interstițiul  $S_{min}$  de scurtcircuitare. Scurtcircuitul poate avea loc la contactul direct al electrodului cu obiectul (interstițiul) sau prin intermediul particulelor conductoare produse ale eroziunii, care se află în interstițiu. Rezultă că dependența are un caracter discontinuu

$$\begin{aligned} \mu &= 0, \text{ pentru } s > S_{max} \text{ sau } s < S_{min} \\ \mu &= f(s) \neq 0, \text{ pentru } S_{max} > s > S_{min} \end{aligned} \quad (16)$$

Se observă că prelevarea de material are loc numai în intervalul ( $S_{max}$ ,  $S_{min}$ ). La un impuls se va preleva cantitatea de material corespunzătoare craterului 1. Deoarece în locul unde s-a produs prelevarea (craterul 1) interstițiul a crescut de la  $s_1$  la  $s_j$ , următorul impuls va avea loc la  $s_1 < s_j$  ș.a.m.d., pînă nu se îndepărtează tot stratul 1, fig. 5. Un proces analog va avea loc în stratul  $v_g$  și în straturile următoare, pînă cînd în obiectul prelucrării se obține forma conjugată a electrodului.

În prezent, la cca 80% din volumul de prelucrări dimensionale executate prin eroziune electrică se utilizează generarea suprafețelor prin copiere. Se conturează însă tendința lărgirii posibilităților tehnologice ale prelucrării prin aplicarea altor metode de generare a suprafețelor, cum ar fi integrarea urmei, rularea etc. Principalele tipuri de suprafețe care pot fi generate la o prelucrare dimensională prin eroziune electrică sînt reprezentate în tabelul 2.

## Mersul lucrării

Lucrarea se efectuează prin respectarea următoarelor etape:

1. Se studiază principiile de bază a prelucrării dimensionale prin electroeroziune (PDEE).
2. Se calculează energia impulsurilor descărcărilor electrice pentru diferite regimuri de prelucrare după relația:

$$W = \frac{CU^2}{2} \text{ (J)}$$

În care C – este capacitatea bateriei de condensatoare ( $\mu\text{F}$ )

U – tensiunea de lucru de pe electrozi (V)

**Remarcă:** Datele pentru valorile „C” și „U” sunt indicate din tabela de mai jos pentru diferite regimuri ale PDEE.

Tabelul 3

Denumirea regimului	Tensiunea de lucru V	Capacitatea bateriei de condensatoare $\mu\text{F}$
Dur (grosier)	100.....220	500.....50
Mijlociu	100.....220	50.....3
De finisare	80.....220	3.....1
De superfinisare	50.....220	< 1

3. Se studiază materialele utilizate pentru confecționarea electrod – sculelor conform tabelii 1 din lucrare (vezi p. 37).
4. Se studiază posibilitățile de generare a suprafețelor prin metoda PDEE.
5. Se calculează curentul de scurtcircuitare  $I_{sc}$  prin relația empirică

$$I_{sc} = K_1 C \text{ (A)}$$

în care C – capacitatea bateriei de condensatoare  $\mu\text{F}$

$K_1$  – constantă, de obicei egală cu 0,08 pentru C – egală de la 3 până la 500  $\mu\text{F}$ .

## Evaluarea lucrării

Pentru evaluarea lucrării este necesar de a prezenta un raport explicativ cu scurtă descriere a esenței procesului de prelucrare dimensională prin electroeroziune cu succintă descriere a fenomenelor fizice care se produc în cadrul acestui proces, avantajele tehnologiei PDEE.

Studentul trebuie să cunoască răspuns la următoarele întrebări:

1. Explicați esența și realizarea procesului de prelucrare dimensională prin eroziune electrică.
2. Care sînt condițiile fizice necesare pentru realizarea prelucrării dimensională prin eroziune



electrică?

3. Care sînt domeniile de aplicare a prelucrării dimensionale prin eroziune electrică?
4. Prezintă calculele pentru regimurilor de lucru la PDEE și pentru curentul de scurtcircuitare  $I_{sc}$ .

### **Bibliografie**

1. Aurel Nanu, Dan Nanu, *Prelucrarea dimensională prin eroziune electrică în câmp magnetic*, Editura FACLA, Timișoara, 1981, pag. 15-32
2. Б. А. Артамонов и др., *Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов*, том I, М. Высшая школа, стр. 4-30.

## **Lucrare de laborator**

### **Tema: Prelucrarea în plasmă electrolică de tensiune joasă**

**Scopul lucrării:** Studierea noțiunilor teoretico-practice de bază a prelucrării oțelurilor carbon în plasmă electrolică de tensiune joasă.

**Obiectivele lucrării:**

1. Studenții fac cunoștință cu noțiunile teoretice de bază a variantei catodice de prelucrare chimico-termică a metalelor în plasmă electrolică de tensiune joasă;
2. Studiază caracteristica volt-amperică a procesului încălzirii în plasmă electrolică;
3. Fac cunoștință cu tipurile de operații care pot fi efectuate la prelucrarea în plasmă electrolică:
  - a. Călirea pieselor prin metoda încălzirii capetelor libere;
  - b. Călire și recoacerea capetelor pieselor prin ecranarea lor
  - c. Măsurarea microdureții pînă și după tratament termic în plasmă și cercetarea microstructurii.

### Noțiuni teoretico-practice

Prelucrarea metalelor și în special a oțelurilor în plasmă electrolică permite efectiv rezolvarea unor probleme complicate de ordin tehnologic.

Dintre avantajele metodei pot fi enumerate următoarele: obținerea unor viteze mari de încălzire până la temperaturi destul de înalte, practic până la temperatura de topire, posibilitatea unei automatizări complete a procesului în producție de masă, diversificarea operațiilor de prelucrare termică și termochimică, de asemenea lipirea cât și efectuarea unor depuneri prin topire etc., posibilitatea localizării și obținerea unei zone de încălzire strict limitate; ușurința reglării parametrilor termici prin schimbarea parametrilor electrici; un consum specific de energie; neagresivitatea mediului de lucru.

Prelucrarea în plasmă electrolică de tensiune joasă poate fi efectuată în două variante, catodică și anodică.

Varianta catodică se utilizează pentru tratamentele termice (calire, recoacere) cât și prelucrarea prin presare.

Varianta anodică, a prelucrării în plasmă electrolică de tensiune joasă, permite de a efectua tratamente chimico-termice cu călire ulterioară, îmbinate într-un proces unic.

Materialele supuse prelucrării prin această tehnologie sunt în temei oțelurile cu o concentrație de carbon 0,3 – 0,45 %.

Schema și fazele procesului de prelucrare în plasă electrolică sunt arătate în fig. 1 și fig. 2.

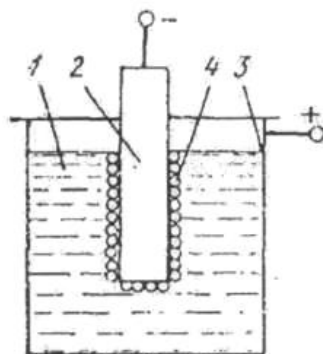


Fig. 1 Schema prelucrării în electrolit varianta catodică: 1 – electrolitul; 2 – catodul; 3 – anodul; 4 – bule de hidrogen.

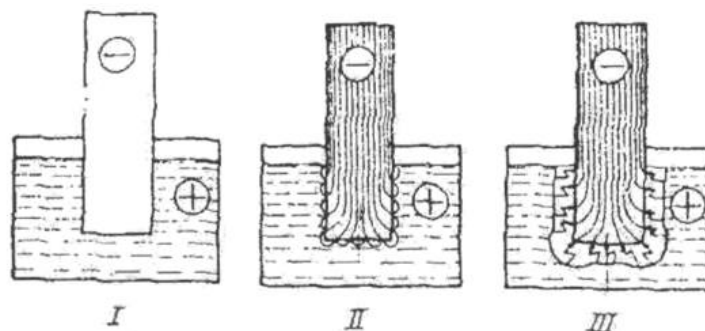


Fig. 2 Fazele procesului încălzirii în plasmă electrolică: I – inițială; II faza întâi; III – faza a doua.

Metoda își are neajunsurile sale așa ca necesitatea confecționării unui utilaj special cât și anumite dispozitive pentru el: utilaj complicat pentru asigurarea unei exploatări securizate din cauza tensiunilor înalte; dificultăți de control direct a temperaturii pieselor supuse prelucrării; unele dificultăți de prelucrare a pieselor profilate de mare lungime; un randament nu mai mare de (40-45%).

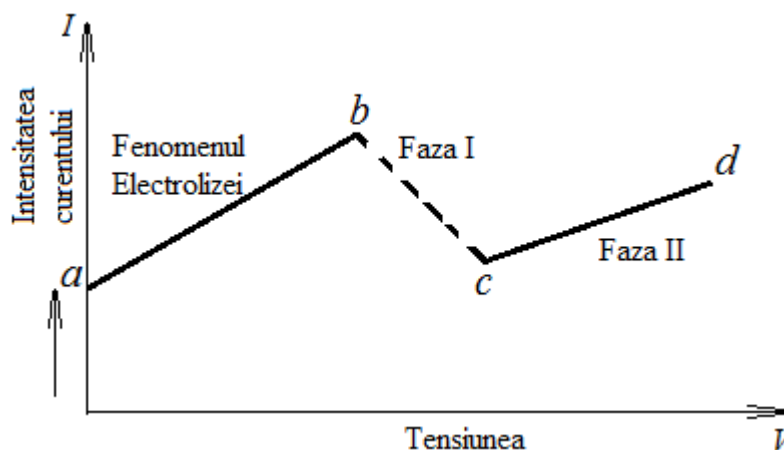


Fig.3 Caracteristica volt-amperică a procesului încălzirii în plasmă electrolică

Caracteristica volt-amperică tipică a fazelor procesului de prelucrare în plasmă electrolică este arătată în fig.3. La creșterea continuă a tensiunii pe electrozii băii la început decurge procesul normal de electroliză (a-b) în această regiune dependența dintre curent și tensiune poartă un caracter liniar și se descrie prin legea lui Ohm. O creștere în continuare a tensiunii conduce la începutul primei faze (b-c) formarea intensivă a gazelor pe suprafața catodului – se manifestă prin oscilații ale lichidului din regiunea catodului, apariția descărcărilor prin scânteie, și cu pocnituri caracteristice. Creșterea în continuare a tensiunii conduce la mărirea numărului de descărcări unitare și în final pe suprafața catodului are loc formarea a unui înveliș luminos, intensitatea curentului din nou crește. Începe faza a doua a procesului (c-d) prin care are loc încălzirea suprafeței catodului. Nu se recomandă ca la electrozi să fie aplicată tensiunea totală (de exemplu 220 V), în așa cazuri procesul va decurge anormal în corespundere cu faza întâi.

Exemple de operații la prelucrarea în plasmă electrolică.

### 1. Călirea pieselor prin metoda încălzirii capătului liber.

Prin această metodă se călesc capetele supapelor, capurile buloanelor, șuruburilor, împingătoarelor, capetele ambriajelor reglatoarelor etc. Precizia înaltă a lungimii capătului supus încălzirii se menține prin asigurarea adâncimii constante de scufundare a piesei care este catodul (fig. 4.a) în electrolit. Baia metalică se conectează la polul pozitiv a circuitului de curent continuu.

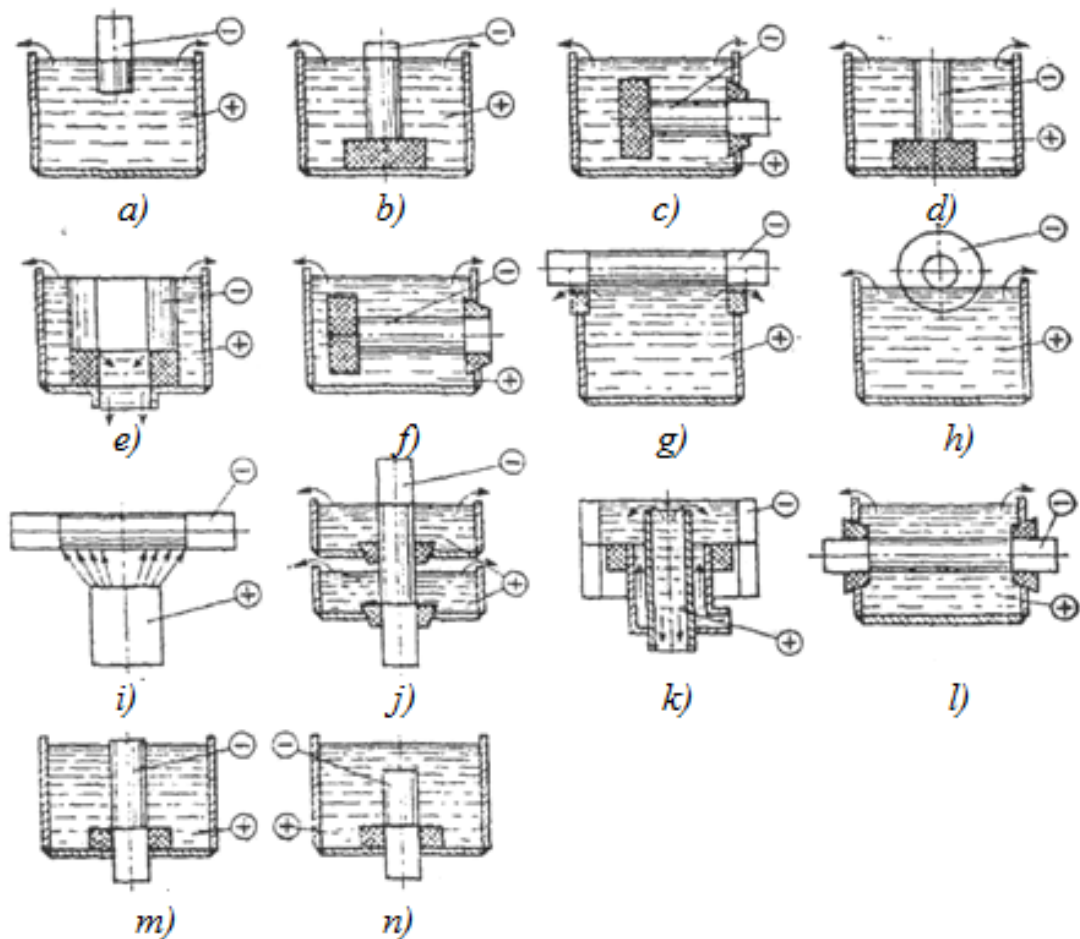


Fig. 4 Schemele dispozitivelor pentru diferite procedee de prelucrare în plasmă electrolitică.

- a) în strat de electrolit a capătului liber;
- b) în strat de electrolit cu ecranarea capătului;
- c) substrat de electrolit cu ecranarea capătului;
- d) în strat de electrolit;
- e) în strat de electrolit;
- f) substrat de electrolit;
- g) cu acufundare și rotire;
- h) în get cu rotire;
- i) în strat de electrolit la suprafața exterioară;
- j) în strat de electrolit la suprafața interioară;
- k) în strat de electrolit; superficială
- l) în strat de electrolit; interioară
- m) strat de electrolit.
- n) substrat de electrolit.

Adâncimea cufundării piesei se stabilește cu ajutorul dispozitivului de fixare. Posibilitățile utilizării procedeeului se determină secțiunea, forma și lungimea capătului piesei supus încălzirii. La

mărirea secțiunii și lungimii capătului supus prelucrării densitatea curentului se distribuie neuniform. Astfel de condiție duce la topirea capătului și în primul rând ale părților care sunt ascuțite. Practic acest procedeu este utilizat numai pentru prelucrarea capetelor cilindrice și sferice a pieselor cu diametru de până la 15 mm și lungimea de 5-10 mm.

## 2. Călirea și recoacerea capetelor prin ecranarea lor

Lărgirea regiunii utilizării încălzirii la capăt contribuie ecranarea lui și a părților extremale. Pentru micșorarea densității curentului pe capete în temeii pe cele ascuțite (muchii), piesele se fixează pe un material refractor electroizolant. Utilizând paravane (ecrane) se poate de încălzit uniform piese cu diametru de 30-35 mm la acufundarea în electrolit până la 40 mm. Ecranele utilizate la diferite tipuri de încălzire în electrolit sunt arătate în fig.5

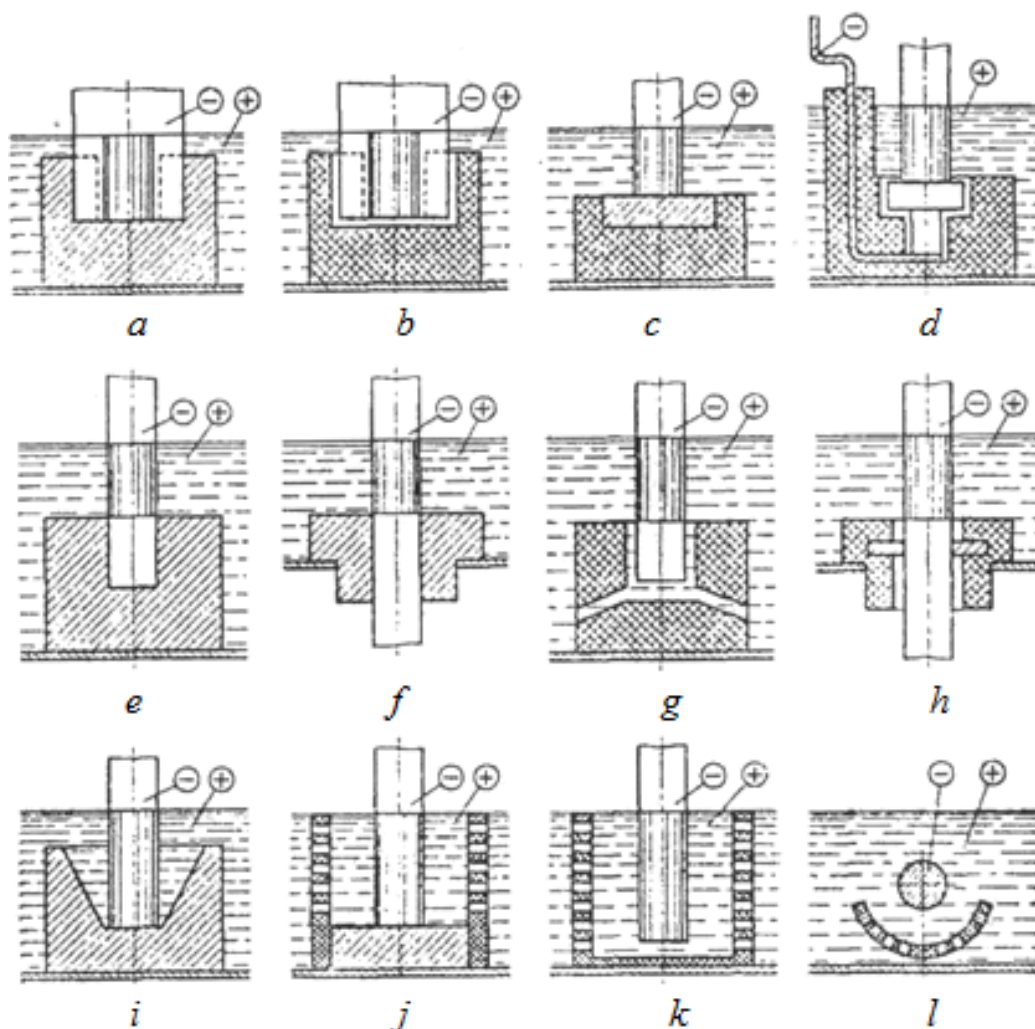


Fig.5 Schema de ecranare la prelucrarea prin plasmă electrolică

a – ecranare locală, ecranul din material refractar;

b – idem, ecranul din masă plastica;

c – ecran din masă plastică cu garnitură din ceramică;

- d – ecran din masă plastică cu garnitură din metal;
- e – ecranare totală, ecran din material refractar;
- f – ecran din masă plastică;
- g, h – ecran din masă plastică cu garnitură metalică;
- i – ecranare parțială, ecran din material refractar;
- j – ecran din masă plastică cu garnitură din ceramică;
- k, l – ecran din masă plastică.

### **Prelucrarea materialelor prin presare**

Principiile prelucrării metalelor în electrolit înainte de forjare, ștanțare, îndoire, refulare este același, ca și în alte cazuri. Deosebirea constă numai în aceea că înainte de prelucrarea prin presare metalul este încălzit în tot volumul dar nu numai la suprafață, ca la călire. O astfel de prelucrare se efectuează prin alegerea corespunzătoare a regiunilor de încălzire și se produce la instalații utilizate pentru călire. Unei astfel de prelucrări pot fi supuse semifabricate cu diametrul de 100 mm.

La respectarea condițiilor constante în privința compoziției, concentrației și temperaturii electrolitului, regimurile de încălzire se reglează numai schimbând tensiunea sursei de curent și timpul de încălzire.

Avantajele metodei de încălzire în electrolit se manifestă în procesul efectuării unor operații concrete în anumit mod. La lipire se exclude necesitatea utilizării fluxurilor, reducerea utilizării materialului de lipit, creșterea considerabilă a productivității, posibilitatea automatizării simple a liniilor în torent. La încălzirea locală sau generală, a volumului sau la suprafață pentru tratamente termice sau prelucrarea mecanică la încălzire – această tehnologie permite de a regla ușor viteza de încălzire, lipsa oxidării superficiale, păstrarea rugozității inițiale și preciziei pieselor supus prelucrării, utilizarea pentru orice materiale electroconductive, simplitatea automatizării și o deservire simplă. În cazul recoacerei până la incandescență albă a sârmelor, țevelor subțiri, a arborilor flexibili etc. – se obține o calitate înaltă a producției și simplificarea operațiilor. În procesul coacerii și presării calde a pieselor confecționate prin metoda metalurgiei pulberilor – se produce o corelare a îmbinării grăunțoarelor între ele, cu presarea într-o operație, - simplificarea tehnologiei, creșterea calității pieselor, articolelor. Condițiile de bază a obținerii unei încălziri uniforme și economice constau în crearea pe catod a unei densități de curent necesare și menținerea unui raport corelant dintre suprafața catodului și a anodului.

Suprafața anodului trebuie să întrecă suprafața catodului nu mai puțin de 10 ori. Uniformitatea încălzirii suprafeței piesei de formă complexă se efectuează prin schimbarea distanței dintre diferite sectoare ale anodului și catodului pentru obținerea pe toată suprafața catodului aproximativ aceeași

densitate de curent. Viteza și temperatura direct depinde de mărimea și durata trecerii curentului, însă în fiecare caz concret valorile absolute a acestor indici sunt diferiți în dependență de tipul articolelor supuse încălzirii.

### **Mersul lucrării**

1. Se pregătește un eșantion din oțel St 45 de formă dreptunghiulară cu dimensiunile  $100 \times 10 \times 2$  mm, care preventiv, se curăță de rugină cu hârtie abrazivă, apoi la un capăt care va fi supus tratamentului termic – călire, se șlefuește după tehnologia pregătirii microșlifului.
2. Se studiază la microscopul metalografic structura vizual, care se desenează în caietul de lucru. Se măsoară microduratea la acelaș capăt.
3. Se fixează eșantionul cu ajutorul unui dispozitiv cu reglare a nivelului de cufundare a probei în baia de lucru.

Este necesar de menționat că varianta catodică de prelucrare a eșantionului, este conectat la polul negativ al sursei de alimentare cu curent.

4. Se efectuează tratamentul termic călirea la instalația prevăzută pentru realizarea călirii în plasmă electrolică de tensiune joasă.
5. După tratamentul eșantionului se eliberează din dispozitivul de fixare după care se studiază microstructura locului supus călirii și se măsoară microduratea.
6. Rezultatele obținute se compară cu acelaș de pînă la tratamentul termic și se înregistrează în caietul de lucru.

### **Evaluarea lucrării**

După îndeplinirea lucrării conform obiectivelor studentul prezintă un raport care v-a conține următoarele:

1. Tema și scopul lucrării
2. Scheme ale dispozitivelor pentru diferite procedee de prelucrare în plasmă electrolică.

Studentii trebuie să cunoască răspuns la următoarele întrebări, și rezultatele obținute cu explicarea lor.

1. Cum se efectuează călirea pieselor prin procedeul încălzirii capătului liber;
2. Cum se efectuează călirea și recoacerea prin ecranarea capătului;
3. Prelucrarea prin presare;
4. Avantaje ale prelucrării în plasmă electrolică.



### **Bibliografie**

- 1) Л.Я. Попилов “Электрофизические и электрохимическая обработка атериалов” Москва “Машиностроение”-1982 стр. 330-398
- 2) Анагорский Л.А. “Сварка металов с нагревом в электролите” Ленинград “Машиностроение”1972 стр. 119-121
- 3) Анагорский Л.А. “Нагрев металов в электролите” Ленинград “Машиностроение”1966 стр. 124-142
- 4) Л.Я. Попилов “Нагрев в электролите”, Москва- Ленинград “Машиностроение”1971 стр. 175-193
- 5) Прохоров В.В. Абиндер А.Л. “Нагрев в электролите при резание металов”, Машиностроение”1970 Нр. 1 стр. 9-11

## Lucrare de laborator

### Tema: Prelucrarea în plasmă electrolică de tensiune joasă (varianta anodică)

**Scopul lucrării:** Studiarea noțiunilor teoretice de bază a prelucrării în plasmă electrolică de tensiune joasă (varianta anodică)

#### Obiectivele lucrării:

1. Obținerea deprinderilor aplicării tehnologiei durificării termochimice a oțelurilor în plasmă electrolică de tensiune joasă;
2. De efectuat încercări experimentale la instalația „Nitrodur”
3. De studiat compoziția fazică și proprietățile oțelurilor după tratamentul termochimic în plasmă electrolică de tensiune joasă;

## Noțiuni teoretice:

La etapa actuală, o utilizare mai mare a obținut prelucrarea în plasmă electrolitică cu încălzire anodică.

Mecanismul încălzirii anodice, are drept bază următoarele: aria băii electrolitice este de zeci de ori mai mare decât aria suprafeței piesei supuse prelucrării – a anodului, de aceea partea de bază a energiei sursei se va degaja în regiunea limitrofă a anodului. Aceasta conduce la fierberea locală a electrolitului și la formarea unei pelicule continue din vapori și gaz care înconjoară piesa supusă prelucrării.

Emisia intensivă a ionilor din soluția dizolvată din electrolitul în fierbere și transferul lor prin cămașa din vapori și gaz, sub acțiunea câmpului electric, asigură trecerea unui curent de aproximativ 1 A/cm<sup>2</sup>, și degajarea energiei de 10<sup>6</sup> W/cm<sup>2</sup> care conduce la încălzirea piesei pînă la temperatura de 500 – 1000 °C.

Încălzirea anodică în hidroelectroliți se caracterizează printr-un șir de particularități:

1. Posibilitatea schimbării operative a temperaturii funcție de mărimea tensiunii aplicate. Dependența temperaturii de tensiunea aplicată în diapazonul necesar este apropiată de cea liniară și este determinată de dimensiunile piesei și de asemenea de viteza și conductibilitatea electrică a soluției.

2. Există legătură reciprocă dintre condițiile hidrodinamice și distribuția temperaturii pe suprafața piesei supuse prelucrării care se manifestă prin următoarele: în cazul unui electrolit staționar, sau cînd curgerea nu este îndeajuns intensivă pentru stabilizarea câmpului de viteze în lichid, este caracteristică o reproducere mică a rezultatelor, iar temperatura maximală se atinge pe porțiunile inferioare a piesei cufundate. Cauza acestui fenomen se datorează unei lărgiri a învelișului din vapori și gaz în direcția ascendentă (de jos în sus) caracteristic pentru fierberea peliculară și condiționată de evacuare a vaporilor în atmosferă.

Creșterea locală a grosimii învelișului, conduce la micșorarea densității curentului și temperaturii încălzirii a sectorului dat. Această variantă de prelucrare, este admisibilă numai pentru tratarea piesei, la capete (a unor tipuri de piese).

Pentru stabilizarea condițiilor de încălzire și creștere a credibilității rezultatelor, este necesar de a menține un câmp constant al vitezelor electrolitului, ceea ce se atinge prin controlul fuzelajului piesei prelucrate, ca exemplu longitudinal.

Dirijarea cu distribuția temperaturii pe suprafața supusă prelucrării, se efectuează prin fuzelajul radial.

## **Compoziția fazică și proprietățile oțelurilor după nitrurare cu călire**

Compoziția învelișului din vapori și gaze, care este un mediu de saturare la tratamentul chimico-termic se determină în temei de volatilitatea componentelor soluțiilor care se formează în rezultatul fierberii lui.

Sunt cunoscute diferite compoziții ale soluțiilor utilizate pentru saturarea oțelurilor: cu sulf, cu azot (nitrogen), cu carbon, cu bor, cu siliciu, cu molibden etc., la procese de prelucrare catodică și anodică. Cele mai bune rezultate sau obținut la saturarea cu azot sau cu carbon în soluții ce conțin compuși de amoniu, glicerină, acetonă. Se recomandă anumite compoziții pentru azotarea oțelurilor pentru scule și a celor cu un conținut mediu de carbon.

Soluția I – 10% clorură de amoniu, 5% hidroxid de amoniu, restul apă.

Soluția II – 11% clorură de amoniu, 11% nitrat de amoniu, restul apă.

Specific azotarea oțelurilor cu un conținut mediu de carbon în plasmă electrolică constă în faptul că saturarea cu azot coboară considerabil temperatura  $A_{c1}$  și  $A_{c3}$  de aceea după prelucrare la temperatura de 650-750<sup>0</sup> C are loc austenizarea completă a stratului superficial, iar în zone mai adânci – parțial. La răcirea rapidă în electrolit (adică călire, care decurge la decuplarea tensiunii) are loc transformarea martensitică. În afară de aceasta stratul superficial al oțelului prelucrat în soluție de apă totdeauna conține o peliculă de oxid ce se datorează prezenței abundente a vaporilor de apă în atmosfera de saturație. După prelucrare stratul superficial a piesei durificate, confecționate din oțel cu un conținut mediu de carbon conține următoarea consecutivitate a fazelor: oxizi de fier, nitridi de fier, martensită, martensita+ferită, martensită+ferită+perlită.

Distribuția microdurității în stratul durificat corespunde compoziției lui de fază.

O micșorare a microdurității pe suprafața oțelului prelucrat în soluția I se explică prin prezența zonei cu nitrid și austenită reziduală. La creșterea temperaturii de saturație până la 750 C se observă o creștere a durității superficiale în urma măririi concentrației azotului în zona compușilor și componentei martensitice. Răcirea oțelului în electrolit de la temperatura de saturație permite păstrarea durității superficiale și conduce la o grosime maximală a stratului călit. Micșorarea temperaturii de călire permite păstrarea durității și îmbunătățirea plasticității piesei datorită micșorării grosimii zonei durificate.

O durată de prelucrare a stratului mai mare de 2 min practic nu influențează mărimea durității suprafeței măcar că mărește grosimea stratului difuzat.

Testarea mostrelor durificate la uzură au demonstrat că pentru toate straturile este caracteristică o micșorare a coeficientului de frecare cu mărirea sarcinii (frecarea uscată la capete a mostrelor cu diametrul de 10 mm – iar contracorp carbura de titan cu HB=2900 MPa) (Tabelul 1).

**Regimurile de durificare și valorile microdurității superficiale.**

Nr	Soluția	Temperatura de saturație °C	Timpul de menținere (min)	Microduritatea (GPa)
0				2,6
1	I	650	5	6,5
2	I	700	5	7,25
3	I	750	5	8,75
4	II	650	5	7,75
5	II	700	5	8,25
6	II	750	5	9,0
7	I	700	2	7,25
8	I	750	2	8,25
9	II	700	2	7,75
10	II	750	2	8,75

Rezultatul obținut vorbește despre aceea că adâncimea pătrunderii reciproce a materialelor contactate este mai mică decât cea, de la care se începe deformația plastică a suprafeței. Micșorarea coeficientului de frecare arată că în tot diapazonul de sarcini frecarea are lor în regimul contactului elastic. La frecarea probelor din oțel neprelucrat pătrunderea corpurilor la frecare este așa ca procesul decurge în regim de deformație plastică, ce contribuie la mărirea suprafeței de contact real, la dezvoltarea proceselor de adeziune și ca rezultat cu creșterea sarcinii se mărește coeficientul de frecare.

**Mersul lucrării:**

**Înainte de a trece la efectuarea operației de prelucrare este necesar de controlat unirea cu pământul a instalației Nitrodur.**

1. Se pregătește un eșantion din Oțel (St3) de formă dreptunghiulară dim 150x12x2 mm sau cilindrică cu diametrul de 6 ... 8 mm și l – 120 – 150 mm, care se prelucrează preventiv cu hârtie abrazivă.
2. La unul din capetele probei se efectuează prelucrarea de mai departe cu hârtie abrazivă pentru ca în final să obținem o suprafață cu latura de 1 cm bine poleită (se respectă tehnologia pregătirii microșlifului vezi lucrările corespunzătoare din cadrul TMC compartimentul studiul metalelor).
3. Apoi la acest capăt se efectuează decaparea cu reagent (special) în scopul evidențierii microstructurii.
4. Microstructura este studiată vizual la microscopul metalografic, fiind desenată în caietul de lucru cu creionul într-un pătrat cu latura de 30 mm sau în cerc cu diametru 30 mm.
5. Se măsoară microduritatea la același capăt pregătit calculându-se după relația:

$$H_{\mu}=1,854P/d^2 \quad (1)$$

În care P – este greutatea aplicată;

d – diagonala amprenteii.

Operația se repetă de 3 ori după ce se corelează media aritmetică a lui  $H_{\mu}$

6. se studiază principiul de funcționare a instalației NITRODUR conform pașaportului tehnic
7. se toarnă electrolitul în baia de lucru a instalației „Nitrodur”.
8. se fixează eșantionul în dispozitivul de fixare a instalației în camera de lucru.

**Procedeul de prelucrare se efectuează în regim manual sau automat (la indicația profesorului)**

9. după finalizarea prelucrării instalația se decuplează de la rețea prin apăsarea butonului STOP.
10. proba prelucrată se scoate din dispozitivul de fixare, se spală la robinet în apă curgătoare, apoi se șterge pentru a se usca.
11. din nou capătul prelucrat este supus operațiilor conform p.2-5.
12. la sfârșitul lucrării electrolitul din camera de lucru se toarnă în vasul de stocare (de unde a fost turnat), iar camera de lucru este spălată cu apă curată.

**Electrolitul nu este agresiv, astfel că orice contact direct nu provoacă acțiuni negative corporale sau arsuri pe haine.**



Instalația de prelucrare în plasmă electrolitică NITRODUR

## **Evaluarea lucrării**

### **I Conținutul raportului explicativ**

Studentul în caietul de lucru prezintă un raport explicativ care va cuprinde răspunsul la următoarele întrebări:

1. Esența prelucrării în plasmă electrolică.
2. Descrierea pe scurt a tehnologiei prelucrării în plasmă electrolică (pregătirea soluțiilor).
3. Rezultatele măsurării microdureții până și după prelucrare.
4. Microstructura oțelului până și după prelucrare.

Pentru evaluarea lucrării, studentul trebuie să cunoască răspuns la următoarele întrebări:

1. Ce reprezintă un tratament chimico-termic tradițional de saturare cu carbon sau azot.
2. Esența prelucrării în plasmă electrolică. Avantajele și dezavantajele.
3. Concluzii asupra rezultatelor obținute:
  - a) Deosebiri de microstructură.
  - b) Diferența cantitativă a rezultatelor măsurării microdureții  $H_{\mu}$ , până la prelucrarea și după prelucrarea în plasmă electrolică.
4. La sfârșitul lucrării se indică bibliografia.

#### **Bibliografia:**

1. Л.Я. Попилов. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов. М. Машиностроение 1982 стр. 390-399ю
2. Химико-термическое упрочнение стальных изделий при анодном электролитном нагреве. Кишинёв 1989.

## **Lucrare de laborator**

**Tema: Scheme tehnologice de prelucrare dimensională prin eroziune electrică**

**Scopul lucrării:** Studiul și analiza schemelor tehnologice de prelucrare dimensională prin electro-eroziune.

**Obiectivele lucrării:**

**Se studiază:**

1. Electroeroziunea ca tehnologie de generare a suprafețelor;
2. Scheme tehnologice de prelucrare prin electroeroziune aplicate în prezent;
3. Domeniile de aplicare ale prelucrării prin eroziune electrică cu electrod profilat și filiform;
4. Domeniile de aplicare ale prelucrării prin eroziune electrică în contact;



### Notiuni teoretice

Electroeroziunea – fenomenul distrugerii suprafeței electrozilor prin intermediul descărcărilor electrice dintre ei. Pe acest fenomen se bazează metodele electrice de prelucrare a metalelor, primind denumirea de proces de electroeroziune.

Prelucrarea prin electroeroziune este o metodă care a schimbat radical caracterul proceselor tehnologice destul de mari. Ele se folosesc atât la îndeplinirea prelucrării cu precizie înaltă, precum și la îndeplinirea unor prelucrări inițiale.

Pentru toate metodele de prelucrare prin electroeroziune este comun prezența medului dielectric între electrozi și alimentarea cu energie în formă de impulsuri electrice, care decurg în zona prelucrării, în care apare descărcarea electrică și se distruge suprafața unuia sau a ambilor electrozi.

În prezent se folosesc câteva scheme tehnologice de prelucrare prin electroeroziune:

1. Perforare
2. Rectificare prin electroeroziune
3. Tăierea cu ajutorul electrodului profilat sau filiform

Principial, prelucrarea cu electrod filiform are loc conform schemei din figura 1 între obiectul de prelucrat OP și electrodul filiform EF se asigură o mișcare relativă după coordonatele x și y în așa fel încât să se realizeze conturul de prelucrat. Electrocul filiform va executa o mișcare rectilinie verticală cu o anumită viteză v. Lichidul dielectric se introduce în interstițiu prin ajutaje AJ.

Utilajul cu electrod filiform prezintă subansamblele normale ale unei mașini de prelucrat prin eroziune electrică, dar are și subansamble specifice: subansamblul de tensionare și deplasare a electrodului filiform, sistemul de reglare automată a avansului după două coordonate și sistemul de urmărire a conturului.

Ca material pentru electrod se utilizează uzual sîrmă de cupru neizolată de diametre 0,02 ... 0,3 mm.

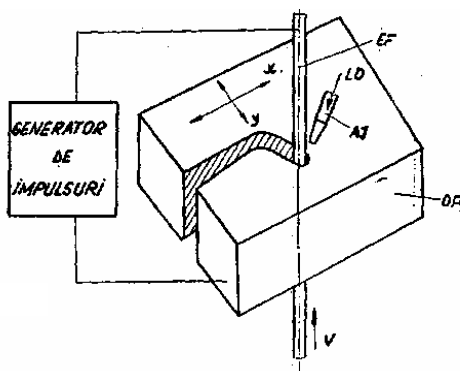


Fig.1. Schema prelucrării prin electroeroziune cu electrod filiform

Avantajele acestui procedeu de prelucrare constau în posibilitățile de decupare ale unor

contururi foarte complexe în materiale de grosimi relativi mari (pînă la 100 mm).

Tehnologia de lucru este identică cu cea de prelucrare prin eroziune electrică normală, dar trebuie să se considere și viteza de derulare a electrodului filiform, cît și forța de tensionare a sa. La trecerea prin piesă, firul suferă o uzură dependentă de parametri de lucru. Această uzură va determina o diferență între aria de intrare în piesă a electrodului și aria de ieșire, diferență ce poate deforma obiectul prelucrării. Pentru evitarea deformațiilor posibile în obiectul prelucrării, electrodul filiform se va deplasa cu o viteză  $v$ , determinată astfel încît să îndepărteze eficient zonele uzate ale sale. Forța de tensionare a electrodului filiform este compusă din componenta inițială, necesară înlăturării flexibilității firului și pentru imprimarea unei liniarități și componenta de proces depinzînd de energia impulsului. Această componentă trebuie să anuleze oscilațiile firului, provocate de undele de șoc ale prelucrării. La forțe de tensionare necorespunzătoare, pot apărea ruperi (forțe prea mari) sau săgeți care produc instabilități în prelucrarea sau chiar scurt-circuite (forțe prea mici).

În fig.2, se prezintă mașina de prelucrat prin EE cu electrod filiform.

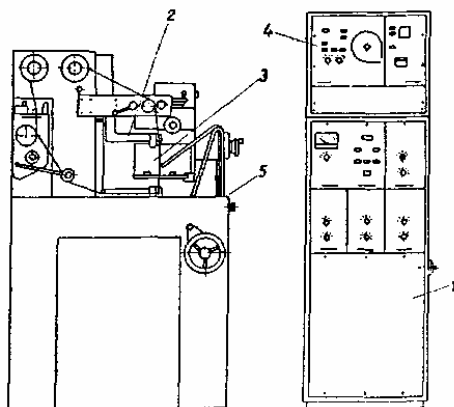


Fig. 2. Mașină de prelucrat prin eroziune electrică cu electrod filiform:

1 – generator de impulsuri; 2 – sistem de tensionare și deplasare a firului; 3 – sistem de poziționare relativă în coordonate a obiectului prelucrării față de electrodul filiform;

4 – bloc de comandă; 5 – sistem de circulație a lichidului dielectric.

### Utilizarea prelucrării prin eroziune electrică

Prelucrarea prin eroziune electrică cu impulsuri generate pe cale electrică se poate aplica la toate materialele electroconductoare.

Considerente economice restrîng însă acest domeniu la cazurile materialelor neprelucrabile prin alte procedee, a suprafețelor cu geometrii complexe precum și la toate categoriile de prelucrări microdimensionale.

În funcție de seria de fabricație — unicate și serie mică, serie mare, producție de masă — se utilizează mașini universale de perforat-copiat, specializate (cu electrod filiform, cu electrod bandă, de rectificat cu electrod disc etc.) și mașini speciale (construite pentru prelucrarea unui anumit produs, de

exemplu, pentru prelucrarea paletelor turbinelor hidraulice de tip Pelton).

Principalele domenii de aplicare și operațiile caracteristice sînt prezentate în tabelul 1.

Pentru determinarea eficienței economice se efectuează un calcul comparativ cu alte procedee de prelucrare, aceasta dacă este posibil, deoarece sînt numeroase cazuri cînd piesele respective nu se pot realiza prin alte procedee.

### Prelucrarea prin eroziune electrică în contact

Prelucrarea prin eroziune electrică în contact se bazează pe amorsarea descărcărilor în arc nestaționar prin ruperea contactelor electrice parcurse de curent, stabilite temporar între electrod și obiectul de prelucrat.

În cazul a două suprafețe electroconductoare în contact, parcurse de curent, are loc o degajare de căldură pe baza efectului Joule-Lenz:

$$Q = I^2 R t \text{ [J]}. \quad (1)$$

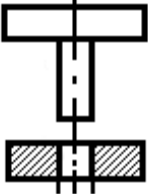
Degajarea de căldură are loc cu preponderență în zona de contact datorită rezistențelor locale mari, contactul electric realizîndu-se prin intermediul microneregularităților celor două suprafețe.

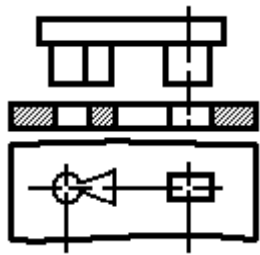
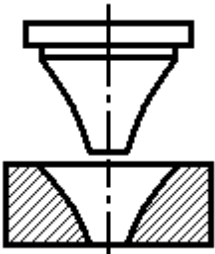
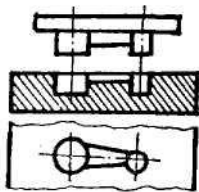
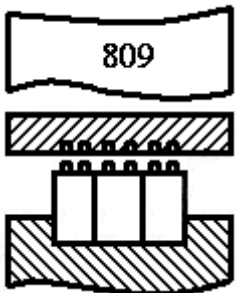
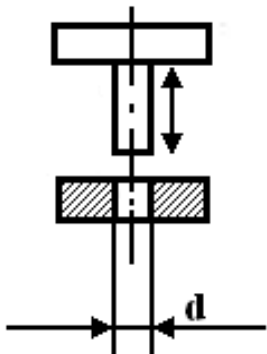
La o încălzire suficientă a microsuprafețelor în contact și la o mișcare relativă între electrod și obiectul de prelucrat apar descărcări în arc de rupere. Necesitatea unei mișcări relative între electrod și obiectul de prelucrat, impusă de însăși mecanismul formării descărcărilor, determină ca în acest caz să nu se poată aplica generarea suprafețelor prin copiere.

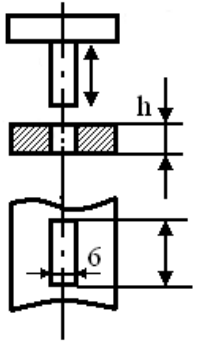
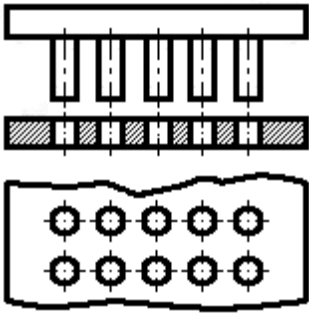
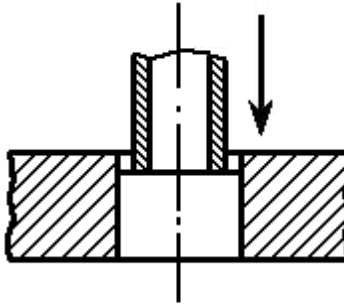
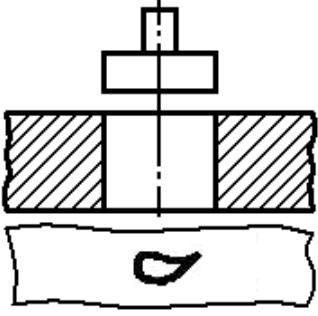
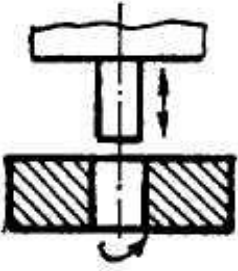
Prelevarea de material se produce atît datorită efectelor erozive ale descărcării în arc nestaționar, cît și acțiunilor mecanice și termice care apar la suprafețele în contact. Materialul este prelevat în stare plastifiată, topită sau de vapori. Ponderea acestor diferite mecanisme de prelevare este funcție de parametrii regimului electric (curent, tensiune, polaritate) și cei mecanici ai procesului (presiune specifică, viteză relativă dintre electrod și obiect). Procesul de prelevare prin eroziune electrică este preponderent la tensiuni peste 22 ... 25 V.

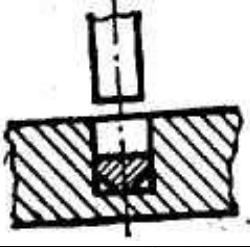
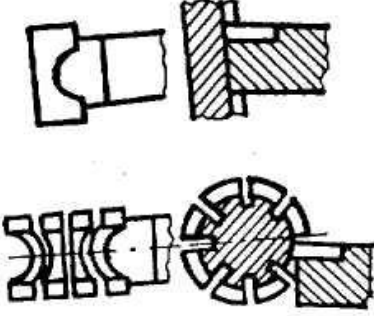
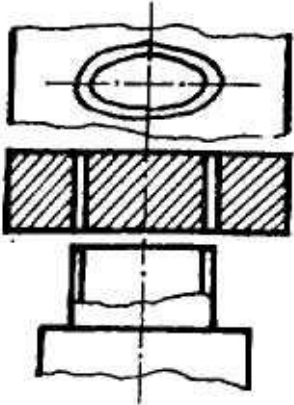
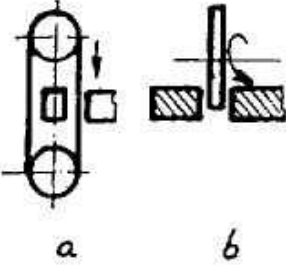
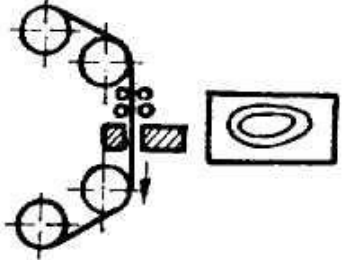
*Tabelul 1*

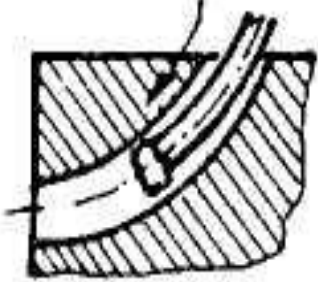
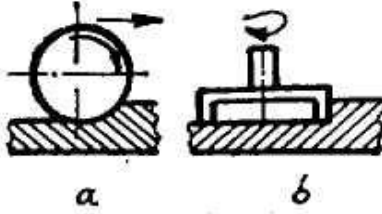
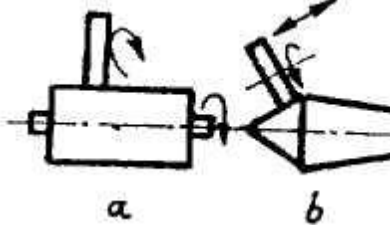
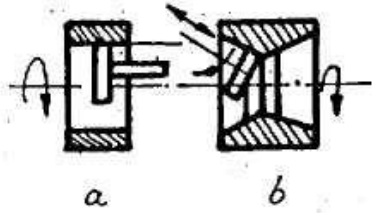
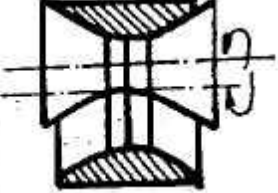
#### Operații caracteristice și principalele domenii de aplicare ale prelucrării prin eroziune electrică

Nr. crt	Schema de principiu	Denumirea și scopul operației
1	2	3
1		Perforarea orificiilor rotunde sau cu profil oarecare cu electrozi plini. Se aplică în construcția de mașini și aparate, producția de sule, lucrări de reparații, prelucrarea unor

		elemente ale formelor de presare.
2		Perforarea simultană a câtorva orificii de profil complex cu mai mulți electrozi plini. Se aplică la prelucrarea plăcilor tăietoare ale ștanțelor, iese ale aparatelor, șabloane (măști) pentru metalizare.
3		Prelucrarea orificiilor complexe profilate. Se aplică la prelucrarea filierelor din aliaj dur, suprafețe ale formelor de injectat mase plastice.
4		Prelucrarea cavităților complexe. Operația se aplică la prelucrarea matrițelor pentru forjare, a cochiliilor, a sculelor pentru ambutisare și a celor pentru extrudare
5		Prelucrarea suprafețelor puțin adânci. Operația se aplică pentru gravarea inscripțiilor, marcări
6		Perforarea orificiilor cu diametre mici. Se prelucrează orificii ale injectoarelor pentru motoare diesel, orificii pentru evacuarea aerului la matrițe. La diametre sub 0,1 mm este necesară vibrarea electrodului. Prelucrarea se poate realiza pînă la diametre de cea 0,02 mm

7		<p>Perforarea fantelor. Operația se aplică la prelucrarea filierelor de barbotare, a tuburilor pentru drenaj, a pieselor aparaturii de injecție. Este necesară vibrarea electrozului la <math>b &lt; 0,5 \text{ mm}</math>.</p>
8		<p>Perforarea simultană a mai multor orificii cu mai mulți electrozi. Operația se aplică la prelucrarea sitelor, ecranelor, pieselor electronice</p>
9		<p>Prelucrarea orificiilor adânci. Operația necesită circulația dielectricului prin electrod tubular. La adâncimi mai mari de 300 mm este necesară rotirea piesei sau a electrozului</p>
10		<p>Realizarea orificiilor cu conicitate mică. Se aplică la prelucrarea unor piese greu de realizat prin alte procedee. Este necesară asigurarea circulației dielectricului cu un colector special</p>
11		<p>Găurirea cu vibrație și rotație. Se aplică la prelucrarea filierelor și a bușelor mici cu <math>d = 1 \dots 4,5 \text{ mm}</math> și adâncimea maximă <math>h_{\text{max}} = 20d</math></p>

12		<p>Îndepărtarea materialului la adâncimi impuse. Se utilizează pentru îndepărtarea sculelor rupte</p>
13		<p>Profilare exterioară. Se aplică la prelucrarea cuțitelor din aliaj dur: a — electrod bară profilat; b — electrod disc profilat</p>
14		<p>Trepanare. Se aplică la prelucrarea panourilor și a orificiilor mari profilate</p>
15		<p>Tăierea: a — cu electrod bandă; b — cu electrod disc. Se aplică la debitarea semifabricatelor din materiale dure, tăierea inelelor, a bușelor, canalelor deschise și la tăierea materialelor magnetice</p>
16		<p>Tăierea cu electrod filiform. Se prelucrează simultan orificiul plăcii tăietoare și poansonul la stațe, se decupează piese electronice de precizie. Lățimea minimă a tăierii 0,02 mm</p>
17		<p>Filetare interioară și exterioară. Se aplică la prelucrarea pieselor din aliaje dure și magnetice</p>

18		<p>Prelucrarea orificiilor curbilinii. Se aplică la prelucrarea orificiilor de ungere sau de evacuare a gazelor, practicate în locuri greu accesibile</p>
19		<p>Rectificare plană: a — cu partea frontală a discului; b — cu periferia discului. Se aplică la rectificarea pieselor din aliaje dure și din materiale magnetice, la prelucrarea pieselor cu pereți subțiri, la ascuțirea cuțitelor</p>
20		<p>Rectificarea exterioară: a — cilindrică; b — conică. Se prelucrează suprafețele rotorilor mașinilor electrice, vârfuli de aliaj dur pentru mașini unelte</p>
21		<p>Rectificare interioară: a — cilindrică; b — conică. Se prelucrează matrițe mici, bușe elastice mici, bușe pentru pompe de injecție, orificiile active ale filierelor din aliaj dur</p>
22		<p>Rectificarea cilindrică interioară a orificiilor fasonate. Se aplică la rectificarea simultană a tuturor porțiunilor filierelor</p>

Particularitatea de bază o constituie productivitatea ridicată a procesului la o calitate scăzută a stării suprafețelor prelucrate. Astfel se pot atinge productivități de circa  $10^5 \text{mm}^3/\text{min}$ , la rugozități peste  $R_a=50\mu\text{m}$  și la adâncimi ale stratului modificat termic de ordinul milimetrilor. La regimuri de finisare se pot obține productivități de cea  $50 \text{mm}^3/\text{min}$ , rugozități de ordinul  $R_a=6,3 \dots 12,5 \mu\text{m}$

Datorită mișcării relative, existente între electrodul sculă și obiectul de prelucrat, răcirea electrodului poate fi dirijată și ca urmare se poate utiliza în proces atât curentul continuu cât și cel alternativ.

În cazul prelucrării cu curent alternativ la tensiuni scăzute (până la 20 V) prelucrarea se efectuează în aer. Uzura electrodului este neînsemnată, dar se obțin calități ale suprafețelor scăzute și adâncimi mari ale stratului cu defecte. Ca surse de alimentare se utilizează transformatoare de 50 Hz cu puteri până la 50 kW.

La prelucrarea cu curent continuu în mediu lichid se obține o micșorare a adâncimii stratului superficial cu defecte și o creștere a uzurii electrodului sculă (până la 100 ... 150%). Se utilizează în acest caz surse de curent continuu cu  $U=20 \dots 40 \text{ V}$  și  $I_{\max} = 1000 \text{ A}$ .

Utilajul și sculele care se utilizează au o construcție simplă. Majoritatea operațiilor (ascuțire, rectificare, frezare) se efectuează cu ajutorul unor discuri metalice rotitoare cu viteze periferice ridicate (10 ... 50 m/s) și care îndeplinesc simultan funcțiile de electrod pentru localizarea eroziunii și de îndepărtare a materialului erodat din zona prelucrării.

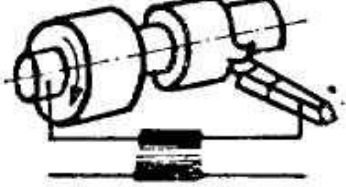
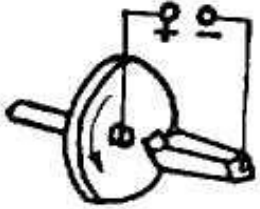
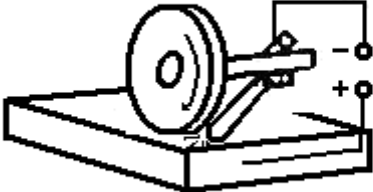

La alte operații se utilizează tuburi rotitoare sau vibratoare (mortezare, dăltuire), sau perii metalice rotitoare (curățire).

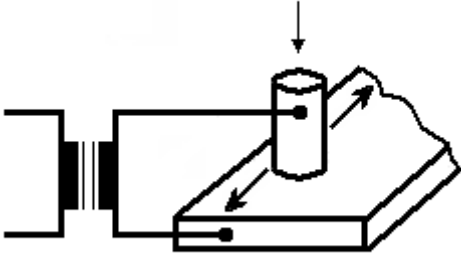
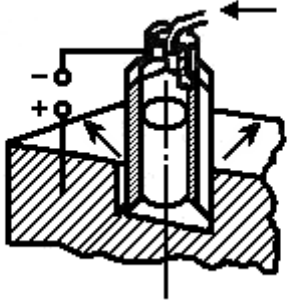
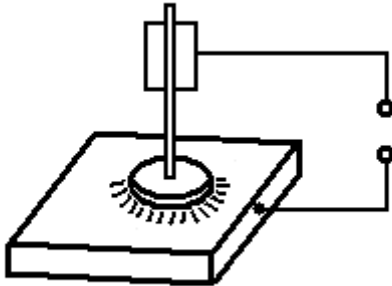
Comparativ cu alte procedee, consumul specific de energie este scăzut (1,4 ... 1,8 kWh/kg), micșorându-se odată cu creșterea adâncimii stratului prelevat.

Principalele aplicații ale prelucrării prin eroziune electrică prin contact și operațiile tipice sînt redate în tabelul 2.



Operații caracteristice și principalele domenii de aplicare ale prelucrării prin eroziune electrică prin contact

1	2	3
1		<p>Strunjire. Se aplică la prelucrarea oțelurilor inoxidabile, a celor refractare și în general a celor greu prelucrate prin așchiere, permițând creșterea productivității muncii față de strunjirea mecanică</p>
2		<p>Ascuțirea sculelor așchietoare. Aplicarea operației permite realizarea de economii de materiale abrazive</p>
3		<p>Rectificarea suprafețelor plane. Se prelucrează materiale la care aplicarea așchierii prezintă greutate</p>
4		<p>Rectificarea suprafețelor profilate. Se aplică la piese greu prelucrabile prin așchiere, de exemplu palete de turbină</p>

5		Netezire
6		Găurire
7		Curățire de oxizi

În cazul utilizării electrodului sculă neprofilat fig.3, tăierea se îndeplinește cu ajutorul unui fir metalic de secțiune circulară, cu diametrul 0,2 – 0,3 mm, care se încadrează în diferite direcții cu viteza  $v_s$  în orice direcție a semifabricatului 2. pentru înlăturarea influenței uzurii electrodului – scula la precizia crestăturii decupate firul metalic se deplasează de-a lungul axei cu viteza  $v$ . Tăierea are loc în baia cu lichid dielectric.

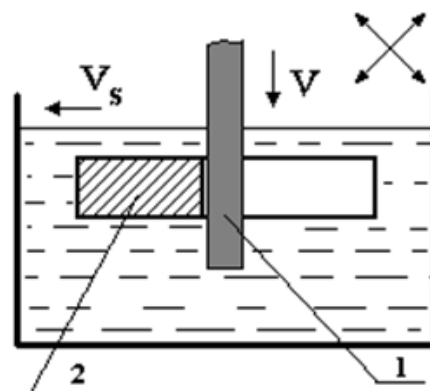


Fig. 3. Schema prelucrării cu electrod sculă neprofilat  
1– electrod - sculă; 2 - semifabricat

Prin productivitatea prelucrării cu electrod – sculă ne-profilată se înțelege relația dintre suprafața transversală și timp, în care s-a efectuat prelucrarea. Suprafața transversală se determină cu produsul dintre lungimea drumului parcurs al electrodului – sculă (fir metalic) în direcția avansului și timpul prelucrării și grosimea semifabricatului.

$$Q = S / t$$

unde **S** – suprafața transversală; **t** – timpul prelucrării.

Rugozitatea suprafeței prelucrate nu este mai mare decât  $h_7 - h_8$ .

### **Evaluarea lucrării**

**I.** Raportul explicativ trebuie să conțină:

1. Descrierea pe scurt a esenței procesului de prelucrare dimensională prin electroeroziune conform sarcinii lucrării.

**II.** Studentul trebuie să cunoască răspuns la următoarele întrebări:

1. Definiția procesului de prelucrare dimensională prin electroeroziune
2. Domeniile de utilizare a tehnologiei de prelucrare prin electroeroziune
3. Care sînt indicii tehnologici principali ai prelucrării prin electroeroziune

### **Bibliografie**

1. Артамонов и др., *Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: Учебное пособие для машиностроительных вузов и факультетов в 2-х томах*, М. Высшая школа, 1983.
2. *Электроэрозионная обработка материалов*, Е. Ф. Немилов.
3. Aurel Nanu, Dan Nanu, *Prelucrarea dimensională prin eroziune electrică în câmp magnetic*, Editura FACLA, Timișoara, 1981.

