

**INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA"
TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ**

ing. MIHAI CRACIUN NICA

**CONTRIBUTII LA STUDIUL TEORETIC SI EXPERIMENTAL AL
PRELUCRĂRII OTELURILOR SLAB ALIATE PRIN PROCESUL
ELECTROCHIMIC IN REGIM HIDRODINAMIC**

- T e z a d e d o c t o r a t -

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

**Conducător științific
Prof.Em.Dr.ing. Gheorghe Savii**

1978

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA	
FACULTATEA DE MECANICĂ	
CATEDRA DE MECANICĂ	
Volumul No.	345960
Dulap	38 Lit. D

C U P R I N S

	pag.
1.- INTRODUCERE	3
1.1. Obiectul lucrării	4
1.2. Notații folosite	6
2.- UNELE CONSIDERATII ASUPRA PRELUCRARII DIMENSIONALE PRIN EROZIUNE ELECTROCHIMICA HIDRODINAMICA	10
2.1. Principiul prelucrării prin eroziune electrochimică hidrodinamică	10
2.1.1. Considerații asupra mecanismului procesului de eroziune electrochimică	11
2.2. Parametrii ai procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică	21
2.3. Stadiul actual al cercetărilor privind prelucrarea dimensională prin eroziune electrochimică hidrodinamică	23
3.- CERCETARI TEORETICE SI EXPERIMENTALE ASUPRA PROCESULUI DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTROCHIMICA HIDRODINAMICA	25
3.1. Instalații folosite pentru cercetările experi- mentale	25
3.1.1. Celulă de prelucrare cu electrod-sculă fix.	25
3.1.2. Celulă de prelucrare cu avans discret a electrodului-sculă	30
3.1.3. Celulă de prelucrare cu avans comandat prin căderea de presiune din interstițiul de lucru	31
3.2. Contribuții la cercetarea teoretică și experimentală a procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică	33
3.2.1. Cercetări teoretice asupra procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică	33
3.2.2. Cercetări experimentale asupra procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică	53
3.2.3. Concluzii privind influența principalilor factori asupra procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică	77
3.3. Modelarea procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică	82
3.3.1. Modelarea proceselor de prelucrare în electrolizi pasivizanți	82
3.3.2. Modelarea influenței factorului termic și a concentrației în hidrogen asupra parametri- lor procesului de prelucrare.	87
3.3.3. Programe pentru calculul automat al para- metrilor și procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică	90

4.- CONTRIBUTII LA PROIECTAREA SI CONSTRUCTIA UNOR UTILAJE EXPERIMENTALE PENTRU PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE ELECTRO- CHIMICA HIDRODINAMICA	100
4.1. Unele considerații asupra utilajelor folosite la studiul aplicării procedurii de prelucrare prin eroziune electrochimică	100
4.1.1. Mașină pentru prelucrarea prin eroziune electrochimică de 50 A	100
4.1.2. Mașină de putere medie pentru prelucrarea dimensională prin eroziune electrochimică hidrodinamică /ECM-IPT/	113
4.1.3. Mașină pentru prelucrarea prin eroziune electrochimică hidrodinamică de 1450 A /MEC/.	122
4.1.4. Mașină pentru prelucrarea prin eroziune electrochimică hidrodinamică de 200 A /MEC-200 A/	128
4.1.5. Instalație pentru finisarea roților dințate prin eroziune electrochimică hidrodinamică	133
4.1.6. Model experimental de mașină electrochimică pentru finisarea roților dințate prin rostogolire	135
4.2. Cercetări teoretice și experimentale asupra sistemelor de avans electromecanice	136
4.2.1. Contribuții aduse la utilizarea comenzii sistemelor de avans electromecanice folosind ca parametru de comandă căderea de tensiune pe interstițiul de lucru	137
4.2.2. Cercetări experimentale privind utilizarea avansului discret și a avansului constant	145
5.- UNELE CONSTATARI PRIVIND CERCETARILE DE APLICARE A PROCESULUI DE PRELUCRARE DIMENSIONALA PRIN EROZIUNE ELECTROCHIMICA HIDRODINAMICA	148
5.1. Prelucrarea roților dințate prin eroziune electrochimică hidrodinamică	148
5.1.1. Finisarea roților dințate prin copierea formei cu electrod sculă fix	148
5.2.2. Finisarea roților dințate prin rostogolire	162
5.2. Calibrarea alezajelor conice și profilate	167
5.3. Prelucrarea suprafețelor active ale matrițelor	168
5.3.1. Prelucrarea cavităților de secțiune constantă	168
5.3.2. Prelucrarea cavităților cu formare tridimensională	172
6.- CONCLUZII	174
BIBLIOGRAFIE	177

LIBRĂRIE CENTRALĂ

1. INTRODUCERE

Dezvoltarea vertiginoasă a tehnicii din țara noastră și odată cu aceasta diversificarea produselor, reclamă din ce în ce mai mult utilizarea unor noi procedee de prelucrare menite să completeze posibilitățile tehnologice actuale. Dintre procedeele noi de prelucrare, numite neconvenționale, face parte și prelucrarea dimensională prin eroziune electrochimică hidrodinamică, a cărei aplicabilitate industrială a început după anul 1955 în țările dezvoltate din punct de vedere economic. Deși aceste țări au o industrie constructoare de mașini electrochimice, domeniile de utilizare a acestui procedeu au rămas destul de restrânse, atât datorită problemelor pe care le ridică conducerea procesului de prelucrare, cât și vastelor investiții pe care le necesită prelucrarea fiecărei piese în parte.

Prelucrarea dimensională prin eroziune electrochimică se desfășoară fără uzarea electrodului scâlă, iar datorită volumului mare a manoperei de pregătire tehnologică, procedeul de prelucrare se pretează pentru producția de serie mare și de masă. Un asemenea cadru îl asigură uzinarea pieselor aflate în producția curentă, cu suprafețe de configurație complexă și cu o prelucrabilitate scăzută prin așchiere.

Pentru realizarea acestei lucrări ce se extinde pe pagini, conținând 217 figuri și 8 tabele, au fost consultate un număr mare de lucrări de specialitate, dintre care în lista bibliografică se prezintă 258 de titluri și s-a realizat un vast program de cercetare, proiectare și execuție, finalizat până în prezent prin lucrări științifice, lucrări de colaborare cu producția, execuția de mașini și standuri pentru prelucrarea prin acest procedeu.

Teza de doctorat cuprinde șase capitole din care capitolele 2, 3, 4 și 5 sînt axate pe problemele legate de rezolvarea concretă a obiectivelor propuse, după cum urmează:

Capitolul 2 cuprinde unele considerații asupra prelucrării dimensionale prin eroziune electrochimică hidrodinamică, clasificarea operațiilor de prelucrare prin acest procedeu, evidențierea principalelor parametri ai procesului de eroziune electrochimică și o prezentare succintă a stadiului actual al cercetărilor și tendințele de orientare a acestora.

În capitolul 3 se prezintă rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale efectuate, modelarea procesului de prelucrare, câteva scheme logice pentru calculul cu mijloace automate a parametrilor procesului, descrierea și performanțele mijloacelor de investigație special construite.

Contribuțiile aduse la construcția utilajelor de prelucrare prin

eroziune electrochimică hidrodinamică sînt cuprinse în capitolul 4 în care se prezintă și unele aspecte legate de rezultatele cercetărilor efectuate asupra sistemelor de avans electromecanice utilizate la aceste mașini.

În capitolul 5 sînt cuprinse cîteva aspecte tehnologice în legătură cu unele aplicații ale procedurii de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică. Aceste cercetări evidențiază, prin rezultatele obținute, oportunitatea temei abordate și justifică activitatea în ansamblu desfășurată atît sub aspect constructiv, cît și aplicativ.

În partea finală a lucrării se prezintă principalele contribuții originale aduse prin rezolvarea obiectivelor propuse.

În încheiere autorul se gîndește cu recunoștință la o serie întregă de persoane care prin contribuție directă, îndrumări, sfaturi sau încurajări au susținut îndelungata și ampla activitate de realizare a acestei lucrări.

În primul rînd autorul exprimă profunda recunoștință conducătorului acestei teme de doctorat Prof. Em. Dr, ing. Gheorge Savii care prin competența, înțelegerea și răbdarea de care a dat dovadă a îndrumat și sprijinit în permanență autorul în rezolvarea și orientarea temei spre probleme aplicative. De asemenea autorul aduce mulțumiri colegilor de la catedra de Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Tehnologie Mecanică, conducerii facultății și a institutului pentru sprijinul neprecupețit acordat pe tot parcursul efectuării lucrării de doctorat.

Cu acest prilej autorul mulțumește din inimă personalului tehnic și studenților care le au sprijinit în mod deosebit la realizarea utilajului și efectuarea volumului mare de cercetări experimentale.

1.1. OBIECTUL LUCRĂRII

Deși de dată relativ recentă, aplicarea în industria constructoare de mașini a prelucrării dimensionale prin eroziune electrochimică începe să găsească un cîmp relativ larg de utilizare printr-o diversitate mare de procedee.

Dintre procedeele cunoscute de prelucrare dimensională prin eroziune electrochimică /Tabelul 2.1/, în această lucrare se abordează numai prelucrarea electrochimică hidrodinamică.

Această variantă a prelucrării electrochimice are perspectiva dezvoltării și extinderii sferei de aplicabilitate la producția de serie și de masă a pieselor curente aflate în construcția de mașini datorită capacităților productive ridicate și a economicității ei /A.8; C.2; C.6; C.9; D.3; D.6; D13; E.3; E.6; G.3; G.7; H.2; I.4; I.6; K.15; K.16; K.17; M.16; O.2/ Datorită acestui fapt, cercetările noastre au fost orientate în special pe prelucrarea oțelurilor frecvent utilizate în construcția de mașini

și pentru realizarea unor suprafețe simple și de configurație complexă ca alezaje, roți dințate, matrițe pentru forjare etc.

În activitatea complexă de trecere de la prototipul ideal la piesa finită, intervin o serie de factori a căror efecte se cumulează ducând, în final, la o diferențiere mai mare sau mai mică a prototipului real în raport cu cel ideal. /Fig. 1.1/

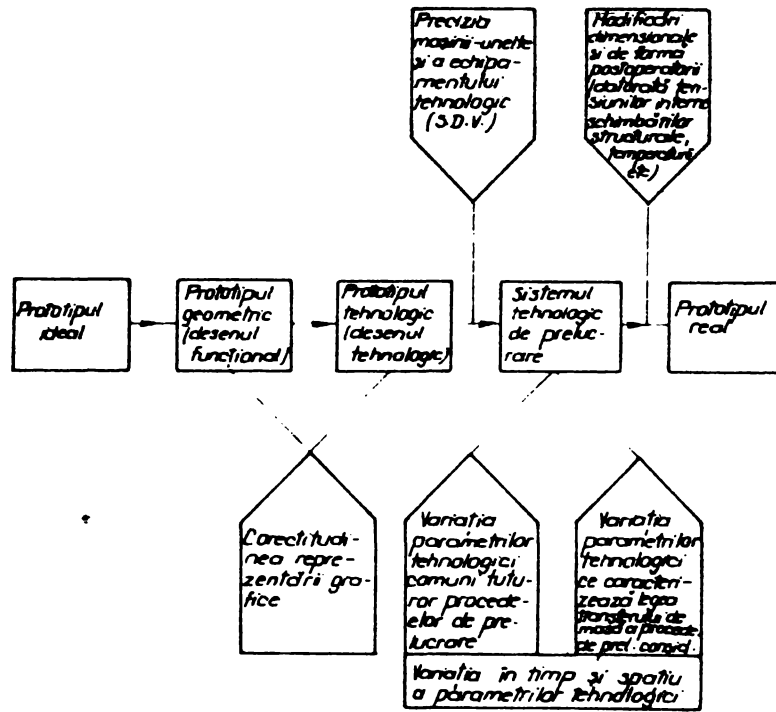


Fig. 1.1

Din acest punct de vedere, obiectul acestei lucrări se referă la sistemul tehnologic de prelucrare și legat de aceasta, de cunoașterea variației în timp și spațiu a parametrilor tehnologici.

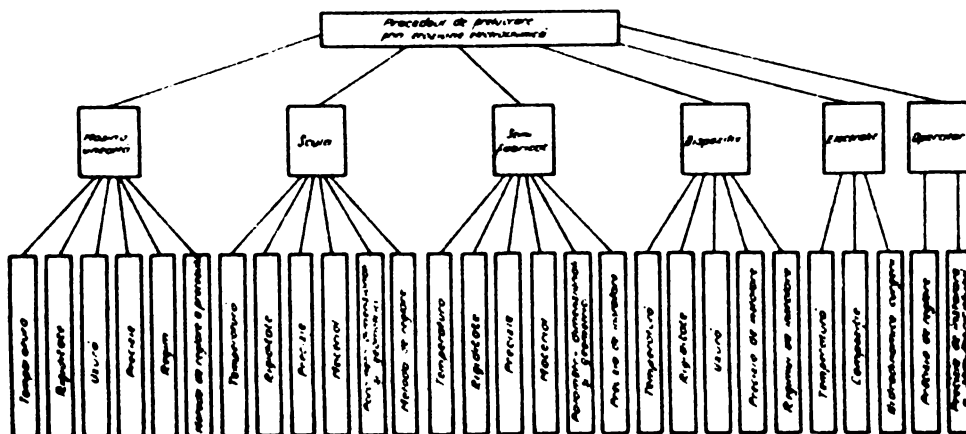


Fig. 1.2

Sub aspectul elementelor componente ale sistemului tehnologic ce caracterizează procedeul de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică /Fig. 1.2/, cercetările au cuprins toate aceste elemente, ceea ce a permis o finalizare a lucrării prin concepția și realizarea unor instalații complexe de prelucrare, a echipamentului tehnologic, precum și a tehnologiei de prelucrare.

În paralel cu cercetările legate de îmbunătățirea preciziei de prelucrare s-a acordat o atenție deosebită, atât din punct de vedere constructiv cât și tehnologic, creșterii capacității productive.

La baza proiectării constructive și tehnologice stau cercetările teoretice și experimentale asupra procesului de eroziune electrochimică hidrodinamică. Prin aceste cercetări s-a urmărit stabilirea influenței unui număr mare de factori asupra procesului de eroziune electrochimică și o modelare matematică cât mai fidelă. Datorită complexității modelelor matematice, lucrarea aduce o serie de contribuții legate de utilizarea mijloacelor automate de calcul.

Datorită sferei foarte largi a problematicii acestei lucrări, referirile se vor face numai pentru o parte din oțelurile și electroliții cercetați, dar rezultatele cercetărilor sînt astfel selecționate încît să evidențieze itinerariul parcurs și să ofere un conținut logic și unitar lucrării.

1.2. NOTATII FOLOSITE

În vederea asigurării operativității în consultarea materialului prezentat în lucrare și pentru a evita repetarea în explicarea semnificației pentru notațiile folosite, s-a preconizat prezentarea unitară a acestora.

Simbolurile folosite țin seama atât de indicațiile standardelor din țara noastră, cât și de notațiile consacrate pe plan mondial.

Unitățile de măsură pentru aceste mărimi corespund în primul rînd relațiilor dimensionate din lucrare. Cum lucrarea are un pronunțat caracter aplicativ, iar unitățile de măsură consacrate pentru parametrii tehnologici diferă de cele ale mărimilor similare fizice, unitățile de măsură utilizate nu sînt aliniate în totalitate sistemului Internațional. Aceasta asigură o accesibilitate mai bună la relațiile prezentate fără a impune efectuarea unor operații suplimentare de transformare.

- A_0, A_f - abaterea inițială și finală a formei, în mm;
 A_p - adaosul de prelucrare, în mm;
 A - masa atomică, în g;
 b - lățimea suprafeței active, în mm;
 B - caracteristica regimului de prelucrare, în $\frac{\text{mm}^2}{\text{min}}$;

INSTITUTUL NAȚIONAL
 DE MĂSURĂRI
 ȘI METROLOGIE CENTRALĂ

- B_{op} - valoarea limită maximă /optimă/ a caracteristicii regimului de prelucrare, în $\frac{mm^2}{min}$;
 c - concentrația, în valoare zecimală;
 c_e - căldura specifică a electrolitului, în $\frac{J}{Kg.grad}$;
 c_{ee} - căldura specifică a electrolitului la intrarea în interstițiul de lucru, în $\frac{J}{kg.grad}$;
 C - concentrația, în %;
 C_o - concentrația inițială, în % ;
 C_g - concentrația volumică în predeuse gazoase de dizolvare;
 C_{H_2} - concentrația volumică în hidrogen a electrolitului, în %
 δ - grosimea interstițiului dintre electrozi, în mm;
 δ_o, δ_f - grosimea inițială și respectiv finală a interstițiului dintre electrozi, în mm;
 δ_l - interstițiul de lucru corespunzător lui J_{lim} , în mm;
 δ_e - interstițiul de echilibru, în mm;
 $\Delta \delta_f$ - eroarea dimensiunii prelucrate, în mm;
 ΔG_o - eroarea inițială a formei geometrice, în mm;
 ΔG - eroarea finală a formei geometrice, în mm;
 ΔB_r - corecția bății radiale, în mm;
 $\Delta E_{rpm\max}$ - corecția erorii de pas, în mm;
 $\Delta \phi_A$ - potențialul de electrod anodic, în V;
 $\Delta \phi_c$ - potențialul catodic de electrod, în V;
 ΔC_H - variația concentrației în hidrogen;
 e, E - tensiunea electromotoare a sursei de alimentare, în V;
 E_{xpm} - eroarea de pas, în mm;
 η - randamentul în raport cu curentul;
 η_A - suprapotențial anodic, în V;
 η_c - suprapotențial catodic, în V;
 η_e - viscozitatea dinamică a electrolitului, în $\frac{N.s}{m^2}$;
 F - numărul lui Faraday, în $\frac{C}{echiv.gram}$;
 g - lățimea reții dințate, în mm;
 h - grosimea stratului de material îndepărtat la operația de finisare a reților dințate, în mm;
 h - adâncimea de pătrundere la prelucrările de adâncire, în mm;
 h - corecția electrodului sculă, în mm;
 I - intensitatea curentului electric, în A;

J	- densitatea curentului electric, în A/mm^2 ;
J_{min}, J_{max}	- densitatea minimă și maximă a curentului electric, în A/mm^2 ;
J_{lim}	- densitatea limită a curentului electric corespunzătoare lui ρ_1 , în A/mm^2 ;
κ	- conductivitatea electrică a interstițiului, în $\frac{1}{\cdot mm}$
κ_e	- conductivitatea electrică a electrolitului, în $\frac{1}{\cdot mm}$;
k	- echivalentul electrochimic, în $\frac{g}{C}$;
k_{vt}	- echivalentul electrochimic volumic teoretic, în $\frac{mm^3}{A \cdot min}$;
k_v	- echivalentul electrochimic volumic efectiv, în $\frac{mm^3}{A \cdot min}$;
l	- lungimea, în mm;
l_0	- lungimea suprafeței active a electrodului sculă, în mm;
λ	- coeficient de pierderi;
m	- masa, în g;
m	- modulul reții dințate, în mm;
μ	- coeficient de alunecare relativă a fazelor lichid - gaz;
μ_A	- adâncimea de "decapare" la granitele grăunților, în μm
n	- valența;
n_{κ}	- coeficient de variație a conductivității electrolitului cu conținutul de hidrogen;
OT	- obiectul de transfer /electrodul sculă/;
OP	- obiectul prelucrării;
p	- presiunea, în daN/cm^2 ;
q	- cantitatea de căldură, în J;
Q	- cantitatea de electricitate, în C;
Q_A	- debitul de material anodic îndepărtat, în $\frac{mm^3}{min}$;
Q_{Am}	- debitul mediu de material anodic îndepărtat, în $\frac{mm^3}{min}$;
Q_m	- debitul masic de material anodic îndepărtat, în g/min;
Q_e	- debitul de electrolit, în l/min;
R_{max0}, R_{maxf}	- rugozitatea maximă a suprafeței inițiale și respectiv finale, în mm;

- r - rezistența interioară, în Ω
 R - rezistența ohmică a interstițiului, în Ω
 R - constanta molară a gazului, în $\frac{J}{mol.K}$;
 R_e - rezistența ohmică a electrolitului, în Ω
 R_{ex} - rezistența ohmică exterioară a interstițiului, în Ω
 ρ - densitatea, în Kg/m^3 ;
 ρ_e - densitatea electrolitului, în Kg/m^3 ;
 ρ_a - densitatea anodului, în Kg/m^3 ;
 ρ_H - densitatea hidrogenului, în kg/m^3 ;
 S - suprafața activă, în mm^2 ;
 t - timpul, în minute ;
 t_p - timpul de prelucrare, în minute ;
 T_e, T_f - toleranța dimensiunii inițială și finală, în mm ;
 θ - temperatura, în $^{\circ}C$;
 U - căderea de tensiune pe interstițial de lucru, în V ;
 U_b - tensiunea la bornele electrozilor, în V ;
 U_e - căderea de tensiune pe electrolit, în V ;
 V - volumul, în mm^3 ;
 V_p - potențialul total de polarizare și pasivizare, în V ;
 v_e - viteza medie de curgere a electrolitului, în m/s ;
 v_{cep} - viteza de curgere a electrolitului pentru care se obține B_{ep} , în m/s ;
 v_A - viteza de dizolvare /sau deplasare/ a anodului, în mm/min ;
 v_E - viteza de avans a catodului, în mm/min ;
 $x; y; z$ - valoarea curentă a interstițiului după cele trei axe de coordonate, în mm ;

2. UNELE CONSIDERĂRI ASUPRA PRELUCRĂRII DIMENSIONALE PRIN EROZIUNE ELECTROCHIMICĂ HIDRODINAMICĂ

2.1. PRINCIPIUL PRELUCRĂRII PRIN EROZIUNE ELECTROCHIMICĂ HIDRODINAMICĂ

După cum este cunoscut, principiul prelucrării dimensionale prin eroziune electrochimică are la bază procesul de dizolvare anodică.

Obiectul prelucrării /CP/ legat la polul pozitiv al unei surse de curent continuu iar electrodul sculă legat la polul negativ al aceleiași surse, în prezența unui mediu electrolitic, generează o serie de procese fizice și chimice dintre care o parte duce la erodarea progresivă a materialului piesei.

Electrodul sculă și / sau cinematica mișcărilor acestuia și a obiectului prelucrării sînt purtătorii informației privind orientarea în timp și spațiu a prelucrării, iar câmpul electric și mediul electrolitic sînt agenții procesului de eroziune. Sub forma cea mai simplă, desfășurarea procesului de eroziune electrochimică impune prezența obligatorie a agentului eroziv, a purtătorului de informații și bineînțeles, a obiectului prelucrării.

În mod obișnuit, eroziunea electrochimică este însoțită de un proces mai intens sau mai puțin intens de pasivizare a suprafeței electrozilor, ceea ce provoacă o frînare a procesului de dizolvare anodică. Pentru asigurarea continuității procesului de dizolvare anodică trebuie luate măsuri de activare permanentă a suprafețelor utile ale celor doi electrozi.

Depasivarea se poate realiza natural sau forțat pe cale chimică, hidrodinamică, mecanică sau electrică.

Deoarece fenomenul de pasivare are o influență mare asupra caracteristicilor de bază ale procesului de eroziune electrochimică, modul de acțiune pentru asigurarea procesului de depasivare poate să constituie criteriu de clasificare a procedeelor de prelucrare dimensionată prin eroziune electrochimică. O astfel de clasificare precum și terminologia de definire a procedeelor și operațiilor de prelucrare, se propune în tabelul 2.1

La prelucrarea prin eroziune electrochimică hidrodinamică procesul de depasivare este asigurat prin circulația forțată, la viteze mari, a electrolitului în interstițiul de lucru, asigurându-se prin aceasta, pe lângă activarea suprafețelor utile ale electrozilor și posibilitatea prelucrării cu densități mari ale curentului electric și deci, cu viteze mari de dizolvare anodică.

cîtevazeci pînă la cîteva sute de amperi pe centimetru pătrat.

Dacă se aplică o tensiune continuă pe cei doi electrozi aflați într-un electrolit lichid /de exemplu soluție apoasă de Na Cl/, atunci circuitul electric între anod și catod se închide prin intermediul electrolitului /Fig. 2.1/. Transportul curentului este asigurat de ioni moleculelor dissociate ai soluție de electrolit. Soluția de clorură de sodiu se disociază în anioni de Cl^- și OH^- și cationi de Na^+ și H^+ .

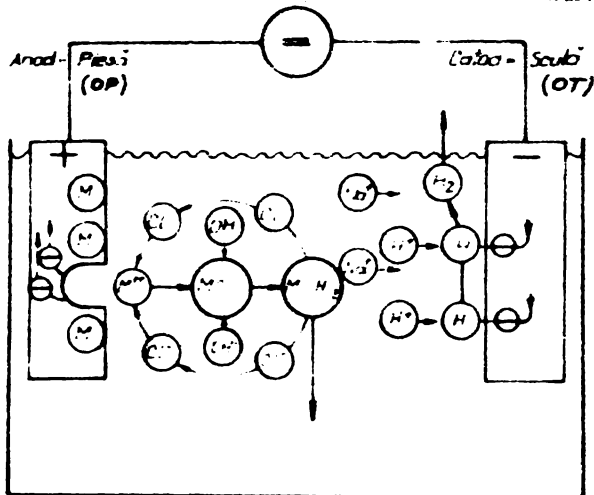


Fig. 2.1

Reacțiile posibile la anod sînt următoarele /36/

a. / $Cl^- \rightarrow \frac{1}{2}Cl_2 + e$ /2.1/
tensiunea normală a electrodului fiind aproximativ 1,36 V;

b. / $2OH^- \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2 + 2e$ /2.2/
tensiunea normală a electrodului fiind 0,81 V;

c. / $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$ /2.3/
tensiunea normală a electrodului fiind de 0,44 V

Reacțiile de la catod pot fi următoarele:

a. / $H^+ + e \rightarrow \frac{1}{2}H_2$ /2.4/

tensiunea normală a electrodului fiind de 0,42 V

b. / $Na^+ + e \rightarrow Na$ /2.5/

tensiunea normală a electrodului fiind de -2,70 V

Dintre aceste reacții posibile se va produce la anod reacția /2.3/, care se și confirmă cea mai ușor, iar la catod reacția /2.4/, deoarece îi corespunde cea mai ușoară condiție normală, iar la catod reacția /2.5/, deoarece îi corespunde cea mai ridicată tensiune normală de reducere.

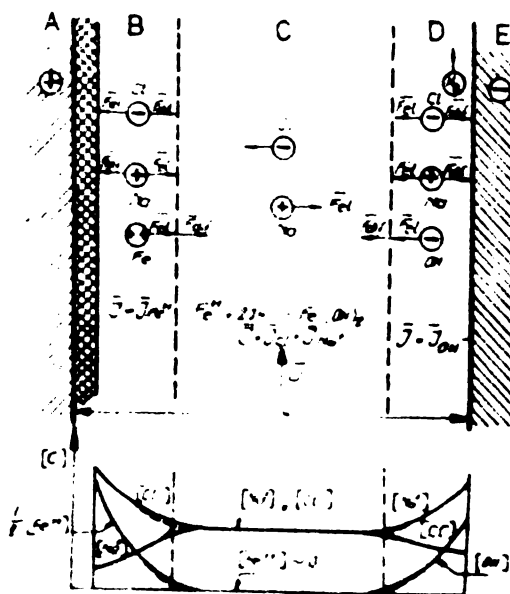


Fig. 2.2

Reacția a cărei energie este cea mai mică este cea care se va produce la anod, iar la catod reacția /2.4/, deoarece îi corespunde cea mai ușoară condiție normală, iar la catod reacția /2.5/, deoarece îi corespunde cea mai ridicată tensiune normală de reducere.

Reacția /2.3/ este cea care se va produce la anod, iar la catod reacția /2.4/, deoarece îi corespunde cea mai ușoară condiție normală, iar la catod reacția /2.5/, deoarece îi corespunde cea mai ridicată tensiune normală de reducere.

Reacția /2.3/ este cea care se va produce la anod, iar la catod reacția /2.4/, deoarece îi corespunde cea mai ușoară condiție normală, iar la catod reacția /2.5/, deoarece îi corespunde cea mai ridicată tensiune normală de reducere.

Reacția /2.3/ este cea care se va produce la anod, iar la catod reacția /2.4/, deoarece îi corespunde cea mai ușoară condiție normală, iar la catod reacția /2.5/, deoarece îi corespunde cea mai ridicată tensiune normală de reducere.

Reacția /2.3/ este cea care se va produce la anod, iar la catod reacția /2.4/, deoarece îi corespunde cea mai ușoară condiție normală, iar la catod reacția /2.5/, deoarece îi corespunde cea mai ridicată tensiune normală de reducere.

În figura 2.2 se prezintă schematic mecanismul procesului de eroziune electrochimică, precum și variația concentrației

rației ionilor în interstițiul dintre electrozi.

Cu excepția câtorva metale rare, toate celelalte se dizolvă în anumite condiții de electrolit și densitate a curentului.

Cantitatea de metal dislocată de pe obiectul prelucrării poate fi stabilită teoretic cu ajutorul legilor electrolizei /legile lui Faraday/:

1.- Masa de substanță este proporțională cu intensitatea curentului electric și cu timpul cât circulă curentul electric prin electrolit.

$$m = k \cdot I \cdot t_F \quad /2.6/$$

Factorul de proporționalitate k este o mărime care depinde de metalul din care este confecționat obiectul prelucrării și se numește echivalentul electrochimic.

2.- Echivalenții electrochimici k ai elementelor sînt proporționali cu echivalenții lor chimici.

$$k = C \frac{A}{n} \quad /2.7/$$

În care $C = \frac{1}{F}$ și este constant.

Cumulînd cele două legi se obține:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot I \cdot t_F \quad /2.8/$$

În procesul de prelucrare dimensională prin eroziune electrochimică hidrodinamică, s-a constatat însă că această lege nu este în concordanță cu rezultatele experimentale, procesul de eroziune electrochimică caracterizîndu-se printr-un anumit randament. Ca urmare, legea practică care dă posibilitatea stabilirii masei de metal detașată de pe obiectul prelucrării este de forma:

$$m = \eta \cdot \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot I \cdot t \quad /2.9/$$

Valoarea de metal erodat poate să se exprime cu relația:

$$V = \frac{\eta \cdot A}{\rho_a \cdot F \cdot n} \cdot I \cdot t \quad /2.10/$$

Dependența de densitatea curentului i se exprimă prin relația:

$$V = \int_{i_1}^{i_2} \frac{\eta \cdot A}{\rho_a \cdot F \cdot n} \cdot I \cdot dt \quad /2.11/$$

În cazul în care densitatea curentului este constantă:

$$V = \frac{\eta \cdot A}{\rho_a \cdot F \cdot n} \cdot I \cdot t \quad /2.12/$$

unde $\rho_a = \frac{A}{n \cdot F}$

producerea reacției de transfer în sens catodic, ionul trebuie să efectueze un lucru electric împotriva câmpului, exprimat prin produsul dintre sarcina sa și diferența de potențial generatoare de câmp.

În urma trecerii unui ion M^{z+} din soluție pe metal, prin interferență ia naștere o diferență de potențial $\Delta\phi$, lucrul electric consumat pentru transferul unui ion va fi a.e. $\Delta\phi$, iar pentru transferul unui ion-gram: $n.F.\Delta\phi$. Cât efectul diferenței de potențial și câmpul scad cu mărirea distanței de la interfață, putând fi chiar nul în punctul A /Fig. 2.4/, înseamnă că lucrul electric pe care îl are de efectuat ionul la transferul său din soluție pe metal va crește de la valoarea zero în punctul A, la valoarea maximă corespunzătoare punctului B /în care ionul este deja integrat în rețeaua metalică/.

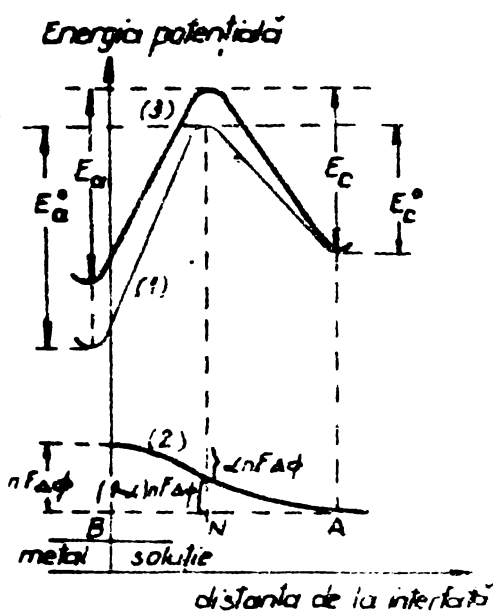


Fig. 2.4

luție /diferența de potențial $\Delta\phi$ /, energia necesară pentru transferul ionului din câmpul metalic va fi $(1-d).n.F.\Delta\phi$, care ține seama de energia câmpului metalic. Din același motiv energia liberă de activare necesară pentru reacția de oxidare a scăzut cu cantitatea $d.n.F.\Delta\phi$, astfel:

$$E_c = E_c^0 + (1-d).n.F.\Delta\phi \quad (2.13)$$

și

$$E_a = E_a^0 - d.n.F.\Delta\phi \quad (2.14)$$

Vitezele reacțiilor catodice și anodice pot fi exprimate prin:

$$v_c = k_c \cdot C_{M^{z+}} \cdot \exp\left[-\frac{d.n.F.\Delta\phi}{RT}\right] \quad (2.15)$$

poate fi influențată prin modificarea unor factori, ca de exemplu temperatura.

Se poate realiza și o convecție forțată prin impunerea din exterior a unor diferențe de parametri între diverse porțiuni ale soluției. Parametrii cei mai adesea folosiți pentru realizarea unei convecții forțate sînt cei ce se referă la mișcarea relativă electrozod-electrolit. Prin factorii care influențează convecția, se acționează asupra stratului de difuzie. În condiții de convecție naturală, acest strat are o grosime de ordinul $5 \cdot 10^{-2}$ cm, pe cîm în condiții de convecție forțată se realizează valori de ordinul 10^{-3} cm. [R. 24; R. 25]

Procesele anodice de deelectronare a atom-ionilor și trecerea lor din metal în electrolit, pot fi clasificate în procese în care cationul rezultat rămîne în final în soluție sub forma unui cation solvatați și procese în care el devine parte dintr-o fază solidă. Tipul procesului care are loc este condiționat de mîrimile termodinamice ale sistemului metal/electrolit și parțial de factorii cinematiici.

Procesele anodice, în urma cărora rezultă ioni ai metalului care rămîn în soluție, poartă denumirea de "dizolvări anodice". Procesele anodice care duc la formarea unor produse insolubile poartă denumirea, după natura produsului rezultat: oxidări, sulfatări etc.

Dizolvarea anodică a unui metal se desfășoară în mai multe etape și are la ea: deelectronarea rețelei cristaline /decrystalizarea/, transferul de sarcină, transportul de substanță, reacții chimice etc. Oricare din aceste etape poate avea loc cu o viteză mai mare sau mai mică și ea, uneori, poate controla sau stabili viteza întregului proces. Cîntărește însă o anumită caracteristică importantă ale procesului de deelectronare a metalelor: decrystalizarea și transferul de sarcină.

Procesul de dizolvare anodic a unui metal poate fi detaliat în procesul de deelectronare prin stadiul intermediar de cation adsorbit, stadiu în care se poate spune că "fînd parte din rețeaua metalică, nici ca fiind ion. Astfel reacția anodică este inițiată, dar etapa de transfer de sarcină nu a avut loc și ca urmare, nu putem vorbi de ion. În continuare urmează etapa de deelectronare.

Etapa de transport a ionilor formați de lângă anod spre interiorul soluției, de multe ori poate să controleze viteza întregului proces, dar poate să hotărască și tipul de proces global ce are loc.

În procesul de dizolvare anodic apare un supra-potențial care se caracterizează prin apariția lentă a oxidării etape. Astfel se poate vorbi de un supra-potențial de decrystalizare, de transfer de sarcină, de transport, sau de un supra-potențial care este supra-potențialul de oxidare.

terior în situația considerării suprapotențialului de transport , se poate scrie

$$\Delta \phi = \Delta \phi^0 + \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \ln \frac{M^{n+}}{M} + \eta \quad /2.17/$$

În cazul dizolvării anodice a aliajelor a căror metale formează o soluție solidă sau o combinație intermetalică, procesul dizolvării anodice se complică. Prin urmare, dizolvarea anodică a unui aliaj este un proces complex care depinde nu numai de potențialele diverșilor componenți, dar și de raportul cantitativ în care se găsește acești componenți în aliaj și structura aliajului. Îndată ce potențialul celui mai electronegativ component este atins, va începe dizolvarea anodică a acestuia. Dacă acest component este în cantitate mare atunci se va dizolva doar el, iar cristalele unuia sau mai multor componenți mai electropozitivi, ce rămân nedizolvate, se vor desprinde și vor cădea sub formă de nămol anodic. Dacă componentul electronegativ se găsește în cantitate mică, atunci după ce se dizolvă de pe suprafață și apare un component mai electropozitiv, potențialul va crește pînă se atinge valoarea la care se dizolvă acesta. Cînd pe suprafață apare componentul electronegativ, potențialul scade din nou și mai departe oscilațiile de potențial vor continua.

La dizolvarea anodică a metalelor poate interveni procesul de pasivizare. Din punct de vedere electrochimic, un metal se numește pasiv, cînd polarizîndu-l anodic, el nu trece în soluție deși potențialul la care se află este mult mai pozitiv decît potențialul de echilibru. Metalul se comportă astfel ca un metal nobil iar efectul acesta care desemnează starea pasivă se numește pasivitate anodică.

De obicei se face deosebirea între două tipuri de pasivitate:

a/ pasivitate electrochimică, care apare în urma unei polarizări anodice a metalului, prin impunerea unui curent exterior și

b/ pasivitate chimică, care apare atunci cînd metalul este adus în contact cu un mediu oxidant.

Între cele două tipuri de pasivitate nu există o deosebire principială, întrucît ambele duc la pasivarea metalului prin aducerea acestuia la un potențial pozitiv.

În ceea ce privește mecanismul acestor tipuri de pasivitate se admite ipoteza că pasivitatea este provocată de o film subțire invizibil de oxid metallic existent pe suprafața electrodului.

Cînd pe suprafața metalului se formează un strat protector, relativ gros și vizibil, se deosebește el de alți tipuri de pasivitate, așa numită "pasivitate". Acest film împiedică dizolvarea mai departe a anodului și prin urmare are un efect anodic dar filmul este compact, fie printr-un sup-

rapotențial de transport, dacă filmul este poros.

Ușurința instaurării stării pasive, exprimată în cantitatea de electricitate necesară pentru ca metalul anodic să devină pasiv, depinde în mare măsură de gradul de solubilitate al produsului anodic inițial. Din acest punct de vedere se disting două cazuri limită: cazul când produsul inițial este greu solubil și cazul când produsul inițial este ușor solubil. Pentru primul caz, teoretic pasivitatea se poate instala la cantități de electricitate foarte mici, de ordinul cantității de electricitate ce duce la formarea unui strat monomolecular de produs greu solubil.

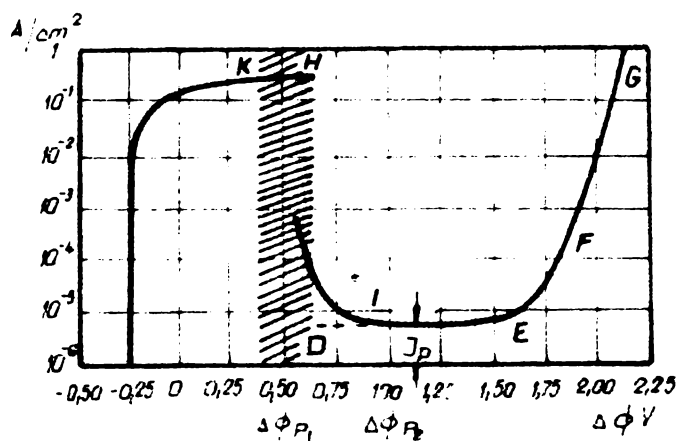


Fig. 2.5

tențial, care atinge o valoare constantă $J_{lim.} = 200-300 \text{ mA/cm}^2$.

În jurul potențialului $\Delta \phi = +0,5 \text{ V}$ /zona hașurată/ apar oscilații ale curentului, iar crescând în continuare potențialul, curentul rămâne constant însă la valori foarte mici ($7 \cdot 10^{-6} \text{ mA/cm}^2$). Această scădere a curentului indică instalarea stării pasive. Practic, instalarea stării pasive se consideră la $\Delta \phi_{p2}$. Densitatea foarte mică a curentului care corespunde stării pasive rămâne constantă până la atingerea potențialului de descărcare al oxigenului /punctul E/. După depășirea potențialului de degajare a oxigenului, pe electroz pasiv, acoperit de oxid, începe degajarea oxigenului /curba EF/.

Din mecanismul instalării stării pasive se poate ușor prevedea și actorii care grăbesc sau întârzie pasivarea. Experimental se constată că pasivarea metalului poate surveni mai repede sau mai târziu după ce densitatea de curent impusă este mai mare sau mai mică. Evident, conform mecanismului indicat, o densitate de curent mai mare, atrage după sine o instalare mai rapidă a stării pasive, comparativ cu o densitate mai mică. Concluzia obligatorie este însă ca în toate cazurile să ne situăm la un potențial mai pozitiv decât $\Delta \phi_{p2}$.

Temperatura ridicată va trebui să ducă la scăderea difuziunii și ca

urmare la lungirea timpului de pasivare sau o creștere a densității de curent critice $/j_{lim}/$. În același sens cu temperatura acționează și agitarea, intensificarea agitării avînd un efect similar cu cel al creșterii temperaturii.

În apariția stării pasive un rol hotărîtor îl joacă electrolitul prin condiționarea solubilității mai mare sau mai mică a stratului pasivator de oxid în electrolitul respectiv.

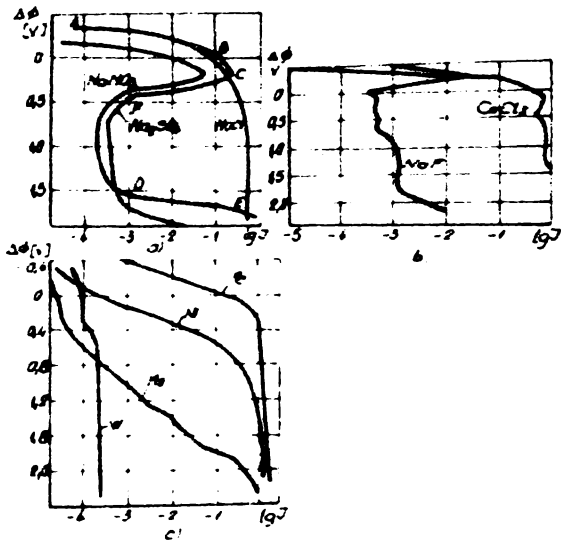


Fig. 2.6

Astfel, în figura 2.6 se prezintă curbele de pasivare anodică la prelucrarea oțelului în diferiți electroliți /Fig. 2.6.a.b/ precum și curbele de pasivare a diferitelor metale în soluție de NaCl. /Fig. 2.6.c/ [12]

Alura curbelor de pasivare diferită în cazul prelucrării cu soluții de NaCl se poate explica prin activarea anodică produsă prin ioni de Cl^- . Pînă în prezent nu există o explicație sigură privind mecanismul de activare a metalului cu ioni de Cl^- . Se poate presupune

la potențiale pozitive, mici, ioni de Cl^- sînt absorbiți pe suprafața metalului și elimină /reeping/ oxigenul absorbit în procesul de pasivare, reacționînd după aceasta cu ioni de metal și formînd cu aceștia compuși solubili. Activarea soluției metalului cu un anumit fel de anioni se folosește în practică.

Datele prezentate arată că pe baza analizei curbelor de pasivare, de către rețea regională de electrozitate electrolitului și a curentului unui anumit metal sau aliaj.

În practica de prelucrare electrochimică se folosesc următoarele metode de depasivare a suprafețelor ca: circularea forțată a electrolitului,

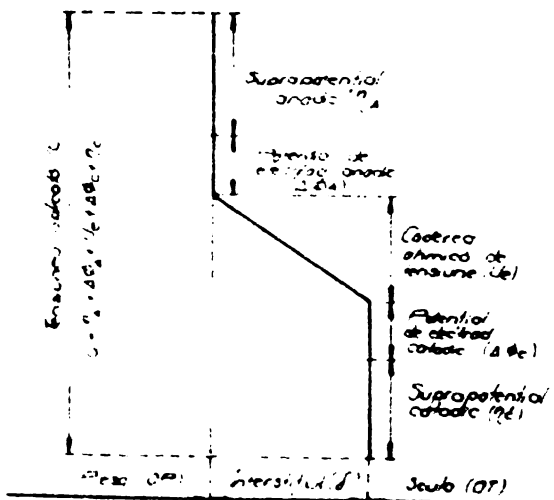


Fig. 2.7

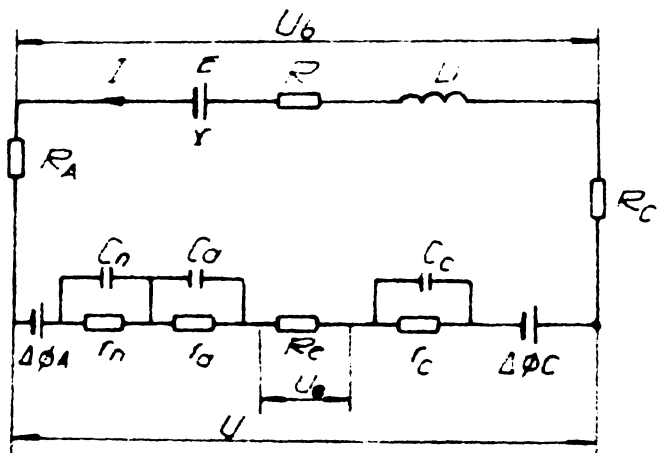


Fig. 2.8

folosirea oscilațiilor ultrasonice, îndepărtarea mecanică a stratului pasivizant, etc.

Tensiunea reală măsurată pe electrozi este de obicei mai mare decât valoarea teoretică calculată datorită polarizării și suprapotențialului pe cei doi electrozi. O distribuție calitativă a tensiunii între cei doi electrozi se prezintă în figura 2.7 [D 13]

Energia electrică legată de supratensiune și de căderea ohmică de tensiune se transformă în căldură. Pentru ca randamentul energetic să fie cât mai bun, va trebui să se reducă cât mai mult aceste tensiuni.

Schema modelului electric al unei celule de prelucrare electrochimică este redată în figura 2.8 [M2] Se poate remarca în această schemă următoarele elemente:

- E - tensiunea electromotoare a sursei de alimentare;
- U_p - tensiunea între bornele electrozilor;
- U - căderea de tensiune pe interstițiul de lucru;
- U_e - căderea de tensiune pe potențialul din interstițiu;
- r - rezistența interstițială;
- L_i - inductanța sursei de alimentare;
- R_a, R_c - rezistența legăturilor anodice și catodice;
- C_a, C_i, C_c - capacitățile peliculei anodice, a stratului limită anodic și a peliculei catodice;
- $\Delta\phi_{an}, \Delta\phi_{ca}$ - potențialul stratului limită anodic și catodic;
- r - rezistența interioară a sursei;
- r_n - rezistența specifică peliculei anodice;
- r_a, r_c - rezistența anodică și catodică a stratului limită anodic și catodic;
- R_e - rezistența stratului de electrolit.

2.8. Schema modelului electric al unei celule de prelucrare electrochimică

Din relația (1.10) care definește volumul de material erodat prin acțiunea electrochimică, rezultă că erodarea este proporțională cu densitatea de curent anodic și invers proporțională cu densitatea de curent catodic. Dacă se presupune că densitatea de curent anodic este constantă și egală cu i_a , iar densitatea de curent catodic este proporțională cu potențialul anodic, atunci erodarea este proporțională cu potențialul anodic la puterea n .

Erind că potențialul anodic este proporțional cu densitatea de curent anodic, rezultă că erodarea este proporțională cu densitatea de curent anodic la puterea $n+1$.

Erind că densitatea de curent anodic este proporțională cu potențialul anodic la puterea n , rezultă că erodarea este proporțională cu potențialul anodic la puterea $2n+1$.

poate varia de la 2,019 $\frac{\text{cm}^2}{\text{A} \cdot \text{min}}$ /pentru n=2/ și la valoarea 0,077 $\frac{\text{cm}^2}{\text{A} \cdot \text{min}}$ /pentru n=6/.

La prelucurarea aliajelor acest parametru depinde atât de natura elementelor aflate în aliaj, cât și de concentrația lor și poate fi determinat prin relația:

$$k_{vt} = \frac{100}{\sum \frac{\sigma_i}{k_{vi}}} \quad /2.18/$$

Un alt parametru al procesului de eroziune electrochimică este randamentul în raport cu curentul η definit ca raport între intensitatea teoretică /rezultată din legea lui Faraday/ necesară erodării masei m de material / I_t /, și intensitatea efectiv folosită pentru realizarea aceluiași efect

$$\eta = \frac{I_t}{I} \quad /2.19/$$

Randamentul în raport cu curentul este un parametru variabil și depinde de materialul electrodilor, compoziția electroliților, polarizarea electrozilor, vâscozitatea curentului etc. Acest parametru are valori cuprinse între 0,1 și 0,9 la electrozilor cu electrolit ca și la electrozilor cu electrolit de apă și depinde de condițiile de lucru. În unele cazuri, randamentul poate să ajungă până la 100% datorită compoziției chimice și a condițiilor de lucru, dar în general este inferior și este influențat de hidrodinamica lichidului.

La o analiză globală a procesului de prelucurare prin eroziune electrochimică este mai convenabilă utilizarea și folosirea unui parametru care să descrie efectele echivalente ale electrochimiei și a rezultatului în raport cu curentul. Acest parametru este echivalentul electrochimic efectiv k_v , care este definit prin:

$$k_v = \eta \cdot k_{vt} \quad /2.20/$$

Prin urmare, echivalentul electrochimic efectiv poate să fie determinat prin relația:

$$k_v = \frac{m}{\rho \alpha \cdot I \cdot t} \quad /2.21/$$

$$k_v = \frac{m}{\rho \alpha \cdot I \cdot t} \quad /2.22/$$

Intensitatea curentului I este definită ca fiind raportul dintre sarcina electrică Q și timpul t necesar pentru a realiza sarcina respectivă, adică $I = \frac{Q}{t}$. Sarcina electrică este produsul dintre intensitatea curentului I și timpul t necesar pentru a realiza sarcina respectivă, adică $Q = I \cdot t$. Sarcina electrică este măsurată în coulombi (C) și este egală cu produsul dintre intensitatea curentului I și timpul t necesar pentru a realiza sarcina respectivă, adică $Q = I \cdot t$.

zați, intensitatea curentului electric permite o foarte largă plajă de reglare. Din acest motiv, pentru a asigura condițiile tehnologice impuse piesei se urmărește folosirea unor intensități cât mai mari care asigură atât o durată redusă a prelucrării, cât și, în cele mai multe cazuri, o precizie mai ridicată a prelucrării.

În procesele de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică, se folosesc intensități care să asigure densități ale curentului electric cuprinse între valorile $0,2 \div 5 \text{ A/mm}^2$. Densitatea maximă a curentului de lucru, pentru un caz dat de prelucrare, este limitată de performanțele utilajului folosit.

Timpul de prelucrare influențează direct volumul de material erodat și este în strânsă dependență de parametrii anterior analizați, precum și de valoarea adaosului de prelucrare și precizia piesei supusă prelucrării.

Ținând seama de complexitatea procesului de dizolvare anodică, parametrii de bază ai procesului sînt influențați de un număr mare de factori, iar pentru a asigura o conducere cât mai bună a prelucrării trebuie să se cunoască modul în care acești factori influențează parametrii procesului de prelucrare.

3.3. STATUL ACUAL AL CERCETĂRII PRIVIND REALIZAREA DE UTILAJE DE PRELUCRARE PRIN ERZIUNE ELECTROCHIMICĂ

În prezent, cercetările științifice în domeniul prelucrării prin eroziune electrochimică sînt realizate în principal în țările dezvoltate industrialmente și în special în Statele Unite ale Americii, Japonia, URSS, Anglia și Franța. În țările noastre, cercetările în domeniul tehnologiei de prelucrare prin eroziune electrochimică sînt realizate în principal la Institutul de Cercetări Tehnologice și Inginerești al Academiei de Științe a Republicii Populare Române, în cadrul Departamentului de Inginerie Metalurgică și Tehnologie de Prelucrare. În prezent, cercetările sînt realizate în principal în cadrul Departamentului de Inginerie Metalurgică și Tehnologie de Prelucrare, în cadrul Institutului de Cercetări Tehnologice și Inginerești al Academiei de Științe a Republicii Populare Române.

Din literatura consultată rezultă următoarele tendințe de dezvoltare a cercetărilor din acest domeniu:

- Cercetări privind utilizarea curentului alternativ;
- Dezvoltarea metodei catodice de prelucrare;
- Cercetări privind utilizarea curentului de lucru în regim de puls;
- Cercetări privind utilizarea curentului de lucru în regim de impuls;
- Cercetări privind utilizarea curentului de lucru în regim de impuls în condiții de temperatură ridicată.

În prezent, cercetările sînt realizate în principal în cadrul Departamentului de Inginerie Metalurgică și Tehnologie de Prelucrare.

- Diversificarea utilajelor, creșterea performanțelor și automatizarea lor;
- Cercetări privind utilizarea procedurilor de prelucrare complexă: electroerodaj și electrochimic, rectificarea electrochimică, electrochimia și cu ultrasunete etc.

Datorită complexității mari a procesului de prelucrare precizie și a timpului relativ scurt de când s-a trecut la aplicarea în industrie a acestui procedeu, cercetările publicate abordează o diversitate mare de probleme arate în special pe proces și mai puțin cu referire la aspecte tehnologice și constructive.

Din punct de vedere a domeniilor de aplicare a acestui procedeu de prelucrare se fac frecvente referiri la prelucrarea aliajelor speciale și a suprafețelor complexe în industria aeronautică și spațială, la prelucrarea palețelor de turbină și a matrițelor. Datele prezentate însă sînt foarte sumare, de cele mai multe ori cu o accentuată nuanță publicitară.

În domeniul producției curente, procedeul de prelucrare dimensională prin eroziune electrochimică este foarte puțin întâlnit /K.6/ datorită precizilor relativ scăzute ce nu pot fi etinse pînă în prezent și în special datorită preocupărilor mai reduse cu acest aspect. Această este și motivul pentru care literatura de specialitate nu cuprinde puține date privind prelucrarea ogelurilor slab aliate.

Multitudinea de probleme pe care le ridică încă acest procedeu de prelucrare și creșterea cererii din domeniul de aplicare în industrie și în special pentru aliajele speciale și matrițele, necesită, în opinia noastră, o cercetare sistematică asupra lui, în scopul de a se stabili condițiile de aplicare și de a se realiza un studiu de fezabilitate pentru aplicarea acestui procedeu în prelucrarea ogelurilor slab aliate și în special în prelucrarea ogelurilor slab aliate din matrițele din oțeluri electrochimice.

3. CERCETARI TEORETICE SI EXPERIMENTALE ASUPRA PROCESULUI DE PRELUCRARE FRIE ERIZIUNE ELECTROCHIMICA MICRODINAMICA

Pentru a realiza proiectarea tehnologică este necesară o modelare matematică a procesului de prelucrare care să țină seama de parametrii de bază ai procesului precum și de factorii ce influențează acești parametri. În acest sens trebuie definite legile care corelează caracteristicile tehnologice cu factorii procesului de prelucrare, iar acolo unde complexitatea acestor legături este mare, se impun cercetări experimentale prin care să se găsească relații empirice globale.

Atât componenta teoretică cât și cea experimentală a cercetării trebuie să asigure cunoașterea cât mai în detaliu a procesului, să permită o modelare matematică cât mai simplă și de precizie cât mai ridicată. Pentru a găsi însă un model matematic cât mai simplu trebuie să se elimine factorii care au o influență mai mică asupra procesului, deci să se facă o serie de ipoteze simplificatorii.

Folosind elementele logice prezentate anterior, în cadrul acestui capitol se vor trata legăturile bazate pe legile fizice dintre parametrii procesului de prelucrare și factorii de influență precum și natura acestor legături stabilite pe cale experimentală, pentru factorii a căror legi de influență depășesc sfera cunoașterii până în acest moment.

Pentru a realiza cercetările experimentale au fost concepute și realizate o serie de standuri care au permis o investigație largă a tuturor obiectivelor propuse.

3.1. INSTANȚII FOLCITE PENTRU CERCETAREA ERIZIUNELOR

Pentru studii procesului de eriziune electrochimică microdinamică au fost construite standuri prin care să se poată face o cercetare a principalelor factori ce influențează procesul în condiții de prelucrare fără mișcare de Evans, cu Evans direct și cu Evans invers. Elementul specific acestor standuri este "celula de prelucrare" care conține electrozii, aparatura de măsură și reglare etc.

Dintre standurile folosite se prezintă trei construcții distincte, diferențiate atât prin posibilitățile de Evans pe care le oferă, cât și prin unele particularități privind posibilitățile de reglaj.

3.1.1. Celula de prelucrare cu electrod sculă fix.

Această celulă permite cercetarea procesului de prelucrare dimensional electrochimic la valori ale intensității de maxim 1 A și pentru lungimi de suprafețe de până la 100 cm² [0.15; 0.51; 0.76]. O particularitate a construcției acestei celule este constituția faptului că se

poate cerceta distribuția curentului pe suprafața prelucrată, modificarea condițiilor de prelucrare ca urmare a creșterii concentrației în H_2 precum și a celorlalți factori, în condițiile prelucrării fără avans. Datorită transparenței materialului din care este confecționată celula, există posibilitatea vizualizării și măsurării interstițiului în tot timpul procesului de prelucrare.

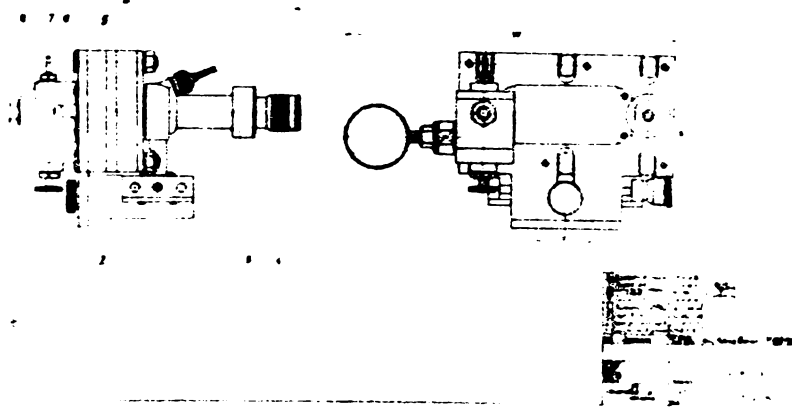


Fig. 3.1

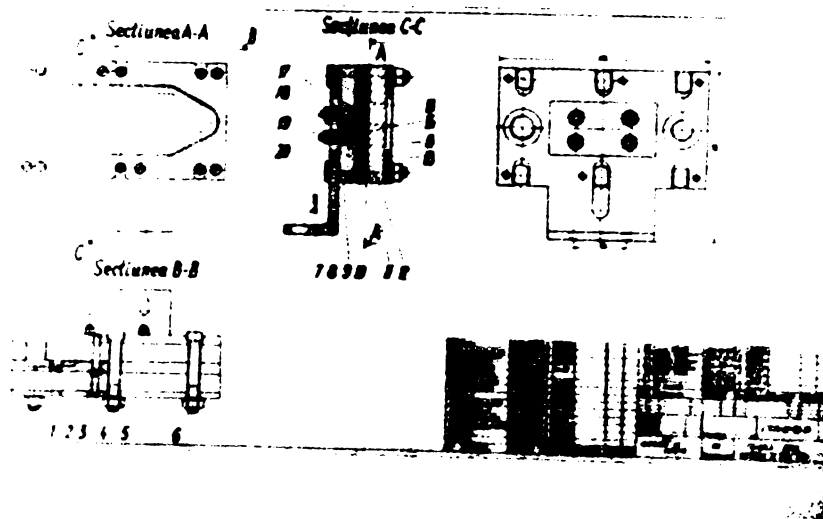


Fig. 3.2

Desenul de execuție al celulei se prezintă în figura 3.1 în care s-a distingut următoarele sub-ansambluri principale: dispozitivul de iluminare a, celula propriu-zisă b, dispozitivul pentru măsurarea intersti-

țiului format din lupa Brinell 3, scama de poziționare 2, supapa 1 și manometrul 4. Celula electrochimică este o construcție tip sandwich /Fig. 3.2/. Anodul /obiectul prelucrării/ poate fi confecționat dintr-o singură bucată cu dimensiunile de 100x5x25 mm, sau din două bucăți de 50x5x25 mm cu posibilitatea de alimentare individuală a fiecărei piese cu energie electrică. Cota de 25 mm reprezentând înălțimea piesei nu este impusă; de altfel ea se modifică în timpul prelucrării.

Catodul este confecționat dintr-o singură bucată și se află în partea inferioară a cavității ce conține cei doi electrozi. Această cavitate este practică într-o placă de textolit ce conține și canalele de intrare și ieșire a electrolitului. În fața și în spatele acesteia se află plăci de plexiglas deasupra cărora se află montate două plăci metalice din oțel inoxidabil care au rolul de a prelua solicitările datorate atât presiunii electrolitului, cât și a forțelor de strângere necesare asigurării etanșării.

Dispozitivul de măsurare a interstițiului de lucru format dintr-o lupă Brinell și un mecanism de poziționare a acesteia permite atât măsurarea interstițiului inițial, a interstițiului final și a variației acestuia de-a lungul suprafeței prelucrate, cât și vizualizarea desfășurării procesului de prelucrare. Precizia de măsurare a interstițiului este de 0,01 mm pe toată lungimea acestuia folosind ca bază de măsurare suprafața utilă a electrodului sculă, suprafață ce nu suferă modificări în procesul de prelucrare electrochimică /uzura electrodului sculă este zero/.

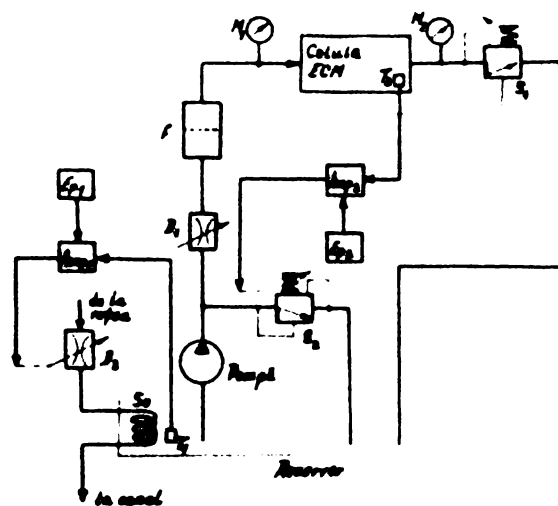


Fig. 3.2

Dispozitivul de poziționare montat pe placa suport a mașinii permite poziționarea lupei pe lungimea interștiului cu o precizie de 0,02 mm.

Sistemul de iluminare este plasat în partea din spate a celulei într-o încălțăminte închisă care asigură protecția becului de iluminat și a bornelor de alimentare cu energie electrică a electrozilor.

Instalația de alimentare cu electrolit este prezentată schematic în figura 3.3.

Electrolitul este pompat din rezervor, cu ajutorul unei pompe speciale cu roți dințate, printr-un filtru F în celula de prelucrare. La ieșire se află montată supapa S_1 prin care se poate regla presiunea la ieșire. Instalația este prevăzută cu un dispozitiv de termostatare a electrolitului din rezervorul de lucru și cu un dispozitiv de control și reglare a temperaturii la ieșirea electrolitului din celulă. Menținerea constantă a temperaturii la ieșire se realizează prin comanda automată a supapei S_2 variind prin aceasta presiunea la intrare a electrolitului și deci, viteza de curgere. Cele două dispozitive de reglare și control a temperaturii se compun dintr-un traductor de temperatură /termistor/ T, un amplificator Am, un element de prescriere Ep și un element de execuție /un motor electric/, care comandă droselul și respectiv supapa S_2 . Presiunea electrolitului la intrarea și ieșirea din celulă se măsoară cu ajutorul manometrelor M_1 și M_2 . Aceste dispozitive permit stabilirea și reglarea temperaturii cu o precizie de $\pm 2^\circ\text{C}$.

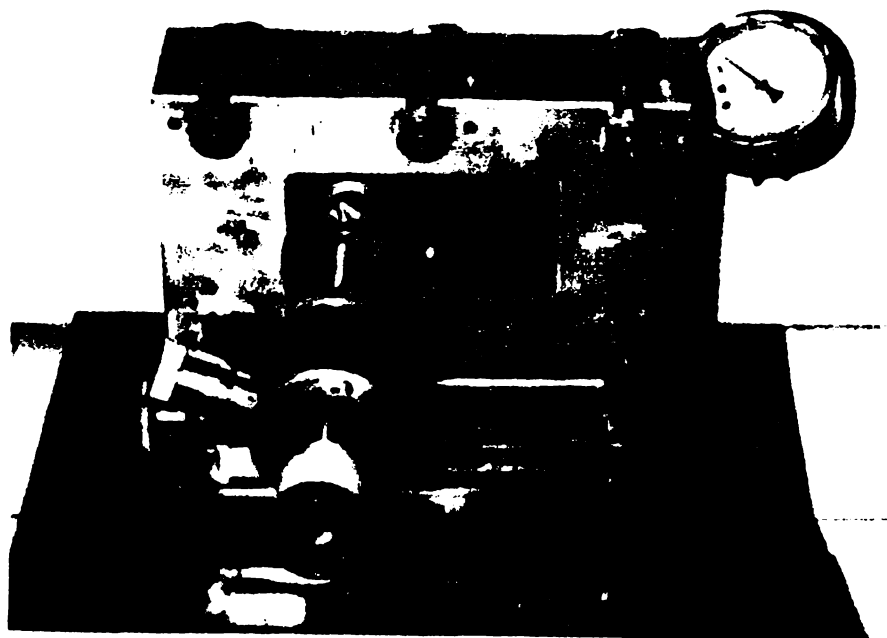


Fig. 3.4

În figura 3.4 se prezintă o vedere de ansamblu a celulei.

Alimentarea cu energie electrică a electrozilor se face de la un redresor de curent continuu utilizat și la mașina MEC-200A./Cap.4/. În cazul divizării lungimii obiectului prelucrării, se montează pe fiecare ramură a circuitului de alimentare cu energie electrică câte un ampermetru pentru a măsura distribuția intensității curentului electric pe lungimea electrozilor.

Această celulă permite prelucrarea electrochimică în patru variante:

Varianta I.

Obiectul prelucrării are lungimea de 100 mm, egală cu cea a electrodului sculă /Fig. 3.5.a/. Reglarea interstițiului la valoarea dorită se asigură cu ajutorul unor spioni care se introduc între suprafețele active ale celor doi electrozi.

Varianta II.

Obiectul prelucrării cu lungimea de 50 mm se montează în zona de intrare a electrolitului în celula de prelucrare. Pentru a asigura aceleași condiții de cîrgere a electrolitului ca în prima variantă, în serie cu obiectul prelucrării se montează un electrod fals, din material izolant, cu lungimea de 50 mm.

Varianta III.

Obiectul prelucrării se montează în zona de ieșire a electrolitului din celulă /Fig. 3.5.b/, avînd montat în zona de intrare a electrolitului același electrod fals.

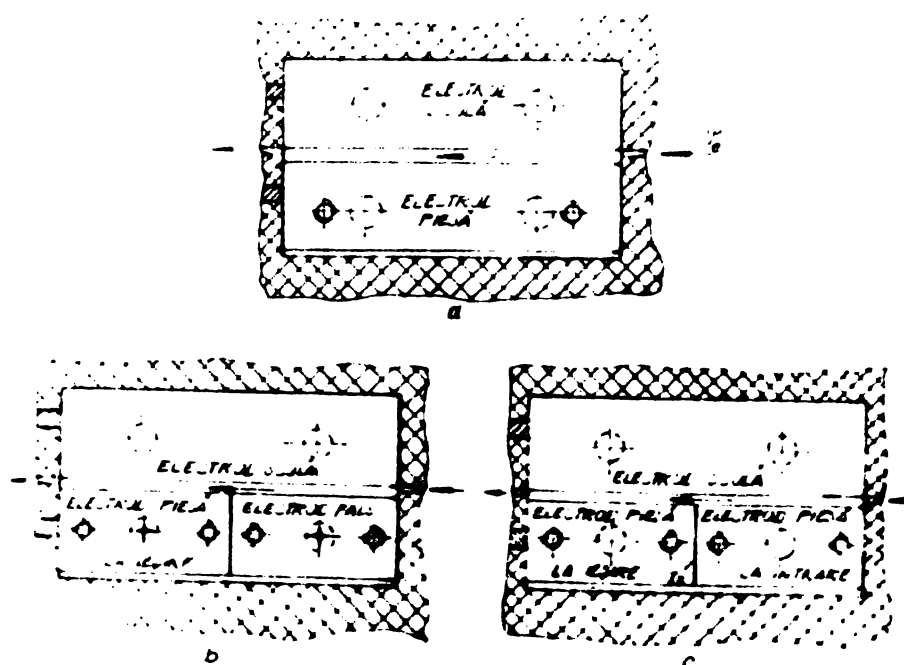


Fig. 3.5

Varianta IV.

Schema de principiu a acestei variante de prelucrare se prezintă în figura 3.5.c. În acest caz, obiectul prelucrării este divizat în două probe, fiecare având lungimea de 50 mm. Între cele două probe se introduce o folie de material izolant pentru a permite măsurarea distribuției intensității curentului pe cele două suprafețe.

Aceste variante permit însă și alte rapoarte între lungimile celor doi electrozi și chiar o divizare multiplă a acestora, cu condiția ca lungimea totală însumată să fie de 100 mm.

Această celulă de prelucrare permite și montarea în interstițiu a unor sonde de presiune și temperatură necesare măsurării distribuției acestor parametri de-a lungul interstițiului.

Posibilitățile pe care le oferă această celulă permite investigații ample privitoare la variația parametrilor procesului de eroziune electrochimică pe lungimea interstițiului de lucru.

3.1.2. Celulă de prelucrare cu avans discret a electrodului sculă.

Concepția constructivă a acestei celule este redată de figura 3.6. Partea superioară este amovibilă și conține mecanismul șurub-piuliță 2 pentru poziționare și / sau avans discret al obiectului prelucrării 3. Legătura acestui mecanism cu obiectul prelucrării se face printr-o tijă cu articulație sferică.

Obiectul prelucrării, de formă prismatică cu grosimea de 5 mm și

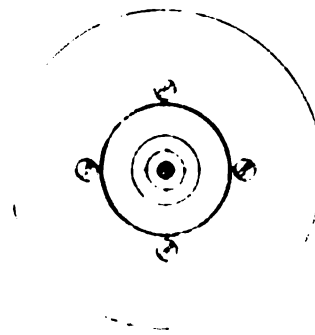
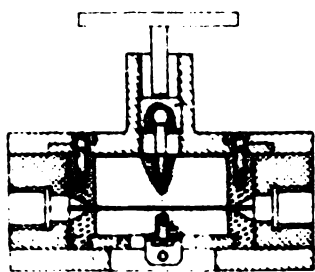


Fig. 3.6



Fig. 3.7

lungimea de 50 mm, este izolat lateral și în același timp ghidat de cepul 4 solidar cu partea superioară a dispozitivului.

Electrodul sculă 1, fix, cu aceleași dimensiuni a părții utile ca cele ale obiectului prelucrării, se află izolat lateral de cepul 5 fixat pe partea inferioară a celulei.

Pentru a realiza diferite interstiții de lucru, între cele două cepuri și interpun niște discuri 6 din material izolant avînd o grosime egală cu cea dorită interstițiului.

După reglarea poziției suprafeței active a obiectului prelucrării la nivelul suprafeței cepului 4, se introduce partea superioară a celulei în corp și se fixează de acesta.

Această celulă permite prelucrarea electrochimică atât cu electrod fix cît și cu avans discret al acestuia. Celula a fost folosită la investigarea influenței factorilor: viteză de curgere a electrolitului, mărimea interstițiului, tensiunea la borne, intensitatea curentului electric, presiunea electrolitului la intrarea și ieșirea din interstițiu, temperatura electrolitului, natura și concentrația acestuia, materialul obiectului prelucrării etc. asupra capacității productive și a preciziei de prelucrare a suprafețelor plane cît și a suprafețelor de configurație complexă.

În figura 3.7 se prezintă o vedere de ansamblu a celulei în stare demontată precum și doi din electrozii utilizați.

Pentru alimentarea cu energie electrică și cu electrolit, s-au folosit aceleași instalații ca pentru celula de prelucrare cu electrod sculă fix /Cap. 3.11/.

3.1.3. Celulă de prelucrare cu avans comandat prin căderea de presiune din interstițiul de lucru.

Această celulă a fost construită și utilizată pentru cercetarea procesului de eroziune electrochimică, în condițiile prelucrării cu mișcare de avans a obiectului prelucrării, urmărindu-se în special elucidarea influenței unui număr mare de factori asupra prelucrabilității prin eroziune electrochimică a diferitelor oțeluri.

În figura 3.8 se prezintă o vedere de ansamblu a celulei de prelucrare. În partea superioară se află dispozitivul de avans care permite reglarea forței de apăsare a elementului mobil /13/, de care se află fixat obiectul prelucrării /10/. Electroful sculă /1/ este fix pe poziție și se află montat pe partea inferioară a camerei de lucru, fiind folosit și ca record pentru trimiterea electrolitului în interstițiul de lucru.

Pe brațul /11/ ridicat de corpul celulei se montează cear

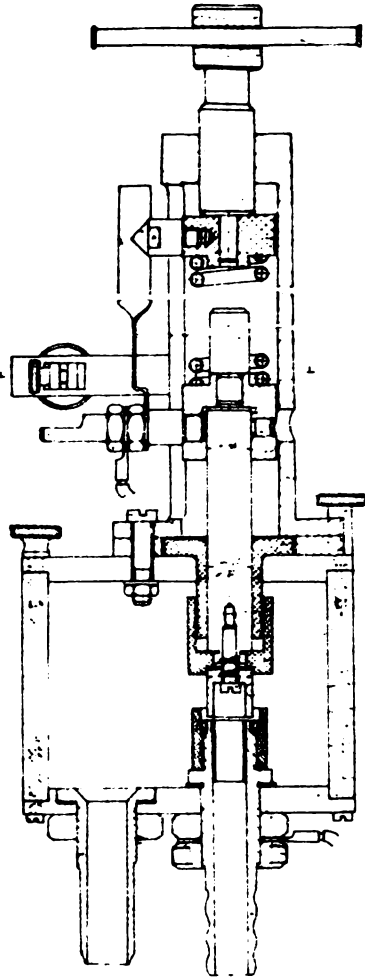


Fig. 3.8

Piesa supusă prelucrării are suprafața activă de formă inelară, cu diametrul exterior de 16 mm și cu cel interior de 10 mm. Această formă permite un control bun al procesului în condițiile prelucrării cu mișcare de avans al electrodului. Figura 3.10 redă o vedere de ansamblu a colulei.

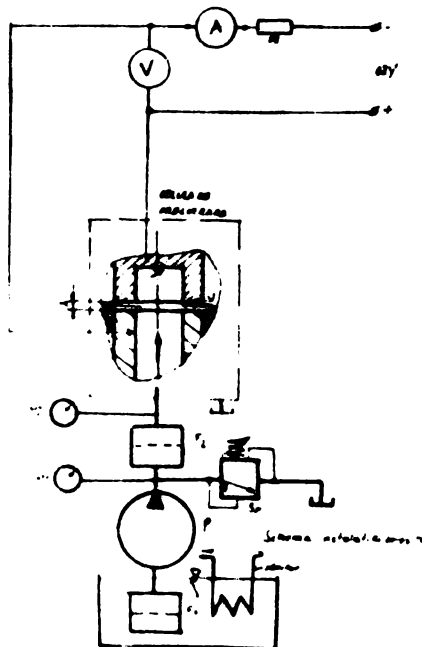


Fig. 3.9

comparator ce palpează tija /29/ legată solidar de elementul mobil /13/, prin care se transmite mișcarea de avans. Ceasul comparator dă posibilitatea citirii atât a valorii interstițiului inițial /care rămâne constant în timpul prelucrării/, cât și a mărimei cursei de avans, deci a adaosului de prelucrare îndepărtat.

În figura 3.9 se prezintă schema de ansamblu a acestui stand în care se evidențiază cele trei părți mari componente: instalația de alimentare cu electrolit, celula de prelucrare și sursa de alimentare cu energie electrică.

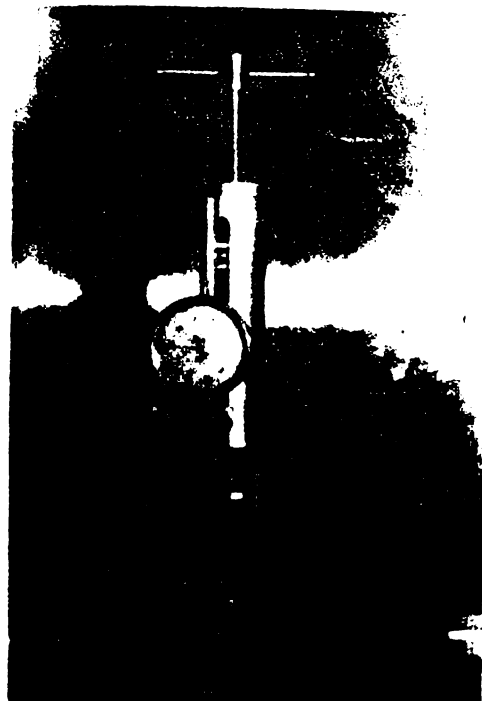


Fig. 3.10

3.2. CONTRIBUTII LA CERCETAREA TEORETICA SI EXPERIMENTALA A PROCESULUI DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTROCHIMICA HIDRODINAMICA

3.2.1. Cercetări teoretice asupra procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică.

Parametrii de bază ai procesului de prelucrare dimensională prin eroziune electrochimică hidrodinamică, prezentați în cadrul capitolului 2.2., sînt niște mărimi globale ce concentrează efectul însumat în timp și spațiu al unor fenomene elementare. Totalitatea acestor fenomene trebuie privită ca un sistem, deci ca un ansamblu de elemente /fenomene/ și legăturile dintre ele prin care dorim să stabilim caracteristicile tehnologice de bază a acestui sistem: capacitatea productivă și precizia de prelucrare.

Pentru caracterizarea capacității productive se folosesc diferiți indicatori ca: viteza de prelucrare, debitul de material erodat, timpul de prelucrare etc.

Analiza preciziei de prelucrare cuprinde cele patru mărimi elementare a preciziei: precizia dimensională, precizia formei geometrice, precizia poziției reciproce și calitatea suprafeței.

Pentru a detalia legăturile precizate mai sus, se consideră schema de prelucrare prezentată în figura 3.11.

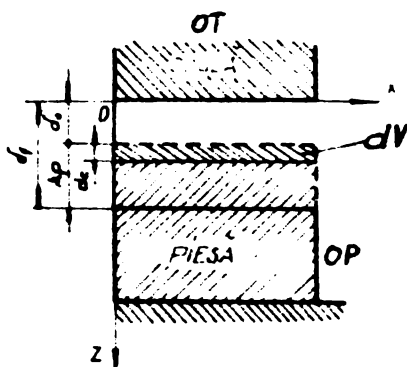


Fig. 3.11

Prin analogie cu relația /2.10/, volumul elementar de material erodat /dV/ poate fi exprimat sub forma:

$$dV = \eta \cdot k_{vt} \cdot dt_p \quad /3.1/$$

Adâncimea elementară a stratului îndepărtat dz, se obține din

$$dz = \frac{dV}{S} = \eta \cdot k_{vt} \cdot \frac{I}{S} \cdot dt_p \quad /3.2/$$

în care S este mărimea suprafeței prelucrate.

Din relația /3.2/ ținînd seama de faptul că raportul $\frac{I}{S}$ reprezintă densitatea curentului electric J, se poate scrie expresia vitezei de dizolvare anodică:

$$v_{\Delta} = \frac{dz}{dt_p} = \eta \cdot k_{vt} \cdot J \quad /3.3/$$

Deci, viteza de dizolvare anodică este determinată de randamentul

în raport cu curentul, echivalentul electrochimic volumic și densitatea de curent.

Dacă se ia în considerare schema electrică a celulei de prelucrare prezentată în figura 2.8, intensitatea curentului electric se poate scrie sub forma:

$$I = \frac{E - (\Delta\phi_A + \Delta\phi_C)}{r + R + R_c + R_e + r_c + r_a + r_n + R_A} \quad /3.4/$$

Atunci, ținând seama și de expresia lui k_{vt} , relația /3.3/ devine:

$$v_A = \eta \cdot \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{E - (\Delta\phi_A + \Delta\phi_C)}{(r + R + R_c + R_e + r_c + r_a + r_n + R_A)} \quad /3.5/$$

Dacă se notează:

$$V_p = \Delta\phi_A + \Delta\phi_C + I(r_c + r_a + r_n) \quad /3.6/$$

$$R_R = R + R_c + R_A \quad /3.7/$$

$$R_{ex} = R_R + r \quad /3.8/$$

$$R_e = \frac{z}{\kappa_e \cdot S} \quad /3.9/$$

și

$$U = E - I \cdot R_{ex} \quad /3.10/$$

Putem scrie o relație mai concentrată care să definească viteza de dizolvare

$$v_A = \eta \cdot k_{vt} \cdot \frac{U - V_p}{z} \quad /3.11/$$

Cum valorile rezistențelor cuprinse în relația /3.5/ și a potențialelor nu pot fi determinate riguros pe cale matematică atât datorită lipsei unor modele matematice, cât și a numărului mare de factori ce influențează în parte fiecare din aceste mărimi, relația /3.11/ este mult mai accesibilă deoarece parametrii conținuți pot fi determinați, măsurați, sau stabiliți pe cale experimentală.

Din relațiile /3.2/ și /3.11/ rezultă următoarea formă pentru expresia grosimii elementare de material erodat:

$$dz = \frac{\eta \cdot k_{vt} \cdot (U - V_p) \cdot \kappa_e}{z} \cdot dt_p \quad /3.12/$$

Integrând ecuația /3.12/ de la 0 la t_p pentru care z ia valorile d_0 și d_f , se obține expresia interstițiului final:

$$d_f = \sqrt{d_0^2 + 2 \cdot \eta \cdot k_{vt} \cdot \kappa_e \cdot (U - V_p) \cdot t_p} \quad /3.13/$$

Din figura 3.11 rezultă și expresia geometrică a adăosului de pre-

lucrare

$$A_p = d_f - d_o \quad /3.14/$$

Folosind relația /3.13/, expresia /3.14/ devine:

$$A_p = \sqrt{d_o^2 + 2 \cdot \eta \cdot k_{vt} \cdot \kappa_e \cdot (U - V_p) \cdot t_p} - d_o \quad /3.15/$$

Tot din relația /3.13/ se poate explicita și timpul necesar prelucrării în cazul variației interstițiului între limitele

$$t_p = \frac{(d_f^2 - d_o^2)}{2 \cdot \eta \cdot k_{vt} \cdot \kappa_e \cdot (U - V_p)} \quad /3.16/$$

sau, ținând seama de adăosul de prelucrare

$$t_p = \frac{A_p \cdot (A_p + 2 \cdot d_o)}{2 \cdot \eta \cdot k_{vt} \cdot \kappa_e \cdot (U - V_p)} \quad /3.17/$$

Folosind relația /3.11/ care definește viteza de dizolvare corespunzătoare valorii curente a interstițiului z , se poate stabili expresia vitezei de dizolvare în momentul stingerii interstițiului final

$$v_{Af} = \frac{\eta \cdot k_{vt} \cdot \kappa_e \cdot (U - V_p)}{\sqrt{d_o^2 + 2 \cdot \eta \cdot k_{vt} \cdot \kappa_e \cdot (U - V_p)}} \quad /3.18/$$

Viteza medie de dizolvare realizată în timpul îndepărtării adăosului A_p este:

$$v_{Am} = \frac{A_p}{t_p} \quad /3.19/$$

sau

$$v_{Am} = \frac{2 \cdot \eta \cdot k_{vt} \cdot \kappa_e \cdot (U - V_p)}{A_p + 2 \cdot d_o} \quad /3.20/$$

Din punct de vedere al cinematiei mișcării electrozilor, prelucrarea dimensională prin eroziune electrochimică poate fi cuprinsă într-una din următoarele situații /Fig. 3.12/.

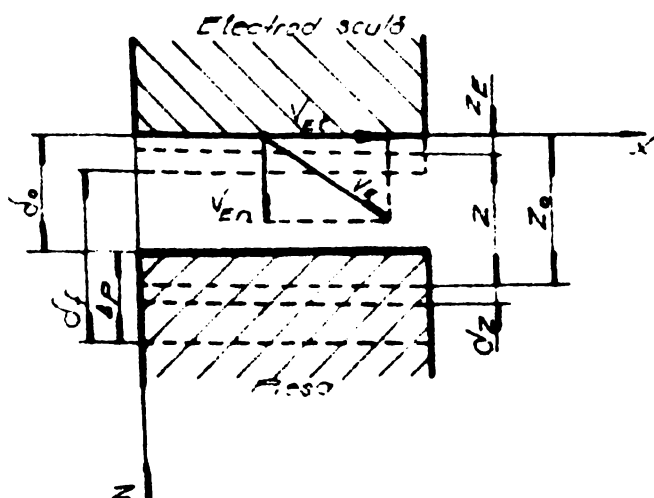


Fig. 3.12

Cazul 1. Prelucrarea

fără mișcare de avans a electrozilor / $v_e = 0$ /.Ținând seama de caracteristicile prelucrării prin eroziune electrochimică, capacitatea productivă poate fi evaluată printr-unul din următorii indicatori: viteza de dizolvare / v_d /, timpul de prelucra-

re $/t_p/$, adaosul de prelucrare îndepărtat $/A_p/$, sau debitul de material erodat $/Q_A/$. Acest caz de prelucrare corespunde celui analizat prin figura 3.11. Ca urmare, relațiile stabilite pentru indicatorii propuși rămân aceleași.

Debitul de material erodat în cazul prelucrării suprafeței S este:

$$Q_A = v_A \cdot S \quad /3.21/$$

sau ținând seama de expresia vitezei medii de dizolvare /relația 3.20/, debitul mediu de material erodat se poate scrie:

$$Q_{Am} = \frac{2 \cdot \eta \cdot k_{vt} \cdot \kappa_e \cdot (U - v_p) \cdot S}{A_p + 2 \cdot d_0} \quad /3.22/$$

Precizia prelucrării dimensionale prin eroziunea electrochimică hidrodinamică este influențată de următoarele grupe de factori /Fig. 3.13.c/ [K.16]:

- 1.- Precizia geometrică a mașinii;
- 2.- Operatorul care deservește mașina;
- 3.- Caracteristicile obiectului prelucrării și ale electrodului sculă;
- 4.- Deformațiile termice ale unor elemente din sistemul tehnologic;
- 5.- Deformațiile elastice ale sistemului tehnologic de prelucrare;
- 6.- Precizia de instalare a obiectului prelucrării;
- 7.- Caracteristicile regizului de prelucrare /parametrii electrice, caracteristicile electrolitului, sistemul de vens etc./;
- 8.- Precizia de reglare a mașinii anelte.

Precizia dimensională a prelucrării electrochimice

Pentru anumite condiții de prelucrare date, primele trei grupe de factori pot fi considerate că influențează precizia de prelucrare sub forma unor erori sistematice, pe când următoarele cinci grupe intervin ca erori întâmplătoare. Dacă se ia în considerare și faptul că grupele de factori 4, 5 și 6 au o distribuție normală, iar factorii 7 și 8 o distribuție după legea probabilităților egale [L.2], se poate scrie relația de calcul a erorii dimensionale sub formă analitică cu cea întâlnită la rezolvarea lanțurilor de dimensiuni cu elemente liniare

$$\Delta_D = \sqrt{\Delta_T^2 + \Delta_F^2 + \Delta_I^2 + 3\Delta_{df}^2 + 3\Delta_R^2} \quad /3.23/$$

Din totalitatea acestor erori, cea caracteristică prelucrării dimensionale prin eroziune electrochimică este Δ_{df} , care reprezintă eroarea interstițială dintre electrozi /Fig. 3.13.e,1/.

$$\Delta_{df} = d_{f \max} - d_{f \min} \quad /3.24/$$

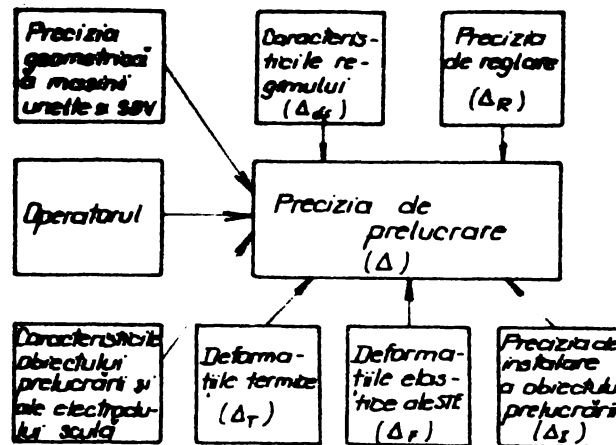
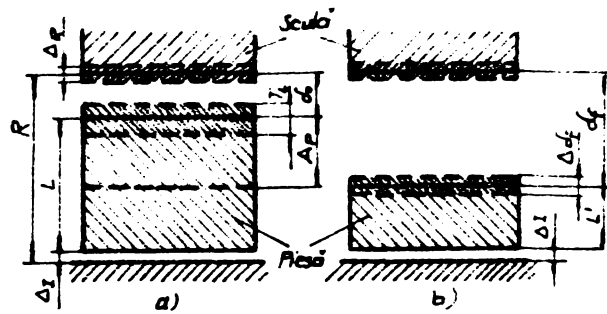


Fig. 3.13

Interstițiul final poate atinge două valori limită, în cazul prelucrării seriei de piese, datorită variației parametrilor procesului de prelucrare.

În cazul cel mai general, pornind de la relația /3.13/, valorile limită ale interstițiului final sînt:

$$d_{f \max} = \sqrt{d_{0 \max}^2 + 2 \left[\eta \cdot \chi_e \cdot k_{vt} \cdot (U - v_p) \right]_{\max} \cdot t_{p \max}} \quad /3.25/$$

$$d_{f \min} = \sqrt{d_{0 \min}^2 + 2 \left[\eta \cdot \chi_e \cdot k_{vt} \cdot (U - v_p) \right]_{\min} \cdot t_{p \min}} \quad /3.26/$$

Valorile limită de variație a interstițiului inițial pot fi calculate calculate dacă se cunoaște eroarea de reglare, toleranța la dimensiune a semifabricatului și eroarea de instalare.

$$d_{0 \max} = d_0 + \frac{1}{2} \Delta_R + \frac{1}{2} T_L \quad /3.27/$$

$$d_{0 \min} = d_0 - \frac{1}{2} \Delta_R - \frac{1}{2} T_L - \Delta I \quad /3.28/$$

Grupul de factori cuprinși în paranteza dreaptă pot defini un parametru global al procesului pentru care s-a folosit noțiunea de "caracteristica regimului de prelucrare".

$$B = \eta \cdot \chi_e \cdot k_{vt} \cdot (U - v_p) \quad /3.29/$$

În absența parametru global, pentru un anumit caz de prelucrare, poate fi stabilit în condiții mult mai ușoare pe cale experimentală, ca o funcție de unul sau doi parametri și căror pondere a influenței este mai mare.

Precizia duratei prelucrării depinde de precizia dispozitivului de temporizare folosit (Δ_{tp})

$$t_{\max} = t + \frac{1}{2} \Delta_{tp} \quad /3.30/$$

$$t_{\min} = t - \frac{1}{2} \Delta_{tp} \quad /3.31/$$

Tinând seama de expresiile /3.25 + 3.31/, precizia dimensională realizată în procesul de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică poate fi dimensionată cu ajutorul relației /3.32/

$$\Delta_{df} = \sqrt{(\sigma_0 + \frac{1}{2} \Delta_R + \frac{1}{2} T_L)^2 + 2 \cdot B_{\max} \cdot (t_p + \frac{1}{2} \Delta_{tp})} - \sqrt{(\sigma_0 - \frac{1}{2} \Delta_R - \frac{1}{2} T_L - \Delta_I)^2 + 2 \cdot B_{\min} \cdot (t_p - \frac{1}{2} \Delta_{tp})} \quad /3.32/$$

Precizia formei geometrice

În procesul de prelucrare prin eroziune electrochimică, parametrii de bază sînt variabili și după direcția x /după lungimea interstițiului/, ceea ce provoacă o variație a interstițiului după această direcție și deci, apariția unor abateri de la forma geometrică.

Caracteristica regimului de prelucrare /B/ și doi parametri de x care această mărime depinde au o variație complexă după această direcție, modelarea matematică putîndu-se realiza numai pe baza rezultatelor obținute prin cercetările experimentale.

Din acest motiv, deocamdată propunem analiza preciziei geometrice condiționată numai de variația interstițiului inițial, la o valoare constantă a caracteristicii regimului de prelucrare.

La prelucrarea electrochimică de obicei forma inițială a obiectului prelucrării diferă de forma suprafeței electrodului sculă și de cea finală.

Considerînd prelucrarea unei piese ca cea reprezentată în figura 3.14, pentru care parametrul variabil este interstițiul inițial, abate-

rea de la forma geometrică este dată de:

$$\Delta_G = \sigma_{f_2} - \sigma_{f_1} \quad /3.33/$$

Dacă se ține seama de expresia /3.13/ care dă interstițiul final al prelucrării, se obține:

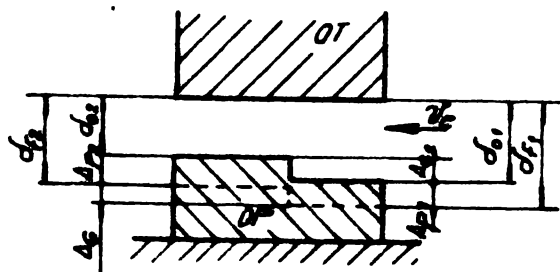


Fig. 3.14

$$\Delta_G = \sqrt{\sigma_{01}^2 + 2 \cdot E \cdot t_p} - \sqrt{\sigma_{02}^2 + 2 \cdot E \cdot t_p} \quad /3.34/$$

Tinând seama însă de legătura interstițiilor inițiale cu abaterea inițială de la forma parametrică Δ_{G_0}

$$d_{o1} = d_{o2} + \Delta_{G_0} \quad /3.35/$$

Atunci, relația /3.34/ devine:

$$\Delta_G = \sqrt{(d_{o2} + \Delta_{G_0})^2 + 2 \cdot E \cdot t_p} - \sqrt{d_{o2}^2 + 2 \cdot E \cdot t_p} \quad /3.36/$$

Calitatea suprafeței

Se vor analiza cele două aspecte legate de calitatea suprafeței și anume: rugozitatea suprafețelor și starea stratului superficial.

Rugozitatea suprafeței rezultate în urma procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică depinde atât de parametrii de bază ai procesului de prelucrare, cât și de starea materialului prelucrat și în special de omogenitatea lui și mărimea granulației.

Făcând aceeași ipoteză simplificatorie ca și la precizia formei geometrice $/B=ct/$ și folosind același raționament, rezultă că în procesul de prelucrare, netezirea microneregularităților suprafeței este obținută

ca urmare a distribuției diferențiate a densității curentului pe vârful neregularității în raport cu zona de bază.

Schema de principiu a procesului de netezire este redată în figura 3.15, pentru care se poate scrie:

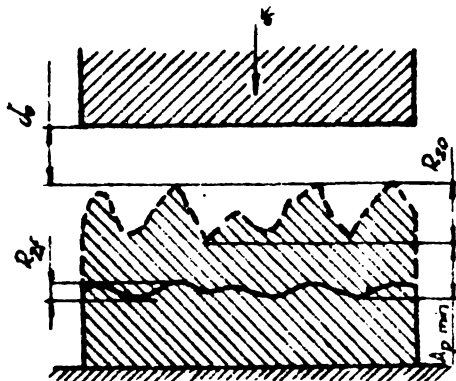


Fig. 3.15

$$R_{zf} = \sqrt{(d_0 + R_{z0})^2 + 2 \cdot E \cdot t_p} - \sqrt{d_0^2 + 2 \cdot E \cdot t_p} \quad /3.37/$$

Iar valoarea adaosului minim necesar a fi îndepărtat pentru a obține rugozitatea finală dorită poate fi stabilit prin:

$$A_{p \text{ min}} = \sqrt{d_0^2 + 2 \cdot E \cdot t_p} - (d_0 + R_{z0} - R_{zf}) \quad /3.38/$$

Relațiile stabilite /3.37 și 3.38/ sînt în concordanță cu rezultatele experimentale în cazul prelucrării oțelurilor slab aliate numai în măsura în care microneregularitățile suprafeței sînt de cel puțin patru ori mai mari decît grosimea stratului de difuzie.

Pentru valori mai reduse ale rugozității suprafeței, netezirea este condiționată în măsură foarte mare de procesele complexe din stratul din apropierea anodului, ceea ce face posibilă estimarea rugozității finale numai pe cale experimentală.

În procesul de prelucrare prin eroziune electrochimică, solicitarea

rea mecanică și termică a suprafeței obiectului prelucrării este foarte redusă și deci, neglijabilă ca influență asupra stării stratului superficial. În conformitate însă cu accepțiunea modernă a noțiunii de "starea stratului superficial", aceasta cuprinde o complexitate de aspecte ca structura stratului superficial, gradul de deformare a acestui strat, tensiunile remanente și proprietățile optice, magnetice, electrice, adezionale etc.

Ca un efect defavorabil asupra stratului superficial este așa numitul proces de "decapare" care constă într-o dizolvare preferențială, la limitele grăunților, motivată de potențialele de electrod diferite a componentelor materialului de prelucrat [63]. Un proces mai intens de "decapare" se manifestă la prelucrarea oțelurilor austenitice și a aliajelor cu nichel în electroliți pe bază de Na Cl.

În figura 3.16 este redată influența pe care o are asupra adâncimii de decapare densitatea curentului electric și temperatura electrolitului /curbele: 1 - $t = 25^{\circ}\text{C}$; 2 - $t = 38^{\circ}\text{C}$; 3 - $t = 50^{\circ}\text{C}$ /. Explicarea

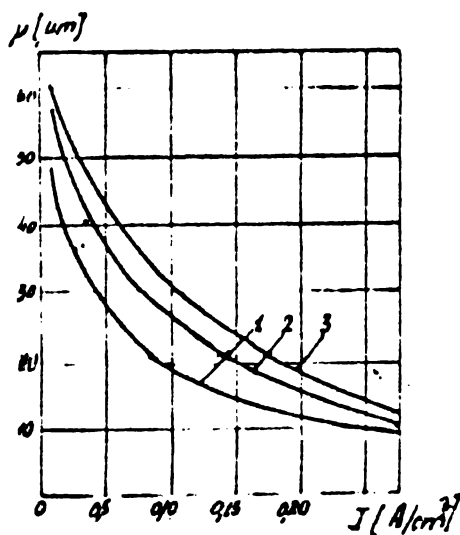


Fig. 3.16

scăderii adâncimii de decapare la limita grăunților prin creșterea densității curentului și scăderea temperaturii electrolitului se poate face pe seama creșterii vîscozității electrolitului în stratul apropiat anodului, fenomen ce frînează procesele de difuzie legate de mișcarea ionilor de pe suprafața anodului.

Si în acest caz nu este posibilă o estimare bazată pe relații fenomenologice a adâncimii stratului decapat, motiv pentru care evaluarea acestei caracteristici este posibilă numai pe cale experimentală.

Cazul 2.

Prelucrarea cu mișcare de avans $v_e \neq 0$ a electrozilor se poate realiza, în funcție de direcția de avans, în următoarele variante de prelucrare:

Varianta A. Prelucrarea cu avans de pătrundere $v_{En} = v_e \neq 0$; $v_{Et} = 0$
Fig. 3.12/.

În cazul cel mai general, deplasarea electrodului sculă în timpul prelucrării se realizează după legea:

$$z_E = \varphi(t)$$

/3.39/

Considerând originea coordonatei z mobilă, datorită procesului de eroziune și deplasării electrodului sculă, valoarea curentă a interstițiului va fi

$$z = z_0 - \varphi(t) \quad /3.40/$$

Derivând relația /3.40/ în raport cu timpul, se obține

$$\frac{dz}{dt} = \frac{dz_0}{dt} - \frac{d\varphi(t)}{dt} \quad /3.41/$$

în care

$\frac{dz}{dt}$ este viteza de variație a interstițiului

$\frac{dz_0}{dt} = v_A$ - viteza de dizolvare în procesul de prelucrare fără mișcare de avans /relația 3.11/

$\frac{d\varphi(t)}{dt} = v_E$ - viteza de avans a electrodului sculă /pentru cazul $v_E = \text{ct.}/$

Relația /3.41/ poate fi scrisă sub forma:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\eta \cdot k_{vt} \cdot (U - V_p) \cdot \chi_e}{z} - v_E \quad /3.42/$$

Din această relație rezultă că viteza de variație a interstițiului este dependentă de viteza de dizolvare anodică și de viteza de avans a electrodului sculă. În funcție de cele două viteze se pot întâlni următoarele situații:

I. $\frac{dz}{dt} = 0$, adică cele două viteze sînt egale și deci interstițiul rămîne constant în tot timpul prelucrării /Fig. 3.17.a/. Interstițiul corespunzător acestei situații poartă denumirea de "interstițiul de echilibru" (δ_e)

$$\delta_e = \frac{\eta \cdot k_{vt} \cdot (U - V_p) \cdot \chi_e}{v_E} \quad /3.43/$$

sau, ținînd seama de expresia /3.29/

$$\delta_e = \frac{b}{v_E} \quad /3.44/$$

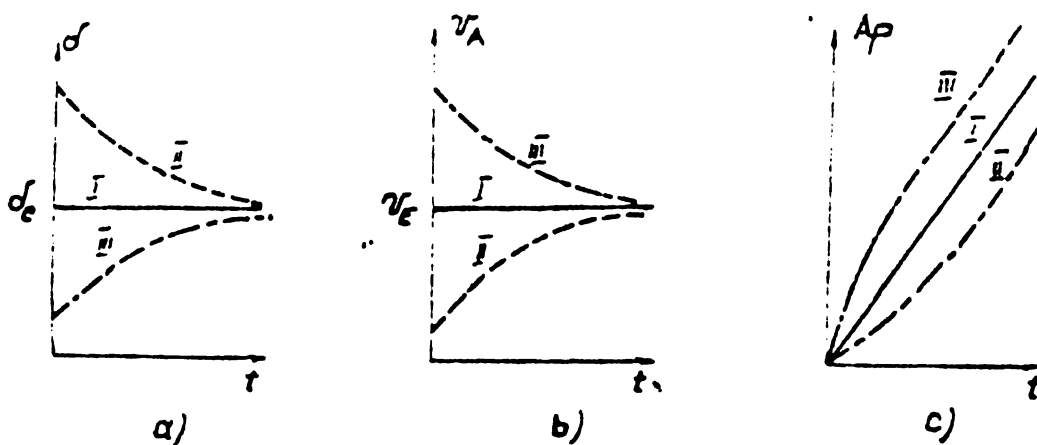


Fig. 3.17

Ca urmare, valoarea adaosului de prelucrare îndepărtat este proporțional cu timpul /Fig. 3.17.c/

$$A_p = v_E \cdot t_p \quad /3.45/$$

II. $\frac{dz}{dt} < 0$, adică viteza electrozodului este mai mare decât viteza de dizolvare anodică. O asemenea situație este întâlnită atunci când interstițiul inițial este mai mare decât interstițiul de echilibru.

Relația /3.42/ poate fi scrisă sub forma:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{B - z \cdot v_E}{z} \quad /3.46/$$

Cum $\frac{B}{v_E} = \sigma_e$ și $\frac{dz}{dt} < 0$, se obține:

$$- \frac{z \cdot dz}{z - \sigma_e} = v_E \cdot dt \quad /3.47/$$

Integrând această ecuație diferențială de la 0 la t_p pentru variația interstițiului de la σ_o la σ_f , se obține:

$$v_E \cdot t_p = \sigma_o - \sigma_f + \sigma_e \ln \frac{\sigma_o - \sigma_e}{\sigma_f - \sigma_e} \quad /3.48/$$

De aici rezultă timpul necesar prelucrării

$$t_p = \frac{1}{v_E} (\sigma_o - \sigma_f + \sigma_e \ln \frac{\sigma_o - \sigma_e}{\sigma_f - \sigma_e}) \quad /3.49/$$

Din figura 3.12 se poate dimensiona adaosul de prelucrare detașat în timpul t_p

$$A_p = v_E \cdot t_p \cdot (\sigma_o - \sigma_f) \quad /3.50/$$

Din relațiile /3.49 și 3.50/ se poate scrie:

$$A_p = \sigma_e \ln \frac{\sigma_o - \sigma_e}{\sigma_f - \sigma_e} \quad /3.51/$$

Teoretic, din relațiile /3.49 și 3.51/ rezultă că interstițiul de echilibru $\sigma_f = \sigma_e$ se poate atinge numai pentru o durată a procesului de prelucrare sau la o valoare a adaosului de prelucrare infinit de mare. Acest aspect este relat și de figura 3.17.a prin curba II care tinde aritmetic la valoarea interstițiului de echilibru.

La fel, din figura 3.17.b, se poate remarca faptul că și viteza de dizolvare anodică crește în timpul prelucrării tinzând asimptotic la valoarea vitezei de avans.

Folosind expresia /3.51/ se poate explica interstițiul final:

$$\sigma_f = \sigma_e + \frac{\sigma_o - \sigma_e}{e \cdot A_p / \sigma_e} \quad /3.52/$$

Sau, ținând seama de relațiile /3.29 și 3.44/, se poate defini mărimea interstițiului final în funcție de parametri primari ai procesului de prelucrare:

$$\sigma_f = \frac{\eta \cdot k_{vt} \cdot (U - v_p) \cdot \kappa_e}{v_E} + \frac{\sigma_0 - \frac{\eta \cdot k_{vt} \cdot (U - v_p) \cdot \kappa_e}{v_E}}{e^{\frac{A_p \cdot v_E}{\eta \cdot k_{vt} \cdot (U - v_p) \cdot \kappa_e}}} \quad /3.53/$$

Din expresiile /3.29; 3.44; 3.50 și 3.51/ se obțin:

$$\sigma_f = \frac{\eta \cdot k_{vt} \cdot (U - v) \cdot \kappa_e}{v_E} \left[1 + e^{\frac{A_p \cdot v}{\eta \cdot k_{vt} \cdot (U - v) \cdot \kappa_e}} \right] \quad /3.54/$$

$$\sigma_f = \sigma_0 + \frac{\eta \cdot k_{vt} \cdot (U - v_p) \cdot \kappa_e}{v_E} + \frac{\sigma_0 - \frac{\eta \cdot k_{vt} \cdot (U - v_p) \cdot \kappa_e}{v_E}}{e^{\frac{A_p \cdot v_E}{\eta \cdot k_{vt} \cdot (U - v_p) \cdot \kappa_e}}} \quad /3.55/$$

1. $\frac{U}{v_p} > e$, adică viteza de avans este mai mică decât viteza de înălțare în momentul inițierii prelucrării. Acest caz este caracterizat prin:

$$\sigma_0 < \sigma_f$$

Termenul de la ecuația /3.55/, primind un raționament similar cu cel anterior, se poate scrie arăta că:

$$\sigma_f = \left(\sigma_0 - \sigma_f + \sigma_f \ln \frac{\sigma_0 - \sigma_f}{\sigma_f - \sigma_0} \right) \quad /3.56/$$

$$\sigma_0 \cdot \ln \frac{\sigma_0 - \sigma_f}{\sigma_f - \sigma_0} \quad /3.57/$$

În cazul în care $\frac{U}{v_p} < e$, adică viteza de avans este mai mare decât viteza de înălțare în momentul inițierii prelucrării. Acest caz este caracterizat prin:

$\sigma_0 > \sigma_f$

$$\Delta \sigma_f = \frac{\sigma_{o \max} - \sigma_{o \min}}{e \frac{A_p \cdot v_E}{B}} \quad /3.58/$$

- pentru cazul cel mai nefavorabil

$$\Delta \sigma_f = \frac{B_{\max}}{v_E} + \frac{\sigma_{o \max} - \frac{B_{\max}}{v_E}}{e \frac{A_p \cdot v_E}{B_{\max}}} - \frac{B_{\min}}{v_E} - \frac{\sigma_{o \min} - \frac{B_{\min}}{v_E}}{e \frac{A_p \cdot v_E}{B_{\min}}} \quad /3.59/$$

Iar pentru schimbarea de la forma geometrică, în ipoteza $B = \text{ct.}$ /3.14/

$$\Delta \sigma_g = \frac{\Delta \sigma_o}{e \frac{A_{p1} \cdot v_E}{B}} \quad /3.60/$$

Pentru $B = \text{ct.}$, în cazul cel mai nefavorabil, schimbarea la formă geometrică va fi:

$$\Delta \sigma_g = \frac{\sigma_{o \min} - \frac{B_{\min}}{v_E}}{e \frac{A_{p1} \cdot v_E}{B}} + \frac{\sigma_{o \max} - \frac{B_{\max}}{v_E}}{e \frac{A_{p1} \cdot v_E}{B}} - \frac{\sigma_{o \min} - \frac{B_{\min}}{v_E}}{e \frac{A_{p2} \cdot v_E}{B}} - \frac{\sigma_{o \max} - \frac{B_{\max}}{v_E}}{e \frac{A_{p2} \cdot v_E}{B}} \quad /3.61/$$

Deci se consideră prelucrarea cu viteză de strălucire în ipoteza schimbării de la forma geometrică /3.14/ și în ipoteza schimbării de la formă, rezultă că variația temperaturii la formă cu schimbarea la strălucire este $\sigma_o = \sigma_f$, este:

$$\frac{\Delta \sigma_g}{\Delta \sigma_f} = \frac{\Delta \sigma_g}{\sigma_o + \Delta \sigma_g} \quad /3.62/$$

Iar pentru cazul /3.61/ între $\Delta \sigma_g$ și $\Delta \sigma_f$ avem $\Delta \sigma_g = \Delta \sigma_f$ pentru $v_E = \text{ct.}$ și în ipoteza schimbării de la formă geometrică și în ipoteza schimbării de la formă, rezultă că variația temperaturii la formă cu schimbarea la strălucire este $\sigma_o = \sigma_f$, este:

$$\Delta \sigma_g = \Delta \sigma_f \left(\Delta \sigma_g - \Delta \sigma_f \frac{\Delta \sigma_g}{\sigma_o + \Delta \sigma_g} \right) \quad /3.63/$$

cel anterior obține:

$$\Delta_g = \frac{\Delta_{G0}}{e \frac{d_0}{d_g}} \left(1 - \frac{1}{e \frac{d_0}{d_g}} \right)$$

De aici, adunând la anumită eroare de form. (Δ_g) va fi de calculare, poate calcula corecția necesară electrodului.

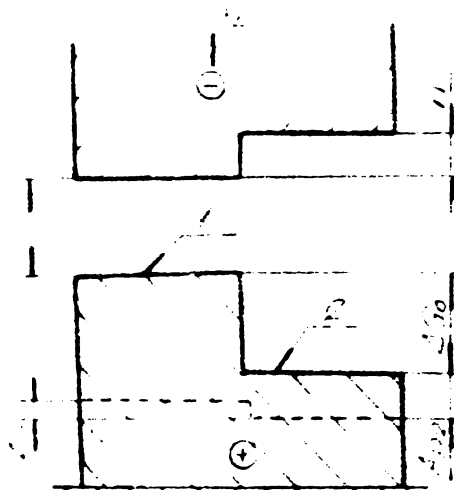
$$h = \frac{\Delta_{G0} - \Delta_g \cdot e^{-\frac{d_0}{d_g}}}{e \frac{d_0}{d_g} - 1} \quad /3.65/$$

Sau, pentru corectarea complet a erorii inițiale

($\Delta_g = 0$), se obține:

$$h = \frac{\Delta_{G0}}{e \frac{d_0}{d_g} - 1} \quad /3.66/$$

Una interstițiu inițial este diferită cel de ecuații ($d_0 \neq d_e$)



... de calculare ...

$$h_{max} = \frac{\Delta_{G0}}{e \frac{d_0}{d_g} - 1} \quad /3.67/$$

... de calculare ...

$$t_p = \frac{1}{v_E} \left(R_{zo} - R_{zf} + \frac{E}{v_E} \ln \frac{R_{zo}}{R_{zf}} \right) \quad /3.69/$$

Relațiile /3.67/, /3.68/ și /3.69/ sînt stabilite în condițiile

$$j_e = \frac{E}{v_E} = j_0 ; E = ct \quad \text{și} \quad v_E = ct$$

Un alt caz general pe care îl vom analiza este al unui grup de electrozi sculă în trepte /Fig. 3.19/.

În această situație se urmărește realizarea unei suprafețe în trepte pe obiectul prelucrării. Dacă prelucrarea se desfășoară la viteză constantă de avans în condițiile stabilite anterior, atunci (deși de fapt) timpul de prelucrare necesar atingerii unei diferențe h_a între pozițiile suprafeței obiectului prelucrării este:

$$t_p = \frac{1}{v_E} \left(h_a + j_0 \ln \frac{h}{h - h_a} \right) \quad /3.70/$$

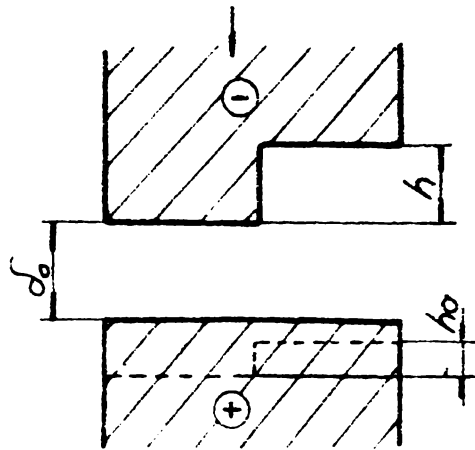


Fig. 3.19

În cazul în care se urmărește realizarea unei suprafețe în trepte pe obiectul prelucrării, atunci timpul de prelucrare necesar atingerii unei diferențe h_a între pozițiile suprafeței obiectului prelucrării este:

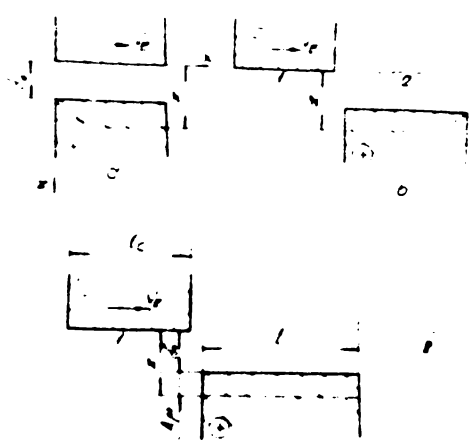


Fig. 3.20

Se obține următoarea ecuație diferențială:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{B}{z \cdot v_E} \quad /3.72/$$

Care integrată pentru x cuprins între 0 - X și z cuprins între δ_0 și z , rezultă:

$$z = \sqrt{\delta_0^2 + 2 \cdot B \cdot \frac{x}{v_E}} \quad /3.73/$$

Din această expresie rezultă că interstițial este variabil după direcția x și deci, suprafața prelucrată va avea o abatere de la forma geometrică așa cum este reprezentată cu linii întrerupte în figura 3.0.c. Dacă lungimea suprafeței de prelucrat (l) este mai mare decât lungimea suprafeței electrolitului de l_c atunci valcerea finală interstițială δ ține deplasarea electrodului scull la distanța

$$\delta = \sqrt{\delta_0^2 + 2 \cdot B \cdot \frac{l_c}{v_E}} \quad /3.74/$$

La prelucrarea în sens invers interstițialul δ este

II. Anodizarea prin anodizare (Fig. 3.0.d). În cazul obiectului prelucrat (Fig. 3.0.d).

anodul este situat pe cel exterior, însoțit de un câmp magnetic în direcția obiectului obținut în zona de inițiere a curentului de prelucrare.

III. Prelucrarea prin pila Daniell cu depășirea suprafeței electrolitului (Fig. 3.0.e).

În acest caz, anodul și catodul sunt pe obiectul prelucrat, iar suprafața interstițială finală obținută este dată de relația (3.7).

Alte cazuri de prelucrare pot fi calculate cu relația:

$$t = \frac{\delta^2 - \delta_0^2}{v_E} + \frac{l - l_c}{v_E} \quad /3.75/$$

și, înlocuind în această relație:

$$\delta = \sqrt{\delta_0^2 + 2 \cdot B \cdot \frac{l - l_c}{v_E}} \quad /3.76/$$

Se poate observa că în cazul anodizării (Fig. 3.0.d) și în cazul pila Daniell (Fig. 3.0.e)

anodul este situat pe cel exterior, însoțit de un câmp magnetic în direcția obiectului obținut în zona de inițiere a curentului de prelucrare.

În cazul obiectului prelucrat (Fig. 3.0.d) și în cazul pila Daniell (Fig. 3.0.e)

anodul este situat pe cel exterior, însoțit de un câmp magnetic în direcția obiectului obținut în zona de inițiere a curentului de prelucrare.

În cazul obiectului prelucrat (Fig. 3.0.d) și în cazul pila Daniell (Fig. 3.0.e)

anodul este situat pe cel exterior, însoțit de un câmp magnetic în direcția obiectului obținut în zona de inițiere a curentului de prelucrare.

În cazul obiectului prelucrat (Fig. 3.0.d) și în cazul pila Daniell (Fig. 3.0.e)

anodul este situat pe cel exterior, însoțit de un câmp magnetic în direcția obiectului obținut în zona de inițiere a curentului de prelucrare.

recția vitezei de avans.

În raport cu poziția reciprocă celor doi electrozi, prelucrarea cu avans oblic se poate realiza în următoarele cazuri:

- Prelucrarea cu avans oblic de pătrundere /Fig. 3.21/;
- Prelucrarea cu avans oblic tangențial /Fig. 3.22/;
- Prelucrarea cu avans oblic carcace /Fig. 3.23/.

În toate cazurile analiza procesului de prelucrare se face ținându-se seama de:

- variația interstițiului de lucru $\frac{d\delta}{dt} = 0$; $\frac{d\delta}{dt} > 0$ și $\frac{d\delta}{dt} < 0$
- gradul de acoperire a suprafeței obiectului prelucrării de către suprafața electrozului scular în timpul procesului de prelucrare.

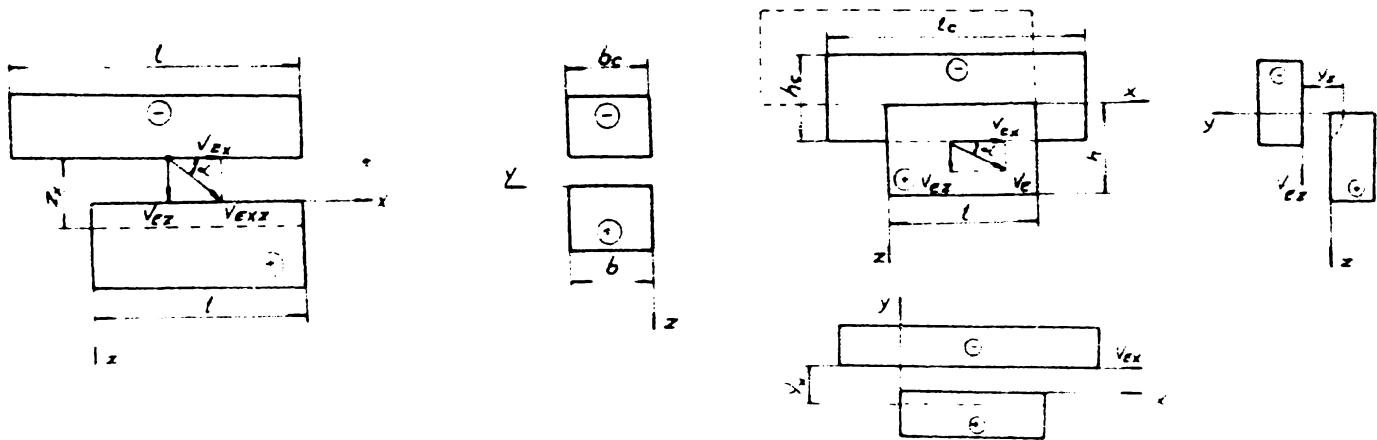


Fig. 3.21

Fig. 3.22

Fig. 3.23

În cazul în care

$$v_0 \geq b$$

/3.71/

$$v_{exz} \cdot t_1 \leq l_c - l$$

/3.72/

$$v = v_{exz} \cdot \cos \alpha$$

/3.73/

în funcție de v_0 , revine

$$v \cdot t_1 \leq \frac{l_c - l}{\cos \alpha}$$

/3.74/

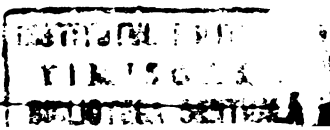
În raport cu interstițiul de lucru v_0 rămâne constant pe tot

timpul, al căruia interstițiu de lucru / o. $\delta_0 = \delta_1$

$$= \delta_1 = \frac{l}{v_0} = \frac{l}{v \cdot \cos \alpha}$$

/3.75/

$$v_0 = \frac{l}{\delta_0} = \frac{l}{\delta_1} = \frac{l}{\frac{l}{v \cdot \cos \alpha}} = v \cdot \cos \alpha$$



$$t = \frac{d_0}{v_1 \cdot \sin \alpha} + \frac{d_0 - \frac{d_0}{v_1 \cdot \sin \alpha}}{e \frac{v_1 \cdot \sin \alpha}{v_2}} = ct$$

13.22/

În cazul prelucrării cu unghi oblic tangențial /Fig. 3.2/, sub aspectul gradului de acoperire a suprafeței în procesul de prelucrare pot exista următoarele situații:

Acoperirea completă a suprafeței utile a obiectului prelucrat, cînd durata de prelucrare a fiecărui punct de pe suprafața utilă este aceeași. Acest lucru se poate realiza fie pe cale geometrică prin dimensionarea corespunzătoare a suprafeței alcomodului sculei, fie pe cale cinematică.

Diagrama prezentată în Figura 3.2 redă configurația geometrică după direcția x și a acoperirii pe cale cinematică a suprafeței.

Condițiile necesare acoperirii complete a suprafeței sînt:

$$l_c \geq t_p \cdot v_{DE} + l \quad 13.23/$$

$$h_c \leq t_p \cdot v_{DE} - h \quad 13.24/$$

unde înlocuim:

$$v_{DE} = v_1 \cdot \cos \alpha$$

$$v_{DE} = v_1 \cdot \sin \alpha$$

Condițiile 13.23/ și 13.24/ pot fi scrise:

$$l_c \geq t_p \cdot v_1 \cdot \cos \alpha \quad 13.25/$$

$$h_c \leq t_p \cdot v_1 \cdot \sin \alpha - h \quad 13.26/$$

Condițiile 13.25/ și 13.26/ pot fi scrise și în funcție de unghiul de tăiere ϕ :

$$l_c \geq t_p \cdot v_1 \cdot \cos(\alpha + \phi) \quad 13.27/$$

$$h_c \leq t_p \cdot v_1 \cdot \sin(\alpha + \phi) - h \quad 13.28/$$

$$\frac{h_c}{t_p \cdot v_1} \leq \sin(\alpha + \phi) - \frac{h}{t_p \cdot v_1} \quad 13.29/$$

Condițiile 13.27/ și 13.28/ pot fi scrise și în funcție de unghiul de tăiere ϕ și de unghiul de înclinare a suprafeței α . În acest caz condițiile 13.27/ și 13.28/ pot fi scrise:

$$\frac{h_c}{t_p \cdot v_1} \leq \frac{\sin \alpha \cdot \cos(\alpha + \phi) + \cos \alpha \cdot \sin(\alpha + \phi)}{2 \cdot \sin \alpha} \quad 13.30/$$

$$= \frac{\sin(\alpha + \phi)}{\sin \alpha} \quad 13.31/$$

$$t_c = \frac{r \cdot h_c}{t_c \cdot d} + 1$$

/3.90/

Se scrie, în condițiile a suprafeței de lucru, prin lărgirea
 corespunzătoare, într-o variație de direcție, valoarea războiului

... și ...
 ...
 ...
 ...
 ...

... în ...
 ...
 ...

... condiția /7. ...

... poziția în ...
 ...
 ...

$$y_z = \sqrt{\delta_o^2 + 2 \cdot F \cdot \frac{h_c}{v_n \cdot \sin \alpha}} = ct \quad /3.91/$$

... $v_n \cdot t_f \cdot \sin \alpha - h_c$

$$y_z = \sqrt{\delta_o^2 + 2 \cdot F \cdot \left(t_f - \frac{h_c}{v_n \cdot \sin \alpha} \right)} \quad /3.92/$$

... $v_n \cdot t_f \cdot \sin \alpha - h_c \leq z \leq v_n \cdot t_f \cdot \sin \alpha$

$$v_n = \delta_o$$

... $\sin \alpha < r \leq$

...
 ...
 ...
 ...

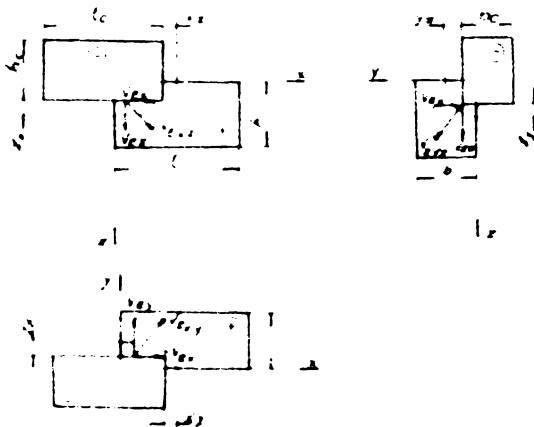


Fig. 3.

bilirea caracteristicilor tehnologice și în cazul unor suprafețe de complexitate mai mare. Pentru a exemplifica cele afirmate mai sus, se propune analiza procesului de prelucrare a unor suprafețe elementare frecvent întâlnite în construcția de mașini.

Prelucrarea suprafețelor de revoluție interioară.

În cadrul acestei categorii de suprafețe vor fi analizate următoarele aspecte ale prelucrării:

I. Prelucrarea suprafețelor cilindrice netede fără mișcare de avans.

Conșiderînd schema de prelucrare din figura 3.24, valoarea rezistenței electrolitului pentru un strat elementar cu grosimea dr este:

$$dR_e = \frac{dr}{\kappa \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l_c} \quad /3.93/$$

Integrînd această ecuație între limitele d_c până la diametrul D al intersticiului D , rezultă

$$R_e = \frac{\ln \frac{D}{d_c}}{\kappa \cdot 2 \cdot \pi \cdot l_c} \quad /3.94/$$

Din legile lui Ohm și Faraday se poate scrie:

$$dt_p = \frac{D \cdot \ln \frac{D}{d_c} \cdot 2D}{\kappa \cdot k_v \cdot (U - V_p)} \quad /3.95/$$

Fig. 3.24

și $d_c = D$, timpul de prelucrare este:

$$t_p = \frac{l}{16 \cdot k_v \cdot \kappa \cdot (U - V_p)} \left[D^2 \left(2 \cdot \ln \frac{D}{d_c} - 1 \right) - D_c^2 \left(2 \cdot \ln \frac{D_c}{d_c} - 1 \right) \right] \quad /3.96/$$

II. Prelucrarea suprafețelor cilindrice cu mișcare de avans

În condițiile unui grad total de acoperire pentru o lățime l_c a electrolitului real și o lungime l a cilindrului prelucrat, se poate scrie următoarea relație rezultată din ecuațiile (3.93) și (3.94):

$$t_p = \frac{l}{\kappa \cdot k_v \cdot (U - V_p)} \left[D^2 \left(2 \cdot \ln \frac{D}{d_c} - 1 \right) - D_c^2 \left(2 \cdot \ln \frac{D_c}{d_c} - 1 \right) \right] + \frac{l \cdot l_c}{v}$$

interstițiul normal poate fi stabilit cu relația:

$$d_n = \frac{E}{v_E \cdot \sin \alpha} \quad /3.98/$$

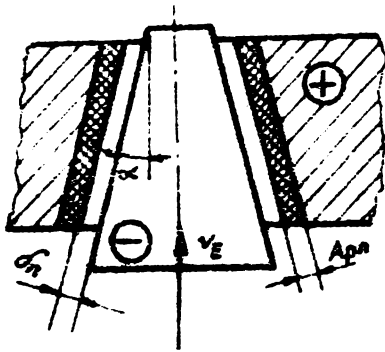


Fig. 3.25

Prin analogie cu relația /3.45/, timpul necesar îndepărtării unui adaos normal A_{pn} este

$$t_p = \frac{A_{pn}}{v_E \cdot \sin \alpha} \quad /3.99/$$

IV. Prelucrarea unei caneluri pe o suprafață tronconică /Fig.3.26/ cu mișcare de avans a electrodului sculă. Prelucrarea acestei suprafețe complexe se regăsește în cazurile de prelucrare a suprafețelor simple cu avans oblic ilustrate prin figurile 3.21 și 3.22. Interstițiul normal poate fi stabilit cu relația /3.98/, în condițiile prelucrării la valcarea interstițiului de echilibru. Interstițiul lateral se dimensionează în condițiile neacoperirii suprafeței laterale cu o relație asemănătoare expresiei /3.98/

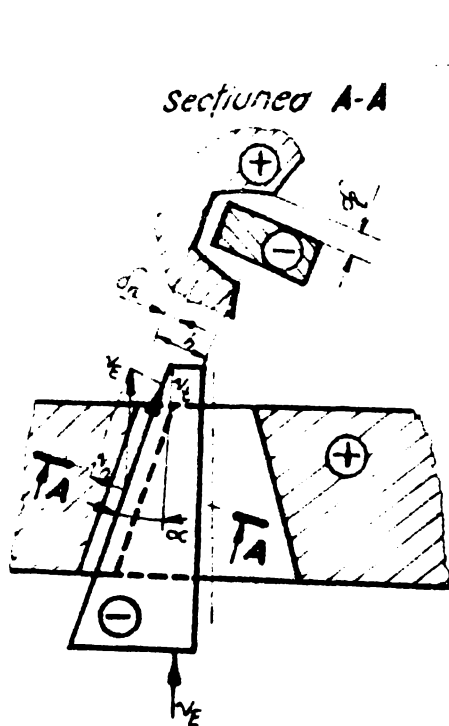


Fig. 3.26

Interstițiul frontal

$$d_f = \frac{E}{v_E} \quad /3.101/$$

$$d_l = \sqrt{\left(\frac{E}{v_E \cdot \sin \alpha}\right)^2 + 2 \cdot v \left(\frac{E}{v_E \cdot \sin \alpha}\right)} \quad /3.100/$$

În care
v este valcarea curentă a anului de
rondare

$$t_p = \frac{h}{v_E \cdot \sin \alpha} \quad - \text{timpul de prelucrare}$$

h - adâncimea de pătrundere dorită.

V. Prelucrare unei cavități cilindrice /Fig. 3.27/.

În cazul prelucrării cavității cu electrod sculă neizolat lateral /Fig. 3.27.a/ în condiții de echilibru ($d_o = d_e$) interstițiile pot fi dimensionate după cum urmează:

Valoarea curentului a interstițiului lateral:

$$d_l = \sqrt{\left(\frac{B}{v_E}\right)^2 + 2 \cdot B \cdot \left(t_p - \frac{z}{v_E}\right)} \quad /3.102/$$

în care $t_p = \frac{h}{v_E}$ este timpul de prelucrare;

h - adîncimea de prelucrare

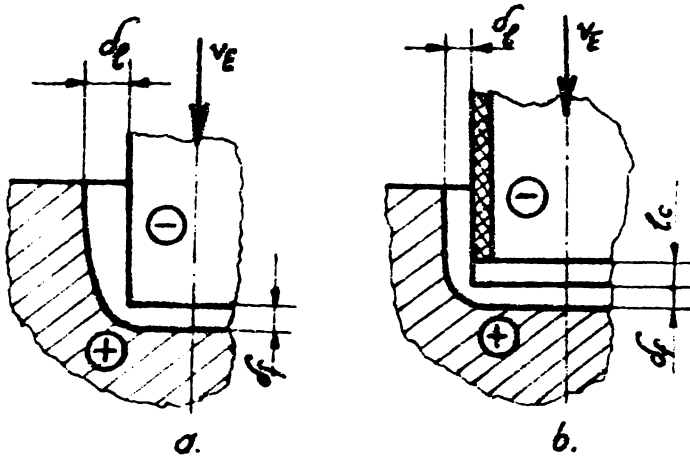


Fig. 3.27

$$d_l = \sqrt{\left(\frac{B}{v_E}\right)^2 + 2 \cdot B \cdot \frac{l_c}{v_E}} \quad /3.103/$$

pentru $0 \leq z \leq h - l_c$

Din aceste exemple rezultă că pentru stabilirea valorii curentului a interstițiului de lucru sau a timpului de prelucrare trebuie să se recură la descriererea suprafeței în funcție de distanța față de axa de lucru, în funcție de forma cu rafetă și în funcție de adîncime, pe care o putem descrie prin distanța față de axa de lucru.

În teste similare prezentate în continuare se va demonstra că caracteristicile de lucru ale electrodului sculă sunt în funcție de distanța față de axa de lucru și de adîncimea de prelucrare. Aceste teste vor demonstra că caracteristicile de lucru ale electrodului sculă sunt în funcție de distanța față de axa de lucru și de adîncimea de prelucrare.

3.2. . Cercetări experimentale asupra fenomenului de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică.

Cercetările experimentale au fost orientate în sensul stabilirii caracteristicilor de lucru ale electrodului sculă în funcție de distanța față de axa de lucru și de adîncimea de prelucrare. În aceste teste se vor demonstra că caracteristicile de lucru ale electrodului sculă sunt în funcție de distanța față de axa de lucru și de adîncimea de prelucrare.

investigațiilor experimentale.

Principalele grupe de factori ce au fost supuse analizei experimentale, sînt:

- A. Obiectul prelucrării;
- B. Electrolitul;
- C. Electrocul sculă /obiectul de transfer/;
- D. Instalația de prelucrare.

Deoarece fiecare grupă conține un număr mare de factori, iar combinațiile posibile sînt foarte numeroase, în lucrare se prezintă numai o parte din cercetările experimentale efectuate, fără a respecta combinațiile ordonate ale factorilor cercetați. S-a căutat selectarea și includerea numai a acelor rezultate care să asigure o unitate acestui material într-un volum cît mai restrîns și în același timp, o bază pentru prezentarea problemelor practice legate atît de modelarea procesului /Cap. 3.2.3/ cît și de proiectarea tehnologică /Cap. 5/

A. Obiectul prelucrării influențează asupra procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică și în mod direct asupra parametrului "echivalent electrochimic" prin factorii: natura și starea materialului, forma geometrică, dimensiunii, rugozitate a suprafeței, precizie, temperatură etc.

B. Electrolitul utilizat influențează asupra procesului de prelucrare prin factorii: natura lui, concentrație, temperatură, viteză de curgere, presiune, lungimea liniei de curgere, rezinca stratului de electrolit flat în interstițial de lucru, pH etc.

C. Electrocul sculă influențează procesul de prelucrare prin următorii factori: formă, dimensiuni, material, soluția constructivă, precizie, temperatură etc.

D. Instalația de prelucrare influențează direct asupra procesului de prelucrare prin factorii: caracteristicile dinamice ale sistemului de comandă, caracteristicile electrice ale sursei electrice, caracteristicile de funcționare ale dispozitivului de comandă și control, rezoluția și precizia de măsurare, precizia de poziționare, precizia de tăiere etc.

În continuare, se prezintă în detaliu caracteristicile dinamice ale sistemului de comandă și control, caracteristicile electrice ale sursei electrice, caracteristicile de funcționare ale dispozitivului de comandă și control, rezoluția și precizia de măsurare, precizia de poziționare, precizia de tăiere etc.

3.2.2.1. Randamentul în raport cu curentul

În figurile 3.28, 3.29, 3.30, 3.31, 3.32, și 3.33 se prezintă influența pe care o are asupra acestui parametru, în special: densitatea curentului, viteza de curgere, concentrația, temperatura, și natura electrolitului, materialul obiectului prelucrării. Pentru stabilirea acestor influențe s-a folosit celula de prelucrare cu avans comandat prin căderea de presiune din interstițiul de lucru /Cap. 3.1.3/

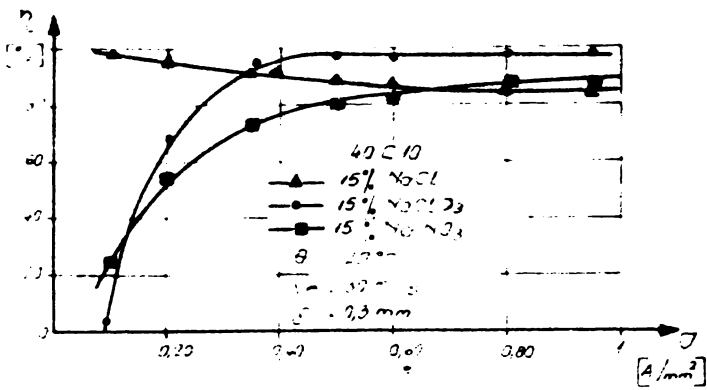


Fig. 3.28

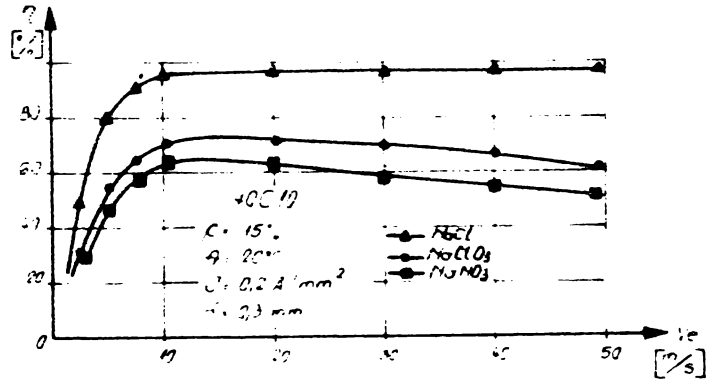


Fig. 3.29

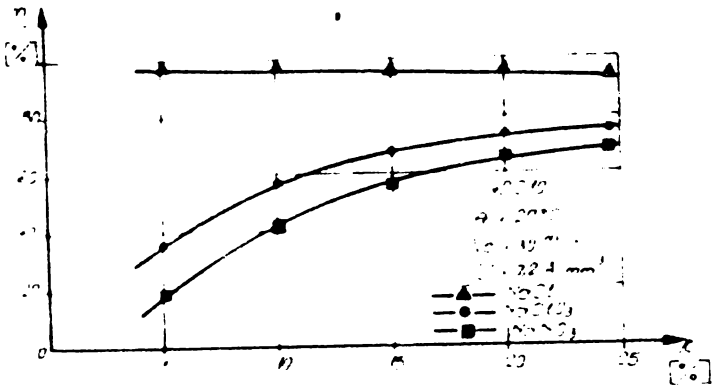


Fig. 3.30

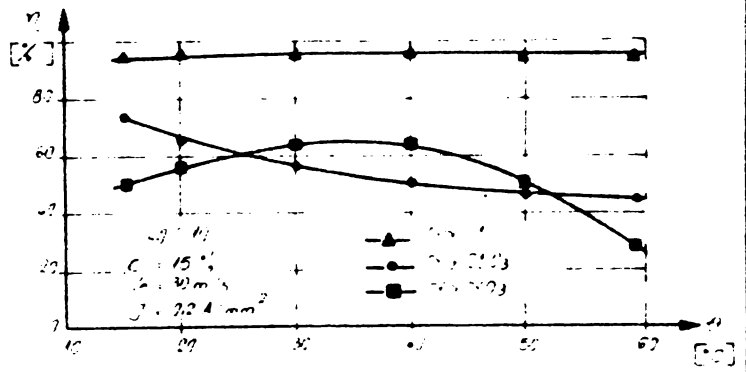
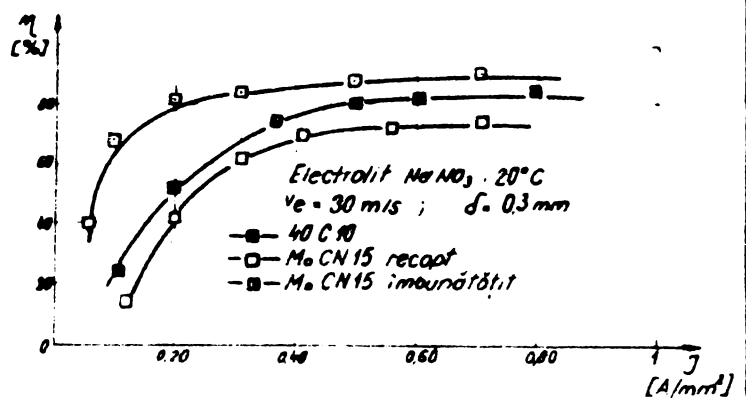
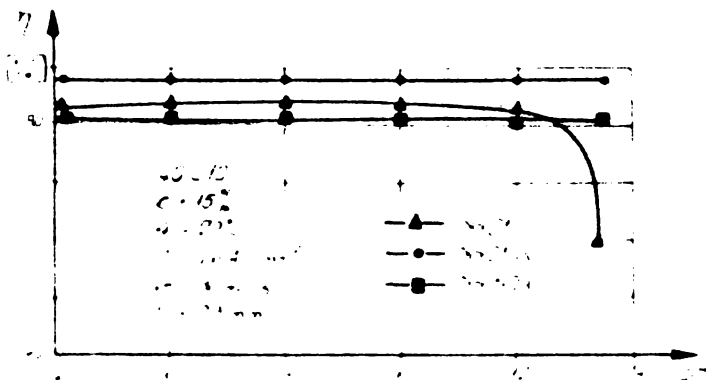


Fig. 3.31



Dintre factorii cercetați: densitatea curentului, viteza de curgere a electrolitului, natura acestuia și materialul obiectului prelucrării prezintă un interes deosebit datorită variației mari pe care o provoacă randamentul.

Faptul că randamentul în raport cu curentul prezintă o variație mare pentru o anumită plajă de reglare a densității curentului și a vitezei de curgere a electrolitului, permite o conducere mai bună a procesului și deci creșterea preciziei de prelucrare. Dacă caracteristica rapoartei de prelucrare η este influențată numai de randament, atunci, pentru a asigura o constantă a acestei caracteristici este necesară folosirea aceleiași combinații de variație a densității curentului și a vitezei de curgere a electrolitului în interstițiu, pentru a se realiza condițiile care o vor face practic constantă ($v_g > 10$ m/s - Fig. 3.29 și $i > 0,4$ A/cm² - Fig. 3.10/).

Cum ceilalți factori sînt mai greu de reglat în procesul de prelucrare a unor piese, figurile 3.30, 3.31 și 3.32 permit prescrierea corespunzătoare a acestor factori la inițierea procesului de prelucrare. Astfel, pentru prelucrarea oțelului 40 c/c în electrolit cu NaNO₂ rezultă (Fig. 3.31/ că temperatura optimă a electrolitului din punct de vedere al randamentului este de 30-40°C.

Din figura 3.32 se vede că randamentul în raport cu curentul este dependent de materialul prelucrat și de starea lui. În general, o încălzire termică, cu o ranul și mai fină, cu un randament superior celor din starea aspră. De lângă factorii prezentați, randamentul în raport cu curentul este afectat și de caracteristicile geometrice ale interstițiului (lățime, lungime), de polarizarea de lucru și de concentrația electrolitului prin interstițiu. Aceste aspecte sînt tratate în capitolul 7.2. ...

7.2.3.3. Caracteristicile efective ale valorii efective.

Din punct de vedere practic, valoarea efectivă a randamentului este dată de caracteristicile efective ale raportului dintre cantitatea de metal dizolvat și cantitatea de curent, echivalentul electrochimic real de efectivitate η_{ef} (Fig. 3.32/). Din acest punct de vedere, în literatura de specialitate sînt descrise metodele de măsurare a acestor valori, avînd ca obiectiv obținerea unor

valori care să reflecteze cu înălțare electrochimică a randamentului efectiv dintr-un proces de prelucrare.

În figura 3.3, se prezintă de exemplu, cazul în care valoarea efectivă a randamentului este calculată la prelucrarea unui suprafață de oțeluri în soluție de NaNO₂. Caracteristicile efective pentru diferite valori ale vitezei de curgere a electrolitului (v_g) și ale densității de curent (i) sînt prezentate în

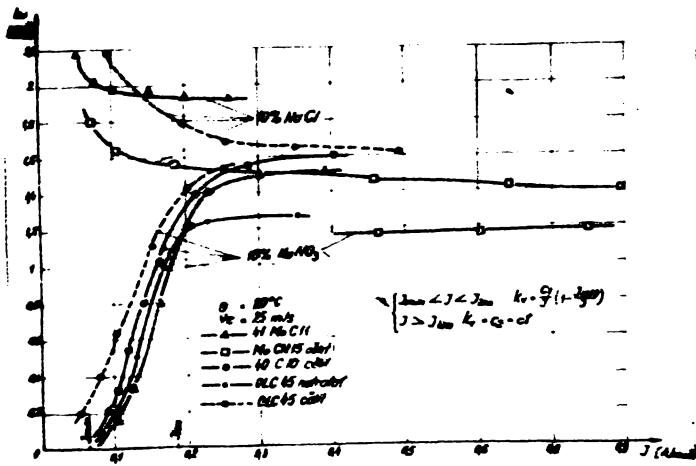


Fig. 3.24

pe baza de Na Cl, echivalentul electrochimic volumic efectiv are valori mai ridicate la densități scăzute, pe cînd la prelucrarea în electrolit cu Na NO₃, echivalentul electrochimic are valori reduse în aceeași zonă a densității. În zona densităților mari de curent valoarea echivalentului electrochimic volumic efectiv se stabilizează pentru ambii electroliți. Această caracteristică de variație este dictată de dependența randamentului cu densitatea curentului /Fig.3.22/.

Din punct de vedere al preciziei de prelucrare, o parte din variația de variație a echivalentului electrochimic cu densitatea curentului este avantajoasă în special în cazul prelucrării suprafețelor late. Aceasta explică și preciziile mai ridicate obținute în cazul prelucrării cu electrolit pe bază de Na Cl O₃ față de prelucrarea cu Na NO₃ . [1.2, C.1, P.18].

Caracteristica dependenței în cazul electroliților cu Na CO₃ și NaClO₃ poate fi exprimată cu suficientă precizie practică prin expresiile:

$$k_v = \frac{C_1}{J} \cdot \left(1 - \frac{J_{lim}}{J}\right) \quad /3.104/$$

pentru domeniul $J_{min} < J < J_{lim}$ și

$$k_v = C_2 \cdot t \quad /3.105/$$

pentru $J > J_{lim}$

Constantele C_1 , C_2 și valorile critice ale densității J_{min} și J_{lim} pot fi stabilite din rezultatele experimentale. Astfel, pentru NaClO₃ și Na₂CO₃ se obțin următoarele valori /Fig. 3.24/:

$$C_1 = 0,1; \quad C_2 = 1, \frac{cm^3}{A \cdot min};$$

$$J_{min} = 0,001 /cm^2, \quad J_{lim} = 0,1 /cm^2$$

Valoarea de curent efectiv electrochimic este egală cu valoarea de curent efectiv volumic înmulțită cu echivalentul electrochimic volumic efectiv.

Prelucrarea dimensională prin electroză electrochimică se realizează în condiții în care suprafața de prelucrare este mare, în jurul a căreia se află un număr mic de electrozi. În acest caz, valoarea de curent efectiv electrochimic este egală cu valoarea de curent efectiv volumic înmulțită cu echivalentul electrochimic volumic efectiv.

mul rind evacuarea produsilor de dizolvare și a cantității mari de căldură. Așadar viteza, la valorile reduse ale interstițiului de lucru, se realizează în regim de curgere turbulent.

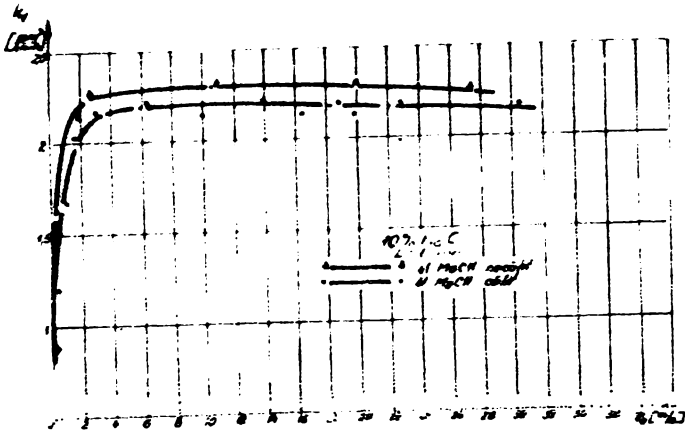


Fig. 3.35

Din figura 3.35, care redă dependența echivalentului electrochimic volumic efectiv în funcție de viteza de curgere a electrolitului la prelucrarea oțelului 41 N₂O11 în electrolit cu NaCl, rezultă că există o viteză optimă peste care echivalentul electrochimic rămâne practic constant.

Această viteză optimă însă depinde de condițiile concrete de prelucrare.

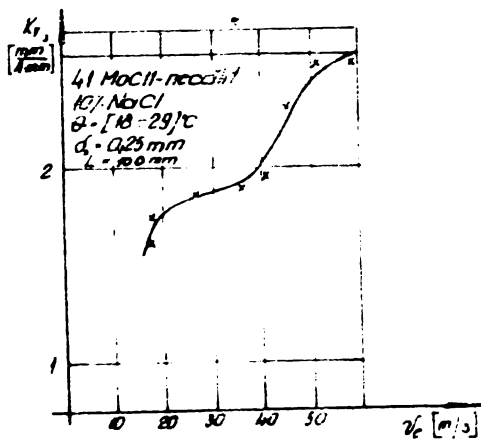


Fig. 3.36

Așfel, în cazul prelucrării unei piese avînd lungimea suprafeței active de lucru /Fig.3.36/, stabilirea seivelului electrochimic prin viteza de curgere și dimensiunea interstițiului de lucru - și suprafețelor de lucru mici /Fig. 3.37/.

Selecția celulei de lucru care ca electrolit se folosesc /Cap.2.1.1/ în variantele de prelucrare III și IV /Fig. 3.3.3 și c/ s-a efectuat cercetări privind influența pe care o

are asupra echivalentului electrochimic dispunerea obiectului prelucrării în interstițiul de lucru și lungimea suprafeței active /Fig. 3.37/.

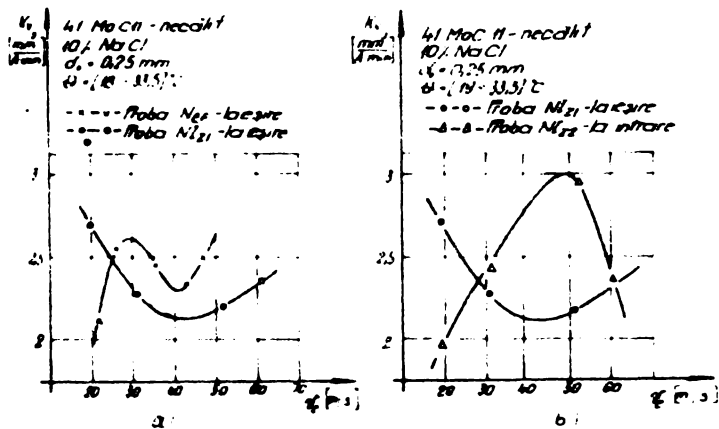


Fig. 3.37

— Proba N₂₁ - la cure
 — Proba N₂₂ - la cure
 — Proba N₂₂ - la intrare

dispunerea ei în zona de ieșire a electrozului din interstițiul de lucru;

Ni₂₂ - probă netratată prelucrată după schema din figure 3.5.c, cu dispunerea ei în zona de intrare.

Faptul că echivalentul electrochimic volumic diferă în zona de intrare față de cea de ieșire a electrolitului /Fig. 3.37.b/, provoacă o îndepărtare neuniformă a adaosului de prelucrare. Acest lucru este ilustrat și de figura 3.38.b în care este schematizată forma suprafeței rezultată după prelucrare atunci

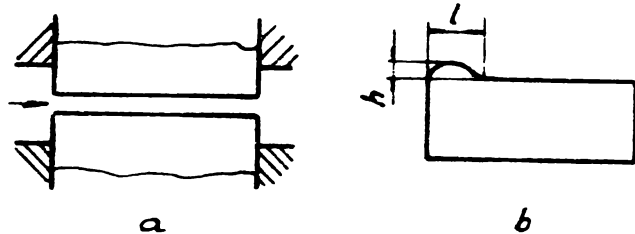


Fig. 3.38

când ajutorul de intrare a electrolitului în interstițiul de lucru este /Fig. 3.39.a/.

Tabelul 3.1 prezintă datele obținute în urma prelucrării electrochimice a probelor Ni₂₂ și Ni₂₀ la diferite viteze de lucru și la diferite distanțe de la intrarea electrolitului în interstițiul de lucru. Este prezentat în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1.

viteza v_e [m/s]	6	11	16	28
l (mm)	14	11	29	23
h (mm)	2	3	3,5	6

cea de nivelare crește în funcție de distanța de la intrarea electrolitului în interstițiul de lucru și de viteza de lucru. Acest lucru este ilustrat în figura 3.39.b în care este schematizată forma suprafeței rezultate după prelucrare atunci când ajutorul de intrare a electrolitului în interstițiul de lucru este nul /Fig. 3.39.b/.

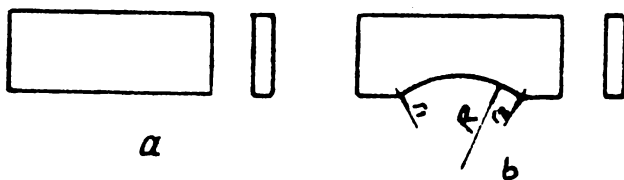


Fig. 3.39

În cazul în care viteza de lucru este /Fig. 3.1.1./ mare, se poate observa că

concentrația electrolitului în interstițiul de lucru este foarte mică și că

figura 3.40 prezintă schema de lucru în cazul în care

se utilizează un electrolit de tip Ni₂₂ și un electrolit de tip Ni₂₀.

În cazul în care se utilizează un electrolit de tip Ni₂₂ și un electrolit de tip Ni₂₀,

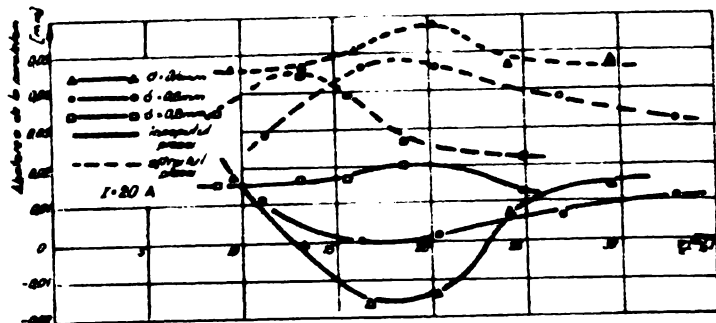


Fig. 3.40

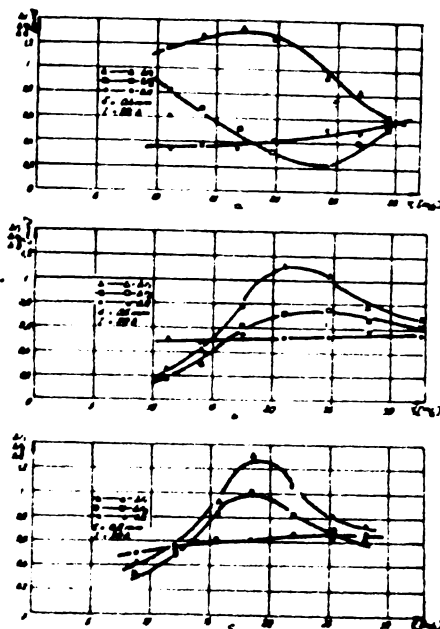


Fig. 3.41

Si din aceste determinări rezultă că
 și rieliele tratate termic au o prelucrabilitate mai bună decât cele ne-
 tratate.

Se-a constatat /Fig. 3.46/ că asupra echiv. anodului electrochimic
 influențează și conținutul în carbon în cazul primelor și al celui de car-
 bon și a celor slab alitate.

În creșterea conținutului în carbon a oțelului, se observă o creșterea
 a conținutului în carbon și o creștere a conținutului în carbon și o creștere
 a conținutului în carbon. Acest lucru se poate explica prin faptul că
 la o creștere a conținutului în carbon, creșterea conținutului în carbon
 este mai efectivă.

În timpul în care procesul de prelucrare este în desfășurare, în
 timpul încălzirii electrolitului, se observă o creștere a conținutului în

feței în sens trigonometric.

Dependența echivalentu-
 lui electrochimic de viteza de
 curgere, lungimea și forma in-
 terstițiului provoacă o neuni-
 formitate mare a spațiului de
 prelucrare îndepărtat în zone-
 le unde direcția de curgere a
 electrolitului se modifică. A-
 ceasta duce la apariția unor
 abateri diferite a formei geo-
 metrice pentru diferite puncte

ale suprafeței prelucrate. Modul cum va-
 riază rezele suprafeței prelucrate /Fig.
 3.39.b/ în funcție de viteza de curgere,
 mărimea interstițiului și viteza rezei
 este prezentat în figura 3.41. Date de
 remarcă faptul că la mase mari, influența
 vitezei de curgere electrolitului
 asupra preciziei de formă este mai redusă
 decât în cazul maselor mici.

Din figurile 3.42, 3.43, 3.44 și
 3.45 rezultă modul în care este influențat
 echivalentul electrochimic valo-
 re efectivă de viteza de curgere a electrolitului,
 potențialul prelucrat și conținutul în
 carbon. /Prelucrări efectuate în celula
 cu săruri de zinc/.

Si din aceste determinări rezultă că

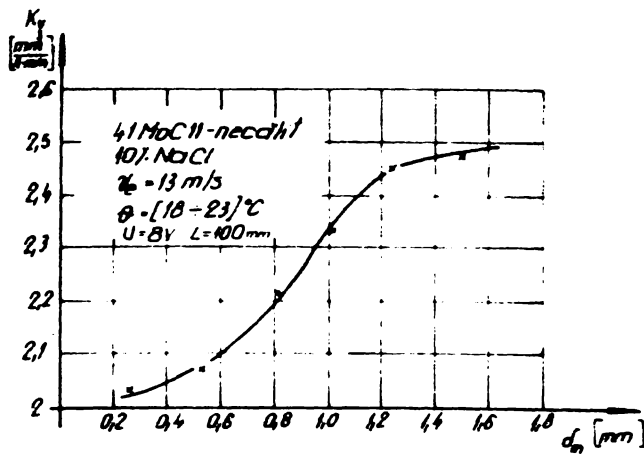


Fig. 3.47

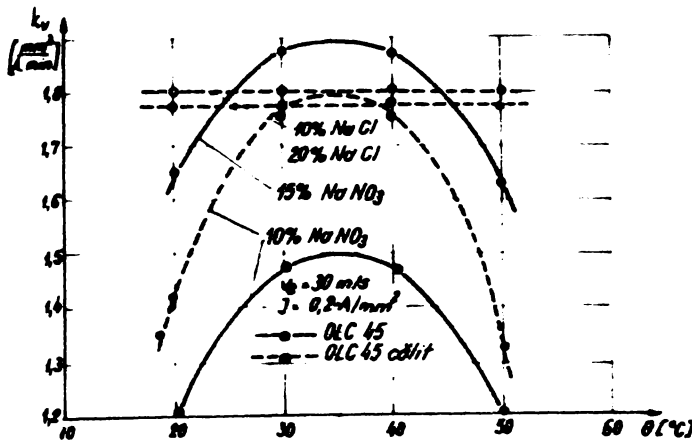


Fig. 3.48

3.2.2.3. Conductivitatea electrică a electrolitului

În cadrul acestui grup de cercetări au fost abordate două aspecte privind acest parametru și anume:

- conductivitatea electrică a electrolitului și
- conductivitatea electrică a interstițiului.

În conformitate cu legea lui Ohm, într-un conductor rezistorial al celulei de prelucrare [Fig. 2.8], rezultă următoarele relații de definire a conductivității:

$$\kappa_e = \frac{I \cdot d}{(U - V_p) \cdot S} \quad (3.17)$$

pentru conductivitatea electrică a electrolitului și

$$\kappa = \frac{I \cdot d}{U \cdot S} \quad (3.18)$$

pentru conductivitatea electrică a interstițiului.

Conductivitatea electrică a electrolitului este dependentă de concentrația electrolitului folosit și de concentrația acestuia în soluție.

Parametrul κ_e este influențat și de temperatura și concentrația electrolitului. Această influență este mai mare în cazul prelucrării cu electrolit cu NaNO_3 decât în situația utilizării electrolitului cu NaCl /Fig. 3.48/.

Parametrul κ_e este influențat și de temperatura și concentrația electrolitului. Această influență este mai mare în cazul prelucrării cu electrolit cu NaNO_3 decât în situația utilizării electrolitului cu NaCl /Fig. 3.48/.

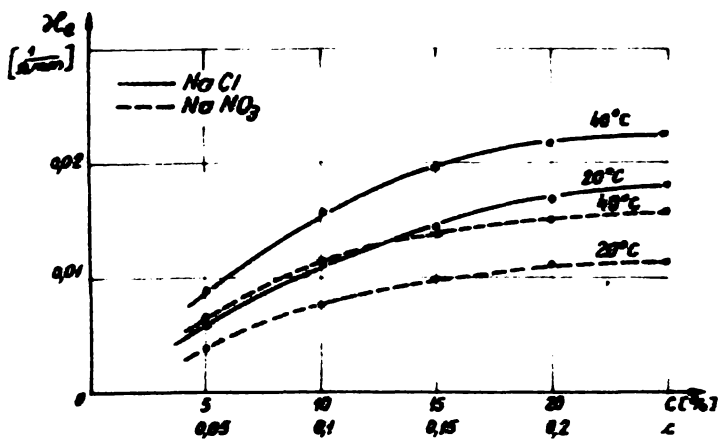


Fig. 3.49

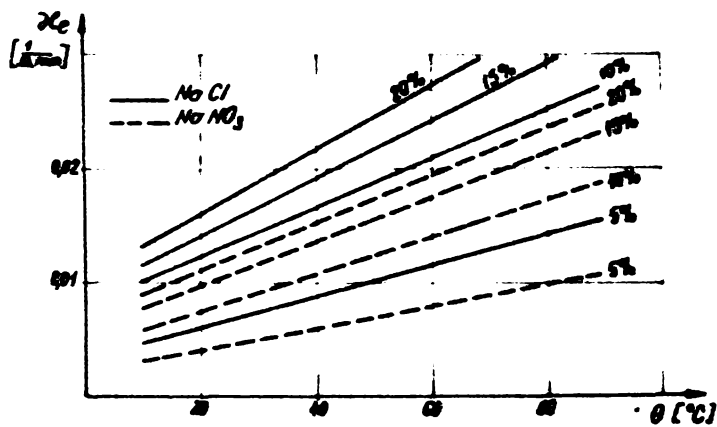


Fig. 3.50

Din figura 3.50 rezultă dependența conductivității electrice a electrodului de temperatura acestuia. Ținînd seama de aceste dependențe, se pot scrie următoarele relații empirice:

$$\chi_e = 10^{-2} \cdot \sqrt{13} \cdot c \left[1 + 0,018 \cdot (1 + c) \cdot (\theta - 20^\circ) \right] / 3.109/$$

pentru electrolitul cu Na Cl și

$$\chi_e = 10^{-2} \cdot \sqrt{6} \cdot c \left[1 + 0,0185 \cdot (1 + c) \cdot (\theta - 20^\circ) \right] / 3.110/$$

pentru electrolitul cu Na NO₃

Conductivitatea electrică a interstițiului este un parametru fizic global care include toți factorii prezenți în interstițiul de lucru, care influențează caracteristica conductoare a acestuia.

- Conductivitatea electrică a interstițiului este dependentă de concentrația electrolitului, natura lui și mărimea interstițiului de lucru / fig. 3.51/.

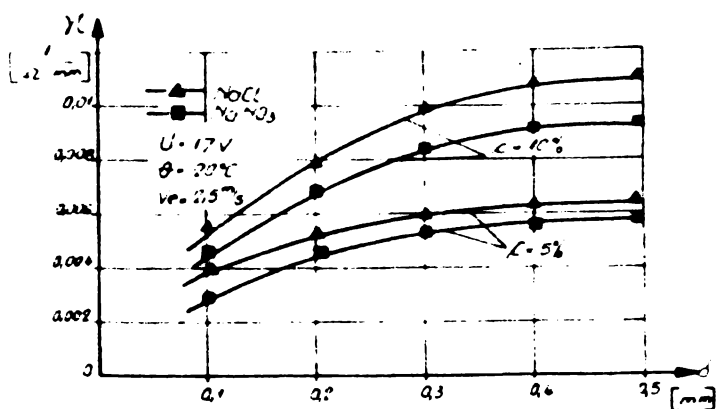


Fig. 3.51

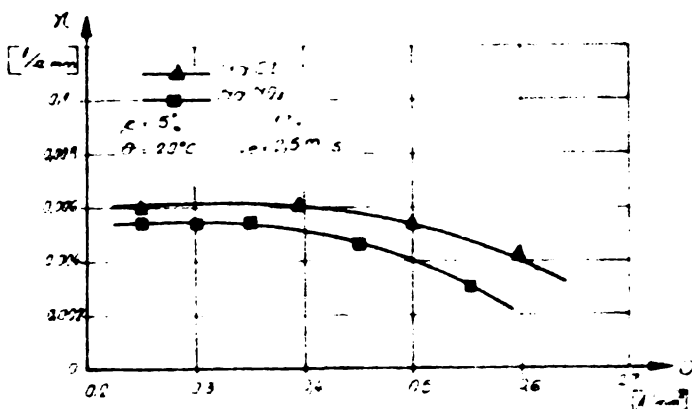


Fig. 3.52

Conductivitatea crește odată cu mărimea interstițiului și cu valoarea sa este practic relativ constantă;

- în raport cu concentrația electrolitului, conductivitatea interstițiului scade, menținîndu-se însă constantă în zonele sensibilelor sol de lu-

ront /Fig. 3.52/;

- Asupra conductivității electrice a interstițiului influențează și viteza de curgere a electrolitului prin interstițiul de lucru /Fig. 3.53/. Pentru anumite caracteristici dimensionale ale suprafeței active, la densitate constantă a curentului electric, rezultă o anumită viteză de curgere care odată depășită nu mai modifică valoarea conductivității. Această viteză critică este cu atât mai mică cu cât mărimea interstițiului este mai mare.

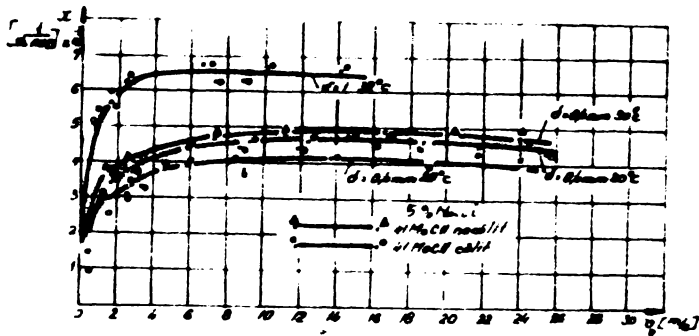


Fig. 3.53

- Conductivitatea electrică a interstițiului este influențată și de presiunea electrolitului /Fig. 3.54/. Cu cât presiunea medie crește și cu

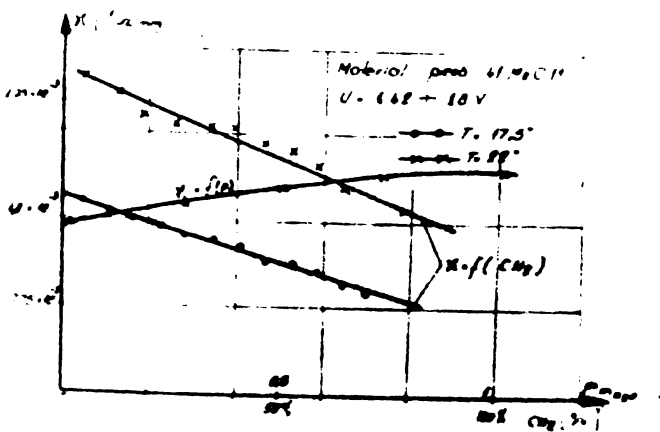


Fig. 3.54

celui mare cu atât crește și viteza în proporții de valori mai ridicate. Aceste investigații au fost efectuate în celula din figur. 3.1, la tensiuni mici, pentru a avea un control mai bun asupra concentrației de hidrogen din electrolit. Influența pe care o au acești factori asupra conductivității electrice a interstițiului poate fi pusă, în primul rând, pe seama hidrogenului ce apare în interstițiul de lucru în urma proceselor electrochimice. Cu cât concentrația volumică în hidrogen a electrolitului este mai redusă, cu atât conductivitatea interstițiului va fi mai bună.

Din figurile 3.55 și 3.56 rezultă că, pentru o anumită concentrație volumică a hidrogenului în electrolit /1 moleculă hidrogen pe 1000 molecule electrolit/ și la o anumită temperatură, viteza de curgere a electrolitului este constantă.

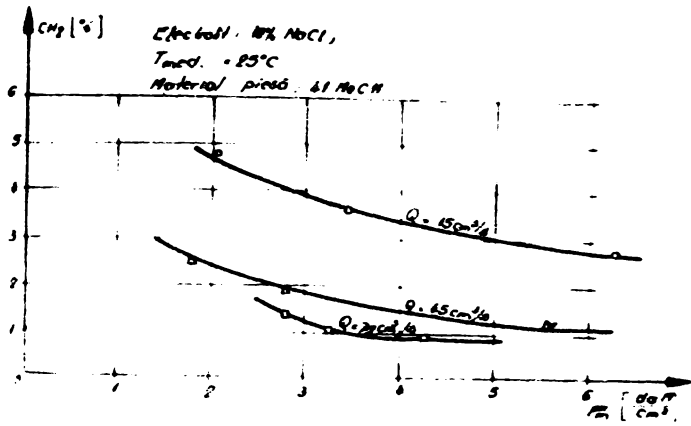


Fig. 3.55

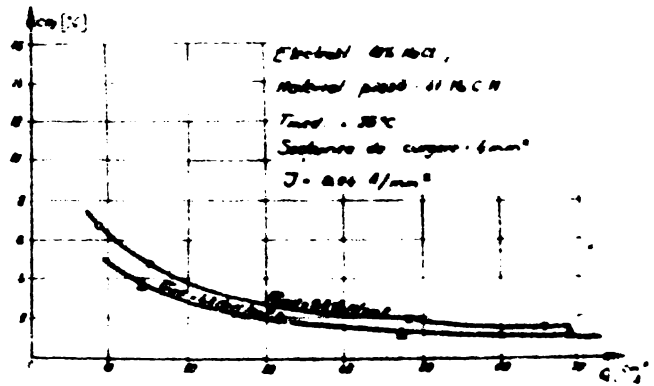


Fig. 3.56

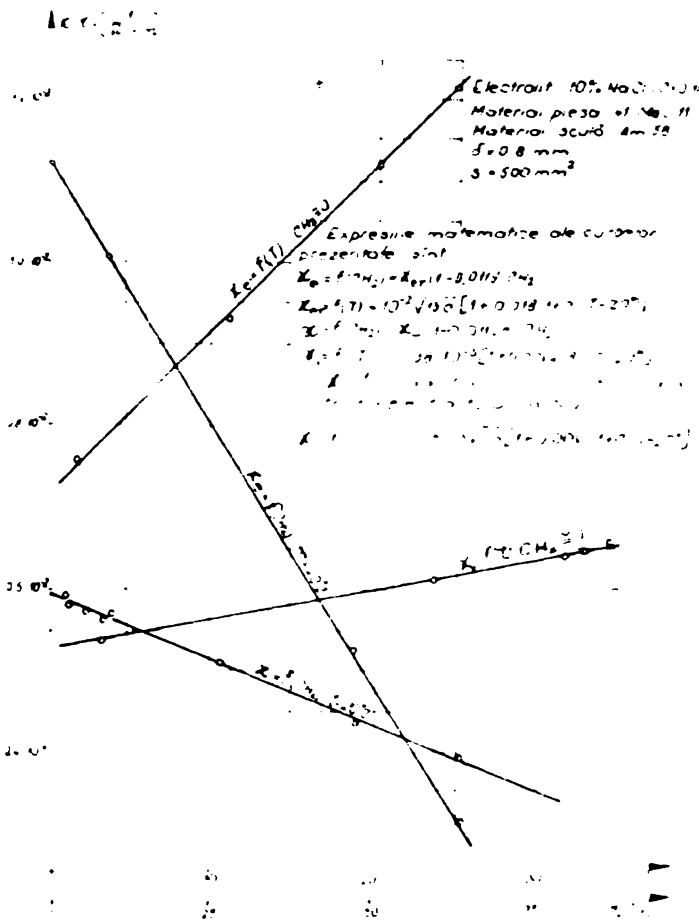


Fig. 3.57

$$K_e = 10^{-2} \cdot \sqrt{13.0} \cdot [1 + 0,018(1+c) \cdot (\theta - 20^\circ)] \cdot (1 - 0,0119 \cdot C_{H_2}) / 3,111 /$$

$$K = 10^{-2} \cdot \sqrt{3,6} \cdot [1 + 0,006(1+c) \cdot (\theta - 20^\circ)] \cdot (1 - 0,0119 \cdot C_{H_2}) / 3,111 /$$

Concentrația de hidrogen din electrolit și temperatura acestuia sînt factori variabili în sensul de care crește conductivitatea prin interstițiul de lucru. În raport cu condițiile de lucru, la viteze mici de

În condiții normale de prelucrare $U \geq 10$ V/, au fost ridicate curbele de dependență a conductivității electrolitului și a interstițiului în funcție de temperatura și concentrația în hidrogen /Fig. 3.57/

Caracteristicile acestor dependențe se pot vedea în funcție de și în relațiile le termodinamice. Alcoolul și gazele care apar în timpul prelucrării au fost luate în considerare în calculul conductivității.

suprafeței prelucrate, conținutul în hidrogen crește datorită acumulării lui și scăderii presiunii anesteului format. Tot în sensul de curgere are loc și o creștere a temperaturii electrolizului. Cei doi factori au o acțiune opusă asupra conductivității. Din încercările experimentale efectuate în celula de prelucrare fără mișcare de avans /Fig. 3.1/, rezultă că la creșterea valorii medii a interstițiului de lucru, conductivitatea interstițiului crește în mod diferit în cazul pieselor cu lungimea de 50 mm. /Fig. 3.58.a și 3.59.a proba N_{EP} și respectiv C_{EP} / față de prelucrarea

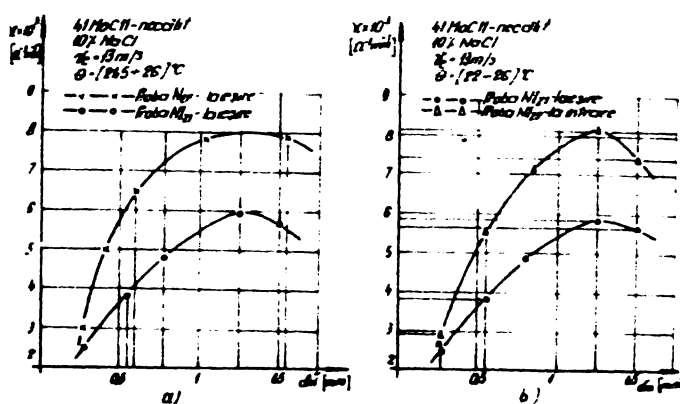


Fig. 3.58

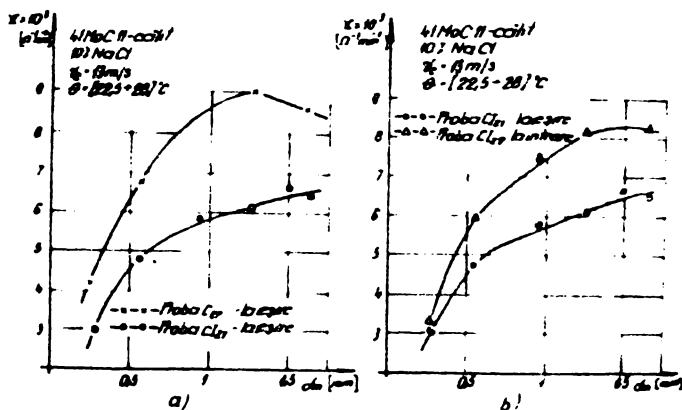


Fig. 3.59

față de prelucrarea

suprafețelor cu lungimea de 100 mm. Probele cu lungimea mare au fost confecționate din două bucăți / CI_{z1} , CI_{z2} și respectiv CI_{z1} , CI_{z2} /, pentru a se putea determina influența lungimii și a poziției piesei asupra conductivității interstițiului. În mod constant, pentru toate piesele lungi, conductivitatea are valori mai ridicate în zona de intrare a electrolitului la o viteză constantă a vitezei de curgere. Această situație este evidențiată și de figura 3.60 care prezintă influența pe care o are viteza de curgere, în aceeași suprafață de prelucrat și în aceeași condiție în interstițiul supraconductiv și în interstițiului.

Valoarea interstițiului și viteza de curgere au o influență opusă asupra concentrației de electrolit și deci asupra conductivității în funcție de temperatură. Faptul că la un anumit interstițiu conductivitatea în creștere, arată că scăderea temperaturii electrolitului influențează, în aceste condiții de prelucrare, mai substanțial conductivitatea decât scăderea concentrației în hidrogen.

Faptul că cei doi factori au o influență opusă permite ca în anumite condiții de prelucrare, ce ține să fie astfel dimensiuni înalt conductivității să se păstreze constantă sau, să varieze în funcție de condiții

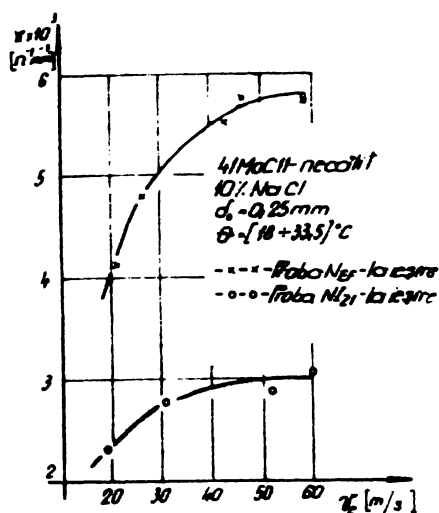


Fig. 3.60

3.2.2.4. Căderea de tensiune.

Si acest parametru este cuprins în relația ce definește caracteristica regimului de prelucrare /3.29/ și se referă la:

- căderea de tensiune pe electrozi V_p ;
- căderea de tensiune pe interstițiul de lucru U și
- căderea de tensiune pe electrolit $V_e = U - V_p$.

Semnificația acestor mărimi rezultă și din figura 3.8. Dacă căderea de tensiune pe interstițiul de lucru poate fi ușor controlată prin caracteristicile sursei de alimentare cu energie electrică, cota de participare a căderii de tensiune pe electrozi și pe electrolitul din interstițiul de lucru poate fi mai greu stăpînită datorită influenței unui număr mare de factori.

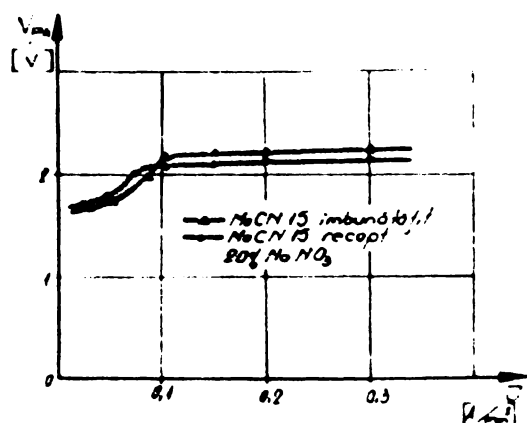
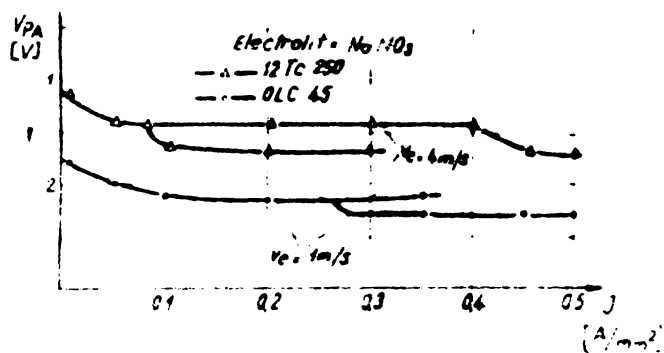


Fig. 3.61



Căderea de tensiune pe electrozii de lucru, pe necălitori și pe activatori și pasivizatori. Din figurile 3.61, 3.62 și 3.63 rezultă influența asupra căderii anodice de tensiune a factorilor: concentrația curentului, natura electrolitului, materialul electrodului prelucrat, sarcina lui

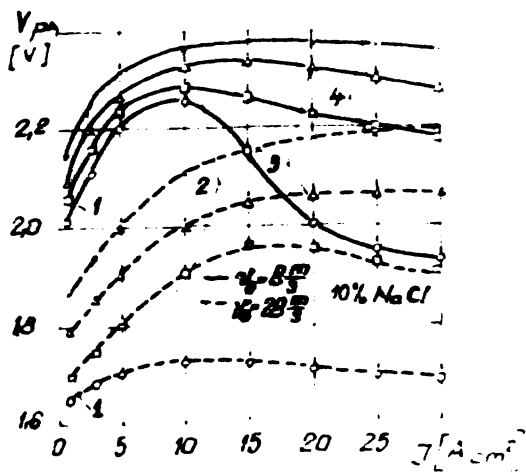


Fig. 3.63

și viteza de curgere a electrolitului.

Deasupra valorii potențialului anodic influențează și valoarea interstițiului de lucru /Fig. 3.63/. Cu cât interstițiul are o valoare mai mare cu atât tensiunea de polarizare este mai mare /curba 1 - = 0,3 mm, curba 2 - = 0,6 mm, curba 3 - = 1 mm și curba 4 - = 2 mm/.

Aceste determinări au fost efectuate în condițiile prelucrării unor suprafețe de lungime mică. În condi-

țiile reale de prelucrare, când lungimea suprafeței prelucrate este de 10-20 mm, căderea de tensiune de electrozi este influențată substanțial de concentrația în hidroxid a electrolitului și de temperatura acestuia. Ieșind din relația /3.107/ căderea de tensiune de electrozi, se lucrează în considerare a unei valori constante pentru conductivitatea electrolitului, rezultă că această mărime este strâns legată de valoarea interstițiului de lucru /Fig. 3.64/ și de viteza electrolitului /Fig. 3.65/.

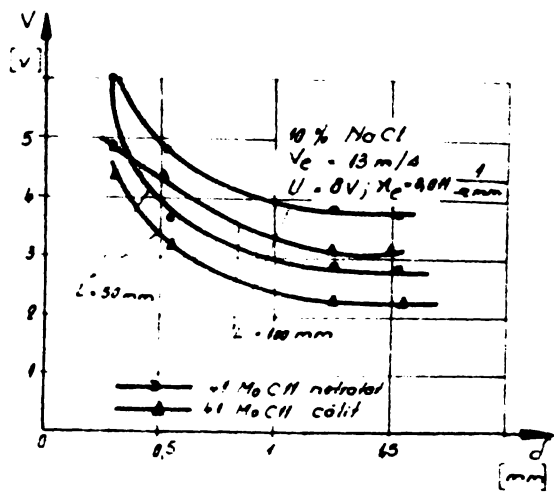


Fig. 3.64

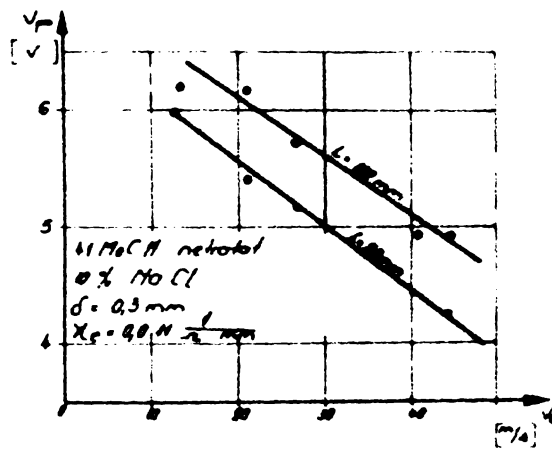


Fig. 3.65

Datorită numărului mare de factori care influențează căderea de tensiune de electrozi și conductivitatea electrolitului, este mult mai dificilă utilizarea relației /3.108/ pentru determinarea interstițiului de lucru.

3.2.2.5. Caracteristica de polarizare a electrozilor.

Caracteristica de polarizare a electrozilor este determinată de parametrii tehnologici de lucru și de proprietățile electrolitului /vezi relația 3.107/ [3.10, 3.11, 3.12]. Valorile caracteristice de polarizare pot fi determinate în condițiile de lucru reale sau în condițiile de laborator.

bit din punct vedere practic atât datorită reducerii numărului și curăteii investigațiilor cât și unei modelări matematice mai simple. Expresile de calcul sînt cu atât mai reduse cu cât numărul de parametri variabili în procesul de prelucrare este mai mic. Astfel, în condițiile prelucrării unor suprafețe de secțiune constantă, la valoarea variabilă a interstițiului, ceilalți parametri pot fi menținuți practic constanți.

În figura 3.66 se prezintă dependența caracteristicii regimului în funcție de valoarea medie a interstițiului de lucru în cazul prelucrării probelor cu lîngimea de 100 mm în celula din figura 3.1.

Pentru prelucrarea oțelului 41 NoC11 călit, aceeași dependență este redată în figura 3.67.

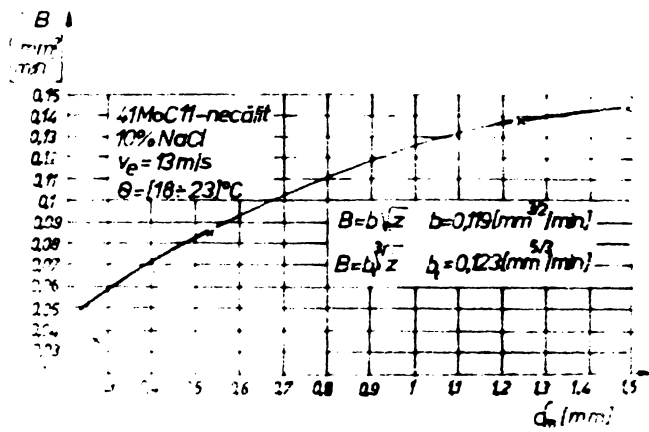


Fig. 3.66

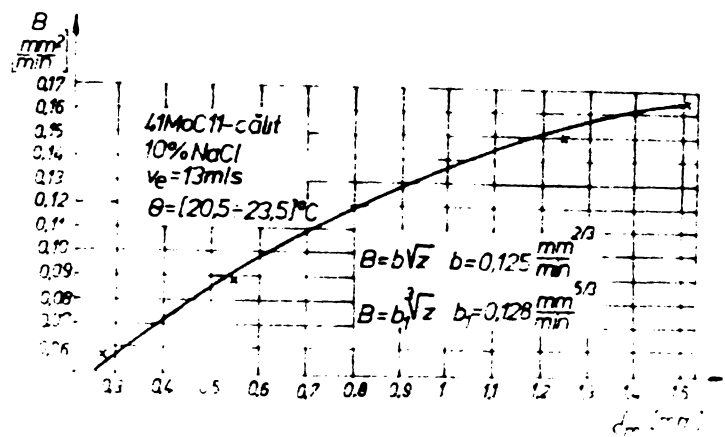


Fig. 3.67

Aceste curbe pot fi aproximato prin valoarea următoarelor formule:

$$B = b \cdot \sqrt{z} \quad \left[\frac{\text{mm}^2}{\text{min}} \right] \quad /3.113/$$

$$B = b_1 \cdot \sqrt[3]{z} \quad \left[\frac{\text{mm}^2}{\text{min}} \right] \quad /3.114/$$

în care

z este valoarea curentă a interstițiului de lucru,

b și b_1 - coeficienți de proporționalitate a căror valori rezultă din cele două figuri.

Din relația /3.11/, viteza de dezvoltare ciclică poate fi scrisă sub forma

$$v_A = \frac{1}{z} \quad \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] \quad /3.115/$$

deci, selectiv $v_A = \frac{1}{z} \cdot \left(\frac{1}{3.113} \right) \cdot \left(\frac{1}{b} \right) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{z}} \right)$

$$v_A = \frac{1}{z} \cdot \frac{1}{b} \cdot \frac{1}{\sqrt{z}} \quad \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] \quad /3.116/$$

$$v_A = \frac{1}{z} \cdot \frac{1}{b} \cdot \frac{1}{\sqrt{z}} \quad \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] \quad /3.117/$$

În figura 3.68 se prezintă curbele de evoluție a vitezei de eroziune anodică în funcție de interstițialul de lucru, obținute prin terminări experimentale /curba 1/, prin folosirea relației /3.117/ /curba 2/ și prin folosirea relației /3.116/ /curba 3/, pentru cazul prelucrării probelor oțelice. Se

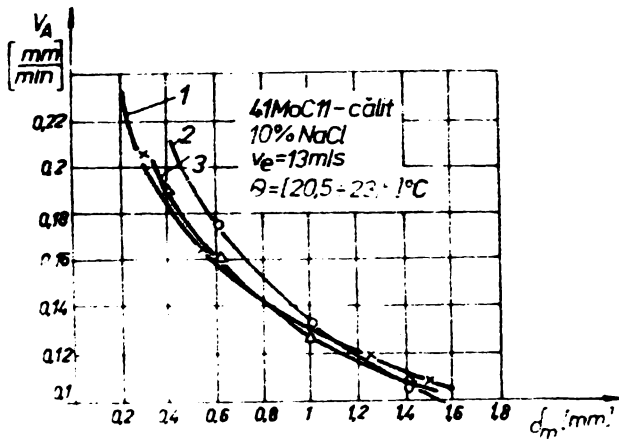


Fig. 3.68

remarcă faptul că modelul matematic de forma relației /3.116/, se apropie mai mult de rezultatele experimentale. Folosind variantele de prelucrare ca cele prevăzute în figura 3.5.b și 3.5.c, au fost ridicate curbele de dependență a caracteristicii regiunii de prelucrare în funcție de valoarea interstițialului de lucru pentru probelor oțelice /Fig. 3.69/ și pentru cele oțelice /Fig. 3.70/.

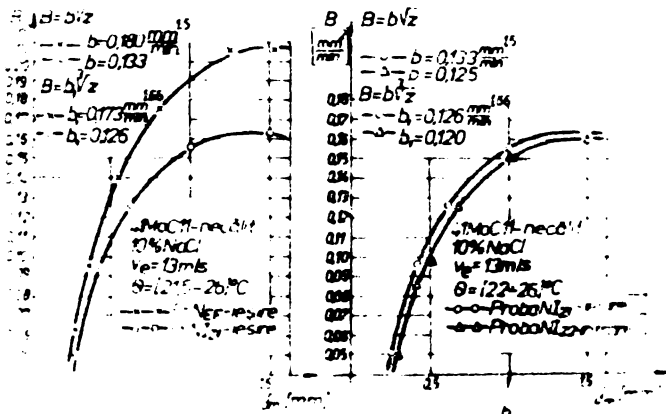


Fig. 3.69

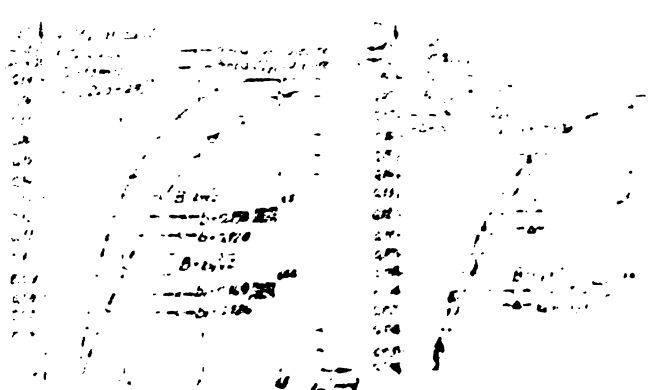


Fig. 3.70

În toate cazurile succedate cu conținutul de eroziune anodică în funcție de caracteristicii regiunii oțelice cu eroziune anodică, interstițialul de lucru este constant, dar pentru aceeași valoare a interstițialului de lucru, eroziunea anodică are valori mai mari la probele oțelice decât la probele de prelucrare anodică, rezultând în acest fel o prelucurabilitate mai bună.

Corelând valorile caracteristicii regiunii oțelice cu eroziune anodică și valoarea interstițialului de lucru, în interstițialul de lucru, se poate observa următoarele:

- caracteristica regiunii oțelice cu eroziune anodică este mai bună decât la probele oțelice decât la probele de prelucrare anodică.

3.70.e/;

- probele netratate prezintă valori mai mari ale caracteristicilor rugozității în zona de ieșire a electrolitului din interstițiul suport cu zona de intrare /Fig. 3.69.b/. La probele culate rezultă valori mai mici înversă /Fig. 3.70.b/.

Pentru a evidenția modul în care influențează valcarea interstițiului, lungimea probei de prelucrat și modul de dispunere a probei în direcția de curgere a electrolitului asupra preciziei de prelucrare, au fost ridicate, prin măsurători, profilogramele suprafeței prelucrate /Fig. 3.71.a.b.c/ și curbele de variație a rugozității suprafeței /Fig. 3.72.a.b.c/ pentru probele netratate termic. De asemenea au fost realizate condi-

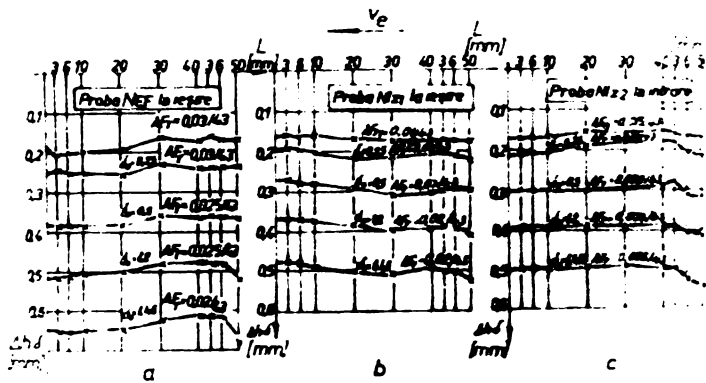


Fig. 3.71

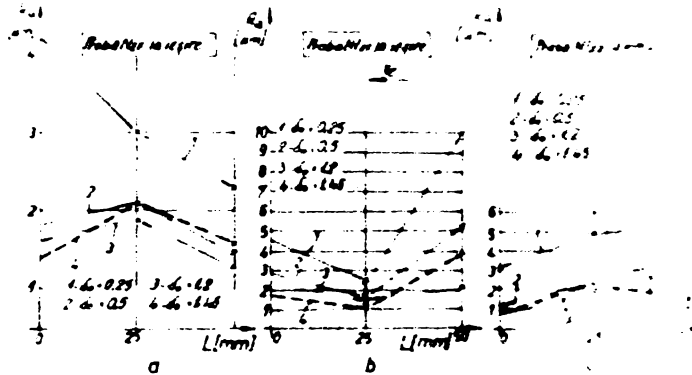


Fig. 3.72

ții de prelucrare, odată cu creșterea interstițiului prezintă și tendința de a crește și rugozitatea suprafeței de prelucrare.

Acste elemente de caracterizare a preciziei de prelucrare sunt influențate de viteza de lucru și de lungimea suprafeței, asigurându-se precizia și stabilitatea în cazul prelucrării suprafețelor cu lungime mică.

Din cercetările experimentale efectuate rezultă că caracteristicile rugozității depinde de viteza de lucru, de temperatura electrolitului, de interstițiul de lucru, de temperatură și de lungimea suprafeței prelucrate. Astfel la prelucrarea cu un interstițiu de 0.15 mm și o temperatură de 40°C, rugozitatea este mai mică decât la prelucrarea cu un interstițiu de 0.25 mm și o temperatură de 40°C.

De asemenea s-a constatat că rugozitatea este mai mică la prelucrarea cu un interstițiu de 0.15 mm și o temperatură de 40°C decât la prelucrarea cu un interstițiu de 0.25 mm și o temperatură de 40°C. Astfel se poate observa că rugozitatea este mai mică la prelucrarea cu un interstițiu de 0.15 mm și o temperatură de 40°C decât la prelucrarea cu un interstițiu de 0.25 mm și o temperatură de 40°C.

$$R_a = 0,015 + \frac{0,001}{v} \cdot v_{max} \quad [\mu m^2/mm]$$

pentru oțelul 41MoCl1 retratat și

$$F = 0,035 + \frac{v_{op} - 0,035}{v_{eop}} \cdot v_e \quad [m^2/min] \quad /3.11./$$

pentru același oțel în stare cilită.

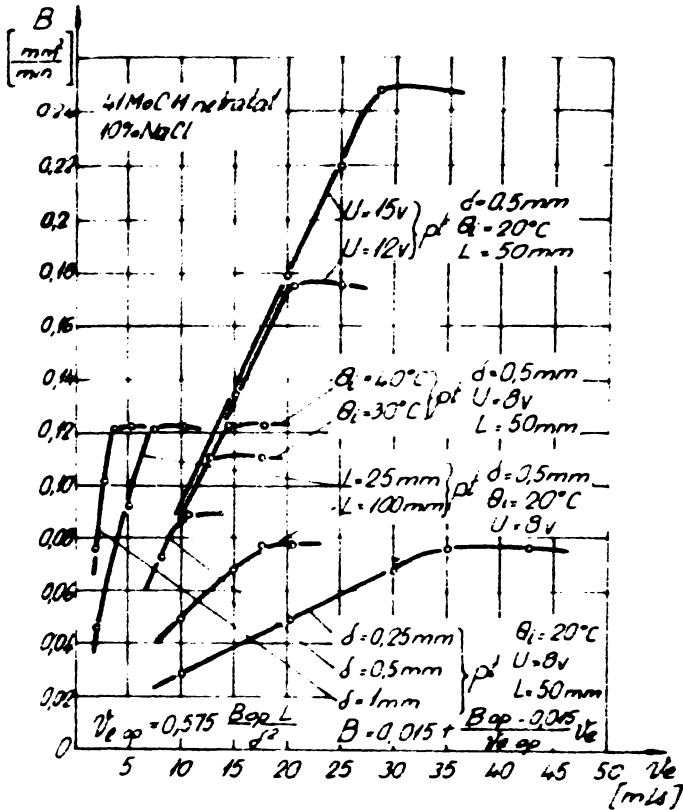


Fig. 3.73

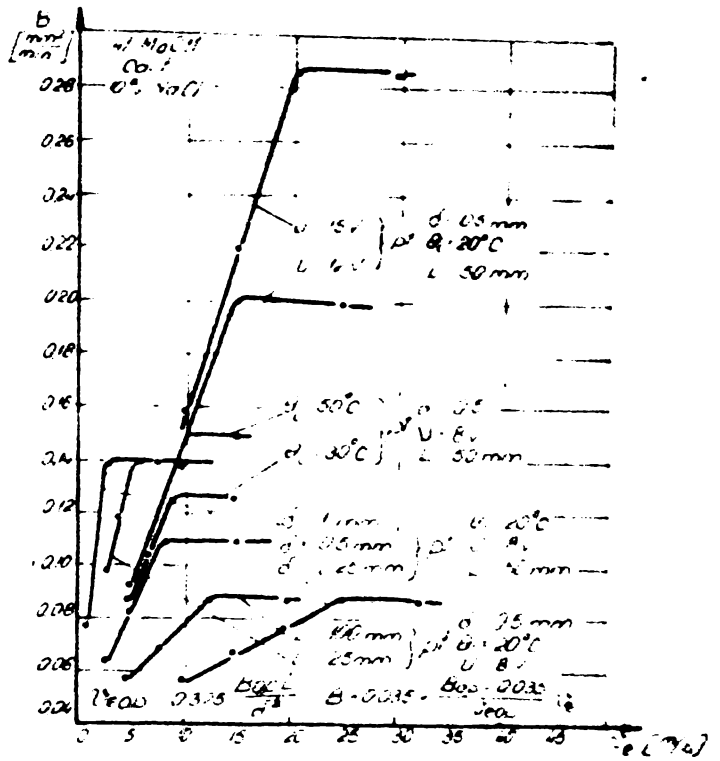


Fig. 3.74

Din aceleași cercetări /Fig. 3.73 și 3.74/ rezultă că viteza optimă de curgere a electrolitului poate fi dimensionată printr-o relație de forma:

$$v_{eop} = K_2 \cdot \frac{v_{op} \cdot L}{d} \quad [m/c] \quad /3.12./$$

Pentru constanta K_2 au fost stabilite valorile:

$K_2 = 0,075$ la prelucrarea oțelului 41MoCl1 retratat și

$K_2 = 0,375$ la prelucrarea oțelului 41MoCl1 cilit.

Deci, pentru a avea asigurată ota alimentată cu electrolit printr-o curgere $v_e = ct$, viteza de curgere a electrolitului trebuie să fie egală cu v_{eop} .

Luând în considerare înălțimea h a electrolitului, lungimea L a intercalului de lucru și diferența de tensiune pe intercalul de lucru, se poate determina viteza optimă de curgere a electrolitului. Din figurile /3.73 și 3.74/ rezultă că valoarea optimă a curgerii electrolitului este:

$$v_{op} = K_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{d \cdot \theta_i}{L}} \quad [m/min] \quad /3.13./$$

Pentru constanta k_1 , au fost stabilite valorile:

$$K_1 = 7,3 \cdot 10^{-3} \text{ la prelucrarea oțelului 41MoCr11 nitratat și}$$

$$K_1 = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ la prelucrarea oțelului 41MoCr11 calit.}$$

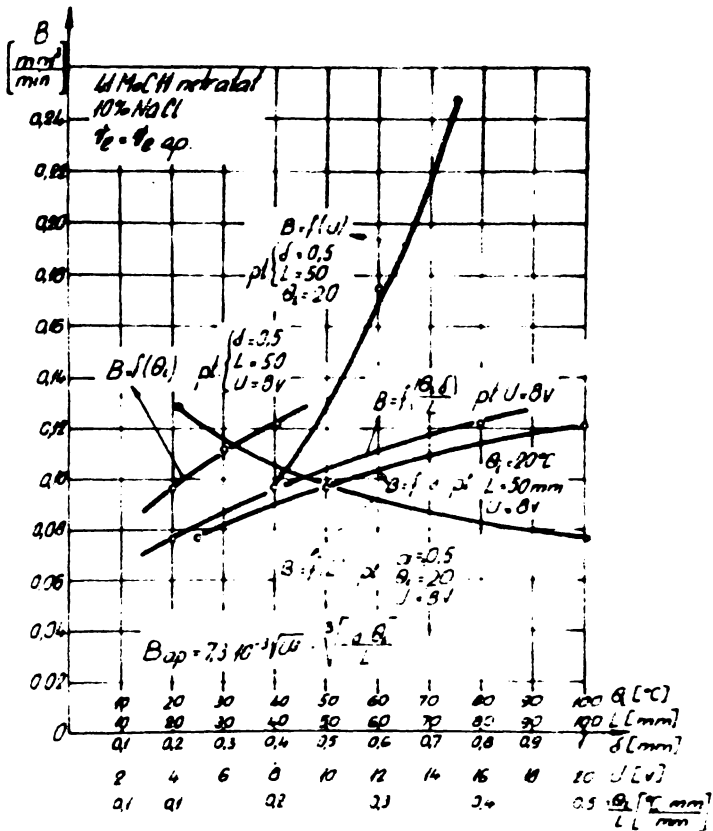


Fig. 3.75

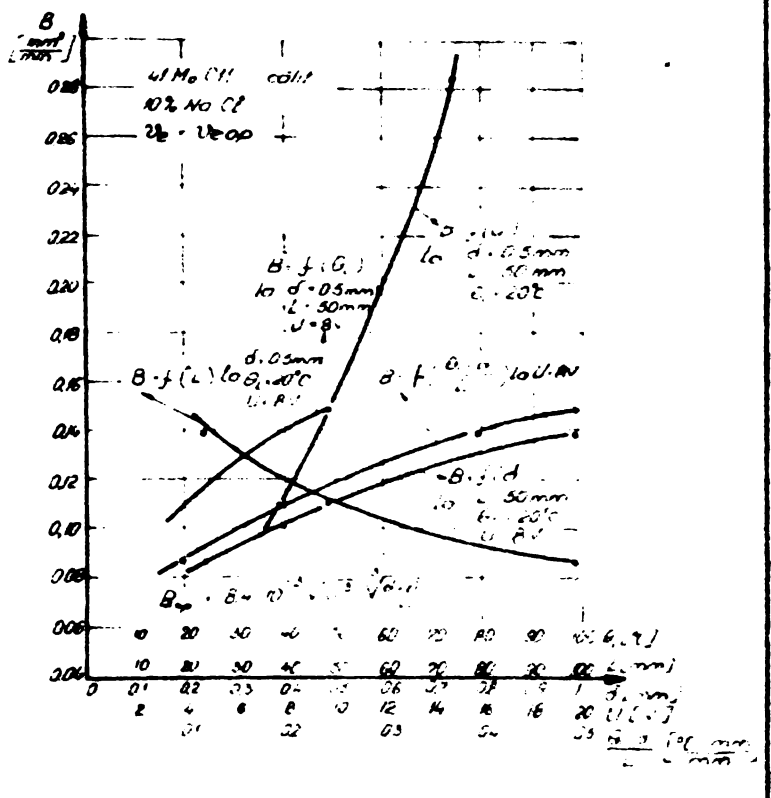


Fig. 3.76

Relațiile /3.120/ și /3.121/ și pentru validitatea lor numai în cazul utilizării electrolitului cu NaCl și în cazul electrolitelor electrolitiți cu condiția ca densitatea curentului să fie mai mare decât i_{lim} /Fig. 3.34/, adică echivalentul electrochimic volumic efectiv să rămână constant.

Relația /3.120/ poate fi utilizată și pentru dimensionarea debitului maxim pe care trebuie să-l asigure sistemul de pompare al unei țepi de prelucrat electrochimic

$$Q_e = 6 \cdot 10^{-2} \cdot b \cdot \delta \cdot v_e = 6 \cdot 10^{-2} \cdot K_2 \frac{I_{on} \cdot L \cdot b}{\delta} \quad [l/min] \quad /3.120/$$

Au raportul $\frac{Q}{\delta} = v_A = k_v \cdot \frac{I}{L \cdot b}$, expresia /3.120/ poate fi scrisă

formă:

$$v_e = 6 \cdot 10^{-2} \cdot k_2 \cdot k_v \cdot I \quad [l/min] \quad /3.121/$$

unde k_2 au fost stabilite la prelucrarea oțelului 41MoCr11 nitratat și la prelucrarea la oțelului 41MoCr11 calit. și au fost stabilite la o valoare constantă $k_2 = 0,5$ și $k_2 = 0,6$ respectiv.

$$v_e = \frac{I \cdot k_v}{100} \quad [l/min] \quad /3.122/$$

în care I_{max} este intensitatea maximă a curentului pe care o poate asigura sursa de alimentare cu energie electrică a mașinii.

Relația /3.124/ este în concordanță cu valorile indicate pentru debitele pompei de alimentare cu electrolit de către unele firme cu experiență în construcția mașinilor de prelucrat prin eroziune electrochimică [C.2; C.5; H.6; M.25; N.20].

Din relația (3.123) rezultă că pentru fiecare gram de material erodat sînt necesari 3÷6 litri de electrolit.

Metodica prezentată pentru stabilirea relațiilor /3.120/ și /3.121/ necesită o investigație experimentală redusă în comparație cu cercetările ample pe care le impune analiza individuală a parametrilor de bază ai procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică.

3.2.2.6. Cercetări privind influența amestecului gaz-electrolit asupra prelucrării prin eroziune electrochimică hidrodinamică.

În procesul de prelucrare electrochimică la catod se degajă hidrogenul creîndu-se în acest fel un mediu bifazic de curgere. Pentru a analiza prelucrarea în aceste condiții, au fost efectuate o serie de cercetări experimentale prin introducerea în interstițiul de lucru a unui debit controlat de gaz-electrolit.

Dacă se consideră interstițiul de lucru cu parametrii prezentați în figura 3.77 și armăturile ipotetice:

- 1.- Faza lichidă a amestecului este încompresibilă, iar faza gazoasă se poate aplica legile gazelor perfecte;
- 2.- Amestecul este omogen, variația temperaturii este neglijabilă și nu există alunecări între cele două faze.

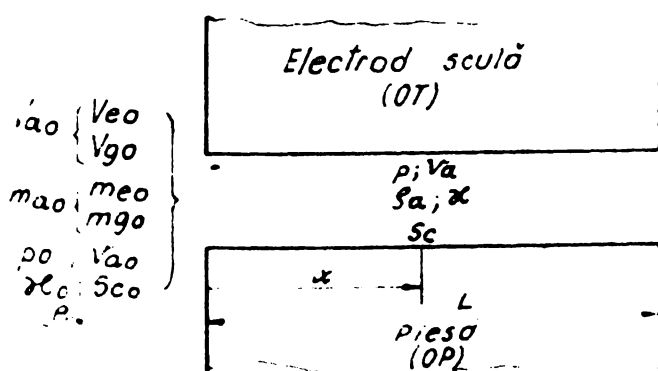


Fig. 3.77

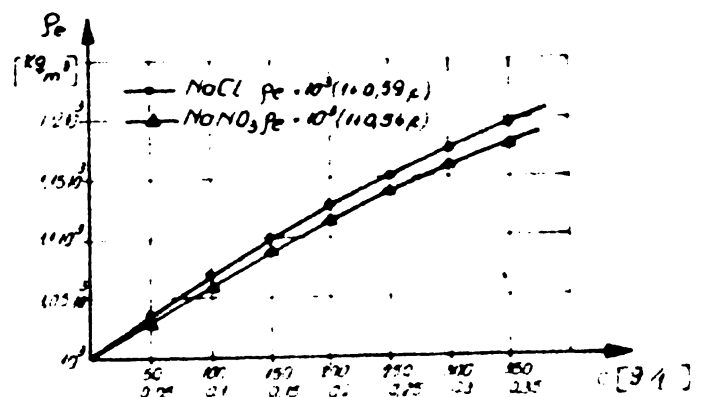


Fig. 3.78

Atunci, dacă se ține seama de faptul că...

Volumul amestecului este însă variabil de-a lungul liniilor de curgere ale electrolitului, depinzând de presiunea și concentrația volumică a amestecului $/C_{go}/$:

$$v_a = (1 - C_{go}) v_{ao} + \frac{p_o}{p} C_{go} \cdot v_{ao} \quad /3.126/$$

în care $C_{go} = \frac{v_{go}}{v_{ao}}$ /3.127/

Din expresiile /3.125/ și /3.126/ se poate scoate relația prin care se definește densitatea amestecului

$$\rho_a = \frac{\rho_{eo} - C_{go} \cdot \rho_{eo} + C_{go} \cdot \rho_{go}}{1 - C_{go} + \frac{p_o}{p} C_{go}} \quad /3.128/$$

în care ρ_{eo} este densitatea inițială a electrolitului.

Densitatea inițială a electrolitului depinde de concentrația și natura electrolitului utilizat /Fig. 3.78/.

Pornind de la legea continuității curgerii:

$$\rho_a \cdot v_a \cdot S_c = \rho_{ao} \cdot v_{ao} \cdot S_{co} \quad /3.129/$$

se ajunge la următoarea expresie a vitezei de curgere a amestecului

$$v_a = \left(1 - C_{go} + C_{go} \frac{p_o}{p}\right) \frac{S_{co}}{S_c} \cdot v_{ao} \quad /3.130/$$

Expresia /3.130/ arată că viteza de curgere a amestecului crește pe măsura ce curentul se apropie de secțiunea de ieșire a electrolitului din interstițiul de lucru. Creșterea vitezei amestecului este însă limitată de viteza de propagare a sunetului, viteză ce scade odată cu creșterea concentrației gazului în amestec [3.24].

$$v_{co} = \sqrt{\left(\frac{\mu}{\rho_e}\right)^2 + 2 \frac{p_o - p_f}{\rho_e}} - \frac{\mu}{\rho_e} \quad /3.131/$$

în care $\mu = 10 \cdot J \cdot k_H \cdot \frac{L}{\sigma} \cdot R \cdot T$

Datorită ipotezelor făcute, rezultatele din calcul diferă de cele experimentale cu pînă la 30%.

În figura 3.79 se prezintă dependența vitezei de curgere a electrolitului de presiunea relativă și densitatea curentului electric. Dacă densitatea curentului electric este diferită de zero, valoarea vitezei de curgere este limitată datorită creșterii concentrației în gaz.

Concentrația volumică a gazului în amestec poate fi calculată cu

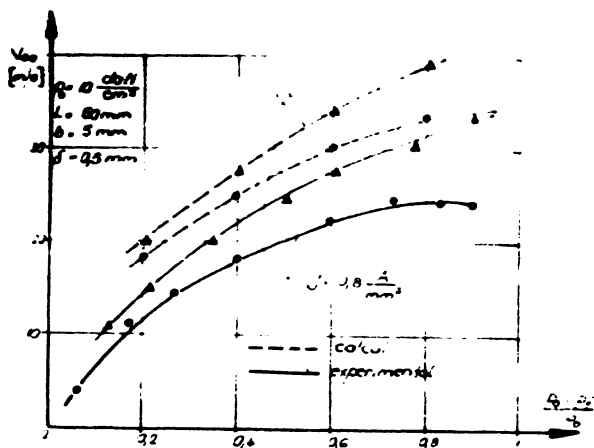


Fig. 3.79

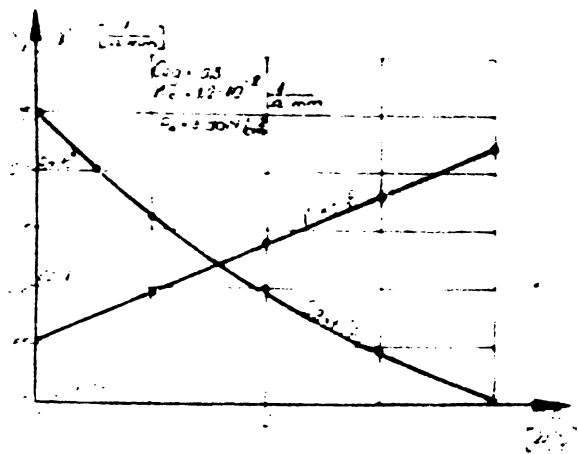


Fig. 3.80

relația:

$$C_g = \frac{\frac{p_0}{p} \cdot V_{go}}{V_{eo} + \frac{p_0}{p} \cdot V_{go}} \quad /3.132/$$

Sau exprimând în funcție de concentrația inițială în gaz

$$C_g = \frac{\frac{p_0}{p} \cdot C_{go}}{1 - C_{go} + \frac{p_0}{p} \cdot C_{go}} \quad /3.133/$$

Acastă creștere a concentrației în gaz a amestecului duce la modificări substanțiale a conductivității electrolitului. Expresia variației conductivității electrolitului în funcție de parametrii analizei este $[\bar{U}_1]$:

$$\kappa = \kappa_e \left[1 - 1,8 \frac{\frac{p_0}{p} \cdot V_{go}}{V_{eo} + \frac{p_0}{p} \cdot V_{go}} + \left(\frac{\frac{p_0}{p} \cdot V_{go}}{V_{eo} + \frac{p_0}{p} \cdot V_{go}} \right)^2 \right] \quad /3.134/$$

Tinând seama de expresia /3.133/, relația de variație a conductivității electrolitului mai poate fi scrisă sub forma:

$$\kappa = \kappa_0 \left[1 - 1,8 \frac{\frac{p_0}{p} \cdot C_{go}}{1 - C_{go} + \frac{p_0}{p} \cdot C_{go}} + \left(\frac{\frac{p_0}{p} \cdot C_{go}}{1 - C_{go} + \frac{p_0}{p} \cdot C_{go}} \right)^2 \right] \quad /3.135/$$

Utilizând relațiile /3.133/ și /3.135/ s-au ridicat curbele din figura 3.80. Se remarcă faptul că pe măsură ce crește presiunea, deci cu cât electrolitul se află mai aproape de îngheț (în interstițiu), cu cât, concentrația volumică în gaz crește, dar conductivitatea electrolitului

scade. Aceasta influențează în mod direct procesul de prelucrare și în mod special, precizia de prelucrare.

Efectuând prelucrarea unor probe în celula de prelucrare /Fig. 3.1/, la densități mici de curent, pentru a modifica cât mai puțin temperatura și concentrația în gaz a electrolitului, se observă /Fig. 3.81/ că variația interstițiului (Δd), ca urmare a procesului de prelucrare, diferă

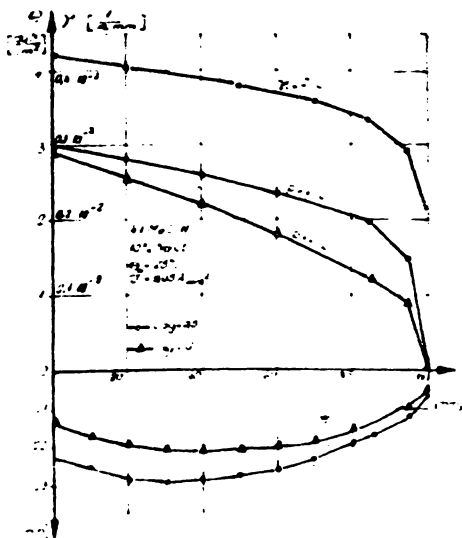


Fig. 3.81

de lungimea interstițiului. Conductivitatea variază foarte mult în partea finală a canalului de curgere.

Acest fenomen prezintă un interes deosebit la prelucrările a se amănăte o variație cât mai redusă a interstițiului lateral /perforare,

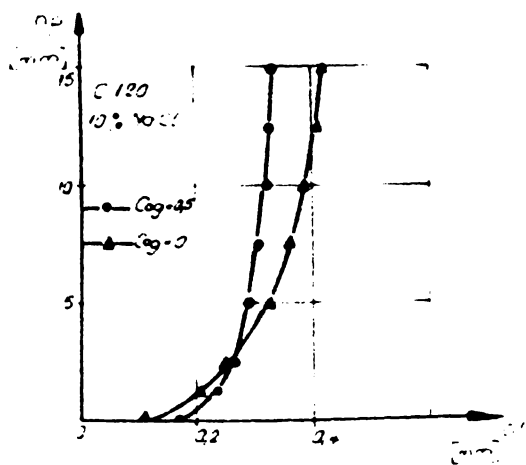


Fig. 3.82

adâncire etc./ . În acest sens, utilizarea amestecului gaz-electrolit asigură o precizie de prelucrare mai bună.

mult în cazul introducerii electrolitului curat în raport cu introducerea unui amestec gaz-electrolit cu concentrația de 0,5. Din aceeași figură se constată că, scăderea de presiune este mai lentă pe prima parte a canalului de curgere, la introducerea amestecului amintit decât la folosirea electrolitului curat. Aceasta se datorează vâscozității mai reduse a amestecului.

Folosind ecuația /3.1./ de calcul a conductivității și ținând seama de variația presiunii pe lungimea interstițiului, s-a ridicat curba de dependență a conductivității în funcție

de lungimea interstițiului lateral /perforare, adâncire etc./ . În acest sens, utilizarea amestecului gaz-electrolit asigură o precizie de prelucrare mai bună.

În figura 3.82 se prezintă rezultatele experimentale obținute la perforarea celulei C120 pe lărgime și la prelucratul celulei /Fig. 3.81/. Variația interstițiului în funcție de lungimea interstițiului este mai redusă la probe prelucrate cu amestecul gaz-electrolit decât la probe prelucrate cu electrolit pur.

La prelucrarea prin eroziune electrochimică a celulei C120 pe lărgime și la prelucratul celulei /Fig. 3.81/.

ticile tehnologice de bază: capacitatea productivă și precizia de prelucrare sînt influențate de o serie de factori dintre care cei mai importanți sînt: mașina, obiectul de transfer /electrodul-sculă/, semifabricatul, dispozitivul de instalare a obiectului prelucrării și a electrodului sculă, electrolitul folosit și operatorul care deservește mașina.

La rîndul lor acești factori, după agentul fizic sau chimic care intervine în procesul de prelucrare, pot acționa prin următoarele grupe de parametri: precizie, regim, material, rigiditate, temperatură, metodă de reglare, precizie de instalare, uzură, caracteristicile dimensionale și geometrice, calificarea și îndemnarea operatorului etc.

În figura 1.1 și 1.2 au fost prezentate legăturile existente între procesul de prelucrare, factorii amintiți și parametrii prelucrării.

Din punct de vedere al caracteristicilor tehnologice de bază, un interes deosebit îl prezintă sistemul tehnologic de prelucrare în cadrul căruia, valoarea și variația parametrilor tehnologici care caracterizează legea transferului de masă constituie elementele definitorii ale procesului de prelucrare considerat.

Dacă ne referim la precizia de prelucrare, din punct de vedere electrochimic, ca influența a variației parametrilor tehnologici care caracterizează legea transferului de masă, atunci, precizia de prelucrare este determinată de:

- conductivitatea electrică a electrolitului;
- potențialul total de polarizare;
- randamentul în raport cu curentul;
- căderea de tensiune totală pe interstițiul de lucru;
- echivalentul electrochimic volumic.

Din cercetările experimentale efectuate și prezentate în cadrul acestui capitol, rezultă că asupra fiecărui din acești parametri tehnologici prezentați - care de altfel definesc și mărimea caracteristicilor regimului de prelucrare /E/- acționează mai mulți parametri diferiți.

Astfel, în figura 3.84 se prezintă legăturile parametrilor primari ce caracterizează procesul de prelucrare și sursele de alimentare cu energie electrică cu valoarea interstițiului mediu de prelucrare pe legăturile construite /Cap. 4/, mașini ce folosesc ca sursă de energie electrică, căderea de tensiune pe interstițiul de lucru. Ca parametri primari, în cadrul acestei figuri, au fost considerați: valoarea totală în raport cu curentul, randamentul de prelucrare, căderea de tensiune pe interstițiul de lucru, valoarea echivalentului electrochimic volumic, suprafața de prelucrare, valoarea curentului de lucru, valoarea potențialului de lucru, valoarea rezistenței de lucru, valoarea rezistenței de lucru, valoarea rezistenței de lucru, valoarea rezistenței de lucru.

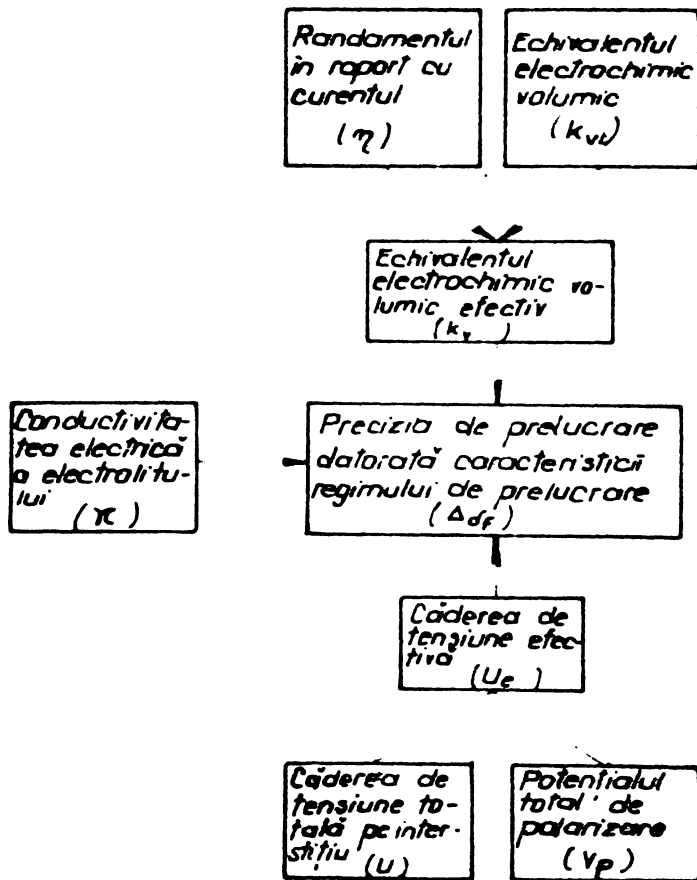


Fig. 3.83

conductivitatea electrică a electrolitului.

Pornind din partea inferioară spre partea superioară a figurii 3.83, se află etajele în linie parametrilor primari care influențează efectiv procesul de prelucrare. Interstițiul efectiv - ca parametru final - înglobează conținutul tuturor parametrilor primari considerați.

În figurile 3.85, 3.86 și 3.87 se prezintă dependența valorii conductivității, a potențialului de polarizare și a randamentului în raport cu curentul precum și variația acestor parametri tehnologici în raport cu parametrii primari ai procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică ca: interstițiul de lucru, concentrația e-

lectrolitului, concentrația în ioni, potențialul de lucru și celule de înaltă temperatură electrolitului, viteza de curgere a electrolitului, etc.

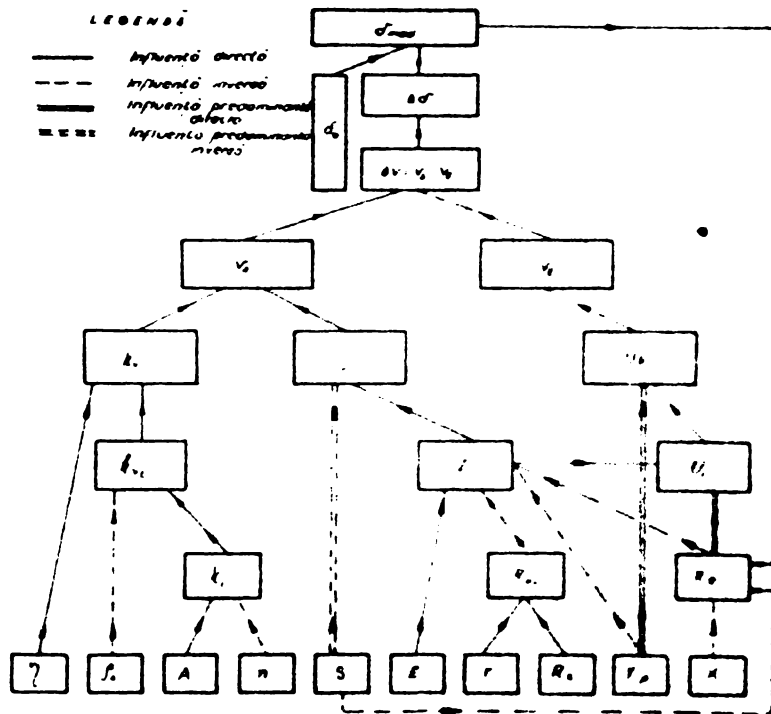


Fig. 3.85

lectrolitului, concentrația în ioni, potențialul de lucru și celule de înaltă temperatură electrolitului, viteza de curgere a electrolitului, etc. În figura 3.85 se prezintă dependența valorii conductivității, a potențialului de polarizare și a randamentului în raport cu curentul precum și variația acestor parametri tehnologici în raport cu parametrii primari ai procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică ca: interstițiul de lucru, concentrația e-

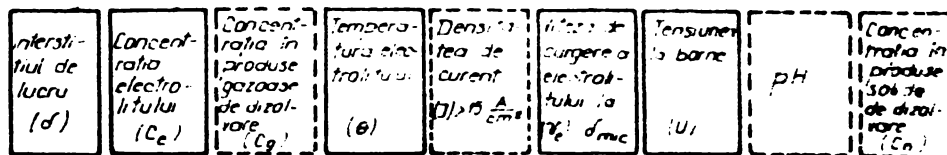
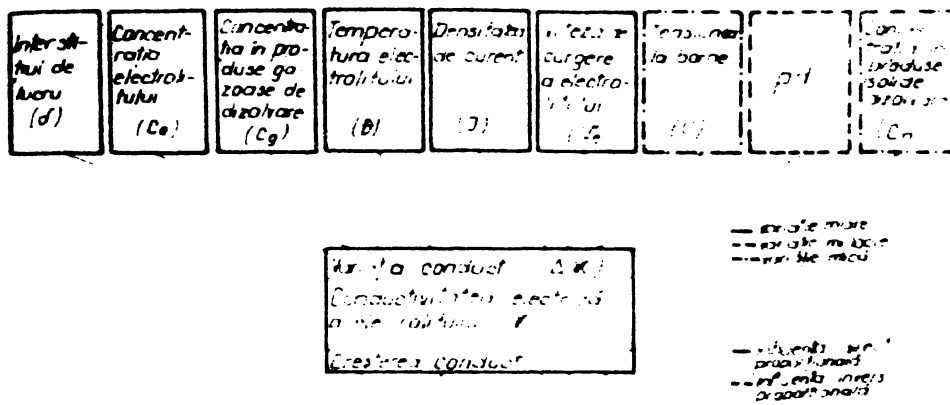


Fig. 3.85

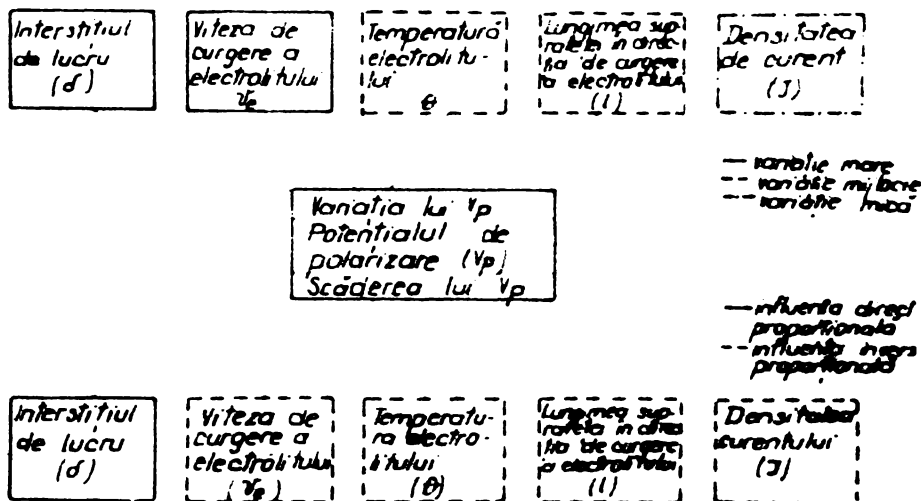


Fig. 3.86

lucrare în direcția de curenți de electroli-
tului.

În cadrul fiecărei parametri de caracteristici de lucru de electrochimie, la studiu ca factorii de influență sunt: temperatura, concentrația, pH-ul, etc. În exemplu în acest sens se prezintă în figura 3.86, în care sunt activate și influențele interținutului de lucru.

Referințele la calitate de lucru, în figura 3.86.

În tabelul din figura 3.86 sunt prezentate:

— variabile mare de lucru de electroli-
tului.

— variabile mică.

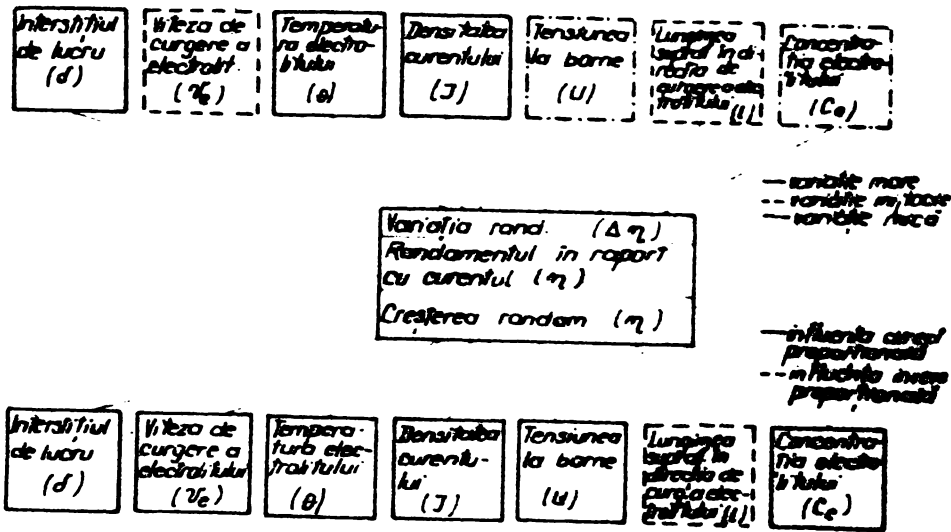
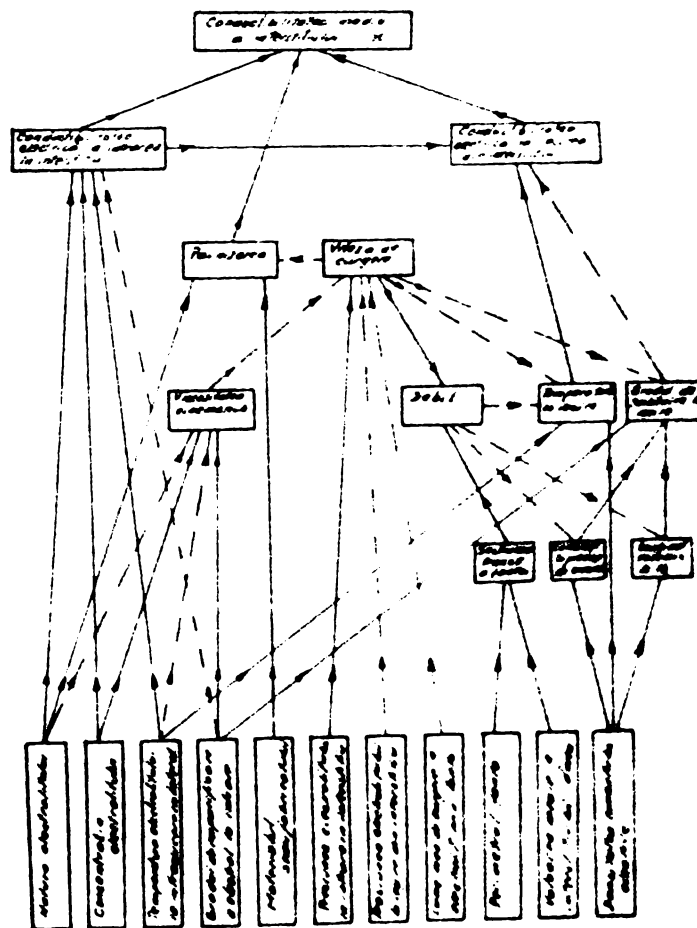


Fig. 3.7



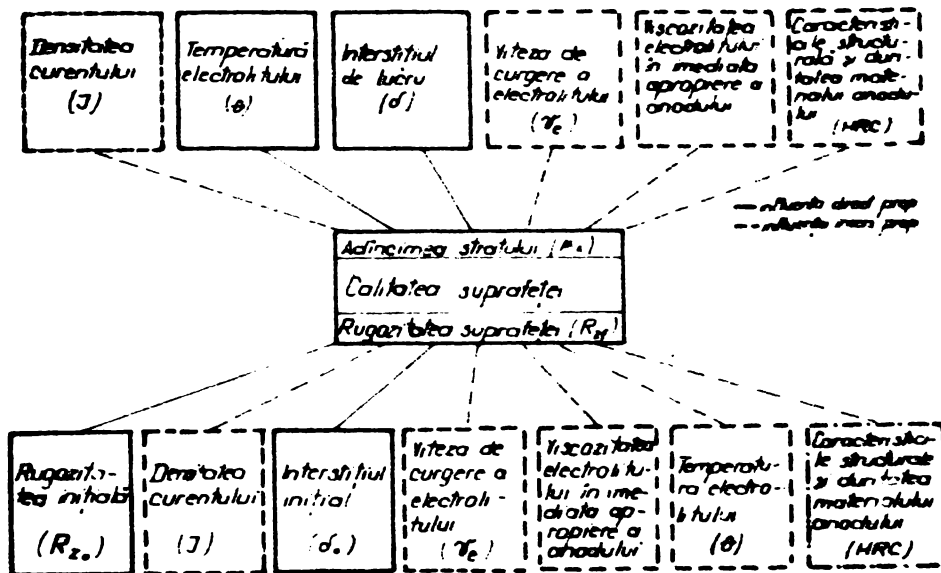


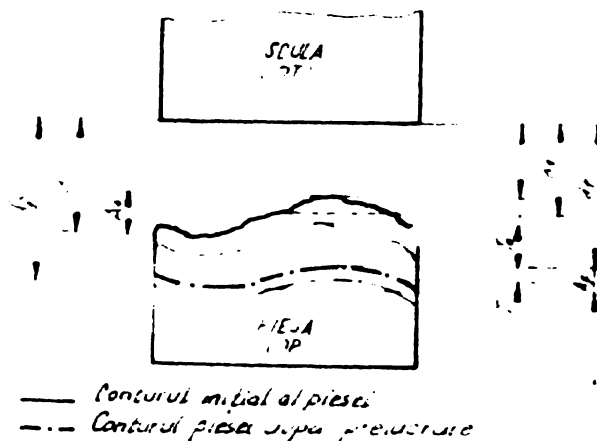
Fig.3.89

3.3. MODELAREA PROCESULUI DE PRODUCERE ÎN EROZIUNE ELECTROLITICĂ ÎN CÂMP HIDRODINAMIC

În cadrul acestui capitol se vor prezenta câteva exemple de modelare a parametrilor și procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică. La una din aceste modele s-au realizat teste experimentale teoretice și experimentale efectuate.

3.3.1. Modelarea proceselor de prelucurare în câmp hidrodinamic.

Între exemplele utilizate în acest capitol se va prezenta modelarea procesului de prelucurare în câmp hidrodinamic. În acest model se va lua în considerare influența câmpului hidrodinamic asupra procesului de prelucurare electrochimică.



utilizate în acest model sunt:

- δ_0 - interstițiul inițial (mm);
- δ'_0 - interstițiul inițial efectiv;
- δ_1 - interstițiul corespunzător densității limită de curent $i_{lim}/31.5$;
- A_0 - abaterile de formă a suprafeței după prelucurare;

Fig. 3.90

A_0 - abaterile de formă inițiale;
 δ_0 - interstițiul inițial (mm);
 δ'_0 - interstițiul efectiv inițial;

T_0 - toleranța inițială a interstițiului;

T - toleranța finală a interstițiului.

Luând în considerare dependența echivalentului electrochimic volumic efectiv de densitatea curentului, la prelucrarea oțelului OLC 45 netratat termic, în electrolit cu 10% NaNO_3 /Fig. 3.91/, se constată că la densități mai mari decât J_{lim} , echivalentul electrochimic volumic nu variază cu densitatea curentului pe cînd, pentru densități mai mici, acesta este variabil în raport cu densitatea curentului, avînd valori negliabile pentru densități mai mici decît J_{min} .

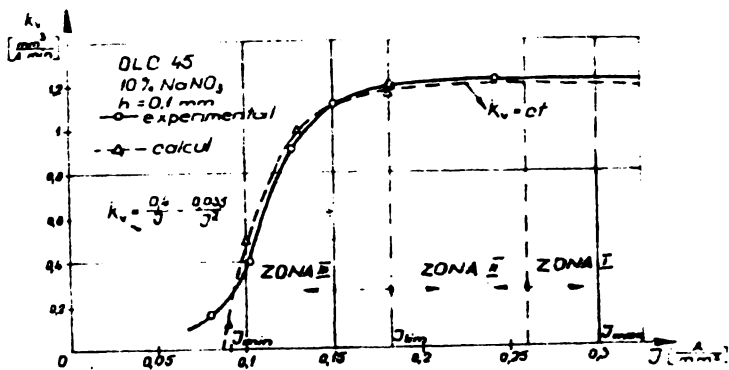


Fig. 3.91

Modelînd matematic acest grafic, în zona densităților $J_{min} < J < J_{lim}$, se obține următoarea expresie pentru echivalentul electrochimic volumic

$$k_v = \frac{0.4}{J} - \frac{0.035}{J^2} \quad /3.136/$$

această expresie este o particularizare a relației /3.104/

Ținînd seama de legătura dintre viteza de dizolvare medie și echivalentul electrochimic volumic $v_d = k_v \cdot J$, se poate scrie următoarea expresie de definire a acestei viteze:

$$v_d = 0.4 - \frac{0.035}{J} \quad /3.137/$$

Pentru zonele densităților $J > J_{lim}$, viteza de dizolvare va fi:

$$v_d = k_v \cdot J \quad /3.138/$$

Înălțimea interstițiului poate fi exprimată prin funcțiile fizico-geometrice ale interstițiului:

$$h = \frac{J \cdot \pi}{\rho} \quad /3.139/$$

Ca urmare, se pot scrie următoarele expresii pentru viteza de dizolvare

$$v_d = 0.4 - 0.035 \frac{\rho}{\pi \cdot J} \quad /3.140/$$

$$v_d = k_v \cdot \frac{J \cdot \pi}{\rho} \quad /3.141/$$

Representarea grafică a expresiilor /3.137/, /3.138/, /3.140/ și /3.141/ este redată în figura 3.92

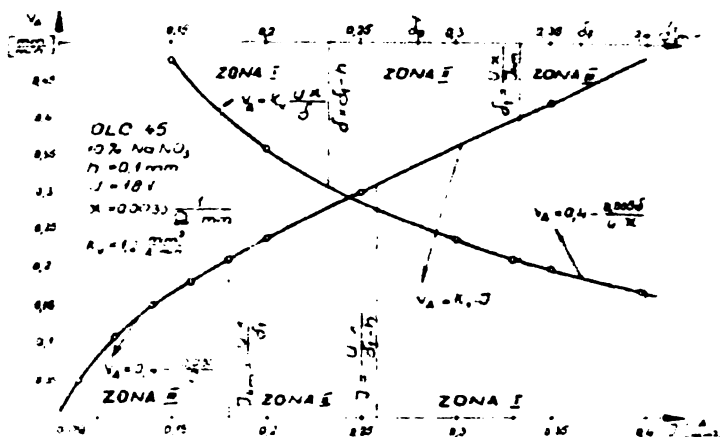


Fig. 3.92

Indepărtarea unui anod de prelucrare h , se poate realiza, în funcție de valoarea densității sau interstițiului inițial de prelucrare, integral după legile /3.137/ și /3.140/ /zona III/ sau după legile /3.138/ și /3.141/ /zona I/. Dacă se îndepărtează același anod, pornind de la o densitate inițială mai mare decât J_{lim} , sau de la un intersticiu inițial mai mic decât σ_1 (zona II), prelucrarea se realizează succesiv după ambele legi /3.138/ și /3.137/, respectiv /3.141/ și /3.140/.

Definind viteza de disolvare anodică prin

$$v_A = \frac{d\sigma}{dt} \quad /3.142/$$

și integrând ecuațiile /3.140/ și /3.141/ pentru situația inițierii procesului de prelucrare de la un intersticiu inițial $\sigma_0 < \sigma_1$, până la un intersticiu final $\sigma_f > \sigma_1$ /Fig. 3.92 și 3.92/, se pot stabili ecuațiile interstițiului și a timpului de prelucrare:

pentru intervalul $\sigma_0 - \sigma_1$

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_0^2 + 2 \cdot U \cdot \kappa \cdot k_v \cdot t_1} \quad /3.143/$$

$$t_1 = \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{2 \cdot U \cdot \kappa \cdot k_v} \quad /3.144/$$

pentru intervalul $\sigma_1 - \sigma_f$

$$\sigma_f = e^{-\frac{0,035}{U \cdot \kappa} \cdot t} \left[\sigma_1 - 11,43 \cdot U \cdot \kappa \left(1 - e^{\frac{0,035}{U \cdot \kappa} \cdot t} \right) \right] /3.145/$$

$$t = \frac{U \cdot \kappa \cdot \ln \frac{11,43 \cdot U \cdot \kappa - \sigma_f}{11,43 \cdot U \cdot \kappa - \sigma_1}}{0,035} \quad /3.146/$$

Durata totală a procesului de prelucrare este dată de suma celor doi timpi

$$t_p = t_1 + t \quad /3.147/$$

Considerind că o cătă parte $/T_1/$ din toleranța suprafeței prelucrate $/T/$ se datorește toleranței timpului de intrerupere a procesului $/T_{tp}/$, rezultă că viteza finală a procesului de prelucrare trebuie să fie

$$v_{Af} = \frac{T_1}{T_{tp}} \quad /3.148/$$

Ca ajutorul ecuațiilor stabilite mai sus, se poate face proiectarea tehnologică pentru orice piesă concretă ce urmează a fi prelucrată prin acest procedeu.

În cele ce urmează se vor face referiri la patru din problemele posibile ce se pot pune la prelucrarea piesei prezentate în figura 3.9e.

I. Se cunosc: d_0 ; d_f ; Δ_0 ; T_1 ; T_{tp} ; κ ; J_{lim} ; k_v

Se cer a fi definite: U ; t_p ; d_1 ; d'_f ; Δ_f

Din egalitățile expresiilor /3.140/ și /3.148/ rezultă:

$$U = \frac{0,035 \cdot d_f}{\kappa \left(0,4 - \frac{T_1}{T_{tp}}\right)} \quad /3.149/$$

Valearea limită a interstițiului (d_1) se stabilește cu relația

$$d_1 = \frac{U \cdot \kappa}{J_{lim}} \quad /3.150/$$

Considerind că $d_0 < d_1$ /zona II/, timpul de prelucrare se obține prin însumarea timpilor parțiali stabiliți cu expresiile /3.144/ și /3.146/

Interstițiul inițial maxim (d'_0) poate fi definit în funcție de abaterea inițială de formă $/\Delta_0/$

$$d'_0 = d_0 + \Delta_0 \quad /3.151/$$

În situația în care $d_0 > d_1$ după timpul de prelucrare t_p , interstițiul final corespunzător acestei prelucrări (d'_f) se poate calcula cu expresia /3.152/

$$d'_f = e^{-\frac{0,035}{U \cdot \kappa} \cdot t_p} \left[d'_0 - 11,43 U \cdot \kappa \left(1 - e^{-\frac{0,035}{U \cdot \kappa} \cdot t_p}\right) \right] \quad /3.152/$$

Dacă $d_0 < d_1$, deci și pentru această porțiune a suprafeței procesul se inițiază în zona II, atunci expresia interstițiului final este:

$$d'_f = e^{-\frac{0,035}{U \cdot \kappa} \cdot (t_p - t'_1)} \left[d_1 - 11,43 U \cdot \kappa \left(1 - e^{-\frac{0,035}{U \cdot \kappa} \cdot (t_p - t'_1)}\right) \right] \quad /3.153/$$

in care.

$$t_1' = \frac{\sigma_0'^2 - \sigma_1^2}{2 \cdot U \cdot \kappa \cdot k_v} \quad /3.154/$$

Abateră de formă se stabilește prin diferența interstițială finală

$$\Delta_f = \sigma_f' - \sigma_f \quad /3.155/$$

II. Se cunosc: t_p ; σ_0 ; Δ_0 ; U ; κ ; k_v ; J_{lim}

Se cer a fi stabilite mărimile: σ_1 ; σ_0' ; t_1 ; t ; σ_f' ; σ_f ; Δ_f .

Mărimile σ_1 și σ_0' , se stabilesc ca și în cazul anterior cu relațiile /3.150/ și respectiv /3.151/.

Pentru definirea mărimilor t_1 ; t ; σ_f' ; σ_f și Δ_f se folosesc expresiile /3.144/, /3.146/, /3.152/, /3.145/ și respectiv /3.155/

Relațiile prezentate pot fi folosite și la dimensionarea electrodului sculă precum și pentru optimizarea procesului de prelucrare.

III. Dacă în figura 3.9e se echivalează abaterile inițiale și finale de formă cu rugozitățile maxime inițiale și finale / $\Delta_0 \rightarrow R_{max_0}$ și $\Delta_f \rightarrow R_{max_f}$ /, există posibilitatea stabilirii relațiilor de calcul pentru rugozitatea suprafeței obținută după prelucrare.

a./ Pentru $J > J_{lim}$, ($\sigma_0 < \sigma_1 + h$)

$$R_{max_f} = \sigma_f' - \sigma_f \quad /3.156/$$

Definind mărimile σ_f' și σ_f prin relația /3.143/ și ținând seama de faptul că timpul de prelucrare este același atât pentru fundul rugozității cât și pentru vârful ei, se obține următoarea expresie de calcul a rugozității maxime finale

$$R_{max_f} = \sqrt{\sigma_0'^2 + \sigma_f^2 - \sigma_0^2} - \sigma_f \quad /3.157/$$

Considerând cunoscute: σ_0 , R_{max_0} , h și exprimând mărimile

$$\sigma_0' = \sigma_0 + R_{max_0} \quad /3.158/$$

$$\sigma_f = \sigma_0 + h \quad /3.159/$$

se obține expresia rugozității finale în funcție de mărimile cunoscute

$$R_{max_f} = \sqrt{(\sigma_0 + R_{max_0})^2 + (\sigma_0 + h)^2 - \sigma_0^2} - (\sigma_0 + h) \quad /3.160/$$

b./ Pentru $J < J_{lim}$, ($\sigma_0 > \sigma_1$)

Din relațiile /3.156/, /3.158/, /3.159/, /3.145/ și /3.146/ se obține expresia rugozității maxime finale a suprafeței prelucrate în aceste condiții

$$R_{\max_f} = R_{\max_o} \frac{11,43 \cdot U \cdot \kappa - (\sigma_o + h)}{11,43 \cdot U \cdot \kappa - \sigma_o} \quad /3.161/$$

c./ Prelucrarea se realizează în zona II /Fig. 3.91 și 3.92/
 $(\sigma_1 - h < \sigma_o < \sigma_1)$

Printr-un raționament analog cu cel prezentat la cazurile anterioare și folosind expresiile /3.161/ și /3.160/ se obține

$$R_{\max_f} = \left[\sqrt{(\sigma_o + R_{\max_o})^2 + \sigma_1^2 - \sigma_o^2} - \sigma_1 \right] \frac{11,43 \cdot U \cdot \kappa - (\sigma_o + h)}{11,43 \cdot U \cdot \kappa - h_1} \quad /3.162/$$

IV. Se cunosc: J_{\max} ; J_{\min} ; R_{\max_o} ; R_{\max_f}

Se cere să se stabilească mărimea adăesului h de prelucrare, astfel încât procesul de îndepărtare a acestui adăes să se desfășoare în zona I caracterizată prin viteze mari de dizolvare anodică /Fig. 3.92/

Pentru a avea această condiție îndeplinită trebuie ca

$$\sigma_1 - \sigma_o = h \quad /3.163/$$

Din expresiile /3.163/, /3.160/ și /3.150/ rezultă

$$h = \frac{\left(\frac{J_{\max}}{J_{\min}} - 1 \right) (R_{\max_o} + R_{\max_f})}{\frac{2 \cdot R_{\max_f}}{R_{\max_o} - R_{\max_f}} \left(\frac{J_{\max}}{J_{\min}} - 1 \right) - 2} \quad /3.164/$$

În capitolul 5.1 se prezintă câteva cazuri concrete de utilizare a acestor relații pentru prelucrarea de finisare a pieselor cu dantură.

3.3.2. Modelarea influenței factorului termic și a concentrației în hidrogen asupra parametrilor procesului de prelucrare.

Variația temperaturii electrolitului în procesul de prelucrare electrochimică prevece variația parametrilor procesului de prelucrare electrochimică și în special a conductivității electrice a interstițiului. Dacă temperatura electrolitului la intrarea în interstițiul de lucru poate fi corelată cu suficientă precizie prin instalația de termotratăre cu care au fost însestrate sistemele de alimentare cu electrolit, temperatura după direcția de curgere a electrolitului prin interstițiu poate fi mai greu influențată deoarece este strins legată de proces.

Considerând schema de prelucrare a unei suprafețe plane ca cea din figura 5.93, atunci, întreaga cantitate de căldură dezvoltată ca urmare a efectului caloric al curentului electric, poate fi considerată că este preluată de volumul de electrolit aflat în interstițiul de lucru.

Dacă referirea se face la un volum elementar de electrolit, se poate scrie:

$$dq = \frac{U^2 \cdot \kappa_x \cdot ds}{\sigma} \cdot dt \quad /3.165/$$

in care κ_x este conductibilitatea electrică a electrolitului la distanța x .

In același timp dt , prin secțiunea interstițiului trece masa de electrolit

$$dn_0 = \rho_0 \cdot b \cdot \sigma \cdot v_0 \cdot dt \quad /3.166/$$

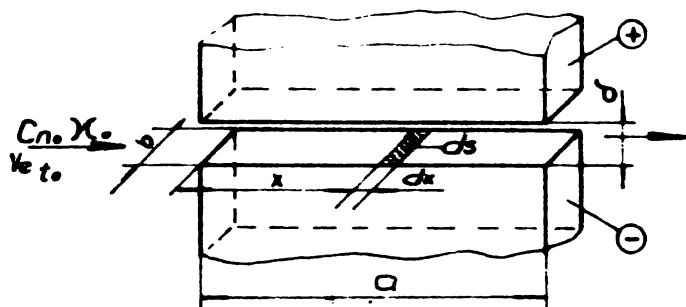


Fig. 5.93

/3.167/ devine:

$$d\theta = \frac{U^2 \cdot \kappa_x \cdot dx}{\sigma^2 \cdot \rho_0 \cdot \rho_0 \cdot v_0} \quad /3.165/$$

Cantitatea de căldură dezvoltată este preluată de această masă de electrolit ceea ce provoacă o creștere a temperaturii electrolitului cu valoarea $d\theta$

$$d\theta = \frac{dq}{dn_0 \cdot c_0} \quad /3.167/$$

Scm, folosind relațiile /3.165/ și /3.166/, relația

Considerind prelucrarea în electrolit cu NaCl, din relația /3.112/ poate fi scrisă expresia variației conductivității interstițiului în funcție de temperatură

$$d\kappa_x = \kappa_0 \cdot \alpha \cdot d\theta \quad /3.169/$$

in care $\kappa_0 = 10^{-2} \sqrt{3,6 \sigma}$

$$\alpha = 0,006 (1 + \sigma)$$

Din expresiile /3.168/ și /3.169/ rezultă:

$$\frac{d\kappa_x}{\kappa_x} = \frac{\kappa_0 \cdot \alpha \cdot U^2}{\sigma^2 \cdot \rho_0 \cdot \rho_0 \cdot v_0} dx \quad /3.170/$$

Soluționând ecuația /3.170/ pentru condițiile limită $\kappa_x = \kappa_0$ la $x=0$, expresia conductivității interstițiului într-un punct aflat la distanța x , va fi:

$$\kappa_x = \kappa_0 \cdot \exp \cdot \frac{\kappa_0 \cdot \alpha \cdot U^2}{\sigma^2 \cdot \rho_0 \cdot \rho_0 \cdot v_0} \cdot x \quad /3.171/$$

Variația conductivității electrolitului atrage după sine variația

distribuției intensității curentului după lungimea de sarcină a electro-
litului.

$$dI = \frac{U \cdot \kappa_x \cdot b \cdot dx}{\delta} \quad /3.172/$$

Prin înlocuirea în /3.172/ a relației /3.171/, se obține ecuația
diferențială:

$$dI = \frac{U \cdot b \cdot \kappa_0 \cdot dx}{\delta} \exp \frac{\kappa_0 \cdot L \cdot U^2}{\delta^2 \cdot e \cdot \rho \cdot v} \cdot x \quad /3.173/$$

Sea făcând substituțiile

$$A = \frac{U^2 \cdot \kappa_0 \cdot L}{\delta^2 \cdot v \cdot e \cdot \rho} \quad \text{și} \quad B = \frac{U \cdot b \cdot \kappa_0}{\delta}$$

Se obține:

$$dI = B \cdot (e^{Ax}) \cdot dx \quad /3.174/$$

Integrând ecuația /3.174/, se obține expresia curentului ce trece
prin interstițiul de lucru:

$$I = \frac{B}{A} (e^{Ax} - 1)$$

sau:

$$I = \frac{e \cdot \rho \cdot v \cdot b}{U \cdot L} \left(\exp \frac{U^2 \cdot \kappa_0 \cdot \alpha \cdot x}{\delta^2 \cdot v \cdot e \cdot \rho} - 1 \right) \quad /3.175/$$

Variația concentrației în hidrogen a electrolitului poate fi ex-
primată prin relația /S.18/

$$\frac{\partial C_{H_2}}{\partial x} = \frac{J \cdot k_H}{v \cdot \delta \cdot \rho_H \cdot \mu} \quad /3.176/$$

Din legea gazelor rezultă densitatea hidrogenului

$$\rho_H = \frac{p}{R \cdot (\Theta + 273)} \quad /3.177/$$

Iar din legea lui Ohm, densitatea curentului electric poate fi
exprimată prin relația

$$J = \frac{U - V_p}{\delta} \cdot \kappa_0 \quad /3.178/$$

Din relațiile /3.176/, /3.177/ și /3.178/ poate fi scrisă următo-
rea ecuație diferențială

$$\frac{\partial C_{H_2}}{\partial x} = \frac{(U - V_p) \cdot \kappa_0 \cdot k_H \cdot R \cdot (\Theta + 273)}{v \cdot \delta^2 \cdot \mu \cdot \rho} \quad /3.179/$$

Relația /3.111/ care redă variația conductivității electrolitului în funcție de concentrația în hidrogen, poate fi scrisă sub o formă mai generală:

$$\kappa_e = \kappa_{et} \cdot (1 - n_x \cdot C_{H_2}) \quad /3.180/$$

Substituind pe /3.180/ în /3.179/ rezultă:

$$\frac{\partial C_{H_2}}{\partial x} = \frac{(U - V_p) \cdot \kappa_{et} \cdot k_H \cdot R \cdot (G + 273) \cdot (1 - n_x \cdot C_{H_2})}{v_e \cdot \delta^2 \cdot \mu \cdot P} \quad /3.181/$$

Pentru simplificare se consideră că toate mărimile din ecuația /3.181/ sînt invariabile în raport cu x în afară de concentrația în hidrogen. Atunci, soluția acestei ecuații este:

$$C_{H_2} = \frac{1}{n_x} \left[1 - e^{-\frac{x \cdot (U - V_p) \cdot \kappa_{et} \cdot k_H \cdot R \cdot (G + 273) \cdot n_x}{v_e \cdot \delta^2 \cdot \mu \cdot P}} \right] \quad /3.182/$$

3.3.3. Programe pentru calculul automat al parametrilor și procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică.

Deoarece volumul de calcul numeric necesar dimensionării parametrilor procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică este foarte mare, folosirea mijloacelor automate de calcul asigură o scutură substanțială a ciclului de proiectare tehnologică. În cadrul acestui capitol se vor prezenta câteva din schemele logice concepute în acest sens precum și rezultatele obținute.

Pornind de la relația /3.175/ a fost aleasă schema logică din figura 3.94, care permite tabelarea valorilor discrete ale intensității curentului electric pentru diferite valori ale parametrilor primari. Pe baza acestor rezultate au fost ridicate nemogramele din figurile 3.95 și 3.96 cu ajutorul cărora se poate stabili rapid și cu suficientă precizie practic valoarea intensității curentului sau oricare alt parametru conținut de nemogramă.

Cunoscînd distribuția intensității curentului electric se poate calcula cu ușurință valoarea interstițialului, viteza de prelucrare și celelalte mărimi necesare definirii procesului de prelucrare pentru un caz dat.

Acest model prezintă interes practic numai în cazul prelucrărilor pentru care parametrii de regim asigură concentrații mici de hidrogen în interstițial de lucru.

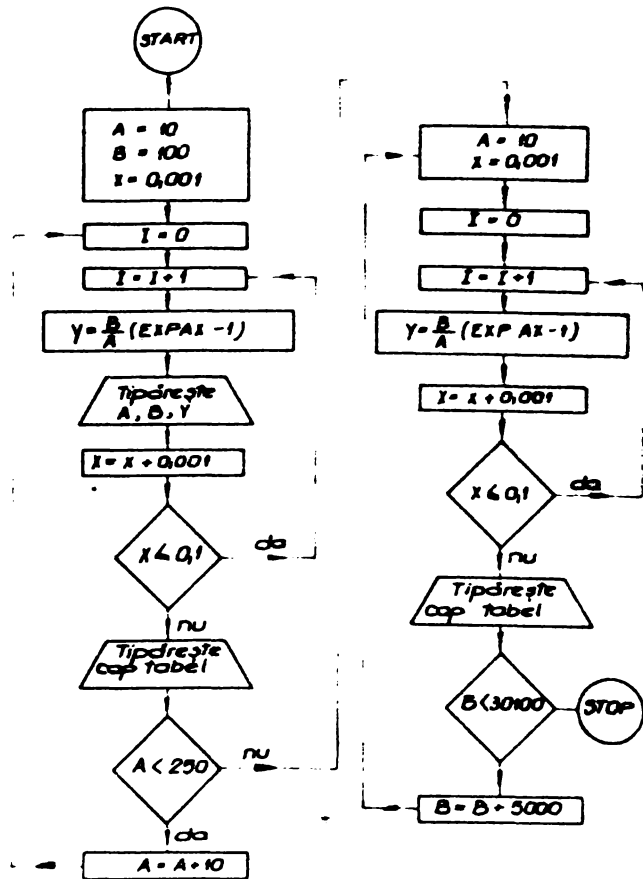


Fig. 3.94

in electrolit cu 10% Na Cl s-a obținut tabelarea valorilor

In figura 3.97 se prezintă organigrama pentru calculul parametrilor procesului de prelucrare, în care s-a ținut seama și variația conductivității electrolitului cu concentrația în hidrogen /relația 3.111/. Acest model se referă tot la prelucrarea unei suprafețe plane, iar concentrația în hidrogen a electrolitului se calculează în funcție de temperatura și presiunea amestecului aflat în interstițiul de lucru.

Introducând în programul de calcul datele referitoare la prelucrarea oțelului

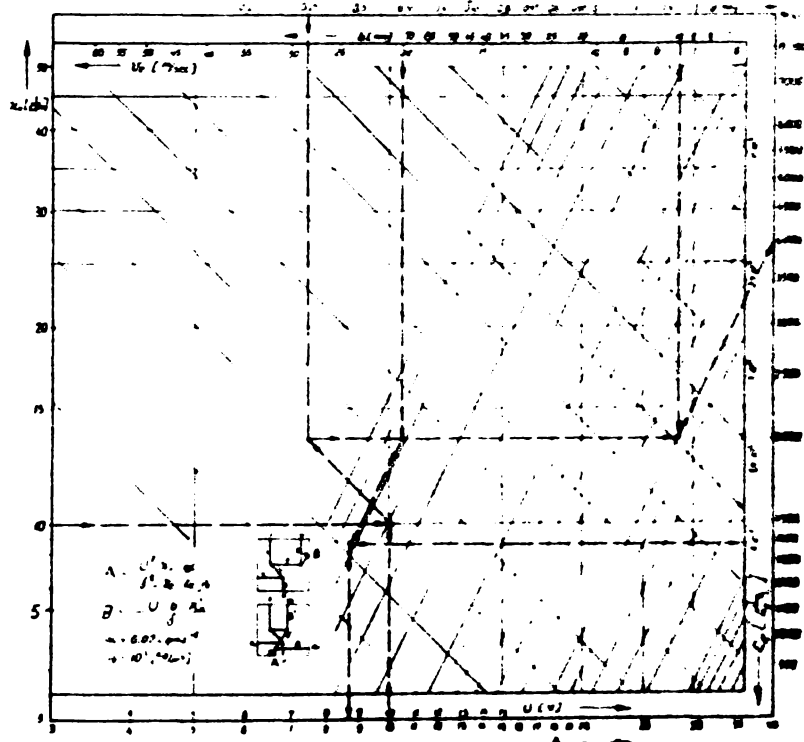


Fig. 3.95

principalilor parametri / C_{H_2} , κ , Θ , J și σ / în condițiile prelucrării fără avans al electrodului sculă. Prin folosire aceste valori au fost construite diagramele din figurile 3.98 și 3.99 care redau dependența parametrilor de calcul în funcție de lungimea suprafeței de prelucrat și respectiv de timpul de prelucrare.

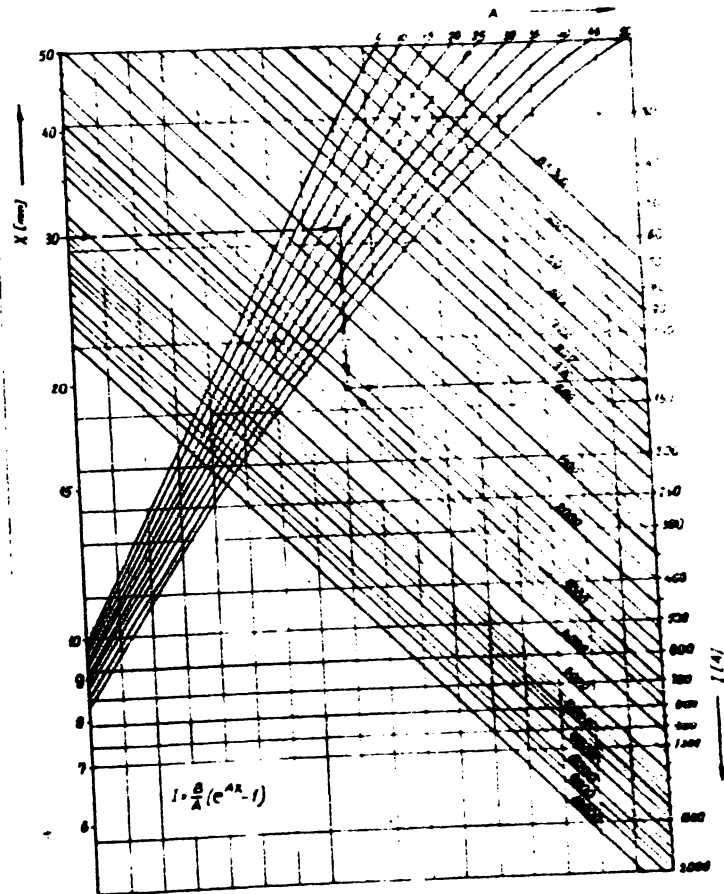


Fig. 3.96

Rezultatele obținute prin această modelare sînt apropiate de cele stabilite experimental /Fig. 3.100/, însă numai în domeniul interstițiilor mari de lucru.

Figurile 3.101 și 3.102 redau variația aceleiași parametrului în funcție de lungimea suprafeței și timpul de prelucrare.

Din aceste figuri se desprind următoarele concluzii:

- Cu cît lungimea interstițiului după direcția de curgere a electrolitului este mai mică, cu atît variația interstițiului /abaterea de fermă/ este mai redusă;
- La aceeași lungime de interstițiu, cu cît timpul de prelucrare este mai mare, cu atît abaterea de fermă va fi mai mare;
- Interstițiul este crescător de-a lungul liniei de curgere cît și la creșterea timpului de prelucrare;
- La creșterea timpului de prelucrare, temperatura electrolitului scade atît datorită creșterii debitului de electrolit ca urmare a creșterii interstițiului cît și scăderii intensității curentului electric. Datorită aceluiași cauze și variația temperaturii electrolitului este mai mică la creșterea timpului de prelucrare;
- Deși lungimea interstițiului, temperatura electrolitului este în creștere iar variația temperaturii este mai mare la lungimi mari ale suprafeței de prelucrat;
- Concentrația în hidrogen a electrolitului scade odată cu creș-

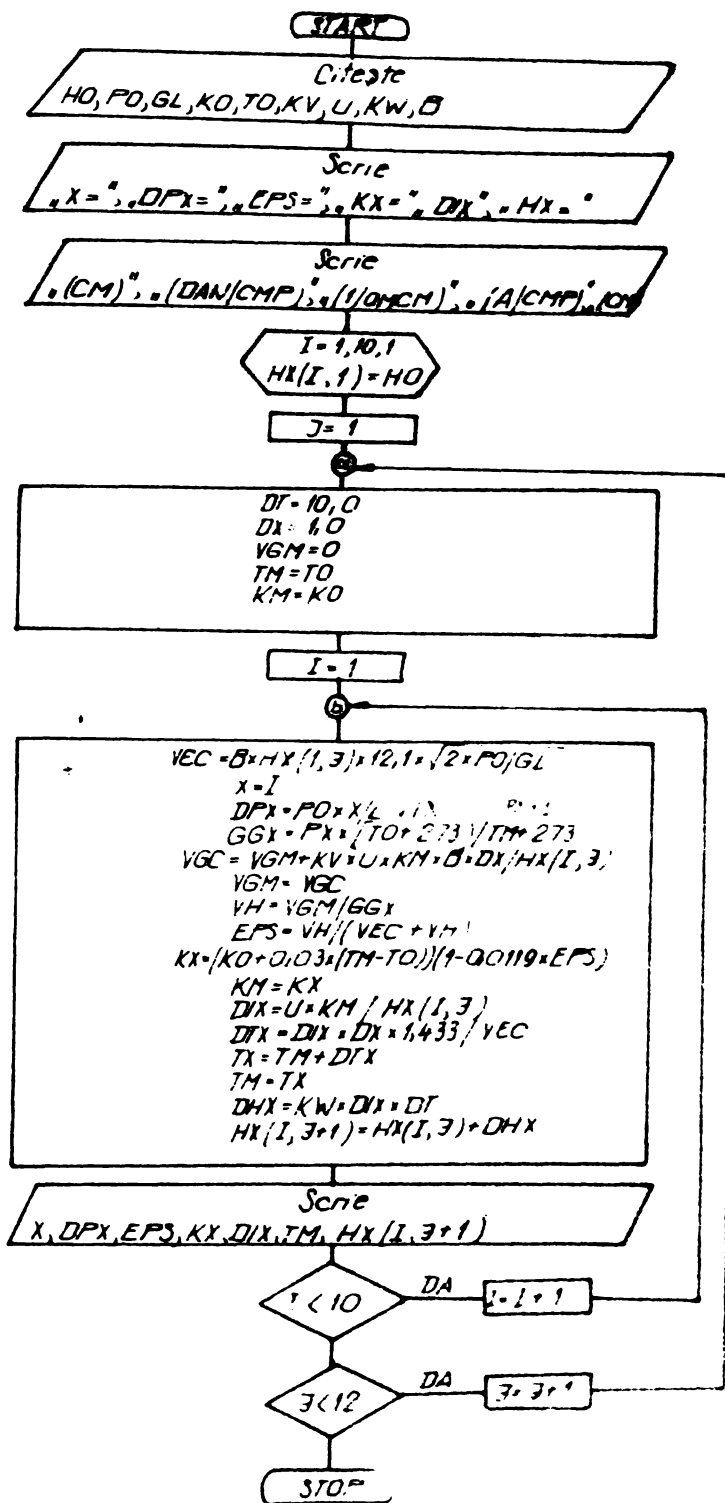


Fig. 3.97

terea timpului de prelucrare și crește exponențial cu lungimea suprafeței de prelucrat.

Un model mai eveluat pentru calculul parametrilor procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică este redat de organigrama din figura 3.103. Ca și în figura 3.97 s-au folosit notații corespunzătoare trecerii pe calculatorul FELIX C-256 în limbaj FORTRAN.

Acest program este de complexitate mai mare și permite dimensionarea parametrilor hidrodinamici și ai transferului de masă în următoarele ipoteze:

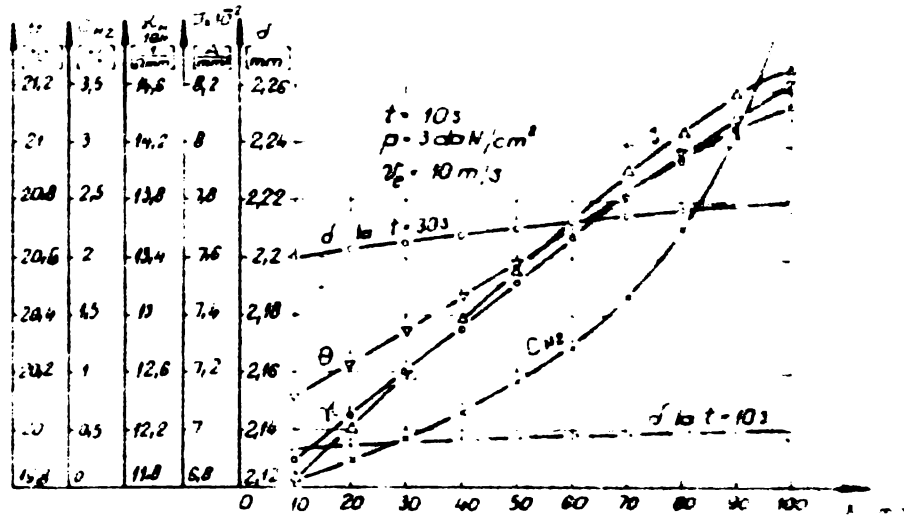


Fig. 3.98

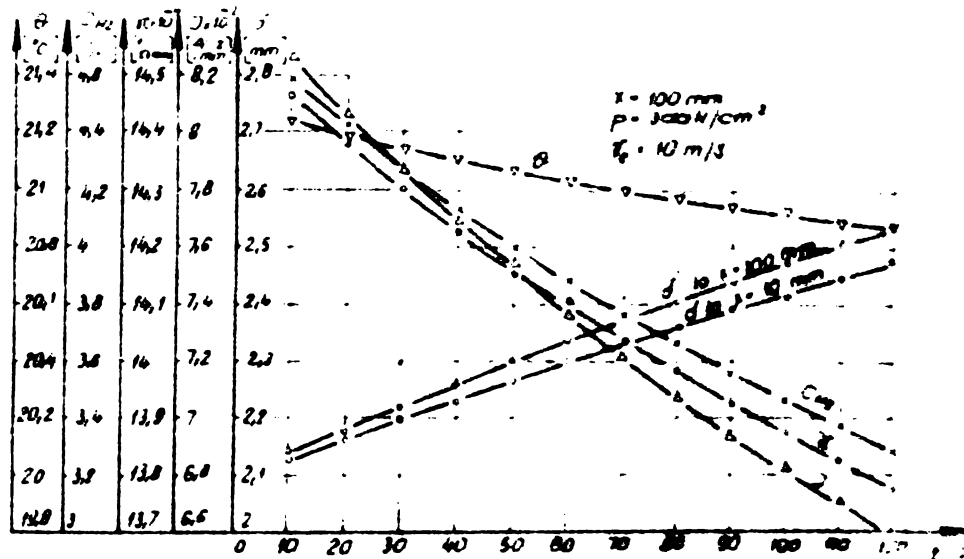


Fig. 3.99

- Electrolițul și hidrogenul aflat în interstițiul de lucru au aceeași viteză iar alunecările dintre cele două faze sînt neglijabile;
- Hidrogenul este un gaz perfect;
- Căldurile specifice rămîn constante datorită variației mici a temperaturii.

Si acest model se referă la prelucrarea statică /fără avans al electrolițului sculă/ a suprafețelor plane iar rezultatele calculului

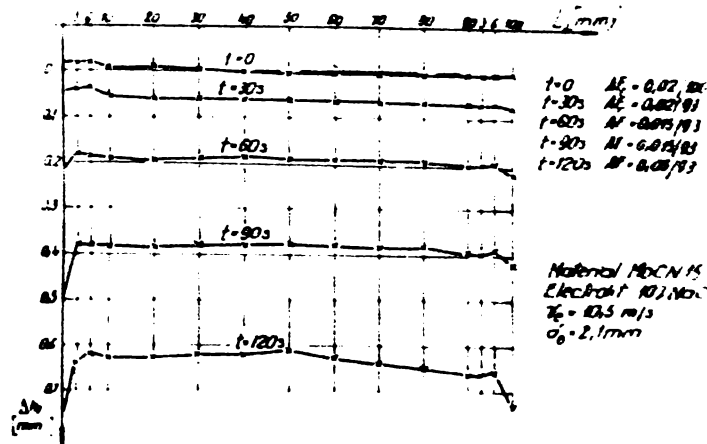


Fig. 3.100

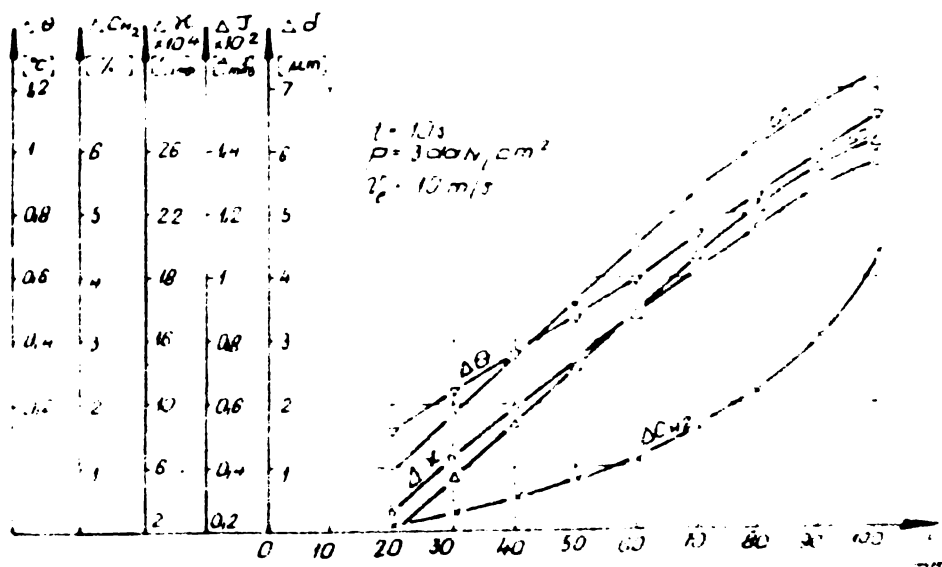


Fig. 3.101

numerie sînt foarte apropiate de rezultatele experimentale pentru prelucrările cu interstiții inițiale mai mari de 0,5 mm.

Cele trei scheme logice sînt însă limitate atît datorită faptului că presupun predimensionarea unor parametri de regie cît și datorită necorespunderii cu caracteristicile utilajului de prelucrare folosit.

Aceste neajunsuri au fost eliminate prin conceperea schemei logice din figura 3.104 care poate fi utilizată atît la dimensionarea parametrilor tehnologici corespunzător prelucrării fără mișcare de avans al electrodului sculă cît și în cazul prelucrării cu mișcare de avans.

Pentru creșterea preciziei de determinare a parametrilor de regie

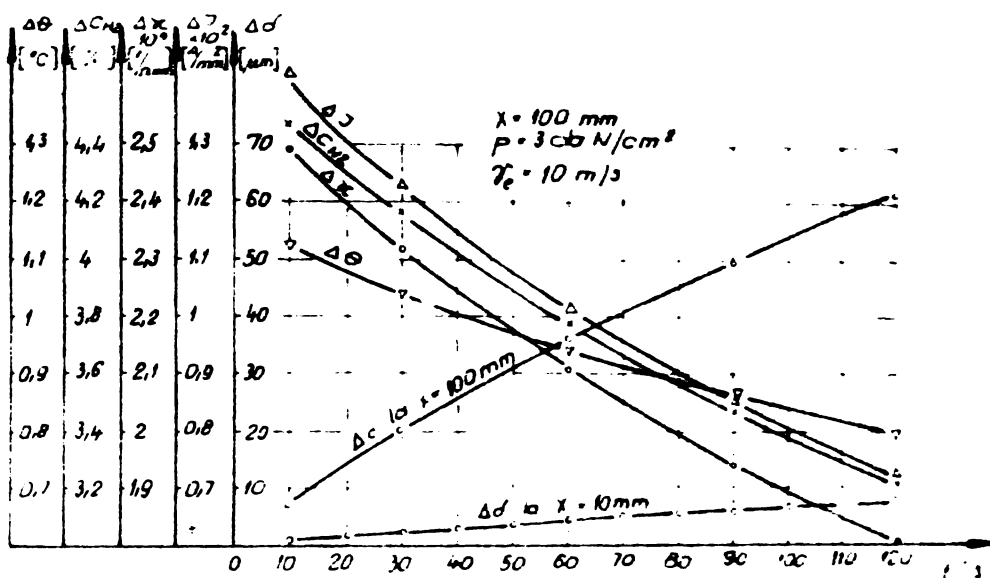


Fig. 3.1e2

această schemă logică asigură o dublă iterație. Concepția de principiu este redată de figura 3.1e5. Notațiile folosite sînt în concordanță cu cele utilizate și în schema logică din figura 3.1e4. Acest program cerează diminuarea parametrilor de regie cu caracteristicile întregului utilaj precum și cu precizia de prelucrare impusă.

Cu cît pasul de lungime și cel de timp au valori mai mici, cu atît precizia calculelor numerice este mai ridicată.

Relațiile folosite pentru dimensionare mărimilor cuprinse în această schemă logică au la bază rezultatele cercetărilor teoretice și experimentale efectuate de autor, rezultate care sînt prezentate parțial în această lucrare sau în lucrările științifice comunicate și publicate [N.9, N.1e, N.12, N.14, S.16, S.17, S.18, S.2e, S.21]

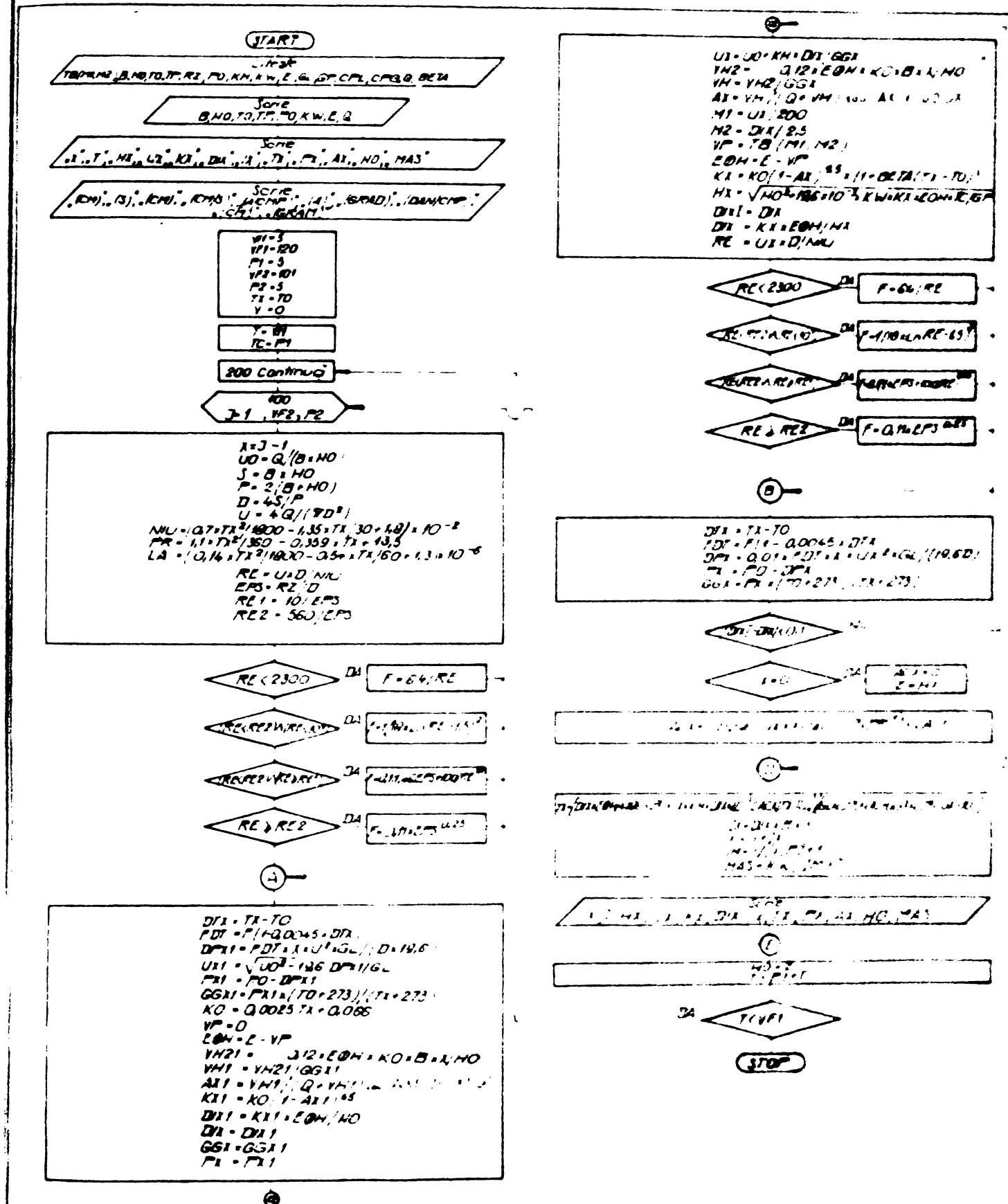


Fig. 103

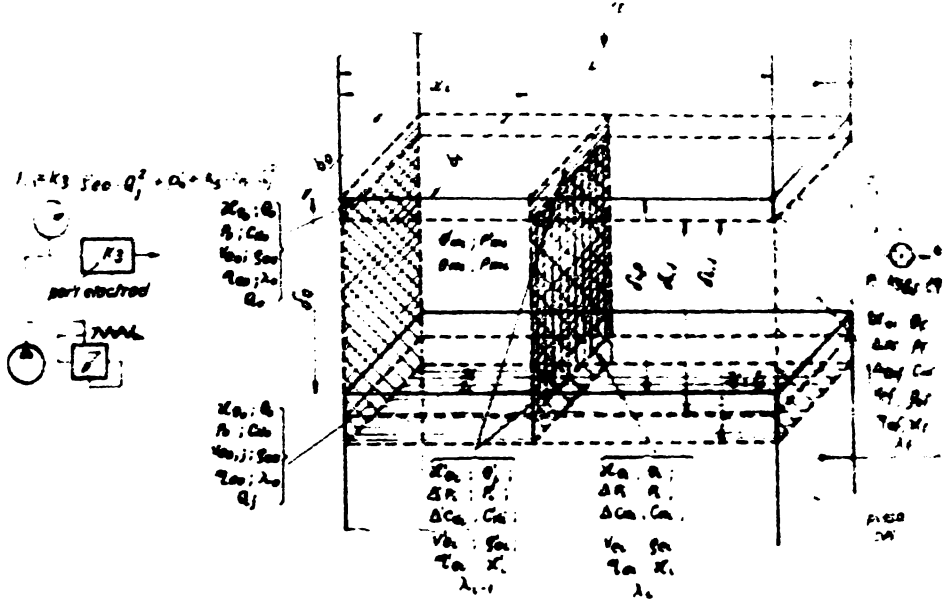


Fig. 3.105

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMISOARA
BIBLIOTECA CENTRALA

4. CONTRIBUTII LA PROIECTAREA SI CONSTRUCTIA UNOR UTILAJE EXPERIMENTALE PENTRU PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE ELECTROCHIMICA HIDRODINAMICA

4.1. UNELE CONSIDERĂȚII ASUPRA UTILAJELOR FOLOSITE LA STUDIUL APLICĂRII PROCEDEULUI DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTROCHIMICA

În ideea studiului posibilităților de aplicare a procedului de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică, ținând seama de faptul că la noi în țară abea în ultimii ani au apărut preocupări în utilizarea acestui procedeu, în cadrul Facultății de mecanică din Timișoara, au fost concepute, proiectate și realizate o serie de utilaje destinate prelucrării prin eroziune electrochimică hidrodinamică [N.17; S.19; S.25; S.27].

În acest scop au fost studiate și sistematizate informațiile bibliografice [D13; D14; E2; E3; E5; G3; H6; H7; I2; I6; K4; K20; K22; K23; L4; M5; M19; M21; M22; M25; N2; N13; N15; N20; P6; P19; S5; S6; S28; T4; W4], precum și cercetările efectuate pe standurile și modelele experimentale construite.

Pentru ca utilajele construite să răspundă în măsură cât mai mare cerințelor impuse de acest procedeu de prelucrare, proiectarea constructivă a fost însoțită de cercetări experimentale legate atât de proces, cât și de testarea fiecărei componente a utilajului.

În lucrare se face o prezentare descriptivă a acestor utilaje și tratarea mai detaliată numai a unor contribuții de concepție și a performanțelor constructive obținute.

4.1.1. Micromașina pentru prelucrarea^{pnn} eroziune electrochimică hidrodinamică de 50 l.

Micromașina pentru prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică /Fig. 4.1/ a fost concepută și realizată în cadrul laboratorului T.C.M., ca un model funcțional destinat activității de cercetare, pentru microprelucrări și în scopuri didactice.

Îndeplinind caracteristicile de bază a oricărei mașini de prelucrare electrochimică hidrodinamică, mașina permite testarea sistemelor de avans electromecanice, a instalației electronice de avans autenat, a instalației electrice de alimentare cu energie electrică, a instalației de circulare a electrolitului, precum și a parametrilor tehnologici.

După cum rezultă din figura 4.1 ansamblul instalației constă din micromașina de prelucrare prin eroziune electrochimică

prepriuzis aşezată pe un dulap ce conţine atât instalaţia electrică de alimentare cu energie, cât şi instalaţia de circulare a electrolitului. Separat de maşină se află instalaţia de curăţire centrifugală a electrolitului.

Principalele caracteristici ale micromaşinii sînt:

- Tensiunea de alimentare de la redresor 15 V de la bateria de acumulatori 12 V;

- Intensitatea maximă a curentului de lucru 50 A;

- Viteza de avans 0,3-3 mm/min;

- Gabaritul maxim al piesei de prelucrat 150x100x80 mm;

- Suprafaţa maximă prelucrată 30 mm²;

Cursa capului de lucru 60 mm;

- Cursa pinelei de avans 30 mm;

- Cursa mesei în coordonate longitudinală 50 mm; transversală 25 mm;

- Presiunea maximă a electrolitului 20 da/cm²;

- Debitul electrolitului 6 l/min;

- Gabaritul maşinii 225x225x290 mm;

- Gabaritul total /maşină şi dulap/ 700x450x1040 mm.

Micromaşina propriu zisă (Fig. 4.2.) se compune din:



Fig. 4.1

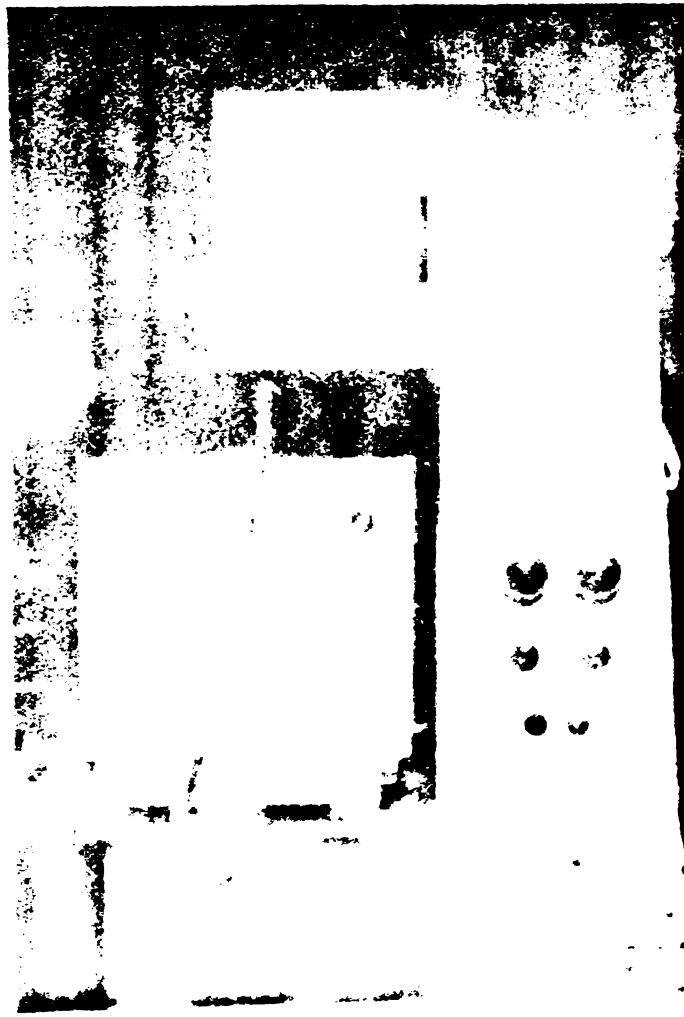


Fig. 4.2

- Capul de lucru ce conține sistemul de avans și limitatearele de cursă;

- Batiul mașinii pe care se află montată masa în coordonate și camera de lucru. În interiorul batiului se află instalația electronică pentru avansul automat, iar pe partea laterală a celei batiului se află montat panoul de comandă și aparatele de măsură și control.

Micromașina permite prin construcția sistemului de avans prelucrarea cu avans constant prereglat sau prelucrarea cu avans automat, folosind ca parametru de comandă și în același timp, de control al mărimii interstițiului de lucru, căderea de tensiune pe electrozi sau intensitatea curentului din circuitul de alimentare cu energie electrică.

Vehiculara electrolitului se realizează folosind fie gaz sub presiune, fie o pompă cu reți dințate. Prin construcția sistemului de circulare a electrolitului există posibilitatea formării unui amestec de gaz electrolit care prezintă o serie de avantaje în anumite condiții de prelucrare.

Curățirea electrolitului se realizează cu ajutorul unui separator centrifugal, cu limite largi de reglare a turației și a razei de celestare a electrolitului.

Capul de lucru este prezentat în figura 4.3 Carcasa capului de lucru este o construcție din plexiglas, prevăzută cu un capac frontal și superior, iar în partea din spate se află ghidajul dreunghiular și mecanismul de blocare a capului de lucru pe ghidajele batiului. Mecanismul de blocare este de tipul șurub piuliță. Pe capacul frontal se fixează limitatearele de cursă, iar în partea centrală, se află o fereastră pentru afișarea cetei prevăzută cu o riglă milimetrică. Tot în carcasă se află montat și sistemul de avans.

Sistemul de avans se compune dintr-un motor electric de curent continuu de la care mișcarea de rotație se transmite, prin șaibe în două trepte și curea, la reductorul cu două angrenaje melcate. De la reductor, prin intermediul unui mecanism șurub-piuliță mișcarea este transmisă pinelei. Partea superioară a mecanismului șurub-piuliță conține un element de afișaj al cetei cu o precizie de $0,01$ mm. În partea inferioară a pinelei se montează electrodul sculă printr-un ajustaj cilindric. Partea finală a pinelei se află izolată electric de restul sistemului de avans. Pe această porțiune se află priza pentru curent și electrolit.

Batiul este o construcție în formă de L din plexiglas îmbinat prin lipire având partea de rezistență /ghidaje și masă/ din oțel inoxidabil. În interiorul batiului se află montată instalația de reglare a avansului și circuitele de comandă. O vedere parțială a acestora se prezintă în

figura 4.4.

Masa în coordonate este prevăzută cu ghidaje prismatice cu posibilitatea de reglare a jocului și șuruburi de deplasare cu pasul de 1 mm. Masa permite o deplasare longitudinală de 50 mm. și o deplasare transversală de 25 mm.



Fig. 4.3

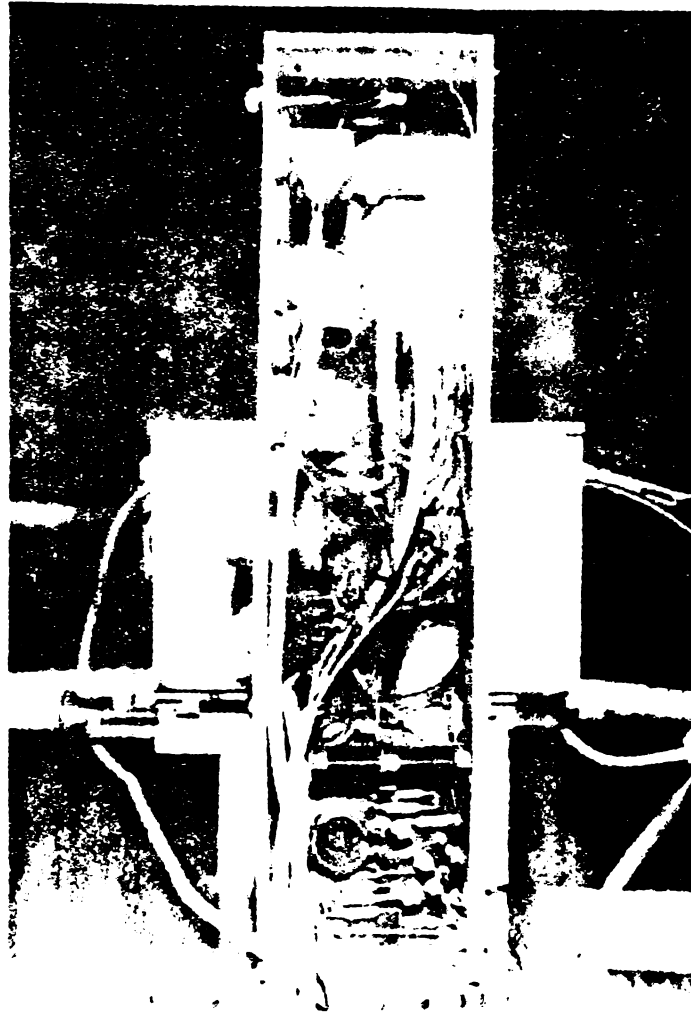


Fig. 4.4

Camera de lucru se află montată pe masa în coordonate, fiind izolată electric de aceasta prin intermediul unei plăci de textolit. Fundul camerei de lucru este confecționat dintr-o placă din oțel inoxidabil în care sînt prevăzute canale de scurgere a electrolitului și un racord de evacuare. Obiectul prelucrării sau dispozitivul de prelucrare poate fi fixat de masă cu ajutorul a două bride. Tot pe acest element se află montată și priza anodului sursei de alimentare cu energie electrică.

Partea superioară a camerei de lucru este închisă de un capac demontabil sub care, pentru a proteja mașina de stropire cu electrolit, se află o membrană elastică. În pereții laterali ai camerei de lucru se află practicate orificii pentru introducerea cordonului electric catodic și respectiv a tubului flexibil de alimentare cu electrolit.

Dulapul mașinii /Fig. 4.1./ a fost astfel conceput încît să folosească ca suport pentru micromașină, ca masă de lucru și să includă instalațiile conexe mașinii. Tot în interior se află și un sertar folosit

ca magazie de scule și accesorii ale mașinii. Dulapul este o construcție cadru sudată, placată cu plăci melaminatate, iar în partea din față este prevăzut cu două uși. Gabaritul dulapului este de 700x450x750 mm. Este prevăzut cu 4 dispozitive articulate cu role pentru deplasare.

Instalația de circulare și curățire a electrolitului. Este cuprinsă în dulapul mașinii și parțial în exterior.

Schema instalației de alimentare și curățire a electrolitului se prezintă în figura 4.13.

Circularea electrolitului se poate realiza în două moduri: cu pompă cu roți dințate sau cu gaz sub presiune, permițând cercetarea influenței pulsației electrolitului și a amestecului gaz electrolit asupra procesului de prelucrare.

Pentru comanda circulației electrolitului sînt folosite distribuitorii cu comenzi manuale individuale, pentru a lărgi combinațiile posibile de circulare. Acele unde a fost posibil s-a centralizat comanda ca de exemplu la distribuitorul rotativ DR prevăzut cu 7 prize și 4 poziții.

Curățirea electrolitului este prevăzută a se face în trei moduri:

- Prin filtrare cînd se rețin numai particulele microscopice cu dimensiuni mai mari de 0,1 mm;
- Prin sedimentare;
- Prin separare centrifugală.

Curățirea centrifugală a electrolitului se realizează cu ajutorul unui separator centrifugal /Fig. 4.5.a,b./ Antrenarea separatorului se face printr-un motor de curent continuu de 24 V, alimentat de la un redresor permițînd o variație a vitezei periferice între 0 și 25 m/s.

Sfîrșit și în acest caz o soluție de reglare largă pentru a putea efectua cercetări legate de stabilirea parametrilor optimi de curățire prin centrifugare.

Construcția separatorului permite evacuarea mecanizată a produselor de eroziune prin reglarea corespunzătoare a poziției ajutoajului de evacuare în raport cu peretele cuvei centrifugei.

Instalația electrică a mașinii cuprinde: instalația de alimentare cu curent electric, sistemul de reglare a avansului și circuitele de comandă.

După cum rezultă din schema bloc a sistemului de alimentare și reglare a mașinii /Fig. 4.6./, instalația de alimentare cu curent electric se compune dintr-un redresor /1/ care poate debita un curent maxim de 50 A la o tensiune de 15 V, un reostat /2/ pentru reglarea intensității curentului în 13 trepte, un ampermetru /7/ pentru controlul curentului electric debitat și un voltmetru /8/ care indică tensiunea dintre cei doi electrozi din camera de lucru.

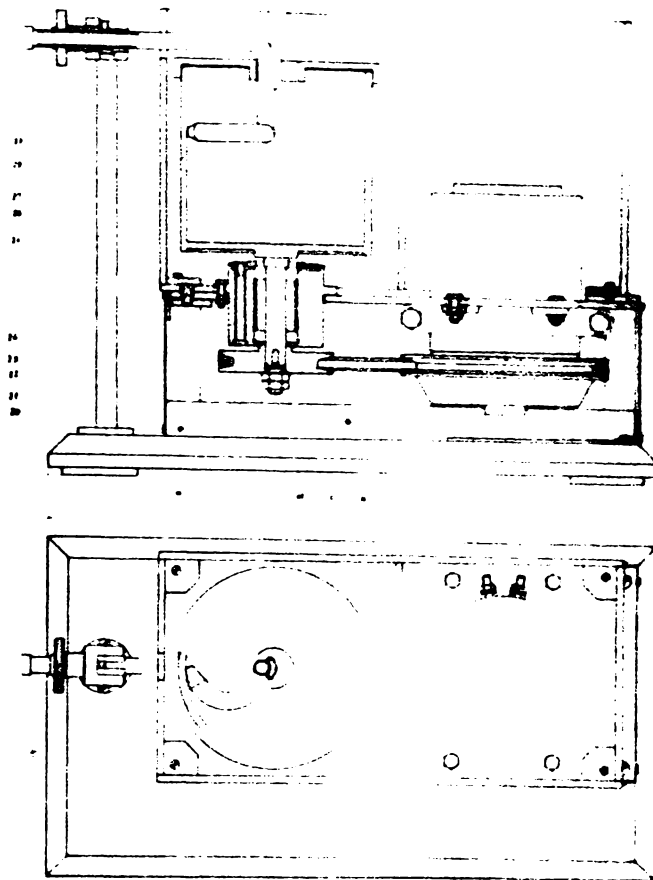


Fig. 4.5.a

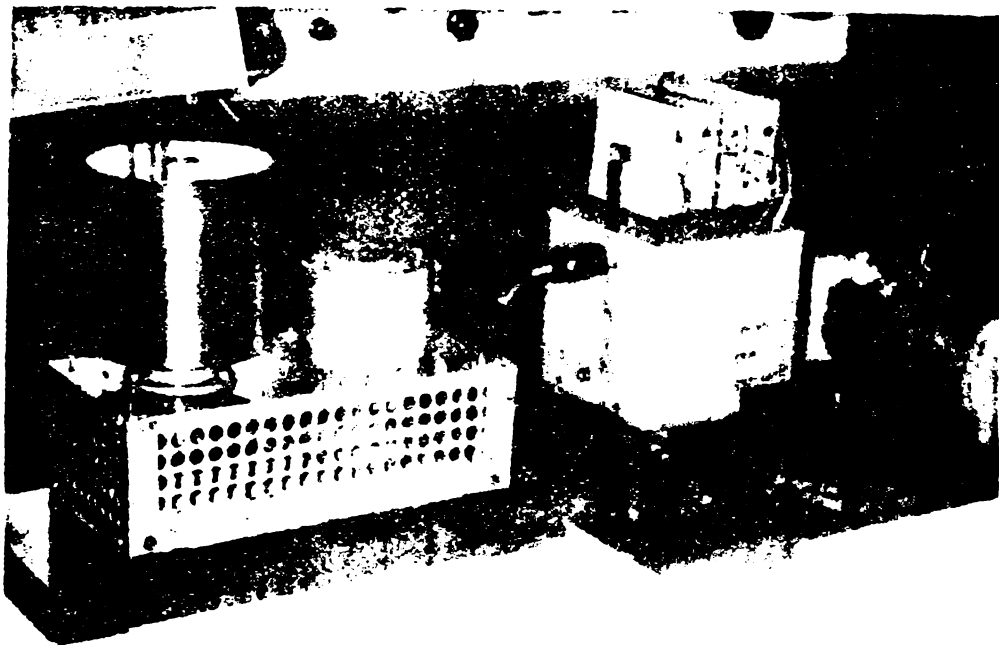
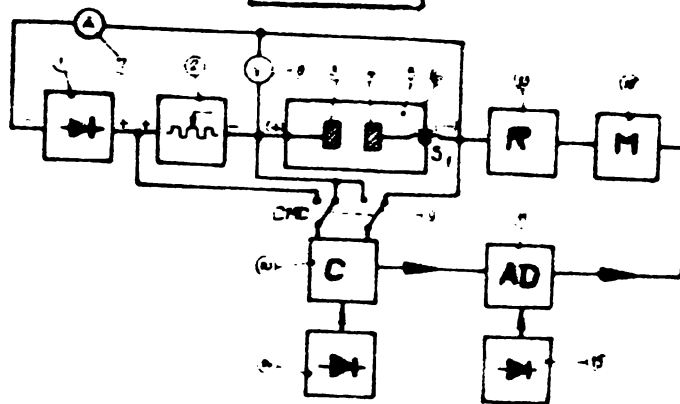


Fig. 4.5.b

Pe schema electrică a mașinii /Fig. 4.7./ se poate urmări modul în care se realizează cele 13 trepte de curent de lucru cu ajutorul celor patru rezistențe bobinate R_{7-10} , prevăzute cu prizele corespunzătoare și a comutatorului C_2 . Măsurarea intensității curentului de lucru se face folosindu-se căderea de tensiune de pe o parte din rezistența R_7 . Cele trei domenii de măsură: 0-5A; 0-15A și 0-50 A se realizează cu ajutorul rezistențelor R_{11} , R_{12} și R_{13} și a comutatorului C_1 . Măsurarea tensiunii



- ① Redresor 15 x 50A
- ② Reactor
- ③ Electrozi piesă
- ④ Electrozi scufă
- ⑤ Electrozi
- ⑥ Camera de lucru
- ⑦ Ampermetru
- ⑧ Voltmetru
- ⑨ Comutator mod de comandă (usa)
- ⑩ Comparator C
- ⑪ Amplificator diferențial (AD)
- ⑫ Motor electric (M)
- ⑬ Reductor (R)
- ⑭ Redresor 14V stabil
- ⑮ Redresor 15V

Fig. 4.6

dintre electrozi se face tot cu ajutorul unui microampermetru alimentat prin rezistența adițională R_{14} .

Pentru unele cercetări experimentale instalația dispune și de un acumulator pentru alimentarea cu energie electrică. Acumulatorul poate asigura tensiunea de 12 V și intensitatea maximă a curentului de lucru de 50 A.

Principiul de funcționare al sistemului de reglare a avansului se poate urmări pe schema bloc a mașinii /Fig. 4.6 și 4.9/. În etajul comparator /10/ se compară tensiunea dintre electrozi /comanda cu U-et/ sau căderea de tensiune de pe reostatul /2/ /comanda cu I-et/, cu o tensiune de referință reglabilă obținută de la redresorul stabilizat /14/. Tensiunea de eroare / ΔU / ce rezultă din compararea celor două tensiuni este aplicată amplificatorului diferențial /11/ care alimentează motorul electric de c.c. /12/. Acest motor, prin intermediul unui reductor /13/ și al unui sistem șurub-piuliță / S_1 /, reglează distanța dorită dintre electrozi. Cu ajutorul comutatorului /9/ se poate alege modul de comandă și anume: menținerea unei tensiuni constante între electrozi sau a unui curent de lucru constant. Tensiunea dintre electrozi, sau curentul de lucru, se poate păstra la o valoare constantă datorită tensiunii de eroare / ΔU / care, prin intermediul amplificatorului diferențial și al sistemului electromecanic, face ca distanța dintre electrozi să crească sau să scadă, menținând tensiunea dintre electrozi sau curentul de lucru, la valoarea impusă.

Felul cum au fost realizate elementele sistemului de reglare rezultă din schema electrică a mașinii /Fig. 4.7/

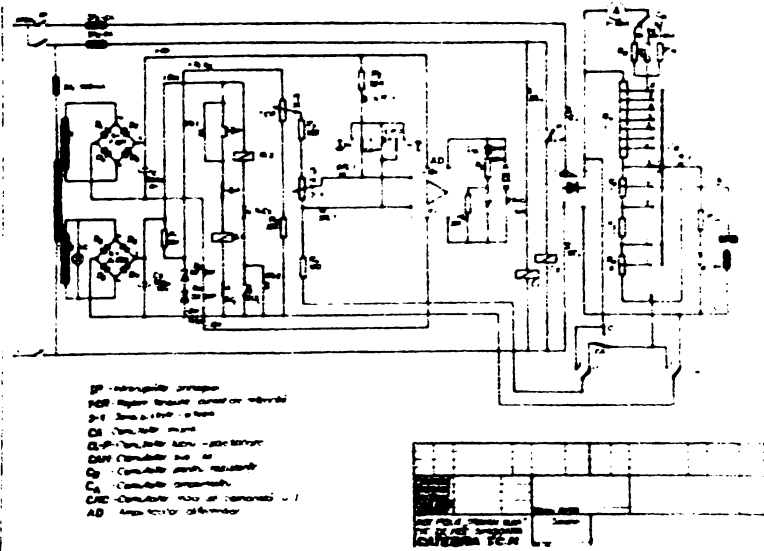


Fig. 4.7

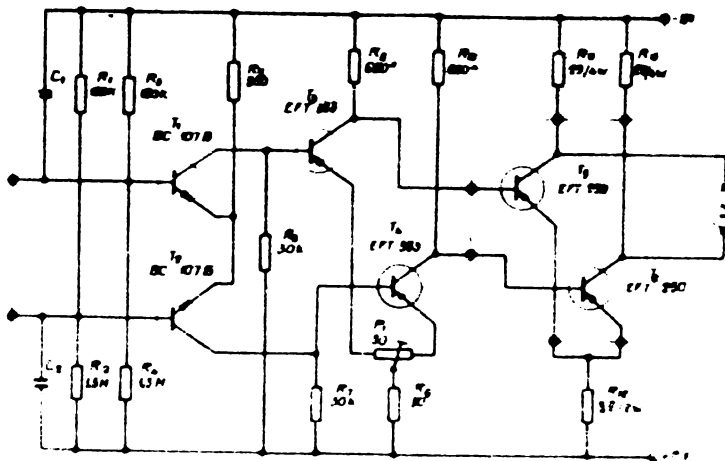


Fig. 4.8

sibilitatea sistemului se reglează cu ajutorul potențimetrului P_1 /SV/ prin aplicarea integrală sau parțială a tensiunii de eroare ΔU ce apare la bornele acestui potențimetru, la intrarea amplificatorului diferențial /AD/. Tot cu ajutorul acestui potențimetru se reglează viteza de avans când se lucrează cu avans constant. Comutarea de la avans automat la avans cu viteză constantă se face cu ajutorul comutatorului /CA/, care înlocuiește tensiunea variabilă dintre electrozi, aplicată comparatorului, cu tensiunea constantă a redresorului de putere care asigură curentul de lucru.

Amplificatorul diferențial, după cum se vede în schema de principiu /Fig. 4.8/, este tranzistorizat având intrarea și ieșirea simetrică. Au fost folosite perechi de tranzistoare cu germaniu în afară de etajul de intrare, unde, pentru mărirea stabilității /derivă minimă/, a fost utilizată o pereche de tranzistoare cu siliciu.

Redresorul pentru realizarea tensiunii stabilizate de referință este alimentat de la înfășurarea III a transformatorului Tr. Tensiunea alternativă este redresată cu ajutorul unei punți, formată din patru diode redresoare cu siliciu D 226 /D₅₋₈/ și filtrată cu ajutorul unui condensator electrolitic C_2 de $500 \mu F / 25 V$. Tensiunea stabilizată de 14 V se realizează cu ajutorul diodelor Zener D_9 și D_{10} alimentate prin rezistența ohmică R_1 .

Comparatorul se compune din potențimetrele P_1 și P_2 și rezistențele chimice R_2 , R_3 și R_4 . Valoarea tensiunii sau a curentului de referință se reglează cu ajutorul potențimetrului P_1 /TCR/ iar sen-

Pentru comanda manuală a deplasării electrodului sculă în sus sau jos, în lipsa tensiunii la electrozi, s-a prevăzut comutatorul /CMA/ care prin rezistența chimică R_5 asigură la intrarea amplificatorului diferențial o tensiune de comandă suficient de mare pentru ca motorul să se rotească într-un sens sau în celălalt. Acest circuit este blocat prin intermediul contactului normal închis $4R_{11}$, odată cu pornirea redreserului de putere, pentru evitarea unor scurtcircuite între electrozi.

Pentru urmărirea vitezei de avans al electrodului sculă s-a prevăzut un vitezometru electric compus dintr-un microreazometru /v/, dioda cu germaniu D_{11} și rezistențele R_5 și R_6 . /Fig. 4.7/.

Alimentarea amplificatorului diferențial se face de la un redreser de 15 V alimentat de la înfășurarea II a transformatorului /Tr/. Tensiunea alternativă este redresată cu ajutorul unei punți formate din patru diode redresoare cu siliciu F 1e7 / D_{1-4} / și filtrată cu ajutorul unui condensator electrolitic C_1 de $2000 \mu F / 16 V$.

Circuitele de comandă ale mașinii se pot urmări pe schema electrică /Fig. 4.7/. După cum rezultă din schemă, punerea sub tensiune a instalației se face cu ajutorul unui întrerupător pachet tripolar de la o rețea monofazată de 220 V c.a. Lampa de semnalizare LS se aprinde fiind alimentată de la transformatorul Tr care este asigurat cu o siguranță fuzibilă SF_1 .

Punerea sub tensiune a redreserului de putere se face cu ajutorul releului intermediar R_{11} . Acesta este pus sub tensiune prin apăsare pe butonul F, contactul 1 R_{11} asigurând automenținerea, și poate fi oprit, fie manual prin apăsare pe butonul O, fie de către contactul normal închis $1LC_j$ al microîntrerupătorului limitator de cursă jos / LC_j /, la terminarea prelucrării. Releul intermediar fiind alimentat, se închide contactul $5R_{11}$ punând sub tensiune contactul C_1 , care la rîndul lui va alimenta redreserul de putere prin contactele $1C_1$ și $2C_1$. Totodată este asigurată și punerea în funcțiune a avansului automat prin închiderea contactelor $2R_{11}$ și $3R_{11}$ de la intrarea amplificatorului diferențial /AD/.

Pentru a se asigura retragerea automată a electrodului sculă la terminarea prelucrării, s-a prevăzut releul intermediar R_{12} . Acesta va fi pus sub tensiune de către contactul normal deschis $2LC_j$ al microîntrerupătorului limitator de cursă jos / LC_j /, automenținerea fiind asigurată de contactul $1R_{12}$ și va fi scos de sub tensiune de către contactul normal închis $1LC_s$ al microîntrerupătorului limitator de cursă superior / LC_s /.

Ridicarea electrodului sculă este asigurată de către contactul $2R_{12}$.

Pentru poziționare s-a prevăzut comutatorul CL-P care, prin scoaterea de sub tensiune a contactului C2, întrerupe legătura dintre electrodul /+ / și comutatorul C_R cu ajutorul contactului 1C2, asigurând o lini-

tare a curentului de lucru prin introducerea în circuit a rezistențelor R_7 , R_8 , R_9 și R_{10} .

Alimentarea releelor intermediare este realizată de la același redresor de 24 V, care asigură și tensiunea stabilizată de 14 V pentru tensiunea de referință.

Alimentarea contactoarelor C_1 și C_2 se face de la rețeaua monofazată de 220 V.c.a. prin întrerupătorul IP și siguranța fusibilă SFz.

SCHEMA BLOC A SISTEMULUI ELECTRIC DE ALIMENTARE REGLARE ȘI COMANDA

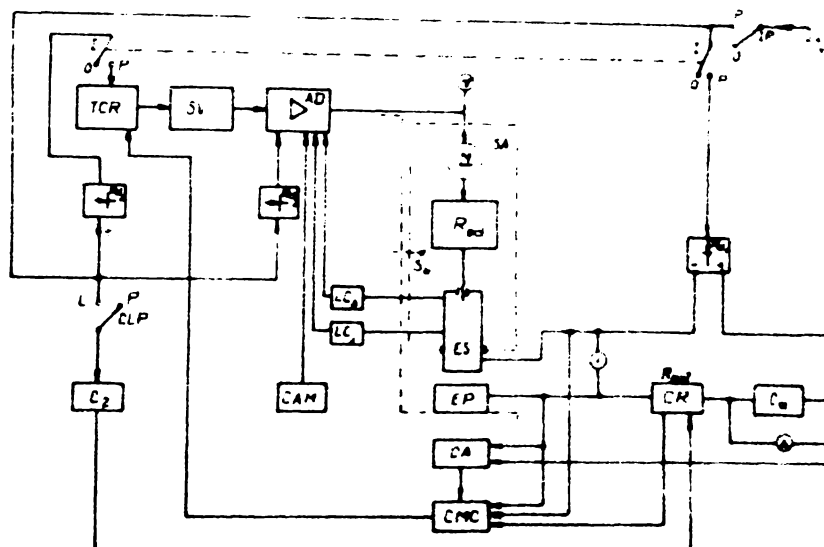


Fig. 4.9

O prezentare globală, schematizată, a instalației de alimentare cu curent electric, a sistemului de reglare a avansului și a circuitelor de comandă este redată prin schema bloc din figura 4.9.

Pentru a prezenta modul de lucru s-a ales soluția de realizare a unor organigrame și scheme principale care permit atât o înțelegere facilă a posibilităților mașinii cât și o comandă corectă cu o succesiune normală care să evite accidentele. Micromașina a fost concepută cu un număr mare de comenzi pentru a putea regla individual un număr cât mai mare de parametrii, corespunzând în acest fel scopului primar propus de a fi folosită în cercetarea atât a procesului de prelucrare electrochimică cât și a caracteristicilor funcționale pe care trebuie să le îndeplinească o astfel de mașină.

Având asigurată pregătirea tehnologică generală a prelucrării unei piese, se trece la completarea tehnologiei cu elementele specifice prelucrării electrochimice, după care, se poate executa prelucrarea pe micromașină.

ORGANIGRAMA DE LUCRU PENTRU MICROMASINA DE EROZIUNE ELECTROCHIMICA

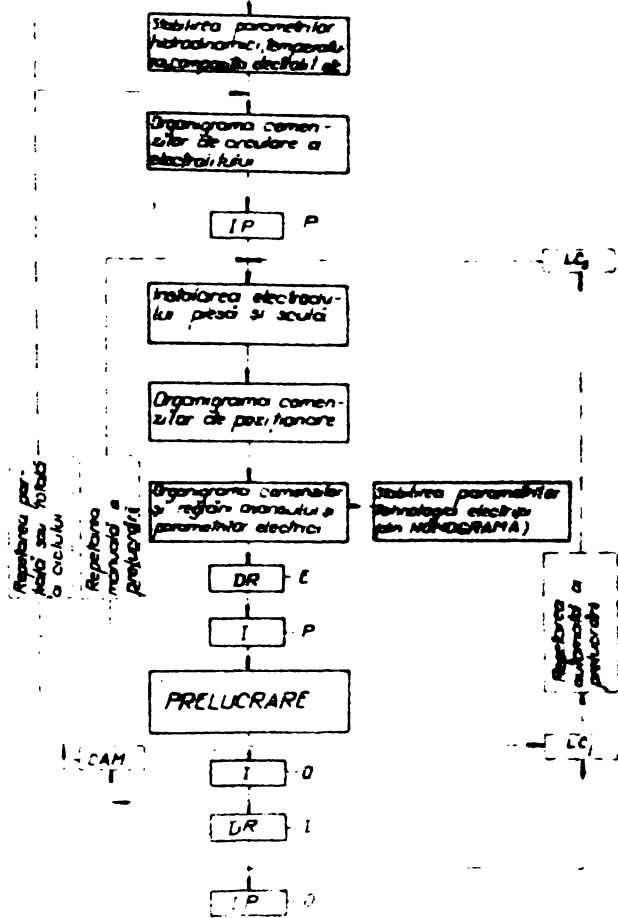


Fig. 4.10

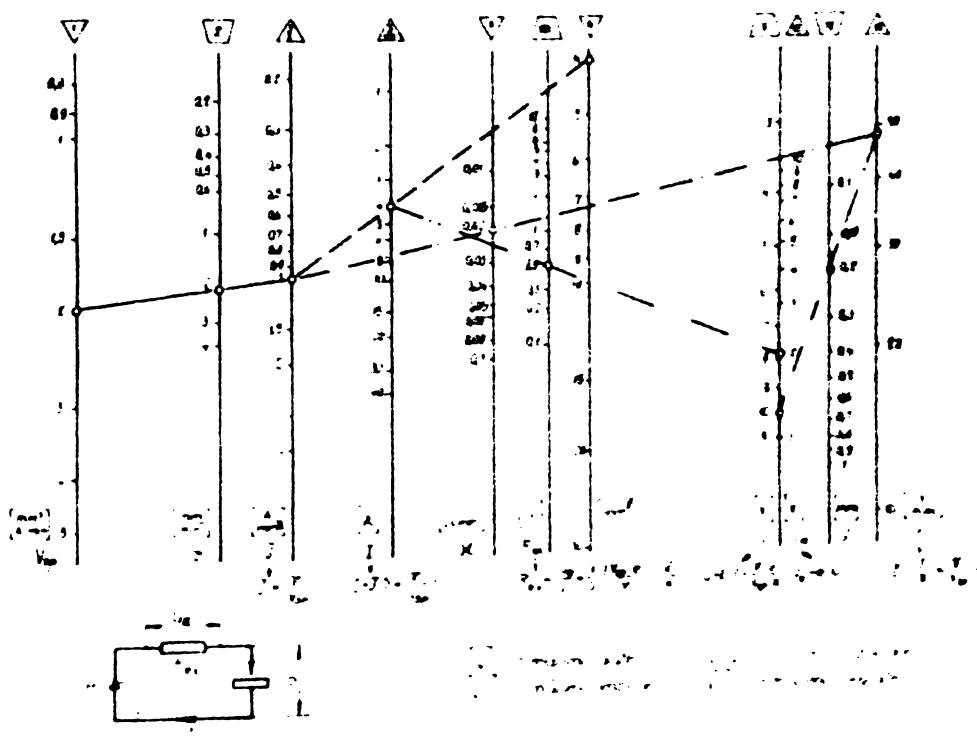


Fig. 4.11

Pentru aceasta este necesar a se parcurge următoarele etape
Fig. 4.10/

- Stabilirea parametrilor hidrodinamici de circulare a electrolitului ținând seama de suprafața ce se prelucurează, construcția electrodului sculă, precizia de prelucrare și de procesul de pasivizare. Se stabilesc limitele admisibile de variație a temperaturii electrolitului la intrare și ieșire din interstițiul de lucru și se alege compoziția corespunzătoare a electrolitului. Se alege varianta de circulare a electrolitului și modul de curățire.

- Stabilirea parametrilor tehnologici electrici.

În acest scop se iau în considerare caracteristicile generatorului de alimentare cu energie electrică, caracteristicile sistemului de avans, precizia de prelucrare impusă, construcția sculei, forma și mărimea suprafeței de prelucrat, materialul piesei etc.

ORGANIGRAMA COMENZILOR DE CIRCULARE A ELECTROLITULUI

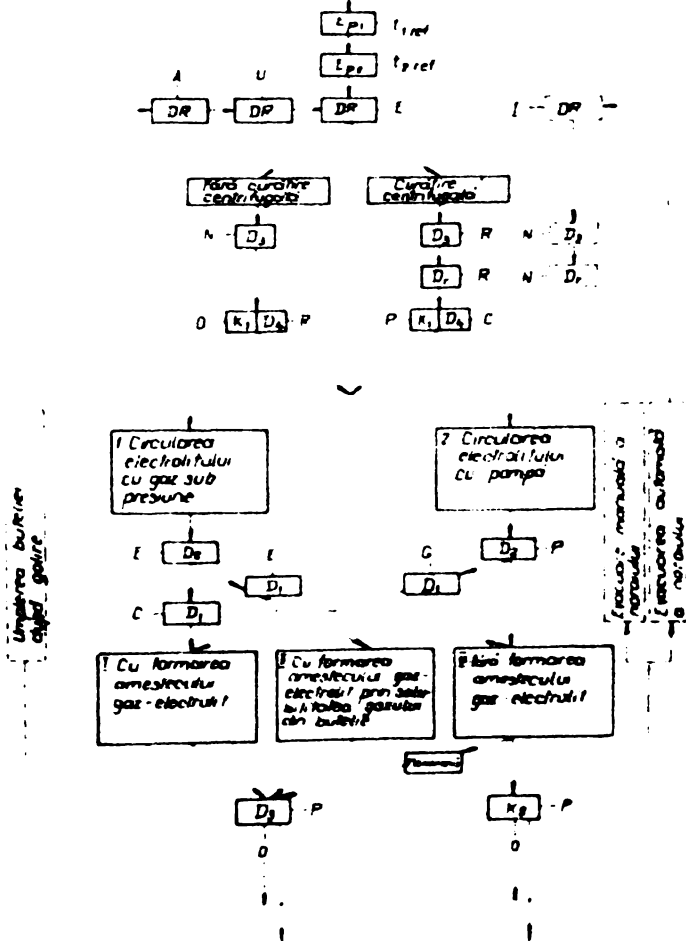


Fig. 4.12

- Se execută instalarea electrodului piesă și sculă ținându-se seama de cerințele concrete a fiecărei prelucrări.

- Poziționarea electrodului sculă în raport cu obiectul prelucrării. După alegerea variantei de poziționare, folosind "Organigrama comenzilor de poziționare" /Fig. 4.14/, se fac reglajele corespunzătoare.

Pentru stabilirea parametrilor electrici se folosesc relațiile analitice de calcul, fie nomograma prezentată în figura 4.11.

- Folosind "Organigrama comenzilor de circulare" a electrolitului /Fig. 4.12/ se reglează sistemul de circulare corespunzătoare parametrilor stabiliți. Efectul acestor reglaje a comenzii poate fi urmărit pe schema sistemului de alimentare cu electrolit. /Fig. 4.13/.

- Acționând butonul "P" al întrerupătorului general IP se leagă la rețea mașina.

SCHEMA SISTEMULUI DE ALIMENTARE CU ELECTROLIT

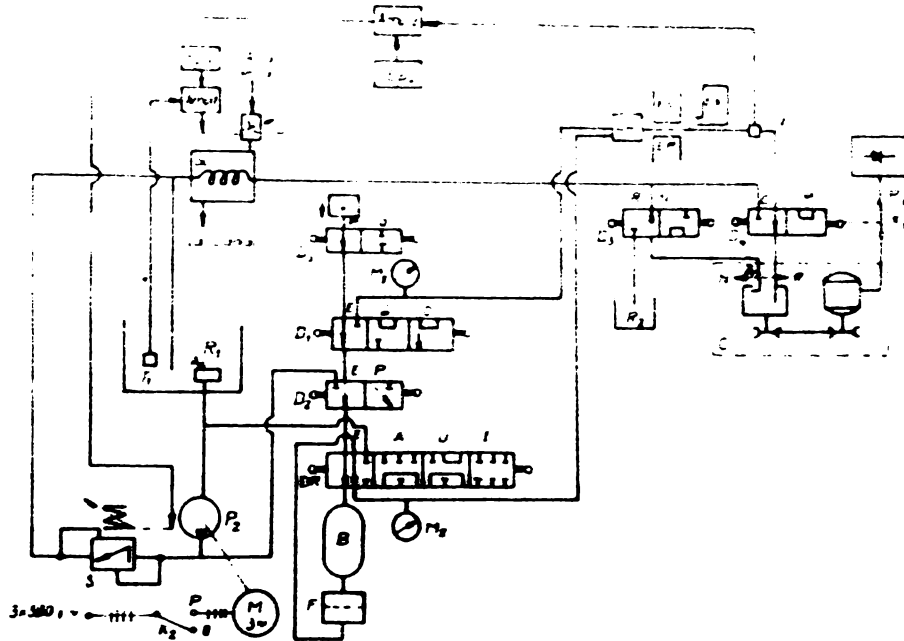


Fig. 4.13

ORGANIGRAMA COMENZILOR DE POZITIONARE

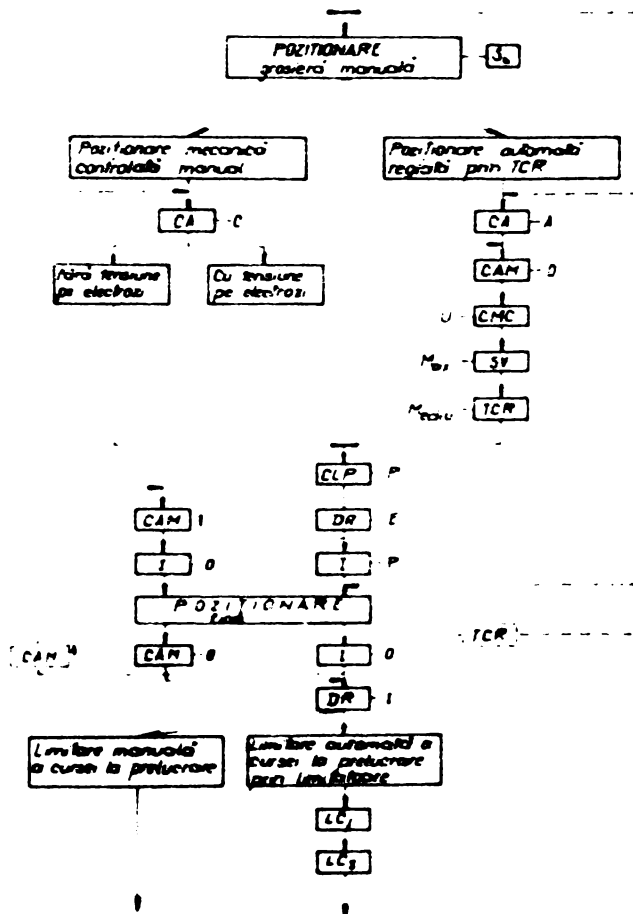


Fig. 4.14

ORGANIGRAMA COMENZILOR SI REGLARI AVANSULUI SI PARAMETRILOR ELECTRICI

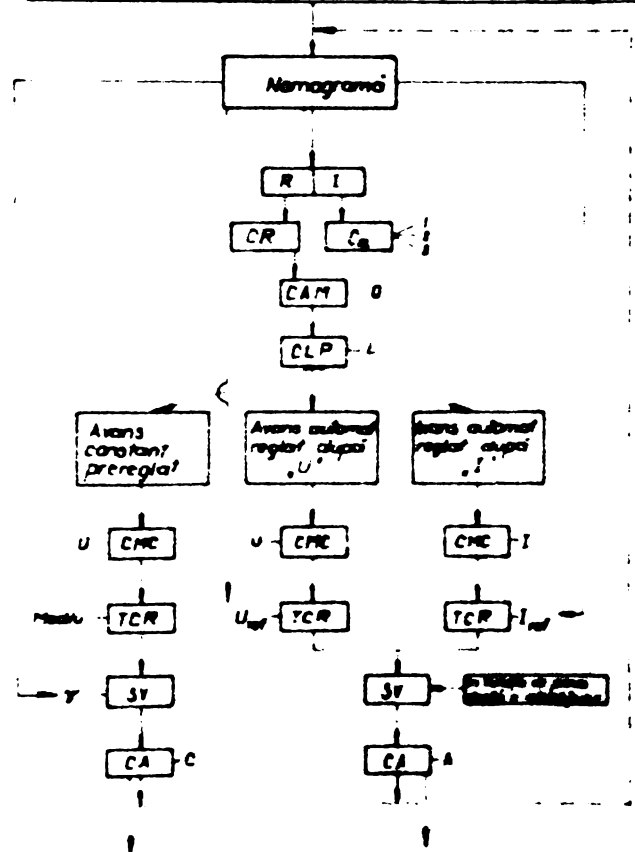


Fig. 4.15

- Avind parametrii electrici stabiliți și aleasă varianta de prelucrare care permite respectarea parametrilor electrici necesari, se trece la reglarea mașinii. In acest scop, se folosește "Organigrama comenzilor de reglare a avansului și parametrilor electrici" /Fig. 4.15/.

- Trecind dreselul rotativ DR pe poziția E, se pornește circulara electrolitului.

- Apăsind butonul P al întrerupătorului I se cuplează sistemul de avans și generatorul pentru alimentarea cu energie electrică a electrozilor, pornind procesul de prelucrare.

- Oprărea procesului de prelucrare se realizează fie prin apăsarea butonului O a întrerupătorului I, fie comandată de limitatorul de cursă inferior LC_j, după care se întrerupe circulara electrolitului trecind distribuitorul rotativ DR pe poziția I și se declanșează întrerupătorul general IP.

- Retragerea electrodului sculă în vederea reluării ciclului de lucru se poate realiza fie prin comandă manuală fie automat.

Retragerea manuală constă în comutarea lui CAM în poziția de comandă a ~~taxei~~ retragerii electrodului sculă: la atingerea retragerii dorite, se trece comutatorul CAM pe poziția O.

Retragerea automată a electrodului sculă se realizează prin comanda dată de limitatorul de cursă inferior LC_j, la atingerea adâncimii de prelucrare reglată. Retragerea se face pînă la limitatorul de cursă superior LC_s sau se poate întrerupe retragerea acționind pe butonul O a întrerupătorului I.

Repetarea ciclului de prelucrare se poate face parcurgind numai etapa de instalare a obiectului prelucrării și de poziționare a electrodului sculă dacă nu sînt necesare ajustări ale comenzilor de reglare a avansului și parametrilor electrici.

Dacă se schimbă obiectul prelucrării sau condițiile tehnologice, reluarea ciclului de prelucrare se va face cu prima etapă prezentată sau cu una din celelalte etape, după necesități.

4.1.2. Mașina de putere medie pentru prelucrarea dimensională prin erziune electrochimică hidrodinamică /ECM-IPT/

Mașina este destinată unor lucrări de adîncire, perforare, decupare, trepanare și fasenare prin erziune electrochimică cu coperirea fernei obiectului de transfer. Precedeul de prelucrare electrochimică se pretează bine la prelucrarea formelor tridimensionale complicate executate din oțeluri refractare dificil de prelucrat prin procedee convenționale.

În general, mașina este destinată prelucrărilor de serie a matrițelor pentru piese forjate, pentru prelucrarea unor piese curente aflate în fabricație de serie și pentru debavurarea unor piese după prelucrările mecanice.

Mașina se poate folosi acolo unde precizia de prelucrare dimensională impusă piesei este accesibilă prelucrării electrochimice, adică 0,05-0,1 mm.

Mașina ECM - IPT /Fig. 4.16/ face parte din grupa mașinilor de putere medie, de tip vertical, în consolă și se compune din următoarele unități:

- Mașina de prelucrare;
- Instalația de alimentare cu electrolit;
- Instalația electrică.

Subansamblele principale ale mașinii de prelucrare sînt următoarele: batiul /B/, capul de lucru /Cl/, masa în coordonate /Mc/, camera de lucru /Cl/, instalația de ungere /Iu/, iar pe batiul mașinii este fixat cu un braț mobil, panoul de comandă /Pc/.

Batiul este o construcție turnată din fontă identic cu cel folosit la mașina de găurit tip G 40.

Pe batiu se află montată masa mașinii care poate fi deplasată, pe verticală, cu ajutorul motorului electric M_5 prin intermediul reductorului R_3 .

Pe același ghidaj cu masa este montat capul de lucru, care se poate deplasa manual, cu manivela M și reductorul R_2 .

Sub masa mașinii este montată instalația de ungere a mașinii Iu.

Capul de lucru conține următoarele părți componente: carcasa, sistemul de avans și mecanismul de poziționare a capului de lucru.

Carcasa este o construcție turnată avînd ghidaje pentru deplasarea pe verticală.

Sistemul de avans se compune din motorul electric de curent continuu M_1 , reductorul R_1 , un mecanism șurub piuliță și pinela P.

Elementul final al sistemului de avans, obiectul de transfer CT, poate asigura mișcări pe verticală, rapide și lente, în ambele sensuri. Pentru a realiza aceste mișcări se folosesc cele două cuplaje electromagnetice incluse în reductorul R_1 și posibilitatea de inversare a motorului de acționare M_1 .

Cuplajul Cpr asigură mișcările rapide, iar cuplajul Cpl, mișcările lente /avansul de lucru/.

Schema mecanică a acționării mesei mașinii, a capului de lucru și a pinolei este redată în figura 4.17, iar în tabelul 4.1 se dau caracteristicile folosite la aceste acționări și valorile cinematice obținute.

Pe motorul electric M_1 cu turație reglabilă, se află cuplat un tahogenerator T_{hl} , ca traductor a vitezei de avans constantă.

Pentru limitarea cursei pinolei atât la coborîre cît și la ridicare sînt folosite limitatoarele de cursă L_p . Limitatoarele conțin două întrerupătoare care sînt acționate de un element mobil legat rigid de pinolă.

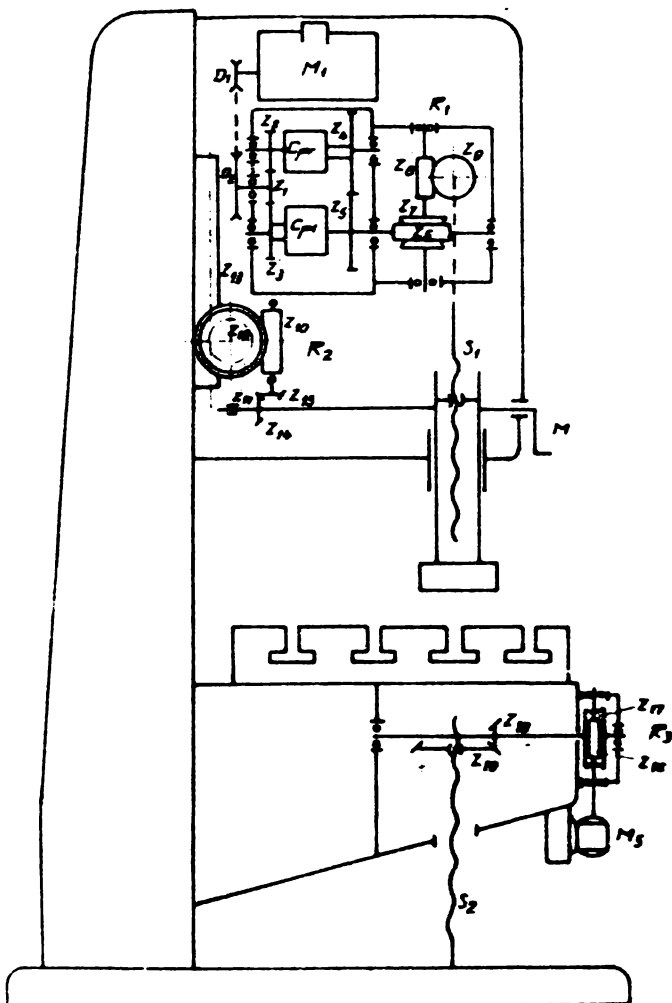


Fig. 4.17

Tabelul 4.1

Asigurarea întreruperii procesului, la o poziție dorită a obiectului de transfer, se realizează cu precizie ridicată prin reglajul micrometrului M_{cr} care acționează asupra limitaterului inferior L_{pi}.

Pentru măsurarea deplasării pinei se pot folosi următoarele sisteme:

- pentru curse mici /sub 10 mm/, se folosește comparatul de sutime C₀ închis în aceeași carcasă cu limitaterul L_{pi};
- pentru măsurarea deplasărilor de precizie scăzută /poziționare, perforări etc./ și pentru cursele mari, se folosește rigla cu vernier R_g, care asigură o precizie de 0,1 mm;
- pentru cursele cu lungimea mai mică de 100 mm, se folosește citirea sistemului de afișaj numeric A care permite punerea la zero și asigurarea unei precizii de măsurare de 0,01 mm.

Camera de lucru /C/ este o încălțată închisă, etanșă cu ușa de vizitare transparentă. Etanșeitaea camerei de lucru este înșurată de acțiunea corezivă a electrolitului asupra suprafețelor mașinii care nu sînt protejate. Pe camera de lucru, se află montat un întrerupător /I/ acționat de ușa, care nu permite inițierea procesului de prelucrare numai dacă ușa este închisă. Pe partea laterală a camerei, se află montat un ventilator

CARACTERISTICILE TRANȘMIȘIILOR FOLOSITE

Roți dinți	z	m	Roți dinți	z	m	Mecanism de poziționare cap de Avans
Z ₁	41	1	Z ₁₀	1	3	
Z ₂	25	1	Z ₁₁	40	3	
Z ₃	93	1	Z ₁₂	16	3	
Z ₄	89	4,5	Z ₁₃	lung seria	3	
Z ₅	44	1,5	Z ₁₄	30	2	
Z ₆	1	2	Z ₁₅	45	2	
Z ₇	30	2	Raport total 60			
Z ₈	1	3	Dura la o rotație a marelui 24 mm			
Z ₉	30	3	Z ₁₆	1	3	
			Z ₁₇	50	3	Mecanism de poziționare manual
			Z ₁₈	30	3	
			Z ₁₉	40	3	
Raport total			Raport total			
Roți de lucru		Roți raport	S _g cu pasul p=6 mm			
2030		275	Motor M _g 1KW, 1500 rpm			
D ₁ =68 mm D ₂ =122 mm			Mecanism de poziționare			
3500		404	M2			
S ₁ cu pasul p=6 mm						
Motor M ₁ 0,55KW, 2700 rpm						
Viteza maximă de avans						
4,4 mm/min		32,8 mm/min				

acționat prin intermediul motorului M_4 , avînd drept scop evacuarea hidrogenului rezultat în urma procesului de prelucrare.

Camera de lucru este montată pe o masă în coordonate ce permite poziționarea plană relativă între cei doi electrozi /obiectul prelucrării și obiectului de transfer/, avînd cursa longitudinală de ± 150 mm și cursa transversală de ± 75 mm.

Instalația de ungere /Iu/ asigură lubrifierea cuplajelor electromagnetice din reductorul de avans. Instalația de ungere se compune din: motorul electric M_5 , pompa de alimentare P_5 , rezervorul pentru ulei R_5 , conductele de legătură și elementele de distribuție D_5 , prin care se poate regla debitul de ulei pe fiecare cuplaj.

Elementele principale ale sistemului de alimentare cu electrolit sînt /Fig. 4.18/: rezervorul, instalația pentru circularrea electrolitului în interstițiul de lucru, instalația de curățire a electrolitului, instalația de termostatare a electrolitului, conductele și elementele de reglare. În figura 4.18 se prezintă schematic dispunerea în plan orizontal a instalației.

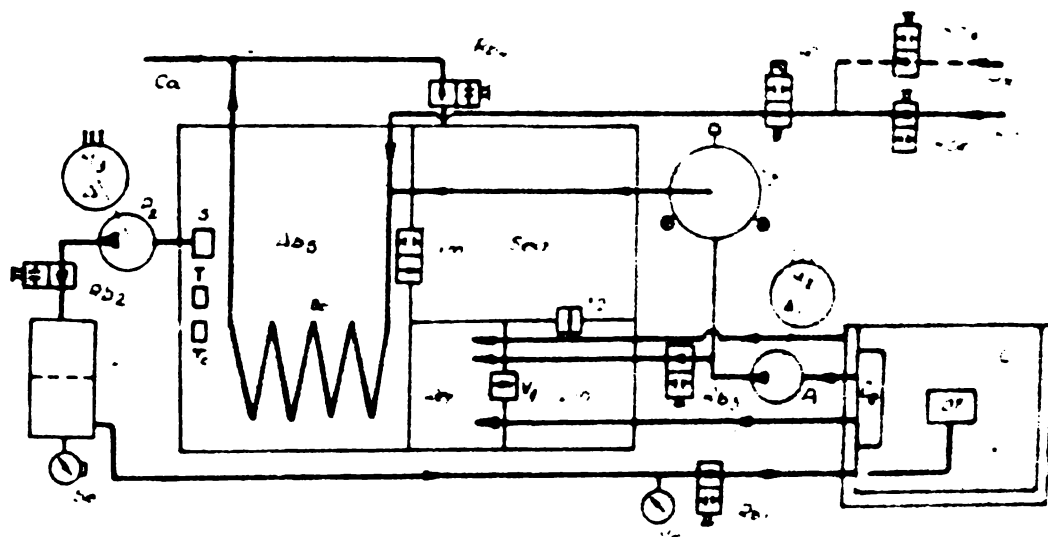


Fig. 4.18

Rezervorul pentru electrolit /Rez/ are o capacitate de 2 m^3 și este de construcție sudată din oțel inoxidabil cuprinzînd patru compartimente: refulare /Ref/, liniștire /Lin/, sedimentare /Sed/ și absorbție /Abs/. Între cele patru compartimente se află ventilele de sens unic cu membrană de cauciuc V_1 , V_2 și ventilul normal închis V_m , cu acționare manuală printr-o pîrghie. Aceste ventile permit evacuarea electrolitului din rezervor la canal, din toate compartimentele rezervorului, prin deschiderea robinetului R_{b4} . În timpul circulării electrolitului prin intermediul

pompelor, aceasta trece succesiv din compartimentul de refulare în compartimentele de liniștire, sedimentare și absorbție, prin deversare peste pereții despărțitori așezați în cascadă. Pentru a împiedica pătrunderea corpurilor străine, rezerveul este acoperit cu patru capace fixate de rezerve prin șuruburi dintre care, capacul ce acoperă compartimentele de refulare și absorbție, este confecționat din plexiglas transparent.

Instalația pentru circulația electrolitului se compune din două circuite: circuitul de înaltă presiune destinat alimentării cu electrolit a interstițiului de lucru și circuitul de joasă presiune, destinat evacuarii electrolitului din camera de lucru.

Circuitul de înaltă presiune se compune din sorb /S/, pompă /P₂/, robineti /R_{b1}, R_{b2}/ și filtrul /F/.

Absorbția electrolitului din rezerve se face prin sorbul S prevăzut cu o sită cu ochiuri de 0,5 mm pentru a reține corpurile străine din electrolit.

Pompa P₂ acționată de motorul electric M₃ asigură circulația electrolitului la un debit maxim de 180 l/min și o presiune maximă de 5 daN/cm².

Circuitul de joasă presiune conține pompa P₁ acționată de motorul electric M₂, robinetul R_{b2} și celesterul de electrolit Ce. Pompa P₁, are următoarele caracteristici: debitul 100 l/min și presiunea de 3 daN/cm².

Electrolitului ce circulă prin zona de lucru i se impune un înalt grad de curățire astfel încât, corpurile străine să nu depășească în dimensiune mărimea interstițiului minim de lucru. În acest scop, după pompa P₂ se află montat filtrul cu sită /F/, având ochiurile de 0,1 mm, reținând particulele din electrolit ce depășesc dimensiunea ochiurilor sitei.

Produsele de dizolvare anodică a obiectului prelucrării, sub forma oxizilor metalelor din care este compus materialul piesei, sînt preluate de electrolit. Pentru a evita recircularea acestor produse și pentru eliminarea lor din electrolit se folosește atât posibilitatea de sedimentare în rezerveul pentru electrolit cît și ramificarea de joasă presiune prin cartușul filtrant C_f.

Pentru asigurarea desfășurării procesului de prelucrare în bune condițiuni, electrolitul trebuie să aibă o anumită temperatură, care să fie menținută la o valoare constantă. Încercarea electrolitului la temperatura de regim se poate asigura fie prin prelucrarea, la început, a unor piese de precizie scăzută, fie prin trimiterea prin schimbătorul de căldură a apei calde de la rețeaua de apă caldă /Rsc/. În cel de al doilea caz, pentru a asigura uniformizarea temperaturii întregii mase de electrolit, se permit pompelor de vehiculare a electrolitului.

Menținerea constantă a temperaturii electrolitului se realizează prin schimbătorul de căldură /S_c/, folosind ca agent apa de la rețea /Ra/.

care se evacuează la canal /Ca/. Comanda circularii apei de răcire se transmite de la traductorul de temperatură /T/ la ventilul electric /Ve/.

Conductele de legătură pentru circuitul de înaltă presiune /P₂-OT/ sînt confecționate din cauciuc armat, iar pentru circuitul de joasă presiune, din cauciuc cu inserție de pînă.

Pentru zonele de legătură rigidă sînt folosite conducte din oțel inoxidabil și din bronz.

Elementele de reglare și măsură se află montate în parte pe mașină /rebinet R₀, manometru M₀/, iar cealaltă parte de-a lungul circuitului de alimentare, constînd din rebinetele cu două poziții /Rb₂, Rb₃, Rb₄, Rb₅, Rb₆/ și manometrul cu senzior de electrolit /Se/.

Instalația electrică a mașinii de prelucrat electrochimic se compune din trei blocuri funcționale distincte /Fig. 4.19/:

- 1.- Instalația de alimentare cu energie electrică ataturer consumatorilor de forță.
- 2.- Instalația de alimentare cu energia a spațiului de lucru /redreserul de putere/.

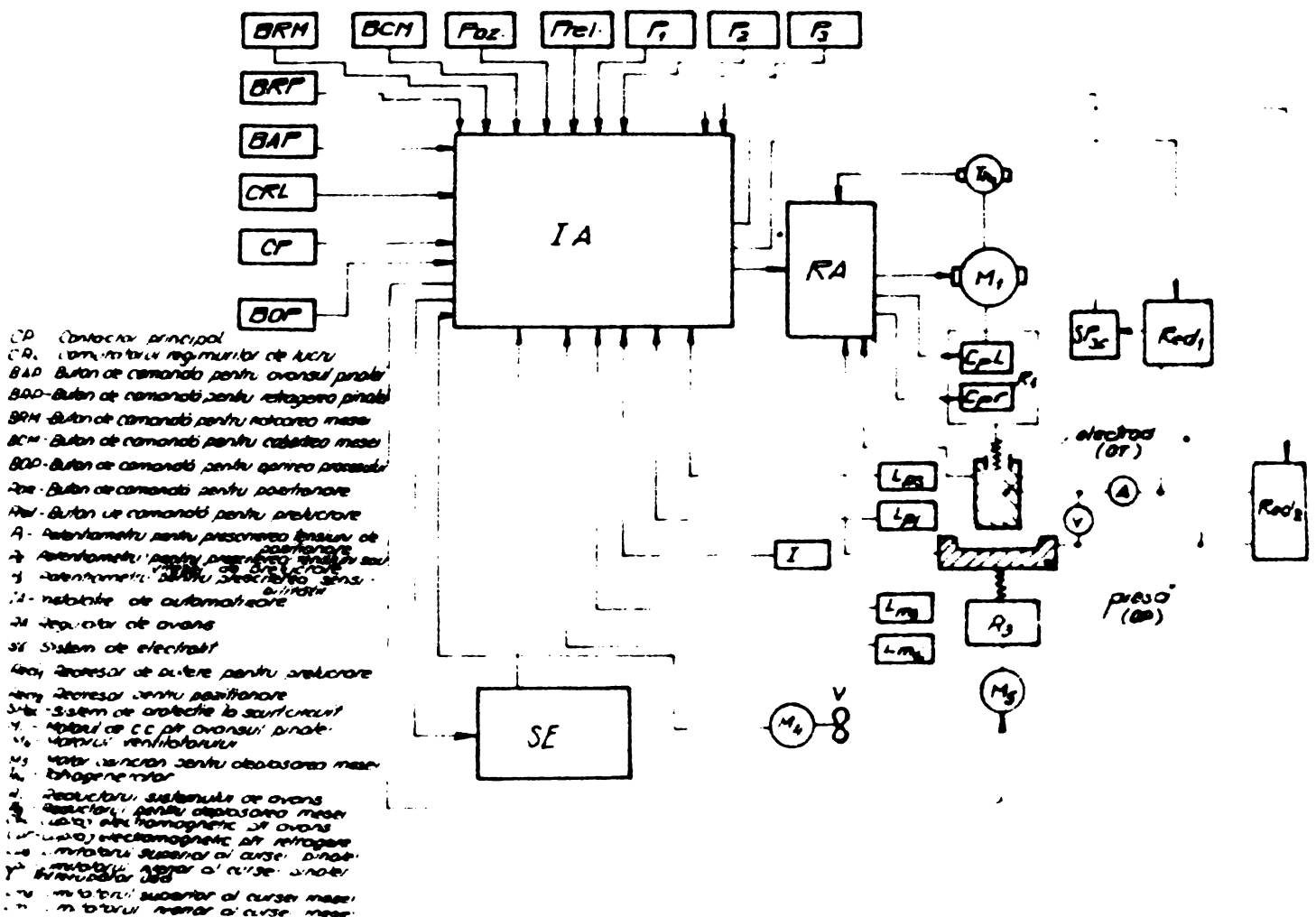


Fig. 4.19

Constructiv, alimentarea consumatorilor /inclusiv și redreserul de lucru/ se realizează dintr-un dulap de comandă /Dc, Fig. 4.16/, care

conține și elementele instalației de automatizare. Fiecare consumator este alimentat prin dispozitive de comutare și protecție proprii.

Sursa de alimentare cu energie electrică a electrozilor este un redresor tip I.R.G. - 2B cu tensiunea reglabilă între 5 - 20 V, care poate asigura un curent maxim de 1450 A. Acest redresor a fost completat cu un dispozitiv rapid de protecție la scurtcircuit și cu un dispozitiv de stabilizare a tensiunii.

Complexitatea constructivă și funcțională a mașinii de prelucrat electrochimic, impune echiparea acesteia cu o instalație automată de comandă și control a prelucrării, care să asigure menținerea parametrilor de prelucrare în limitele impuse de operator, să înlăture posibilitatea rebutării piesei sau a distrugerii mașinii și să reducă la maximum posibil intervenția operatorului.

Comenzile de lucru ale mașinii acționează asupra instalației de automatizare /IA/, realizată din elemente electromecanice /contacte, releu/ și electronice care, în continuare, le aplică elementelor de execuție ale mașinii.

Circuite de interblocare condiționează executarea armurilor comenzi în funcție de starea diferitelor subansamble ale mașinii. Astfel, instalația de alimentare cu electrolit nu poate fi pusă sub presiune dacă ușa camerei de lucru nu este închisă, sistemul de avans automat nu funcțio-

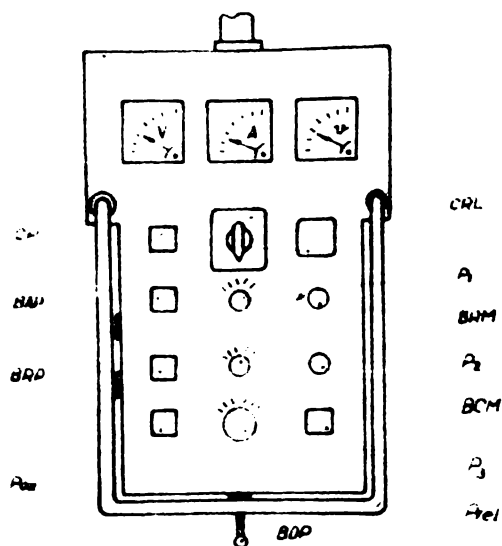


Fig. 4.20



Fig. 4.21

CARACTERISTICILE PRINCIPALE ALE MAȘINII ECH-IPT			TAB.4.2
MAȘINA DE PRELUCRARE	Cursă maximă a capului de lucru, mm		200
	Cursă maximă a andei, mm		200
	Cursă maximă de verticală a mesei, mm		200
	Cursă maximă în plan orizontal a mesei în coordonate, mm	lung. latrals transversala	± 150 ± 75
	Suprafață utilă a mesei, mm		440-325
	Dimensiunile camerei de lucru, mm		225-300-300
	Distanță maximă între masa și anod, mm		650
	Viteză de avans de lucru mm/min		0-44
	Viteză de avans rapid mm/min		0-328
	Viteză de deplasare a mesei, mm/min		112
	Suprafață maximă de vâinare (la 1500 A), cm ²		60
	Dimensiunile de gabarit ale mașinii, mm		1025-1500 1800
INSTALATA DE ALIMENTARE CU ELECTROLIT	Pompă de alimentare	Debit l/min	100
		Presiune din/om ²	5
	Pompă de evacuare	Debit	100
		Presiune	3
	Dimensiunile ochiurilor sitei pentru filtru, mm		91
	Rezervor electrolit	Capacitatea l	2000
		Dimensiuni de gabarit	2450-1800
	Instalația de termostatare	Număr compartimente	4
Direcția de reglare a temperaturii, °C		± 2	
Dimensiunile de gabarit ale instalației, mm	Debitul apei schimburului de căldură, l/min	25	
		1000-1000 1250	
INSTALATA ELECTRICĂ	Redresor lucru	Tensiunea de lucru, V	5-20
		Curentul maxim de lucru, A	1450
		Dimensiuni de gabarit, mm	1000-600 1200
	Redresor poziționare	Tensiune, V	12
		Intensitatea maximă a curentului, A	10
Unghiul de rotire a panoului de comandă grade		180	
Dimensiuni de gabarit a dulapului de comandă, mm		600-1000 1500	
CARACTERISTICI GENERALE	Suprafața totală de instalare a mașinii, m ²		20
	Puterea totală instalată, kW		63
	Poziționare de lucru	Poziționare automată la vâinare reglată a intensității de lucru Drelicurare cu avans automat după căderea de tensiune pe intervalul de lucru	
		Prelucrare cu viteză constantă de avans ireglată, cu folosirea stabilizatorului de tensiune pentru redresor	

nează decât după aplicarea tensiunii, este exclusă funcționarea simultană a redresorului de lucru și de poziționare, de asemenea cursele elementelor^{mobile} ale mașinii sînt limitate.

În figura 4.20 se prezintă dispunerea pe panoul de comandă a elementelor de comandă și control a prelucrării.

O vedere parțială a acestei mașini se prezintă în figura 4.21.

Mașina permite prelucrarea în două moduri:

- prelucrarea cu avans automat, folosind ca mărime de comandă căderea de tensiune pe interstițiul de lucru și
- prelucrarea cu viteză de avans constantă.

În tabelul 4.2 se prezintă principalele caracteristici ale mașinii.

4.1.3. Mașina pentru prelucrarea prin eroziune electrochimică hidrodinamică de 1450 A /MEC/

Concepția constructivă a acestei mașini este asemănătoare cu cea a mașinii ECM - IPT. Mașina fiind destinată atât pentru testarea caracteristicilor funcționale ale părților componente cît și pentru cercetări tehnologice, s-a construit un panou de comandă care să permită reglarea și controlul unui număr mare de parametrii caracteristici procesului de prelucrare.

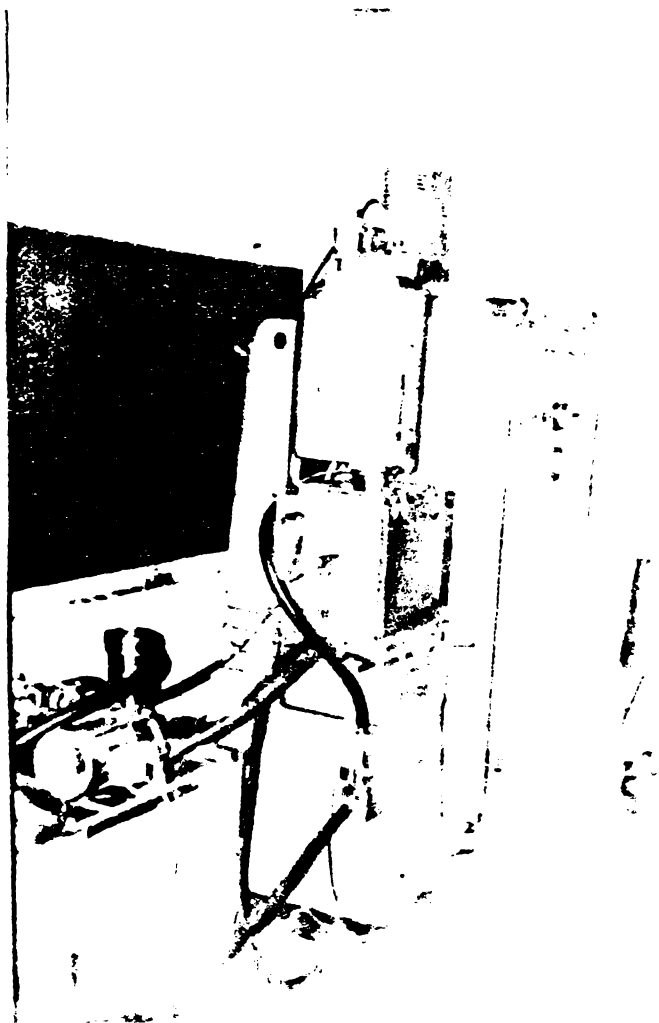


Fig. 4.22

În figura 4.22 se prezintă o vedere de ansamblu a acestei mașini din care se disting cele trei unități de bază: instalația pentru alimentare cu electrolit, mașina de prelucrare și sursa de alimentare cu energie electrică.

Pentru mașina de prelucrare s-a folosit batiul mașinii de filetat F.I. 16 care este o construcție turnată avînd asigurată deplasarea manuală a capului de lucru.

Figurile 4.23 și 4.24 prezintă în detaliu mașina de prelucrare și respectiv camera de lucru.

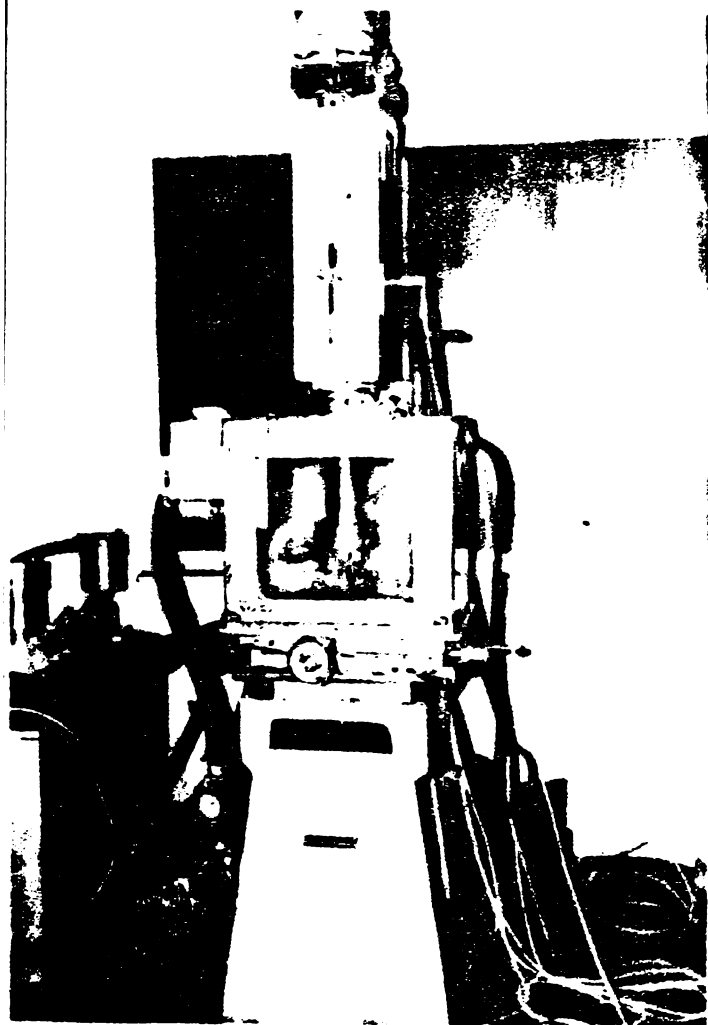


Fig. 4.23

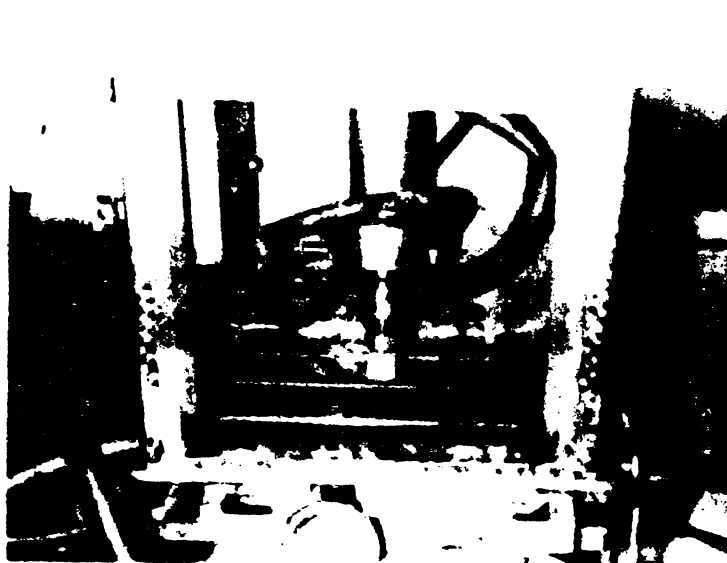


Fig. 4.24

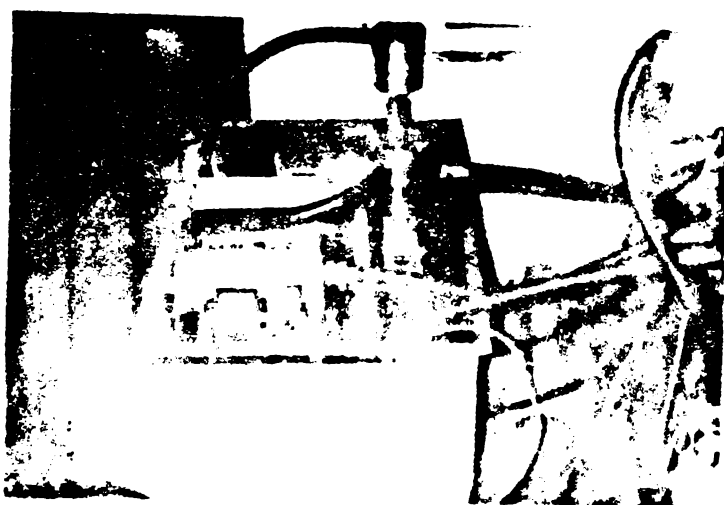


Fig. 4.25

În figura 4.25 este redată instalația pentru alimentarea cu electrolit având în prim plan pompa de înaltă presiune, de construcție specială.

Paneul de comandă /Fig. 4.26/ este conceput ca unitate separată având posibilitatea deplasării ușoare, fiind așezat pe patru roți. Pe partea superioară a panoului /Fig. 4.27/ se află butoanele de comandă și reglare precum și instrumentele de măsură și control. Conținutul acestei părți a panoului este prezentat în figura 4.28.

În funcție de cinematica electrodului sculă /a obiectului de transfer "OT"/, prelucrarea pe mașina M.E.C. permite următoarele modalități de lucru:

A.- Prelucrarea fără avans /static/, cu următorul ciclu de lucru:

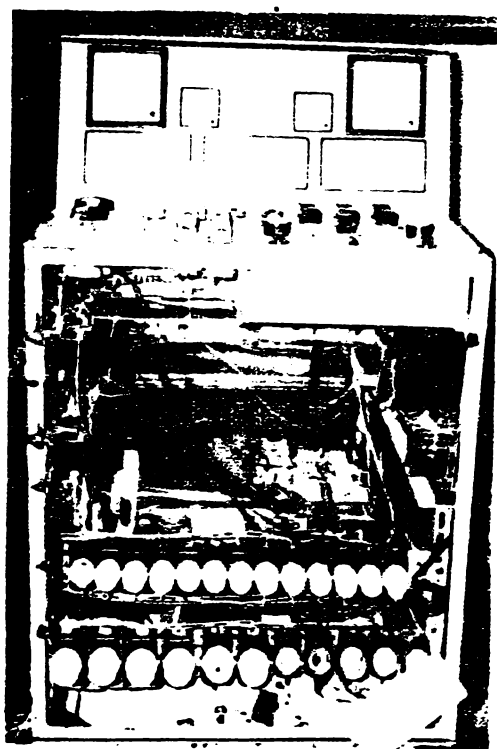


Fig. 4.26

- a - apropiere rapidă a OT de OP;
- b - poziționare automată la valearea dorită a interstițiului inițial;
- c - prelucrarea pe o durată comandată prin temporizatorul total sau prin întrerupere manuală;
- d - retragere rapidă pînă la limitatorul superior.

B. Prelucrarea cu avans discret cu următorul ciclu de lucru:

- a - apropiere rapidă a OT de OP;
- b - poziționare automată la valearea dorită a interstițiului inițial după care se cuplează automat cele două temporizatoare;
- c - prelucrarea pe o durată comandată de temporizatorul de ciclu, după care se comandă automat re poziționarea. Durata totală a prelucrării și numărul de re poziționări se reglează prin temporizatorul total sau prin limitatorul inferior de cursă;
- d - retragerea rapidă pînă la limitatorul superior.

C. Prelucrarea cu avans constant cu următorul ciclu de lucru:

- a - apropiere rapidă;
- b - poziționare automată la valearea dorită a interstițiului inițial, după care se cuplează automat avansul de lucru;
- c - prelucrarea pînă la cota reglată prin limitatorul inferior de cursă;
- d - retragere rapidă pînă la limitatorul superior.

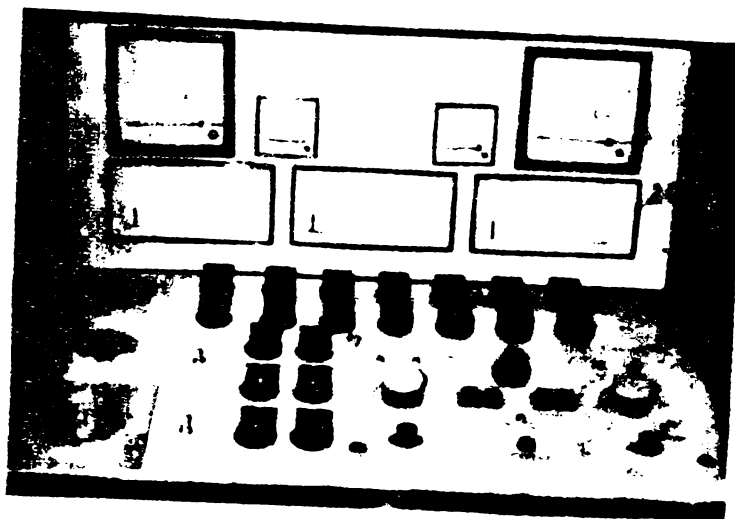
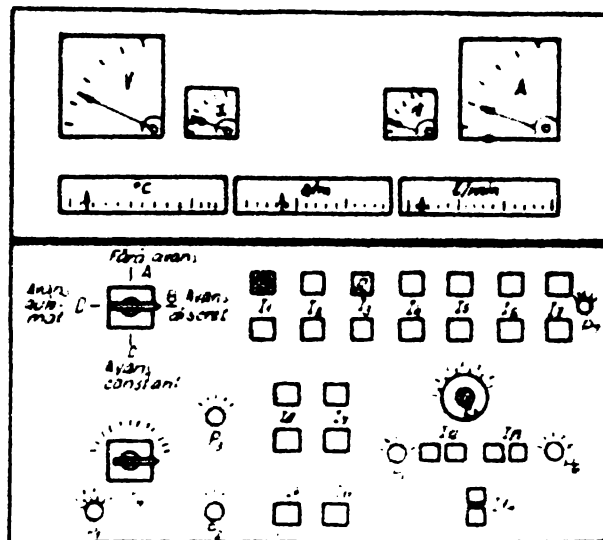


Fig. 4.27

D. Prelucrarea cu avans automat cu următorul ciclu de lucru:

- a - apropiere rapidă;
- b - poziționare automată la valoarea dorită a interstițiului inițial după care se cuplează automat avansul de lucru;
- c - prelucrare pînă la ceta reglată prin limitatorul inferior de cursă;
- d - retragere rapidă pînă la limitatorul superior.



LEGENDA

Instrumente de măsurat

- V - voltmetru
 A - Ampermetru
 x - Aparat pentru măsurarea conductivității electrice
 d - Aparat pentru măsurarea vitezei de avans la prelucrare
 °C - Aparat pentru măsurarea temperaturii electrolitului
 mm - Aparat pentru măsurarea presiunii electrolitului
 l - mm - Aparat pentru măsurarea debitului electrolitului

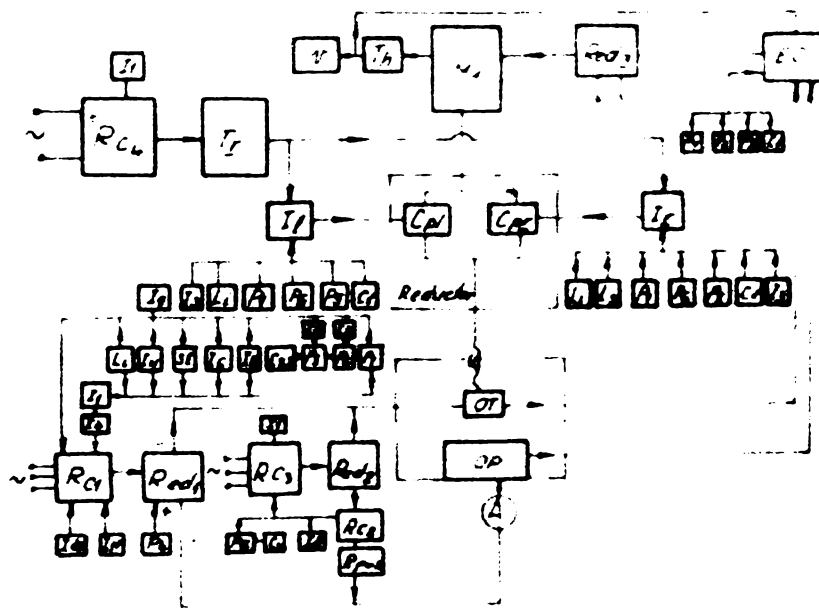
Butoane de comandă

- C1 - Comutator mod de lucru
 C2 - Comutator trepte de reglarea temporizatorului total
 C3 - Comutator trepte de reglarea temporizatorului de ciclu
 P1 - Potentiometru al prescrierii tensiunii de referință sau a vitezei de avans
 P2 - Potentiometru al reglării sensibilității sistemului de avans
 P3 - Potentiometru al prescrierii tensiunii de poziționare
 P4 - Potentiometru al reglării tensiunii redresorului
 P5 - Potentiometru al reglării liniei a temporizatorului total
 P6 - Potentiometru al reglării liniei a temporizatorului de ciclu
 P7 - Potentiometru al reglării temperaturii electrolitului
 I1 - Interupător general
 I2 - Interupător instalație curățire electrolit
 I3 - Interupător avans pînă
 I4 - Interupător redresor
 I5 - Interupător pompă presiune
 I6 - Interupător ventilator
 I7 - Interupător pompă evacuare
 I8 - Interupător poziționare
 I9 - Interupător prelucrare
 I10 - Interupător avarie
 I11 - Interupător avarie
 I12 - Int. temporizator total
 I13 - Int. temporizator ciclu
 I14 - Int. general temporis

Fig. 4.20

Alegerea uneia din medalițiile de lucru prezentate se face prin comutatorul de lucru cu patru poziții C_1 /Fig. 4.28/.

În toate cazurile prezentate, apropierea și retragerea rapidă sînt faze identice ale ciclului de lucru. Apropierea rapidă se realizează prin intrerupătorul I_3 , prin acționare manuală, și durează atîta timp cît se ține apăsat butonul A. Retragera rapidă se comandă în funcție de modul de lucru: fie prin temperizatorul total, fie prin limitatorul inferior de cursă. Această comandă poate fi realizată și manual prin intrerupătorul I_3 , și durează atîta timp cît se ține apăsat butonul R. Cursa maximă pentru retragera rapidă este dată de poziția reglată a limitatorului superior. Viteza de retragere și apropiere rapidă poate fi reglată prin potenționetrul P_1 .



LEGENDA

RC_1 - relee contactor comandat prin $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}, I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}, I_{15}, I_{16}, I_{17}, I_{18}, I_{19}, I_{20}, I_{21}, I_{22}, I_{23}, I_{24}, I_{25}, I_{26}, I_{27}, I_{28}, I_{29}, I_{30}, I_{31}, I_{32}, I_{33}, I_{34}, I_{35}, I_{36}, I_{37}, I_{38}, I_{39}, I_{40}, I_{41}, I_{42}, I_{43}, I_{44}, I_{45}, I_{46}, I_{47}, I_{48}, I_{49}, I_{50}, I_{51}, I_{52}, I_{53}, I_{54}, I_{55}, I_{56}, I_{57}, I_{58}, I_{59}, I_{60}, I_{61}, I_{62}, I_{63}, I_{64}, I_{65}, I_{66}, I_{67}, I_{68}, I_{69}, I_{70}, I_{71}, I_{72}, I_{73}, I_{74}, I_{75}, I_{76}, I_{77}, I_{78}, I_{79}, I_{80}, I_{81}, I_{82}, I_{83}, I_{84}, I_{85}, I_{86}, I_{87}, I_{88}, I_{89}, I_{90}, I_{91}, I_{92}, I_{93}, I_{94}, I_{95}, I_{96}, I_{97}, I_{98}, I_{99}, I_{100}$

RC_2 - relee contactor comandat prin $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}, I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}, I_{15}, I_{16}, I_{17}, I_{18}, I_{19}, I_{20}, I_{21}, I_{22}, I_{23}, I_{24}, I_{25}, I_{26}, I_{27}, I_{28}, I_{29}, I_{30}, I_{31}, I_{32}, I_{33}, I_{34}, I_{35}, I_{36}, I_{37}, I_{38}, I_{39}, I_{40}, I_{41}, I_{42}, I_{43}, I_{44}, I_{45}, I_{46}, I_{47}, I_{48}, I_{49}, I_{50}, I_{51}, I_{52}, I_{53}, I_{54}, I_{55}, I_{56}, I_{57}, I_{58}, I_{59}, I_{60}, I_{61}, I_{62}, I_{63}, I_{64}, I_{65}, I_{66}, I_{67}, I_{68}, I_{69}, I_{70}, I_{71}, I_{72}, I_{73}, I_{74}, I_{75}, I_{76}, I_{77}, I_{78}, I_{79}, I_{80}, I_{81}, I_{82}, I_{83}, I_{84}, I_{85}, I_{86}, I_{87}, I_{88}, I_{89}, I_{90}, I_{91}, I_{92}, I_{93}, I_{94}, I_{95}, I_{96}, I_{97}, I_{98}, I_{99}, I_{100}$

RC_3 - relee contactor comandat prin $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}, I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}, I_{15}, I_{16}, I_{17}, I_{18}, I_{19}, I_{20}, I_{21}, I_{22}, I_{23}, I_{24}, I_{25}, I_{26}, I_{27}, I_{28}, I_{29}, I_{30}, I_{31}, I_{32}, I_{33}, I_{34}, I_{35}, I_{36}, I_{37}, I_{38}, I_{39}, I_{40}, I_{41}, I_{42}, I_{43}, I_{44}, I_{45}, I_{46}, I_{47}, I_{48}, I_{49}, I_{50}, I_{51}, I_{52}, I_{53}, I_{54}, I_{55}, I_{56}, I_{57}, I_{58}, I_{59}, I_{60}, I_{61}, I_{62}, I_{63}, I_{64}, I_{65}, I_{66}, I_{67}, I_{68}, I_{69}, I_{70}, I_{71}, I_{72}, I_{73}, I_{74}, I_{75}, I_{76}, I_{77}, I_{78}, I_{79}, I_{80}, I_{81}, I_{82}, I_{83}, I_{84}, I_{85}, I_{86}, I_{87}, I_{88}, I_{89}, I_{90}, I_{91}, I_{92}, I_{93}, I_{94}, I_{95}, I_{96}, I_{97}, I_{98}, I_{99}, I_{100}$

RC_4 - relee contactor comandat prin $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}, I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}, I_{15}, I_{16}, I_{17}, I_{18}, I_{19}, I_{20}, I_{21}, I_{22}, I_{23}, I_{24}, I_{25}, I_{26}, I_{27}, I_{28}, I_{29}, I_{30}, I_{31}, I_{32}, I_{33}, I_{34}, I_{35}, I_{36}, I_{37}, I_{38}, I_{39}, I_{40}, I_{41}, I_{42}, I_{43}, I_{44}, I_{45}, I_{46}, I_{47}, I_{48}, I_{49}, I_{50}, I_{51}, I_{52}, I_{53}, I_{54}, I_{55}, I_{56}, I_{57}, I_{58}, I_{59}, I_{60}, I_{61}, I_{62}, I_{63}, I_{64}, I_{65}, I_{66}, I_{67}, I_{68}, I_{69}, I_{70}, I_{71}, I_{72}, I_{73}, I_{74}, I_{75}, I_{76}, I_{77}, I_{78}, I_{79}, I_{80}, I_{81}, I_{82}, I_{83}, I_{84}, I_{85}, I_{86}, I_{87}, I_{88}, I_{89}, I_{90}, I_{91}, I_{92}, I_{93}, I_{94}, I_{95}, I_{96}, I_{97}, I_{98}, I_{99}, I_{100}$

Red_1 - rețea de alimentare cu energie electrică a electroanelor

Red_2 - rețea de alimentare motor electric principal

Red_3 - rețea de alimentare la circuit de bobinaj

R_{poz} - rezistență limitatoare pentru accelerație

Tr - transformator de alimentare cupla electrică

I_1 - intrerupătorul cuplului de comandă prin $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}, I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}, I_{15}, I_{16}, I_{17}, I_{18}, I_{19}, I_{20}, I_{21}, I_{22}, I_{23}, I_{24}, I_{25}, I_{26}, I_{27}, I_{28}, I_{29}, I_{30}, I_{31}, I_{32}, I_{33}, I_{34}, I_{35}, I_{36}, I_{37}, I_{38}, I_{39}, I_{40}, I_{41}, I_{42}, I_{43}, I_{44}, I_{45}, I_{46}, I_{47}, I_{48}, I_{49}, I_{50}, I_{51}, I_{52}, I_{53}, I_{54}, I_{55}, I_{56}, I_{57}, I_{58}, I_{59}, I_{60}, I_{61}, I_{62}, I_{63}, I_{64}, I_{65}, I_{66}, I_{67}, I_{68}, I_{69}, I_{70}, I_{71}, I_{72}, I_{73}, I_{74}, I_{75}, I_{76}, I_{77}, I_{78}, I_{79}, I_{80}, I_{81}, I_{82}, I_{83}, I_{84}, I_{85}, I_{86}, I_{87}, I_{88}, I_{89}, I_{90}, I_{91}, I_{92}, I_{93}, I_{94}, I_{95}, I_{96}, I_{97}, I_{98}, I_{99}, I_{100}$

I_2 - intrerupătorul cuplului de comandă prin $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}, I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}, I_{15}, I_{16}, I_{17}, I_{18}, I_{19}, I_{20}, I_{21}, I_{22}, I_{23}, I_{24}, I_{25}, I_{26}, I_{27}, I_{28}, I_{29}, I_{30}, I_{31}, I_{32}, I_{33}, I_{34}, I_{35}, I_{36}, I_{37}, I_{38}, I_{39}, I_{40}, I_{41}, I_{42}, I_{43}, I_{44}, I_{45}, I_{46}, I_{47}, I_{48}, I_{49}, I_{50}, I_{51}, I_{52}, I_{53}, I_{54}, I_{55}, I_{56}, I_{57}, I_{58}, I_{59}, I_{60}, I_{61}, I_{62}, I_{63}, I_{64}, I_{65}, I_{66}, I_{67}, I_{68}, I_{69}, I_{70}, I_{71}, I_{72}, I_{73}, I_{74}, I_{75}, I_{76}, I_{77}, I_{78}, I_{79}, I_{80}, I_{81}, I_{82}, I_{83}, I_{84}, I_{85}, I_{86}, I_{87}, I_{88}, I_{89}, I_{90}, I_{91}, I_{92}, I_{93}, I_{94}, I_{95}, I_{96}, I_{97}, I_{98}, I_{99}, I_{100}$

$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{16}, C_{17}, C_{18}, C_{19}, C_{20}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}, C_{25}, C_{26}, C_{27}, C_{28}, C_{29}, C_{30}, C_{31}, C_{32}, C_{33}, C_{34}, C_{35}, C_{36}, C_{37}, C_{38}, C_{39}, C_{40}, C_{41}, C_{42}, C_{43}, C_{44}, C_{45}, C_{46}, C_{47}, C_{48}, C_{49}, C_{50}, C_{51}, C_{52}, C_{53}, C_{54}, C_{55}, C_{56}, C_{57}, C_{58}, C_{59}, C_{60}, C_{61}, C_{62}, C_{63}, C_{64}, C_{65}, C_{66}, C_{67}, C_{68}, C_{69}, C_{70}, C_{71}, C_{72}, C_{73}, C_{74}, C_{75}, C_{76}, C_{77}, C_{78}, C_{79}, C_{80}, C_{81}, C_{82}, C_{83}, C_{84}, C_{85}, C_{86}, C_{87}, C_{88}, C_{89}, C_{90}, C_{91}, C_{92}, C_{93}, C_{94}, C_{95}, C_{96}, C_{97}, C_{98}, C_{99}, C_{100}$

EC - element comparativ

T_n - tanogenerator

M - motor electric pentru acționare

Fig. 4.29

În figura 4.29 se prezintă schema bloc a sistemului de reglare a avansului și a mișcărilor de poziționare a electrodului sculă prin intermediul mecanismului de avans. Reductorul are două circuite mecanice cu posibilități de lucru succesive prin intermediul a două cuplaje electro-magnetice C_{pl} /pentru avansul de lucru/ și C_{pr} /pentru avansul rapid/.

Reglarea avansului de lucru /în cazul prelucrării cu viteză de avans constantă, prereglată, sau cu avans automat/ se realizează prin elementul comparator EC, în care se compară cu tensiunea prescrisă prin potențiometrul P_2 , tensiunea primită de la tahogeneratorul Th sau de pe interstițiul de lucru. Erorile de tensiune ΔU ce rezultă din compararea celor două tensiuni se transmite elementului de execuție /motorului M_1 / în așa fel încât să se realizeze anularea acestei diferențe. Pragul de sensibilitate a sistemului de avans, de care depinde și valoarea erorii de tensiune, poate fi reglat cu ajutorul potențiometrului P_2 . Ciclul de poziționare se realizează automat prin intermediul sistemului de avans descris, folosind ca parametru de comandă tot căderea de tensiune pe electrozi care însă, în acest caz, se află alimentați cu energie electrică de la redresorul Red_2 ce are o caracteristică căzătoare.

Pentru stabilirea duratei procesului de prelucrare sau a duratei ciclului /în cazul prelucrării cu avans discret/ se folosește temperizatorul montat pe panoul de comandă. Temperizatorul de ciclu are domeniul continuu de reglare între 0-2 minute iar temperizatorul total între 0-23 minute.

Pentru a putea realiza prelucrarea unei game mari de suprafețe, atât mașina ECM-IPT cât și mașina M.E.C. au fost dotate cu trei tipuri de port-electrozi, de construcție originală, prezentați în figurile 4.30; 4.31 și 4.32.

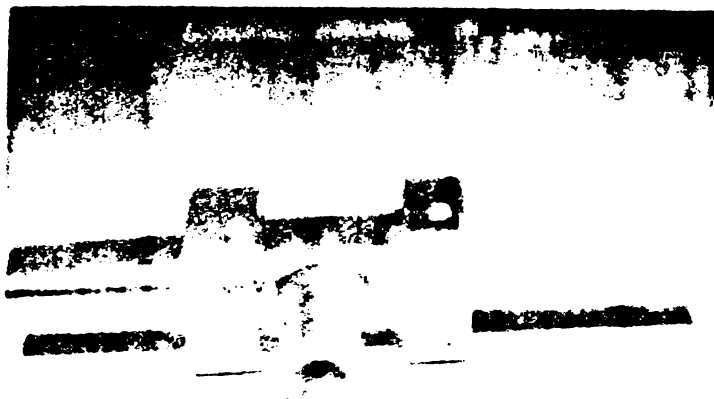


Fig. 4.30

Port-electrodul din figura 4.30 este destinat montării electrozilor

ler pentru prelucrarea suprafețelor simetrice sau de asimetrie redusă.



Fig. 4.31

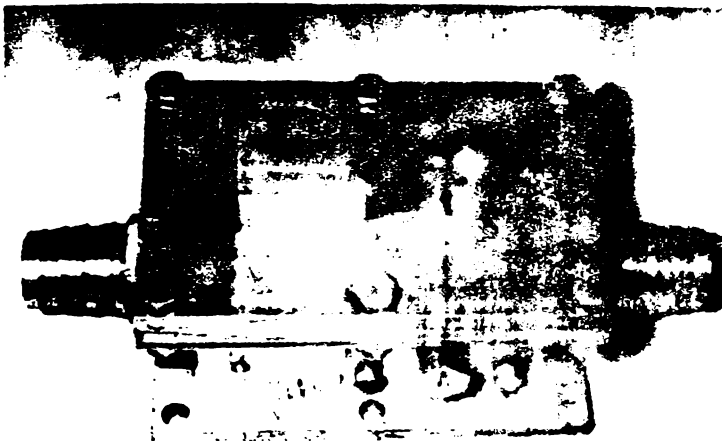


Fig. 4.32

rării suprafețelor asimetrice mijlocii, iar port-electrodul prezentat în figura 4.32 asigură alimentarea bilaterală a electrozilor și este destinat prelucrării suprafețelor mari.

Principalele caracteristici constructive și funcționale ale mașinii de prelucrat prin eroziune electrochimică hidrodinamică M.E.C., sunt prezentate în tabelul 4.3.

4.1.4. Mașina pentru prelucrarea prin eroziune electrochimică hidrodinamică de 200 A / MEC - 200 A /

Mașina de 200 A a fost concepută ca utilaj industrial destinat prelucrării prin procedeul de adâncire electrochimică a suprafețelor mici /până la 8 cm²/ folosindu-se în acest scop experiența dobândită în construcția și cercetarea utilajelor prezentate anterior precum și utilizarea unor soluții constructive noi, de înaltă tehnicitate, atât pentru partea mecanică cât și pentru partea electrică. În acest sens pot fi enumerate: șurub cu bile pentru avans, ghidaje cu bile pentru pinolă, sistem de avans electromecanic cu comandă tiristorizată, temporizare

CARACTERISTICILE PRINCIPALE ALE MAȘINI MEC

Mașina de prelucrare	Cursa maximă a capului de lucru [mm]		175	
	Cursa maximă a pinolei [mm]		180	
	Precizia de reglare a limitatorilor de cursă [mm]		0,01	
	Cursa maximă în plan orizontal a mesei în coordonate [mm]	Longitudinală	800	
		Transversală	100	
	Suprafața utilă a mesei [mm]		400x300	
	Dimensiunile camerei de lucru [mm]		475x350x150	
	Distanța maximă între masă și pindă [mm]		400	
	Viteza de avans de lucru [mm/min]		0-3	
	Viteza de avans rapid [mm/min]		0-30	
	Precizia dispozitivului de afișare a cotei [mm]		0,01	
Suprafața maximă de uzinare (la 7-30 A/cm ²), [cm ²]		50		
Dimensiunile de gabarit ale mașinii [mm]		1500x1500x2500		
Instalația de alimentare cu electrolit	Pompă de alimentare cu electrolit	Debit, l/min	100	
		Presiune, daN/cm ²	20	
	Pompă de evacuare a electrolitului	Debit, l/min	200	
		Presiune, daN/cm ²	41	
	Dimensiunile ochiurilor sitei pt filtru [mm]		0,1	
	Rezervor electrolit	Capacitatea, l	500	
		Dimensiuni de gabarit [mm]	900x900x1000	
Instalația de termostatare	Număr compartimente		4	
	Precizia de reglare a temp electrolitului [°C]		±2	
	Debitul apei schimbătorului de căld.°/min		40	
Dimensiunile de gabarit ale instalației [mm]		1500x1500x1000		
Instalația electrică	Redresor de lucru	Tensiunea de lucru [V]	5-10	
		Intensitatea maximă a curentului [A]	1430	
		Stabilizator de tensiune		
		Disp de protecție la scurt circuit		
	Dimensiuni de gabarit [mm]		900x900x1000	
Redresor poziționare	Tensiunea [V]	12		
Panou de comandă	Intensitatea maximă a curentului [A]		10	
	Dimensiuni de gabarit [mm]		900x900x1000	
	Temporizator	De ciclu	Număr de trepte	8
		Total	Temp reglat [min]	0-2
		Nr de trepte	16	
		Temp reglat [min]	0-23	
Caracteristici generale	Suprafața totală de instalare a mașinii [m ²]		10	
	Puterea totală instalată [kW]		40	
	Posibilități de lucru	Poziționare automată la valoarea reglată a intersticiului de lucru		
		Prelucrarea cu viteză constantă de avans prereglată, cu folosirea stabilizatorului de tensiune pt redresor		
		Prelucrarea statică fără avans al electrodului sculă.		
Prelucrarea cu avans automat după căderea de tensiune pe intersticiul de lucru				
Posibilitatea comenzi individuale a fiecărei unii, sau folosirea ciclului semiautomat de prelucrare				

pentru prelucrare etc. Această mașină este înzestrată cu un generator de impulsuri bipolar în vederea extinderii cercetării și aplicării procedurii de prelucrare electrochimică hidrodinamică și la uzinarea pieselor din materiale speciale.

Mașina având în componență toate instalațiile caracteristice acestor utilaje, a fost realizată în două variante /Fig. 4.33 și 4.34/, diferența de bază constând în soluția constructivă a batiului și panoului de comandă. Varianta a doua /Fig. 4.34/ are un batiu turnat din aluminiu

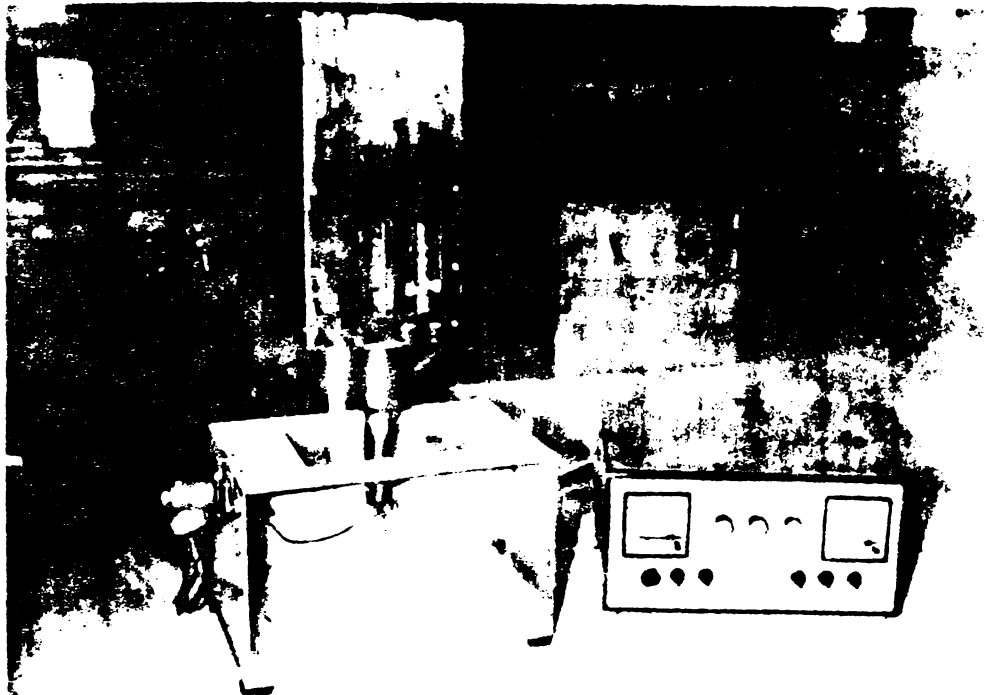


Fig. 4.33



Fig. 4.34

Fig. 4.35

de rigiditate ridicată, asigurând realizarea unor precizii de prelucrare superioare.

Din figura 4.35 se vede, în detaliu, capul de lucru al mașinii ce conține sistemul de avans electromecanic, dispozitivul de afișare a cetei cu posibilitatea aducerii la "zero", limitatearele de cursă și tahogeneratorul folosit ca traductor al vitezei de avans și ca stabilizator al rotației motorului de antrenare al mecanismului de avans.

Schema bloc a instalației de comandă a avansului este prezentată în figura 4.36, de unde rezultă că s-a folosit un sistem automat de urmărire, cu reacție inversă a mărimii de ieșire X_p , care poate fi căderea de tensiune pe interstițiul de lucru sau tensiunea generată de tahogenerator.

SCHEMA BLOC DE REGLARE AUTOMATĂ A AVANSULUI

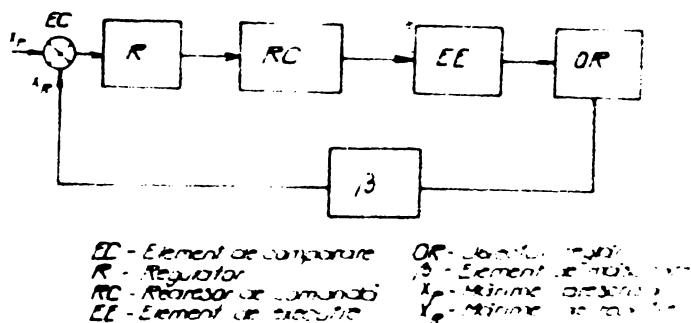


Fig. 4.36

SCHEMA ELECTRICĂ A ELEMENTULUI DE COMPARARE ȘI DE MĂSURARE

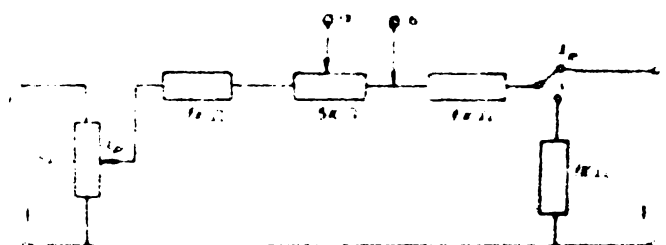


Fig. 4.37

Schemele electrice ale părților componente ale sistemului de comandă și reglare a avansului sînt prezentate în figurile 4.37, 4.38 și 4.39, iar în figura 4.40, o vedere de ansamblu a acestui dispozitiv.

SCHEMA ELECTRICĂ A REGULATORULUI

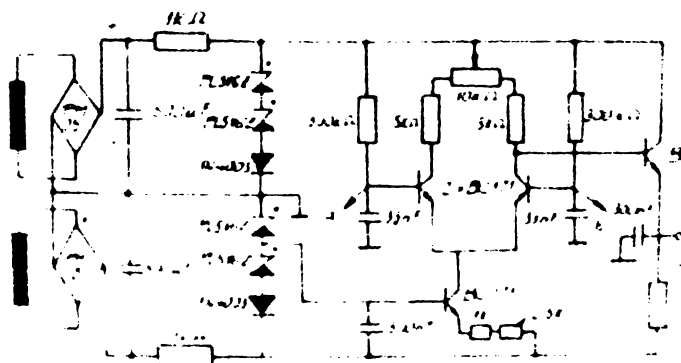


Fig. 4.38

SCHEMA ELECTRICĂ A REDRESORULUI DE COMANDĂ

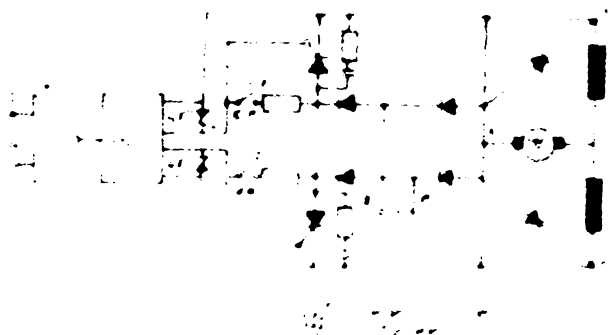


Fig. 4.39

Principalele caracteristici ale mașinii de comandă și reglare a avansului sînt prezentate în tabelul 4.4.

CARACTERISTICILE PRINCIPALE ALE MASINI MEULUIA			
Masina de prelucrare	Cursa maximă a capului de lucru, mm	100	
	Cursa maximă a pinolei, mm	75	
	Cursa maximă în plan orizontal a mesei în coordonate, mm	Longitudinală 100 Transversală 50	
	Suprafața utilă a mesei, mm	850 × 150	
	Dimensiunile camerei de lucru, mm	300 × 800 × 200	
	Distanța maximă între masă și pinolă, mm	160	
	Viteza avansului de lucru, mm/min	0-6	
	Precizia dispozitivului de așchiere a cotei, mm	0,01	
	Suprafața maximă de uzinare (la J-85A/cm), cm ²	0	
Dimensiunile de gabarit ale masinii, mm	800 × 680 × 680		
Instalația de alimentare cu electrolit	Pompa de alimentare cu electrolit	Debit, l/min 20 Presiune, daN/cm ² 20	
	Pompa de evacuare a electrolitului cu debitul, l/min	25	
	Rezervor electrolit	Capacitatea, l 60 Dimensiuni de gabarit, mm 650 × 350 × 340	
	Instalația de termostatare	Precizia de reglare a temp. electrolitului, °C ± 0,5 Debitul apei schimbătorului de căldură, l/min 10	
	Dimensiunile de gabarit ale instalației, mm	800 × 650 × 650	
	Instalația electrică	Redresor pt. alimentarea cu energie electrică	Tensiunea de lucru, V 0-24 Intensitatea maximă a curentului, A 200 Dimensiuni de gabarit, mm 600 × 680 × 180
Panou de comandă		Dimensiuni de gabarit, mm 320 × 120 × 200 Temporizator pt. proces, min 20	
Caracteristici generale		Suprafața totală de instalare a masinii, m ²	4
		Puterea totală instalată, kW	10
	Posibilități de lucru	Positionare automată la valoarea reglată a intersticiului de lucru Prelucrarea statică fără avans al electrodului sculă Prelucrarea cu viteză constantă de avans prereglată Prelucrarea cu avans automat comandat prin căderea de tensiune pe intersticiul de lucru	

Tabel 4.4



Fig. 4.40

4.1.5. Instalație pentru finisarea roților dințate prin eroziune electrochimică hidrodinamică.

Finisarea roților dințate prin eroziune electrochimică hidrodinamică prezintă un interes deosebit atât sub aspectul preciziei de prelucrare cât mai ales, din punct de vedere al capacității productive. Procedeul convențional de finisare necesită timpuri de ordinul zecilor de minute pînă la zile ceea ce afectează în mod substanțial costul prelucrării.

Timpul de finisare al unei roți dințate prin eroziune electrochimică hidrodinamică este sub 1 minut și nu depinde de starea materialului piesei, fiind chiar mai avantajoasă prelucrarea pieselor tratate termic.

În figura 4.41 se prezintă schema de principiu a instalației din care se disting următoarele părți:

- a.- instalația de alimentare cu electrolit;
- b.- dispozitivul de prelucrare;
- c.- sursa de alimentare cu energie electrică.

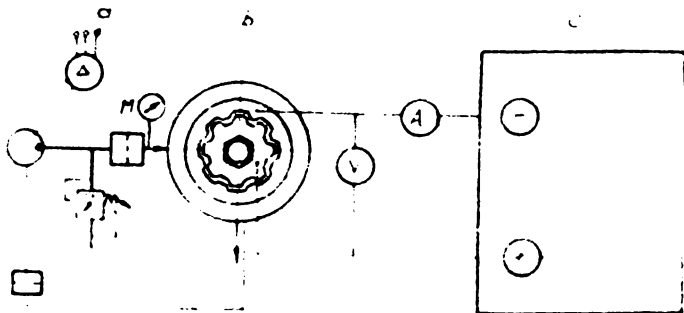


Fig. 4.41

Fig. 4.42

Instalația de alimentare cu electrolit a dispozitivului de prelucrare asigură circulara forțată a electrolitului prin interstițiul de lucru. În acest scop s-a folosit o pompă cu reți dințate de construcție specială având caracteristicile: $Q = 50\text{l/min}$ și $p = 20\text{ daN/cm}^2$.

Dispozitivul de prelucrare ca unitate specifică acestei instalații, este prezentat în figura 4.42.

Elementele active ale acestui dispozitiv sînt electrodul sculă /2/ și obiectul prelucrării /3/ a căror precizie de poziție reciprocă /coaxialitate/ este asigurată de construcția dispozitivului prin dornul /12/ și corpul /1/. Obiectul prelucrării are posibilitatea rotirii unghiulare în raport cu dornul /12/ pentru a putea realiza reglajul uniformității interstițiului lateral, după care, prin intermediul piuliței /5/, se fixează reata dințată la poziția reglată. Pentru a asigura izelarea electrică a celor doi electrozi, corpul dispozitivului a fost confecționat din textolit. Alimentarea dispozitivului cu electrolit se poate face după necesități, unilateral sau bilateral, prin racordurile /8/.

Ca sursă de alimentare cu energie electrică a fost folosit redresorul I.R.G.- 2B avînd caracteristicile:

- tensiunea reglabilă între 3 - 20 V. ;
- intensitatea maximă a curentului 1450 A. ;

Electrodul sculă /2/ este legat la polul negativ al sursei prin intermediul papucului catodic /14/, iar obiectul prelucrării, la polul pozitiv folosind papucul /11/.

Din figura 4.43 rezultă o vedere a acestui dispozitiv de prelucrare.



Fig. 4.43

Instalația prezentată poate fi utilizată, prin construcția adecvată a electrodului sculă și a reglajului axial al obiectului prelucrării, atât pentru operații de finisare cât și de retunșire a muchiilor și debavurare a reților dințate.

4.1.6. Model experimental de mașină electrochimică pentru finisarea reților dințate prin restegelire.

Modelul experimental este destinat finisării reților dințate mici cu modulul de 2 mm, grosime de 10 mm și 20 de dinți. Prin schimbarea părților active ale dispozitivului pot fi prelucrate și reți dințate cu alte caracteristici dimensionale cu condiția ca diametrul exterior să nu depășească valoarea de 50 mm. Pe acest model s-au făcut cercetări legate de testarea sistemului de avans circular, precum și de stabilirea parametrilor procesului de prelucrare și a performanțelor ce se pot obține.

În figura 4.44 se prezintă o vedere de ansamblu a întregii instalații, iar în figura 4.45, mașina de prelucrare cuprinsind ca principale părți: sistemul de avans circular, dispozitivul de prelucrare și camera de lucru.

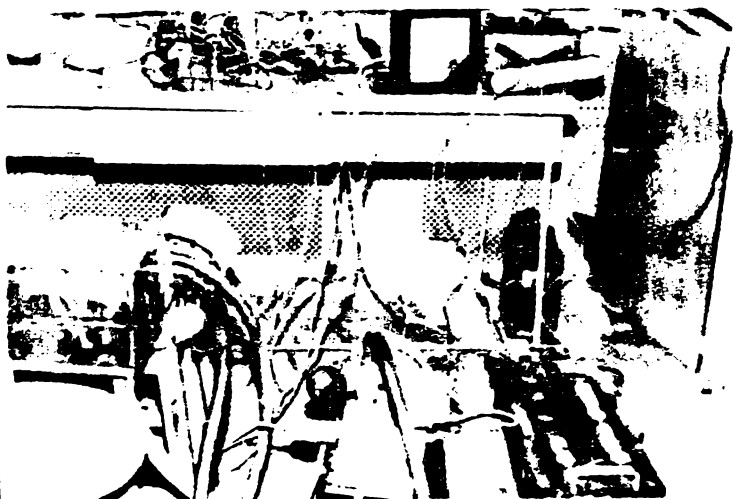


Fig. 4.44



Fig. 4.45

Din figura 4.46 rezultă că și în componența acestei mașini intră aceleași unități de bază: instalația de alinețare cu electrolit /a/, mașina de prelucrare /b/ și sursa de alimentare cu energie electrică /d/.

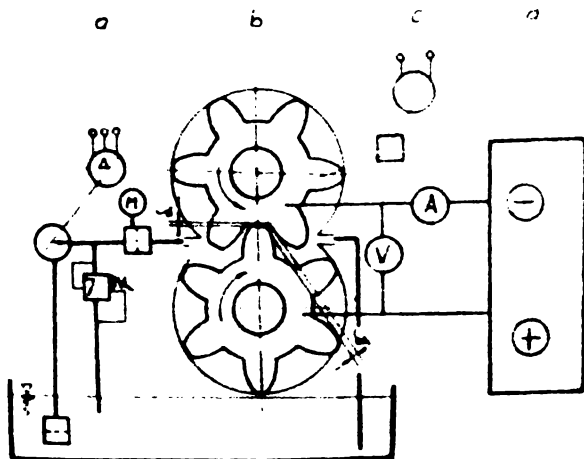


Fig. 4.46

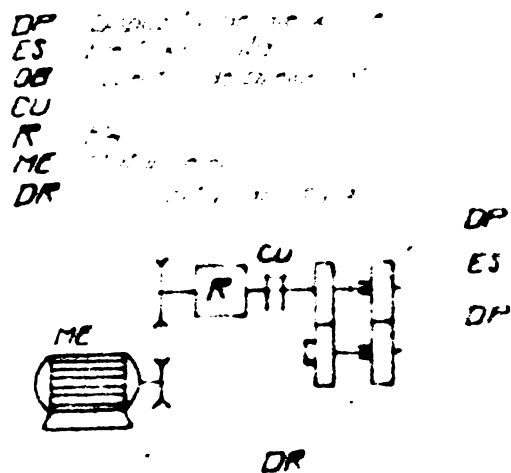


Fig. 4.47

Schema cinematică pentru realizarea avansului circular, în urma căreia cei doi electrozi -roata dințată ce urmează a fi prelucrată și electrodul sculă- angrenanți aparent, este prezentată în figura 4.47. Dimensionarea electrodului sculă se face în așa fel încât să se asigure valearea derivată a interstițiului atât pe flancuri cât și la vârful și fundul dinților. Pentru a asigura îndepărtarea uniformă a adaosului de prelucrare de pe fiecare flanc, trebuie să se realizeze prin reglaj, o distribuție uniformă a interstițiului dintre flancuri δ_2 /Fig. 4.46/. Această reglare se face înaintea începerii procesului de prelucrare folosind dispozitivul de reglare DR /Fig. 4.47/.

Pentru alimentarea cu electrolit, ca și la celelalte mașini, se folosește o pompă cu reți dințate de construcție originală, având caracteristicile: debitul de 15 l/min și presiunea de 20 daN/cm², cu posibilitatea reglării continue a presiunii prin intermediul unei supape de descărcare.

Alimentarea cu energie electrică a celor doi electrozi se face de la un acumulator pentru a introduce în circuit un curent cât mai constant.

Sistemul de comandă și reglare a avansului este identic cu cel utilizat la mașina MEC - 200 A și permite realizarea procesului de finisare a reților dințate în două variante: cu avans circular constant și cu avans circular automat, comandat prin căderea de tensiune între cei doi electrozi, mărime ce caracterizează valearea medie momentanee a interstițiului de lucru.

Pentru construcția fiecărui utilaj precum și a unităților componente, având în vedere că nu am avut o mașină de referință construită în țară sau străinătate, a fost necesară o amplă activitate de proiectare în multe domenii tehnice folosindu-se în mod deosebit ca punct de plecare experiența acumulată. Ținând seama de condițiile concrete pe care le-am avut la dispoziție, pentru găsirea soluțiilor constructive optime s-a recurs și la un vast program de cercetări teoretice și experimentale având ca obiect fiecare subansamblu component al mașinii. Din acest program s-a selectat pentru a fi prezentat în capitolul următor numai câteva aspecte ale cercetărilor legate de sistemele de avans utilizate.

4.2. CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE ASUPRA SISTEMELOR DE AVANS ELECTROMECHANICE FOLCȘITE

La toate mașinile, care au fost prezentate în subcapitolul 4.1, s-au folosit sisteme de avans electromecanice în diferite variante constructive condiționate atât de caracteristicile fiecărei mașini în parte cât și de experiența și cunoștințele dobândite.

4.2.1. Contribuții aduse la utilizarea comenzi sistemelor de avans electromecanice folosind ca parametru de comandă căderea de tensiune pe interstițiul de lucru.

În principiu, în toate variantele construite unul din parametrii de comandă a mișcării de avans este căderea de tensiune pe interstițiul de lucru, ca mărime de măsură indirectă a valorii interstițiului. Acest mod de lucru este folosit atât pentru prelucrarea formelor bidimensionale -deci cu suprafață activă constantă- cât și pentru ciclul de poziționare a electrodului sculă în raport cu obiectul prelucrării. Pentru a putea culege informația de pe electrozi, circuitul de alimentare cu energie electrică trebuie să aibe o caracteristică nerigidă, situație ce se poate obține prin inserierea în circuit a unui reostat. O schemă electrică simplificată ce corespunde acestei situații, se prezintă în figura 4.48.

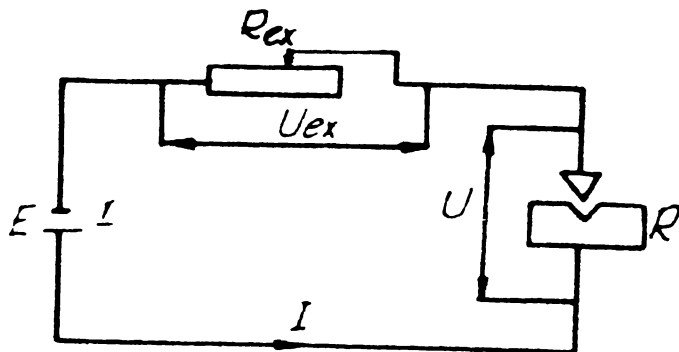


Fig. 4.48

căderii de tensiune pe interstițiul de lucru $/\Delta U/$.

În funcție de soluția constructivă, fiecare sistem de avans se caracterizează printr-o anumită viteză de reacție și sensibilitate, caracteristici ce depind în principal de sistemul de comandă a avansului, motorul electric și de partea mecanică de transmitere a mișcării.

Dacă se consideră că în proces, interstițiul de lucru variază cu valoarea $\sigma \cdot d$, pentru care căderea de tensiune variază cu ΔU , timpul limită în care sistemul de avans trebuie să răspundă este

$$t = \frac{\sigma \cdot d}{v_E} \quad /4.2/$$

Sau, exprimând interstițiul de lucru în funcție de parametrii prelucrării: v_E, U, κ și k_v , /relațiile 3.11, 3.1e7 și 3.1e8/, se obține:

$$t = \frac{\sigma \cdot (U - \Delta U) \cdot \kappa \cdot k_v}{v_E^2} \quad /4.3/$$

Rezistența interstițiului de lucru $/R/$ este o mărime variabilă, în procesul de prelucrare electrochimică și se definește prin relația

$$R = \frac{d}{\kappa \cdot S} \quad /4.1/$$

Fiecare din aceste mărimi poate să fie variabilă în timp și spațiu, atârând după sine variația

Deci, timpul în care sistemul de avans trebuie să reacționeze va fi proporțional cu factorul de creare a interstițiului $/c/$ și invers proporțional cu pătratul vitezei de avans.

Variația căderii de tensiune pe interstițiul de lucru, pentru care sistemul de avans reacționează, depinde de sensibilitatea sistemului.

Din legea lui Ohm, pentru circuitul prezentat în figura 4.48, atunci când valearea interstițiului este δ , rezultă căderea de tensiune pe interstițiul de lucru:

$$U = (E - R_{ex} + r) \cdot I = I \frac{\delta}{\kappa \cdot S} \quad /4.4/$$

La variația parametrilor de lucru, căderea de presiune va fi

$$U - \Delta U = E - (R_{ex} + r) I_1 = I_1 \frac{\delta \cdot (1-c)}{\kappa \cdot S} \quad /4.5/$$

Din expresiile /4.4/ și /4.5/, dacă notăm $R_t = R_{ex} + r$, se poate obține expresia variației căderii de tensiune pe interstițiul de lucru

$$U = \frac{c \cdot E \cdot R_t}{R_t^2 \cdot \frac{\kappa \cdot S}{\delta} + (2-c) R_t + (1-c) \frac{\delta}{\kappa \cdot S}} \quad /4.6/$$

și expresia factorului de creare a interstițiului

$$c = \frac{\Delta U \left(R_t^2 \frac{\kappa \cdot S}{\delta} + 2 R_t + \frac{\delta}{\kappa \cdot S} \right)}{E \cdot R_t + \Delta U \left(R_t + \frac{\delta}{\kappa \cdot S} \right)} \quad /4.7/$$

Expresia /4.6/ este utilă pentru dimensionarea variației căderii de tensiune atunci când sensibilitatea sistemului de avans poate fi reglată, iar relația /4.7/ pentru stabilirea factorului de creare, atunci când sensibilitatea sistemului de avans este constantă.

În funcție de R_t , cele două expresii prezintă un maxim și respectiv un minim.

Derivând expresia /4.7/ în raport cu R_t și egalând derivata cu zero, se obține expresia lui R_t pentru care factorul de creare are valoarea minimă.

$$R_t = \frac{-\Delta U \pm \sqrt{\Delta U^2 + (E - \Delta U)^2}}{\frac{\kappa \cdot S}{\delta} (E - \Delta U)} \quad /4.8/$$

Cum sistemele de avans electromecanice concepute asigură o variație subunitară a căderii de tensiune pe interstițiul de lucru, practic se pot neglija aceste variații și se obține:

$$R_t \approx \frac{\delta}{\kappa \cdot S} = R \quad /4.9/$$

Deci, valoarea minimă a factorului de creare și deci variația minimă a interstițiului de lucru, se obține atunci când rezistența totală este egală cu rezistența interstițiului. Aceiași soluție pentru R_t asigură variația maximă a căderii de tensiune pe interstițiul de lucru.

Ca urmare, la prelucrarea cu avans automat comandat prin căderea de tensiune pe interstițiul de lucru, rezistența exterioară va trebui acordată la valoarea suprafeței de prelucrat pentru a realiza o variație a interstițiului de lucru, pentru o sensibilitate a sistemului de avans pentru care procesul rămâne stabil.

Inlocuind în expresiile /4.6/ și /4.7/ soluția /4.9/ se obține

$$U = \frac{c \cdot E}{4 - 2c} \quad /4.10/$$

$$c = \frac{4 \cdot \Delta U}{E + 2\Delta U} \quad /4.11/$$

Pentru această situație, scriind legea lui Ohm pentru întregul circuit se obține

$$E = 2 \frac{v \cdot d}{\kappa \cdot k_v} = 2U \quad /4.12/$$

$$E \leq E_{\max}$$

Expresia /4.12/ permite dimensionarea tensiunii electrice și a căderii de tensiune reglată pe sursa de alimentare cu energie electrică și respectiv pe elementul de prescriere a tensiunii de referință pentru sistemul de avans.

Dimensionarea vitezei de prelucrare se face din considerente de asigurare a preciziei de prelucrare la o capacitate productivă maximă și este limitată de intensitatea maximă a curentului debitat de sursa de alimentare cu energie electrică:

$$\frac{v_E \cdot S}{k_v} \leq I_{\max} \quad /4.13/$$

Dimensionând parametrii regimului în ordinea: v_E ; E ; U și impunând valoarea lui c , putem stabili valoarea reglată a sensibilității sistemului de avans $/\Delta U/$ și valoarea de reglare a rezistenței R_t .

Luind ca exemplu prelucrarea pe mașina MEC a unei suprafețe $S = 10^3 \text{ mm}^2$, la valorile parametrilor: $d = 0,1 \text{ mm}$; $k_v = 2 \text{ mm}^3/\Delta_{\min}$

$$\Delta V = 0,5V; \kappa = 0,01 \frac{1}{\Omega \cdot \text{mm}}; v = 2 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \quad \text{se obține:}$$

$$I = 1000 \text{ A} < I_{\max} = 1450 \text{ A}$$

$$E = 2 \cdot \frac{2 \cdot c \cdot 1}{0,01 \cdot 2} = 20 \text{ V} = E_{\max}$$

$$U = 10 \text{ V}$$

$$\Delta U = \frac{0,1 \cdot 20}{4 \cdot 0,2} = 0,526 \text{ V}$$

$$R_t = \frac{0,1}{0,01 \cdot 10^3} = 0,01 \Omega$$

Folosind expresiile /4.10/ și /4.11/ s-au ridicat diagramele din figura 4.49 din care rezultă că variația interstițialului va fi cu atât

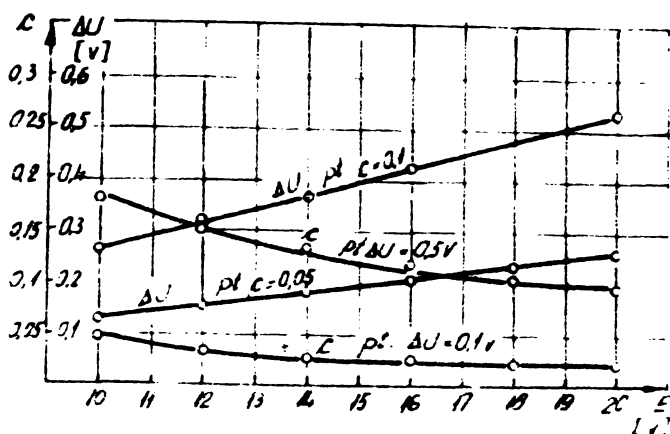


Fig. 4.49

tensiune pe electrozi are o dependență inversă în raport cu tensiunea electrolitoare a sursei.

În figura 4.50 se prezintă dependența factorului de eroare în funcție de sensibilitatea reglată a sistemului de avans

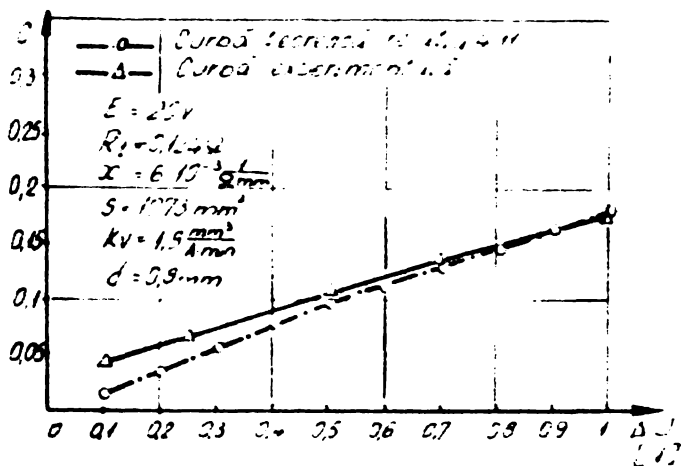


Fig. 4.50

folosind rezultatele experimentale și relația 4.11. Diferențele ce apar, în special în zona sensibilităților ridicate, sînt datorate atât variației parametrilor procesului, cât și preciziei de măsurare.

Micromășina de prelucrat /Fig. 4.1/ are și posibilitatea de lucru cu folosirea ca parametru de comandă a intensității curentului din circuit. Ca traductor pentru această mărime se folosește căderea de tensiune pe o baterie de rezistoare ce reprezintă echivalentul rezistenței exterioare R_0 din figura 4.48.

Si în acest caz se pune problema stabilirii valorii rezistenței exterioare, pentru un caz concret de prelucrare, astfel încît să se obțină o variație maximă a căderii de tensiune ΔU_{ex} .

mai mică cu cît tensiunea electrolitoare a sursei și sensibilitatea sistemului de avans sînt mai mari ΔU este mai mic/.

Factorul de eroare este cu atât mai puțin dependent de tensiunea electrolitoare a sursei, cu cît sensibilitatea sistemului de avans este mai mare.

Variația căderii de

Folosind relația /4.9/, rezultă următoarea expresie pentru rezistența exterioară:

$$R_{ex} = \frac{d}{\chi S} - r \quad /4.14/$$

Considerând o variație ΔR a rezistenței interstițiului, provocată de variația parametrilor de lucru, rezultă următoarele expresii pentru variația căderii de tensiune pe interstițiului de lucru și respectiv pe rezistența exterioară:

$$\Delta U = \frac{(R + \Delta R) E}{r + R_{ex} + (R + \Delta R)} - \frac{R \cdot E}{r + R_{ex} + R} \quad /4.15/$$

$$\Delta U_{ex} = \frac{R_{ex} \cdot E}{r + R_{ex} + R} - \frac{R_{ex} \cdot E}{r + R_{ex} + (R + \Delta R)} \quad /4.16/$$

Făcând raportul expresiilor /4.15/ și /4.16/, se obține:

$$\frac{\Delta U}{\Delta U_{ex}} = \frac{r + R_{ex}}{R_{ex}} \quad /4.17/$$

Deci, $\frac{\Delta U}{\Delta U_{ex}} > 1$, adică variația tensiunii pe interstițiul de lucru este mai mare decât variația tensiunii pe rezistența exterioară. Din acest motiv, folosirea intensității curentului ca mărime de comandă a avansului se pretează numai la prelucrarea cu intensități mici de curent, ceea ce permite utilizarea unor rezistențe exterioare mari, care tind să egaleze cele două căderi de tensiune.

Pentru toate mașinile construite, poziționarea electrodului sculă în raport cu obiectul prelucrării în vederea realizării interstițiului inițial, se obține prin utilizarea căderii de tensiune pe interstițiului de lucru ca mărime de comandă a sistemului de avans. Această modalitate de poziționare se aplică la toți electrodii folosiți precum și la ciclul de prelucrare cu avans discret. Din motive de protecție a redreserului de alimentare cu energie electrică la ciclul de poziționare, s-a ales constructiv $R_t = 1,37 \Omega$. Cum valearea derită de reglare a interstițiului și suprafața activă pot diferi foarte mult de la un electrod la altul, rezistența interstițiului $/R/$ va diferi foarte mult de rezistența totală $/R_t/$, ceea ce atrage după sine o variație relativ mică a căderii de tensiune pe interstițiul de lucru. Din acest motiv, la ciclul de poziționare, se impune folosirea valorii maxime de sensibilitate a sistemului de avans pentru a compensa variația mică a căderii de tensiune pe interstițiul de lucru.

În urma încercărilor tehnologice ale sistemelor de avans de la mașinile ECM - IPT și MEC a fost ridicată diagrama din figura 4.51 care re-

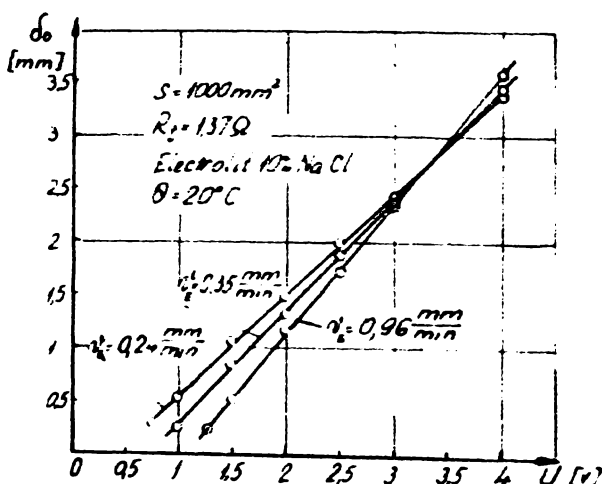


Fig. 4.51

dă dependența valorii interstițiului inițial obținut la ciclul de poziționare în funcție de tensiunea de referință reglată în sistemul de avans și de viteza de avans a electrodului aflat în mișcarea de poziționare.

În cadrul fiecărei încercări s-a permis de la un interstițiu inițial mai mare decât interstițiul

dorit a fi reglat. Aceste experimentări au scos în evidență faptul că, pentru aceeași tensiune de referință, se obțin poziții finale diferite a electrodului sculă în raport cu obiectul prelucrării, folosind viteze diferite pentru deplasarea electrodului sculă. În domeniul interstițiilor mici, aceste diferențe sînt mai substanțiale. Acest lucru se explică atît prin faptul că la viteze mari de avans, inerția totală a sistemului de avans este mai mare cît și prin variațiile mici ale căderii de tensiune pe interstițiul de lucru, la variații relativ mari ale interstițiului.

Pentru cazul concret de poziționare considerat, variația căderii de tensiune are valoarea maximă pentru valoarea reglată a interstițiului de 2,75 mm ceea ce asigură aceeași poziție de reglare a electrodului sculă pentru toate vitezele de avans folosite. Din acest motiv, atunci cînd urmăm realizarea unor interstiții reduse la ciclul de poziționare, se va regla treptat tensiunea de referință în sensul reducerii ei pînă la valoarea dorită.

La prelucrarea cu avans discret a formelor tridimensionale se va acționa în același mod, asigurînd valoarea dorită a interstițiului numai în partea finală a prelucrării.

Și pentru sistemul de avans utilizat la modelul experimental destinat finisării reților dințate prin rostogolire, au fost efectuate o serie de cercetări a căror rezultate se prezintă în figurile ce urmează.

Concretizînd schema electrică echivalentă prezentată în figura 4.48 pentru situația prelucrării pe această instalație, au fost ridicate diagramele din figura 4.52, care redau dependențele căderilor de tensiune și a intensității curentului în funcție de rezistența interstițială $/R/$ și rezistența exterioară $/R_{ex}/$.

În figura 4.53 se prezintă dependența variației căderii de tensiune în funcție de valoarea rezistenței exterioare, pentru diferite valori ale

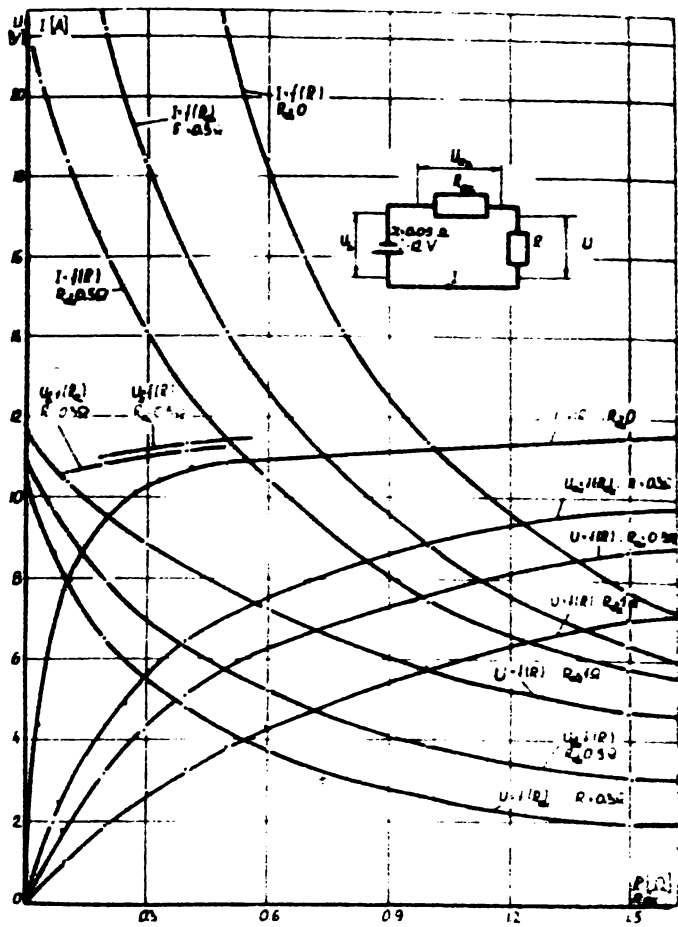


Fig. 4.52

rezistenței interioare și a variației admise a interstițiului de lucru. Și de aici se remarcă o variație maximă a căderii de tensiune în cazul în care avem asigurată egalitatea $R_i = R$. Variația căderii de tensiune este cu atât mai mare cu cât rezistența interstițiului este mai redusă și cu cât variația interstițiului este mai mare.

La prelucrarea rețiler dințate, suprafața activă fiind constantă, rezultă că variația de tensiune este o mărime proporțională cu variația interstițiului de lucru /Fig. 4.54/, fapt ce justifică uti-

lizarea acestui sistem de comandă a avansului circular.

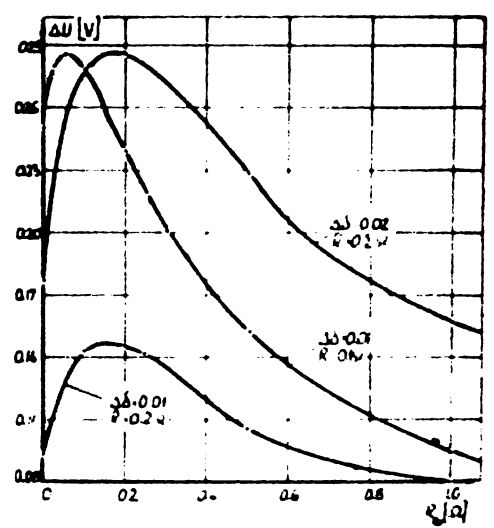


Fig. 4.53

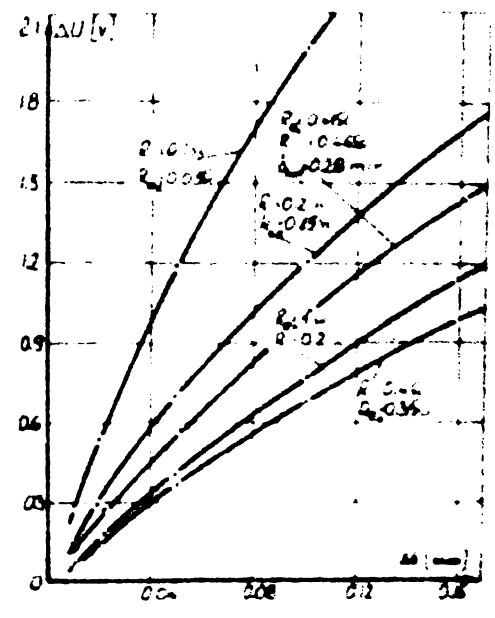


Fig. 4.54

Aceeași dependență rezultă și pentru variația intensității curentului /Fig. 4.55/ și pentru variația debitului de material prelucrat /Fig. 4.56/

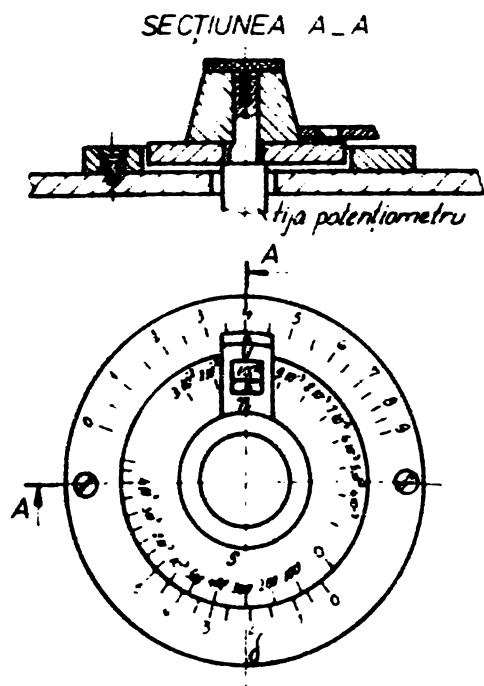


Fig. 4.58

terstițiul de lucru este mai mic decât interstițiul de echilibru /Fig. 4.56/, asigurând în acest fel o corecție substanțială a preciziei reții prelucrate.

Pentru a facilita stabilirea parametrilor de reglare la prelucrarea cu avans comandat prin căderea de tensiune pe interstițiul de lucru, s-a conceput o nomenclatură /Fig. 4.57/ utilizabilă la prelucrarea pe mașina MEC - 200 A iar pentru mașina MEC de 1450 A, un calculator analogic pentru reglarea valorii interstițiului la ciclul de poziționare sau pentru avans discret /Fig. 4.58/.

4.2.2. Cercetări experimentale privind utilizarea avansului discret și a avansului constant.

Utilizarea avansului discret și a avansului constant se pretează la prelucrarea formelor tridimensionale, deci în situațiile în care suprafața activă se modifică în timpul procesului de prelucrare.

Prelucrarea cu avans discret, datorită modului de desfășurare, nu poate fi folosită în condițiile asigurării unei precizii ridicate, dacă piesa prezintă și suprafețe paralele cu direcția de avans.

Din considerente experimentale, testarea comportării avansului discret s-a făcut pe un electrod cu suprafața activă plană și constantă. Din figura 4.59, în care s-a reprezentat dependența intensității curentului în funcție de succesiunea ciclurilor de poziționare, pentru diferite valori ale tensiunii de poziționare și ale vitezei maxime de avans a ciclului de poziționare, rezultă următoarele:

- la trecerea de la o tensiune de poziționare la alta, au loc variații mari ale intensității curentului de lucru. Variațiile intensității curentului sînt cu atît mai mari cu cît tensiunea de poziționare este mai redusă;

- odată cu creșterea vitezei maxime de avans în ciclul de poziționare, variația intensității curentului de lucru este mai redusă și deci procesul de prelucrare este mai stabil.

Reprezentînd dependența variației interstițiului de lucru în funcție de tensiunea de poziționare și de viteza maximă de avans /Fig. 4.60/, se constată că variațiile interstițiului sînt cu atît mai mici cu cît

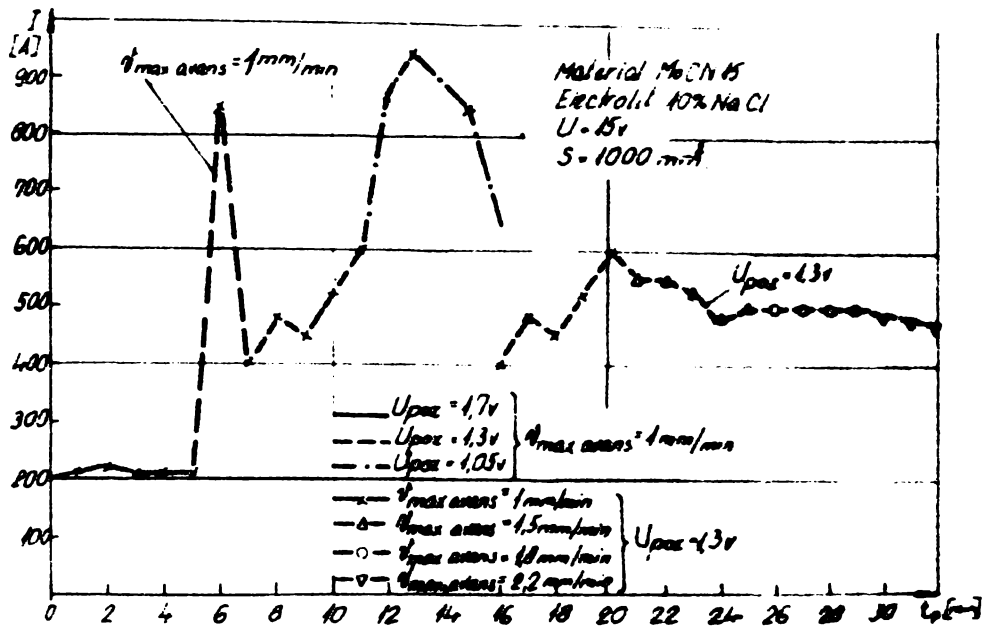


Fig. 4.59

tensiunea de poziționare este mai redusă. Viteza maximă de avans asigură o variație minimă a interstițiului de lucru pentru valearea de 2 mm/min.

Aceste rezultate corespund încercărilor efectuate pe mașina MEC de 1450 A.

Pentru a asigura constanța interstițiului mediu la prelucrarea cu avans constant, se impune utilizarea unei surse cu tensiune stabilizată pentru alimentarea cu energie electrică. Din acest motiv toate mașinile construite au fost dotate cu dispozitive de stabilizare a tensiunii.

Valearea interstițiului de lucru în funcție de parametrii prelucrării poate fi stabilită cu relația

$$\delta = \frac{U \cdot \kappa \cdot S}{I} \quad /4.18/$$

sau

$$\delta = \frac{U \cdot \kappa \cdot kv}{v_E} \quad /4.19/$$

Menținând parametrii κ , kv și v_E constanți în procesul de prelucrare, se impune asigurarea constantei căderii de tensiune pentru ca valearea interstițiului să nu se modifice odată cu variația suprafeței active prelucrate.

Prelucrarea cu avans constant a fost folosită pentru realizarea unor piese cu diferite configurații a suprafeței active. În toate cazurile s-a remarcat procesul de autoreglare a vitezei de dizolvare în raport cu viteza de avans astfel încât, pornind de la un interstițiu inițial mai mare sau mai mic decât cel necesitar de parametrii procesului ales, se

ajunge după un anumit timp de prelucrare la atingerea interstițiului de echilibru, pentru care cele două viteze devin egale.

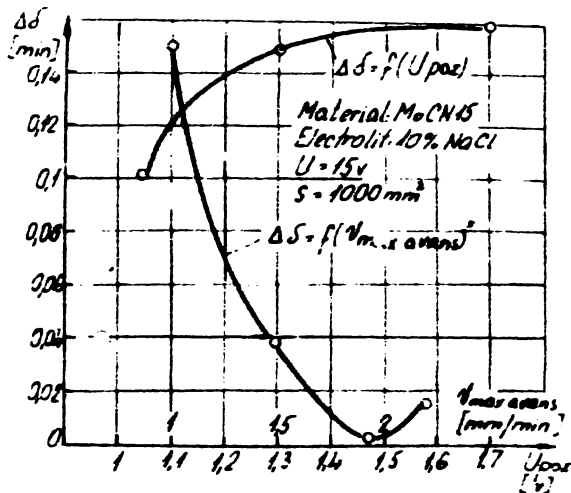


Fig. 4.60

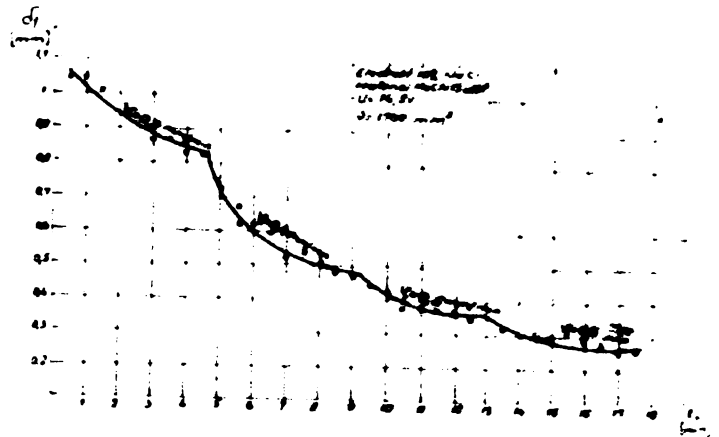


Fig. 4.61

În figura 4.61 se prezintă rezultatele cercetărilor efectuate la prelucrarea unei suprafețe de 1700 mm^2 cu viteză constantă de avans.

Din această figură rezultă că valearea interstițiului frontal de echilibru este cu atât mai mică cu cât viteza de avans este mai mare, iar timpul necesar atingerii interstițiului de echilibru este cu atât mai mare cu cât diferența între interstițiul inițial și cel de echilibru este mai mare și cu cât viteza de avans este mai redusă.

În situația prelucrării formelor tridimensionale este indicată o creștere progresivă a vitezei de avans pînă la valearea finală dorită, pentru a preîntîmpina posibilitatea apariției scurtcircuitului între cei doi electrozi. În acest fel, prelucrarea cu avans constant se transformă într-o prelucrare echivalentă celei cu avans discret.

În cadrul cercetărilor experimentale s-au efectuat și prelucrări combinate; utilizînd în prima parte a procesului de prelucrare avansul discret, iar în partea finală a prelucrării, avansul constant. O asemenea combinație a celor două modalități de lucru asigură o scurtare a duratei procesului de prelucrare și evitarea defectelor.

Deoarece în cazul prelucrării cu avans rigid /constant/ valearea interstițiului de lucru este rezultatul procesului de autoreglare a vitezei de dizolvare, se impune în mod obligatoriu dotarea sursei de alimentare cu energie electrică cu un dispozitiv ultrarapid de protecție la scurtcircuit.

5. UNELE CONSTATARI PRIVIND CERCETARILE DE APLICARE A PROCESULUI DE PRELUCRARE DIMENSIONALA PRIN EROZIUNE ELECTROCHIMICA HIDRODINAMICA

5.1. PRELUCRAREA ROTILOR DINTATE PRIN EROZIUNE ELECTROCHIMICA HIDRODINAMICA

Cercetările au fost orientate spre finisarea reților dințate cilindrice folosind în acest scop două procedee de prelucrare electrochimică: prelucrarea prin copierea formei cu electrod sculă fix și prelucrarea prin rostegelire. Cercetările de finisare a suprafeței danturate au fost completate și cu încercări de retunjire a flancurilor dinților.

În acest scop, au fost folosite reți dințate cu următoarele caracteristici geometrice:

Modul..... 2 mm

Număr de dinți..... 20

Deplasarea danturii 0 și +0,1

Grosimea reților 9 și 10 mm

Materialele utilizate pentru semifabricatele supuse prelucrării: electrochimice au fost oțelurile 4M₀C11 și OLC 45 netratate termic, îmbunătățite și călite. Pentru electrodul sculă au fost folosite aliaje de aluminiu și aliaje de staniu.

5.1.1. Finisarea reților dințate prin copierea formei, cu electrod sculă fix.

Pentru realizarea cercetărilor experimentale s-a folosit instalația de finisare a reților dințate prin eroziune electrochimică hidrodinamică prezentată în capitolul 4 /4.1.5/. În cadrul acestor cercetări s-a urmărit stabilirea influenței pe care o au asupra procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică și asupra caracteristicilor tehnologice de bază -capacitatea productivă și precizia de prelucrare- următorii factori: materialul piesei și starea lui, natura electrolitului, mărimea interstițiului și parametrii electrici.

Prelucrabilitatea electrochimică a oțelurilor OLC 45 și 4M₀C11 diferă și este dependentă de electrolitul folosit, valoarea densității curentului electric, starea materialului și valoarea interstițiului de lucru.

Folosind ca indicator al prelucrabilității, echivalența electrochimică volumic efectiv $/k_v/$, s-a căutat stabilirea dependenței acestuia de parametrii menționați.

În cazul folosirii unei soluții apoase în concentrație de 10% Na NO₃ ca electrolit, se constată /Fig. 5.1 și 5.2/ că, pentru densități

află sub $0,1 \text{ A/mm}^2$, echivalentul electrochimic efectiv are valori foarte mici și deci, îndepărtarea adaosului de prelucrare este redusă. Acest lucru prezintă un interes deosebit din punctul de vedere al localizării procesului de prelucrare și deci a preciziei obținute. Valori reduse ale densității curentului se pot obține pe mai multe căi, însă în cazul finisării roților dințate, interesează posibilitatea variației densității curentului prin valearea interstițiului de lucru și a căderii de tensiune pe cei doi electrozi. Alegând corespunzător acești parametri, se poate reduce prelevarea de material de pe vârful și piciorul dintelui și concentra prelucrarea pe suprafața flancurilor, ceea ce în cazul finisării danturii este foarte important.

La prelucrarea oțelului OLC 45, echivalentul electrochimic volumic efectiv are valori mai ridicate la probele călitate în raport cu cele necălitate /Fig. 5.1/. De asemenea, la valori mari ale densității curentului și interstițiului /scula din aluminiu cu grosimea de 10 mm asigură un interstițiu mai mare decât scula din cesiter/, se constată o creștere a echivalentului electrochimic la prelucrarea oțelului 41 M₀Cl1 /Fig. 5.2/.

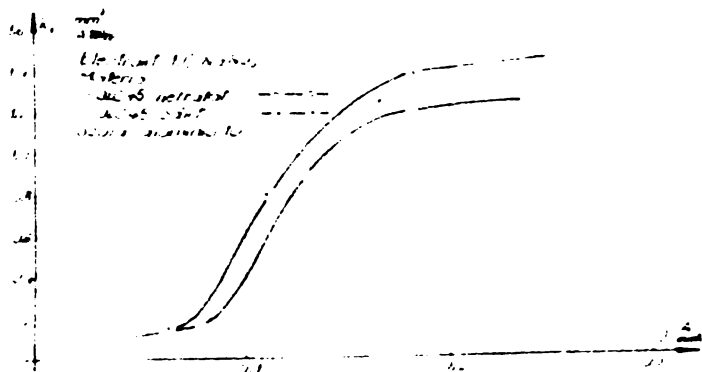


Fig. 5.1

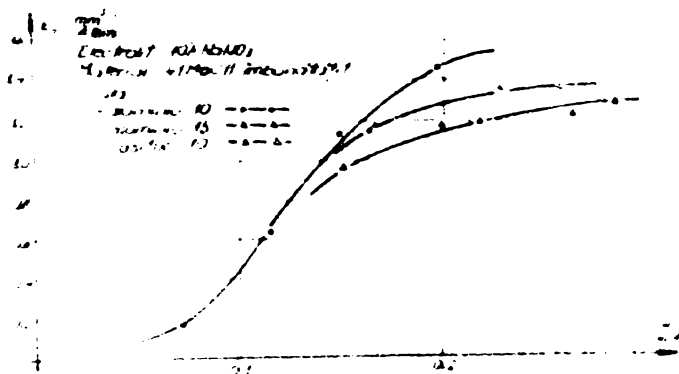


Fig. 5.2

Utilizând un electrolit cu Na Cl în aceeași concentrație, dependența echivalentului electrochimic volumic de densitatea de curent /Fig. 5.3/, este diferită. În acest caz, la densități mici de curent, echivalentul electrochimic are o tendință de creștere. Acest lucru atrage după sine o localizare mai dificilă a procesului de prelucrare.

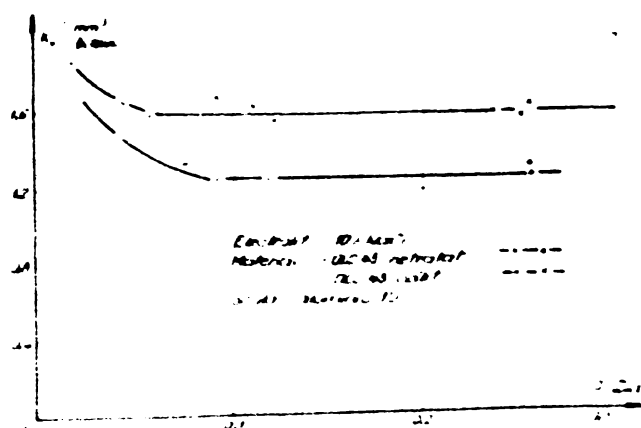


Fig. 5.3

electrochimic are o tendință de creștere. Acest lucru atrage după sine o localizare mai dificilă a procesului de prelucrare.

Alegerea parametrilor de regim care să asigure capacitatea productivă maximă, se va face în așa fel încât produsul $k_v \cdot J$, de care depinde viteza

de dizolvare, să aibe valearea maximă.

Măsurarea preciziei de prelucrare a reților dințate, folosind ca indicatori bătaia radială pe cercul de divizare, eroarea de pas și rugozitatea suprafeței, a scos în evidență posibilitatea îmbunătățirii acestor caracteristici de precizie pentru rețele dințate frezate /material OLC 45/. În cazul rețelor dințate din $41M_{0}Cl1$, care au fost rectificate înainte de finisarea electrochimică, avind o precizie ridicată atât a bătaii radiale /în jur de $40\mu m$ / cât și a erorii de pas /în jur de $20\mu m$ / precizia finală este mai scăzută în primul rând datorită impreciziei electrozodului sculă și a reglajului interstițiului inițial.

Din figurile 5.4 și 5.5 coresponsătoare prelucrării cu electrolit cu $10\% NaNO_3$, rezultă că, corecția bătaii radiale și a pasului este realizată după îndepărtarea unui adăos de $0,1 mm$, iar această corecție duce la îmbunătățirea preciziei de prelucrare /corecțiile pozitive/ a rețelor frezate și la o scădere a preciziei /corecțiile negative/, pentru rețele rectificate înainte de prelucrarea electrochimică.

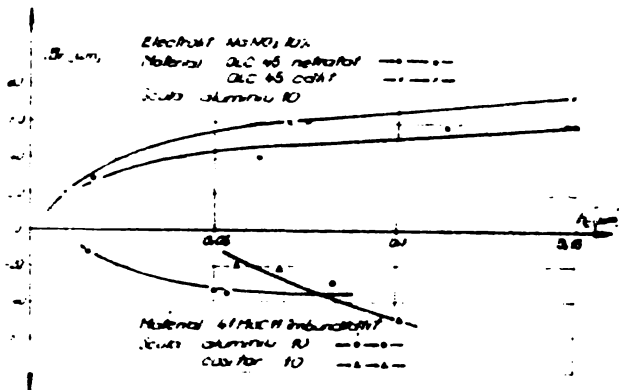


Fig. 5.4

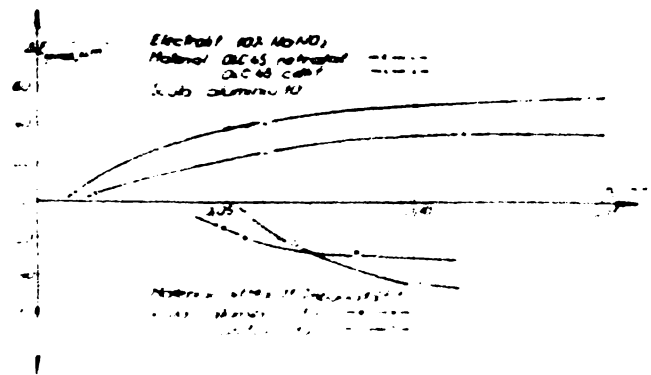


Fig. 5.5

Erorile absolute maxime pentru materialele tratate termic /OLC 45 calit și $41M_{0}Cl1$ îmbunătățit/ au aceeași valoare după prelucrare și anume: în jur de $80\mu m$ bătaia radială, iar eroarea de pas în jur de $50\mu m$.

În figurile 5.6 și 5.7 se prezintă dependența corecției preciziei de prelucrare în raport cu densitatea curentului la prelucrarea în electrolit cu $10\% NaCl$. Atât bătaia radială cât și eroarea de pas inițiale

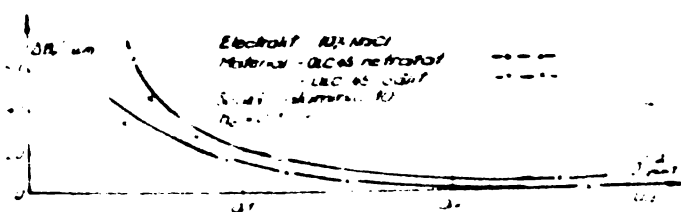


Fig. 5.6

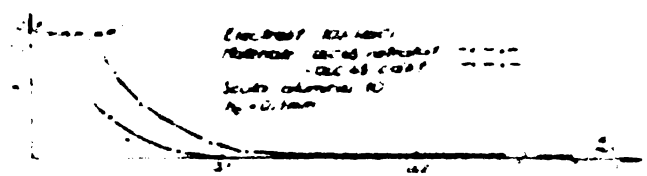


Fig. 5.7

lă vor fi cu atât mai mult corectate ΔBr și ΔErp max mai mari/, cu cât densitatea curentului este mai mică.

Rugozitatea suprafeței este dependentă /și ea/ de comportarea e-țelurilor cercetate la prelucrarea în cei doi electroliți. În toate cazurile, rugozitatea oțelului tratat termic este mai bună decât pentru oțelul netratat. În figura 5.8 se prezintă dependența rugozității în funcție de densitatea curentului la prelucrarea rețiler dințate în electrolit cu HNO_3 . La densități mici ale curentului /sub $0,1 A/mm^2$ /, rugozitatea suprafeței are valori mari, tinzând spre valorile rugozității inițiale, datorită valorii reduse a echivalentului electrochimic volumic efectiv /Fig. 5.1/. Variația mică a rugozității suprafeței rețiler dințate din oțelul 41M₂U1 se datorează valorii scăzute a rugozității inițiale. Pentru densități mai mari de $0,1 A/mm^2$, practic rugozitatea suprafeței nu se mai modifică.

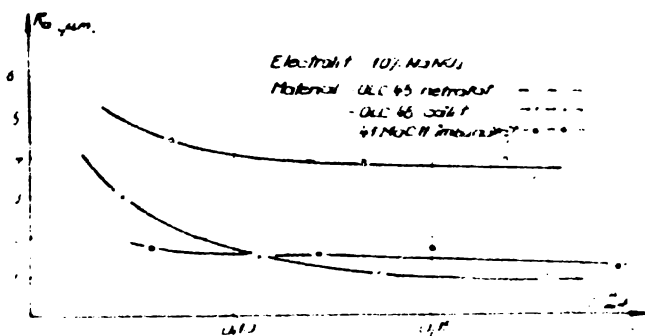


Fig. 5.8

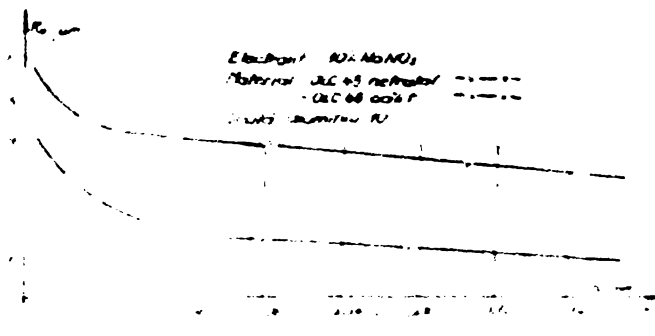


Fig. 5.9

În figura 5.9 este redată dependența rugozității suprafeței de grosimea stratului de material îndepărtat $/h_c/$. După îndepărtarea unui adaos în jur de $0,05 mm$, rugozitatea suprafeței se îmbunătățește foarte puțin chiar dacă prelucrarea continuă. Necesitatea îndepărtării unui adaos atât de mic, pentru a atinge performanțele de rugozitate ale precedentului, se datorează prelucrării preferențiale a vîrfurilor microne-regularităților suprafeței. *Pe porțiunea acestor vîrfuri, echivalentul electrochimic are* valori mult mai mari datorită densității mai mari a curentului în raport cu suprafețele de la baza micrinerregularităților.

Pentru cazul prelucrării în electrolit cu $Na Cl$, dependența rugozității suprafeței de densitatea curentului, este prezentată în figura 5.10. Deși grosimea stratului de material îndepărtat de pe flancuri a fost în jur de $0,1 mm$, pentru piesele din OLC oălit s-au obținut rugozități medii de $1 \mu m$, pentru densități de curent mai mici de $0,05 A/mm^2$ și mai mari de $0,2 A/mm^2$. La rețile dințate netratate termic, rugozitatea minimă s-a obținut pentru densități cuprinse între $0,1-0,15 A/mm^2$.

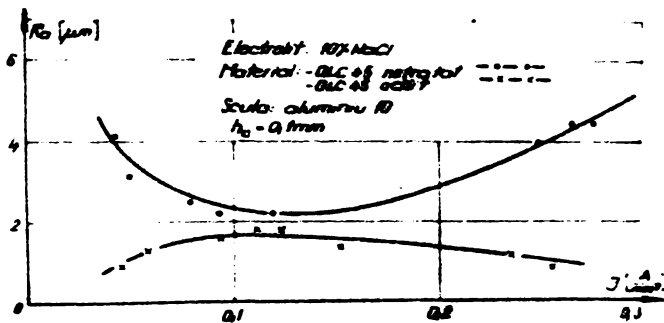


Fig. 5.10

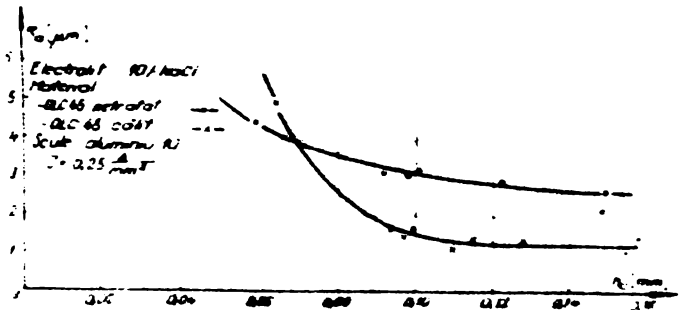


Fig. 5.11

Efectuînd prelucrările cu densități de curent de $0,25 \text{ A/mm}^2$, se constată că adaosul necesar a fi îndepărtat pentru atingerea rugozității minime, trebuie să depășească $0,1 \text{ mm}$ /Fig. 5.11/. Utilizarea acestui electrolit, caracterizat printr-un "senseibilitate" redusă la variația densității curentului, duce la îndepărtarea aproape uniformă a materialului de pe vîrfurile microneregularităților cît și de la baza lor. Din acest motiv, în comparație cu rețile prelucrate în electrolit cu NaNO_3 , este necesară îndepărtarea unui adaos mai mare pentru corectarea rugozității inițiale.

În figura 5.12 se prezintă modul în care influențează debitul de material îndepărtat asupra rugozității suprafeței.

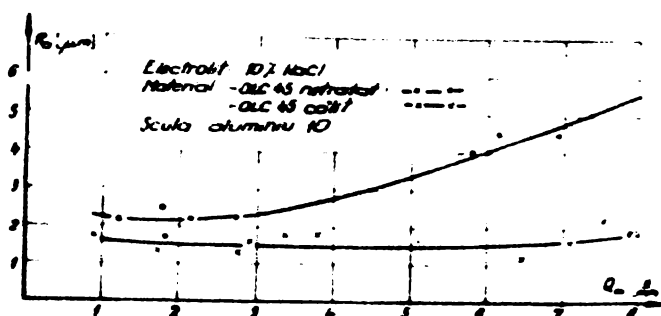


Fig. 5.12

Rugozitatea suprafeței obținută la prelucrarea oțelului OLC 45 călit este în mai mică măsură influențată de debitul de material prelevat decît în cazul prelucrării aceluiași material, netratat termic.

Relațiile și metoda de stabilire a parametrilor tehnologici prezentate în cadrul

capitelului 3 pentru cazul generării prelucrării unei suprafețe plane, pot fi particularizate în vederea proiectării tehnologice pentru finisarea roților dințate prin acest procedeu. În acest sens, se consideră schema de prelucrare prezentată în figura 5.13, în care s-au păstrat aceleași notații ca pentru figura 3.9e, indicii 1 și 2 corespunzînd celor două flancuri alăturate ale dintelui.

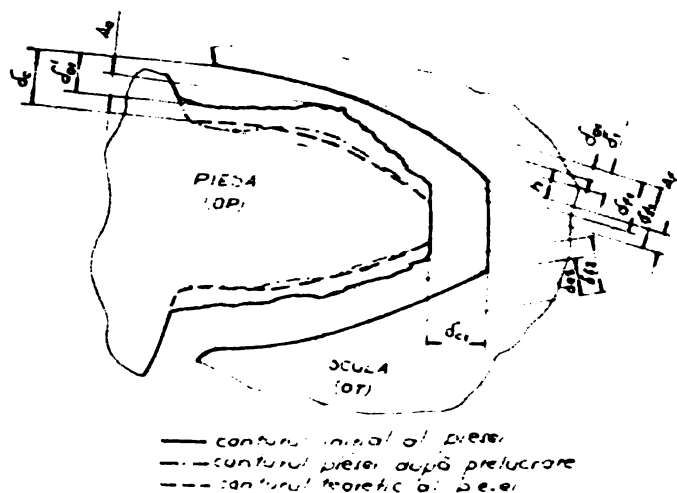


Fig. 5.13

/0,18 A/mm²/ sau la densități scăzute.

Fiind vorba de condiții similare de prelucrare cu cele analizate în capitolul 3 /3.3.1/, relațiile ce definesc rugozitatea finală a suprafeței prelucrate rămân aceleași:

Pentru zona I /Fig. 3.91/ corespunzătoare îndepărtării integrale a adaosului de prelucrare h la densități mai mari de 0,18 A/mm²

$$R_{\max} f = \sqrt{(\delta_0 + R_{\max} \delta)^2 + (\delta_0 + h)^2} - (\delta_0 + h) \quad /5.1/$$

Pentru zona II, corespunzătoare inițierii procesului de prelucrare în zona densităților mai mari de 0,18 A/mm² și terminării procesului de prelucrare la densități mai reduse decât această densitate limită

$$R_{\max} f = \left[\sqrt{(\delta_0 + R_{\max} \delta)^2 + \delta_1^2} - \delta_1 \right] \cdot \frac{11,43 \cdot U \cdot \chi - (\delta + h)}{11,43 \cdot U \cdot \chi - \delta_1} \quad /5.2/$$

Iar pentru zona III, corespunzătoare prelucrării integrale a piesei la densități mai mici decât densitatea limită

$$R_{\max} f = R_{\max} \delta \cdot \frac{11,43 \cdot U \cdot \chi - (\delta_0 + h)}{11,43 \cdot U \cdot \chi - \delta_0} \quad /5.3/$$

Atribuind diferite valori parametrilor cuprinși în relațiile /5.1/ și /5.3/ s-au ridicat diagramele din figurile 5.14 și 5.15.

În cazul prelucrării cu densități mari ale curentului, rugozitatea finală a suprafeței crește odată cu creșterea interstițiului final și scade cu adaosul de prelucrare. La prelucrarea cu densități mici de curent, creșterea interstițiului inițial are ca efect scăderea rugozității finale obținute. În acest caz, rugozitatea suprafeței depinde și

Dacă se ia în considerare prelucrarea roților dințate din OLC 45 netratat termic, în electrolit cu 10% NaNO₃ și în acest caz, ținând seama de variația echivalentului electrochimic efectiv de densitatea curentului /Fig. 3.91/, prelucrarea se poate realiza, în funcție de parametrii procesului: la densități mari de curent, în jurul densității limită

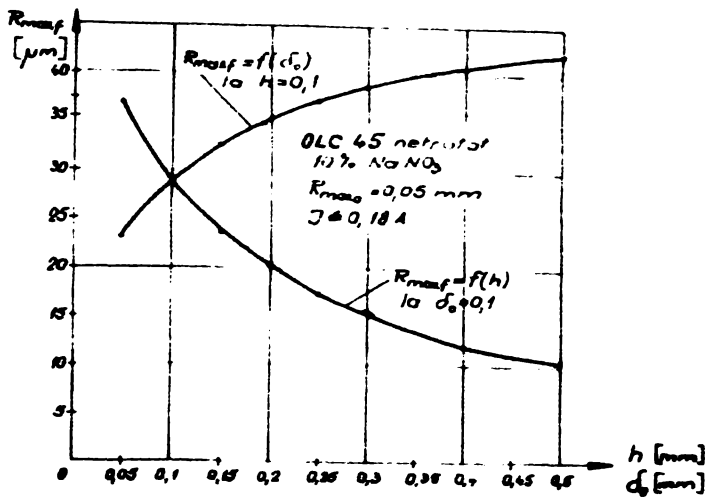


Fig. 5.14

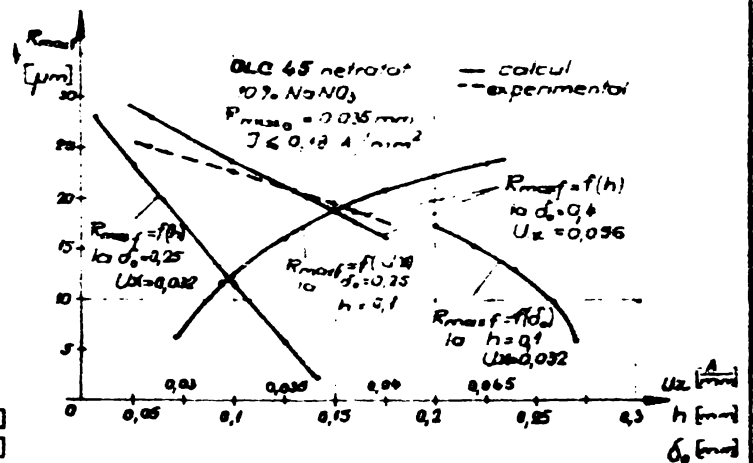


Fig. 5.15

de căderea de tensiune pe interstițiul de lucru și de conductivitatea electrică a acestuia. Creșterea acestor doi parametri duce la creșterea rugozității finale a suprafeței prelucrate.

Din figura 5.15 se vede că rugozitatea finală a suprafeței obținută prin calcul este foarte apropiată de cea obținută experimental.

Analiza acestor dependențe prezintă un interes deosebit în alegerea parametrilor procesului de prelucrare.

Prin analogie cu raționamentul folosit pentru definirea rugozității suprafeței, pot fi scrise relațiile de calcul și pentru alte elemente ale preciziei de prelucrare ca: abaterea de formă Δ_f , eroarea de pas maximă E_{rpm} și toleranța dimensiunii T_f :

Pentru zona I de prelucrare

$$\Delta_f = \sqrt{(\sigma_0 + \Delta_0)^2 + (\sigma_0 + h)^2} - \sigma_0 - (\sigma_0 + h) \quad /5.4/$$

$$E_{rpm} = \sqrt{(\sigma_0 + E_{rpm0})^2 + (\sigma_0 + h)^2} - \sigma_0 - (\sigma_0 + h) \quad /5.5/$$

$$T_f = \sqrt{(\sigma_0 + T_0)^2 + (\sigma_0 + h)^2} - \sigma_0 - (\sigma_0 + h) \quad /5.6/$$

Pentru zona II de prelucrare

$$\Delta_f = \left[\sqrt{(\sigma_0 + \Delta_0)^2 + \sigma_1^2 - \sigma_0^2} - \sigma_1 \right] \frac{11,43 \cdot U \cdot \kappa - (\sigma_0 + h)}{11,43 \cdot U \cdot \kappa - \sigma_1} \quad /5.7/$$

$$E_{rpm} = \left[\sqrt{(\sigma_0 + E_{rpm0})^2 + \sigma_1^2 - \sigma_0^2} - \sigma_1 \right] \frac{11,43 \cdot U \cdot \kappa - (\sigma_0 + h)}{11,43 \cdot U \cdot \kappa - \sigma_1} \quad /5.8/$$

$$T_f = \left[\sqrt{(\sigma_0 + T_0)^2 + \sigma_1^2 - \sigma_0^2} - \sigma_1 \right] \frac{11,43 \cdot U \cdot \kappa - (\sigma_0 + h)}{11,43 \cdot U \cdot \kappa - \sigma_1} \quad /5.9/$$

Pentru zona III de prelucrare

$$A_f = A_o \cdot \frac{11,43 \cdot U \cdot \kappa - (\sigma_o + h)}{11,43 \cdot U \cdot \kappa - \sigma_o} \quad /5.10/$$

$$E_{rpmo} = E_{rpmf} \cdot \frac{11,43 \cdot U \cdot \kappa - (\sigma_o + h)}{11,43 \cdot U \cdot \kappa - \sigma_o} \quad /5.11/$$

$$T_f = T_o \cdot \frac{11,43 \cdot U \cdot \kappa - (\sigma_o + h)}{11,43 \cdot U \cdot \kappa - \sigma_o} \quad /5.12/$$

Dacă se ia în considerare întreg ansamblul mărimilor ce caracterizează precizia de execuție a piesei, una dintre aceste mărimi constituie element limitativ pentru parametrii procesului de prelucrare.

Pentru dimensionarea parametrilor procesului de prelucrare și a electrodului sculă, pornind de la precizia semifabricatului, precizia finală impusă și caracteristicile instalației pe care se execută prelucrarea, s-a conceput organigrama din figura 5.16.

Raționamentul care a stat la baza întocmirii acestei organigrame este tot acela al posibilității realizării procesului de prelucrare în una din cele trei zone descrise.

Dacă se consideră că adaosul de prelucrare este o mărime cunoscută și că procesul de prelucrare se realizează în zona I, atunci, din relațiile /5.1/, /5.4/, /5.5/ și /5.6/ se poate stabili interstițiul inițial pe care îl impune realizarea fiecărui element al preciziei de prelucrare:

$$\delta_{o1} = \frac{R_{\max f}^2 + 2R_{\max f} \cdot h - R_{\max o}^2}{2(R_{\max o} - R_{\max f})} \quad /5.13/$$

$$\delta_{o2} = \frac{A_f^2 + 2A_f \cdot h - A_o^2}{2(A_o - A_f)} \quad /5.14/$$

$$\delta_{o3} = \frac{E_{rpmf}^2 + 2 \cdot E_{rpmf} \cdot h - E_{rpmo}^2}{2(E_{rpmo} - E_{rpmf})} \quad /5.15/$$

$$\delta_{o4} = \frac{T_f^2 + 2 \cdot T_f \cdot h - T_o^2}{2(T_o - T_f)} \quad /5.16/$$

Cum interstițiul inițial trebuie să aibă o valoare minimă și pornind seama de cele precizate cu referință la variația raportului în funcție de interstițiul inițial /Fig. 5.14/, rezultă că trebuie să aibă valoarea minimă.

Cunoscând densitatea maximă a curentului care se poate realiza în

condițiile concrete de prelucrare, se poate dimensiona tensiunea de lucru

$$U = \frac{\sigma_0 \cdot J_{\max}}{\kappa} \quad /5.17/$$

Dacă această tensiune nu se află în limitele de reglare ale sursei de alimentare cu energie electrică se va acționa asupra conductivității electrice a interstițiului (prin temperatura s_i / sau concentrația electrolitului) sau asupra densității curentului la inițierea procesului de prelucrare, astfel încît, tensiunea necesară să poată fi realizată.

Pentru interstițiul minim admis, folosind relațiile /5.1/, /5.4/, /5.5/ și /5.55 se pot stabili valorile ~~efective~~ efective pentru fiecare element al preciziei de prelucrare. Durata procesului de prelucrare în aceste condiții poate fi calculată cu relația /5.18/ (analogă cu relația 3.9)

$$t_p = \frac{(\sigma_0 + h)^2 - \sigma_0^2}{2 \cdot U \cdot \kappa \cdot k_v} \cdot 60 \quad [s] \quad /5.18/$$

Pentru stabilirea vitezei de curgere a electrolitului se folosește relația

$$v_e = 1,1 \cdot \frac{U \cdot \kappa \cdot R}{\sigma_0^2} \quad [m/s] \quad /5.19/$$

Această relație rezultă din concluziile desprinse în urma cercetărilor experimentale efectuate la prelucrarea în acest electrolit și anume că pentru fiecare gram de material prelucrat sînt necesari circa 6 l. de electrolit.

Debitul de electrolit pe care trebuie să-l asigure pompa este

$$Q_e = 6 \cdot 10^{-2} \cdot v_e \cdot \sigma_0 \cdot \frac{S}{R} \quad [l/min] \quad /5.20/$$

Pentru dispozitivul de prelucrare utilizat /Fig. 4.4./ asigurarea vitezei de curgere v_e , necesită pomparea electrolitului la o presiune

$$p = 6,3 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{Q_e^2}{\sigma_0^2} \quad [daN/cm^2] \quad /5.21/$$

Dacă instalația permite realizarea parametrilor propuși, atunci, cu valoarea stabilită a interstițiului inițial /5.5/ și cu ritmul de prelucrare /h/, se poate dimensiona electrodul sculă. Aceasta va trebui să aibe în zona activă profilul teoretic al flancului dintelui însă deplasat față de acesta cu

$$\sigma_c = \sigma_0 + h \quad /5.22/$$

Pentru ca procesul de prelucrare să nu se extindă asupra vîrfului și fundului dinților, electrodul sculă se va concentra astfel încît să asigure în aceste zone un interstițiu σ_{01} /Fig. 5.12/

$$c_1 \geq \frac{U \cdot \kappa}{J \text{ min}}$$

Pot exista situații în care limitele de reglare ale conductivității electrolitului să nu permită conducerea procesului în zona I de prelucrare. În acest caz, se va acționa corespunzător și asupra adaosului de prelucrare. Acest lucru însă impune neapărat o compararea finală a timpilor de prelucrare sau a energiei consumate - în funcție de criteriul de optimizare folosit - pentru procesul de prelucrare desfășurat în condițiile modificării adaosului de prelucrare în raport cu cel pentru care adaosul nu se modifică, însă prelucrarea se realizează ca urmare a acestui lucru, în zona II sau III.

În cazul în care prelucrarea se realizează în zona II, relațiile de calcul schimbărilor ce caracterizează precizia finală a prelucrării sînt /5.2/, /5.7/, /5.8/ și /5.9/.

Pentru ca precizia de prelucrare să fie cât mai apropiată de precizia impusă piesei și deci durata procesului să fie minimă, sînt necesare ajustări a valorii tensiunii de lucru și a interstițiului inițial.

Timpul de prelucrare se obține prin înlocuirea timpilor parțiali necesari îndepărtării adaosului între interstițiile $\sigma_0 - \sigma_1$ și respectiv $\sigma_1 - \sigma_f$ /Fig. 5.13/

$$t_p = \left[\frac{\sigma_1^2 - \sigma_0^2}{2 \cdot U \cdot \kappa \cdot k_v} + \frac{U \cdot \kappa \cdot 10^4 \cdot \left[\frac{11,43 \cdot U \cdot \kappa - \sigma_1}{11,43 \cdot U \cdot \kappa - (\sigma_0 + \sigma_1)} \right]}{0,05} \right] \cdot c_1 \quad /5.23/$$

Dacă prelucrarea piesei, în condițiile date de precizie și caracteristici ale utilajului, nu poate să se figureze în zona II, atunci dimensiunarea parametrilor de prelucrare se va face pentru prelucrarea integrală a piesei la densități mai reduse decât densitatea limită /zona III/. Importanță valerilor reduse ale echivalențelor electrolitice vor avea efectiv corespunzător acestei situații de lucru, dar acestea vor fi cele mai mari.

Din relațiile /5.3/, /5.4/ și /5.5/ se poate deduce că pentru interstițiile inițiale necesare prelucrării în zona II și III de prelucrare

$$\sigma_{01} = 11,43 \cdot U \cdot \kappa - \frac{U \cdot \kappa \cdot 10^4 \cdot c_1}{0,05} \quad /5.24/$$

$$\sigma_{02} = 11,43 \cdot U \cdot \kappa - \frac{U \cdot \kappa \cdot 10^4 \cdot c_2}{0,05} \quad /5.25/$$

$$\delta_{03} = 11,43 \cdot U \cdot \kappa - \frac{E_{rpm0} \cdot h}{E_{rpm0} - E_{rpmf}} \quad /5.26/$$

$$\delta_{04} = 11,43 \cdot U \cdot \kappa - \frac{T_0 \cdot h}{T_0 - T_f} \quad /5.27/$$

Tinând seama de modul în care influențează valoarea interstițiului inițial asupra preciziei de prelucrare /Fig. 5.15/, elementul de precizie limitativ este acela care necesită interstițiul maxim.

Cum procesul de prelucrare în această zonă necesită interstiții mari, se impune limitarea interstițiului inițial maxim din motive geometrice și constructive a electrodului sculă la valoarea

$$\delta_0 \leq 0,35 \cdot \kappa - h \quad /5.28/$$

în care κ este modulul roții dințate de prelucrat.

Pentru a asigura conducerea procesului de prelucrare în această zonă, se poate acționa asupra tensiunii de alimentare, conductivității electrice a interstițiului și asupra valorii adaosului de prelucrare.

Valorile efective ale elementelor ce caracterizează precizia de prelucrare pot fi calculate cu relațiile /3.161/, /5.10/, /5.11/ și /5.12/.

Durata procesului de prelucrare se stabilește cu relația /5.29/ analogă relației /3.146/

$$t_p = \frac{U \cdot \kappa \cdot \ln \frac{11,43 \cdot U \cdot \kappa - \delta_0}{11,43 \cdot U \cdot \kappa - (\delta_0 + h)}}{0,035} \quad /5.29/$$

Folosind această metodă de proiectare tehnologică, în tabelul 5.1 se prezintă rezultatele obținute pentru cinci cazuri concrete de finisare a roților dințate.

Verificările experimentale efectuate atestă valabilitatea celor prezentate. În acest sens în figura 5.17, se prezintă prin comparație rezultatele experimentale cu cele de calcul privind dependența corecției erorii de pas $\Delta E_{rpm} = E_{rpm0} - E_{rpmf}$ în funcție de grosimea adaosului de prelucrare îndepărtat. Diferențele care apar sînt practic neglijabile și se datoresc în special impreciziei de reglare a interstițiului inițial la piesele prelucrate, imprecizie de care nu s-a ținut seama în relațiile de dimensionare prezentate.

Pentru a ilustra modul în care influențează interstițiul inițial de lucru asupra rugozității finale a suprafeței prelucrate, asupra timpului de prelucrare și asupra energiei specifice consumate s-a construit figura 5.18.

Pentru condițiile de realizare a procesului de prelucrare indicate

TIMISOARA
INDUSTRIA SCULĂ

TABELA 5.1

EXEMPLUL		Material					Electrolit		
		OLC 45					10% NaNO ₃		
		I ZONA I		II ZONA II		III ZONA I		IV ZONA I	
MĂRIMI		ZONA I		ZONA II		ZONA I		ZONA I	
SIMBOL	UNITĂȚI	$J_{med} > 20,18$	$J_{med} > 20,18$	$J_{med} > 20,18$	$J_{med} > 20,18$	$J_{med} > 20,18$	$J_{med} > 20,18$	$J_{med} > 20,18$	$J_{med} > 20,18$
PIESA	AJUSTABILE	R _{maxo}	mm	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
		R _{maxf}	mm	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
		A _o	mm	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
		A _f	mm	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
		E _{rpmo}	mm	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
		E _{rpmf}	mm	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
		T _o	mm	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
		T _f	mm	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
		h	mm	0,19	0,185	0,1; 0,2; 0,2	0,1	0,1	0,1
		S	mm ²	2512	2512	2512	2512	2512	2512
CONST.	g	mm	10	10	10	10	10	10	
	m	mm	2	2	2	2	2	2	
	k _y	$\frac{mm^3}{A \cdot min}$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,25	
	I _{max}	A	1450	1450	1450	1450	1450	1450	
CONSTANTE	J _{max}	$\frac{A}{mm^2}$	0,32	0,32	0,32	0,3	0,3	0,3	
	J _{min}	$\frac{A}{mm^2}$	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
	J _{lim}	$\frac{A}{mm^2}$	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	
	U _{max}	V	20	20	20	20	20	20	
	U _{min}	V	5	5	5	5	5	5	
	Q _{max}	l/min	150	150	150	150	150	150	
	p _{max}	daN/cm ²	20	20	20	20	20	20	
	x _{min}	1/Ωmm	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	
	x _{max}	1/Ωmm	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
	x	1/Ωmm	0,0042	0,0042	0,003	0,003	0,0042	0,003	
PARTIALE	δ _{o1}	mm	0,261	0,2535	0,126	0,275	0,125	0,125 0,5 0,4	
	δ _{o2}	mm	0,254	0,2575	0,13	0,28	0,15	0,15 0,5 0,4	
	δ _{o3}	mm	0,355	0,345	0,175	0,375	0,175	0,175 0,65 0,35	
	δ _{o4}	mm	0,245	0,2375	0,11	0,26	0,11	0,11 0,25 0,25	
	δ _o	mm	0,245	0,2375	0,11	0,26	0,11	0,11 0,25 0,25	
	δ ₁	mm	0,4355	0,4222	0,1955	0,4622	0,1955	0,1955 0,25 0,25	
	δ _{o+h}	mm	0,435	0,4225	0,21	0,45	0,21	0,21 0,25 0,25	
	Δ _{min}	mm	0	0,0001	0	0	0,00004	0	
	Q ₁	l/min	131,33	130,66	132,7	132,7	132,7	132,7	
	R _{maxe}	mm	0,01757	0,01756	0,01759	0,01759	0,01759	0,01759	
A _e	mm	0,01455	0,0145	0,01458	0,01458	0,01458	0,01458		
E _{rpm_e}	mm	0,01757	0,01756	0,01759	0,01759	0,01759	0,01759		
T _e	mm	0,03	0,0299	0,03	0,03	0,03	0,03		
δ _o	mm	0,245	0,2375	0,26	0,26	0,11	0,11 0,25 0,25		
h	mm	0,15	0,135	0,2	0,2	0,1	0,1 0,25 0,25		
V _e	m/s	14,36	14,82	12,31	12,31	12,31	12,31		
Q _e	l/min	50,05	55,05	43,03	43,03	43,03	43,03		
p	daN/cm ²	2,954	3,143	2,17	2,17	2,17	2,17		
x	1/Ωmm	0,0042	0,0042	0,0042	0,0042	0,0042	0,0042		
U	V	18,66	13,335	13,33	13,33	13,33	13,33		
I	A	11,33	11,33	11,33	11,33	11,33	11,33		
S	mm ²	2512	2512	2512	2512	2512	2512		
TINALE	R _{maxe}	mm	0,01757	0,01756	0,01759	0,01759	0,01759	0,01759	
	A _e	mm	0,01455	0,0145	0,01458	0,01458	0,01458	0,01458	
	E _{rpm_e}	mm	0,01757	0,01756	0,01759	0,01759	0,01759	0,01759	
	T _e	mm	0,03	0,0299	0,03	0,03	0,03	0,03	
	δ _o	mm	0,245	0,2375	0,26	0,26	0,11	0,11 0,25 0,25	
	h	mm	0,15	0,135	0,2	0,2	0,1	0,1 0,25 0,25	
	V _e	m/s	14,36	14,82	12,31	12,31	12,31	12,31	
	Q _e	l/min	50,05	55,05	43,03	43,03	43,03	43,03	
	p	daN/cm ²	2,954	3,143	2,17	2,17	2,17	2,17	
	x	1/Ωmm	0,0042	0,0042	0,0042	0,0042	0,0042	0,0042	

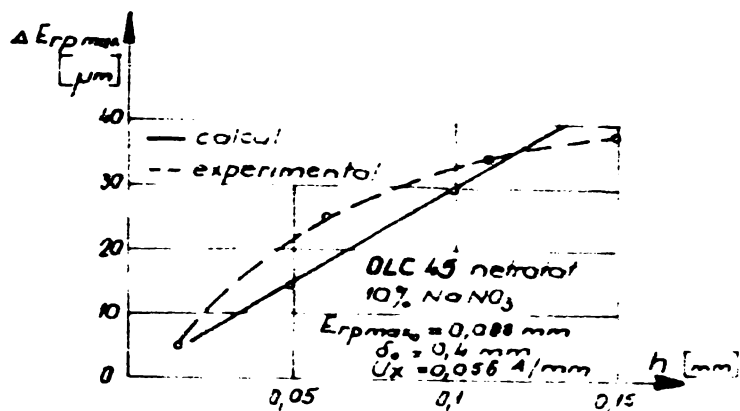


Fig. 5.17

insă este legat de o creștere exponențială a duratei procesului de prelucrare și a consumului energetic specific.

in această figură, rezultă că rugozitatea finală a suprafeței are o tendință de creștere atât în zona I cât și în zona II de prelucrare. Atingererea unor precizii ridicate de prelucrare, în condițiile îndepărtării aceleiași adaos de prelucrare, se poate realiza prin desfășurarea procesului de prelucrare la interstiții inițiale cât mai mari /zona III/. Acest lucru

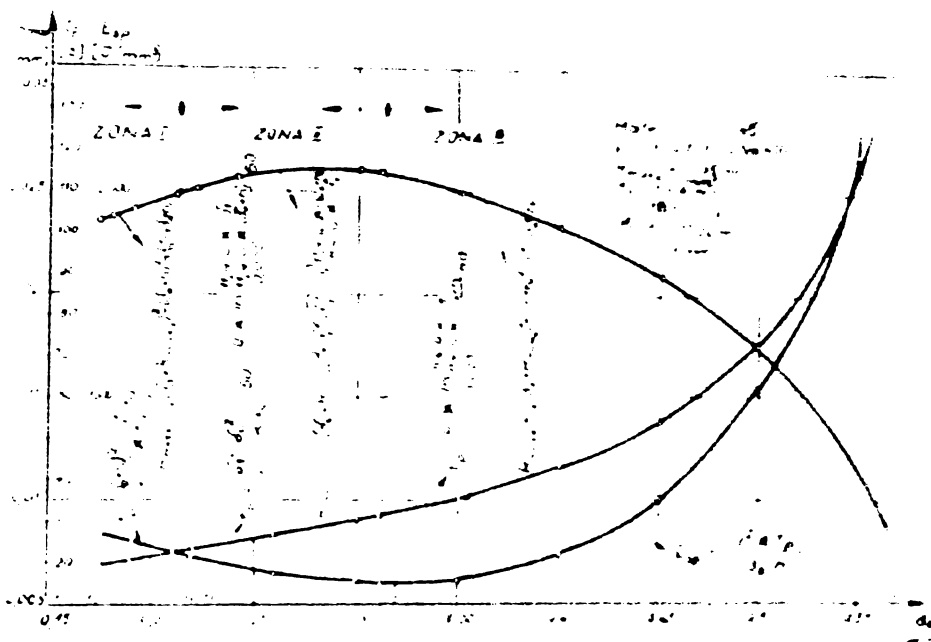


Fig. 5.18

Pentru condițiile de realizare a procesului de prelucrare indicate în această figură, rezultă că rugozitatea finală a suprafeței are o tendință de creștere atât în zona I cât și în zona II de prelucrare. Atingererea unor precizii ridicate de prelucrare, în condițiile îndepărtării aceleiași adaos de prelucrare, se poate realiza prin desfășurarea procesului de prelucrare la interstiții inițiale cât mai mari /zona III/. Acest lucru însă este legat de o creștere exponențială a duratei procesului de prelucrare și a consumului energetic specific.

Dacă criteriul de optimizare al procesului îl constituie timpul de prelucrare, atunci se va "forța", prin posibilitățile de reglare permise de instalație, desfășurarea procesului de prelucrare în zona I sau II, iar dacă criteriul de optimizare îl constituie consumul energetic specific, atunci prelucrarea va fi condusă în jurul interstițiului limită (δ_1), pentru care consumul energetic specific prezintă un minim.

Datorită multitudinii parametrilor ce pot interveni în procesul de prelucrare, proiectarea tehnologică este foarte laborioasă și se pretează la folosirea calculatoarelor electronice.

Din cercetările efectuate privind finisarea roților dințate prin eroziune electrochimică, hidrodinamică, fără avans al electrodului sculă, rezultă următoarele concluzii:

- Precizia bătăii radiale și a pasului este dependentă de precizia geometrică a electrodului-sculă și de precizia de reglare a uniformității interstițiului. La prelucrarea în electrolit cu Na Cl aceste elemente ale preciziei de prelucrare pot fi corectate cu atât mai mult cu cât densitatea curentului este mai mică.

- Rugozitatea suprafeței obținută prin prelucrarea electrochimică este mai bună la roțile dințate tratate termic față de cele netratate.

- Pentru condițiile experimentale prezentate s-au obținut rezultate la finisarea roților dințate corespunzătoare clasei 7. Această precizie însă poate fi depășită prin creșterea preciziei de execuție și reglare a electrodului-sculă.

- Durata finisării unei roți dințate prin eroziune electrochimică este în jur de un minut fiind mult inferioară celei obișnuite prin procedee convenționale.

- Prin modelarea matematică a curbelor de dependență a echivalentului electrochimic volumic efectiv în raport cu densitatea curentului, se poate realiza o proiectare tehnologică pentru roțile dințate ce urmează să fi finisate, în condițiile optimizării procesului tehnologic de prelucrare.

5.1.2. Finisarea roților dințate prin rostogolire.

Cercetările legate de acest procedeu de finisare a roților dințate prin eroziune electrochimică hidrodinamică s-au extins numai asupra obiectului OLC 45 netratat termic, utilizând ca electrolit, soluția apoasă cu 10% Na Cl. Pentru prelucrarea s-a folosit modelul experimental prezentat în capitolul 4 /4.1.6/ cu cele două posibilități de realizare a mișcării circulare: automat și constant.

Din încercările experimentale efectuate se pot trage următoarele concluzii:

- Prelucrarea cu avans automat, folosind un curent de

oăderea de tensiune pe cei doi electrozi, a seos în evidență necesitatea utilizării acestui mod de lucru numai în cazul interstițiilor de lucru foarte mici. Asemenea interstiții mici se pot datora fie electrodului sculă utilizat, fie erorilor geometrice mari sau adaosului neuniform al semifabricatului. Același mod de lucru este indicat și la prelucrarea în electrolit cu $\text{Na Cl}^{\text{sol}}$ a altor electroliți a căror echivalent electrochimic volumic efectiv este puțin dependent de densitatea curentului.

- Prelucrarea cu avans circular constant se pretează în cazul în care nu există pericolul apariției scurtcircuitului între cei doi electrozi și la folosirea electrolitului cu Na NO_3 . În aceste situații utilizarea unei surse de alimentare cu energie electrică cu caracteristică rigidă, permite o corecție mai rapidă a preciziei roților dințate prelucrate.

- Datorită suprafeței active reduse, durata procesului de finisare a unei reți dințate prin rostogolire este în jur de 3-4 minute.

- Rugozitatea suprafeței obișnuite este în jur de $1 \mu\text{m}$, fiind superioară celei obișnuite la prelucrarea prin copierea formei. În figura 5.19 se prezintă dependența rugozității suprafeței în funcție de grosimea stratului de material îndepărtat. Și în acest caz, după îndepărtarea unui adaos în jur de $0,1 \text{ mm}$, rugozitatea suprafeței nu se modifică substanțial.

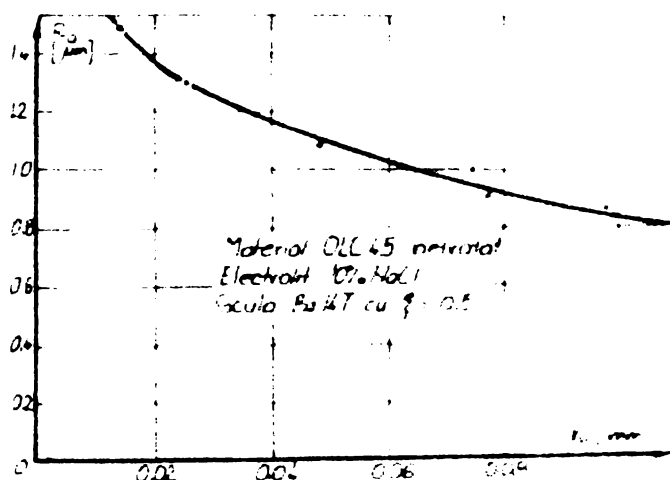


Fig. 5.19

- Precizia obținută la finisarea roților dințate prin rostogolire este aceeași ca cea obținută prin procedeul de copiere a formei și depinde în mare măsură de precizia lanțului cinematic exterior, de precizia electrodului sculă și de reglajul interstițiului inițial.

- Prelucrarea roților dințate prin rostogolire este mai costisitoare, asigură o capacitate productivă mai redusă și necesită un echipament de complexitate mare în raport cu prelucrarea prin procedeul de copiere a formei.

5.1.3. Rotunjirea dinților prin eroziune electrochimică hidrodinamică.

Cercetările experimentale privind operația de rotunjire a dinților s-au efectuat pe dispozitivul prezentat în capitolul 4 /4.1.5/ printr-o montare a semifabricatului așa cum rezultă din figura 5.20. Între planul

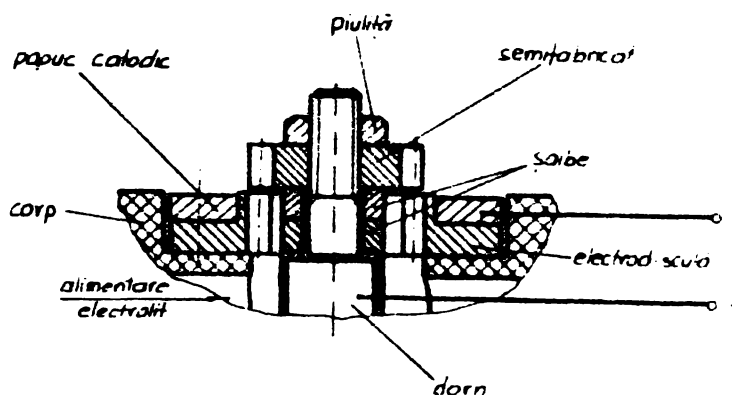


Fig. 5.20

frental al electrodului sculă și a obiectului prelucrării se realizează interstițiul de lucru dorit, prin alegerea corespunzătoare a șabiei de distanțare și a jocului lateral dintre golul dinților electrodului sculă și dinții obiectului prelucrării. Pentru a asigura concentrarea procesului în zona muchiilor, s-a folosit un electrod sculă de construcție

specială, având ca parte activă numai muchiile superioare, iar reglajul axial al obiectului prelucrării s-a făcut astfel încât să se asigure distanța minimă între muchii. Izolarea electrică a electrodului sculă s-a realizat pe cale electrochimică, iar activarea muchiilor superioare, prin îndepărtarea stratului izolat pe cale mecanică.

Au fost supuse prelucrării roți dințate din 41 Mo C11 și 41 Cr 45 folosind electroliți cu 10% Na Cl și 10% Na NO₃. În cadrul acestor cercetări s-a urmărit stabilirea influenței pe care o au tensiunea de lucru și timpul de prelucrare asupra debitului de material îndepărtat, asupra echivalentului electrochimic volumic efectiv și asupra calității prelucrării.

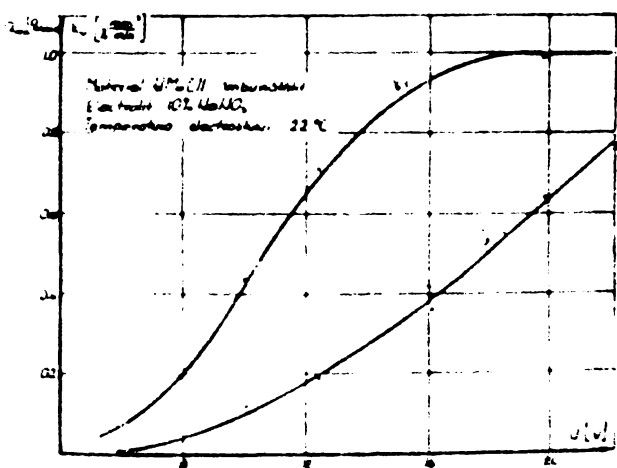


Fig. 5.21

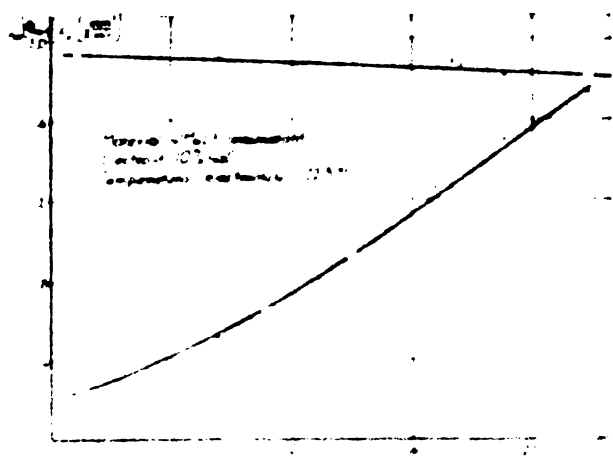


Fig. 5.22

Din figurile 5.21 și 5.22 care reunește rezultatele obținute în urma

material prelevat și a echivalentului electrochimic volumic în funcție de tensiunea de alimentare a electrozilor, pentru prelucrarea în electrolit cu NaNO_3 și respectiv cu NaCl a oțelului 41 Me CII îmbunătățit, rezultă că debitul de material îndepărtat crește, aproape proporțional, cu creșterea tensiunii de lucru. La aceeași tensiune de lucru, debitul mediu este mai ridicat la prelucrarea în electrolit cu NaCl . Analizând modul de variație a echivalentului electrochimic volumic, se constată că la prelucrarea în electrolit cu NaCl /Fig. 5.22/ acesta se menține la valori ridicate, cu o ușoară tendință de scădere la creșterea tensiunii de alimentare. Când se folosește la prelucrare electrolitul cu NaNO_3 /Fig. 5.21/ echivalentul electrochimic volumic variază foarte mult cu tensiunea de lucru. Se poate remarca faptul că la tensiuni în jur de 6 V, echivalentul electrochimic volumic și debitul de material prelevat sînt foarte mici. Acest fenomen se explică prin densitățile mici de curent asigurate, la valoarea reglată a interstițiului, de tensiunile scăzute. Prezentarea influenței pe care o are densitatea curentului asupra echivalentului electrochimic volumic s-a făcut în capitoul [5.1.1]. Această caracteristică de variație prezintă avantajul posibilității localizării și controlului prelucrării, fapt ce s-a observat și pe suprafețele efectiv prelucrate. Folosind același timp de prelucrare, la tensiuni diferite de alimentare, s-a constatat că extensia zonei prelucrate, în jurul muchiei dintelui, este cu atât mai mare cu cît tensiunea de lucru este mai ridicată.

Cînd prelucrarea s-a făcut în electrolit cu NaCl , extensia zonei prelucrate a fost cu mult mai mare chiar și la tensiuni scăzute de alimentare.

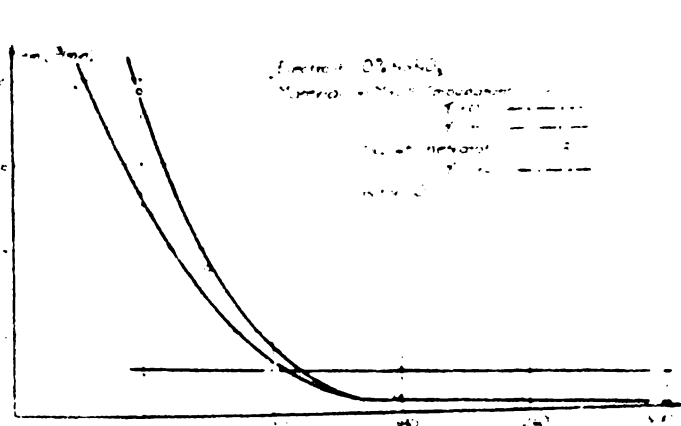


Fig. 5.23

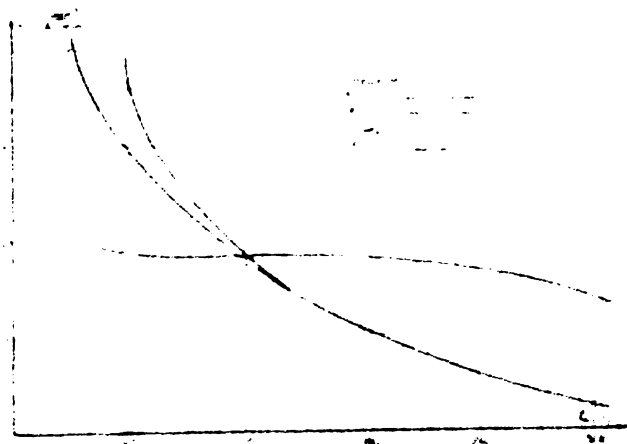


Fig. 5.24

În figurile 5.23 și 5.24 se prezintă influența pe care o are timpul de prelucrare asupra debitului mediu de material prelucrat și asupra echivalentului electrochimic volumic. Debitul mediu variază foarte mult

cu timpul la folosirea electrolitului cu NaNO_3 , cînd se prelucra \ddot{a} o \acute{t} elul 41 MoCl1 \ddot{a} i in m \acute{a} sur \ddot{a} mai mic \ddot{a} la prelucrarea o \acute{t} elului OLC 45 /Fig. 5.23/. Folosirea semifabricatelor cu deplas \ddot{a} ri diferite ale danturii /aceasta influen \ddot{t} ind geometric asupra intersti \ddot{t} ului lateral/ duce la ob \ddot{t} inerea unor debite medii diferite in prima parte a prelucr \ddot{a} rii, pentru ca in continuare, s \ddot{a} se egalizeze. Aceast \ddot{a} dependen \ddot{t} ă este explicat \ddot{a} de influen \ddot{t} ă duratei procesului de prelucrare asupra echivalentului electrochimic volumic efectiv /Fig. 5.24/. Folosind, la prelucrarea o \acute{t} elului 41 MoCl1, o tensiune ridicat \ddot{a} , densitatea curentului la inceputul prelucr \ddot{a} rii va fi mare, ceea ce asigur \ddot{a} un echivalent electrochimic \ddot{a} i un debit de material prelevat ridicat. Odat \ddot{a} cu cre \ddot{s} terea duratei procesului de prelucrare, intersti \ddot{t} ul de lucru cre \ddot{s} te, atr \ddot{a} g \ddot{a} nd dup \ddot{a} sine sc \ddot{a} derea densit \ddot{a} ții curentului \ddot{a} i deci a echivalentului electrochimic volumic. Cum prelucrarea o \acute{t} elului OLC 45 s-a f \ddot{a} c \ddot{u} t la tensiuni sc \ddot{a} zute, in \ddot{c} ă de la inceputul procesului de prelucrare densitatea curentului \ddot{a} i deci \ddot{a} echivalentul electrochimic volumic vor fi mici. Aceasta duce la indepartarea unui adaos mic de prelucrare \ddot{a} i la o modificare lent \ddot{a} in timp a densit \ddot{a} ții curentului, a echivalentului electrochimic volumic \ddot{a} i a debitului de material prelevat. Prin acest experiment s-a urm \ddot{a} rit eviden \ddot{t} ierea posibilit \ddot{a} ții de limitare a procesului de prelucrare, ac \ddot{t} ion \ddot{a} nd asupra parametrilor electricei.

Situa \ddot{t} ia prelucr \ddot{a} rii o \acute{t} elului 41 MoCl1 in electrolit cu Na Cl este prezentat \ddot{a} in figurile 5.25 \ddot{a} i 5.26. De aceast \ddot{a} dat \ddot{a} , varia \ddot{t} ia echivalentului electrochimic volumic cu timpul de prelucrare /Fig. 5.26/, este mai lent \ddot{a} .

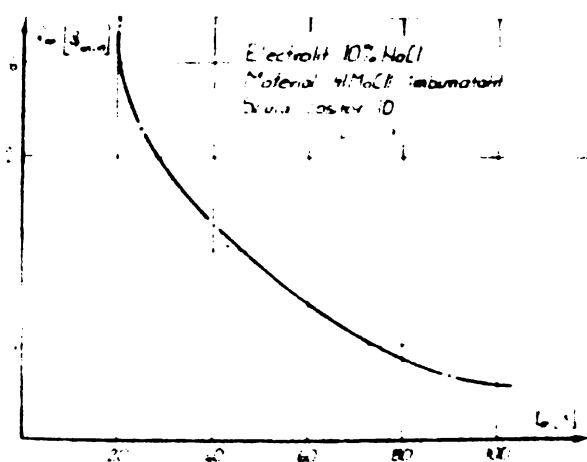


Fig. 5.25

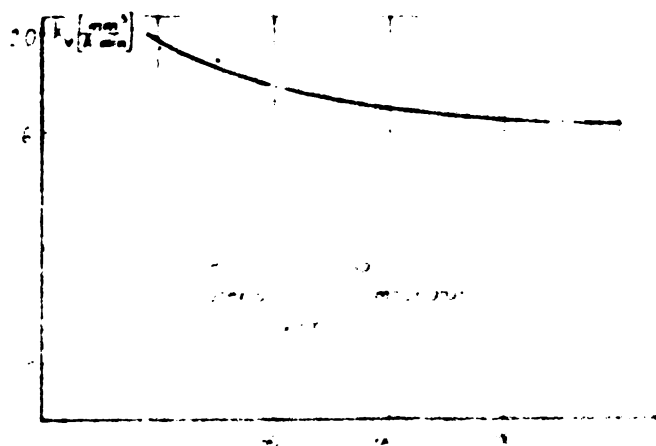


Fig. 5.26

Datorit \ddot{a} valorilor ridicate pe care le are echivalentul electrochimic, debitul de material prelucrat este mai mare dec \ddot{t} la prelucrarea in electrolitul cu NaNO_3 . Varia \ddot{t} ia mare a debitului mediu de material prelevat in raport cu timpul /Fig. 5.25/, se datore \ddot{s} te cre \ddot{s} terii rapide

a interstițiului de lucru și ca urmare, scăderii densității curentului. S-a observat o extensie mai mică a prelucrării în cazul folosirii unor tensiuni mai reduse și timpi de prelucrare mai mari. În toate cazurile însă, extensia zonei prelucrate este mai mare la folosirea electrolitului cu Na Cl decât pentru electrolitul cu Na NO₃.

Durata procesului de retunjire a dinților unei roți, în condițiile de prelucrare prezentate, alimentând electrozii la tensiunea de 20 V, este în jur de 0,5 minute când se folosește electrolitul cu Na Cl și de 1 minut, la folosirea electrolitului cu Na NO₃.

5.2. CALIBRAREA ALEZAJELOR CILINDRICE ȘI PROFILATE

În cazul calibrării suprafețelor cilindrice și a celor fasonate

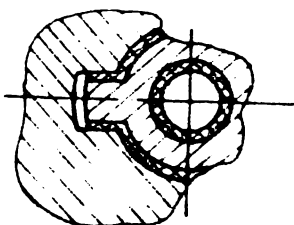
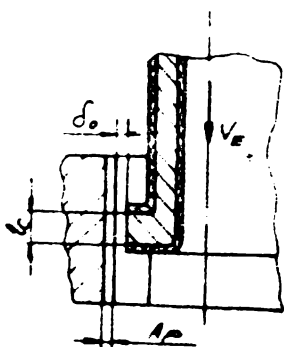


Fig. 5.27

/Fig. 5.27/ folosind o viteză de curgere a electrolitului mai mare decât viteza optimă /Fig. 3.73/ și când lungimea suprafeței active a electrodului sculă nu depășește 10 mm, viteza de avans necesară electrodului sculă, pentru a îndepărta adaosul de prelucrare, poate fi calculată cu relația:

$$v_E = \frac{(U - V_p) \cdot k_v \cdot \chi_e \cdot l_c}{A_p \left(d_0 + \frac{A_p}{2} \right)} \quad /5.30/$$

Această relație poate fi dedusă făcând substituțiile $t_p = \frac{l_c}{v_E}$ și $k_v = \eta \cdot k_{vt}$

în expresia /3.17/

Pentru o viteză oarecare de curgere a electrolitului, relația /5.30/ trebuie corectată. Pe baza cercetărilor experimentale efectuate, s-a ajuns la următoarea expresie:

$$v_E = \frac{(U - V_p) \cdot k_v \cdot \chi_e \cdot l_c}{A_p \left(d_0 + \frac{A_p}{2} \right) \left[125 \cdot 10^{-7} \frac{(U - V_p) \cdot k_v \cdot \chi_e \cdot l_c}{\eta \cdot v_E \cdot d_0^2} + 1 \right]} \quad /5.31/$$

În cazul calibrării suprafețelor lungi, folosind electrozii sculă cu suprafața activă cu lungimea mai mare de 20 mm, relația /5.31/ nu mai poate fi folosită. Utilizând rezultatele cercetărilor experimentale efectuate în cazul prelucrării suprafețelor de lungime mare /Fig. 3.73, 3.74, 3.75 și 3.76/, relația /5.31/ poate fi scrisă sub forma /pentru oțelul 41 MoCl1/:

$$v_E = \frac{\left(0,015 + \frac{B_{op} - 0,015}{v_{sep}} \cdot v_0\right) \cdot l_c}{A_p \left(d_0 + \frac{\Delta p}{2}\right)} \quad /5.32/$$

În funcție de parametrii limitativi ai procesului de prelucrare, relațiile /5.30/, /5.31/ și /5.32/ pot fi utilizate și pentru dimensionarea căderii de tensiune pe interstițial de lucru sau a lungimii suprafeței active a electrodului sculă.

De exemplu, pornind de la relația /5.31/, se obține:

$$U = \frac{v_E \cdot A_p \left(d_0 + \frac{\Delta p}{2}\right)}{k_v \cdot \chi_e \cdot l_c} + V_p \quad /5.33/$$

$$\left[1 - \frac{125 \cdot 10^{-7} \cdot v_E \cdot A_p \left(d_0 + \frac{\Delta p}{2}\right)}{\eta \cdot v_e \cdot d_0^2} \right]$$

$$l_c = \frac{v_E \cdot A_p \cdot \left(d_0 + \frac{\Delta p}{2}\right)}{k_v \cdot \chi_e \cdot (U - V_p)} \quad /5.34/$$

$$\left[1 - \frac{125 \cdot 10^{-7} \cdot v_E \cdot A_p \cdot d_0 + \frac{\Delta p}{2}}{\eta \cdot v_e \cdot d_0^2} \right]$$

Aceste relații pot fi utilizate și în cazul prelucrării în electrolit în NaNO_3 , numai în măsura în care procesul de prelucrare se desfășoară la interstiții suficient de mici, astfel încât densitatea curentului să nu scadă sub J_{lin} /Fig. 5.91/.

5.3. PRELUCRAREA SUPRAFETELOR ACTIVE ALE MATRITELOR

5.3.1. Prelucrarea cavităților de secțiune constantă.

5.3.1.1. Prelucrarea cavităților cilindrice

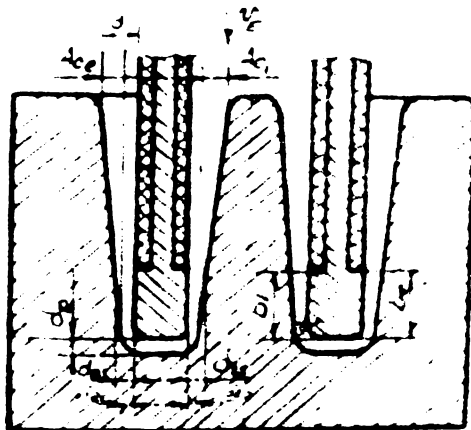


Fig. 5.28

Dacă se consideră schema de prelucrare din figura 5.28, în condițiile de stabilitate a procesului /interstițialul frontal se menține constant la valoarea interstițialului de echilibru /, atunci, pentru notațiile folosite în figura, relația /3.74/ poate fi scrisă sub forma:

$$\delta_{el} = \sqrt{\delta_{eo}^2 + 2 \cdot b_e \cdot \delta_e}$$

/5.35/

Datele experimentale scet în evidență că $\delta_{eo} \neq \delta_e$, acesta depinzînd de valoarea interstițiului de echilibru și de raza de rotunjire a muchiei electrodului sculă /Fig. 5.29/

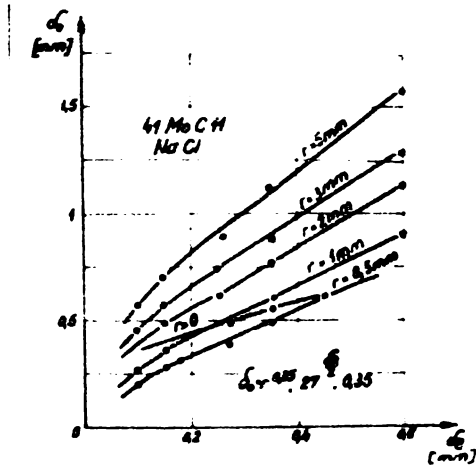


Fig. 5.29

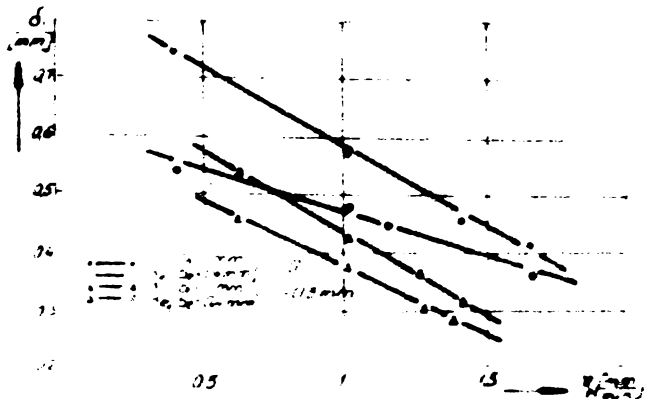


Fig. 5.30

Din această diagramă s-a dedus următoarea relație empirică de dimensionare a interstițiului lateral inițial

$$\delta_{eo} = r^{0,35} \cdot 27 \frac{\delta_e}{2} \cdot 0,35$$

/5.36/

Această relație este valabilă pentru $r \geq 0,5$ mm. Din figura 5.30 rezultă dependența interstițiului lateral, în zona terminală a suprafeței laterale, de viteza de avans, raza de rotunjire a muchiei electrodului sculă și lățimea suprafeței laterale.

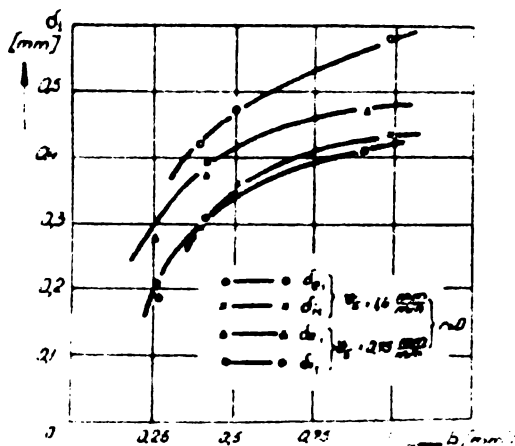


Fig. 5.31

$$\delta_{el} = \sqrt{0,123 \cdot r^{0,7} \cdot 27 \frac{\delta_e}{2} + 0,35 \cdot b_e \cdot \frac{\delta_e}{v}}$$

/5.37/

Însă, acest interstițiu lateral tinde să se mărească pe măsura pătrunderii electrodului sculă în material, astfel încît, piesa preluc-

rată va prezenta o abatere de la cilindricitate care este dependentă atât de viteza de avans /Fig. 5.32/, cât și de lățimea suprafeței laterale active a electrodului sculă /Fig. 5.33/

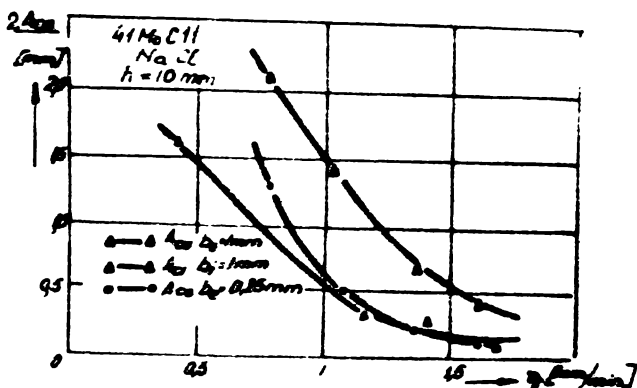


Fig. 5.32

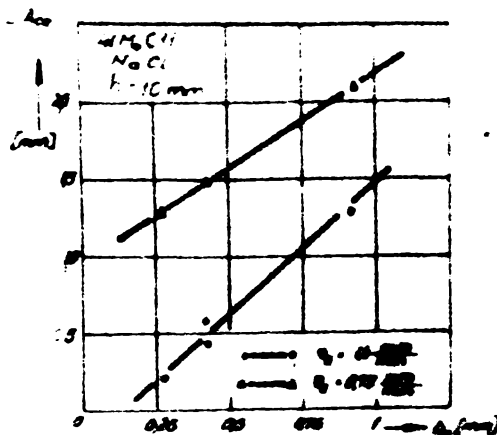


Fig. 5.33

Ținând seama de aceste diagrame precum și de notațiile cuprinse în figura 5.28, rezultă că abaterea de la cilindricitate poate fi scrisă sub forma:

$$\Delta_{ce} = \delta_e - \delta_{ee} \quad /5.38/$$

$$\Delta_{ce} + \delta_{ee} - \delta_{el} = \sqrt{\frac{h \cdot \delta_e}{8}} \quad /5.39/$$

sau; ținând seama de expresia lui δ_{el}

$$\Delta_{ce} = \sqrt{0,123 \cdot r^{0,7} \cdot 27 \delta_e + 2 \cdot b_e \cdot \delta_e} + \sqrt{\frac{h \cdot \delta_e}{8}} - 0,35 \cdot r^{0,35} \cdot 27 \frac{\delta_e}{2} \quad /5.40/$$

Valoarea maximă a interstițiului lateral poate fi calculată cu expresia

$$\delta = \sqrt{0,123 \cdot r^{0,7} \cdot 27 \delta_e + 2 \cdot b_e \cdot \delta_e} + \sqrt{\frac{h \cdot \delta_e}{8}} \quad /5.41/$$

Aceste relații empirice permit dimensionarea electrodului sculă cu suficientă precizie în cazul prelucrării cavităților de secțiune constantă în electroliți cu Na Cl.

5.3.1.2. Prelucrarea cavităților de secțiune constantă cu contur poligonal.

Un exemplu de prelucrare a acestui gen de suprafață îl constituie cavitățile hexagonale. Pentru prelucrarea acestor suprafețe s-a folosit un electrod izolat electric pe suprafețele laterale, asigurând astfel o mai bună localizare a procesului de prelucrare. Prelucrările au fost efec-

tuată pe mașina MEC /Fig. 4.22/, în regim de lucru cu avans constant și sursă stabilizată de alimentare cu energie electrică. În cazul prelucrării în electrolit cu Na Cl, relațiile /5.40/ și /5.41/ asigură suficientă precizie dimensionării abaterii de la forma geometrică a suprafeței laterale și a valorii maxime a interstițiului lateral în funcție de adâncimea de pătrundere.

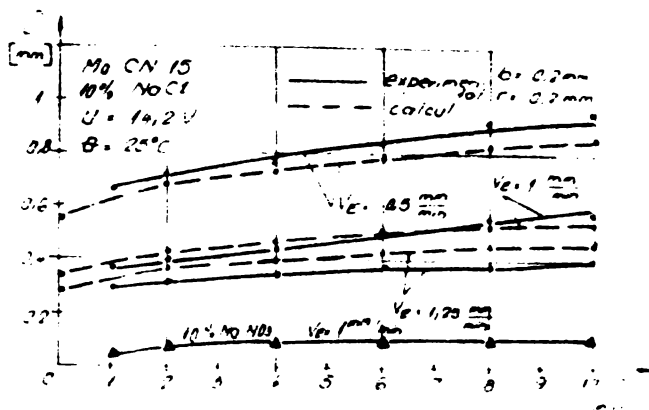


Fig. 5.34

cu Na Cl.

O problemă deosebită pe care o ridică această prelucrare este legată de construcția fantelor și a orificiilor de curgere a electrolitului, astfel încât să se asigure o spălare cât mai uniformă a suprafeței active.



Fig. 5.35

În figura 5.35 se prezintă construcția electrodului pentru prelucrarea cavităților hexagonale. Soluția constructivă folosită asigură condiții bune de prelucrare în electrolit cu Na Cl, însă la prelucrarea cu viteze de avans mai mari de 1 mm/min, în electrolit cu Na NO₃, în unele zone spălarea este necorespunzătoare, fapt care a provocat apariția scurt-circuiturilor. Neajunsuri legate de curgerea electrolitului au apărut în momentul stingerii unor interstii de echilibru mai mici de 0,1 mm /Fig. 5.36/.

În figura 5.37 se prezintă cî-

corespunsătoare unor pătrunderi de 10 mm. De aici rezultă că asupra vaze-

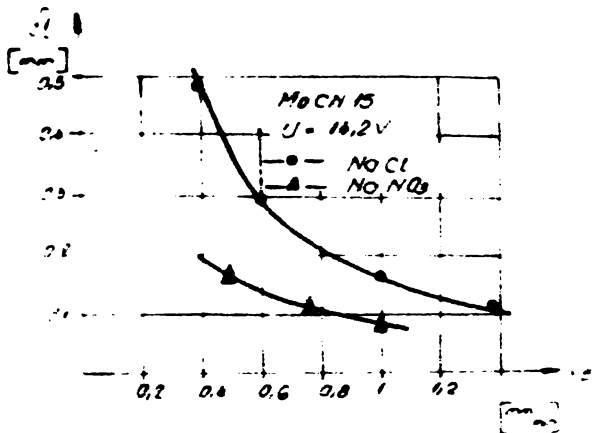


Fig. 5.36

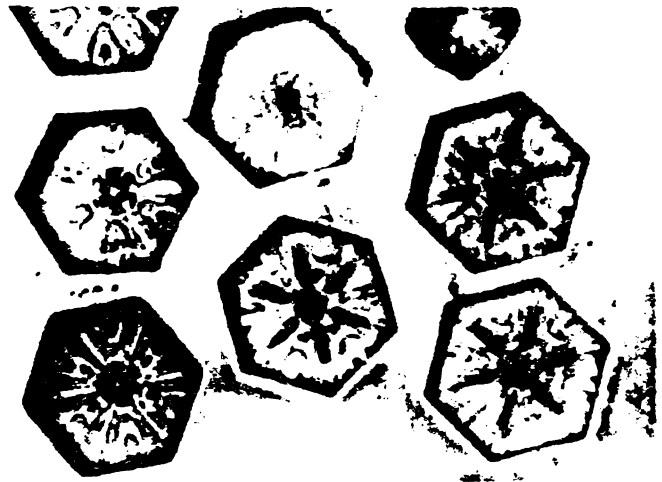


Fig. 5.37

rii înclinației suprafeței laterale se poate acționa atât prin viteza de avans cât și prin natura electrolitului folosit.

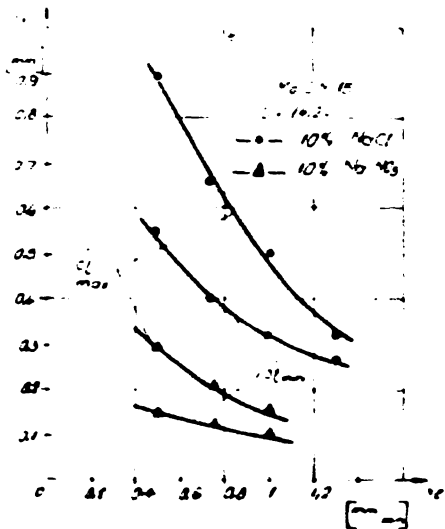


Fig. 5.38

5.3.2. Prelucrarea cavităților cu formare tridimensională.

În cele ce urmează se vor face câteva referiri la prelucrarea unei suprafețe cu ajutorul unui electrod sculă ca cel prezentat în figura 4.31. Acest electrod are suprafața laterală neizolată și ca urmare, localizarea procesului de prelucrare este mai redusă. Aceasta rezultă și din figurile 5.39 și 5.40. Datorită complexității suprafeței prelucrate și a asimetriei acesteia, asigurarea unei spălări uniforme a întregii suprafețe active și în același timp a unor linii de curgere de lungime constantă, este practic imposibilă. Acest lucru are efecte negative atât asupra preciziei de prelucrare cât și a integrității electrodului sculă, în special la prelucrările cu viteze de avans ce depășesc valoarea de 0,7 mm/min. În acest sens au fost efectuate o serie de încercări experimentale. În figura 5.41 se prezintă trei cavități prelucrate cu electrozi a căror

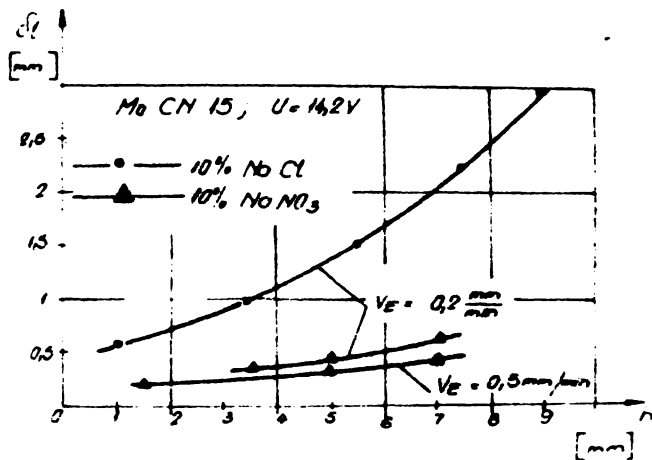


Fig. 5.39

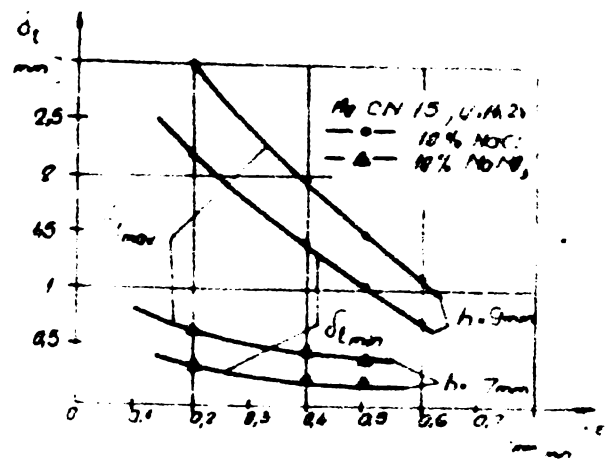


Fig. 5.40

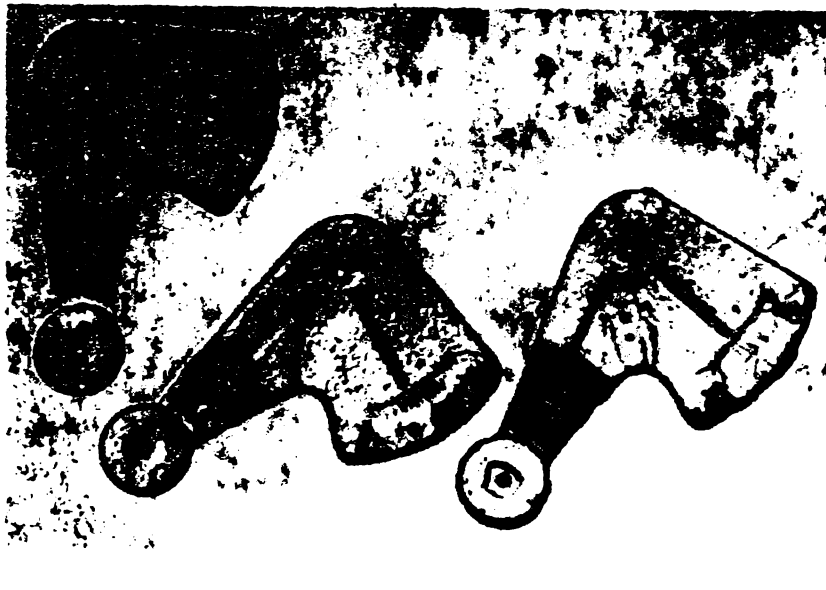


Fig. 5.41

fante și orificii de curgere a electrolitului au diferit.

Ca toate modificările constructive efectuate, nu a putut fi depășită viteza de avans de 1 mm/min la prelucrarea în electrolit cu Na NO₃ și de 1,5 mm/min la prelucrarea în Na Cl. Pentru soluționarea acestei probleme se impun cercetări mult mai ample.

6. CONCLUZII

Din studiul și cercetările efectuate privind construcția de utilaje și tehnologia de aplicare a procedurii de prelucrare dimensională prin eroziune electrochimică hidrodinamică rezultă următoarele concluzii:

- Utilajele folosite la aceste prelucrări trebuie să aibe o construcție specifică particularităților procesului și operației de prelucrare a materialului supus prelucrării;

- Pentru fiecare formă constructivă a suprafeței de prelucrat și pentru fiecare material supus prelucrării prin eroziune electrochimică sînt necesare o serie de cercetări experimentale prealabile. Aceste cercetări trebuie să vizeze atît aspectele generale ca prelucrabilitatea materialului cît, și aspecte specifice fiecărei forme constructive, în vederea realizării preciziei de prelucrare impusă;

- Prelucrarea dimensională prin eroziune electrochimică hidrodinamică poate fi folosită în condiții economice, nu numai în anumite cazuri particulare de material prelucrat și forma constructivă, ci și la uzinarea unor piese din producția curentă, confecționate din oțeluri slab aliate;

- Pentru conducerea cît mai corectă a procesului de prelucrare și pentru reducerea duratei activității de proiectare tehnologică, se impune modelarea matematică a procesului de prelucrare și folosirea mijloacelor automate de calcul.

Principalele contribuții originale aduse în lucrarea de față pot fi grupate în următoarele secțiuni:

A. În domeniul cercetării fundamentale

1.- Fundamentarea din punct de vedere teoretic a procesului de eroziune electrochimică;

2.- Clasificarea procedeelor de prelucrare prin eroziune electrochimică și de prelucrare complexă folosind drept criterii de bază: modul de activare a suprafeței și de realizare a transferului de masă de pe obiectul prelucrării;

3.- Definirea factorilor de influență, a principalilor parametri și a influenței acestora asupra procesului de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică;

4.- Modelarea parametrilor procesului de prelucrare și a principalelor caracteristici tehnologice ca: precizia de prelucrare și capacitatea productivă.

B. În domeniul cercetării experimentale

1.- Proiectarea și execuția unor standuri, de concepție originală, care să corespundă exigențelor cercetării multitudinii factorilor ce

concură la realizarea procesului de prelucrare;

2.- Stabilirea influenței pe care e exercită, un număr mare de factori globali, asupra parametrilor procesului de prelucrare dimensională electrochimică;

3.- Stabilirea unor relații empirice pentru anumite situații concrete de prelucrare a suprafețelor elementare;

4.- Verificarea experimentală a cercetărilor teoretice efectuate;

5.- Stabilirea unor algoritmi în vederea trecerii pe calculator a lucrărilor de dimensionare a parametrilor regimului de prelucrare;

6.- Conceperea unei metode raționale de abordare a cercetărilor experimentale în vederea reducerii la minimum a investigațiilor necesare și a volumului de muncă;

C. In domeniul constructiv.

1.- Proiectarea și realizarea integrală a unui număr de patru tipuri diferite de mașini de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică de 50 A, 200 A, 1500 A și 5000 A destinate activității de cercetare și industriei. Mașina de 5000 A a fost realizată printr-un contract cu I.M. Timișoara iar mașina de 50 A se execută ca prototip SPKE în cadrul I.P. Timișoara.

2.- Proiectarea și realizarea unor standuri pentru prelucrarea roților dințate.

3.- Proiectarea și realizarea unor dispozitive speciale, a port-electrozilor și a electrozilor-sculă.

4.- Cercetări teoretice și experimentale asupra sistemelor electromeccanice de avans.

D. In domeniul cercetării aplicative.

1.- Aplicarea procedurii de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică la operații de finisare a roților dințate, folosind procedeele de generare a suprafeței prin rostogolire și copiere a formei;

2.- Folosirea calculatorului în vederea dimensionării parametrilor tehnologici optimi pentru finisarea roților dințate;

3.- Folosirea procedurii de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică la debavurare și rotunjirea muchiilor roților dințate;

4.- Utilizarea procedurii de prelucrare prin eroziune electrochimică hidrodinamică pentru realizarea operațiilor de perforare și fascinare;

5.- Prelucrarea prin eroziune electrochimică hidrodinamică a cavităților de secțiune constantă;

6.- Conceperea unei scheme logice și a unui program complex pentru stabilirea parametrilor regimului de prelucrare corelați cu precizia de prelucrare și caracteristicile utilajului folosit, în condițiile optimi-

zării procesului de prelucrare;

7.- Utilizarea procedeului de prelucrare electrochimică a utilajului realizat și a rezultatelor cercetărilor efectuate la prelucrarea prin adâncire a unor suprafețe tridimensionale.

O parte din contribuțiile aduse de această lucrare au fost valorificate în cadrul I.O.R. București, I.C.P.T.C.M. București și I.M. Timișoara prin contractele de cercetare angajate cu aceste unități, iar celelalte rezultate, precum și activitatea viitoare din acest domeniu vor constitui premise pentru extinderea aplicării acestui procedeu în industria noastră în măsura în care se va acționa mai ferm pentru producția în serie a utilajelor de prelucrare. Faptul că o unitate cu putere de execuție relativ modestă ca cea existentă în I.P. Timișoara a reușit să realizeze o gamă de modele experimentale de mare complexitate, cu folosirea în totalitate a elementelor de fabricație indigenă, constituie un element de referință ce poate fi depășit.

B I B L I O G R A F I E

- A.1. x x x - Affuteuse électrolytique type UM 300
In "Machine Outil" nr.271,p.77
- A.2. x x x - Affuteuses électrolytiques.
In Machine-Outil, Nr. 300,1973 p.133
- A.3. Aranțev V.A. - Izmerenie uskih fasonnih razov zamknutnogo
profilia, izgotovlennih elektrohimičeskim
sposobom. In "Elektronnaja obrabotka materialov"
nr. 4,1973,p.86-88
- A.4. Augustin I. - Aplikacie ECHO na hlebenie dutin. In Nekonvenone
metody obrabania kovov. Bratislava,1972
- A.5. Aranțev V.A. - Elektrohimičeskaja razmernaja obrabotka otver-
stii talinim elektred-instrumentom. In "Elek-
tronnaja obrabotka materialov",Nr.1,1973,pag.
83-85
- A.6. Alekseev G.A. - O roli elektrednih pretessov pri elektrohimi-
českoj razmernoj obrabotke. In "Fizika i himi-
ja obrabotki materialov". Nr.5,1968
- A.7. Alekseev V.P. - Vlianie defektov strukturi stali na skoresti
ee anodnogo rasšvereniio. In "Fizika ihimija
obrabotki materialov" Nr.1,1969
- A.8. Astrop A.W. Mașină Healy pentru găurirea electrochimică
cu utilizarea specială. In Machinery,118,Nr.
3035,13 ian. 1971,p.48-51
- A.9. Astrop A.W. - Healy Helkem ECH equipment. In Machinery and
Production engineering. Decembrie 18,1968, p.
1241
- A.10. x x x - Avtomatizația elektrohimičeskoj i elektrohimi-
českoj obrabotki. In "Mehonizația i avtonati-
zația proizvodstva". Nr.9/1971
- A.11. Agasarian R.R. - Elektrohimičeskoe lentecinoe šlifovanie. In
Airapetian E.S. Stanki i instrument. Nr.9,1972,p.37
- A.12. x x x - Agathon A.G. maschinenfabrik Solothurn. Elveția
/Prospecte mașini/
- B.1. Bonciocat N. - Potentiale de difuzie in soluții apease. Veșă
de doctorat Timișoara, 1971
- B.2. Baskin E.L. - Elektrohimičeskoe polirovanie malsugleredistoi
Tiranskaia S.M. stali na postoiannom toke. In Fizika i himija
Tokari B.D. obrabotki materialov, Nr.1,1971,p.35
- B.3. Beliakova A.N. - Izmenenie pH electrolita v proțesse anodnoi
Davidov A.D. razmernoj obrabotki jelesa. In Fizika i himija
obrabotki materialov,Nr.2,1969,p.49
- B.4. Brovman Ia.S. - Usloviia optimizații obrabotki metalla pri
Mikaelian V.V. elektrohimičeskoj balansirovke. In "Elektron-
naja obrabotka materialov" Nr.1,1974,p.25

- B.5. Benga B. - Anlagen für das elektrochemische Senken. Prospekte firma Charmilles
- B.6. Benga B. Elektrochemische Metallbearbeitung. In Technische Rundschau. Nr.9,1971
- B.7. Bergsma F. - The role of the electrolite in the electrochemical machining of metals. International Symposium for Electromachining, Vienna, 12th-15th, October 1970
- B.8. Burr-Free - Machining Concept under Development at IIT. In Cutting Tool Engineering, iulie-august 1969
- B.9. Bergsma F. - Electrochemical Machining of Metals. In Annals of the CIRP. Vol. XVI.1968
- B.10. Bellows G. - Procédé "Electro-Stream" pour le perçage de trous profonds de faible diamètre. In: Rev. franc. techn. mond. France, Nr.158,1967
- B.11. Bender L. - Domenii de folosire a procedeelor de prelucrare prin eroziune. In Industrie Anzeiger Nr.76, sept. 1968 R.F.G.
- B.12. Borisov N.V.
Ciusev G.V.
Sarbakev L. - O kriteriiah podobia pri fiziceskom modelirovani profesorov elektrohimiceskoi vazvernoi obrabotki. In "Elektronnais obrabotka materialov" p.11,Nr.3,1975
- B.13. Banas I. - Elektrochemicke odhrotovanie. In Nekovenecne metody obrabania kovev. Bratislava, 1972
- C.1. Colcea Constantin - Prelucrarea metalelor prin procedee electrochimice. INID, 1973
- C.2. Cincinnati - Prospekte de maşini electrochimice /SUA/
- C.3. Champetier L. - Noi metode de prelucrare. Metoda electrolitică. In Machines Françaises. Nr.58,ian.1967
- C.4. Collins I. - Prelucrarea electrochimică. In Mach. Mod. France, 57,Nr.645,sept.1963
- C.5. Charmilles - Prospekte /Elveţia/
- C.6. Charmilles - Informations techniques. Nr.13,1971 /Elveţia/
- C.7. Charmilles - Informations technique ÉLECTRO-ÉROSION Nr.11, 1970 /Elveţia/
- C.8. Camatini Ezio - La lavorazione elettrochimica. In Rivista di meccanica, Nr.529a, 1972
- C.9. Crişan S.
Ivan M. - Prelucrarea electrochimică o nouă metodă de prelucrare a metalelor. IM: Construcţia de maşini, Nr.10, 1966
- C.10. Curti T.H.
Schweiz U. - Elektrolytisches Polieren und Zntgrunden
- C.11. Chin R.J.
Hobe K. - Electrodisolution Kinetics of Iron in Chloride Solutions III. Acidic Solutions. In Journal of the Electrochemical Society, Vol.119, Nr.11, 1972,p.1457-1461
- C.12. Cernok I. - Elektrochemicke honovanie. In TRŽEN, VUMA, Nr.3. 1972,p.34

- D.1. Dieter Landült - Throwing Power Measurements during High Rate Nickel Dissolution under Active and Transpassive Conditions. In Journal of the Electrochemical Society. Vol.119, Nr.6, 1972
- D.2. Dlugaci D.Ia. Slepuskin E.I. Siteva B.E. - Osebenosti objekta regulirovaniia pri elektrohimiieskoi razmernei obrabotke metalov. In Fizika i himiia obrabotki materiallov. Nr.1, 1972, p.166-173
- D.3. Dimitriev L.B. Sedikin P.V. Filin V.I. - Nekatorie voprosi tecnosli pretessa elektrohimiieskoi obrabotki fasennih poverhnosti. In Fizika i himiia obrabotki materiallov, Nr.2, 1969
- D.4. Davidov A.A. Kasceev V.D. Kabanov B.H. - Zakonemernosti anodnogo rastvoreniia metallov pri visokih plotnostiah toka, In Elektrohimiia Nr.2, 221, 1969
- D.5. Degenhardt H. Hübs H.I. - Möglichkeiten zur Herstellung von Raumformen mit dem elektrochemischen Senkverfahren. In Industrie-Anzeiger, 21 martie 1972, p.497
- D.6. Dumitrescu A. Adler C. - Perspectiva aplicării în România a tehnologiilor neconvenționale la fabricația paletelor de turbane. In Constr. de mașini, Nr.3, 1974, pag. 140-144
- D.7. Degenhardt H. - Prelucrarea electrochimică a unor materiale care se aşchiază greu. In "Prelucrarea reţelelor prin tehnologii neconvenționale" Nr.3, 1973, p.37-38
- D.8. Diordik V.V. Kişinevskii M.H. - Issledovanie perenosa veşciestva k vragoiainsia elektrodam pri turbulentnom rejime teceniia In "Elektronnaia obrabotka materialov" Nr. 3, 1973, p.56-57
- D.9. Davidov A.D. Kasceev V.D. Krivenikii V.P. - Izucenie anodnogo rastvoreniia molibdena pri visokih plotnostiah toka. In "Elektronnaia obrabotka materialov" Nr.1, 1973, p.5-8
- D.10. Davidov A.D. Kamkin S.H. Klopova S.V. Kasceev V.D. - Elektroliti dlia elektrohimiieskoi obrabotki niobia. In "Elektronnaia obrabotka materialov" Nr.6, 1973, p.28-30
- D.11. Davidov A.D. - Potoki informaiia no elektrohimiieskoi razmernoi obrabotke. In "Elektronnaia obrabotka materialov" Nr.2, 1973, p.8-11
- D.12. Danilicenko A.T. - Nekatorie zakonemernosti elektrohimiieskoi dovodki kombinirovannoi obrabotki instrumetalnih stali. In "Elektrefiziceskie i elektrohimiieskie metodi obrabotki" Nr.6, 1973, p.5-7
- D.13. DeBarr A.E. Oliver D.A. - Electrochemical Machining, Elsevier, New York 1968
- D.14. DeBarr A.E. Oliver D.A. - Elektrohimiieskaia obrabotka, Moskva "Maşinostroenie", 1973
- D.15. Derouche A. - Prelucrarea electrolitică. In La Machine-Outils Francaise, Nr.229, mar. 1967

- D.16. Davidov A.D. - Ob izmereniah potentsialov npi isledovaniah protessov elektrohimičeskogo rastvoreniah metallov s visokimi plethnostiami teka. In "Elektronnaia obrabotka materialov" N5. 5,1975,p.19
- D.17. Davidov A.D. - Anodnoe rastverenie splasov na osnove jelesa i nichelia v preťesse elektrohimičeskoj razmernoi obrabotki v rastvorah azotnokislogo i sernokislogo natriia. In "Fizika i himia obrabotki materialov" Nr. 3,1974,p.38
Kašceev V.D.
Mirzorev R.A.
- D.18 Davidov A.D. - Vlianie strukturi stali na ih anodnoe pastverenie
Karimov A.H. In "Elektronnaia obrabotka materialov" Nr. 4, 1974
Verenenko L.M. p.19-23
- E.1. Egorova O.I. - Vozmožnosti razmernoi elektrohimičeskoj obrabotki
Ivanov A.P. ŝa. izdelii iz niobievih splavov. In "Fizika i himia obrabotki materialov" Nr. 4, 1969
- E.2. x x x - Elektrochemische Senkmaschine. In Werkstatt und Betrieb. Vol.104 Nr. 10, 1971, p. 761
- E.3. x x x - Elektrochemical Machine. Prospects de la firma Hitachi
- E.4. x x x - Electrochemical machining. In American Machinist, octombrie 1976, p. 149-160
- E.5. x x x - E C M: Big Machines for Big Jobs. In Machinery, martie 1967, p. 120-121
- E.6. x x x - E C M system cuts deburing time. In Canadian Machinery and Metalworking, aprilie 1968, p. 137
- E.7. Egorov A.M. - Zur Ermittlung der optimalen Betriebsdaten für
Kurgin G.V. die elektrochemische Bearbeitung. In Der Maschinenbau, 16, 1967, p. 437-438
- E.8. x x x - E C M Has Become Easier to Apply With New Machinability Data. In Iron Age Metalworking International, februarie 1968, p. 42-43
- E.9. x x x - Electro-chemical process will drill curved holes. In: Product Engineering. SUA, Nr. 12, 1967, p.126
- E.10 x x x - Electrochemical machining a basic definition and a consideration of the problems involed. In Brit. Machine. Tool Eng. Anglia, 49, Nr. 2, 1967,p.34-35
- F.1. Frumkin - Cinetica proceselor electrochimice. București 1954
- F.2. Faceko G. - Tehnologia electrochimică. I.P. Timișoara 1969
- F.3. Faust C. - Electrochemical Machining of Metals. In Trans. Inst. Metal Finishing. Anglia, 41, 1964
- G.1. Goobeť G.K. - Vlianie elektrohimičeskogo polirovaniah na
ŝ.a. ustalostnuiu procinosti stali 13 x T In Fizika i himia obrabotki materialov. Nr. 1, 1971, p.38
- G.2. Grișcenko A.M. - Isledovanie preťessa elektrohimičeskogo razmernogo
Razdımaha I.S. honingnovania ŝilindričeskih otverstii malogo
Maksinov M.A. diametra. In "Elektrofizičeskie i elektrohimičeskie metodii obrabotki" Nr. 2, 1973, p. 6-13
ŝ.a.
- G.3. Golovacev V.A. - Electrohimičeskaia razmernahia obrabotka detalei slojnoi formi. Iz. "Mašinostroenie" Moskva 1969

- G.4. Glazkov A.V. - Analiz vliania volit-ampernoj karakteristiki istocinika toka na stabilnosti protessa razmernoj elektrohimiceskoj obrabotki. In Fizika i himia obrabotki materialov, Nr. 2, 1972
- G.5. Gorobet J.K. - Vlianie elektropolirovanie na ustalostiu precinosti stali 12 HNZ. In Tehnologhia i organizatia proizvodstva. Nr. 4, 1967
- G.6. Germirand L. - L'Usinage electrochimique. In Mashina Outil, 33, Nr. 240, martie 1968, p. 953-956
- G.7. Gaggiotti A. - La laversazione sulle macchine utensili con il procedimento elettrolitico. In Rivista di meccanica Nr. 399, 1967, p. 9-16
- G.8. Gavrilag I.
Stan N.
Girleanu L. - Prelucrări electrice în construcția de mașini E.T. București 1968
- G.9. Gutikov V.V.
Klokov V.V.
Smolentev V.P. - K viboru optimalnih gidrodinamiceskih parametrov pri elektrohimiceskoj razmernoj obrabotke. In Fizika i himia obrabotki materialov Nr. 1, 1971, p. 31-35
- G.10. Guscu Iu.V. - Elektrohimiceskoe şlifovanie litnih magnitov. In Stanki i instrument Nr. 2, 1973, p. 41
- G.11. Gamov O.P. - O prozvoditelinosti i tocinosti elektroalmaznogo şlifovania tverdih splavov krugani tipa A K In "Elektronnaia obrabotka materialov" Nr. 4, 1973, p. 14-17
- G.12. Gamov O.P. - Vlianie pH elektrolita na procinosti tverdogo splava BK pri elektrohimiceskoj obrabotke. In "Elektronnaia obrabotka materialov" Nr. 3, 1973, p. 18-20
- G.13. x x x - Gegenüberstellung der funkenerosiven und elektrochemischen Metallbearbeitung. In Prospekte BOSCH
- G.14. Gostev V.V. - Almazno - elektrohimiceskoe şlifovanie tverdih splavov. Izd. Vişia şkola, Harcov 1974
- H.1. Hofstede A. - Some Remarks on Electro-chemical Turning in Annals of the C.I.R.P. Vol. XVIII pag. 93-106, Great Britain 1970
- H.2. Hofstede A. şi Brekel J.W.M. - Noi rezultate în domeniul strunjirii electrochimice. In Prelucrarea metalelor prin tehnologii neconvenţionale Nr. 4, 1973
- H.3. Hoare J.P.
Kav-Wen Mao şi Wallace A.J. - The electrochemical machining of mild steel in NaBrO_3 solutions. In Corrosion Science Vol. 12 Nr.7, 1972, p. 571-578
- H.4. Hakimov R.G. - Kinematiceskaia prognoznosti pri elektrohimiceskoj razmernoj obrabotke. In "Elektrefiziceskie i elektrohimiceskie metodi obrabotki" Nr. 12, 1973, p. 1-6
- H.5. Hauri H. - Importanţa crescîndă a procedeelor de prelucrare electrochimică cu îndepărtare de metal. In Schweizer Maschinenmarkt, Elveţia Nr. 12, 13, 14, 15. 1969

- H.6. Hitachi - Prospecte de mașini electrochimice /Japonia/
- H.7. Hymec - Prospectul dispozitivului de marcat electrochimic /Anglia/
- I.1. Ivan M. - Studiul principalilor parametri ai prelucrării electrochimice. In Construcția de mașini. Nr.11 1971, p. 677
- I.2. Ivan M. - Contribuții la studiul teoretic și experimental al prelucrării electrochimice și al mașinilor unelte cu avans autoreglabil. Teză de doctorat, Brașov, 1970
- I.3. Ivan M. Rusu G. - O nouă metodă de conducere a prelucrării electrochimice în Tehnologiile convenționale în prelucrarea metalelor. I.P. Timișoara, p. 327
- I.4. Itze W. Walsch G. - Usinage électrochimique de cages pour roulements "aviation". In La Technique de Roulement, 1972-2 Ed. FAG, p. 28
- I.5. Ivan M. Rusu G. - Metode speciale de prelucrare prin procedeu electrolitic. In Construcția de mașini, Nr. 3 și 4/1970
- I.6. x x x - Introduction of Hitachi ECM, Aprilie 1974
- J.1. Jackson C. - STEM Drilling. In The Tool and Manufacturing Engineer, septembrie 1969, p. 44-48
- J.2. Jan A. - Pracevne rastroje pre elektrochemicke obrabotie dutin kovacskych zapustiek a foriem. In TREND VUMA Nr. 3, 1974, p. 27
- K.1. Kurcenko V.I. - Elektroerozionnaia i elektrohimicheskaia obrabotka metallov Iz. "Mașinostroenie" Moskva 1967
- K.2. Kaceev M.K. - Klassifikația detalei dlia elektrohimicheskikh i elektrofizicheskikh metodov obrabotki In "Elektrochimicheskaia obrabotka materialov" Nr. 5, 1973, p.89-92
- K.3. Kubeth H. - Procesul de prelucrare a formei între electrodul sculă și piesă la prelucrarea electrochimică. Lucrare de dizertație. 1965
- K.4. Korolenko N.K. - Istocniki i regulirovanie toka v ŗehah elektrohimicheskoi obrabotki metallov Iz. "Energhia" Moskva 1964
- K.5. Kubeth H. - Fortschritte beim elektrochemischen Senken. In Werkstatt und Betrieb, 104, ianuarie 1971
- K.6. König W. Pahl D. - Accuracy and Optimal Working-Conditions in Electro-chemical Machining. In Annals of the C.I.P.P. Vol. XVIII Great Britain, 1970
- K.7. Kawafune K. - The Effect of the Working Parameters on the Working Gap during Elektrochemical Machining. In Annals of the C.I.P.P. Vol. 13, 1970, Nr. 2
- K.8. Kain - Usinage électrochimique In Machine Outil Francaise Nr. 253, 1970
- K.9. Kubeth H. - Technische Möglichkeiten und wirtschaftlichkeitsfragen ECM International Symposium for Electro-machining Vienna, octombrie 1970

- K.10. König W.
Degenhard H. - Die elektrochemische senkbearbeitung von Hartmetall. In: Tehnologii neconvenționale în prelucrarea metalelor. Timișoara 1971 p. 239
- K.11. Kasceev V.D.
Kabanov V.D.
Mirzorev R.A. - Elektrodnye potentsialy pri razmernoi elektrokhimicheskoi obrabotke nikelia i splavov na ego osnove. In: Tehnologii neconvenționale în prelucrarea metalelor. Timișoara 1971, p. 251-259
- K.12. Korjikev N.S.
Kornov G.A.
Sobolev B.A. - Metod rasceta raspredelenia plotnosti toka v ploakom mejelektrodnom zasore pri EHRO. In Fizika i himia obrabotki materialov Nr. 2, 1973 p. 24-32
- K.13. Kargin G.V. - Elektrohimitskaia razmernaiia obrabotka tverdosplavnykh detalей dugoobraznyimi katodami-instrumentami. In "Elektrofizicheskie i elektrokhimicheskie metody obrabotki" Nr. 6, 1973, p.1-3
- K.14. Kargin G.V.
Egorov A.M. - Iznosostoykosti tverdosplavnykh detalей posle elektrokhimicheskoi razmernoi obrabotki In "Elektrofizicheskie i elektrokhimicheskie metody obrabotki" Nr. 3, 1973, p. 3-5
- K.15. Kleščuk S.E. - Dortigenie i tendentsii razvitiia metodov elektricheskoi razmernoi obrabotki metallov za rubežom In "Elektronnaiia obrabotka materialov" Nr.5 1973, p. 26-30
- K.16. Klokov V.V.
Smolentsev V.P.
Timofeev V.A. - Dinamika teceniia elektrolita i diffuziia ghiidrookislov pri elektrokhimicheskoi obrabotke konicheskikh kanalov In Fizika i himia obrabotki materialov, Nr. 4, 1972, p. 146-148
- K.17. Kondratiev V.A.
Ticiiskii A.P. - Sravnitelinfi analiz tocinosti sporobov finišnoi elektrokhimicheskoi obrabotki fazonnykh poverhnostei. In "Elektrofizicheskie i elektrokhimicheskie metody obrabotki" Nr. 6. 1973, p.7-10
- K.18. Korciaghin G.H.
Kinzhetdinov I.H.
Petrov V.A.
Semakov L.A. - Opredelenie oblasti ustoiçivosti proçesa EHO In "Elektronnaiia obrabotka materialov" Nr. 1 1973, p. 9-11
- K.19. Kornilov E.N.
Holpanov L.P.
Pupkov E.I. - Vlianie sostava i temperaturi elektrolita na anodnoe rastvorenie titanogo splava BT-14 In Fizika i himia obrabotki materialov Nr.5 1972
- K.20. Kosmacev I. - Funcționarea mașinilor anodo-mecanice de ascuțit. I.D.T. 1952
- K.21. Krivoruciko V.P.
Miasoedov A.G. - Elektrohimitskoe kleimenie uglovnykh ner. In "Elektrofizicheskie i elektrokhimicheskie metody obrabotki" Nr. 6, 1973, p. 21-22
- K.22. Kurocikin P.E. - Ustanovka dlia elektrokhimicheskoi markirovki. In Stanki i instrument Nr. 11, 1972 p. 41
- K.23. Kovalenko V.S. - Elektrofizicheskie i elektrokhimicheskie metody obrabotki materialov. Kiev 1975
- K.24. Krilov V.S. - Analiz makrokinetiki perenosa zariada pri anodnom rastvorenii metallov. In "Elektronnaiia obrabotka materialov" Nr. 4, 1976 p. 10

- K.25. Krilev V.S. - K teorii anodnogo rastvereniia metallov v
Malienko V.N. koncentrirovannih rastvorah s peremennoi viasko-
kocitiu. In "Elektronnaia obrabotka materialov"
Nr. 6, 1976 p. 13
- K.26. Koroliaghin G.N. - Povisenie tocinosti elektrohimiceskogo formo-
Makarev V.A. obrazovaniia dlinnomernih detalei. In "Elektro-
nnaia obrabotka materialov" Nr. 3, 1974 p. 21
- L.1. Landau D. - Teoria cimpului. Edit. tehnica 1963 Traducere
Lifsiț E. din limba rusă
- L.2. Landolt Dieter - Trowing Power Measurements during High Rate
Nickel Dissolution under Active and Transpassive
Conditions In "Journal of the Electrochemical
Society" Vol. 119 Nr. 6, 1972
- L.3. Levin A.I. - O mehanizme i osobennostiah elektrohimiceskoi
Evseeva M.A. razmernoi obarotki metallov pri visokih pletnos-
Heciaev A.V. tiah toka. In "Elektronnaia obrabotka materialov"
Nr. 5, 1973 p. 5-8
- L.4. Lewis Ernest - Sisteme automate hidraulice. Ed. tehnica 1968
Traducere din limba engleză SUA
- L.5. Libev L.Ia. - Analiticeskoe issledovanie uslovi effektivnogo
Morez I.I. udaleniia produktov reacții iz rabociei zoni pri
elektrohimiceskoi obrabotke. In Fizika i himia
obrabotki materialov. Nr. 1, 1972
- L.6. Livsiț A.L. - Prelucrarea metalelor prin eroziune electrică
I.D.T. 1958
- M.1. Mondon R. - Le polissage électrolytique. In Machine Outil
Nr. 276 iunie 1971
- M.2. Moroz I.I. - Electrochimiceskaia obrabotka metallov Iz. Mașin-
nostroenie Moskva 1969
- M.3. Mondon R. - Le polissage électrolytique. In Machine Outil
Nr. 277 iulie 1971
- M.4. Mondon R. - Le polissage électrolytique. In Machine Outil
Nr. 278, 1971 p. 255-263
- M.5. Metelkin A.F. - Metodika geometricheskikh izmerenii na stankah
Hakimov R.G. dlia elektrohimiceskoi obrabotki para lopatok.
In "Elektrohiziceskie i elektrohimiceskie metody
obrabotki" Nr. 8, 1973 p. 1-4
- M.6. Mincă M. - Contribuții la studiul interstițiului sculă-pie-
să la prelucrarea electrochimică cu depasivare
hidrodinamică. I.P. Traian Vuia Timișoara 1974
Teză de doctorat
- M.7. x x x - Marché Suisse des Machines Nr. 23, 1968
- M.8. Mincă M. - Studiul interstițiului sculă-piesă în funcție de
parametrii electricei ai prelucrării. In: Construc-
ția de mașini Nr. 5, 1972
- M.9. Mocialova G.L. - Vlianie submikrostrukturi na kacestvo poverhnosti
i skorosti anodnogo rastvorenii uglerodistih
stalei pri elektrohimiceskoi razmernoi obrabotke
In Fizika i himia obrabotki materialov. Nr. 1
1970

- M.10. Mirzorev R.A. - Katodni potencial i nadenie napriajenija v
Svecikopal N.K. npikatodnom sloe elektrolata v proces razmer-
Lukina A.G. noi elektrohimiceskoi obrabotki. In Fizika i
himia obrabotki materialov Nr. 5, 1971
- M.11. Markov N.N. - Tehnologhiceskie parametri pri finijnoi elektro-
Kondratiev V.A. himiceskoi obrabotke In Starki i instrument
Nr. 2, 1973 p. 40
- M.12. Lao K.W. - Anodic Film Studies on Steel in Nitrate-Based
Mitchell L. Elektrolytes for Electrochemical Machining.
James P.H. In Journal of the Electrochemical Society
vol. 119 Nr. 4, 1972 p. 419-427
- M.13. Mauz W. - Technik der elektrochemischen Metallbearbeitung
In "Chemie-Ingenieur-Technik" 45 Nr. 4, 1973
p. 194-197
- M.14. Mauz W. - Elektrochemisches Formentgraten. In "Werkzeug-
maschine International" Nr. 1, 1971
- M.15. Mirzorev R.A. - Elektriceskii probni mejduelektronogo promejut-
Svecikopal A.G. ka pri razmernoi elektrohimiceskoi obrabotke.
Lukina In Fizika i himia obrabotki materialov Nr.
2/1970
- M.16. Mollog J. - Comparasion between electrochmical and conven-
tional methods of machining complex shapes.
In Machinery, 108 Nr. 2773, 1966
- M.17. Morozov B.I. - Formobrazovanie poverhnosti anoda pri elektro-
Zaidman G.H. himiceskoi razmernoi obrabotke vitririuščim
katodom. In "Elektronnaia obrabotka materialov"
Nr. 4, 1973 p. 17-20
- M.18. Monina M.A. - Metodika opredelenia obrabotivaemosti metallov
Moroz I.I. pri elektrohimiceskom formobrazovanii. In
"Elektronnaia obrabotka materialov" Nr. 1, 1974
p. 14-18
- M.19. Morozov B.†. - Sistema podacii elektroda-instrumenta pri
elektrohimiceskoi obrabotke vraščiuščimisia
katodov. In "Elektronnaia obrabotka materialov"
Nr. 2, 1973 p. 84-87
- M.20. Mužianko V.I. - Primenenie metodov teorii planirovanija experi-
Stepanov E.S. mentov dlja vjboru elektrolita pri elektro-
Kulegova Tv himiceskoi obrabotke titanogo splava TS-5. In
"Elektronnaia obrabotka materialov" Nr.2, 1973
p. 89-90
- M.21. x x x - Machine d'usinage electrolytique. In Machine
Outil Nr. 282, 1972 p. 89
- M.22. x x x - Machines d'ébavurage et d'usinage electrolyti-
ques. In Machine Outil Nr. 283, 1972
- M.23. Mc Geoch J.A. - Unele efecte ale conținutului de carbon asupra
eficienței prelucrării electrochimice a oțelu-
rilor carbon și a fontei. In International
Journal of Production Research" Vol. 9, Nr.2
1971
- M.24. x x x - Maschinen und Anlagen für die elektrochemische
Metallbearbeitung. Prospekte BOSCH /R.F.G./
- M.25. Mitsubishi - Prospekte de mașini electrochimice /Japonia/

- M.26. Monina M.A.
Moroz I.I. - Metodika opredelenia obrabotivasmosti metallov pri elektrohimicheskom formoobrazovanii. In "Elektronnaiia obrabotka materialov" Nr. 1, 1974 p. 14
- N.1. Nanu A. - Tehnologia materialelor. Ed. didactică și pedagogică 1972
- N.2. Nastasii V.K. - Zashchita elektrodov elektronitices kogo stanka ot korotkih zamkanii. In Stanki i instrument Nr. 5 1973 p. 21
- N.3. Nanu A.
Popovici V. - Prelucrarea prin eroziune electrochimică. Manualul inginerului mecanic. Tehnologia construcțiilor de mașini. p. 667-722
- N.4. Nanu A. ș.a. - O nouă concepție asupra noțiunii de prelucrare dimensională prin eroziune. In Tehnologii neconvenționale în prelucrarea metalelor. Timișoara 1971 p. 11-21
- N.5. Nanu A.
Falniță E. - Cercetări privind alegerea mediului de lucru la prelucrarea electrochimică abrazivă a aliajelor dure. In Tehnologii neconvenționale în prelucrarea metalelor. Timișoara 1971 p. 369-387
- N.6. Nastasii V.K.
Safronov A.I. - Metodi zashchiti elektrodov elektrohimiceskikh stankov ot korotkih zamkanii. In "Elektrofizicheskie i elektrohimiceskie metodi obrabotki" Nr. 3, 1973 p. 25-27
- N.7. Neciaev A.V.
Levin A.I.
Soloviev V.M. - Issledovanie obrabotivasmosti aliuminieвого сплава АК66 elektrohimicheskim sposobom. In "Elektrofizicheskie i elektrohimiceskie metodi obrabotki" Nr. 1, 1973 p. 1-6
- N.8. Nemilov E.F.
Veroman V.Iu.
Ivanov V.I. - Predotvpausenie korotkih zamkanii v stankah dlia elektrohimiceskoi razmernoi obrabotki. In "Elektrofizicheskie i elektrohimiceskie metodi obrabotki" Nr. 5, 1973 p. 23-27
- N.9. Nica K.
Savii Gh. - Influența formei electrodului sculă asupra preciziei prelucrării electrochimice. In Tehnologii neconvenționale în prelucrarea metalelor. Timișoara 1971 p. 339-351
- N.10. Nica M.
Savii Gh.
Pircea I.
David I. - Influența electrodului sculă asupra preciziei prelucrării cavităților cilindrice prin eroziune electrochimică în regim hidrodinamic. In Buletinul științific al I.P.T. Seria mecanică Tom. 17 /31/ Fasc. 1/1972
- N.11. Nica M. - Bazele teoretice ale prelucrării prin eroziune electrică și electrochimică. Referat pt. doctorat. Timișoara 1972
- N.12. Nica M. - Studiul influenței intensității câmpului electric asupra prelucrării de material la prelucrarea prin eroziune electrochimică. Contract MICMG - DSG. 1972
- N.13. Nica M. - Utilaje folosite la prelucrarea prin eroziune electrochimică. Referat doctorat. 1972

- N.14. Nica M. - Principiile teoretice ale prelucrării dimensionale prin eroziune electrochimică. Referat doctorat. 1975
- N.15. Nica M. - Caracteristicile instalațiilor folosite la încercările experimentale. Referat doctorat. 1975
- N.16. Nica M. - Domenii de aplicare și rezultate obținute în cercetarea procedeelor de prelucrare electrochimică. Referat doctorat. 1975
- N.17. Nica M.
Savii Gh.
Cîrdu I.
Pircea I. - Micromășină de prelucrare prin eroziune electrochimică. Comunicată la sesiunea de comunicări tehnico-științifice a cadrelor didactice și studenților organizată în cadrul festivalului "Cîntare României", Timișoara 13-15 mai 1977
- N.18. Nica M.
Savii Gh.
Pircea I.
studenții:
Nani V. Marin-
ceu D. Szibenal-
ler M. - Cercetări privind finisarea roților dințate prin eroziune electrochimică hidrodinamică. Comunicată la Sesiunea de comunicări tehnico-științifice a cadrelor didactice și studenților organizată în cadrul festivalului "Cîntare României", Timișoara 13-15 mai 1977
- N.19. Nica M.
Savii Gh.
Pircea I.
studenții: Nani V
Marinescu D. Szie-
benaller M. - Unele constatări privind aplicarea procedurii de netezire electrochimică la roți dințate. In "Tehnologii noi de fabricație în construcția de mașini". Galați 1977
- N.20. Nassovia - Prospecte de mașini electrochimice /R.F.G./
- N.21. Nica M. - Contribuții privind conducerea procesului de finisare prin eroziune electrochimică a danturii roților dințate cu dinți drepți. Comunicată la conferința "Dezvoltarea industrială a tehnologiilor neconvenționale" București, decada 1977
- O.1. Opitz H.
Heitmann H.
Becker-Barbrock U - Grundlagen und Anwendung der elektrochemischen Bearbeitungsverfahren. In Annals of the C.I.R.P. vol. XV. Great Britain 1967
- O.2. Olencici V.P.
Sokolov M.A. - Prelucrarea electrochimică a roților dințate. In Stanki i instrument Nr. 7, 1975 p. 39
- P.1. Popescu N. - Studiul aplicării procesului de honuire electrochimic la prelucrarea de netezire a suprafețelor cilindrice interioare. Tez. de doctorat Timișoara 1976
- D.2. Popilov L. Ia. - Prelucrarea electrică a metalelor. I.D.T. București 1956
- P.3. Petrov Iu. N.
Parșutin V.V.
Loskutov A.I. - Vlianie khimicheskogo sostava i skorosti teci-
niia elektrolita na osobennosti protessa anod-
nogo rastvoreniiia tverdykh splavov tipa VK. In
Fizika i himiia obrabotki materialov. Nr. 4
1972 p. 142-145
- P.4. Petrov Iu. N. - Osnovnye elektrakhimicheskie napravleniia issle-
dovaniia v oblasti elektrohimicheskoi razmernoi
obrabotki. In "Elektronnaiia obrabotka materia-
lov" Nr. 4, 1973 p. 5-10

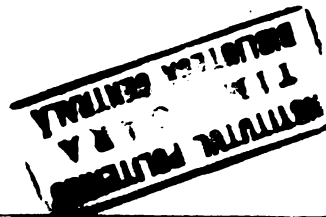
- P.5. Pisri D.R. ș.a. - "ECM ing. tricky beryllium parts" In "American Machinist" 19 aprilie 1971 pag. 113
- P.6. Podlazov S.S. - Elektrohimeskie stanki dlia obrabotki turbin-
Solovov V.H. nih lopatok. In "Elektrofiziceskie i elektrohimeskie
Hamet H.D. metodii obrabotki" Nr. 9, 1973 pag.
Egorov A.N. 21-24
Kostromin I.A.
- P.7. Pop I. - Metodă experimentală pentru determinarea tensiunilor
Nica M. remanente în stratul superficial de metal
așchiat. Comunicată la conferința republicană
"Proiectarea, tehnologia și exploatarea sculelor
așchietoare" Brașov dec. 1972
- P.8. Popovici V. - Cercetări asupra fenomenului electrochimic la
prelucrarea prin eroziune complexă. In Tehnologii
neconvenționale în prelucrarea metalelor.
Timișoara 1971 p. 351-359
- P.9. x x x - Prelucrarea electrochimică. In Werkstatttechnik
R.F.G. 58 Nr. 9 sept. 1968
- P.10. Pupkov E.I. - Elektrohimeskaia razmernaia obrabotka splava
KAMK. In "Elektrofiziceskie i elektrohimeskie
Kornilov E.H. metodii obrabotki" Nr. 10, 1973 p. 14-18
Izotov A.F.
- P.11. Fostanogov V.H.
- P.11. Popilov L.Ia. - Osnovi elektrotehnologii i novie ee raznovid-
nosti Iz "Mașinostroenie" Leningrad 1971
- P.12. Popilov L. Ia. - Elektrofiziceskaia i elektrohimeskaia obrabot-
ka materialov Iz "Mașinostroenie" Moskva 1969
- P.13. Popa A. - Eficiența introducerii procedurii electrochi-
Homoz T. ș.a. mic /ECM/ în uzinarea paletelor de turbină. In
Construcția de mașini. Nr. 5, 1972
- P.14. Petrov Iu.H. - Osobennosti formirovaniia progresnosti pri
Zaidman G.N. elektrohimeskoi razmernoii obrabotke impulsi-
Saugkin B.P. mi materialov" p. 17 Nr. 5. 1974
- P.15. Petrenko V.I. - Vlianie koncentrații uprociniuscei ianai v
Dikusar A.I. jaroprocinah hromonikelevih splavah na skorosti
Arjintari O.A. ih elektrohimeskoi obrabotki v rastverah
nitratov i hloratov. In "Elektroannaia obrabotka
materialov" Nr. 4, 1970 p. 14
- P.16. Petcov N. - Electrolyza chlorurii de sodiu E.I. Lucrare
Roman V. 1959
Bordeian D.
- P.17. Peronczyk J. - Parametrii prelucrării electrochimice. In caiet
selectiv Mașini unelte și prelucrarea metalelor
Fasc. 5, 1968
- P.18. Pahl D. - Technologie des elektrochemischen schens. In
Tehnologii neconvenționale în prelucrarea meta-
lelor. Timișoara 1971 p. 267-293
- P.19. Poligrat - Prospekte de mașini de prelucrat electrochimic
/R.F.G./
- R.1. Rădoi I. - Electrochimie Edit. Facla 1974
Radovan C.

- R.2. Kumianțev A.V. - Elektrohimičeskaja prosvivka otverstii pri
Denisenko T.N. visokih plotnostiah toka. In Stanki i instru-
Tvetaeva V.B. ment Nr. 9, 1972 p. 36
- R.3. Rosenberger R. - Untersuchungen über die Arbeitsbedingungen
und der Einsatz des Elektrochemischen.
Lucrare de doctorat, Stuttgart 1969
- R.4. x x x - Rectificarea electrochimică a profilurilor.
In prelucrarea metalelor prin tehnologii necon-
venționale. Nr. 4, 1972
- R.5. Rivkin A.J. - Rectificarea electrochimică a oțelului R.18.
In "Mașini unelte și scule" Nr. 11, 1964
- R.6. Reinhold R. - Anwendung des elektrochemischen Formentgra-
Schwarz H. tens. In Fertigungstechnik und Betrieb Nr. 11
noiembrie 1967
- S.1. Sonea I. - Cercetări privind utilizarea ultrasunetelor
Mincă M. ca energie activă în prelucrarea electrochimică
a metalelor. In Tehnologii neconvenționale
în prelucrarea metalelor. Timișoara 1971
p. 359-369
- S.2. x x x - Some Elements of Electrical Machining. In Mass
Production, ianuarie 1968
- S.3. x x x - Sodium Chlorate for ECM Cavity Sinking. In
The Tool and Manufacturing Engineer, martie
1968
- S.4. Speckhardt H. - Über den Einfluss spangebender und elektro-
chemischer Bearbeitung aus das Verhalten eini-
ger Stähle unter mechanischer und chemischer
Beanspruchung. Dizertație Darmstadt 1967
- S.5. Safronov A.I. - Ekonomnoe gașenie tiristorov preobrazovatelei
dlia zasciti elektrodov elektrohimičeskikh
stankov. In "Elektrofiziceskie i elektrohimi-
českie metodf obrabotki" Nr. 6, 1973 p. 29-34
- S.6. Safronov A.I. - Primenenie korotkozamkaiuščih tinistorov
dlia zasciti elektrodov elektrohimičeskikh
stankov of korotkih zamkani. In "Elektrofi-
ziceskie i elektrohimičeskie metodf obrabotki"
Nr. 5, 1973 p. 19-22
- S.7. Saugkin B.P. - O nekotorih iavleniah v zazore pri elektro-
Korciaghin G.H. himičeskoj obrabotke impulsami toka. In "E-
Kulečov G.V. lektronnaia obrabotka materialov" Nr. 1, 1974
p. 21-23
- S.8. Saugkin B.P. - O dinamike unodnoi poverhrosti pri EMO metal-
lov v nestacionaarnih usloviah. In "Elektro-
nnaia obrabotka materialov" Nr. 5, 1973
p. 11-14
- S.9. Sedkin F.V. - O točivosti vozmožnostiah metoda razmernoi
Dmitriev L.P. elektrohimičeskoj obrabotki. In "Elektronnaia
Porodin V.V. obrabotka materialov" Nr. 1, 1973 p. 11-13
Liubimov V.V.
- S.10. Sedkin F.V. - Točivosti i ekonomičivosti razmernoi elektro-
Dmitriev L.P. himičeskoj obrabotki. In "Elektrofiziceskie i
Borodin V.V. elektrohimičeskie metodf obrabotki" Nr. 4, 1978
Liubomov V.V. p. 20-22

- S.11. Sedfkin F.V.
Egorov N.A.
Dmitriev L.B.
Vituşkin V.A. - Povîşenie effektivnosti primeneniia malomoşci-
nîh istocinikov pitaniia pri elektrohimiceskoi
koliţevoi vîrezke. In "Elektrofiziceskie i
elektrohimiceski metodî obrabotki" Nr. 5, 1973
- S.12. Smolenţov V.P. - Tocinosti elektrohimiceskoi obrabotki perehodnîh
i konţevîh uciastkov kanalov. In "Elektronnaia
obrabotka materialov" Nr. 2, 1973 p. 5-8
- S.13. Springborn R.K. - Non-traditional machining processes ASTME,
Dearborn, Michigan, 1967
- S.14. Savii Gh.
Nica M. ş.a. - Cercetări tehnologice privind obţinerea din bare
de \varnothing 11- \varnothing 14 molibden pur, sinterizat, forjat,
a unei piese profilate utilizând tehnologii ne-
convenţionale. Contract de cercetare cu I.O.R.
Bucureşti, 1975
- S.15. Savii Gh.
Nica M.
Urdea G. - Contribuţii la studiul posibilităţilor de efec-
tuare a prelucrării de netezire a suprafeţelor
metalice prin metoda electrochimică. In Buletinul
I.P.T. Tom 12 /26/ iulie-decembrie 1967
p. 487-498
- S.16. Savii Gh.
Nica M. - Influenţa vitezei de curgere a electrolitului
la prelucrarea electrochimică. In Buletinul
ştiinţific şi tehnic al I.P.T. Tom 14 /28/ Fasc.
2 iulie-decembrie 1969 p. 609-618
- S.17. Savii Gh.
Nica M. - Studiul influenţei intensităţii câmpului electric
asupra prelevării de material la prelucrarea
prin eroziune electrochimică. Comunicată şi pub-
licată la cea de a II-a Conferinţă de prelucr.
la rece 26-27. octombrie 1973
- S.18. Savii Gh.
Nica M.
Cîrdu I. - Cercetări privind îmbunătăţirea preciziei de
prelucrare prin eroziune electrochimică hidro-
dinamică. Lucrare comunicată la "Sesiunea ştiin-
ţifică dedicată celei de a XXX-a aniversări a
eliberării patriei şi Congresului al XI-lea al
P.C.R." I.P.T. 17 noiembrie 1974
- S.19. Savii Gh.
Nica M. - Studii şi cercetări privind prelucrarea prin e-
roziune electrochimică. Proiectarea şi execuţia
unei maşini de prelucrare prin eroziune electro-
chimică. Contract de cercetare cu I.M. Timişoara
1975
- S.20. Savii Gh.
Nica M.
Pircea I. - Determinarea parametrilor regimului de prelucra-
re prin eroziune electrochimică hidrodinamică.
Comunicată şi publicată în cadrul celei de a II-a
Conferinţă din domeniul proceselor şi utilajelor
de prelucrare la rece. 26-27 octombrie 1973
- S.21. Savii Gh.
Nica M. - Studii şi cercetări de fenomene la prelucrarea
electrochimică a oţelului 41MoC11. Contract cer-
cetare cu I.C.P.T.M. Bucureşti 1976
- S.22. Senecky L. - Lucasny stav a smery vyvaja elektrotechnickeho
obrabania. In TRENÐ VUVA Nr. 3, 1973
- S.23. Sauşkin B.P. - Raspredelenie koba po dlire megelektrodnogo
kanala pri impulsnoi elektrohimiceskoi obrabot-
ke. In "Elektronnaia obrabotka materialov" Nr. 3
1975 p. 14

- S.24. Semakov L.A. - Nekotorie voprosi gidrodinamiki pri elektrohimiceskoi razmernoi obrabotke metallov. In "Elektronnaiia obrabotka materialov" Nr. 2 1974 p. 16
Korciaghin G.N.
- S.25. Savii Gh. - Laşină de putere medie pentru prelucrarea dimensională prin eroziune electrochimică. Comunicată la Sesiunea de comunicări tehnico-ştiinţifice a cadrelor didactice şi studenţilor organizată în cadrul festivalului "Cîntare României" Timişoara 13-15 mai 1977
Nica M.
Pircea I.
Revitzki A.
- S.26. Savii Gh. - Cercetări privind prelucrarea prin eroziune electrochimică hidrodinamică a oţelului 41MoC 11. Comunicată la Sesiunea de comunicări tehnico-ştiinţifice a cadrelor didactice şi studenţilor organizată în cadrul festivalului "Cîntarea României" Timişoara 13-15 mai 1977
Nica M.
- S.28. Sedikin F.V. - Razmernaiia elektrohimiceskaia obrabotka detaiei maşin. Maşinostroenie Moskva 1976
- S.27. Savii Gh. - Instalaţie de finisare a roţilor dinţate prin eroziune electrochimică hidrodinamică. In "Tehnologii noi de fabricaţie în construcţia de maşini" Galaţi 1977
Nica M.
- S.1. Scitova V.M. - Analiz proţessa samoregulirovaniia pri elektrohimiceskoi obrabotke materialov. In Elektricesstvo Nr. 11, 1965
Slepuşchin E.I.
Dlugaci D.Ia.
- S.2. Scitova V.M. - Analiz sistem avtomaticeskogo regulirovaniia proţessa elektrohimiceskoi obrabotki materialov. In Elektricesstvo Nr. 8, 71, 1967 p.71-78
Slepuşchin E.I.
- S.3. Sor L.L. - Vlianie protoka elektrolita pri elektrohimiceskoi obrabotke na tocinosti izmereniia razmera otverstiia. In "Elektronnaiia obrabotka materialov" Nr. 3, 1975 p. 84
- T.1. Televnoi A.V. - Elektrohimiceskaia razmernaiia obrabotka begovoi dorozhki poşipnikov kaceniia. In "Elektronnaiia obrabotka materialov" Nr. 1974 p. 23-26
Zinkin A.N.
Poseliaghin Iu.D.
Poleşcenko N.V.
Molodkin V.I.
- T.2. Televnoi A.V. - Osebnosti elektrohimiceskoi razmernoi obrabotki zubiatov koles. In "Elektronnaiia obrabotka materialov" Nr. 4, 1974 p. 88-89
Cieciukov N.T.
Zinkin A.N.
Molodkin V.I.
Paseliaghin Iu.D.
Poleşcenko H.V.
- T.3. Thorpe J.F. - Determinarea analitică a interstiţiului de echilibru în prelucrarea electrochimică. In "International Journal of Machine-Tool Design and Research" Nr.2, 1969
Zerkle R.D.
- T.4. Tiplan H. - Proiectarea sculelor pentru prelucrarea electrochimică. In Machinery, Anglia 113 Nr. 2919 1969
- T.5. Tuzu C. - Procese tehnologice moderne şi utilaje în construcţia de maşini I.C.D.T. 1969

- U.1. Uvarov L.B. - Nekotorie osobennosti elektrohimitseskoj obrabotki s primeneniem gazojidkostnyh smesei. In "Elektronnaia obrabotka materialov" Nr. 1, 1976 p.20
Sarov S.I.
- V.1. Vasiliu Radu - Curs de electrochimie. Institutul Politehnic Iasi 1969
- V.2. Voronenko L.M. - Issledovanie elektrohimitseskoj obrabotki uglerodistykh stalei. In Fizika i himia obrabotki materialov. Nr. 5, 1972
Davidov A.D.
Kaschiev V.D.
- V.3. Volkov Iu.S. - Trebovaniia k elektrolitom dlia razmernoi elektrohimitseskoj obrabotki metallov. In Fizika i himia obrabotki materialov Nr. 5, 1968
Koroz I.I.
- V.4. Voronenko L.M. - Nekotorie zakonomernosti obrabotki stalei 45 elektrohimitseskimi metodami. In "Fizika i himia obrab. materialov" Nr. 3, 1973 p. 131
- V.5. Vişniţkii A.L. - Issledovanie nitratno-nitritnogo elektrolita. In Drozd E.A. "Elektrofizicheskie i elektrohimitseskie metody Borisoglebskaia T.A.- obrabotki" Nr. 2, 1973 p. 15-18
- V.6. Varenko E.S. - Vlianie kislotnosti i temperaturi rastvora na skorosti anodnoi ionizatsii jeleza v sulifatnom elektrolit. In "Elektronnaia obrabotka materialov" Nr. 5, 1973 p. 56-59
Galuzko V.P.
Dulunov V.H.
- V.7. Vent A. - Prelucrarea electrochimică a metalelor. In: Betrieb Technik Nr. 9/1968
- V.8. Voronov V.N. - Vzaïmnaia elektrohimitseskaia razmernnaia obrabotka detalei na peremennom toke. In "Elektronnaia obrabotka materialov" Nr. 2, 1976 p. 98
Fainman V.A.
- V.9. Volkov Iu.S. Osobennosti gidrodinamitseskogo rejima pri struinom elektrohimitseskom formovbraovanii. In "Elektronnaia obrabotka materialov" Nr. 1, 1976 p. 14
Soedrin O.P.
Mejeriţkii A.V.
- W.1. Weiner R. - Zur Charakterisierung mechanisch und anodisch polierter Metalloberflächen. In: Das Industrieblatt Nr. 8, 1962
- W.2. Weiner R. - Die galvanische Hartverchromung elektrolierter Metalloberflächen. In: Metall Nr. 1, 1963
- W.3. Williams A.L. - Rectificarea electrochimică. In La Machine Moderne, Franţa Nr. 715 octombrie 1968
- W.4. Wendt - Cartea maşinii de rectificat electrochimic /R.F.G/
- Z.1. Zenkov I.F. - Gidrodinamitseskie harakteristiki radiolinogo laminornogo potoka elektrolita v mezelektroodnom zazore. In Fizika i himia obrabotki materialov Nr. 6, 1969
- Z.2. Zaidman G.H. - Vlianie skorosti teceniia elektrolita na proţess elektrohimitseskoj razmernoi obrabotki. In Fizika i himia obrabotki materialov Nr. 6, 1968
Parşutin V.V.
Petrov Iu.H.
- Z.3. Zaidman G.H. - Vlianie gidrodinamitseskikh uslovii potoka elektrolita na proţess elektrohimitseskoj razmernoi obrabotki metallov. In Fizika i himia obrabotki materialov. Nr. 1, 1970
Moţialova G.L.
Petrov Iu.



- Z.4. Zaidman G.N. Paršutin V.V. Petrov Iu.N. - Raspredelenie toka v nejelektroдном promezjutke pri elektrohimiceskoi razmernoi obrabotke metallov. In: Fizika i himia obrabotki materialov. Nr. 1, 1970
- Z.5. Zakonov A.P. - Posekcionnaja elektrohimiceskaia obrabotka krupnogabaritnih detalei dvijučinsia elektriceskim polem. In "Elektronnaja obrabotka materialov" Nr. 6, 1973 p. 30-33
- Z.6. Zaharov Iu.B. Scerbakov L.M. - Ob odnom tocinom rešenii nestacionornoi zadaci polia v teorii formobrazovaniia pri elektrohimiceskoi obrabotke. In Fizika i himia obrabotki materialov. Nr. 5, 1968
- Z.7. Zaidman G.N. Loskutov A.I. - Rastvorenie hromistih stalei v usloviakh elektrohimiceskoi razmernoi obrabotki. In "Elektronnaja obrabotka materialov" Nr. 5, 1973 p. 18-22