

**INSTITUTUL POLITEHNIC TRAIAN VUIA
TIMISOARA**

Facultatea de Mecanică

ing. ZENOVIU LĂNCRĂNGEAN

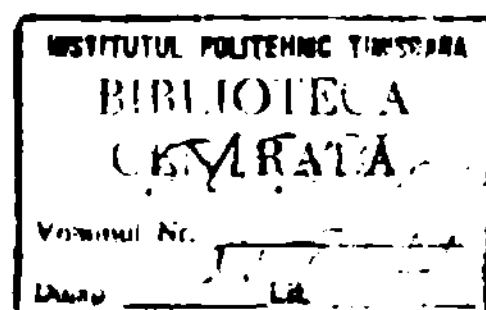
**„CONTRIBUȚII LA PRELUCRAREA
CORPURILOR DE REVOLUȚIE PRIN
EROZIUNE ELECTRICĂ COMPLEXĂ”**

**TEZA
pentru obținerea titlului
științific de doctor inginer**

Conducător științific:
Prof. dr. doc. șt. AUREL NANU

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

1986



INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA
FACULTATEA DE MECANICA

Z E N O V I U L A N C R A N G E A N

**"CONTRIBUTII LA PRELUCRAREA
CORPURILOR DE REVOLUTIE PRIN
EROSIUNE ELECTRICA COMPLEXA"**

TEZA

pentru obtinerea titlului stiintific de doctor inginer

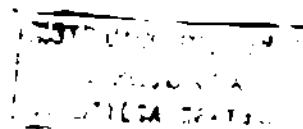
CONDUCATOR STIINTIFIC

Prof. dr. doc. ing. AUREL MANU

C U P R I N S

Introducere.....	Pag.
CAPITOLUL 1 Erozivitatea electrică complexă ca procedeu de prelucrare dimensională.....	1
1.1. Caracterul complex al agentului eroziv la prelucrarea prin eroziune electrică complexă.....	1
1.2. Domeniile de aplicare ale procedurii de prelucrare prin eroziune electrică complexă	5
1.3. Stadiul actual al cercetărilor privind prelucrarea prin eroziune electrică complexă a corpurilor de revoluție.....	4
CAPITOLUL 2 Sistemul de acțiune tehnologică în prelucrarea prin eroziune electrică complexă.....	7
2.1. Principiul prelucrării prin eroziune electrică complexă.....	7
2.2. Procesele elementare de eroziune electrică complexă.....	8
2.3. Caracteristicile tehnologice la prelucrarea prin eroziune electrică complexă.....	12
2.3.1. Caracteristici de productivitate....	12
2.3.2. Caracteristici de uzare a obiectului de transfer.....	13
2.3.3. Caracteristici de calitate a suprafețelor prelucrate prin EEC.....	13
2.4. Parametri și factori de determinare a caracteristicilor tehnologice la prelucrarea prin eroziune electrică complexă.....	15
2.4.1. Parametrii procesului de prelucrare prin EEC.....	16
2.4.2. Factorii care influențează procesul prelucrării prin EEC.....	18
2.5. Criterii și direcții de dirijare și diversificare a procesului de prelucrare prin EEC în cazul profilării și prelucrării corpurilor de revoluție.....	21

CAPITOLUL 3 Cercetări teoretice privind dezvoltarea fenomenelor fundamentale în dinamica procesului de prelucrare prin EEC a corpurilor de revoluție...	23
3.1. Fenomene fundamentale în spațiul de lucru la prelucrarea prin EEC în cazul conductelor singulare.....	23
3.2. Fenomene fundamentale în spațiul de lucru la prelucrarea prin EEC în condițiile prezenței contactelor multiple.....	32
3.3. Influența modificării structurii circuitului electric asupra procesului de prelucrare prin eroziune electrică complexă (R, L și C).....	36
3.3.1. Influența modificării structurii circuitului electric cu R și L asupra fenomenelor fundamentale în procesul prelucrării prin EEC.....	40
3.3.1.1. Cazul circuitului pur rezistiv.. (R).....	41
3.3.1.2. Cazul circuitului pur inductiv (L).....	43
3.3.2. Cazul circuitului pur capacitiv (C).	47
3.4. Influența modificării structurii circuitului electric cu parametri concentrați R, L sau C asupra principalelor caracteristici tehnologice.....	51
3.5. Influența reglării și stabilizării interstițiului de lucru asupra parametrilor procesului de prelucrare prin EEC.....	53
3.5.1. Considerații generale.....	53
3.5.2. Stabilirea condițiilor tehnologice și a parametrilor de reglare în procesele de profilare prin EEC a corpurilor de revoluție.....	54
3.5.3. Stabilirea principiilor și schemei de reglare în cazul prelucrării prin EEC a corpurilor de revoluție.....	58
3.5.4. Determinarea funcției de transfer a sistemului de reglare automat.....	60



3.5.5. Aspecte ale stabilității sistemului de reglare automată a avansului în cazul prelucrării corpurilor de revoluție prin EEC.....	65
CAPITOLUL 4 Studii și cercetări asupra dinamicii de generare a suprafețelor la prelucrarea prin EEC.....	71
4.1. Aspecte cinematice ale profilării corpurilor de revoluție.....	71
4.1.1. Generarea suprafețelor corpurilor de revoluție prin materializarea directoarei cinematice ca traiectorie a unui punct.....	71
4.1.2. Generarea suprafețelor corpurilor de revoluție prin materializarea directoarei cinematice ca înfășurătoare a unei curbe cinematice.....	72
4.2. Aspecte ale procesului eroziv în cazul generării suprafețelor profilate la corpurile de revoluție.....	73
4.2.1. Aspecte ale procesului eroziv în varianta generării suprafețelor profilate a corpurilor de revoluție prin materializarea directoarei cinematice ca traiectorie a unui punct.....	74
4.2.2. Aspecte ale procesului eroziv în varianta generării suprafețelor profilate a corpurilor de revoluție prin utilizarea unor curbe directoare rezultate ca înfășurătoare a unor curbe cinematice.....	76
4.2.3. Influența uzurii obiectului de transfer asupra modului de generare a suprafețelor profilate prin EEC.....	78
CAPITOLUL 5 Cercetări experimentale la prelucrarea prin EEC a corpurilor de revoluție.....	81
5.1. Structura utilajelor de prelucrare prin EEC.	82
5.1.1. Structura mașinilor de debitat prin EEC.....	83
5.1.2. Structura mașinilor proiectate pentru ascuțit și profilat prin EEC....	85

	Pag.
5.1.3. Structura mașinii proiectate pentru proiectarea prin EEC a corpurilor de revoluție.....	92
5.2. Sisteme de alimentare cu energie electrică utilizate la echiparea mașinilor de prelucrat prin EEC a corpurilor de revoluție...	97
5.2.1. Redresorul tip RSC - 400 utilizat ca sursă în prelucrările prin EEC..	97
5.2.2. Generatorul GES - 350 utilizat ca sursă în prelucrările prin EEC.....	98
5.3. Sisteme de reglare automată a avansului utilizate la echiparea mașinilor de prelucrat prin EEC.....	100
5.3.1. Schema de reglare automată a avansului la mașina de debitat și profilat lat prin EEC - MEC - 50.....	101
5.3.2. Sistem de comandă și reglare automată a avansului pentru mașini de debitat, profilat și ascuțit prin EEC..	103
5.3.3. Sistem de comandă și reglare automată a avansului în cazul mașinilor de profilat prin EEC a corpurilor de revoluție.....	104
5.4. Cercetări experimentale privind determinarea funcțiilor de răspuns la prelucrarea prin EEC a corpurilor de revoluție.....	109
5.4.1. Aspecte ale prelucrabilității carburilor metalice din sortul P prin eroziune JC - condițiile experimentării.....	109
5.4.2. Influența parametrilor primari asupra caracteristicilor tehnologice în cazul utilizării circuitelor electrice cu structură rezistivă....	114
5.4.3. Influența parametrilor primari asupra caracteristicilor tehnologice în cazul utilizării circuitelor electrice cu structură inductivă....	126
5.4.4. Influența parametrilor primari asupra caracteristicilor tehnologice în cazul utilizării circuitelor electrice cu structură capacitivă și inductiv-capacitivă.....	137

	Pag.
5.4.5. Model matematic privind determina- rea funcțiilor de răspuns în cazul prelucrării prin EEC a corpurilor de revoluție.....	141
5.4.5.1. Cazul circuitelor cu structură rezistivă.....	141
5.4.5.2. Cazul circuitelor cu structură inductivă.....	149
5.5. Aspecte metalurgice ale comportării carbu- rilor metalice din grupa P în cazul prelu- crării prin EEC.....	161
CAPITOLUL 6 Concluzii.....	167
Bibliografie.....	173

INTRODUCERE

În "Raportul la cel de-al XIII-lea Congres al Partidului Comunist Român", tovarășul Nicolae Ceaușescu a arătat că ridicarea nivelului tehnic al producției, îmbunătățirea continuă a tehnologiilor de fabricație și a calității produselor joacă un rol esențial în creșterea eficienței economice, preocupare centrală a Partidului. În aceste condiții se impune introducerea și aplicarea de procedee tehnologice noi, care să asigure îmbunătățirea continuă a calității produselor, creșterea productivității muncii, reducerea prețului de cost și mărirea volumului de producție, concomitent cu asigurarea reducerii consumurilor specifice de materiale și energie.

În sensul rezolvării acestor cerințe, prelucrarea prin eroziune electrică complexă, cunoscută și sub denumirea de prelucrare "anodo - mecanică", constituie unul din procedeele posibile de aplicat în practica industrială, recomandată fiind de prezența următoarelor avantaje:

- prelucrabilitatea ridicată și practic independentă de proprietățile mecanice ale materialelor electroconductoare excesiv de dure, fragile sau refractare;

- diversitatea mare a operațiilor tehnologice posibile de realizat la produse cu o gamă largă dimensională;

- lipsa solicitărilor mecanice, fapt ce permite utilizarea în construcția obiectelor de transfer a materialelor electroconductoare ușor prelucrabile;

- prin schema principală și constructivă relativ simplă oferă largi posibilități de realizare a unor astfel de utilaje prin autodețare.

Pentru valorificarea superioară a ei și pentru dezvoltarea procedurii de prelucrare se impune aprofundarea cercetării fundamentale în scopul elucidării mecanismelor fizice a fenomenelor

și proceselor elementare de eroziune, stabilirea legilor de interdependență dintre parametri și caracteristicile tehnologice, diversificarea gamei operațiilor tehnologice, precum și a celei aplicative privind reducerea consumurilor specifice energetice și de materiale prin dirijarea și autosatizarea procesului în scopul explorației domeniilor de opți, reducând astfel cheltuielile de fabricație.

În lumina acestor considerații, prezenta lucrare de doctorat structurată pe 6 capitole, desfășurate pe 182 pagini cu 20 tabele 137 figuri, 3 programe de calcul și 137 referiri bibliografice din care un număr de 21 aparțin autorului, și-a propus să contribuie din punct de vedere teoretic și aplicativ la lămurirea unor aspecte încă neelucidate în literatura de specialitate legate de generarea suprafețelor corpurilor de revoluție prin eroziune electrică complexă în condițiile utilizării circuitelor electrice cu structură modificată cu parametri concentrați R, L sau C.

În prima parte (cap.1 și 2) după o succintă prezentare a locului, a domeniilor de utilizare și a perspectivelor actuale de dezvoltare a procedurii de prelucrare prin eroziune electrică complexă, se prezintă într-un mod sistematizat cunoștințele fundamentale acumulate în literatura de specialitate cu privire la dezvoltarea proceselor elementare de eroziune electrică complexă. În subcapitolele 2.3 și 2.4 a capitolului 2, într-o viziune originală se realizează clasificarea caracteristicilor tehnologice și parametri și factorii determinanți ai acestora prin definirea unor criterii de departajare în scopul unificării și uniformizării sistemelor de referință în prelucrarea prin eroziune electrică complexă.

Capitolul 3 însumează cercetările teoretice, prezentate sub aspecte noi, neînflaite în literatura de specialitate, privind dezvoltarea fenomenelor fundamentale în dinamica procesului de prelucrare prin eroziune electrică complexă a corpurilor de revoluție. Tratatul se face prin prisma "teoriei contactelor electrice" pentru cazurile microcontactelor singulare și multiple, elaborându-se legile și expresiile matematice caracteristice proceselor elementare și interdependenței dintre parametri și factorii procesului cu caracteristicile tehnologice finale.

Modificarea structurii circuitelor electrice prin utilizarea parametrilor concentrați R, L sau C se abordează prin studiul desfășurării fenomenelor fundamentale și a proceselor elementare în dinamica proceselor tranzitorii, prin evidențierea legăturilor

și a corelațiilor ce se stabilesc între parametrii și factorii determinanți ai procesului eroziv și caracteristicile tehnologice.

În scopul determinării condițiilor de dirijare și optimizare a procesului eroziv, se studiază influența pe care reglarea și stabilizarea interstițiului tehnologic de lucru o produce asupra parametrilor în scopul prelucrării prin eroziune electrică complexă a corpurilor de revoluție.

Capitolul 4 cuprinde cercetările autorului privind studiul posibilităților de generare a suprafețelor corpurilor de revoluție, analizate sub aspectul cinematicii, al dezvoltării și stabilității procesului eroziv, concretizându-se pentru prima dată schema cinematică de prelucrare a corpurilor de revoluție prin eroziune electrică complexă, stabilind legătura determinantă dintre precizia reproducerii formei obiectului de transfer și dintre parametrii și factorii caracteristicii procesului eroziv.

Capitolul 5 însumează întreaga cercetare experimentală, prin care s-au evidențiat și rezolvat următoarele aspecte principale:

- în subcapitolul 5.1 se stabilesc schemele structurale și cele cinematice pentru mașinile de prelucrare prin eroziune electrică complexă MEC-50 și MEC-75 precum și pentru cea destinată prelucrării corpurilor de revoluție, mașini realizate practic de "Catedra de Tehnologie mecanică" din cadrul Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, pe baza contractelor de cercetare științifică, încheiate cu "Întreprinderea Mecanică Timișoara" și "Întreprinderea de Construcții de Mașini" Caransebeș. O variantă a mașinii MEC-50 se construiește în serie mică în "Atelierul de prototipuri și microproducție" al Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara;

- în subcapitolul 5.2 sînt prezentate caracteristicile surselor de alimentare cu energie electrică, a spațiului de lucru, evidențiindu-se posibilitățile utilizării drept surse în cazul prelucrării prin eroziune electrică complexă a generatoarelor GES-350 și redreseazărilor trifazice REC-400, destinate sudării și aflate în fabricație curentă în țară;

- în subcapitolul 5.3 sînt concentrate rezultatele experimentale obținute în concretizarea schemelor de comandă și reglare automată a avansului, scheme utilizate la echiparea mașinilor de eroziune electrică complexă construite;

- în subcapitolul 5.4 se determină funcțiile de răspuns în cazul prelucrării corpurilor de revoluție constituite din carturile metalice ale grupeii de utilizare P (10, 20, 30 și 40) în

condițiile determinate de circuitele electrice cu structură rezistivă, inductivă, capacitivă sau complexă. Funcțiile de răspuns sînt analizate prin prisma corelării parametrilor și factorilor procesului cu caracteristicile termofizice ale sorturilor de materiale prelucrate, determinîndu-se modelele matematice utile în stabilirea tehnologiilor optime de prelucrare;

- în subcapitolul 3.5 se prezintă aspectele metalografice ale compactării carburilor metalice din grupa de utilizare P, la prelucrarea prin eroziune electrică complexă în cazul utilizării circuitelor electrice cu structură modificată;

În capitolul 6, destinat concluziilor se prezintă principalele contribuții originale aduse în domeniul cercetării fundamentale și al celei aplicative.

Autorul ține să exprime, și pe această cale, întreaga sa gratitudine față de conducătorul științific, prof.dr.dos.ing. AUREL RANU pentru competența cu care l-a îndrumat cît și a ajutorului acordat cu multă generozitate pe toată perioada acestei lucrări. De asemenea mulțumește tuturor colegilor din colectivul Catedrei Tehnologie mecanică cît și din alte colective ale Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara pentru ajutorul dat în documentare sau în realizarea unor cercetări de specialitate, precum și celor din Întreprinderea Mecanică Timișoara și a Întreprinderii de Construcții de Mașini Caransebeș care au participat alături de colectivul Catedrei de Tehnologie mecanică la realizarea mașinilor de prelucrare prin eroziune electrică complexă.

CAPITOLUL 1

EROZIUNEA ELECTRICA COMPLEXA CA PROCESU DE PRELUCRARE DIMENSIONALA

1.1. Caracterul complex al agentului eroziv la pre- lucrarea prin eroziune electrică complexă

Prelucrarea prin eroziune este o metodă tehnologică de fi-
nalitate, bazată pe distrugerea integrității și prelevarea
materialului excedentar (adaos de prelucrare) de pe suprafața unui
semifabricat.

Prelevarea de material în prelucra-
rea prin eroziune este consecința dez-
voltării unor procese fizico-chimice
specifice, predominant termice, chimice
și mecanice, rezultată în urma interac-
țiunii unui agent eroziv (agent eroziv=
sistem fizico - chimic complex capabil
să cedeze energie sistemelor ambiante)
cu obiectul supus eroziunii fig.1.1.
[74, 75, 76, 87].

Clasificarea procedeelor de prelu-
crare se poate efectua după mai multe
criterii ca:

- natura agentului eroziv;
- natura energiei distructive;
- fenomenul fundamental etc.

Fig.1.1. Interacțiunea
agent eroziv -
obiectul eroziunii

În fig. 1.2. se prezintă clasificarea procedeelor de prelucra-
re prin eroziune după natura agentului eroziv [75].

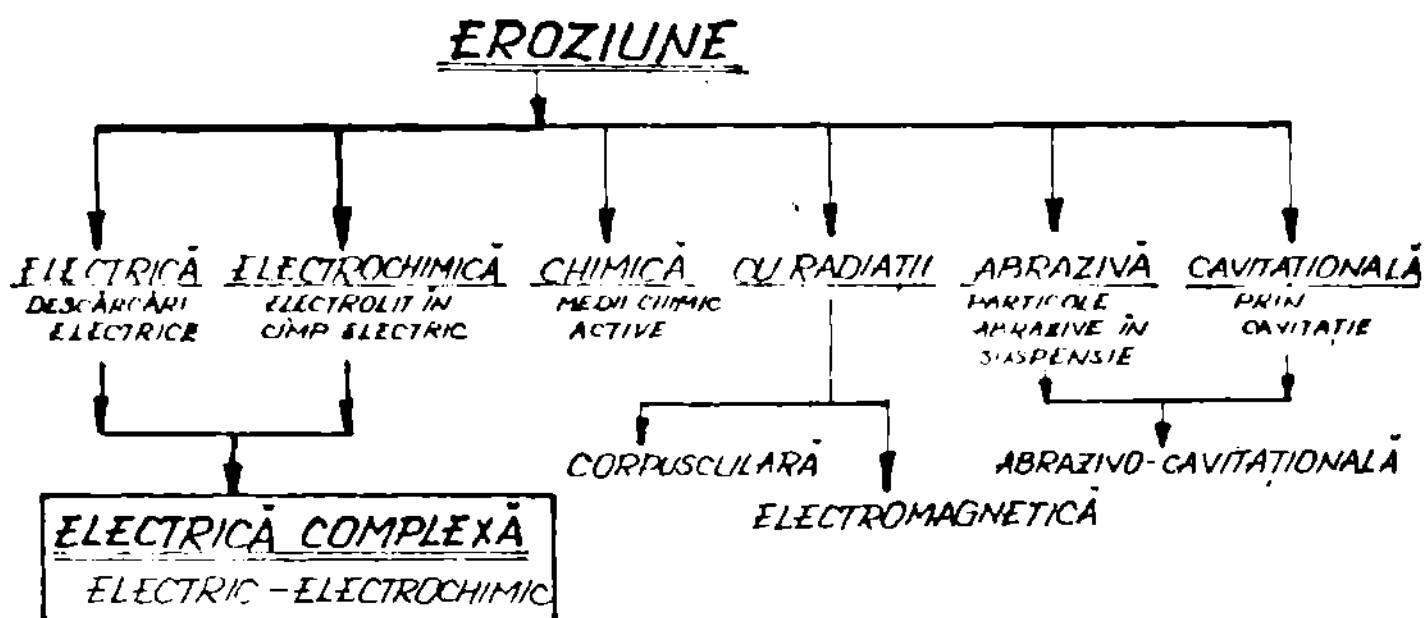


Fig.1.2. Principalele forme de eroziune

Din fig.1.2. rezultă că prelucrarea prin eroziune electrică complexă reunește două procedee de prelucrare prin eroziune complet distincte din punct de vedere al agentului eroziv: eroziunea electrică și eroziunea electrochimică.

Pentru ca cele două procedee de prelucrare să se dezvolte simultan, spațiul de lucru trebuie să asigure condiții corespunzătoare atât procesului elementar de dizolvare anodică cât și proceselor elementare de prelevare sub acțiunea termică dezvoltată de descărcările electrice în impuls. Aceste condiții sînt asigurate prin utilizarea unor anumiți electroliți cu proprietăți specifice [31, 96, 98, 106] ce formează pelicule pasive viscoase pe suprafața anodului; activarea anodului se realizează prin îndepărtarea forțată mecanică a peliculei pasive, la nivelul virfurilor micro-asperităților.

Desfășurarea simultană în timp și diferențiată în spațiu a celor două procese elementare, are drept consecință eroziunea preferențială a anodului (denumit în continuare obiect supus prelucrării OP) și în mai mică măsură a catodului (denumit în continuare - obiect de transfer - OT), OT-ul avînd rolul localizării micro și macroscopice a prelucrării [1, 3, 4, 19, 28, 31, 40, 76, 98, 104] etc.

Prin dirijarea corespunzătoare a penderii unuia din cele două procese elementare se pot asigura cu ușurință condițiile necesare obținerii unor game largi și diversificate de prelucrări tehnologice.

1.2. Domeniile de aplicare ale procedurii de prelucrare prin eroziune electrică complexă (EEC)

Prelucrarea prin eroziune electrică complexă își găsește o aplicare avantajoasă din punct de vedere tehnico-economic în diferite ramuri ale industriei. În fig.1.3. se prezintă o clasificare a principalelor operații ce se pot realiza în cadrul proceselor de prelucrare prin eroziune electrică complexă [31, 76, 98, 104].

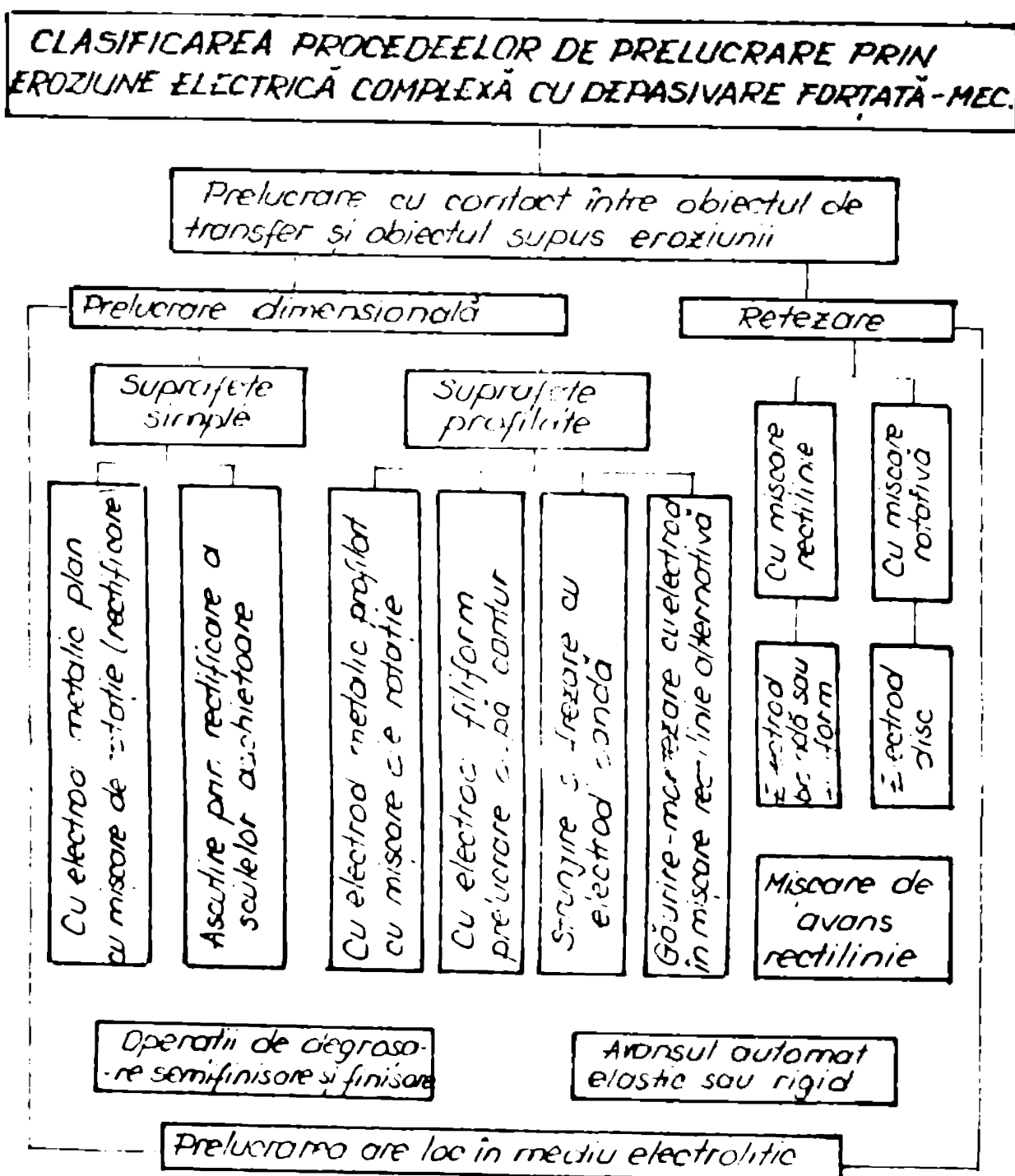


Fig.1.3. Operații de prelucrare prin EEC

Cele mai semnificative domenii de aplicabilitate ale procedurii de prelucrare prin EEC sînt:

- prelucrarea unor materiale cu proprietăți fizico-chimice

excepționale cum ar fi: materialele cu durități foarte mari, tratate termic, cu plasticitate redusă, cu refractaritate ridicată, rezistente la coroziune etc., greu sau imposibil de prelucrat prin metode clasice [87, 26, 44, 100, 8].

- debitarea semifabricatelor de diferite profile [23, 54, 55, 78, 5];

- realizarea unor piese cu configurații geometrice complexe, într-o gamă largă de dimensiuni din materiale greu prelucrabile [31, 43, 44, 69, 74];

- modificarea proprietăților structurale pe suprafețele produsului prelucrat concomitent cu modificarea feracii acestuia [51, 60, 75, 78, 102];

- debitarea, reconstrucționarea și ascuțirea sculelor așchietoare sau reconstrucționarea diferitelor organe de mașini [47, 48, 53, 59, 85, 4, 113];

- profilarea și decuparea cu electrod filiform [51, 6, 78, 7, 80, 85];

- debravurarea pieselor turnate din oțeluri speciale [21, 70, 84, 111, 126];

- ascuțirea sculelor așchietoare placate cu carburi metalice [48, 52, 72, 85, 100, 113];

- prelucrarea fantelor în materiale rezistente la coroziune [86]

Ținând cont de posibilitățile reale de aplicare în practica industrială a procedeelor de prelucrare prin EEC, în condițiile creșterii semnificative a producției și utilizării de materiale cu proprietăți fizico-chimice ridicate, se impune aprofundarea cercetărilor teoretico-experimentale și extinderea ariei de răspundere industrială a instalațiilor de prelucrare în domeniile mai sus amintite cât și în altele noi, oferind industriei noi tehnologii de prelucrare.

1.3. Stadiul actual al cercetărilor privind prelucrarea prin eroziune electrică cauzată a scurăturilor de revoluție

Prelucrarea prin eroziune, ca metodă tehnologică de prelucrare dimensională, fiind relativ nouă, se poate impune în practica industrială în măsura în care asigură următoarele cerințe:

- cunoașterea și elucidarea fenomenelor fundamentale, permițându-se dirijarea, optimizarea și automatizarea procesului prelucrării;

- o diversificare largă a procedeelor și operațiilor de prelucrare;

- consumuri energetice scăzute;
- productivități mari obținute mai ales în cazul prelucrării materialelor cu caracteristici termo-fizice și mecanice ridicate;
- simplitate constructivă etc.

Privită sub aceste aspecte, prelucrarea dimensională prin eroziune electrică complexă răspunde în mare măsură imperative-
lor mai sus amintite, fără a avea însă răspîndirea industrială
cel puțin apropiată de a celorlalte procedee de prelucrare prin
eroziune (electrică, electrochimică etc) [28, 68, 83, 99, 104].

Această situație este determinată de mai multe cauze, din-
tre care cele mai importante sînt:

- majoritatea cercetărilor efectuate pînă în prezent sînt
unilaterale în sensul că urmăresc corelația sau interdependența
dintre anumiți parametri ai procesului și a caracteristicilor
tehnologice de bază, fără a-i lega de esența fizică a fenomene-
lor ce au loc în proces, limitînd domeniul de aplicare [3, 4, 27,
31, 38, 40, 58, 96, 98] ;

- un număr important de cercetări tratează aspecte parti-
culare ale prelucrabilității unor materiale în funcție de opera-
ția de prelucrare, cu evidențierea unui număr restrîns de para-
metrii, rezultatele neputîndu-se generaliza sau reproduce în une-
le cazuri din lipsa explicită a tuturor condițiilor de experimen-
tare ori a evidențierii unor măriri cantitative nesemnificative
[40, 71, 73, 93, 99] ;

- un alt grup de lucrări și nu puțin numeroase tratează în
special problema domeniului și a modului de exploatare a utilaje-
lor fabricate în serie mică sau unicate, considerînd fenomenele
fundamentale cu rol secundar în utilizarea acestora [3, 22, 23,
30, 31] ;

- suplimentar se evidențiază o rețineră în aplicarea indus-
trială a procedurii de prelucrare prin eroziune electrică cou-
plexă din cauza greutăților pe care le creează mediul de lucru
prin aderența sporită față de suprafețele obiectelor cu care vine
în contact, necesitînd operații suplimentare de spălare.

Cu toate aceste neajunsuri, un număr restrîns de cercetă-
tori au efectuat o analiză profundă și documentată dar care în
studiile și cercetările lor se ocupă fie de evidențierea esenței
fizico-chimice a fenomenelor fundamentale ce au loc în desfășura-
rea și dezvoltarea procesului de prelucrare, evitînd sau neținînd
cont de influența pe care o exercită ceilalți factori electrici

și mecanici dependenți de natura caracterului electric al circuitului de lucru [52, 53, 60, 71, 72, 78, 82, 85] ; fie în tendința de a corela fenomenele fundamentale ale procesului cu parametri tehnologici, enunță legile de bază ce determină procesul prelucrării, fără a creșea posibilitatea aplicării lor în practică din cauza unui număr ridicat de coeficienți a căror valoare este greu sau imposibil de determinat, cu atât mai mult cu cât, unii dintre acești coeficienți sînt dependenți de condițiile concrete ale prelucrării, în funcție de material, operație, tip de mașină etc., ceea ce împiedică utilizarea și generalizarea acestor legi, ele rămînînd cu importanța lor calitativă [73, 104, 127].

În cadrul catedrei de tehnologie mecanică a Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara s-au efectuat studii și cercetări sistematice și aprofundate [73, 104] evidențiind legătura dintre esența fizico-chimică a fenomenelor fundamentale și factorii tehnologici semnificativi ai procesului, permițînd enunțarea legilor de bază ce guvernează procesul prelucrării în cazul operațiilor de debitare sau ascuțire. În domeniul prelucrării corpurilor de revoluție prin EEC literatura de specialitate [15, 31, 76, 88] prezintă doar câteva scheme de principiu fără nici o argumentare teoretică sau practică, datele experimentale sau utilajele de prelucrare lipsînd cu desăvîrșire.

Pentru diversificarea gamei de operații tehnologice cit și pentru a elucidă influența naturii caracterului electric al circuitului de lucru asupra fenomenelor fundamentale și a factorilor tehnologici în cazul profilării sculelor așchietare și a prelucrării corpurilor de revoluție prin EEC, se impune efectuarea unor serii de studii și cercetări pe grupe de materiale din această clasă, evidențiind posibilitățile de prelucrare a corpurilor de revoluție, dirijarea, automatizarea și optimizarea procesului de prelucrare în condițiile realizării unor utilaje adecvate desfășurării stabile a prelucrării, probleme ce se propun a fi rezolvate în prezenta lucrare.

CAPITOLUL 2

BAZELE FIZICO-CHIMICE SI TEHNOLOGICE ALE PRELUCRARIII PRIN EROZIUNE ELECTRICA COMPLEXA

2.1. Principiul prelucrării prin eroziune electrică complexă

Prelucrarea dimensională prin EEC se bazează pe dezvoltarea simultană a proceselor de dizolvare anodică și a descărcărilor electrice în impuls în spațiul delimitat de obiectul de transfer (OT) conectat la borna negativă a sursei de alimentare cu curent continuu și de obiectul supus prelucrării (OP) conectat la borna pozitivă a aceleiași surse. Între cele două obiecte se introduce un electrolit cu proprietăți speciale, care în prezența câmpului electric generează o serie de procese fizice și chimice, dintre care o parte duc la erodarea progresivă a obiectului supus prelucrării iar altele determină formarea peliculei pasivatoare, de se depune pe suprafața anodului fig.2.1. [22, 31, 99, 104, 113].



Fig.2.1. Schema de principiu a prelucrării prin EEC

Continuitatea procesului de dizolvare anodică se realizează prin acțiunea mecanică a OT, ce se deplasează tangențial pe suprafața OP cu viteza v_r asigurând și presiunea de contact P. Sub această acțiune mecanică, pelicula pasivă este îndepărtată la nivelul vîrfurilor micro-asperităților creîndu-se condițiile apariției descărcărilor electrice în impuls, astfel încît desfășu-

rarea procesului de prelevare a materialului prin EEC este consecința prelucrării prin eroziune electrică și a prelucrării prin eroziune electrochimică cu depasivare mecanică.

Prin modificarea corespunzătoare a energiei electrice în-

troduse în spațiul de lucru, se poate modifica proporția de participare la îndepărtarea surplusului de material a unuia din procesele elementare de eroziune, asigurându-se astfel obținerea caracteristicilor tehnologice impuse [27, 31, 74, 78, 99, 100, 103, 114] .

În general, la nivele energetice scăzute ponderea în procesul prelucrării este deținută de procesul de dizolvare anodică care asigură suprafeței prelucrate calității și precizii dimensionale superioare iar la nivele energetice ridicate ponderea în prelucrare o deține procesul de eroziune, ce asigură productivități ridicate, în defavoarea preciziei și calității suprafeței prelucrate.

2.2. Procese elementare de eroziune electrică complexă

În cazul prelucrării prin EEC, în spațiul de lucru, privit la nivelul microasperităților și delimitat de cele două obiecte - de transfer și cel supus prelucrării - se produc următoarele procese elementare de eroziune:

a.) Prin conectarea celor două obiecte la bornele sursei de alimentare cu curent continuu, în prezența mediului de lucru ML cu proprietăți electroconductoare, între cele două suprafețe se stabilește un câmp electric de intensitate E . Sub acțiunea forțelor câmpului electric, $F = (qE)$ în soluția de electrolit mișcarea dezordonată a ionilor se întrerupe și se declanșează o mișcare ordonată soldată cu transportul ionilor spre cei doi electrozi. Ioni pozitivi R_A^+ migrează spre catod iar cei negativi R_B^- spre anod fig.2.2.a, asigurându-se astfel conductibilitatea soluției de electrolit și transportul sarcinilor electrice [63, 104, 108, 112] .

În urma proceselor anodice de decristalizare, transfer de sarcină, transport de substanță, reacții chimice etc., pe suprafața anodului apare o peliculă de mare rezistență mecanică și cu bune proprietăți dielectrice, a cărei grosime variază, în sensul creșterii ei de la nivelul vîrfurilor microasperităților spre baza acestora. Această peliculă poartă denumirea de peliculă pasivă sau pasivantă și a cărei grosime la un moment dat poate determina oprirea procesului de dizolvare anodică, provocînd pasivarea mecanică a anodului.

Pentru a se asigura continuitatea procesului de dizolvare se impune îndepărtarea peliculei pasivizatoare, ceea ce se realizează prin acțiunea mecanică exercitată de obiectul de transfer

ce este cauzată de mișcare de deplasare tangențială la nivelul suprafețelor de contact cu viteza v_p , concomitent cu asigurarea unei presiuni în punctele de contact fig.2.2.b.

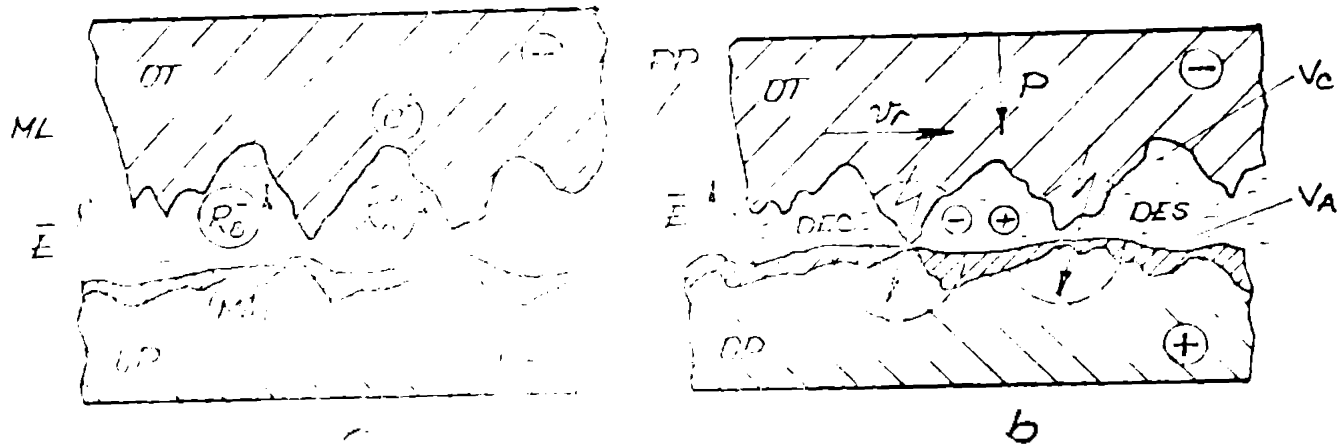


Fig.2.2. Procesul prelucrării prin eroziune electrică complexă

a. - procesul de dizolvare; b. - procesul de eroziune electrică; OT - obiect de transfer; OP - obiect supus prelucrării; ML - mediu de lucru; PP - peliculă pasivantă; E - câmp electric exterior; R_A^+ , R_B^- - ioni electrolitului uni-univalent; M_0^+ - ion metalic ce interacționează cu ionul negativ al electrolitului sub acțiunea câmpului electric; e - sarcina electrică a electrolitului ce neutralizează ionul pozitiv al electrolitului; DEC - descărcare electrică prin rupere de contact metalic; DES - descărcare electrică prin străpungere; V_A - microvolum erodate prin descărcare electrică din anod; A - microasperitate; V_C - microvolum erodat prin descărcare electrică din catod.

În acest mod sub acțiunea mecanică a obiectului de transfer la nivelul microasperităților se realizează îndepărtarea forțată a peliculei pasivizante, creându-se condițiile apariției proceselor de eroziune electrică prin deconșurarea descărcărilor electrice în impuls.

b.) Descărcările electrice în impuls dezvoltându-se la nivelul microasperităților, creează apariția fenomenelor termice, ce determină topirea explozivă a unor microvolum de material, V_A mai mari la anod și V_C mai mici la catod, asigurând astfel prelevarea de material și noi suprafețe destinate procesului de dizolvare.

Descărcările electrice în impuls, prezente în spațiul de

lueru, între cele două obiecte în condițiile existenței peliculei pasive, a dizolvării anodice a filmului de electrolit cit și a cantităților mai mari sau mai mici de produse ale eroziunii aflate în suspensie, se pot genera fie prin ruperea contactelor metalice (DEC) parcurse de curent, fie prin străpungere (DES) [76, 104, 130] .

Prin efectul mecanic realizat de obiectul de transfer la nivelul virfurilor microasperităților obiectului supus prelucrării, dacă pelicula pasivantă este îndepărtată complet astfel încât între două microasperități una de pe OT și una de pe OP se realizează un contact metalic de scurtă durată prin care se stabilește trecerea curentului electric, la întreruperea acestuia va apărea o descărcare electrică în impuls prin rupere de contact metalic. În cazul în care pelicula pasivantă nu este îndepărtată complet de pe virful microasperității pot apărea descărcări electrice în impuls prin străpungere, datorate diminuirii rigidității dielectrice a peliculei, fie din cauza micșorării grosimii, fie din cauza conținutului ridicat de impurități electroconductoare [44, 103, 104, 115] .

Fenomenul unor descărcări electrice în comparație cu celelalte, nu poate fi înțeles stabilită, nici teoretic, nici practic, ele fiind consecința unui proces aliter ce se dezvoltă concomitent în mai multe puncte pe suprafața de contact a celor două obiecte acolo unde condițiile locale fizico-chimice sînt propice desfășurării lor [31, 98, 103, 104, 124] .

Prin descărcările electrice emersate între cele două obiecte la nivelul microasperităților se asigură^{în} canalele descărcărilor densități de curent de ordinul a 10^3-10^5 A/cm² cu durate cuprinse între 10^{-3} și 10^{-5} s, ceea ce constituie caracteristicile unor impulsuri de curent capabile să dezvolte efecte termice, a căror temperaturi sînt de ordinul 10^4-10^5 K, provocînd topirea și vaporizarea explozivă a micropunților metalice, concomitent cu dezvoltarea unor procese termice de descompunere și degradare a electrolitului [3, 51, 67, 125] .

În aceste condiții în locul microvolumelor asperităților afectate termic vor apărea cratere care în prezența cîmpului electric și a electrolitului vor fi supuse în continuare procesului de dizolvare anodică și de formare a peliculei pasivante.

Pelicula pasivantă deține un rol important în mecanismul prelevării prin eroziune electrică complexă, ea fiind elementul de reglare și stabilizare a procesului de prelucrare [104] . Pe tot

parcursul prelucrării, parametrii electrici și mecanici pot fi modificați în limite largi, dar astfel înseamnă că viteza de îndepărtare a peliculei pasive formate să fie egală cu viteza de îndepărtare a peliculei pasive îndepărtate. Menținerea acestui echilibru dinamic în timpul procesului de prelucrare determină stabilitatea procesului și menținerea parametrilor tehnologici constanți. Orice dezechilibru se resimte în proces și se reflectă amplificat în caracteristicile suprafeței obiectului supus prelucrării [3, 31, 36, 67, 116, 125].

Prin modul de generare și desfășurare a proceselor elementare de eroziune, prelucrarea prin eroziune electrică complexă se deosebește net de celelalte procedee de eroziune, asigurând obținerea unor cantități mult mai mari de material prelevat, în anumite condiții atingându-se chiar $6000-7000 \text{ cm}^3/\text{min}$ [31, 89, 104, 115].

La prelucrarea prin eroziune electrică complexă, asigurarea caracteristicilor tehnologice impuse se realizează prin modificarea corespunzătoare a parametrilor electrici și mecanici ce acționează direct asupra energiei impulsurilor de curent și asupra ponderii unuia din procesele elementare de eroziune.

Cum majoritatea materialului îndepărtat din OP se realizează prin intermediul impulsurilor de curent, adică a descărcărilor electrice, înseamnă că efectul termic este preponderent în prelucrare. Prezența fenomenului termic ca mecanism preponderent de îndepărtare a surplusului de material, determină apariția unor modificări în structura stratului de suprafață a OP, strat în care sunt prezente și microfisuri [72, 101, 104, 117]. Grosimea acestui strat și prezența microfisurilor se poate diminua printr-o conducere corespunzătoare a procesului de prelucrare, în care în faza finală, se asigură condițiile desfășurării cu precizie a procesului de dizolvare anodică, obținându-se o înaltă calitate a suprafeței prelucrate și precizii de prelucrare deosebite [62, 104].

Bilanțul global al modificărilor produse în procesul de prelucrare prin EEC se evidențiază prin intermediul caracteristicilor tehnologice.

2.3. Caracteristicile tehnologice la prelucrarea prin eroziune electrică complexă

Desfășurarea proceselor fizico-chimice și mecanice din spațiul de lucru în prelucrarea prin SEC, afectează atât OP cât și OT, producând o serie de modificări masice, geometrice, de structură etc. În acceptul mării majorități a cercetătorilor din acest domeniu [31, 99, 103, 104] se consideră drept caracteristici tehnologice acele variabile ce exprimă cantitativ și calitativ transformările suferite de cele două obiecte în urma procesului de prelucrare.

Evidențierea modificărilor suferite de obiectul supus prelucrării se estimează prin:

- caracteristicile de productivitate
- caracteristicile de precizie dimensională
- caracteristicile de calitate a suprafeței

iar pentru modificările suferite de OT prin:

- caracteristicile de uzare.

2.3.1. Caracteristicile de productivitate

Principalele măriri cu care se apreciază cantitativ eroziunea la OP sînt:

- volumul prelevării totale V_{OP} mărime absolută, determinată de volumul mediu al craterelor elementare v_{EP} , frecvența impulsurilor f_{EP} și timpul prelucrării t , cât și de volumul mediu de material îndepărtat prin dizolvare la nivelul suprafeței unui crater v_{DP} realizat în urma unei descărcări în impuls:

$$V_{OP} = (v_{EP} + v_{DP}) \cdot f_{EP} \cdot t = \frac{m_{OP1} - m_{OP2}}{\rho_{OP}} \quad [\text{mm}^3]; \quad (1)$$

unde m_{OP1} , m_{OP2} sînt masa OP înainte și după prelucrare iar ρ_{OP} densitatea materialului OP;

- productivitatea prelucrării sau debitul prelevării Q_{OP} care măsoară volumul de material îndepărtat în unitatea de timp

$$Q_{OP} = (v_{EP} + v_{DP}) f_{EP} = \frac{V_{OP}}{t} \quad [\text{mm}^3/\text{min}]; \quad (2)$$

- productivitatea specifică a prelevării q_{SOP} , care caracterizează eficiența energetică a prelucrării

$$q_{SOP} = \frac{Q_{OP}}{I_m} \quad [\text{mm}^3/\text{A min}]. \quad (3)$$

unde I_m este valoarea medie a intensității curentului de lucru.

În multe cazuri experimentale, în locul volumului prelevării se utilizează "masa prelevării totale" exprimată în [g] urmînd ca și restul mărimilor să fie exprimate corespunzător în [g/min] și [g/A.min].

2.3.2. Caracteristici de uzare a obiectului de transfer

Mărimile ce caracterizează transformările ce se produc la obiectul de transfer, în procesul prelucrării se definesc în mod similar ca și cele de la OP:

V_{OT} - volumul uzării totale determinat de volumul mediu v_{ET} uzat din obiectul de transfer la fiecare descărcare în impuls, de frecvența acestora f_{EP} și de timpul de lucru:

$$V_{OT} = v_{ET} \cdot f_{EP} \cdot t = \frac{m_{OT1} - m_{OT2}}{\rho_{OT}} \quad [mm^3] \quad (4)$$

în care: m_{OT1} , m_{OT2} sînt masa obiectului de transfer înainte și după prelucrare;

ρ_{OT} - densitatea materialului obiectului de transfer;

Q_{OT} - debitul uzării, care reprezintă volumul de material uzat în unitatea de timp de la obiectul de transfer;

$$Q_{OT} = v_{ET} \cdot f_{EP} = \frac{V_{OT}}{t} \quad [mm^3/min] \quad (5)$$

q_{OT} - debitul specific al uzării, ce reprezintă volumul de material îndepărtat din obiectul de transfer în unitatea de timp sub acțiunea unui curent mediu de 1A :

$$q_{OT} = \frac{Q_{OT}}{I_m} \quad [mm^3/A.min] \quad (6)$$

$u\%$ - uzura relativă volumetrică, măsoară procentual volumul de material uzat din obiectul de transfer pentru prelevarea unității de volum din piesă:

$$u = \frac{V_{OT}}{V_{OP}} \cdot 100 = \frac{Q_{OT}}{Q_{OP}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7)$$

2.3.3. Caracteristicile de calitate a suprafețelor prelucrate prin eroziune electrică complexă

Suprafața prelucrată prin EEC a OP este determinată din punct de vedere calitativ de aspectul microgeometric (rugozita-

tea suprafeței) și cel fizic (structura și proprietățile stratului de suprafață), caracteristici de altfel utilizate în toate prelucrările dimensionale.

Rugozitatea suprafețelor se definește ca și la aşchiere prin totalitatea micronegularităților observate pe lungimea porțiunii alese drept lungime de bază pentru măsurare. Rugozitatea se apreciază prin:

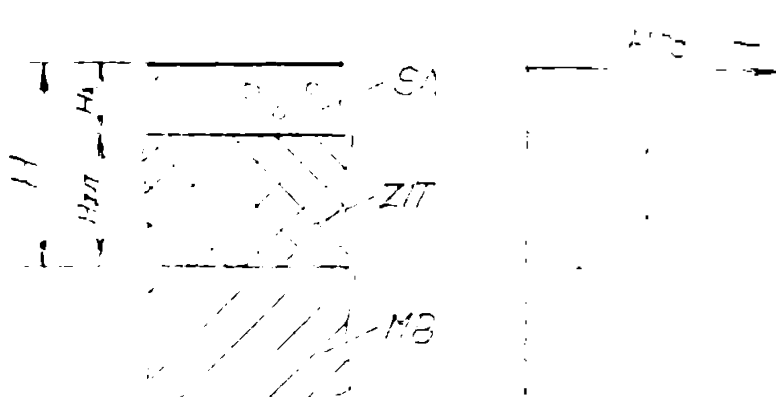
- înălțimea micronegularităților, măsurată prin unul din criteriile cunoscute: R_{max} - înălțime maximă
- R_z - înălțime medie și
- R_a - abatere medie aritmetică a profilului real față de linia mijlocie.

La prelucrarea prin EEC forma microreliefului este provenită din suprapunerea efectului produs de descărcările electrice în impuls ce favorizează apariția craterelor succesive de eroziune cu grad de neomogenitate mare al asperităților și de efectul procesului de dizolvare ce tinde să uniformizeze (să netezească) înălțimea acestor asperități. Este evident că înălțimea acestora este dependentă direct de ponderea celor două procese elementare în prelucrare cât și de energia termică dezvoltată în descărcare. Din acest motiv rugozitatea suprafețelor prelucrate prin EEC este dependentă de factorii și parametrii ce dirijează dezvoltarea proceselor elementare din spațiul de lucru, alături ce sînt dezvoltate în paragraful următor.

Structura tipică, determinată de procesele elementare prin EEC în straturile de suprafață ale materialului supus prelucrării (OT) prezintă două straturi distincte față de structura metalului de bază fig.2.3.

- un strat alb de adîncime H_A , constituit în majoritate din materialul de bază topit și resolidificat pe suprafață după ce în faza lichidă au difuzat elemente provenite din materialul OT, din produsele de descompunere ale mediului de lucru și din compuși rezultați din procesele de dizolvare [24, 31, 38, 51, 60, 77, 107 113] ;

- un substrat de adîncime H_{ZIT} , corespunzător zonei modificate termic prin transformări în stare solidă cu posibilitatea obținerii structurilor de revenire la metalele anterior călitate și a structurilor de călire la cele necălitate.



- SA - strat alb
- ZIT - zonă influențată termic
- MB - material de bază
- H_{RC} - duritate Rockwell pe scara C
- H - adâncimea stratului de material

Fig.2.3. Structura stratului de suprafață la un oțel călit prelucrat prin EEC

În general în stratul alb apar și amorse de fisuri transversale cu frecvența mai mare în cazul prelucrării cu regișuri de degresare (dure) și mai ales în cazul prelucrării materialelor fragile și a aliajelor dure. Pentru aceste cazuri adâncul de prelucrare trebuie să fie mai mare decât adâncimea stratului fisurat, pentru ca în operațiile de finisare microfisiurile să fie complet sau aproape complet îndepărtate.

2.4. Parametrii și factorii ce determină caracteristicile tehnologice la prelucrarea prin EEC

Procesul prelucrării prin EEC este un proces complex, în cadrul căruia fenomenele fundamentale ce se desfășoară sînt dirijate și influențate de o întreagă suită de parametri și factori care acționează simultan într-o stărușă și continuă interdependență.

Mărimea și modul de variație al parametrilor și factorilor în timpul desfășurării procesului de prelucrare determină efectul eroziv global, acționează și dirijează ponderea proceselor elementare, participă direct la realizarea stabilității procesului de prelucrare cit și la stabilirea caracteristicilor tehnologice finale (rugozitate, productivitate, grosimea stratului alb, a mărimei zonei influențată termic, a prezenței microfisiurilor etc.)

Parametrii procesului de prelucrare prin EEC pot fi grupați după natura lor în două categorii mari: parametri electrici ce sînt mărimi electrice considerate constante și impuse procesului ca: tensiunea și curentul și parametri mecanici ce sînt mărimi mecanice impuse și considerate constante în timpul desfășurării procesului de prelucrare ca: presiunea dintre OT și OP și viteză relativă ^{de} aceleși caracteristici ale lichidului de lucru.

În afara acestor parametri o influență deosebită asupra des-

desfășurării procesului de prelucrare o exercită o suită de factori dintre care amintim pe cei proveniți de la pelicula pasivă, structura circuitului electric, perechea de materiale etc, ce condiționează dezvoltarea proceselor elementare din spațiul de lucru.

2.4.1. Parametrii procesului de prelucrare prin EEC

Pentru a ilustra importanța deosebită pe care o exercită interdependența dintre parametrii și factorii de influență asupra procesului de prelucrare prin EEC, se va urmări în cele ce urmează rolul pe care îl dețin câțiva și modul de influențare a proceselor elementare:

- curentul electric este relevat de majoritatea cercetătorilor [31, 98, 100, 103, 115, 124, 125] ca fiind parametrul determinant al procesului, ori curentul este o mărime relativă, depinzând de mărimea suprafețelor active S participante în procesul prelucrării. De aceea considerăm că mărimea specifică $j = I/S$ densitatea curentului reprezintă parametrul principal al procesului [46, 53, 67, 73, 74, 87, 104].

La densități foarte mici ale curentului electric dacă și tensiunea pe spațiul de lucru este mică, prelucrarea are loc pe seama procesului electrochimic, descărcările electrice neputându-se genera. Astfel se vor obține calități superioare ale suprafețelor prelucrate, mari precizii dimensionale, micșorarea pronunțată a stratului modificat și a zonei influențate termic și eliminarea aproape totală a microfisurilor. Toate acestea în detrimentul reducerii pronunțate a productivității.

La densități mari de curent și tensiuni corespunzătoare, prelucrarea se realizează practic numai în contul descărcărilor electrice în impuls, generate la nivelul vîrfurilor microasperităților ponderea procesului eroziv fiind determinată de efectele procesului termic. Este normal ca în acest caz productivitatea să crească, provocînd efecte negative asupra calității suprafeței prelucrate, asupra preciziei dimensionale, a zonei ZIT și a stratului modificat în care prezența microfisurilor este frecventă.

La o creștere exagerată a densității de curent, fie în prezența tensiunilor mici, fie mari, pe spațiul de lucru, procesul de eroziune degenerază, provocînd apariția scurtcircuitului la tensiuni mici sau a descărcărilor electrice în arc staționar la tensiuni mari. Ambele situații sînt dăunătoare, energia cheltuindu-se

in efectul termic care afectează masa celor două obiecte.

- tensiunea pe spațiul de lucru constituie un parametru de mărimea căruia depinde stabilitatea procesului de prelucrare. La valori normale (18-20 V) ale tensiunii, se dezvoltă simultan atât procesul dizolvării cît și cel al descărcărilor electrice in impuls, procese condiționate de cantitatea de peliculă formată și îndepărtată, pelicula pasivă reprezentînd în acest caz condiția de dezvoltare stabilă a procesului eroziv.

În literatura de specialitate [31, 99, 124] se arată că și natura tensiunii poate influența unele caracteristici tehnologice cum ar fi productivitatea care crește dacă spațiul de lucru este alimentat cu o tensiune pulsatorie (redresată) și nu continuă fără a explica cauzele ce determină această comportare.

Dacă se consideră posibilitatea de a modifica natura circuitului electric fie prin intermediul sursei de alimentare, fie prin parametri concentrați voit introduși, posibilitatea de influențare a modului de variație a tensiunii pe spațiul de lucru este evidentă [50, 53, 55, 56, 104]. Asupra acestor posibilități de influențare, o atenție deosebită li se acordă în capitolul IV.

- presiunea dintre OT și OP reprezintă, unul din parametri mecanici de mare importanță; de mărimea acestuia depinde densitatea de curent, intensitatea cîmpului electric, stabilitatea procesului cît și caracteristicile tehnologice finale. Prin mărimea presiunii se delimitază numărul și caracterul punctelor de contact, determinînd secțiunea activă, deci densitatea de curent și în ultimă instanță, caracteristicile tehnologice. Dar această mărime este limitată în proces la valori cuprinse între 1-3 daN/cm². La valori mai mici și ceilalți parametri constanți determină creșterea excesivă a peliculei pasive iar la valori peste limită superioară precede scurtcircuitul [31, 56, 104].

- Viteza relativă v_r , este un al doilea parametru mecanic de mare importanță care determină și limitează puterea electrică vehiculată prin spațiul de lucru, prin stabilirea duratei microcontactelor și imprimarea caracterului de impuls descărcării electrice.

La viteze mici, cu toate că, odată cu creșterea duratei microcontactului crește puterea electrică introdusă, productivitatea nu crește, deoarece la durate mari dispare efectul de impuls al descărcării electrice și o mare parte din energie se pierde prin efect Joule în masa celor două obiecte, fără a fi util în procesul de eroziune.

515506
358 H

La viteze mari, durata microcontactului scade, determinând creșterea numărului de microcontacte în unitate de timp, deci creșterea productivității concomitent cu micșorarea rugozității și a modificărilor termice din stratul de suprafață.

Această direcție de intensificare a procesului eroziv este totuși limitată, deoarece odată cu creșterea vitezei relative, condițiile de acces ale mediului de lucru se înrăutățesc, procesul formării peliculei pasive scade, provocând dispariția descărcărilor electrice în impuls, procesul intrând într-o fază pronunțată de instabilitate cu diminuarea continuă a productivității cît și a celorlalte caracteristici tehnologice. În plus la viteze mari, apariția vibrațiilor în sistemul mecanic, determină instabilitatea procesului de prelucrare.

Din cele prezentate, rezultă că viteza relativă în strînsă corelație cu ceilalți parametri mecanici și electrice determină forma, durata, energia și frecvența descărcărilor electrice în impuls, contribuind în mare măsură la finalizarea caracteristicilor tehnologice.

- lichidul de lucru prin natura, compoziția, densitatea, modul și debit influențează la rîndu-i atît desfășurarea procesului de prelucrare cît și caracteristicile finale [28, 31, 104, 106].

Lichidele de lucru sînt soluții electrolitice capabile să genereze pelicule viscoase sau solide pentru împiedicarea scurtcircuitării OT și a OP-ului în procesul prelucrării. Capacitatea unei soluții de electrolit de a genera pelicule viscoase depinde de diluția și greutatea specifică dar mai ales de conținutul de particule coloidale moleculare sau în suspensie, care migrînd la anod contribuie la formarea peliculei pasive, alături de celelalte fenomene. Soluțiile cele mai uzuale sînt: soluții de silicat de sodiu, suspensii de caolin sau diferiți oxizi în apă, soluții de azotați, fosfați etc. [31, 99, 104, 115]. Prin intermediul lichidului se elaborează și produsele eroziunii motiv pentru care utilajele trebuie să prevăzute cu sisteme de curățire.

2.4.2. Factorii care influențează procesul prelucrării prin eroziune electrică complexă

Factorii care influențează într-o măsură mai mare sau mai mică, procesul prelucrării prin MEC cît și caracteristicile tehnologice, sînt componente de loc sau mai puțin cercetate. În mod normal ele nu au constituit obiectul preocupărilor cercetătorilor, consi-

derivând că evidențierea parametrilor mai sus amintiți caracterizează și explică în suficientă măsură procesul prelucrării și fenomenele ce cu led.

Ori s-a văzut că majoritatea parametrilor influențează direct sau indirect desfășurarea proceselor elementare, procese care se condiționează reciproc și că descărcarea electrică în impuls, constituie fenomenul esențial de a cărui evoluție depind practic toate caracteristicile tehnologice.

Factorii care determină și influențează dezvoltarea proceselor elementare și caracteristicile descărcărilor electrice în impuls sînt:

- a.) - pelicula pasivă
- b.) - natura circuitului electric
- c.) - perechea de materiale
- d.) - reglarea automată a interstițiului spațiului de lucru

a.) Pelicula pasivă constituie principalul regulator al mărimii interstițiului de lucru [104] și al stabilității procesului de prelucrare. Prezența peliculei pasive în procesul de prelucrare prin eroziune electrică complexă este strict necesară pentru apariția și dezvoltarea procesului elementar de eroziune termică și a celui de dizolvare anodică. Grosimea peliculei pasive depinde de mărimea parametrilor electricei U și I și a caracteristicilor mediului de lucru, determinînd, numărul și natura descărcărilor electrice în impuls.

La grosimi mari, procesul prelucrării decurge în mod normal prin frecvența aproape constantă a descărcărilor electrice în impuls, prin rupere de contact, localizate numai la virfurile micro-aspérităților, în număr restrîns și cu puteri specifice mari determinînd o productivitate ridicată.

În cazul grosimilor mici, numărul descărcărilor electrice în impuls, prin rupere de contact, este mai mare dar de puteri specifice mai mici, deci și productivitate scăzută în condițiile păstrării constante a parametrilor electrice. În aceste condiții frecvența apariției descărcărilor electrice în impuls prin strîngere este mult mai ridicată decît la grosimi mari ale peliculei. Pelicula anodică influențează și celelalte caracteristici tehnologice participînd în același timp la menținerea stabilității procesului de prelucrare prin limitarea numărului de puncti conductoare.

b.) Natura circuitului electric constituie un factor cu pondere ridicată în procesul de prelucrare prin eroziune electrică complexă, reprezentînd una din căile cu largi posibilități de di-

rijare a caracteristicilor tehnologice prin intermediul impulsurilor de curent sau tensiune.

Natura circuitului electric ca factor determinant al procesului de prelucrare prin eroziune electrică complexă este foarte puțin studiat în literatura de specialitate, cu toate că mai mulți cercetători analizând mecanismele de încălzire a metalului din crătere de descărcărilor, au arătat că în funcție de parametrii impulsurilor, ca formă, durată, amplitudine și energie se schimbă și intensitatea procesului de eroziune [31, 42, 58, 104]. Incălzirea stratului superficial al metalului până la topire sau vaporizare, fără a afecta termic masa obiectului supus prelucrării, se poate realiza dacă se transmite în acest strat o cantitate mare de energie într-un timp foarte scurt. Cu cât timpul de încălzire va fi mai scurt, cu cât cantitatea de căldură transmisă va fi mai mare și cu cât sînt mai mici conductibilitatea termică și capacitatea calorică a metalului cu atât mai ușor se va realiza topirea superficială a metalului obiectului supus prelucrării [31, 71, 73, 102]. Realizarea acestor condiții în procesul prelucrării prin eroziune electrică complexă se obține prin modificarea naturii circuitului electric prin utilizarea unor surse de alimentare diferite [104] fie prin menținerea aceleiași surse și introducerea parametrilor concentrați R, L și C în circuitul de lucru [46, 50, 53, 84, 104]. Evidențierea, cunoașterea și dirijarea fenomenelor în procesul prelucrării prin EEC în cazul modificării naturii circuitului electric are o importanță deosebită deoarece se răsfrînge direct asupra caracteristicilor tehnologice finale ce se impun a fi obținute.

c.) Perechea dintre materialele OT și OP este reliefată în [31, 98] ca o cale posibilă de influențare a productivității și rugozității în procesul prelucrării prin eroziune electrică complexă, evidențind superioritatea unei anumite perechi conjugate de OT și OP în cazul operațiilor de debitare sau ascuțire; însă din cercetările [47, 48, 49, 55, 56, 59] rezultă că perechea de materiale constituie un factor important de dirijare și optimizare a caracteristicilor tehnologice, contribuind totodată la mărirea stabilității procesului de prelucrare, a reducerii consumului de metale deficitare, cât și la creșterea rentabilității prelucrării. Rezultatele practice obținute sînt prezentate în cap. IV.

d.) Reglarea automată a interstițiului de lucru ce determină stabilitatea prelucrării, reprezintă un alt mijloc de dirijare și optimizare a procesului, prin menținerea constanței parametrilor electrici și mecanici deci constanța caracteristicilor tehnologice. Fără un sistem corespunzător de reglare automată a interstițiului

de lucru nu este posibilă dirijarea procesului de prelucrare în condițiile arătate, în care modificarea unui parametru are repercursiuni în modul de desfășurare al procesului și în modificarea caracteristicilor tehnologice, [31, 32, 67, 73, 84].

2.5. Criterii și direcții de dirijare și diversificare a procesului de prelucrare prin EEC în cazul profilării și prelucrării corpurilor de revoluție

Prelucrarea prin EEC cu toată simplitatea constructivă, ridică probleme deosebite în dirijarea și diversificarea procesului datorită multiplelor legături și interdependențe ce există între parametrii și factorii determinanți ai procesului și caracteristicile tehnologice finale.

Dezvoltarea procedurii de prelucrare prin EEC s-a realizat prin aprofundarea și elucidarea fenomenelor fundamentale în condițiile aplicării practice la debitarea materialelor metalice cu proprietăți mecanice ridicate [1, 4, 18, 19, 27, 29, 45, 57, 64, 83, 87, 104, 114] a ascuțirii plane a sculelor așchietoare [30, 48, 52, 55, 75, 85, 113] a prelucrării fantelor [54, 86] și în cazul debavurii pieselor [70, 126].

Cu toate avantajele pe care procedeul le oferă, aria de răspundere și diversificare este însă restrânsă. Pentru mărirea acesteia se prevăd următoarele direcții noi de aplicare:

- profilarea sculelor așchietoare, fie în procesul de fabricație, fie în cazul reconștituirii și recuperării materialelor deficitare, mărind astfel durata lor de funcționare cu repercursiuni economice în procesul de producție;
- profilarea și prelucrarea corpurilor de revoluție constituite din materiale metalice cu proprietăți mecanice ridicate;
- prelucrarea aliajelor dure și extradure care se utilizează pe o scară tot mai largă în construcția de mașini și care ridică probleme deosebite în prelucrare;

Realizarea practică a acestor direcții de diversificare a procedurii de prelucrare prin EEC necesită însă realizarea unor studii și cercetări aprofundate în vederea determinării:

- schemelor de generare a suprafețelor profilate în cazul prelucrării corpurilor plane sau de revoluție;
- influența pe care o exercită modificarea naturii circuitului electric prin utilizarea elementelor concentrate R, L și C;
- influenței perechii de materiale OT și OP;

- a rolului și influenței sistemelor de automatizare, în cazul acestor prelucrări asupra procesului, a parametrilor procesului cât și a caracteristicilor tehnologice finale.

Elucidarea acestor probleme ce sînt incluse în tematica acestei lucrări, vor permite elaborarea unor scheme cinematice cât și proiectarea unor utilaje de prelucrare prin E.C.C., utile industriei constructoare de mașini precum și oricărei întreprinderi prelucrătoare de materiale metalice cu proprietăți mecanice ridicate.

CAPITOLUL 3

CERCETARI TEORETICE PRIVIND DEZVOLTAREA FENOMENELOR FUNDAMENTALE IN DINAMICA PROCESULUI DE PRELUCRARE PRIN EEC A CORPURILOR DE REVOLUTIE

Prelucrarea prin eroziune electrică complexă prezentată în cap.2 sub aspectul proceselor elementare acceptate în literatura de specialitate, evidențiază multiplele legături dintre parametrii factorii și caracteristicile tehnologice ale procesului, considerându-se ca procese elementare fundamentale de eroziune - dizolvarea anodică și descărcarea în impuls, procese ce se dezvoltă concomitent și în zone diferite. Conducerea procesului de prelucrare în scopul obținerii parametrilor tehnologici dinainte stabiliți se realizează prin facilitarea condițiilor în care unul din procesele elementare se manifestă cu precdere, acceptându-se că la regimuri moi prelucrarea se datorează exclusiv procesului elementar de dizolvare iar la regimuri dure, prelucrarea se realizează prin efectul termic al descărcărilor în impuls [3, 18, 31, 44, 87, 99, 100, 104, 105] .

Prelucrarea prin EEC analizată prin prisma cantității de material prelevat în funcție de energia introdusă în spațiul de lucru confirmă prezența celor două procese elementare, a căror pondere și desfășurare este însă dependentă de evoluția în timp a fenomenelor fundamentale ce au loc în spațiul de lucru și neelucidate în literatura de specialitate.

3.1. Fenomene fundamentale în spațiul de lucru la prelucrarea prin EEC în cazul contactelor singulare

Procesul prelucrării prin EEC analizat prin prisma fenomenelor fundamentale prezintă o evoluție proprie în timp, definind o serie de etape caracteristice ce au implicații deosebite în dezvoltarea și stabilitatea procesului eroziv.

1.) Etapa apariției și constituirii procesului de dizolvare

Procesul de dizolvare anodică începe să se desfășoare din momentul conectării celor două obiecte (OT și OP) la sursa de ali-

mentare cu energie electrică, în prezența mediului de lucru cu proprietăți electrolitice, având o evoluție proprie în timp fig.3.1.

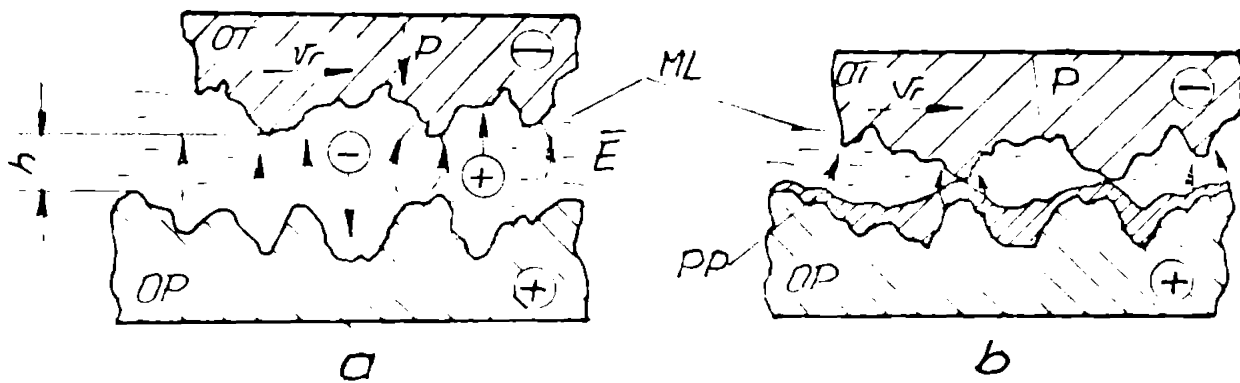


Fig.3.1. Amplasarea procesului de eroziune

Din momentul apariției cimpului electric \vec{E} în spațiul de lucru se produce orientarea și deplasarea ionilor disociați ai soluției de sticlă solubilă



și a apei



sub acțiunea forțelor $\vec{F}_- = q \cdot \vec{E}$ și $\vec{F}_+ = z \cdot \vec{E}$ în care q și z reprezintă sarcinile electrice ale ionilor formați. Sub acțiunea acestor forțe la catod se vor orienta ionii de H_2 și Na care intră în reacție



hidroxidul de sodiu la rândul său se disociază formînd



astfel că la catod se va degaja în permanență hidrogen molecular și se vor neutraliza ionii pozitivi.

Spre anod sînt orientați ionii negativi care la contactul cu anodul produc o serie de reacții dintre care semnificative sînt:

- neutralizarea ionilor de SiO_3^{2-} care cedează sarcinile sale anodului [90, 108, 115, 124] descompunîndu-se după reacția



astfel că SiO_2 format se depune pe suprafața anodului formînd o peliculă de silicat

- radicalii oxigenici OH^- din soluția alcalină NaOH ajung la suprafața anodului reacționînd cu ionii metalici formînd



compus chinic ce intră în constituția peliculei pasive care poate

conține și o mare cantitate de ioni de Na^+ și OH^- imprimându-i peliculei pasive și alabe proprietăți conductoare, ea neputând fi un dielectric pur [90, 115]. La suprafața anodului datorită prezenței masive de O_2 se pot produce și reacții de oxidare cu materialul anodului; oxizi metalici ce rămân prinși în pelicula pasivă [90, 115].

În acest interval de timp OT sub acțiunea avansului (a forței P) se deplasează spre anod realizând la un moment dat contactul fizic la nivelul vîrfurilor microasperităților. Pe tot intervalul de timp în care se produce apropierea OT pînă la realizarea contactului fizic, intensitatea fenomenelor descrise crește datorită creșterii intensității câmpului electric prin micșorarea distanței h , deoarece $E = U/h$. Din acest moment se trece în etapa a doua care se discută la nivelul contactului dintre două microasperități (contact singular) fenomenele fiind similare și pentru contacte multiple.

2.) Etapa pregătirii impulsului de curent. Această etapă începe din momentul realizării contactului fizic dintre două microasperități una aparținînd OP-ului și cealaltă OT-ului ca în fig.3.2.

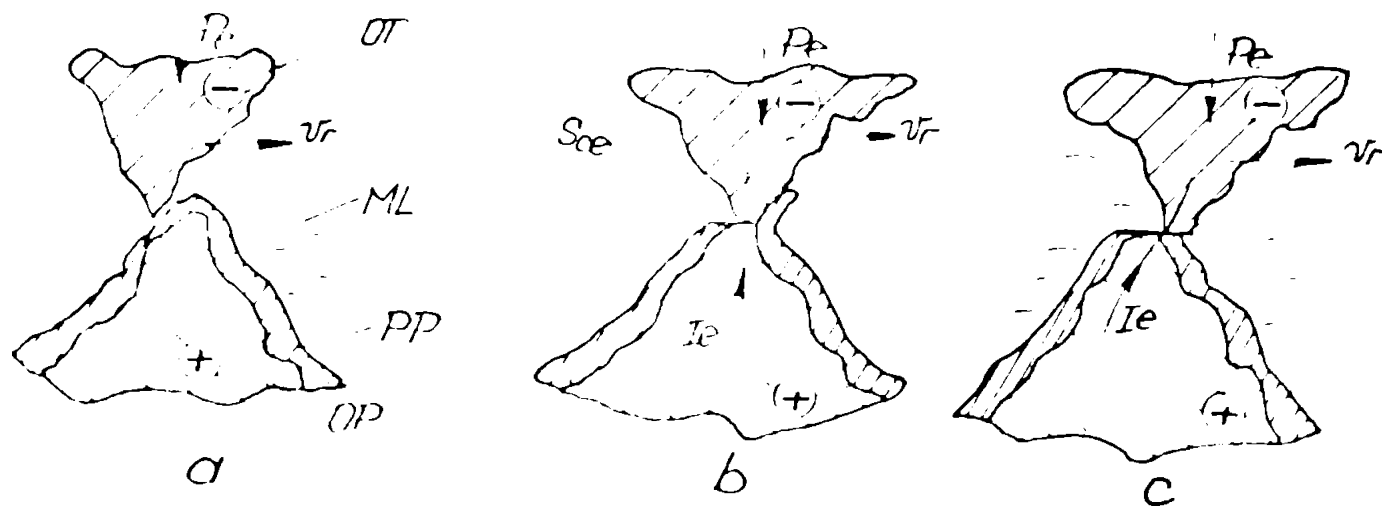


Fig.3.2. Constituirea contactului fizic elementar

Microasperitatea OT-ului în mișcare cu viteza v_r și sub acțiunea forței elementare P_p realizează la nivelul vîrfului microasperității OP un șoc mecanic ce determină ruperea și îndepărtarea peliculei pasivante (dacă este formată) de la vîrfurile microasperității OP-ului creștînd condițiile realizării microcontactului metalic, care în primul moment se realizează prin apariția unei microdescărcări de contact însoțită de trecerea curentului elementar I_e , de valoare scăzută la început, ce crește apoi rapid, cu

creșterea secțiunii de contact. Astfel se poate defini la locul contactului prezența unei rezistențe de contact R care după [37, 122] în cazul cel mai simplu al contactelor punctiforme, are expresia:

$$R = \frac{\rho}{2a} \quad (14)$$

în care ρ este rezistivitatea materialului din care sînt construite cele două semispații și a - raza cercului real de contact. Luînd în considerare și forța cu care microcontactele sînt supuse solicitărilor de compresie, deformîndu-se plastic, după Holm [35, 36] expresia forței de apăsare este:

$$P_0 = \xi \cdot H \cdot \pi a^2 \quad (15)$$

din care : H - duritatea materialului microasperității
 ξ (0,2...1) - coeficientul Brandt, ce ține cont de faptul că duritatea vîrfurilor de contact este mai mică decît duritatea H măsurată macroscopic, astfel că raza contactului se poate exprima prin:

$$a = \sqrt{\frac{P_0}{\pi \xi H}} \quad (16)$$

relația rezistenței de contact devenind:

$$R = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{\pi \xi H}{P_0}} \quad (17)$$

din relația (17) reiese legătura dintre rezistența de contact, duritatea și forța de apăsare la ceilalți parametri constanți, rezistența de contact este funcție proporțională cu forța de apăsare la o putere fracționară, rezistența de contact scăzînd cu creșterea forței de apăsare.

La trecerea curentului I_c prin contactul de rezistență R , fig. 3.2.b., se dezvoltă o cantitate de căldură prin efect Joule:

$$Q = 0,24 I_c^2 R \cdot t \quad (18)$$

ce provoacă creșterea rezistenței de contact determinînd creșterea în continuare a lui Q , creștere amplificată suplimentar și de efectul stricțiunii liniilor de curent cît și de prezența unor impurități pe suprafața de contact [36, 37, 2, 122].

3.) Etapă amersării desăvîrșirii electrice în impuls prin ruperea contactului metalic

Amersarea și constituirea impulsului electric reprezintă etapa cea mai importantă, fiind legată direct de procesul prelevării de material. Această etapă începe să se dezvolte în condițiile prezenței unei supratemperaturi la nivelul suprafețelor de contact

ale celor două microasperități, suprateraturi ce favorizează emisia termoelectronică. Această are loc dacă energia cinetică a electronului depășește lucrul de ieșire eV_0 a metalului din care este construit catodul, adică:

$$V_0 = \frac{1}{2} mv^2 > eV_0 \quad (19)$$

în care V_0 este potențialul de ieșire și e - sarcina electronului. Pe de altă parte, energia cinetică medie a electronului ce părăsește metalul este dependentă de temperatura absolută T [37] după relația:

$$V_0 = kT \quad (20)$$

unde k este constanta lui Boltzman. Cu cât temperatura absolută a catodului este mai mare, cu atât probabilitatea de ieșire a electronilor din metal crește. Cantitativ densitatea de curent la catod este dată de Richardson [36], [37] :

$$j = AT^2 e^{-\frac{eV_0}{kT}} \quad (21)$$

unde A este o constantă de material.

În aceste condiții la ruperea microcontactului va apărea un micro-arc care se dezvoltă rapid în condițiile unei ionizări puternice, în prezența vaporilor de metal, condiții ce permit apariția plasmăi termice în colana micro-arcului fig.3.3 și care se întreține în funcție de condițiile locale și lungimea Δl .

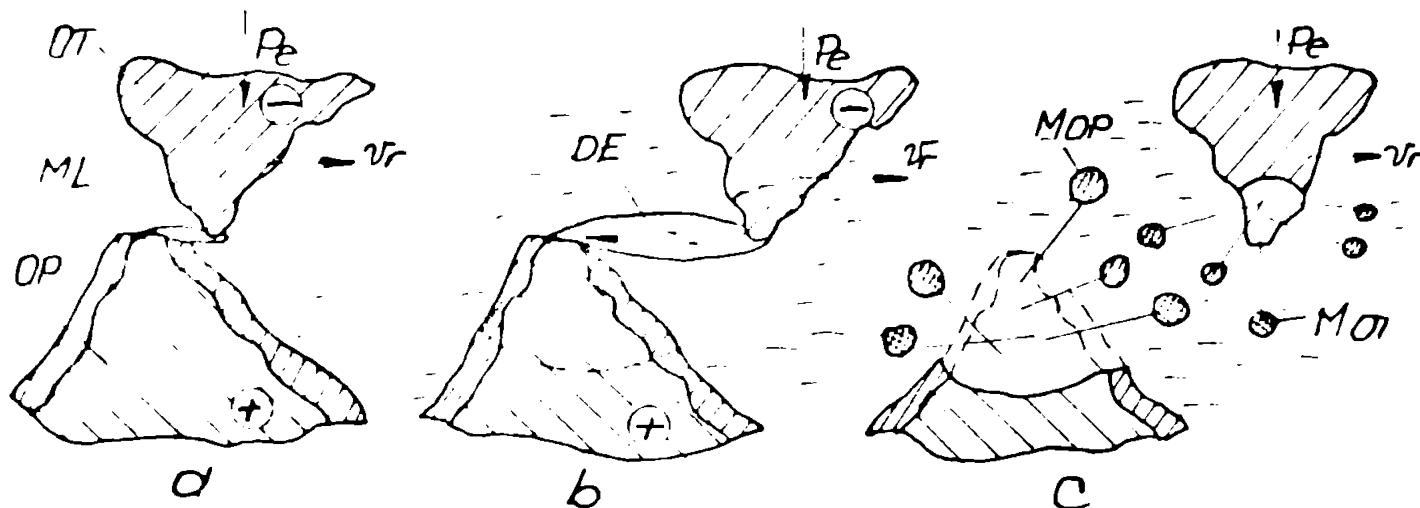


Fig.3.3. Fazele descărcării în impuls prin rupere de contact(DEIRC)
 a - stadiul amorsării
 b - stadiul DEIRC - propriu-zis
 c - stadiul întreruperii DEIRC - faza prelevării de material

Variația lui Δl determină variația tuturor celorlalți parametri ai descărcării, imprimând fenomenului caracterul de impuls, descărcarea electrică apărută prin ruperea contactului metalic, păstrându-se în regim tranzitoriu.

Sub aceste aspecte, descărcarea electrică (micro-arc) parcurge trei stadii distincte astfel:

- Stadiul aprinderii descărcării electrice în impuls prin rupere de contact fig.3.3.a. depinde de condițiile locale în care se realizează emisia termoelectronică (emisia datorată câmpului electric) cât și de proprietățile termofizice ale mediului în care se declanșează avalanșa procesului de ionizare. Desfășurarea fenomenelor ce au loc în momentul ruperii microcontactului, poate fi urmărită în fig.3.4. în care s-a reprezentat schema circuitului electric de alimentare a microcontactului.

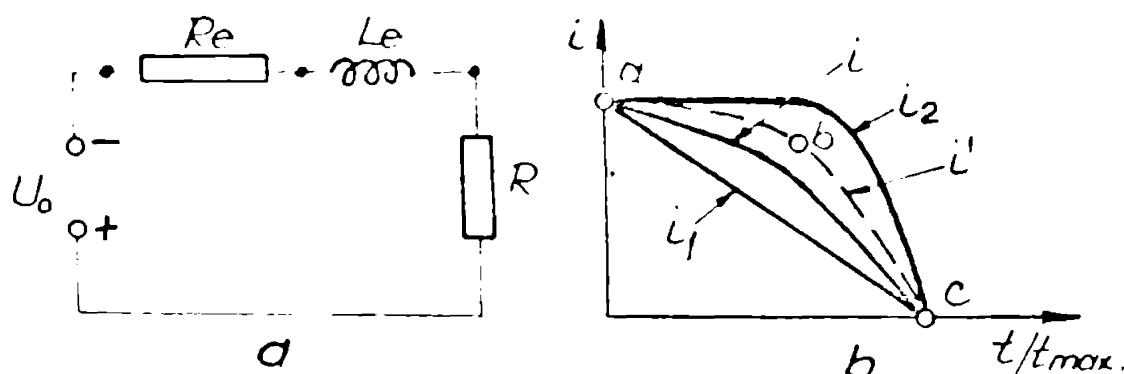


Fig.3.4. Aprinderea microarcului

a - schema echivalentă a circuitului;

b - variația curentului la deschiderea microcontactelor

Tensiunea U_0 a sursei de alimentare se aplică prin intermediul lui R_e și L_e , ce reprezintă valorile echivalente ale rezistențelor și inductivităților proprii circuitului de alimentare, microcontactului de rezistență R unde va apărea microarcul [2, 17, 65].

În cursul deschiderii microcontactului, rezistența de contact se consideră că variază invers proporțional cu suprafața de contact dintre cele două microasperități. Datorită deplasării OT-ului cu o viteză constantă v_p față de OP, legea de variație a rezistenței de contact se poate exprima prin:

$$R = \frac{R_0 \cdot t_{max}}{t_{max} - t} \quad (22)$$

în care: t_{max} - durată maximă de deschidere totală a microcontactului;

t - timpul curent;

R_0 - rezistența minimă de contact (la $t = 0$).

În realitate rezistența de contact variază în cursul deschiderii după alte legi (arcul electric fiind o rezistență neliniară) însă esența fenomenelor rămâne aceeași [16, 37, 116, 122]

Ecuația tensiunii electromotoare în circuit este:

$$U_0 = L_0 \frac{di}{dt} + R_0 i + Ri \quad (23)$$

iar tensiunea pe microcontact ținând cont și de relația (22) este:

$$U_R = Ri = \frac{R_0 \cdot t_{max}}{t_{max} - t} i \quad (24)$$

Dacă t_{max} este suficient de mare, tensiunea electromotoare indusă în inductivitate L_0 este neglijabilă și deci și curentul i_1 scade liniar de la valoarea maximă la zero (curba i_1 fig.3.4.b) Dacă însă t_{max} este foarte mic, iar $R_0 \ll R$, o't timp $R \ll R_0$ curentul nu se schimbă în circuit, pentru că inductivitatea L_0 se opune scaderii curentului iar rezistența totală a circuitului $R + R_0 \approx R_0$ este constantă. Spre sfârșitul intervalului t_{max} , R depășește pe R_0 și tinde spre infinit și de aceea curentul i_2 tinde spre zero. Ca urmare curentul prin circuit va varia conform curbei i_2 (fig.3.4.b.)

Curbele de variație a curentului i_1 și i_2 sînt curbe extreme; în toate cazurile curba $i = f(t/t_{max})$ se va afla undeva între cele două curbe [12, 16, 122].

Înlocuind curba reală i cu curba aproximativă i' pe porțiunea b.c. a acestei curbe se poate scrie:

$$t_{max} \frac{di}{dt} = - \frac{i}{1 - \frac{t}{t_{max}}} \quad (25)$$

Ținând seama de (23) și (25) și neglijînd termenul $R_0 i$ față de $U_R = Ri$ relația (24) devine:

$$U_R = \frac{U_0}{1 - \frac{t}{R_0 t_{max}}} \quad (26)$$

Din relația (26) rezultă că tensiunea între microcontactele ce se deschid, depășește întotdeauna tensiunea sursei dacă $L_0 \neq 0$. Pentru cazul când $t_{max} = \frac{L_0}{R_0}$, U_R ia o valoare infinită; în realitate U_R ia valori suficient de mari pentru ca intensitatea cîmpului electric în zona microcontactului să forțeze emisia auto-

electronică descărcarea în impuls fiind sigur amortizată

- Stadiul descărcării electrice în impuls (fig. 3.5 b) dezvoltată pe fondul fenomenelor din faza precedentă se materializează prin apariția coloanei microarcului în care intensitatea fenomenelor de ionizare datorate în special efectelor termice, determină apariția plasmăi.

Plasma se caracterizează prin temperaturi ridicate și o bună conductibilitate electrică, aproape exclusiv de natură electronică [9, 12, 16, 116], temperatura în lungul axei coloanei este constantă iar repartizarea sarcinilor uniformă. De aceea coloana are o secțiune practic constantă pe toată lungimea ei, având un diametru d_0 ceva mai mare decât diametrul petei catodice d_k și depinzând în primul rând de acest diametru (fig. 3.5.)

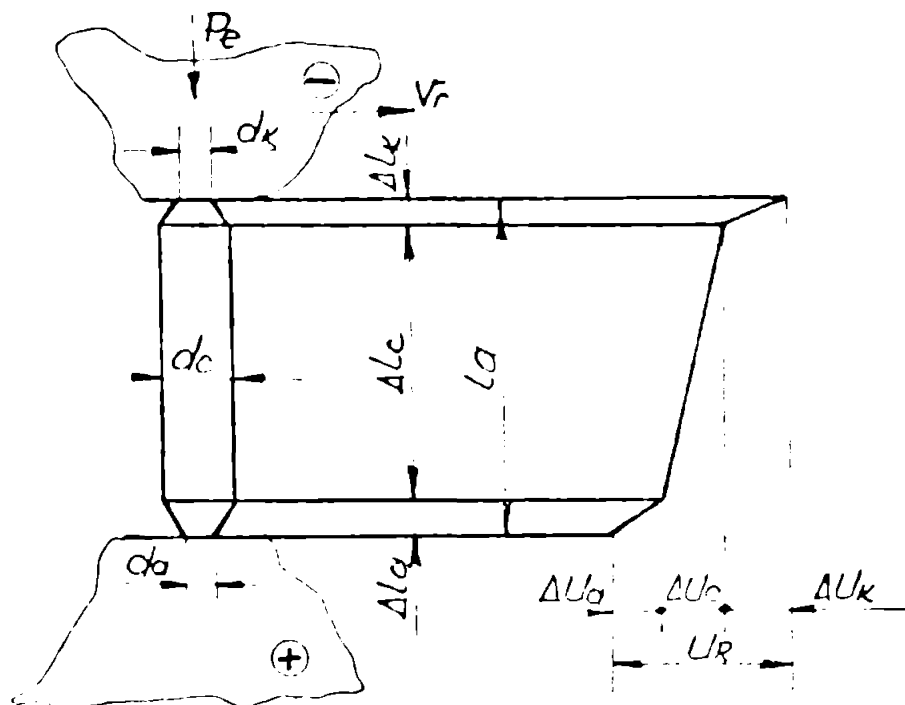


Fig. 3.5. Căderile de tensiune pe microarc

Ținând cont de uniformitatea ce există în lungul coloanei microarcului, câmpul electric în direcție axială este:

$$E_0 = \frac{\partial \Delta U}{\partial \Delta l_0} = \text{constant} \quad (27)$$

Pe direcție radială temperatura scade foarte repede din centru spre periferie, determinând o scădere a gradului de ionizare și a conductibilității electrice a coloanei, temperatura maximă fiind în axa acesteia.

Din fig. 3.5. se evidențiază că lungimea microarcului

$$l_0 = \Delta l_k + \Delta l_c + \Delta l_a \approx \Delta l_c \quad (28)$$

ceea ce determină ca tensiunea pe microarc să fie egală cu suma

căderilor de tensiune parțiale astfel că:

$$U_a = \Delta U_k + \Delta U_c + \Delta U_a \quad (29)$$

Cum căderile de tensiune ΔU_k și ΔU_a (pe cele două pete) nu depind de lungimea microcontactului (de altfel lungimea celor două pete este mult mai mică decât cea a coloanei) [9, 16, 36] ΔU_c variază proporțional cu Δl_c , dacă curentul se menține constant:

$$\Delta U_c = E_c \Delta l_c \approx E_c \cdot l_c \quad (30)$$

- Stadiul întreruperii descărcărilor electrice în impuls, în cazul ruperii contactului metalic se dezvoltă în condițiile creșterii lunginii l_a , deci a lui l_c , ceea ce determină o scădere continuă a cimpului electric din coloană, provocând totodată scăderea intensității ionizării electronice și termice, stricându-se echilibrul cu procesele de deionizare în favoarea acestora din urmă, microarcul intrupându-se.

Este important de reamintit faptul că stingerea microarcului are loc la o lungime a lui mai mare decât în regim static, din cauza caracterului dinamic al proceselor în cursul alungirii și stingerea este întotdeauna însoțită de apariția unui surplus de tensiune.

Modul de dezvoltare a microarcului cu desfășurarea tuturor fenomenelor însoțite de transportul unor energii importante în durata foarte scurte de timp și pe parcursul străbaterii distanței Δl (fig.3.3.) conferă descărcării electrice caracterul unui impuls.

În urma fenomenelor termice dezvoltate în microvolumele microasperităților, materialul vaporizat și topit este expulzat în mediul de lucru în urma exploziei punții conductoare și evacuat din zona de interacțiune dintre OT și OP.

Craterul rezultat pe OP și umectat cu mediul de lucru în prezența cimpului electric, în mod normal ar trebui să participe în continuare la procesul dizolvării, dar în [98, 100] se arată că în condițiile prezenței temperaturilor mai mari de 100°C , siliciatul de sodiu din mediul de lucru se deshidratează și se depune sub formă de SiO_2 pe suprafața anodului, constituind pelicula pasivă, solidă, cu proprietăți mecanice ridicate; ori în condițiile expulzării materialului microasperității OP în stare vaporizată sau topită, temperatura la limita de separație metal-sodiu de lucru (în crater) este suficient de ridicată, provocând formarea peliculei pasive din SiO_2 .

Acest mod de formare a peliculei pasive în urma efectului eroziv al descărcărilor electrice în impuls explică și confirmă constatările cercetătorilor care susțin că, în condițiile prezentei regimurilor dure, ponderea în procesul de eroziune o deține fenomenul termic fără a explica cauzele diminuării cantitative a procesului elementar de dizolvare a anodului [2, 3, 19, 26, 27, 31, 41, 88, 104] .

3.2. Reședința fundamentală în spațiul de lucru la prelucrarea prin eroziune electrică complexă în condițiile prezentei contactelor multiple

În paragraful precedent, întreaga prezentare s-a făcut în condițiile existenței contactului singular ori în condițiile reale de prelucrare prin EEC indiferent de operația ce se execută, contactul dintre OT și OP se materializează printr-o suprafață de contact (contacte multiple) fig.3.6.

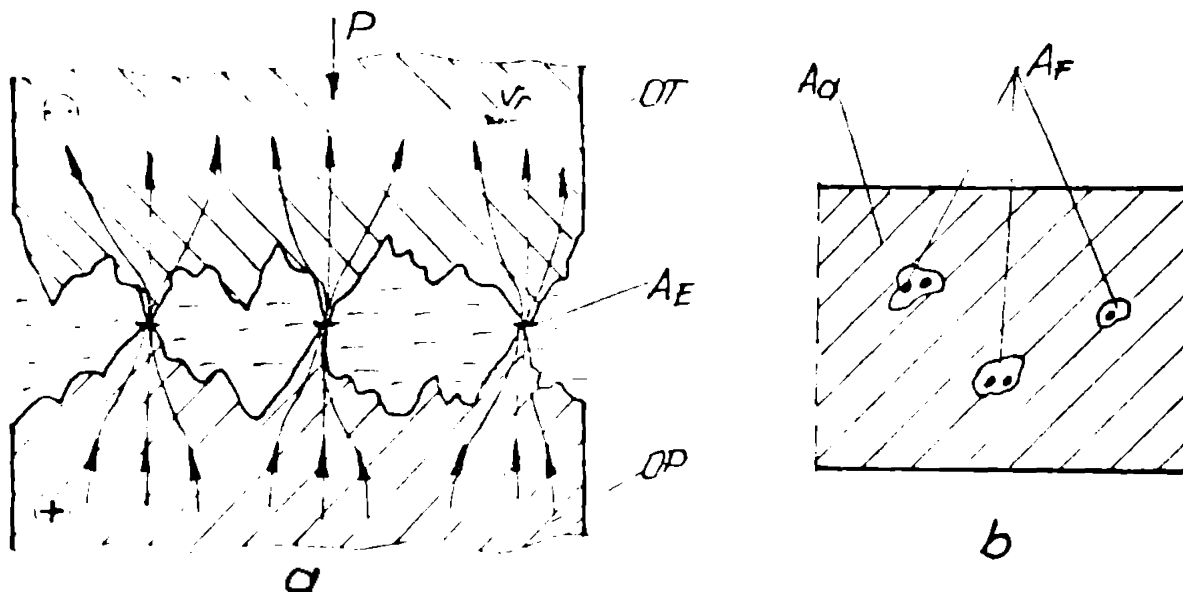


Fig.3.6. Realizarea contactului de suprafață

- a - realizarea stricțiunii liniilor de curent și formarea suprafețelor elementare de contact A_E ;
- b - constituirea suprafeței aparente de contact A_a și a suprafeței reale de contact A_r

Deoarece contactul între cele două suprafețe active ale OT și OP-ului se realizează la nivelul virfurilor microasperităților se definește aria reală de contact A_r ca sumă a ariilor elementare A_E . Aria suprafețelor de contact $A_r \ll A_a$ în care A_a este aria aparentă de contact, ceea ce determină o creștere pronunțată a cu-

reantului în zonele de contact din cauza stricțiunii liniilor de curent, deci apariția unor densități mari de curent. În cazul contactelor plane la forțe de apăsare mari în [37, 119] se arată că $A_F = (0,01 \dots 0,05) A_n$ ceea ce reprezintă o fracțiune destul de mică din aria aparentă cu atât mai mult cu cât în 91 se arată că la forțe de apăsare de 500 daN în cazul OL pe OL la o aria aparentă de 21 cm², aria reală de contact este 1/400 din A_n deci $A_F = 0,005$ cm² iar 2 daN este de 0,0002 deci cca. 1/100.000.

Legătura dintre forța de apăsare F și aria de contact A_F pe care se exercită forța în condițiile prezentei deformațiilor plastice la nivelul suprafețelor elementare de contact după Hohn [35] este:

$$A_F = \frac{P}{\xi H} = n \cdot a^2 \cdot \pi \quad (31)$$

în care a - raza cercului echivalent pentru fiecare din cele n zone de contact.

Din (24) se poate explica forța de apăsare:

$$P = \xi H A_F = \xi H n \pi \cdot a^2 \quad (32)$$

de unde raza cercului echivalent pentru un punct de contact este:

$$a = \sqrt{\frac{P}{n \pi \xi H}} \quad (33)$$

iar rezistența de contact echivalentă pentru un anumit moment se exprimă prin:

$$R = \frac{1}{n} \cdot \frac{P}{2a} = \frac{1}{n} \cdot \frac{P}{2} \sqrt{\frac{n \pi \xi H}{P}} \text{ sau } R = \frac{P}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot \xi H}{n \cdot P}} \quad (34)$$

în care se evidențiază legătura dintre rezistența de contact, duritate și forța de apăsare pentru un material dat.

Pentru calculele practice se indică în [35, 37, 119, 122] utilizarea relației:

$$R = c \cdot P^{-0.2} \quad (35)$$

în care c - este o constantă ce ține cont de starea suprafețelor de contact în care acestea se realizează și de materialele în contact, variind între 0,63 pentru contacte în vid și 1,5...2 pentru contacte asperitate de pelicule cu gresini între 400...5000 Å
 c - un coeficient ce depinde de caracteristicile de material prin duritatea și rezistivitatea acestuia, de prezența peliculelor de oxizi în stare microscopică a suprafețelor de contact, variind în funcție de material, pentru cupru între $(105 \dots 8780) 10^{-6} \Omega \cdot m^2$.

Egalind relațiile (34) cu (35) se obține:

$$R = \frac{P}{2} \sqrt{\frac{\pi \cdot \xi H}{n \cdot P}} = c \cdot P^{-0.2} \quad (36)$$

de unde se poate explica numărul punctelor de contact:

$$n = \frac{\rho^2 \pi \xi H}{4c^2 P^{2m+1}} \quad \text{sau} \quad n = \frac{\rho^2 \pi \xi H}{4c^2} \cdot P^{2m-1} \quad (37)$$

Se poate calcula și densitatea de curent în punctele de contact considerând U_c căderea de tensiune pe contact, adică:

$$U_c = Ri = \frac{\rho \pi}{2a \cdot n} a^2 \cdot j \quad \text{de unde rezultă:}$$

$$j = \frac{2U_c \cdot n}{\rho \pi a} \quad (38)$$

calculule efectuate în [37, 122] pentru contacte de cupru în condițiile forței de apăsare de ordinul (400...10.000) N și a unei tensiuni de contact de $U_c = 12,5$ mV dar pentru densitatea de curent valori cuprinse între (28.000...5600) A/mm² care sînt excepțional de mari în comparație cu densitățile uzuale admise în conductoarele electrice, fapt ce susține că și în cazul prelucrării prin EEC în punctele de contact pot apărea frecvent astfel de situații, microcontactul fiind asemănător și la valori a forțelor de apăsare mult mai mici 1 - 3 daN/cm² ceea ce determină apariția unor suprafețe mai mici de contact, deci densități mai mari.

Cantitatea de căldură dezvoltată în rezistența de contact echivalentă pe durata t_c a menținerii contactului metalic este:

$$Q = U_c \cdot i \cdot t_c \quad (39)$$

în care se poate evidenția dependența cantității de căldură de căderea de tensiune pe contact:

$$Q = U_c^2 \cdot \frac{1}{R} \cdot t_c = \frac{2an}{\rho} \cdot U_c^2 \cdot t_c \quad (40)$$

și funcția de densitatea a curentului:

$$Q = I^2 R \cdot t_c = j^2 \frac{\rho}{2an} \cdot t_c \quad \text{în care } j = \frac{I}{S} = \frac{I}{\pi \cdot a^2} \quad (41)$$

Înlocuind în (40) expresia lui R din (34) se obține:

$$Q = 2U_c^2 \cdot \frac{1}{\rho \sqrt{\frac{\pi \xi H}{n \cdot P}}} \cdot t_c \quad (42)$$

care dă legătura de dependență a cantității de căldură dezvoltată în contactele metalice pe durata de contact t_c și forța de apăsare P; la scăderea lui P → Q crește invers, legătură amplificată și de creșterea lui U_c la scăderea lui P.

Aceste aspecte reliefează multitudinea factorilor ce participă la crearea unor supra temperaturi localizate în vârful microasperităților favorizînd apariția descărcării în arc de scurtă durată, la ruperea microcontactului, descărcarea în arc dezvoltîndu-se instantaneu.

Din prezentarea fenomenelor fundamentale cit și din relațiile [31, 32, 33, 34] în care s-au evidențiat mărimile caracteristice ale microcontactelor multiple, se desprind o serie de concluzii cu aplicație directă în conducerea procesului de prelucrare prin EEC:

- mărimea ariei de contact, pentru o forță de apăsare dată, depinde de duritatea H a materialului și coeficientul ξ a lui Prandtl;

- raza cercului echivalent a fiecărui microcontact crește odată cu creșterea forței de apăsare P sau cu scăderea lui H ;

- rezistența electrică echivalentă a microcontactelor crește cu scăderea lui P și scade cu creșterea forței de apăsare în condițiile în care celelalte caracteristici de material se păstrează constante.

Sub acest aspect fenomenele fundamentale au implicații directe asupra desfășurării proceselor elementare influențând și reglând ponderea acestora. Astfel:

- procesul dizolvării anodice se desfășoară în zonele suprafețelor craterelor sau a suprafețelor microasperităților ce nu sînt în contact sau afectate de descărcările în impuls;

- ponderea procesului de dizolvare, ca participare la constituirea volumului (masei) de material prelevat este mică, indiferent de duritatea regimului electric, deoarece, la regimuri noi (U și I mici) și forța de apăsare mică, aria cercului echivalent al fiecărui microcontact ce se dezvoltă de peliculă este mică - rezistența de contact crește favorizînd dezvoltarea efectelor termice ridicate ce provoacă supraîncălzirea locală a OT în condițiile păstrării sau chiar a creșterii peliculei pasive pe OP; la regimuri noi și forță de apăsare mare, aria cercului echivalent crește, rezistența de contact scade foarte mult putînd provoca apariția scurtcircuitului, rezistența de contact scade foarte mult putînd provoca apariția scurtcircuitului sau dezvoltarea fenomenelor termice excesive procesul prelucrării degenerază, formarea peliculei pasive în zonele scurtcircuitului crește, procesul ajungînd în fază de totală instabilitate;

- la regimuri dure (U și I mari - totuși tensiunea păstrată în limitele procesului de eroziune complexă $U = 18 - 20$ V), ponderea procesului eroziv o constituie descărcarea electrică în impuls cu dezvoltarea fenomenelor termice ce provoacă evacuarea unor cantități mari de material prelevat. Datorită proceselor termice ridicate, a temperaturilor locale excesive, siliciatul de sodiu se deshidratează [24, 100] depunîndu-se în cantități mari

pe suprafața obiectului supus prelucrării, împiedicând în acest mod dezvoltarea procesului elementar de dizolvare. Totuși procesul elementar de dizolvare anodică este util în desfășurarea procesului de eroziune electrică complexă, în scopul orientării ionilor din soluție cu formarea peliculei pasive, pelicula pasivă care participă cu rol de reglare a suprafeței în care se desfășoară procesul eroziv termic.

Pentru a dezvolta în procesul de prelucrare fenomenul eroziv termic este obligatoriu a crea descărcări electrice caracterul de impuls, astfel încât pe durata parcurgerii spațiului Δl să se transmită microasperității OP-ului maximum de energie.

Procesul dizolvării anodice poate obține o pondere însemnată în cazul operațiilor de finisare și suprafinisare numai dacă în soluția de aticlă solubilă se adaugă în anumite procentaje săruri active, azotați de amoniu, compuși cu clor etc. [3, 99, 100] sau în cazul prelucrării unor materiale cu proprietăți electrochimice corespunzătoare. În afara acestor cazuri, chiar la regimuri noi există și descărcări electrice de energie mai mică, deci fenomene termice.

Intrucât fenomenele termice dezvoltate în rezistențele de contact sînt dependente și de duritatea materialelor, se prevede o dependență a parametrilor tehnologici și a caracteristicilor de uzare în funcție de paritatea de materiale dintre obiectul de transfer și obiectul supus prelucrării.

3.3. Influența modificării structurii circuitului electric asupra procesului de prelucrare prin EEC

Procesul prelucrării prin EEC reprezintă rezultatul cumulării tuturor acțiunilor ce se dezvoltă în spațiul tehnologic. Sub acest aspect modul de evoluție al procesului cît și rezultatele finale sînt determinate și influențate de desfășurarea proceselor elementare, dependente direct de condițiile locale cît și de modul de repartizare a energiei între obiectul de transfer și obiectul supus prelucrării.

Analiza fenomenelor fundamentale și a mecanismelor de încălzire și evacuare a metalului la nivelul microasperităților, relevă că în funcție de parametrii impulsurilor ca: formă, amplitudine, durată, energie etc. se schimbă și intensitatea procesului eroziv [31, 42, 49, 50, 59, 71, 104]. Încălzirea stratului superficial pînă la topire sau vaporizare, fără a afecta esențial masa

obiectului, se poate realiza în condițiile în care stratului superficial îi sînt transmise cantități mari de energie în timp foarte scurt. Tepirea superficială se va realiza cu atît mai ușor cu cît durata încălzirii este mai scurtă, cantitatea de căldură transmisă microvolumului mai mare și cu cît sînt mai mici conductibilitatea termică și capacitatea clorică a metalului prelucrat [31, 71, 77, 96, 101, 102]. Aceasta impune realizarea unor impulsuri cu front abrupt și de amplitudine mare, care să determine dezvoltarea unor procese termice cu caracter adiobatic.

Studiul producerii acestor impulsuri termice cît și a mecanismului prelevării de material în procesul real al prelucrării este dificil datorită simultaneității și caracterului complex al proceselor elementare [31, 42, 73, 92, 104, 127, 129] dezvoltate într-un număr mare de puncte și la nivele energetice foarte diferențiate.

Cu toate acestea în multe din lucrările de specialitate [2, 3, 4, 19, 23, 31, 44, 57, 74, 76, 100, 104] autorii evidențiază importanța realizării impulsurilor de curent în procesul eroziv intuind caracteristicile acestora sau prezentînd influența bineînțeles a inductivității ca parametru concentrat introdus în circuit, asupra rugozității suprafeței prelucrate, fără a explica sau demonstra evoluția proceselor elementare în aceste condiții. Singura lucrare care tratează sub aspect matematic și explică prin intermediul oscilogramelor procesului influența pe care o produce caracterul sursei de alimentare cît și modificarea structurii circuitului electric asupra caracteristicilor tehnologice este [104] din care se rețin următoarele concluzii:

- prezența parametrilor concentrați R, L și C modifică natura circuitului electric, deținînd un rol deosebit în stabilirea caracteristicilor descărcărilor electrice în impuls;
- caracteristicile acestora sînt răspunzătoare în mare măsură de calitatea și cantitatea modificărilor realizate în obiectul supus prelucrării deci de caracteristicile tehnologice finale;
- în cazul circuitelor rezistive, cel mai frecvent utilizate în prelucrare variația mare a parametrilor descărcărilor electrice în impuls este favorizată de variația continuă a tensiunii și curentului pe spațiul de lucru, dirijarea procesului realizîndu-se prin modificarea regimului electric deci prin modificarea tensiunii și a curentului;
- în cazul circuitelor inductive (L) se prezintă rolul acestora în nivelarea curentului permițînd în schimb variații ale ten-

siunii pe spațiul de lucru, efecte ce se reflectă în uniformitatea prelucrării cît și a caracteristicilor tehnologice. Dirijarea caracteristicilor tehnologice putîndu-se asigura deoarece odată cu creșterea inductivității se prevede o micșorare continuă a productivității și rugozității, ambele puse pe seama surplusului de energie înmagazinat în câmpul magnetic al inductivității și a variațiilor de tensiune ce pot asigura dezvoltarea descărcărilor electrice în impuls într-un număr mai mare de puncte și la nivele energetice mai scăzute;

- în cazul circuitelor capacitive (C) se evidențiază rolul capacității în nivelarea tensiunii pe spațiul de lucru, permițînd variații ale curentului; astfel se pot introduce energii mari cu cît capacitatea este mai mare, determinînd o creștere continuă a productivității și o înrăutățire a rugozității;

- prezența concomitentă a inductivității și capacității în circuitele de lucru nu prezintă interes deoarece efectele lor s-ar anula reciproc.

Considerînd procesul prelucrării prin EEC în cazul cel mai general prin prezența concomitentă a parametrilor concentrați R, L și C cît și a rezistenței R_s a spațiului de lucru, circuitul electric poate fi reprezentat [104] prin schema generală fig.3.7. sau într-o formă mai simplă în fig.3.8. la care ramura C și R_s sînt

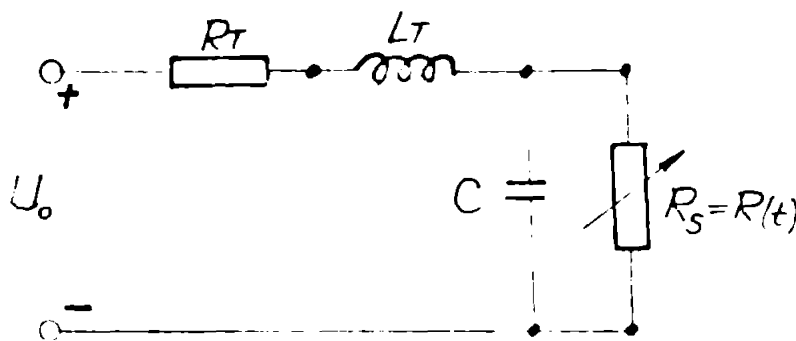
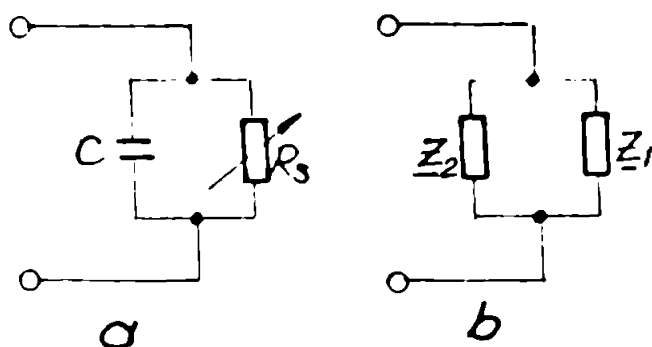


Fig.3.7. Schema electrică a procesului de prelucrare prin eroziune electrică complexă cu parametri concentrați



în derivație se înlocuiește cu o impedanță echivalentă. Circuitul din fig.3.8.a. se transformă în fig.3.8.b. pentru care impedanța echivalentă este:

$$Z_0 = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (43)$$

în care $Z_1 = R(t)$ și $Z_2 = -j \frac{1}{\omega C}$

Fig.3.8. Schema pentru calculul impedanței echivalente

$$\begin{aligned}
 Z_0 &= \frac{-jR(t) \cdot \frac{1}{\omega C}}{R(t) - j\frac{1}{\omega C}} = \frac{-jR(t) \cdot \frac{1}{\omega C} [R(t) + j\frac{1}{\omega C}]}{R^2(t) + (\frac{1}{\omega C})^2} \\
 &= \frac{R(t) \cdot (\frac{1}{\omega C})^2}{R^2(t) + (\frac{1}{\omega C})^2} + \frac{j [-R^2(t) \cdot \frac{1}{\omega C}]}{R^2(t) + (\frac{1}{\omega C})^2} = R_0(t) + jX_0(t) \quad (44)
 \end{aligned}$$

deci $Z_0 = R_0(t) + C_0(t)$ (45)

în care : $R_0(t)$ - este o rezistență echivalentă funcție de timp

și : $C_0(t)$ - este capacitatea echivalentă tot o funcție de timp deoarece $X_0(t)$ se poate scrie:

$$X_0(t) = -\frac{1}{C_0(t)} = -\frac{R^2(t) \cdot \frac{1}{\omega C}}{R^2(t) + (\frac{1}{\omega C})^2} \quad (46)$$

de unde: $C_0(t) = \frac{R^2(t) + (\frac{1}{\omega C})^2}{R(t) \cdot \frac{1}{\omega C}}$ (47)

ceea ce permite transformarea circuitului din fig.3.7. într-un circuit serie a cărui schemă echivalentă se prezintă în fig.3.9.

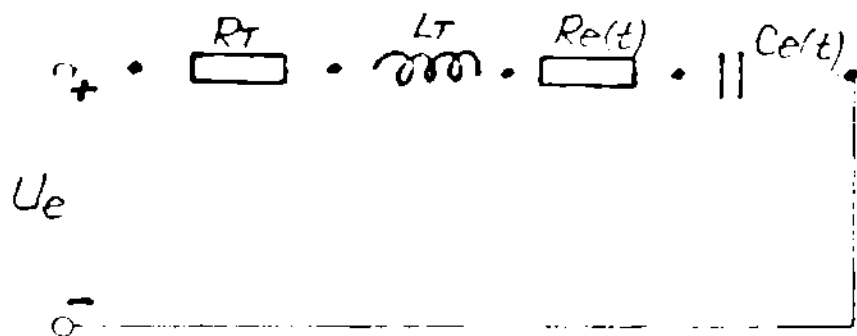


Fig.3.9. Schemă echivalentă a circuitului de prelucrare prin EBC

Ecuația diferențială a circuitului din fig.3.9. are următoarea expresie:

$$U_0 = [I_T + R_0(t)] i(t) + L_T \frac{di}{dt} + \frac{1}{C_0(t)} \int_{t_1}^{t_2} i(t).dt \quad (48)$$

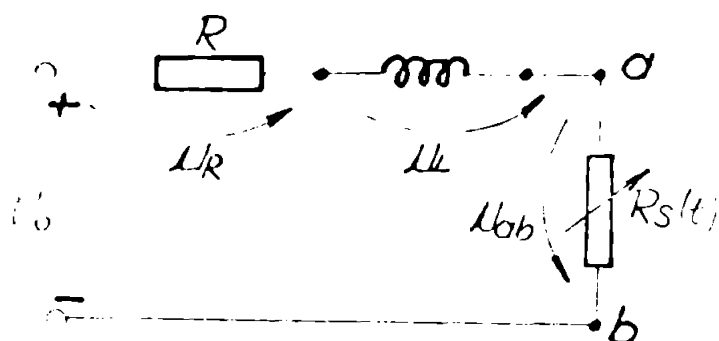
Această ecuație de tip integrodiferențială prezintă dificultăți în rezolvare din cauza termenului $R_0(t)$ și $C_0(t)$ care

sint funcții de timp și a căror lege de variație ne este cunoscută, fiind dependenți de o serie de factori cu influențe reciproce ceea ce îngreuează urmărirea și evidențierea fenomenelor.

In această situație în continuare se studiază interdependența dintre fenomenele fundamentale și parametri concentrați R, L sau C prezenți în circuitele electrice ale procesului de prelucrare prin EEC în cazul evoluției și realizării microcontactelor singulare, procesul final al prelucrării fiind rezultatul integrării proceselor elementare.

3.3.1. Influența modificării structurii circuitului electric cu R și L asupra fenomenelor fundamentale în procesul prelucrării prin EEC

In varianta utilizării rezistențelor și inductivităților ca parametri concentrați, schema electrică a circuitului de lucru se prezintă ca în fig.3.10. în care U_0 este tensiunea constantă a sursei de alimentare; R și L rezistența și inductivitatea introduse în circuit și $R_s(t)$ este rezistența spațiului de lucru. Ecuația diferențială a acestui circuit este de forma:



$$U_0 = IR + L \frac{di}{dt} + iR_s(t) \quad (51)$$

a cărei soluție generală este:

$$i = \frac{U_0}{R + R_s(t)} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (52)$$

în care t - reprezintă timpul curent iar:

$$\tau = \frac{L}{R + R_s(t)} \quad (53)$$

Fig.3.10. Schema electrică a circuitului de lucru cu parametri R și L

constanta de timp a circuitului.

Analiza desfășurării fenomenelor fundamentale în cazul circuitului din fig.3.10 se realizează pentru trei stadii distincte ale evoluției microcontactului singular în timp:

- a.) stadiul conectării (premergătoare realizării microcontactului);
- b.) stadiul contactului efectiv;
- c.) stadiul deconectării (al rupei microcontactului).

De altfel toate circuitele abordate în continuare se discută

sub aspectul desfășurării celor trei stadii indiferent de modificările suferite în structura lor.

3.3.1.1. Cazul circuitelor pur rezistive

În cazul acestor circuite se consideră $R = 0$ și $L = 0$, în circuit existând doar rezistența $R_s(t)$ a spațiului de lucru așa că circuitul de lucru alimentat cu tensiune constantă prezintă următoarea schemă fig.3.11 pentru care se poate scrie ecuația tensiunii:

$$U_0 = iR_s(t) = U_{RS} \quad (54)$$

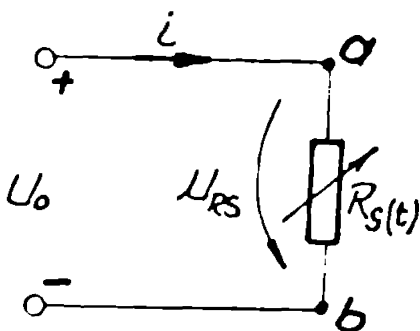


Fig.3.11. Schema circuitului pur rezistiv

a.) stadiul conectării în care pentru primul moment la $t = 0$ rezistența spațiului este minimă (R_{smin}) deoarece mediul de lucru are proprietăți electroconductoare și pelicula pasivantă încă nu a început să se formeze datorită absenței cîmpului electric așa că în momentul conectării, curentul din circuit ia valoarea maximă aproape instantaneu:

$$i_{max} = \frac{U_0}{R_{smin}} \quad (55)$$

Dacă valoarea tensiunii în procesul de prelucrare este cunoscută și stabilită între 10 și 20 V, asupra valorii rezistenței electrice a spațiului de lucru nu se fac aprecieri deoarece nu se cunoaște legea de variație. Practic R_s reprezintă rezistența volumică a

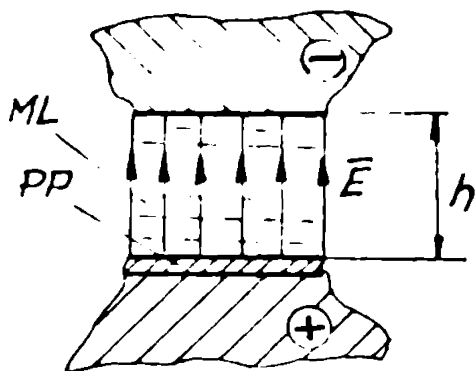


Fig.3.12. Formarea peliculei pasive în tubul unitar de electrolit

unui tub de electrolit și peliculă pasivantă cu suprafața bazei cilindricului de 1 cm^2 . Valoarea minimă R_{smin} ar corespunde coloanei de electrolit la $t = 0$ când pelicula pasivantă încă nu este formată și valoarea maximă R_{smax} pentru cazul în care pelicula pasivantă este formată și curentul practic tinde spre zero la timpul t_x .

Astfel în fig.3.12 se prezintă cazul tubului unitar de ML - electrolit, care sub acțiunea cîmpului electric \vec{E} determinat de tensiunea

U și distanța h , determină stabilirea unui curent de intensitate i și formarea în timp a peliculei pasivante.

În lucrarea [104] pentru determinarea apertului pe care componenta de dizolvare o are asupra procesului de prelevare prin EFC s-au determinat și oscilografiat variațiile curentului în funcție de timp la formarea peliculei pasivante între două obiecte cu suprafață de 1 cm^2 . Tensiunea a fost variată în trepte pentru valorile de 10, 15, 20, 23, 27, 30, 40 și 50 V aplicate succesiv probelor ce se aflau la distanța h variind între 5 și 0,08 mm. Un interes deosebit suscită următoarele constatări ale autorului mai sus citat:

- pentru $h < 0,2 \text{ mm}$ (până la 0,08 mm valoarea minimă experimentată) variația curentului și durata de formare a peliculei practic rămân aceleași ca și pentru 0,2 mm la tensiune constantă;

- aplicarea tensiunilor diferite pe acest interval a lui h nu modifică durata de formare a peliculei ci numai valoarea (saltul) inițială a curentului, curentul, pe durata formării peliculei variind după o curbă neliniară ca în fig.3.13:

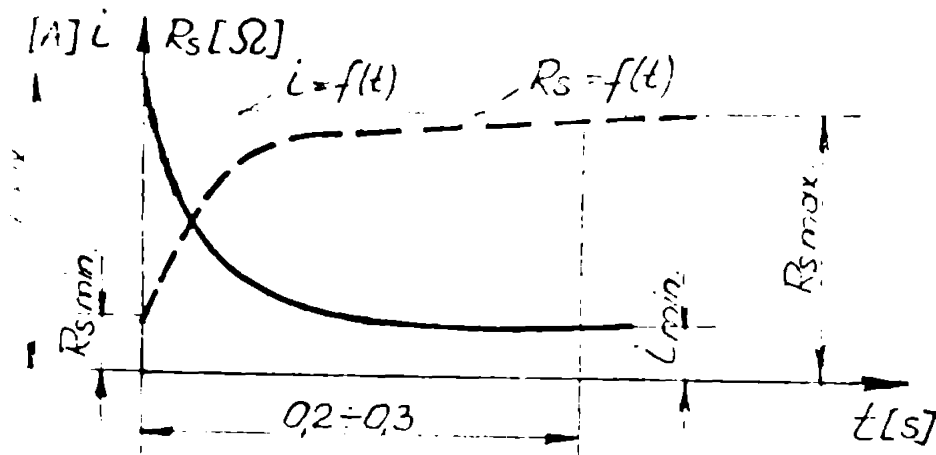


Fig.3.13. Diagrama calitativă de variație a curentului și rezistenței peliculei pasivante la dizolvare

Se observă din diagramă că variația curentului în timpul formării peliculei pasivante este o variație exponențială, deci, pentru curent se poate scrie ecuația:

$$i = I_0 e^{-kt} \quad (56)$$

care pentru $t = 0$ asigură curentul $i = I_{\max}$, valoare determinată experimental în [104] din oscilograme, astfel că se poate calcula pentru I_{\max} și U_0 valoarea rezistenței coloanei de electrolit R_{\min} pentru orice h :

$$R_{\min} = \frac{U_0}{I_{\max}} \quad (57)$$

Cum după un interval de (0,2 - 0,3)s curentul practic nu

mai variază, înseamnă că pelicula pasivantă nu-și mai modifică grosimea, rezistența R_{max} rămânând constantă; aceasta confirmă că legea de formare a peliculei pasive este tot exponențială în condițiile în care tensiunea pe spațiul de lucru se păstrează constantă:

$$R_s = R_{\text{min}} e^{k_1 t} \quad (58)$$

Cu valorile curenților și tensiunilor utilizate în [104] pentru $h \leq 0,2$ mm s-a calculat valoarea minimă a rezistenței unitare volumice a coloanei de electrolit obținându-se $R_{\text{min}} = 0,5 \Omega$. Pentru a se determina valoarea maximă a lui R_s se poate lua valoarea minimă a curentului după 0,3 s, care este de 2 A și pentru două tensiuni extreme de 10 și 40 V rezultă pentru $R_s = (5-20) \Omega$.

Faptul că în regim staționar există un curent de valoare minimă și totodată rezistența peliculei nu este infinită, confirmă afirmația făcută în paragraful 3.1. că pelicula pasivantă nu este un dielectric perfect.

b.) Stadiul realizării contactului efectiv - contact a cărui rezistență depinde de condițiile mecanice în care se îndepărtează pelicula la nivelul vîrfurilor microasperităților, determinînd apariția unui curent de conducție $I_c = U_c/R_c$ în care dacă se ține cont de relația (34), expresia curentului devine:

$$I_c = \frac{2U_c}{\rho} \sqrt{\frac{nP_c}{\pi \xi H}} \quad (59)$$

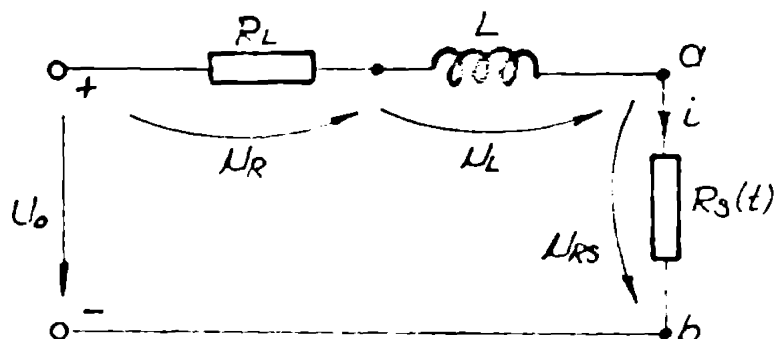
determinînd apariția și dezvoltarea efectului termic datorat curentului electric; totuși în acest stadiu există și posibilitatea apariției frecvente a descărcărilor electrice prin străpungere deoarece pe spațiu se aplică direct valoarea maximă a tensiunii sursei.

c.) Stadiul rușerii microcontactului în care se dezvoltă microarcul, se produce descărcarea în impuls, explozia și evacuarea produselor coroziunii, fenomene a căror intensitate depind de cantitatea de căldură dezvoltată în stadiul precedent, est și de valoarea tensiunii pe spațiul de lucru, stingerea microarcului producîndu-se prin creșterea rapidă a lungimii acestuia determinat de viteza de deplasare a OT-ului.

3.2.1.2. Cazul circuitului pur inductiv

Pentru a analiza acest caz se consideră $R = 0$; $L \neq 0$ și

$R_s \neq 0$, tensiunea $U_0 = et$, inductivitatea prezentînd și rezistența sa $R_L \neq 0$, astfel că schema circuitului electric ia forma din fig.3.14



a cărui ecuație diferențială pentru regimul tranzitoriu este:

$$U_0 = iR_L + L \frac{di}{dt} + iR_s(t) \quad (60)$$

cu soluția generală de forma:

$$i = \frac{U_0}{R_L + R_s(t)} \left(1 - e^{-\frac{t}{t_c}} \right) \quad (61)$$

în care constanta de timp a circuitului t_c are expresia:

$$t_c = \frac{L}{R_L + R_s(t)} \quad (62)$$

Din relația (61) se observă că în circuit există doi curenți, o componentă permanentă și o componentă cu variație exponențială datorită prezenței inductivității, curentul din circuit variind ca în diagrama din fig.3.15. Constanta de timp t_c crește cu creșterea lui L evidențiată și în oscilogramele din fig.3.16., 3.17., 3.18.

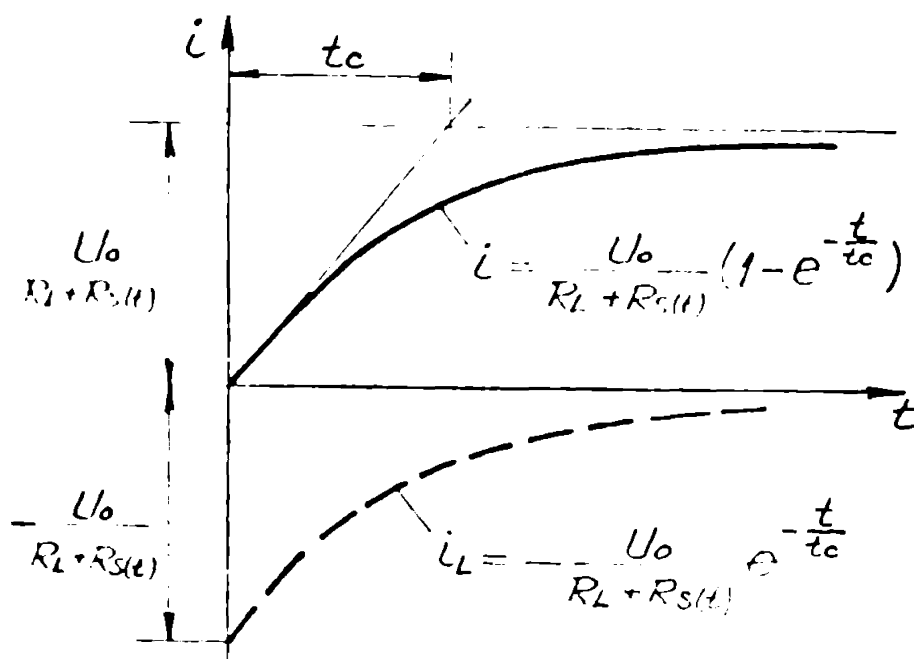


Fig.3.15. Diagrama curenților pentru circuitul inductiv

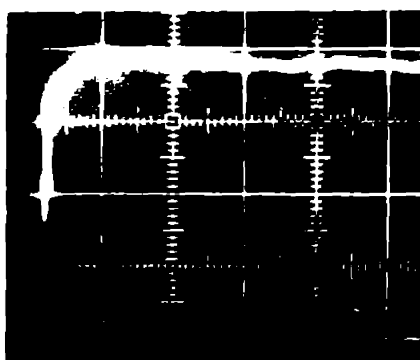


Fig.3.16. Oscilograma curentului la inductivitate de 0,8 mH, $t_c = 0,01$ s, $I = 40$ A, $U = 20$ V.

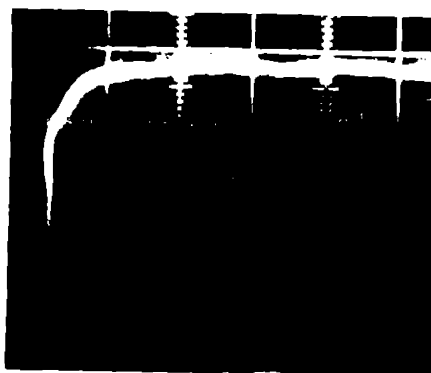


Fig.3.17. Oscilograma curentului la inductivitate de 1 mH, $t_c = 0,018$ s, $I = 40$ A, $U = 20$ V.

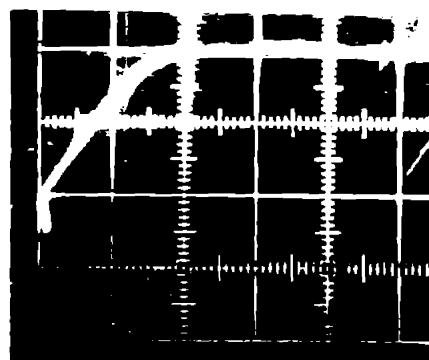


Fig.3.18 Oscilograma curentului la inductivitate de 10 mH, $t_c = 0,04$ s, $I = 40$ A, $U = 20$ V.

a.) Stadiul conectării, în care la $t = 0$ curentul în circuit este nul, atingerea valorii permanente realizându-se mai repede sau mai târziu în funcție de valoarea constantei de timp a circuitului care crește cu creșterea lui L . Tensiunea sursei se repartizează la bornele inductivității astfel că pe spațiul de lucru tensiunea este nulă deoarece la $t = 0$ și $i = 0$ deci $U_{RS} = iR_s(t) = 0$. Variația tensiunii este redată în fig.3.19.

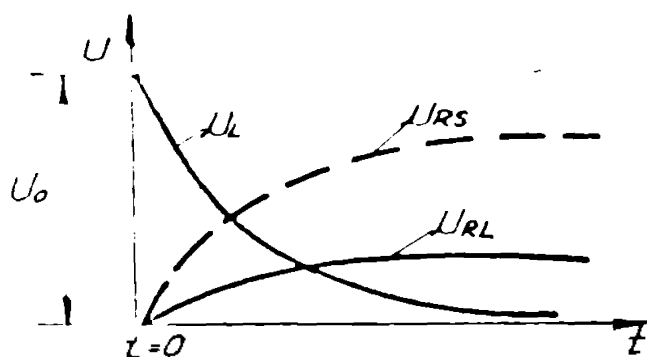


Fig.3.19. Diagrama tensiunilor în circuitul inductiv

că și faptul că în regim permanent tensiunea are valoarea mai mică decât U_0 împiedică aproape total apariția descărcărilor prin străpungere.

b.) Stadiul realizării contactului propriu-zis, rezistența de contact poate avea valori mai mici, probabilitatea prezentei contactului pur metalic ferm mai mare, permițând creșterea efectului termic prin creșterea curentului.

c.) Stadiul deconectării caracterizat în mod obișnuit de scăderea rapidă a curentului, în cazul circuitelor inductive această

Aceste variații determină o dezvoltare mai lentă a procesului de dizolvare, micșorînd viteza de formare a peliculei pasive, astfel că rezistența $R_s(t)$ va fi mai mică decât în cazul circuitelor rezistive, pentru aceeași unitate de timp favorizînd realizarea unor contacte mai ferme în stadiul următor. Modul de variație al tensiunii pe spațiul de lucru

scădere se face mai lent din cauza cedării energiei acumulate la conectare de către inductivitate, ecuația diferențială a circuitului pentru acest stadiu fiind:

$$U_0 = iR_L - L \frac{di}{dt} + iR_s(t) \quad (63)$$

sau
$$U_0 = iR - L \frac{di}{dt} \quad (64)$$

în care $R = R_L + R_s(t)$ și a cărei soluție pentru ecuația omogenă este:

$$i = I_c e^{-\frac{t}{\tau_c}} = I_c e^{-\frac{R_L + R_s(t)}{L} \cdot t} \quad (65)$$

unde I_c este valoarea curentului de contact, stabilit în stadiul precedent.

Variația exponențială a curentului asigură pe perioada deconectării energie suplimentară în microarc, putând provoca intensificarea procesului eroziv termic, astfel că productivitatea poate să crească.

Deși se ia în considerare saltul de tensiune produs în timpul deconectării, exprimat din ecuația (63)

$$U_0 = U_{RL} - U_L + U_{RS} \text{ de unde rezultă} \quad (66)$$

$$U_{RS} = U_0 + U_L - U_{RL}$$

înseamnă că deconectarea se produce mai rapid [17, 37] efectul de impuls este mai pronunțat, efectul eroziv mai mare.

Luând în considerare aceste efecte pozitive pentru obținerea unor creșteri substanțiale de productivitate ar fi util să se lucreze cu inductivități oft mai mari, dar după cum reiese din relația (62) constanta de timp a circuitului crește cu creșterea lui L și scade cu scăderea sa. Această variație ne determină a corela constanta de timp a circuitului cu o mărime ce să caracterizeze desfășurarea stadiilor procesului eroziv.

Pentru aceasta se definește spațiul de lucru elementar "D" în care se desfășoară cele trei stadii, prin deplasarea microasperității OF față de cea de pe OP, cu viteza relativă v_r (parametru constant pentru un regim electric de prelucrare), determinând un timp " t_p " numit constanta de timp a procesului eroziv elementar.

Ținând cont de constanta de timp a procesului și analizând fenomenele fundamentale în cazul modificării constantei de timp a circuitului comparată cu durată cu " t_p " se constată următoarele posibilități:

- să convenim a nota cu " t_{co} " constanta de timp a circuitului pentru cazul $t_{co} = t_p$, caz în care pentru durata fiecărui stadiu în parte inductivitatea se face simțită din plin atenuind sau cedînd întreaga energie immagezinată;

- în cazul în care $t_c < t_p$, se lucrează cu inductivități mai mici ceea ce determină efecte erozive reduse;

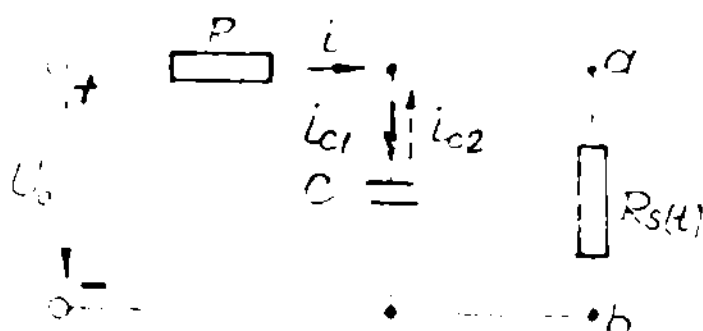
- în cazul în care $t_c > t_p$, inductivitățile din circuit sînt mari ceea ce ar permite vehicularea unor energii mari în cele două stadii, dar în timpul t_p scurt inductivitatea nu poate absorbi energia pe măsura capacității sale, ea fiind cu atât mai mică cu cît L este mai mare, în faza finală putînd elibera doar o fracțiune din energia ce putea fi absorbită. În această situație productivitatea scade, inductivitatea contribuind la obținerea unor răgozități din ce în ce mai mici.

Din această analiză se poate intui variația productivității prelucrării în funcție de creșterea inductivității, variația fiind ^{determinată} maximală/de ~~maximă~~ inductivității, maximul obținîndu-se pentru condiția $t_c = t_p = t_{c\text{optim}}$. Deci pentru o constantă de timp a circuitului dată, există o valoare optimă și unică a constantei de timp a procesului, dată de valoarea vitezei relative.

În al doilea rînd se poate prevedea că pentru o constantă de timp a procesului dată și constantă, prin creșterea constantei de timp a circuitului (crește L) se vor obține calități din ce în ce în ce mai bune ale suprafețelor prelucrate că o scădere corespunzătoare a productivității prelucrării.

3.3.2. Cazul circuitului capacitiv

Pentru evidențierea fenomenelor fundamentale în cazul circuitelor modificate prin utilizarea capacităților cu parametru concentrat se prezintă în fig.3.20. schema electrică a circuitului în regim tranzitoriu în care $R \neq 0$; $C \neq 0$; $R_s(t) \neq 0$ și alimentat cu tensiunea continuă U_0 .



În cazul acestor circuite, asemănător circuitelor inductive, există două etape distincte în funcționare, cea tranzitorie și cea permanentă atât la închiderea, cât și la deschiderea circuitului.

Faza conectării, în care condensatorul la $t = 0$ este

Fig.3.20. Schema electrică a circuitului capacitiv

deschisat se caracterizează prin ecuația:

$$U_0 = RC \frac{du_c}{dt} + u_c \quad (67)$$

cu soluția generală pentru tensiune:

$$u_c = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (68)$$

și pentru curent:

$$i_c = C \frac{dU_c}{dt} = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (69)$$

Variația tensiunii pe condensator este redată în fig.3.21.

și a curentului în fig.3.22.

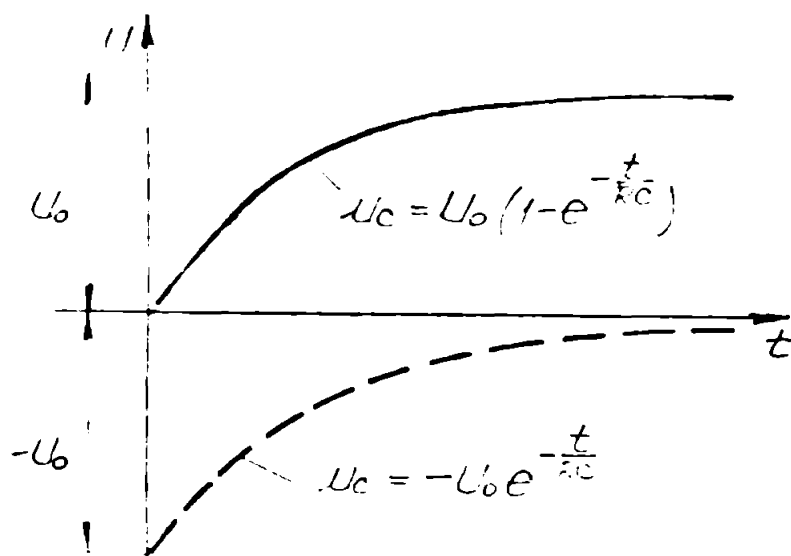


Fig.3.21. Diagrama tensiunii la conectare

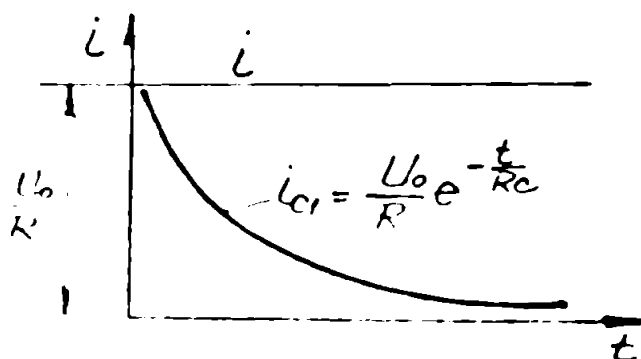
Se remarcă variația exponențială pe condensator atât pentru tensiune cât și pentru curent. Variația tensiunii pe condensator de la zero la valoarea tensiunii de regim, de termină pe spațiul de lucru o variație asemănătoare ce determină întârzierea atingerii valorii maxime a tensiunii și curentului, conform relațiile

$$u_{RS} = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{R+R_s(t)}} \right) \quad (70)$$

și:

$$i_{RS} = U_0 \frac{R_s(t)}{R+R_s(t)} \left(1 - e^{-\frac{t}{R+R_s(t)}} \right) \quad (71)$$

Fig.3.22. Diagrama curentului la conectare



Diagramele de variație sînt redată pentru U_{RS} și i_{RS} în fig. 3.23. Pentru regimul permanent considerat după scurgerea unui timp $t = 3t_0$, curentul prin $R_s(t)$ este $i_{RS} = i_{max}$ pentru că $i_{c1} = 0$ iar tensiunea aplicată pe spațiul de lucru atinge valoarea U_0 . Variația exponențială și întârzierea atingerii valorii maxime a curen-

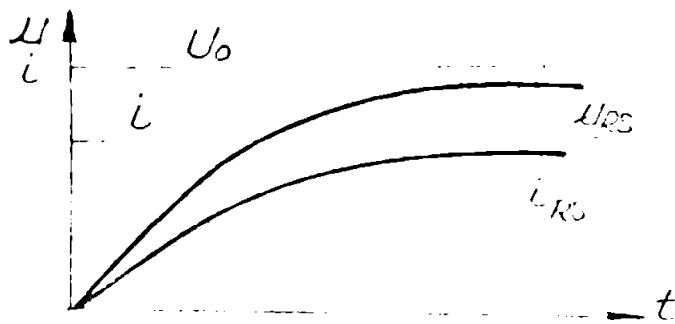


Fig.3.23. Diagrama tensiunii și curentului pe spațiul de lucru la conectare

tului cu creșterea capacității se observă și în oscilogramelor din fig.3.24. și din fig.3.25.

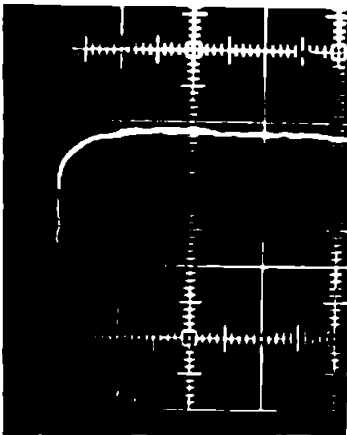


Fig.3.24. Oscilograma curentului pentru $C = 32 \mu F$, $I = 40 A$, $u = 20 V$, $t_c = 0,012 s$.

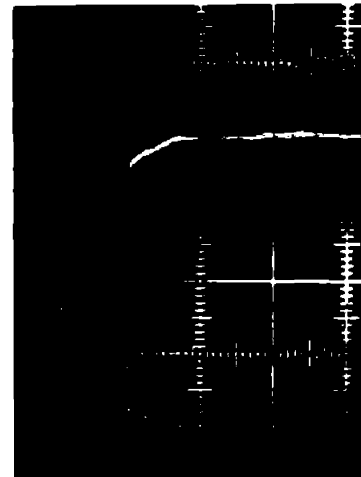


Fig.3.25. Oscilograma curentului pentru $C = 640 \mu F$, $I = 40 A$, $u = 20 V$, $t_c = 0,032 s$.

În cazul deconectării prin deschiderea ramurii $R_s(t)$ care se produce prin apariția unui microarc, condensatorul debitează energiă acumulată $1/2 CU_0^2$ pe microarc prin apariția curentului suplimentar i_{c2} de sens invers lui i_{c1} , astfel că prin $R_s(t)$ curentul va fi:

$$i_{R_s(t)} = i + i_{c2} \quad (72)$$

Întreaga evoluție a acestor fenomene s-ar produce sub formă de crăci mai sus dacă s-ar cauta dinamica desfășurării fenomenelor fundamentale pe parcursul celor trei stadii. Analizate prin prisma dinamică desfășurării fenomenelor fundamentale și ținând cont de corelația constantelor de timp a circuitului și a procesului $t_{co} = 1/3 t_p$, evenimentele se desfășoară astfel:

a) În stadiul conectării U_0 , i_c , U_{RS} , i_{RS} - au aceleași legi de variație expuse mai sus și condensatorul va putea să-și imaginezeze energia în câmpul său magnetic numai dacă $t_c \leq t_{co}$; dacă $t_c > t_{co}$ condensatorul se află în procesul de încălzire, mai aproape sau mai departe de valoarea U_0 , în funcție de capacitatea sa astfel

că la declanșarea stadiului de realizare propriu-zisă a contactului el și va descărca energia acumulată pe spațiul $R_g(t)$. De altfel, același fenomen se produce și pentru $t_0 \leq t_{c0}$ dar în acest caz se livrează întreaga energie de care capacitatea condensatorului a fost capabilă să acumuleze.

În acest stadiu viteza de formare a peliculei pasive este scăzută din cauza variației lente atât a tensiunii cât și a curentului pe spațiul de lucru.

b.) În stadiul contactului propriu-zis se realizează efectiv descărcarea electrică prin impuls, preponderent prin străpungerea peliculei pasive sau a stratului de oxizi, energia condensatorului consumându-se integral provocând fenomenele de eroziune termică la nivelul vârfurilor celor două microasperități. Efectele termice sînt mai reduse decât în cazul circuitelor rezistive sau inductive din cauza energiilor scăzute livrate în descărcare, mai puțin influențată de valoarea capacității, ceea ce provine o scădere a productivității și rugozității.

Totuși există posibilitatea ca în acest stadiu, cu precădere la valori mari ale capacităților cu $t_0 \gg t_{c0}$, să nu se producă descărcarea în impuls în varianta în care fie presiunea peliculei, fie valoarea tensiunii la care se află condensatorul în procesul încălzirii nu sînt capabile să asigure condițiile străpungerii.

În această situație condensatorul se va încălzi la capacitatea maximă pe parcursul celor trei stadii putînd provoca apariția descărcărilor electrice în impuls la impactul cu o nouă microasperitate (prima rămînînd nepreluată) provocînd eroziuni mari și înrăutățirea premunțată a rugozității. Cu toate acestea productivitatea nu crește semnificativ, deoarece astfel de descărcări se produc la intervale mari de timp, alternînd cu descărcări de energie mică (mai frecvente).

c.) În stadiul deconectării se remarcă faptul că în aceste circuite nu mai apare ca un stadiu distinct, el suprapunîndu-se cu stadiul precedent pentru $t_0 > t_{c0}$ cât și pentru $t_0 \leq t_{c0}$, rănirea microcontactului producîndu-se asemănător condițiilor din circuitele pur rezistive.

În cazul utilizării circuitelor electrice modificate cu C ca parametru concentrat se pot conștata următoarele:

- productivitatea și rugozitatea prezintă variații cu creșterea capacității după curbe cu minim, minimul plasîndu-se pentru $t_0 = t_{c0}$ urmat de o creștere relativ lentă a parametrilor tehnice-

legiei pentru $t_0 > t_{c0}$;

- în funcție de valoarea constantei de timp t_0 mai mică, egală sau mai mare decât t_{c0} , procesul eroziv se produce înainte sau în timpul realizării contactului propriu-zis;

- se prevede că pentru același regim electric și aceeași capacitate, la creșterea constantei de timp a procesului t_p , deci la viteze relative v_r mai mici, productivitatea să scadă, rugozitatea suprafețelor să crească iar minimul să se deplaseze mai jos și spre stînga, adică spre capacități mai mici.

3.4. Influența modificării structurii circuitului electric cu parametri concentrați R, L sau C asupra principalelor caracteristici tehnologice

Caracteristicile tehnologice, cele de uzare cât și grosimea stratului modificat și influențat termic sînt dependente de temperatura locală dezvoltată de descărcarea electrică în impuls și de proprietățile termofizice caracteristice fiecărui material al obiectului supus prelucrării și al obiectului de transfer, cât și de condițiile concrete din spațiul de lucru unde se produc efectiv procesele elementare

Utilizarea parametrilor concentrați R, L și C drept modificatori ai structurii electrice a circuitelor de lucru în cazul prelucrării prin EDC, provoacă modificări substanțiale în dinamica desfășurării fenomenelor fundamentale, care hotărăsc durata, succesiunea și ponderea proceselor elementare în stabilirea rezultatelor finale ale procesului eroziv. Fenomenele fundamentale sînt răspunzătoare în ultimă instanță de calitatea și cantitatea modificărilor produse în obiectele supuse prelucrării și a celor de transfer, stabilind parametrii și caracterul descărcărilor electrice în impuls deci cantitatea de energie vehiculată în procesul eroziv.

După modul de evoluție a fenomenelor fundamentale se poate afirma că circuitele inductive vor avea cea mai pronunțată influență și cu plejă largă, permițînd obținerea unor productivități ridicate concomitent cu asigurarea unor rugozități scăzute, efecte ce nu pot fi obținute în cazul circuitelor rezistive sau capacitive. Creșterile de productivitate sînt consecința livrării în spațiul de lucru a unor cantități de energie scăzute, constantă în timp și repetabilă cu o frecvență ridicată, ceea ce va determina reducerea grosimii stratului modificat și influențat termic cât și frecvența microfisurilor.

Aceste efecte vor fi cu atât mai pronunțate cu cât inductivitatea crește, provocând și o micșorare a productivității.

În cazul circuitelor capacitive se poate afirma că în afara zonei de minim pentru productivitate și rugozitate când și grosimea stratului modificat este mai mică, prezența capacității provoacă o înrăutățire a caracteristicilor tehnologice și de uzare provocând frecvența mare a microfisurilor, iar în cazul materialelor cu fragilitate ridicată chiar a macrofisurilor sau a distrugerilor volumice.

După modul de variație a mărimilor electrice caracteristice u și i , în circuitele modificate se observă că introducerea unei rezistențe suplimentare, deci circuite cu parametri RL și RC determină o întârziere a desfășurării fenomenelor fundamentale, constituind totodată și un consumator energetic nerentabil. Cu toate acestea eliminarea totală a rezistențelor cu parametru concentrat nu este posibilă, ele constituind elementul de întârziere pentru formarea mărimii de referință și a funcției de transfer, utilizată în sistemele de automatizare a avansului, cât și pentru protecția sursei în cazurile de scurtcircuit. În acest caz rezistențele se vor utiliza cu valori minime, necesare asigurării mărimii de referință de obicei u sau i .

Modificarea structurii electrice prin prezența concomitenței a lui R, L și C nu este recomandată deoarece din modul de variație a mărimilor electrice caracteristice circuitelor inductive și a celor capacitive, ar provoca anularea reciprocă, cu peribilitatea largă de a se vehicula între L și C energii importante fără a putea fi livrate în spațiul de lucru și utilizate în mod productiv. Evoluția curentului în timpul stadiului de conectare poate fi urmărită în oscilogramele din fig. 3.26., fig. 3.27. și fig. 3.28.

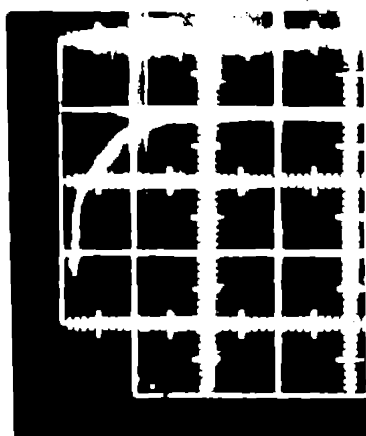


Fig. 3.26. Oscilograma curentului pentru $L = 1 \text{ mH}$;
 $C = 640 \mu \text{F}$; $I = 40 \text{ A}$;
 $U = 20 \text{ V}$; $t_0 = 0,02 \text{ s}$.

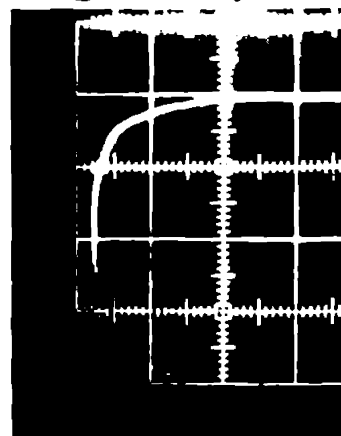


Fig. 3.27. Oscilograma curentului pentru $L = 4 \text{ mH}$;
 $C = 640 \mu \text{F}$; $I = 40 \text{ A}$;
 $U = 20 \text{ V}$; $t_0 = 0,0475 \text{ s}$.

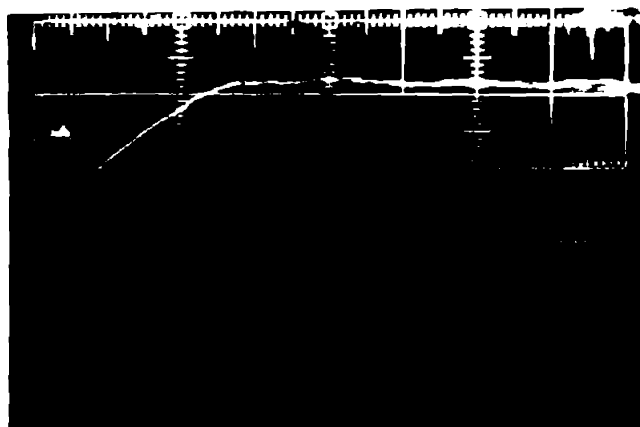


Fig. 3.28. Oscilograma curentului pentru $L = 10 \text{ mH}$; $C = 640 \mu\text{F}$; $I = 40 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$; $t_c = 0,069 \text{ s}$.

În care s-au utilizat circuitele complexe pentru $L = 1 \text{ mH}$ și $C = 640 \mu\text{F}$; $L = 4 \text{ mH}$ și $C = 640 \mu\text{F}$; și $L = 10 \text{ mH}$ și $C = 640 \mu\text{F}$. Se observă creșterea pronunțată a constantelor de timp în comparație cu constantele de timp aferente aceluiași măriri (L sau C) prezente separat în circuit. Mărirea constantelor de timp a circuitului electric, în condițiile păstrării constantei de timp a procesului la o valoare constantă, determină frnarea evoluției tuturor fenomenelor fundamentale în consecință și a caracteristicilor tehnologice, deci nerentabil.

3.5. Influența reglării și stabilizării interstitiului de lucru asupra parametrilor procesului la prelucrarea prin EEC

3.5.1. Considerații generale

Procesul prelucrării prin EEC, face parte din grupa proceselor dinamice, rapide, la care dezvoltarea fenomenelor elementare ca proporție, durată și eficiență sînt dependente de condițiile locale ale spațiului de lucru.

De modul în care fenomenele și procesele elementare se generează și se întrețin pe durata prelucrării, depind caracteristicile tehnologice, care în ultimă instanță constituie măsura modificărilor produse în prelucrare asupra OP și OT.

Orice abatere sau dereglare a desfășurării proceselor elementare de la condițiile impuse se reflectă în modificarea caracteristicilor tehnologice. Deci pentru obținerea unor caracteristici tehnologice constante (anterior prescrise) este necesară asigurarea și menținerea pe toată durata desfășurării proceselor erozive a aceluiași condiții locale.

Condițiile locale sînt înalt dependente de o serie de parametri ca regimul electric prin tensiunea U și curentul I ; natura circuitului electric; prezența, cantitatea și proprietățile electro-

litului; prezența, grosimea și caracteristicile mecanice și electrice ale peliculei pasivante; perechea de materiale dintre OP și OT; mărimea vitezei relative; presiunea de contact etc., condiții care nu pot fi păstrate riguros constante pe tot parcursul prelucrării cu atât mai mult cu cât între acești parametri există aproape o totală interdependență.

Parametrul acceptat în literatura de specialitate [32, 39, 40, 99, 104, 120] prin a cărui mărime se apreciază și se reglează desfășurarea proceselor fundamentale în timpul prelucrării, este grosimea interstițiului tehnologic " g_{opt} " care definește poziția relativă dintre obiectul prelucrării OP și obiectul de transfer OT. În condițiile existenței electrolitului și a prelevării de material de pe suprafața OP-ului, menținerea unei valori prescrise a grosimii interstițiului tehnologic impune în ultimă instanță, prezența unei mișcări relative de apropiere a acestora cu o viteză de avans optimă " $v_{a, opt}$ ".

Orice abatere de la mărimea prescrisă "optimă" are repercursiuni asupra procesului. Astfel micșorarea vitezei de avans duce la creșterea interstițiului tehnologic, adică $g > g_{opt}$, ceea ce atrage modificarea parametrilor regimului electric, tensiunea pe spațiu crește iar curentul scade, permițând apariția unor pelicule pasivante cu o rezistență mecanică sporită, o micșorare pronunțată a productivității, existind și pericolul apariției descărcărilor electrice prin străpungere care în anumite condiții pot degenera în faza de arc - staționar, pata catodică deplasându-se pe periferia OT, fără prelevare de material, dar cu menținerea constantă a lui U și I. În caz contrar când viteza de avans este mai mare ca cea optimă, interstițiul tehnologic $g < g_{opt}$, procesele fundamentale degenerază din cauza apariției scurtcircuitului electric cu toate consecințele negative, provocând chiar blocarea mecanică OT și OP din cauza creșterii presiunii de contact peste valoarea admisă.

Menținerea constantă a vitezei de avans la valoarea $v_a = v_{opt}$ se impune ca o necesitate pentru dezvoltarea continuă și stabilă a tuturor fenomenelor procesului de prelucrare, constantă care poate fi menținută numai cu ajutorul sistemelor de avans automat [31, 67, 75, 76, 79, 80, 84, 85, 87, 104, 120].

3.5.2. Stabilirea condițiilor tehnologice și a parametrilor de reglare în procesele de profilare prin EEC a corpurilor de revoluție

După cum s-a arătat în paragraful precedent, pentru stabili-

rea condițiilor de reglare și a mărimii vitezei de avans în prelucrările prin EEC, literatura de specialitate, în puținele referiri [51, 55, 59, 98, 103, 104, 120] acceptă drept parametru de reglare "interstițiul tehnologic "g"". Dacă acest interstițiu tehnologic la anumite procedee de eroziune constituie într-adevăr parametrul de reglare, în cazul prelucrărilor prin eroziune electrică complexă nu poate fi acceptat nici pentru cele mai simple prelucrări, pentru că contrazice esența procesului.

Din paragraful 3.1. s-a remarcat că, pentru desfășurarea fenomenelor fundamentale în cazul prelucrărilor prin eroziune electrică complexă este absolut necesară deplasarea unuia dintre obiecte pe suprafața celuilalt sub acțiunea unei presiuni, realizându-se efectul mecanic de îndepărtare a peliculei pasive la nivelul vîrfurilor microasperităților, astfel că microasperitățile OT vin în contact metalic cu cele ale OP. Sub acest aspect interstițiul tehnologic la prelucrarea prin eroziune electrică complexă poate fi definit drept volumul cuprins între microasperitățile OT și OP pentru cazul cînd $g = 0$, adică vîrfurile microasperităților sînt în contact, fig.3.29.

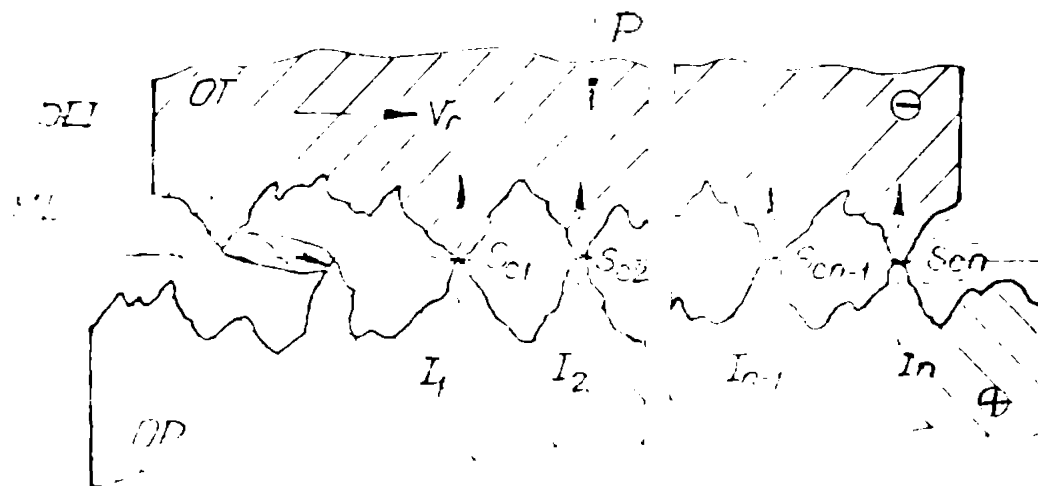


Fig.3.29. Schema interstițiului tehnologic la prelucrarea prin EEC

U, I - tensiunea și curentul pe interstițiul tehnologic

IT ;

$S_{c1} \dots S_{cn}$ - suprafețe de contact;

ML - mediu de lucru;

DEI - descărcare electrică în impuls

În realitate "interstițiul tehnologic" la prelucrarea prin EEC se constituie din trei componente, corespunzător fenomenelor elementare de eroziune și anume:

- I.D.P.A. - interstițiul pentru dezvoltarea procesului anodic delimitat de conturul geometric al suprafețelor în contact și cuprins între microgeometria celor două suprafețe ce asigură dezvoltarea continuă a procesului de dizolvare anodică;

- I.D.P.T. - interstițiul pentru dezvoltarea proceselor termice, delimitat de suprafețele vîrfurilor a două microasperități și suprafața laterală a canalului în care se produce descărcarea electrică în impuls, prin ruperea contactului metalic anticipat realizat, interstițiu măsurat în direcția vitezei relative, ce asigură dezvoltarea proceselor termice și,

- I.P.C. - interstițiul punctelor de contact, delimitat de conturul geometric al suprafețelor microasperităților în contact, ce pregătește dezvoltarea proceselor termice de eroziune prin scintilă, putînd realiza în anumite condiții și procese de eroziune prin străpungere sau prin explozia instantanee a punții metalice înainte de a se crea condițiile descărcării în impuls prin ruperea contactului metalic.

Prin această prezentare se reliefează diversitatea și complexitatea fenomenelor ce au loc în procesul cumulat al prelucrării prin eroziune electrică complexă, metis pentru care stabilirea condițiilor tehnologice de reglare automată este dificilă. Pentru simplificarea problemei de evidențiere a condițiilor și parametrilor reglării, se va utiliza în continuare în locul termenului de "interstițiu tehnologic" termenul și noțiunea de "suprafață portantă" care reprezintă suma suprafețelor elementare de contact, stabilite la un moment dat între punțile metalice parcurse de curent.

Suprafața portantă, poate constitui elementul de reglare, deoarece în cazul în care procesul de prelucrare ajunge la o desfășurare stabilă, între numărul punților de contact ($\sum S_p$) și numărul punților de descărcare electrică în impuls ($\sum DEI$) trebuie să se stabilească un echilibru dinamic, echilibru care este evidențiat și de oscilogrammele de variație a curentului fig.3.30. în care este prezentă componenta continuă peste care se suprapun variațiile momentane ale curentului determinat de descărcările în impuls.

În cazurile regimurilor accidentale de scurtcircuit fig.3.31. componenta cu variație instantanee dispare rămînînd doar componenta continuă, ce tinde spre valoarea de scurtcircuit $I = I_{sc}$, care în funcție de caracteristicile și puterea sursei de alimentare ia valorile maxime posibile.

În condițiile stabilității dinamice, suprafața portantă, determină prezența a "n" rezistențe electrice parcurse de curent și

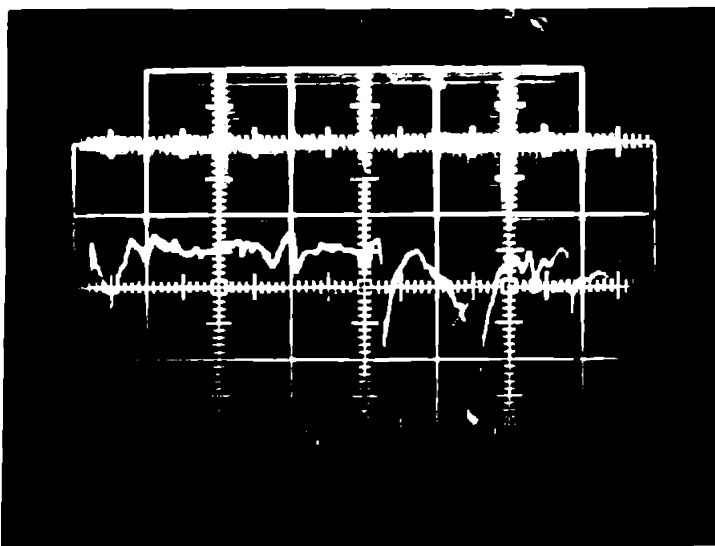


Fig.3.30. Oscilograma curentului
în procesul de EBC
 $I = 30 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$.

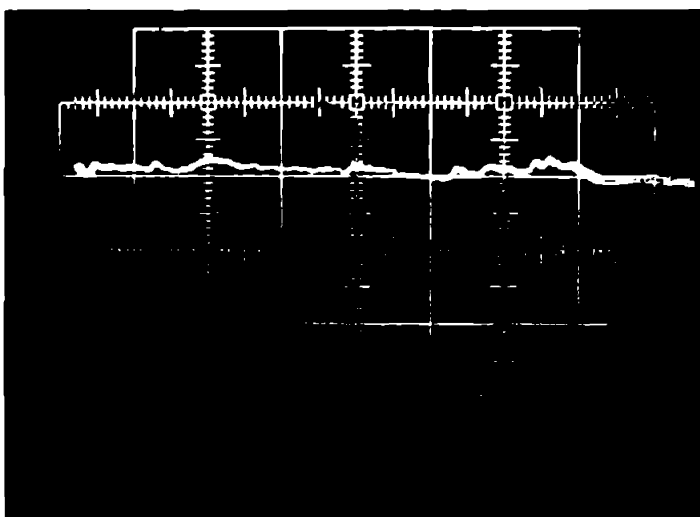


Fig.3.31. Curent de scurtcircuit
în procesul de EBC

conectate în paralel între cele două obiecte, consumând de la sursa electrică o putere $P = U_n \cdot I_n$, cum $U = I \cdot R$, rezultă că pentru a asigura constanta puterii consumate este necesară menținerea constantă a tensiunii și curentului, implicit rezistența totală trebuie să fie constantă. Ori rezistența electrică considerată în această expresie este rezistența echivalentă a celor "n" rezistențe elementare determinate de suprafața portantă. Rezistența echivalentă se calculează considerând cele "n" rezistențe elementare că sînt identice deci:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2 \dots R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} = \frac{\left(\rho \cdot \frac{l}{S_c}\right)^n}{n \cdot \rho \cdot \frac{l}{S_c}} = \frac{(\rho \cdot l)^{n-1}}{n} \cdot \frac{1}{S_c^{n-1}} \quad (73)$$

dacă se notează:

$$K = \frac{(\rho \cdot l)^{n-1}}{n} \quad \text{expresia rezistenței echivalente devine:}$$

tentei echivalente devine:

$$R = \frac{K}{S_c^{n-1}} \quad (74)$$

din care se deduce condiția ce se impune pentru a avea o rezistență de contact constantă - suprafața celor n puncte să fie constantă deci suprafața portantă constantă.

Menținerea constantă a suprafeței portante impune menținerea constantă a presiunii de contact care se realizează prin intermediul deplasării relative a unuia din obiectele de transfer în zona prelucrării. Viteza de deplasare numită "viteză de avans" se reglează de către elementul de execuție prin intermediul unor al-

rini din circuitele de reacție a căror valori sînt determinate de variația momentană a parametrilor reglării.

La prelucrarea prin eroziune electrică complexii parametri reglării sînt tensiunea și curentul din spațiul de lucru, luată separat sau împreună, deoarece la orice modificare a măririi suprafeței portante, rezistența echivalentă se modifică determinînd modificarea tensiunii și a curentului pe spațiul de lucru. Suprafața portantă poate obține două valori extreme:

- $S_e = 0$, în cazul în care rezistența echivalentă este teoretic infinită, curentul nul, pe spațiul de lucru se repartizează tensiunea sursei alimentare ca valoare maximă ;

- $S_e \rightarrow \infty$, caz în care rezistența echivalentă tinde spre zero (contact metalic ferm), curentul ia valoarea maximă a curentului de scurtcircuit, tensiunea pe spațiul de lucru fiind nulă.

Cazul prelucrării normale se plasează între aceste două limite astfel că se poate concluziona:

- condițiile tehnologice de reglare sînt date de evitarea perioadelor de mers în gol sau de scurtcircuit, deoarece productivitatea este nulă; pentru stabilitatea prelucrării se impune menținerea constantă a suprafeței portante, ceea ce în proces se manifestă prin stabilitatea vitezei de eroziune;

- elementul purtător de informație este rezistența echivalentă prin intermediul suprafeței portante;

- mărimea de reglare este viteza de avans;

- parametrii reglării sînt tensiunea și curentul pe spațiul de lucru, luați cu valorile lor medii date de componentele continue.

3.5.3. Stabilirea principiilor și schemei de reglare în cazul prelucrării prin EEC a coruzilor de revoluție

Alegerea ca mărimi fundamentale ale reglării, valorile medii ale tensiunii și curentului pe spațiul de lucru, nu însemnează diminuirea importanței celorlalți parametri considerați în acest caz secundari cum sînt: structura circuitului electric, perechea de materiale, viteza periferică a OT-ului, caracteristicile și natura electrolitului etc., deoarece orice modificare a acestora constituie surse perturbatoare ale procesului cu repercursiuni directe asupra modului de variație a tensiunii și curentului în spațiul de lucru.

Ținînd cont de aceste aspecte se stabilește în primă fază schema bloc de principiu pentru reglarea și stabilizarea avansului, prezentată în fig.3.32.

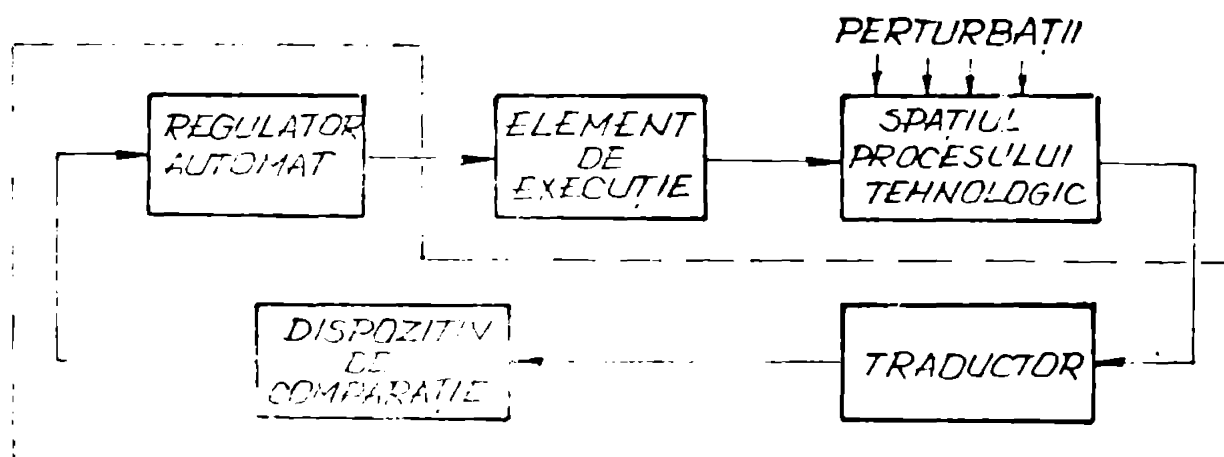


Fig.3.32. Schema bloc de principiu pentru reglarea automată a avansului

Spațiul în care se desfășoară procesul tehnologic recepționează orice perturbație provocată de modificarea caracteristicilor inițiale ale parametrilor secundari prin modificarea parametrilor fundamentali ai procesului tensiune și curent.

Informațiile culese din spațiul procesului tehnologic prin intermediul traductorului asupra modificării mărimii parametrilor fundamentali, se amplifică și sunt transmise în continuare elementului comparator, unde sunt comparate cu valorile tensiunii și curentului de referință.

Rezultatele comparării se transmit elementului regulator ce constituie elementul de decizie al sistemului de reglare, acționând în mod corespunzător elementul de execuție, decizia realizându-se în spațiul procesului tehnologic prin modificarea vitezei de avans - deci a "suprafeței portante",

Pentru concretizarea schemei de automatizare se impune în continuare identificarea elementelor și stabilirea spei a caracteristicilor funcțiilor de transfer pentru fiecare element în parte [10, 11, 13, 14, 32, 39, 120] .

În conformitate cu schema bloc din fig.3.32., schema bazei principale cu reacție de tensiune necesară realizării sistemului de reglare se prezintă în fig.3.33.

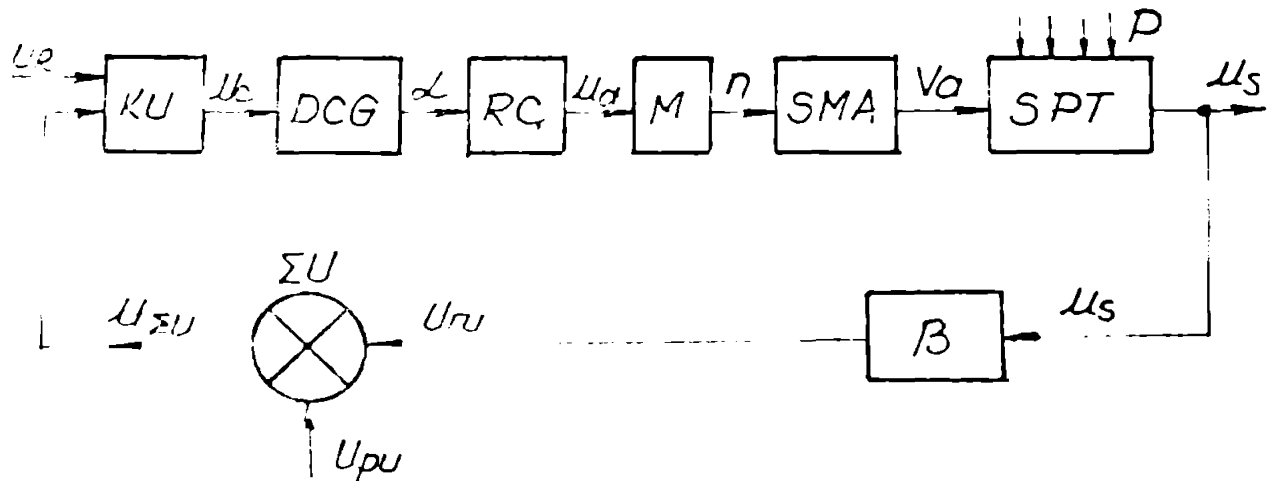


Fig.3.33. Schema buclei de reglare cu reacție de tensiune
 SPT - spațiul procesului tehnologic; β - traductor de reacție; ΣU - circuit comparator; KU - regulator de tensiune; DCG - dispozitiv de comandă pe grilă; RC - redreser comandat; M - element de execuție - motor de curent continuu; SMA - suma mecanismelor de acționare; U_s - tensiunea pe spațiul de lucru; U_{ru} - tensiunea de reacție; U_{pu} - tensiunea prescriasă (etalon); $U_{\Sigma U}$ - tensiunea rezultată; $U_e = U_c$ - tensiunea de ieșire (comandă); α - unghiul de aprindere; U_m - tensiunea de alimentare motor; n - turația motorului; v_m - viteza de avans.

3.5.4. Determinarea funcției de transfer a sistemului de reglare automată

Funcția de transfer a sistemului de reglare automată a avansului este definită de funcțiile de transfer ale elementelor ce compun sistemul, elemente ce se pot lega în serie sau paralel. Funcțiile de transfer se pot obține fie prin procese de identificare experimentală, fie preluate din literatura de specialitate [10, 11, 13].

Pentru definirea funcției de transfer caracteristice procesului, este necesară evidențierea variației vitezei de eroziune în funcție de valorile medii ale tensiunii la curent și ceilalți parametri constanți sau funcție de valorile medii ale curentului pentru tensiune și ceilalți parametri constanți. Se precizează că viteza de eroziune este egală cu viteza de avans prin care se reglează suprafața portantă, implicit tensiunea și curentul pe spațiul de lucru. Experimentările realizate în condițiile expuse în cap.9, au permis evidențierea acestor legături pentru toate pere-

rechile conjugate ale CF și OP, spre exemplificare în fig.3.34., și fig.3.35. se prezintă dependența vitezei de eroziune de tensiunea și curentul din spațiul de lucru (curentul exprimat prin intermediul densității de curent pentru că $j = I/S \text{ A/mm}^2$) pentru CF din cupru și OP din P 10 și P20, variații asemănătoare prezentând și celelalte perechi conjugate de materiale.

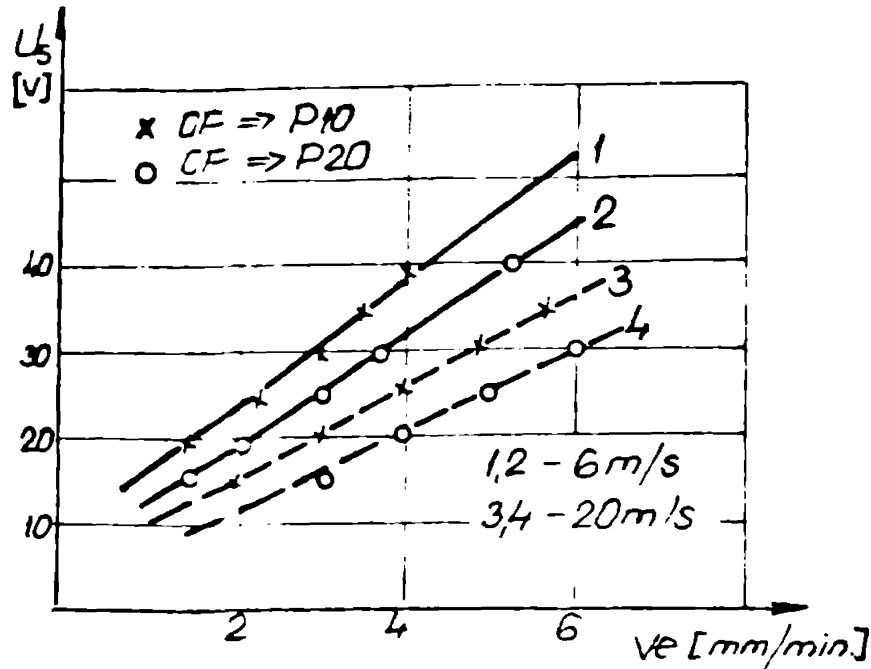


Fig.3.34. Dependenta vitezei de eroziune in functie de tensiunea spațiului de lucru

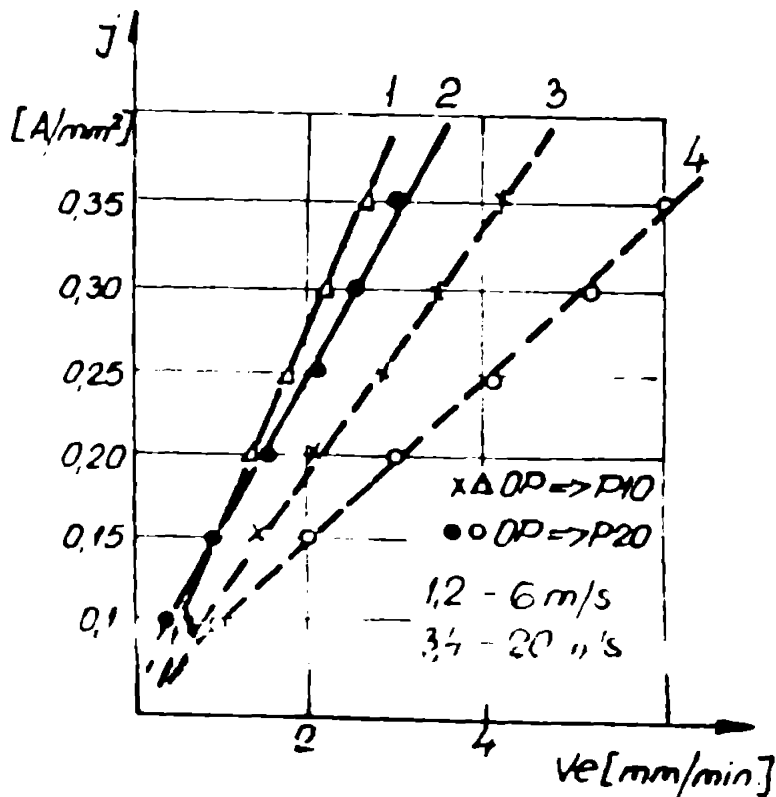


Fig.3.35. Dependenta vitezei de eroziune in functie de densitatea de curent

Coefficientul de transfer în acest caz sînt pentru tensiune:

$$k_{SPTU} = \frac{\Delta U}{\Delta v_e}$$

la I - constant (75)

și pentru curent:

$$k_{RPTI} = \frac{\Delta I}{\Delta v_e}$$

pt. U - constant (76)

și sînt determinați prin calcul grafic ca tangente trigonometrice ale unghiurilor formate de tangentele geometrice în punctele de funcționare și sensul pozi-

tiv al axei absciselor în fig.3.34. și fig.3.35.

- Funcția de transfer pentru spațiul procesului tehnologic SPT, pentru sistemul de reglare a avansului cu reacție de tensiune fig.3.36. se exprimă sub forma:

$$Y_{SPT}(s) = \frac{\Delta U}{\Delta v_a} = k_{SPTU} \quad (77)$$

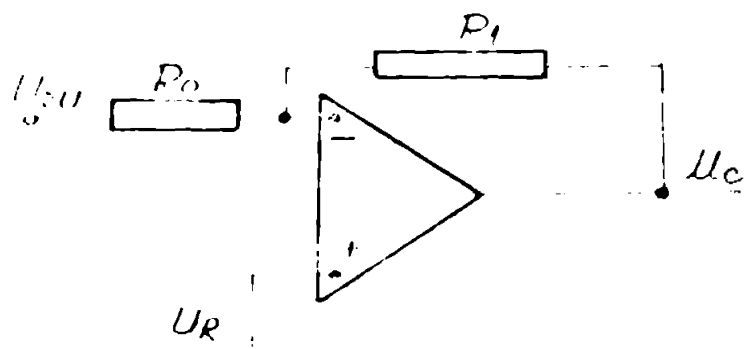
în care pentru cazul concret, din caracteristica procesului fig.3.34

$$k_{SPTU} = \operatorname{tg} \alpha = 0,45 \text{ v/mm/min}$$

- Funcția de transfer pentru regulatorul de tensiune automat de tip P fig.3.36. este:

$$Y_{KU}(s) = \frac{\Delta u_c}{\Delta U_{\Sigma U}} = k_{KU} \quad (78)$$

De obicei factorul de amplificare se ia $k_{KU} \approx 10$ [11, 13]. În cazul dispozitivului de comandă pe grilă (DCG) fiind element inertial funcția de transfer este:



$$Y_{DCG}(s) = \frac{\Delta \alpha}{u_c} = k_{DCG} \quad (79)$$

Fig.3.36. Regulator automat de tensiune

în care $k_{DCG} = \frac{180}{16} = 11,3$ [grad/v]

- Redresorul comandat este un element cu timp mort pentru care funcția de transfer are expresia:

$$Y_{RC}(s) = k_{RS} \cdot e^{-\tau_p \cdot s} = k_{RC} \cdot \frac{1}{1 + \tau_p \cdot s} \quad (80 \text{ a.})$$

în care $k_{RC} = \frac{\Delta u_c}{\Delta \alpha} = \frac{1,35 \cdot 180 \cdot 1,14}{180} = 4,24$ [v/grad]

α - fiind unghiul de conducție

și u_c - tensiunea de comandă

$$\tau_p = \frac{1}{2 \cdot p \cdot f} = \frac{1}{2 \cdot 6 \cdot 50} = 0,00166 \text{ [s]}$$

$p = 2 \cdot n$ în care numărul de faze $n = 3$.

- Pentru motorul de curent continuu funcția de transfer se determină cu expresia:

$$Y_M(s) = \frac{\Omega(s)}{u_n(s)} = \frac{1}{k_e(T_m \cdot s + 1)(T \cdot s + 1)} = k_M \quad (80 \text{ b.})$$

în care:

$$k_e - \text{constanta electrică } k_e = \frac{e}{R_n} = \frac{U_n - I_n \cdot R_T}{R_n} = 0,063 \text{ [v/rot/min]}$$

T - constanta de timp electrică a indusului definită prin:

$$T = \frac{1}{R} = \frac{L_T + L_B}{R_T + R_B} = 0,0355 \text{ [s]}$$

L_T și L_B - fiind inductanța indusului motorului și a bobinei de filtrare

R_T și R_B - rezistențele indusului și a bobinei de filtrare

T_m - constanta de timp electromecanică, definită prin:

$$T_m = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{R}{C_e \cdot C_m} = 0,1922 \text{ [s]} \text{ în care}$$

GD^2 - este momentul de inerție raportat avînd valoarea 0,07116 kg/m²

R - este rezistența totală a circuitului rețeric, egală cu 0,894 [Ω]

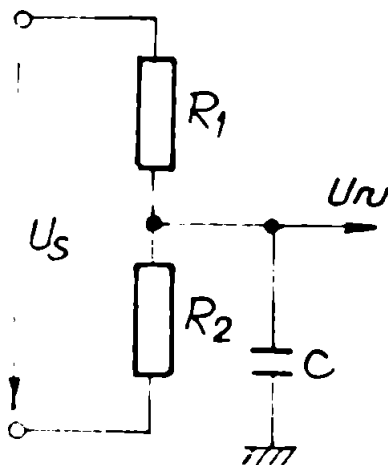
$C_e = \frac{U_n}{\Omega_0} = 0,063 \text{ [v/rot/min]}$ este factorul tensiunii contraelectromotoare la mers în gol și

$C_m = \frac{M_n}{I_n} = 0,061 \text{ [kgm/A]}$ reprezintă factorul cuplului de rotație al motorului

- Pentru mecanismele de acționare (organ de reglare) funcția de transfer este:

$$Y_{SMA}(s) = \frac{V}{n} = k_{SMA} \quad (81)$$

în care $k_{SMA} = \frac{1}{175} = 0,00571 \text{ [mm/rot]}$



- Pentru traducerul de reacție " β " care este un divizor de tensiune fig.3.37., funcția de transfer este egală cu:

$$Y(s) = \frac{u}{u_s} = k\beta \quad (82)$$

$$k = 0,5$$

Pentru stabilirea funcției de transfer a sistemului de reglare automată

Fig.3.37. Traducerul de tensiune β

se realizează în schema simplificată fig.3.38. și apoi schema echivalentă fig.3.39.

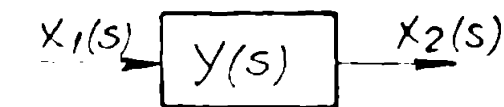
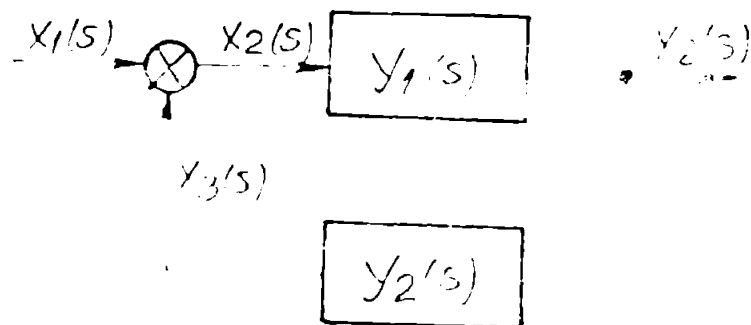


Fig.3.39. Schema echivalentă a sistemului de reglare automată a avansului.

Fig.3.38. Schema simplificată a buclei de reglare

în care $Y_1(s)$ este funcția de transfer a elementelor din buclă legate în serie și $Y_2(s)$ pentru ramura de reacție, obținându-se expresiile:

$$Y_1(s) = Y_{KU}(s) \cdot Y_{DCG}(s) \cdot Y_{RC}(s) \cdot Y_M(s) \cdot Y_{SMA}(s) \cdot Y_{SPTU}(s) \quad (83)$$

$$\text{și } Y_2(s) = Y_p(s) \quad (84)$$

cum funcțiile de transfer sînt egale cu coeficienții de transfer caracteristicii, expresia (83) devine:

$$Y_1(s) = k_{KU} \cdot k_{DCG} \cdot k_{RC} \cdot k_M \cdot k_{SMA} \cdot k_{SPTU} \quad (85)$$

sau înlocuind k_{RC} și k_M cu expresiile (80 a) și (80 b) se obține:

$$Y_1(s) = k_{KU} \cdot k_{DCG} \cdot k_{SMA} \cdot k_{SPTU} \cdot K_0 \cdot \frac{1}{(1 + \frac{1}{T_p} \cdot s)} \cdot \frac{1}{(1 + T_M \cdot s)} \cdot \frac{1}{(1 + T \cdot s)} \quad (86)$$

notînd $K_0 = k_{KU} \cdot k_{DCG} \cdot k_{SMA} \cdot k_{SPTU}$ pentru $Y_1(s)$ se obține expresia:

$$Y_1(s) = K_0 \cdot \frac{1}{(1 + \frac{1}{T_p} \cdot s)} \cdot \frac{1}{(1 + T_M \cdot s)} \cdot \frac{1}{(1 + T \cdot s)} \quad (87)$$

astfel că funcția de transfer finală pentru schema simplificată se poate scrie sub forma:

$$Y(s) = \frac{Y_1(s)}{1 + Y_1(s) \cdot Y_2(s)} \quad (88)$$

Determinarea acestei funcții de transfer finală are o importanță deosebită în caracterizarea stabilității sistemelor automate.

3.5.5. Aspecte ale stabilității sistemului de reglare automată a avansului în cazul prelucrării cerpurilor de revoluție prin EBC

Sistemele de automatizare sînt destinate în mod obișnuit pentru a menține constanța mărimii reglate sau de a o varia după o lege carecure, în condițiile în care variază fie mărimea de intrare, fie cea perturbatoare. Pentru realizarea acestei cerințe, ca urmare a acțiunii dispozitivului de automatizare, abaterea provocată de variația momentană a factorilor perturbatori sau a mărimii reglate, trebuie să fie anulată sau redusă la o valoare cît mai mică posibilă adică sistemul să fie cît mai stabil.

Prin prisma criteriului fundamental de stabilitate [10, 11, 13, 39] se definește că un sistem de automatizare cu reacție este stabil dacă rădăcinile ecuației caracteristice, respectiv poli funcției de transfer $Y_o(s)$, sînt situați în stînga semiplanului S, adică rădăcinile reale sau partea reală a rădăcinilor complexe sînt negative și situate în planul respectiv.

Din expresia (88) ecuația caracteristică a sistemului de automatizare deschis cu reacție unitară devine:

$$(1 + Z_p.S)(T_m.S+1)(T.S+1) = 0 \quad (89)$$

pentru care se obțin rădăcinile:

$$s_1 = -\frac{1}{T_p} = -\frac{1}{T_2} ; \quad s_2 = -\frac{1}{T_m} = -\frac{1}{T_1} ; \quad s_3 = -\frac{1}{T} \quad \text{și care pentru}$$

cazul concret au valorile:

$$s_1 = -\frac{1}{0,00166} = -602,4 ; \quad s_2 = -\frac{1}{0,1922} = -5,2 \quad \text{și}$$

$$s_3 = -\frac{1}{0,0353} = -28,16$$

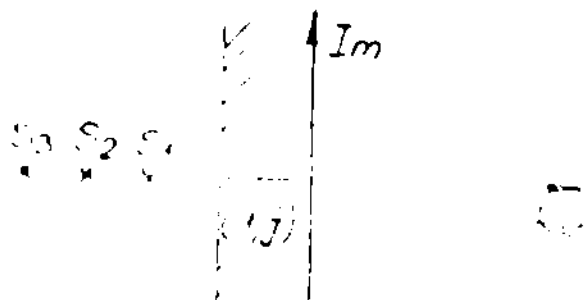


Fig. 3.40.

rădăcini (poli) ce sînt situați în stînga planului S conform fig. 3.40 ceea ce indică o bună stabilitate pentru sistemul de automatizare considerat. Verificarea stabilității sistemelor de automatizare se poate efectua atît pe cale analitică cît

și pe cale grafică. Metoda analitică prezentată mai sus dă indicații suficiente referitor la stabilitatea absolută și relativă a sistemului de reglare automată, considerat, și se poate aplica ușor pînă la ecuații caracteristice de gradul trei. Pentru o confirmare suplimentară a concluziilor mai sus amintite, în continuare se prezintă aplicarea criteriului Nyquist, care nu necesită rezolvarea sistemelor de ecuații dar oferă informații referitoare la stabilitatea sistemului; a indicilor de calitate etc., prin analiza reprezentării grafice a funcției frecvenționale.

Considerînd funcția de transfer a sistemului deschis de reglare automată:

$$H_o(s) = \frac{K_o}{(\zeta_p s + 1)(T_m s + 1)(T s + 1)} \quad (90)$$

în care $K_o = 12,979$ și transformînd relația (90) din domeniul complex (S) în domeniul frecvențial ($j\omega$) se obține:

$$H_o(j\omega) = \frac{K_o}{(\zeta_p j\omega + 1)(T_m j\omega + 1)(T j\omega + 1)} \quad (91)$$

Pentru a ușura scrierea și programarea pe calculator a expresiei (91) se fac următoarele schimbări de notații: $K_o = K$; $\zeta_p = T_p$; $T_m = T_1$; $\omega = F$ astfel că în urma efectuării calculelor și separării părților reale și imaginare se obține expresia:

$$H_o(jF) = \frac{K}{1 - F^2(T_o T_1 + T_o T_2 + T_1 T_2) + jF(T + T_1 + T_2 - T_o T_1 T_2 F^2)} \quad (92)$$

notînd în continuare partea reală sub forma :

$$A = 1 - F^2(T_o T_1 + T_o T_2 + T_1 T_2) \quad (93)$$

și partea imaginară cu:

$$B = F(T + T_1 + T_2 - T_o T_1 T_2 F^2) \quad (94)$$

relația (3) devine:

$$H_o(jF) = \frac{K}{A + jB} \quad (95)$$

Înmulțind la numărător și numitor cu conjugata numitorului se obține:

$$H_o(jF) = \frac{KA}{A^2 + B^2} - j \frac{KB}{A^2 + B^2} \quad (96)$$

care reprezintă o sumă de două polinoame

$$H_o(jF) = P(F) + jQ(F) \quad (97)$$

în care acestea au expresiile:

$$P(F) = \frac{KA}{A^2+B^2} \quad (98)$$

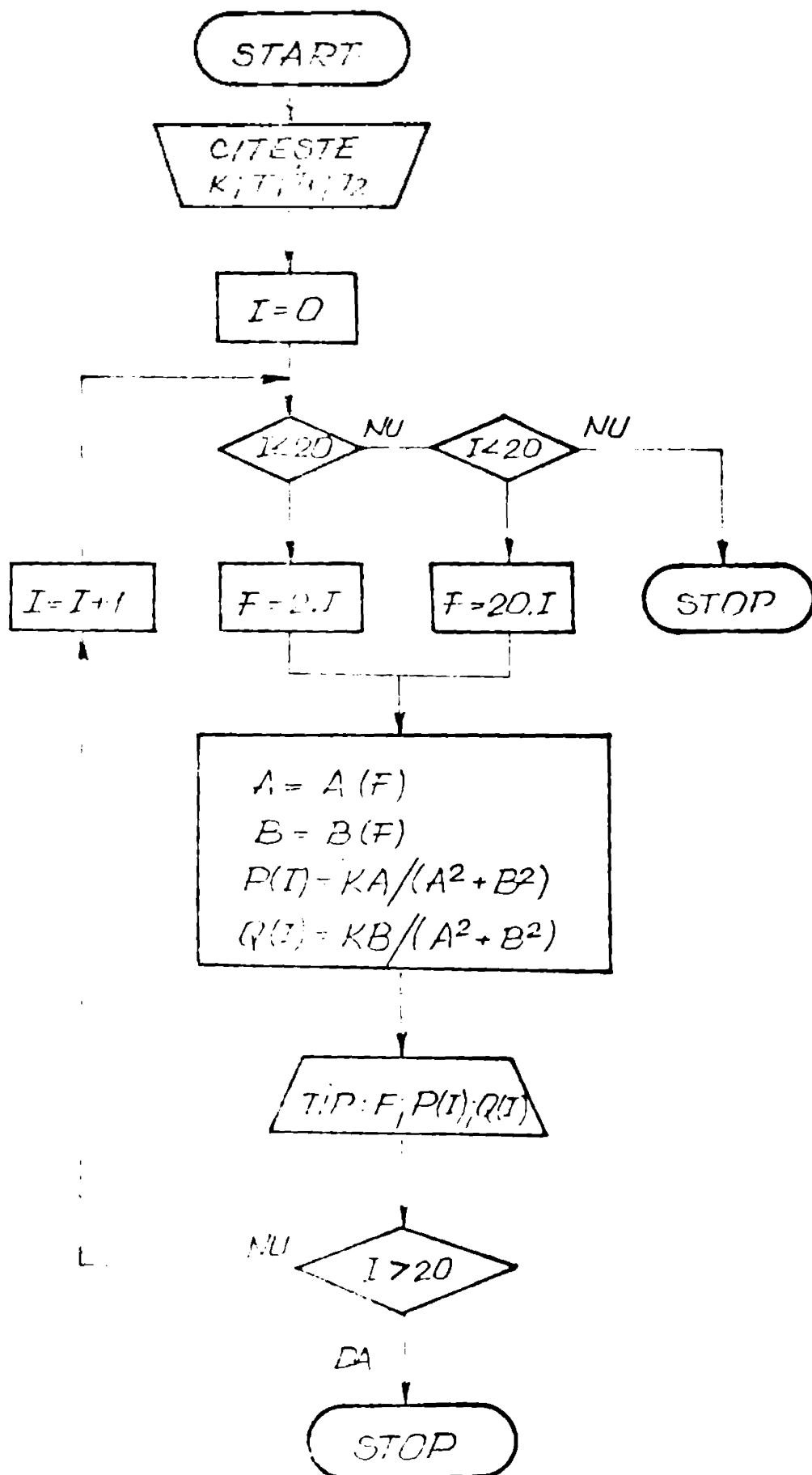
și

$$Q(F) = -\frac{KB}{A^2+B^2} \quad (99)$$

cu ajutorul relațiilor 93, 94, 98 și 99 s-a conceput organigrama din fig.3.41. și apoi programul de calcul în limbaj BASIC - PRAE.

TABELUL 3.1.

F	P(F)	Q(F)
0	12,979	0
2	10,9271	-5,1601
4	7,0746	-7,3299
6	3,947	-7,3196
8	1,9243	-6,5286
10	0,6870	-5,6026
12	-0,0642	-4,7485
14	-0,5193	-4,0143
16	-0,7909	-3,3978
18	-0,9465	-2,8842
20	-1,0273	-2,4567
40	-0,7499	-0,6822
60	-0,4317	-0,196
80	-0,2671	-0,074
100	-0,178	-0,0291
120	-0,1256	-9,7269.10 ⁻³
140	-0,0926	-6,8124.10 ⁻³
160	-0,0705	3,7327.10 ⁻³
180	-0,0552	5,8899.10 ⁻³
200	-0,0441	6,8802.10 ⁻³
220	-0,0358	7,2426.10 ⁻³
240	-0,0295	7,2593.10 ⁻³
260	-0,0246	7,0849.10 ⁻³
280	-0,0208	6,8072.10 ⁻³
300	-0,0176	6,4772.10 ⁻³
320	-0,0151	6,125.10 ⁻³
340	-0,0130	5,7687.10 ⁻³
360	-0,0110	5,4189.10 ⁻³
380	-9,8798.10 ⁻³	5,08.10 ⁻³
400	-9,8661.10 ⁻³	4,7608.10 ⁻³



**Fig.3.41. Organigrama pentru calculul valorilor
hodografului $H_0(F)$**

Programul a fost conceput pentru calculul polinoamelor $P(F)$ și $Q(F)$ pentru un interval de frecvență $FE [0,400]$ Hz cu un pas de 2 Hz pe intervalul $[0,20]$ Hz și cu un pas de 20 Hz pe intervalul $[20,400]$ Hz. Datele obținute sînt prezentate în tabelul 3.1 iar în fig.3.42. hodegraful Nyquist construit cu aceste date.

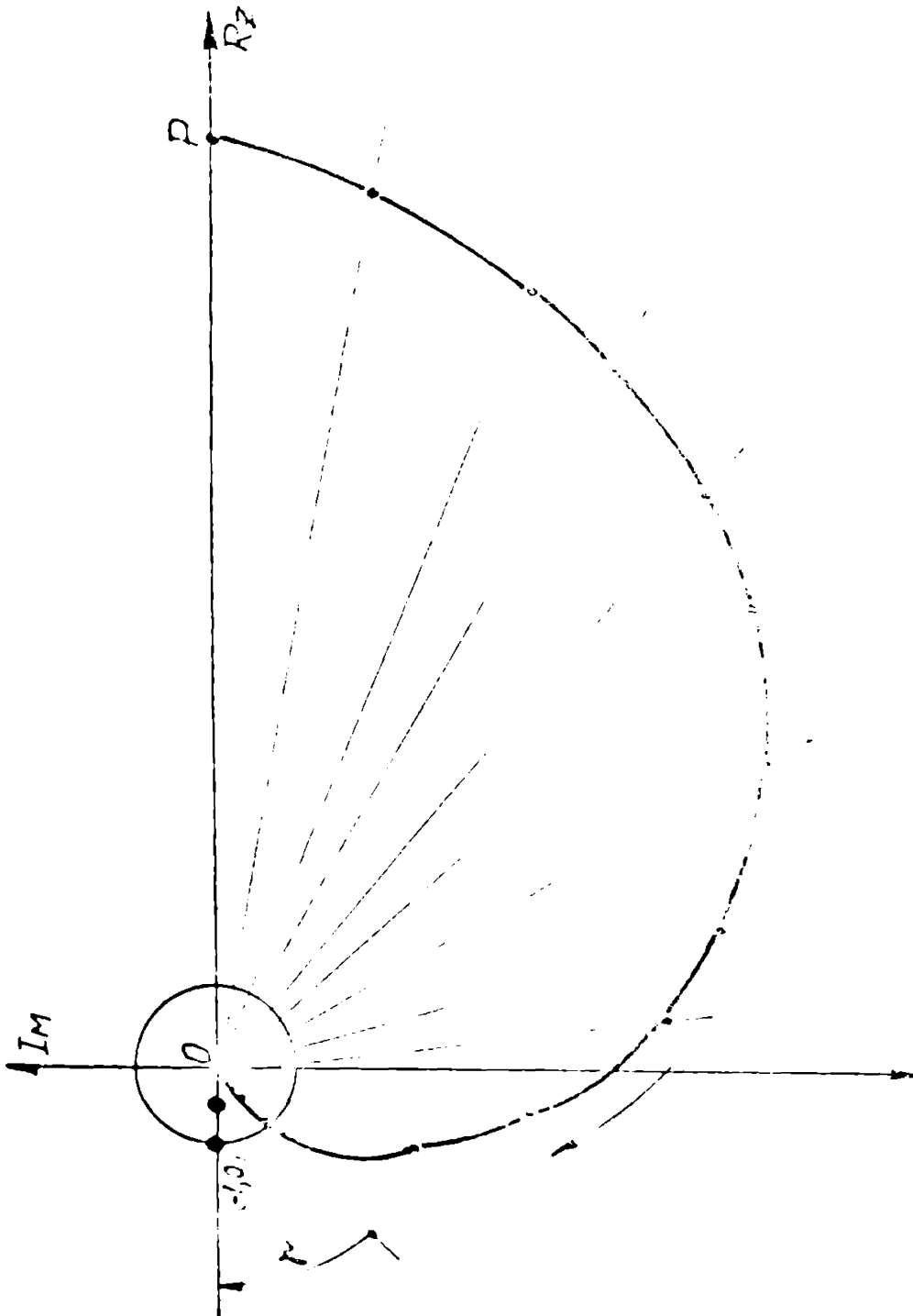


Fig.3.42. Hodegraful Nyquist

Din analiza hodegrafului prezentat în fig.3.42. se pot evidenția următoarele concluzii cu referire la funcționarea sistemului de reglare automată a avansului considerat:

- Intrucît hodograful nu intersectează axa reală în domeniul negativ sistemul automat prezintă o bună stabilitate respectiv o margine de amplitudine ridicată, confirmând astfel concluziile prezentate la metoda analitică - ($\sigma \approx 0,92$);

- marginea de fază $\gamma = 40^\circ$ se încadrează în domeniul optim prezentat de literatura de specialitate [10, 13, 39] în care $\gamma_{opt} = 30^\circ \div 60^\circ$, ceea ce corespunde unei stabilități ridicate.

C A P I T O L U L 4

STUDII SI CERCETARI ASUPRA DINAMICII DE GENERARE A SUPRAFETELOR LA PRELUCRAREA PRIN EROZIUNE ELEC- TRICA COMPLEXA

4.1. Aspecte cinematice ale profilării corpurilor de revoluție

Generarea suprafețelor unei piese în cazul general, reprezintă materializarea în cadrul procesului de prelucrare a unor linii generatoare și directoare în mișcare relativă, linii obținute prin elementare metode de generare sau combinații ale acestora.

Sub acest aspect, din multiplele posibilități de generare a suprafețelor corpurilor de revoluție oferite de teoria proceselor de prelucrare prin așchiere [7,25] cu posibilități de aplicare și în cazul prelucrării prin eroziune electrică complexă pot fi următoarele:

- directoarea cinematică ca traiectorie a unui punct și
- directoarea cinematică ca înfășurătoare a unei curbe cinematische.

4.1.1. Generarea suprafețelor corpurilor de revoluție prin materializarea directoarei cinematice ca traiectorie a unui punct

Considerând curba generatoare G , materializată pe suprafața frontală a obiectului de transfer OT fie de formă analitică simplă (dreaptă, cerc) fig.4.1 ori de formă complexă (combinații de drepte și curbe) fig.4.2, curba directoare D (curbă plană) ce se obține pe cale analitică prin deplasarea punctului M al generatoarei G cu viteza unghiulară ω_M la distanța R_D . Forma generatoarei este identică cu forma profilului frontal din planul de referință P_r . Generatoarea reală își modifică forma în timp, în funcție de regimul de lucru, de perechea de materiale, de proprietățile mediului de lucru etc.

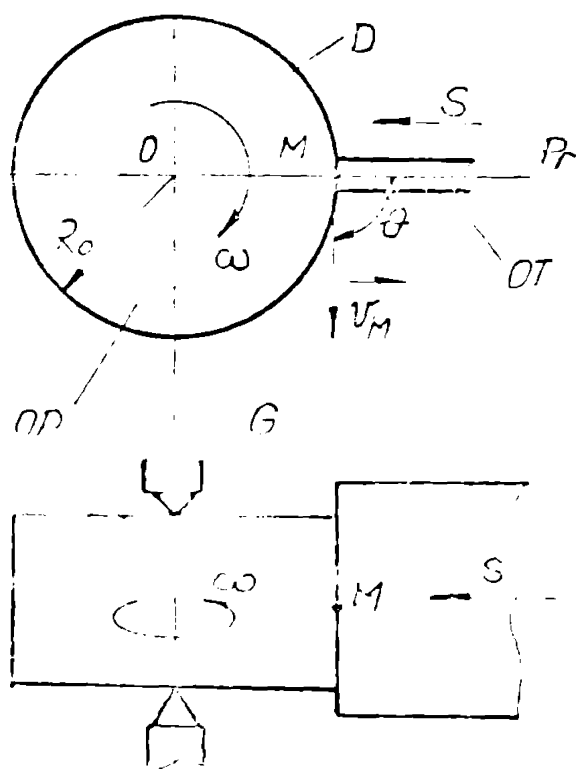


Fig.4.1.

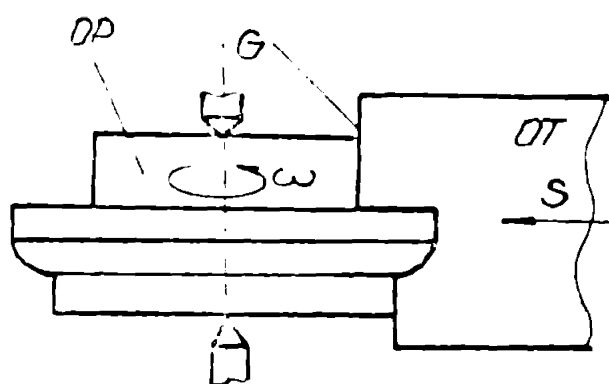


Fig.4.2.

Directoarea cinematică D est realizată prin mecanismul fus-ingăr, prin care se asigură traiectoria directoarei numai ca formă, mărimea și poziția directoarei depinde de poziția

punctului M al generatei G în raport cu axa de rotație a obiectului supus prelucrării OP.

Forma reală a directoarei poate fi influențată de corectitudinea construcției și funcționării mecanismelor și amplitudinea vibrațiilor interne și externe, de variațiile de temperatură din timpul funcționării mașinii-unelte, precum și datorită uzurii obiectului de transfer.

4.1.2. Generarea suprafețelor corpurilor de revoluție prin materializarea directoarei cinematice ca înfășurătoare a unei curbe cinematice

Curba generate G este de formă analitică (dreaptă, cerc) fig.4.3 sau de formă complexă (combinații de drepte și curbe) fig. 4.4 fiind materializată pe suprafața periferică a obiectului de transfer OT sub formă de disc.

Directoarea cinematică D este rezultatul ca înfășurătoare a unor curbe cinematice, fiind programată pe mecanismul fus-ingăr al mașinii-unelte și transpusă pe cale cinematică de punctul M de sprijin al generatei G pe directoarea D.

Punctul M este un punct caracare al "muchiului" obiectului de transfer OT, punct ce se rotește cu viteza unghiulară $\omega_r = \omega_{OT}$. Din compunerea acestei mișcări cu mișcarea de rotație OT, rezultă o traiectorie curbă, deci directoarea D generată cinematic, rezultând ca înfășurătoare a curbei amintite (cicloidă alungită).

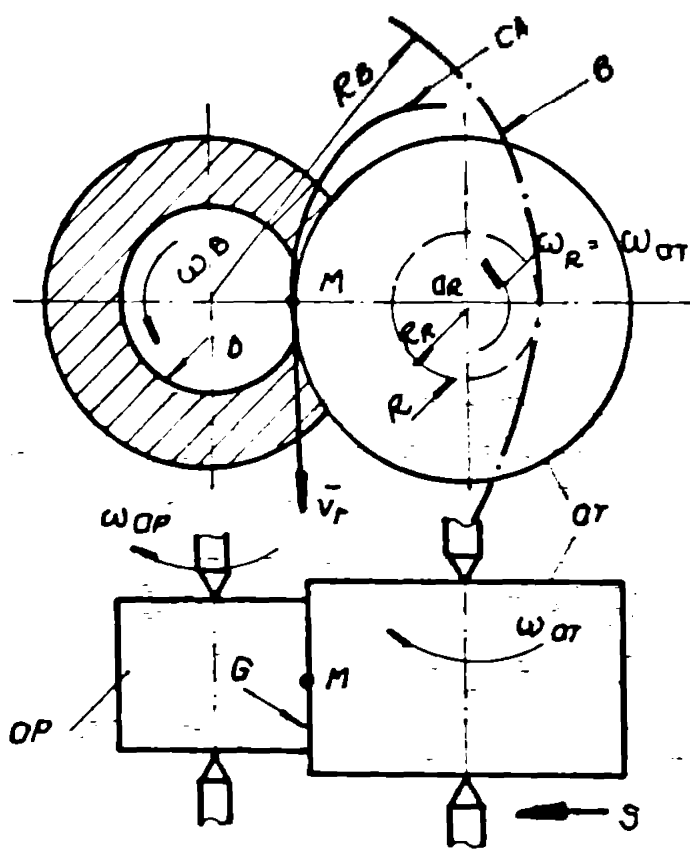


Fig. 4.3.

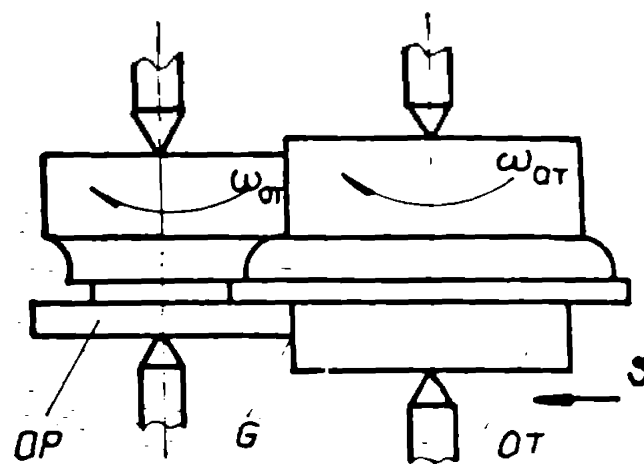


Fig. 4.4.

Această curbă se obține prin rulara rulantei R de rază R_R pe baza B. Pentru rulara fără alunecare a rulantei R pe baza B, trebuie să fie îndeplinită condiția:

$$\frac{R_B}{R_R} = \frac{\omega_B}{\omega_R} \quad (100)$$

de unde

$$R_R = R_B \cdot \frac{\omega_B}{\omega_R} \quad (101)$$

Directoarea reală rezultă prin rulare, fiind formată din arce cicloidale (CA) descrise de punctul M. Pe OT se pot considera un număr N_x de puncte active "tăguri", rezultând un număr egal de puncte M care vor descrie la o rotație iun același număr de curbe (CA) însă decalate între ele cu a N_x -a parte care se întretaie dină mașteru curbeler mai mici, tangente la aceeași directoare D.

4.2. Aspecte ale procesului eroziv în cazul generării suprafețelor profilate la corpurile de revoluție

de generare

Pesibilitățile cinematice/a suprafețelor profilate în cazul corpurilor de revoluție nu pot fi privite în mod izolat ci integrate firese în întințitatea desfășurării proceselor elementare de eroziune, astfel încât dezvoltarea continuă a procesului eroziv trebuie să se producă concomitent cu generarea suprafeței profilate.

Dezvoltarea proceselor elementare în cazul prelucrării prin EEC se pot realiza dacă se asigură următoarele condiții [87] :

- Transmiterea energiei electrice sub forma impulsurilor de curenț , localizată la nivelul microasperităților;

- asigurarea formării peliculei pasivante astfel încât viteza de formare să fie aproximativ egală cu viteza de îndepărtare a ei;
- să existe o mișcare relativă între OT și OP concomitent cu asigurarea unei presiuni ce favorizează îndepărtarea parțială sau totală a peliculei pasivante și realizarea microcontactelor de scurtă durată (sub 10^{-1} s);
- efectul eroziv să fie mai pronunțat la OT decât la OP, realizat prin conectarea corespunzătoare la sursa de tensiune;
- produsele eruziunii să fie îndepărtate prin intermediul mediului de lucru cu proprietăți electrolitice;
- să permită compensarea uzării (electrolitice) OT, astfel încât profilul OP-ului să se integreze în preciziile prescrise.

Sub aceste aspecte trebuiesc analizate cele două variante (fig.4.1 și fig.4.3.) cinematice de generare a suprafețelor profilate a corpurilor de revoluție, posibilitatea aplicării în practică avînd o variantă de asigurare și dezvoltarea proceselor erozive elementare.

4.2.1. Aspecte ale procesului eroziv în varianta generării suprafețelor profilate a corpurilor de revoluție prin materializarea directoarei cinematice ca trajectorie a unui punct

În cazul unor curbe generate de formă simplă sau complexă, programate pe elemente ale OT ce urmează a fi transpuse pe cale cinematică pe OP, pentru asigurarea desfășurării procesului eroziv este necesară conectarea celor două obiecte la sursa de tensiune, OT la borna negativă iar OP la cea pozitivă, asigurarea vitezei relative prin imprimarea mișcării de rotație OP-ului a cărei viteză periferică este v_p , iar OT-ului mișcarea de avans transversal continuu "S" în prezența mediului de lucru "ML" ce se aduce sub formă unui jet în spațiul de lucru fig.4.5.

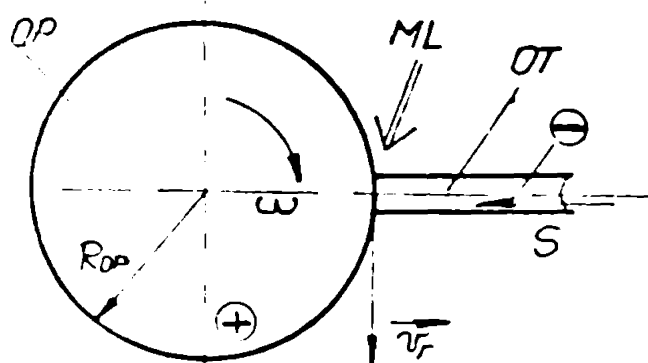


Fig.4.5. Generarea curbei directoare ca trajectorie a unui punct sau linie.

Fenomenele erozive se dezvoltă în spațiul de lucru la nivelul microasperităților celor două obiecte ceea ce impune urmărirea desfășurării lor la acest nivel conform fig.4.6.

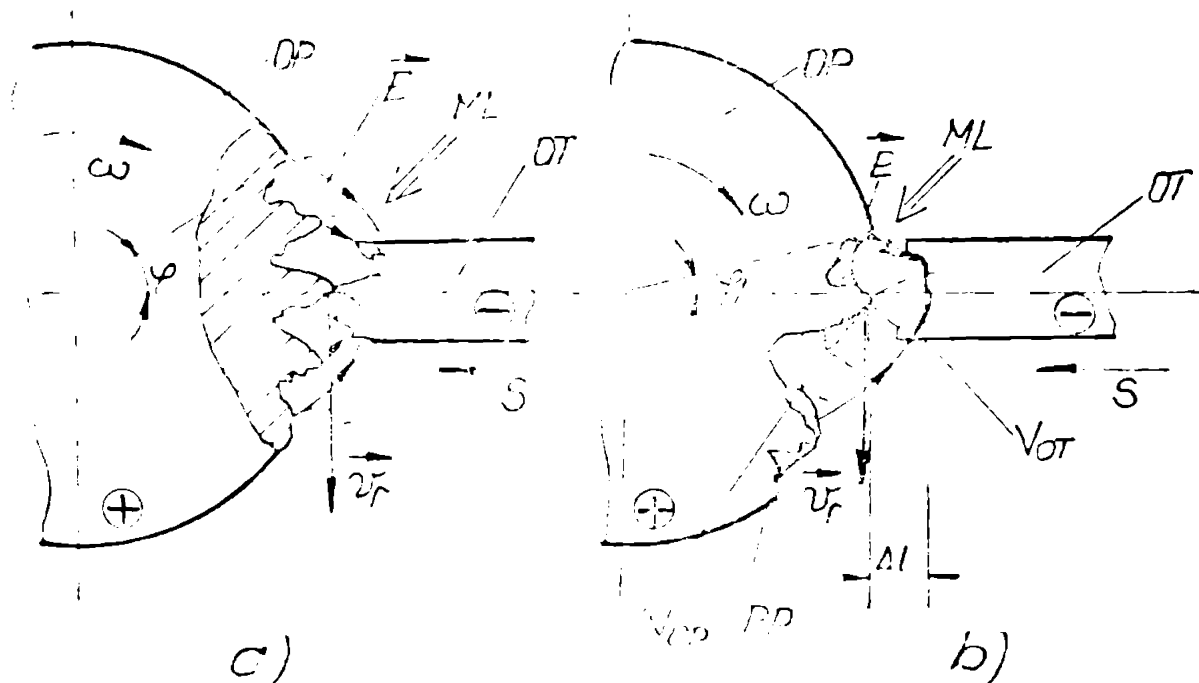


Fig.4.6. Dezvoltarea fenomenului eroziv în cazul generării sursei directe sau traiectorie a unui punct sau linie

- a - faza de inițiere a fenomenelor erozive
- b - faza finală a fenomenelor erozive cu expulzare de material (V_{OP} și V_{OT}) consecință descărcării DE și formarea peliculei pasivante PP.

În fig.4.6.a. sînt relevate condițiile necesare dezvoltării fenomenelor erozive în cazul prelucrării prin KEC cu posibilitatea formării primului microcontact metalic. Pe durata menținerii microcontactului metalic la nivelul celor două microasperități se realizează dezvoltarea fenomenului termic prin efect Joule, iar datorită prezenței cîmpului electric \vec{E} începe formarea peliculei pasivante. În fig.4.6.b. se vede faza finală în care datorită mișcării relative, microcontactele se deplasează formîndu-se descărcarea electrică în impuls DE în urma căreia microvelurile V_{OP} și V_{OT} , topite, sînt expulzate în spațiul de lucru, creîndu-se distanța Δl .

Consecințele acestui mod de generare a proceselor elementare de eroziune sînt următoarele:

- procesul dizolvării anodice este mult mai intens decît procesul termic, favorizînd creșterea grosimii peliculei pasivante

ce nu poate fi îndepărtată la un nou microcontact, rezistența mecanică a ei creștând pe durata unei rotații și datorită fenomenului de întărire ca rezultat al afinității chimice față de CO_2 existent în aerul atmosferic;

- chiar în condițiile în care grosimea și rezistența mecanică a peliculei pasivante ar fi mai mică există condiții ca unele microasperități de pe OP să nu realizeze microcontactele cu OT ceea ce va determina apariția fenomenului eroziv doar în anumite puncte active ale suprafeței OP, prelucrarea fiind imposibil de controlat datorită instabilității procesului;

- excluzând toate fenomenele negative mai sus amintite și considerând că dezvoltarea fenomenelor elementare de eroziune se realizează în mod continuu, acest caz de generare a suprafețelor profilate nu este posibil, datorită uzurii pronunțate a OT care își pierde informația transpusă pe periferia profilului frontal în urma primelor descărcări electrice, deoarece volumul de material îndepărtat de pe OT este mai mare decât cel îndepărtat de pe OP - deci nerentabil.

4.2.2. Aspecte ale procesului eroziv în varianta generării suprafețelor profilate a corpurilor de revoluție prin utilizarea unor curbe directoare rezultate ca înfășurătoare a unor curbe cinematice

În cazul generării suprafețelor corpurilor de revoluție prin utilizarea unor curbe directoare rezultate ca înfășurătoare a unei curbe materializate prin rularea profilului conjugat, procesul de eroziune ar putea fi asigurat în următoarele variante cinematice reprezentate în fig.4.7.

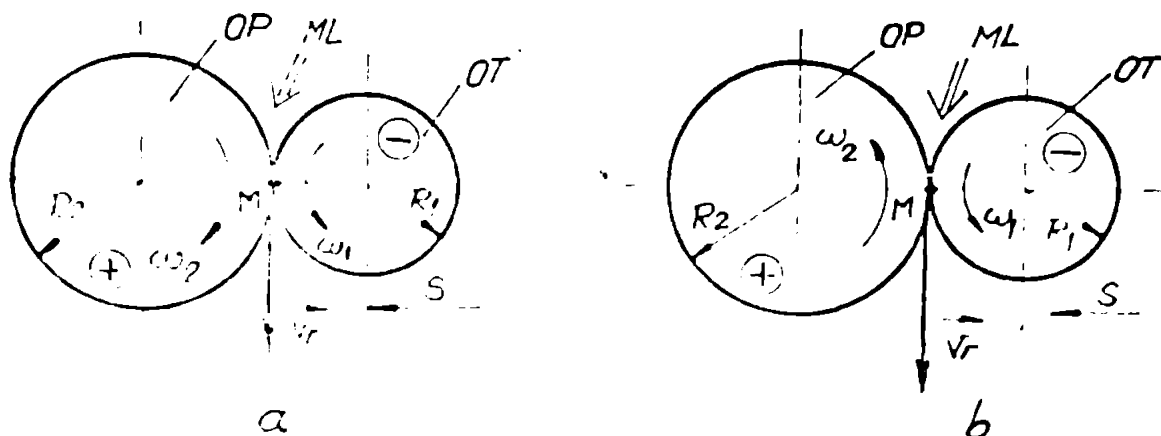


Fig.4.7. Variante cinematice de generare a suprafețelor profilate la corpurile de revoluție

In variantele cinematice reprezentate in fig.4.7. celor două obiecte OT și OP li se asigură o mișcare de rotație în sensuri opuse - a - sau în același sens - b -, cu viteze unghiulare ω_1 și ω_2 , astfel că se realizează viteza periferică relativă $v_r = \omega_1 \cdot R_1 - \omega_2 \cdot R_2$. În urma unei analize atente se observă că și aceste două variante de generare a suprafețelor profilate a corpurilor de revoluție se reduce la situația precedentă în fig.4.6. ca un caz particular al generării curbei directoare cu înfășurătoare a traiectelor unor curbe materializate pe suprafața periferică a OT, zona de contact fiind poziționată în punctul M. Singura îmbunătățire ar consta în uzura mai mică a OT datorată creșterii numărului de puncte active cumulate pe suprafața periferică a obiectului de transfer. Procesul de eroziune nici în acest caz nu poate fi controlat și nu este continuu.

Generarea suprafețelor profilate a corpurilor de revoluție prin utilizarea unor curbe directoare regulate ca înfășurătoare a unor curbe materializate prin rularea profilului conjugat, se poate asigura în următoarea variantă cinematică fig.4.8., fiind unica ce asigură generarea, dezvoltarea și stabilitatea procesului eroziv [46, 47, 67, 79, 80].

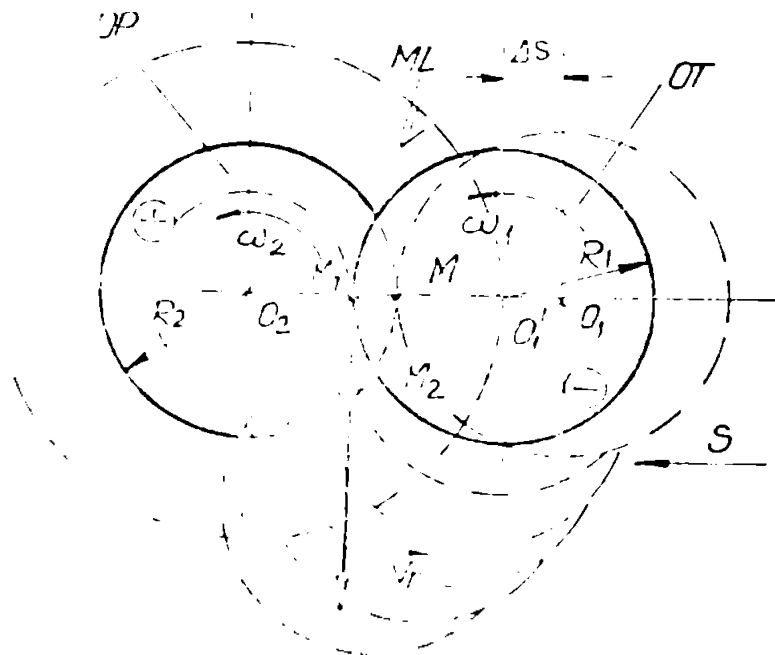


Fig.4.8. Principiul generării suprafețelor profilate prin EEC, la corpurile de revoluție

Procesul generării suprafeței profilate pe întreaga periferie a corpului de revoluție necesită parcurgerea a două faze distincte

- Faza I-a în care OP are viteza unghiulară $\omega_2 = 0$ pe durata timpului "t₁", durată în care OT care are viteza unghiulară ω_1 , realizează și viteza periferică relativă $v_r = \omega_1 R_1$, primește mișcarea de avans transversal "S", asigurând adâncimea de prelucrare (corespunzător deplasării centrului OT din punctul O₁ în O₂) la atingerea cărui, mișcarea de avans transversal "S" încetează.

- faza a II-a începe din momentul avansului transversal al OT moment în care OP primește mișcarea de avans automat cu viteza unghiulară ω_2 care este dependentă de parametrii procesului cît și de condițiile locale din spațiul de lucru. Această mișcare se menține pe durata de timp " t_2 ", durată ce corespunde unei rotații complete a OP. Pentru această perioadă viteza relativă este definită drept rezultanta diferenței vitezelor periferice

$$v_r = \omega_1 R_1 - \omega_2 R_2 \quad (102)$$

Schema cinematică prezentată în fig.4.6. fiind o schemă de principiu în care condițiile rulării s-au considerat fără alunecare în cazul practic, va trebui reconsiderată pe baza prezenței alunecării între cele două obiecte OT și OP, alunecare obiectiv necesară în procesul de eroziune electrică complexă pentru îndepărtarea peliculei pasivante și a produselor eroziunii din spațiul de lucru.

Din alt punct de vedere în procesul de prelucrare prin EEC unul din neajunsurile principale în constituie uzura OT, care în cazul operațiilor de debitare afectează doar durabilitatea OT și nu calitatea suprafeței debitate sau precizia prelucrării, în cazul profilării aceasta constituie una din mărimile fundamentale care determină în mod direct precizia formei geometrice și dimensiunile pentru profilul generat în OP.

4.2.3. Aspecte ale influenței uzurii obiectului de transfer asupra modului de generare a suprafețelor profilate prin EEC

Prelucrarea prin EEC pentru a se desfășura cu o mare stabilitate a parametrilor electrici, impune dezvoltarea continuă a proceselor elementare de dizolvare anodică și a descărcărilor în impuls, ambele fiind condiționate de formarea și îndepărtarea controlată a peliculei pasivante.

Pentru îndepărtarea peliculei pasivante, a realizării microcontactelor de scurtă durată cît și a proceselor de dizolvare se impune prezența vitezei relative, în proces, care în cazul operațiilor de debitare se realizează prin mișcarea de rotație a OT iar în cazul profilării corpurilor de revoluție prin diferența vitezelor periferice a OT și OP (fig.4.7.) Dacă procesul de dizolvare anodică se produce doar la OP, efectul termic al descărcărilor în impuls afectează și OT, dar în mai mică măsură la OP, efect termic ce produce uzura mai lentă sau mai rapidă a acestuia în funcție de regimul electric cît și de alți parametri. Uzura progresivă a OT în timpul desfășurării procesului eroziv conduce la micșora-

rea în timp a dimensiunilor inițiale ale OT și la diminuarea con-
tinutului și uniformă a adfincinii de prelucrare programată inițial
(\overline{ML}_1) determinând astfel obținerea unei curbe directoare de forma
unei spirale arhimedice fig.4.9

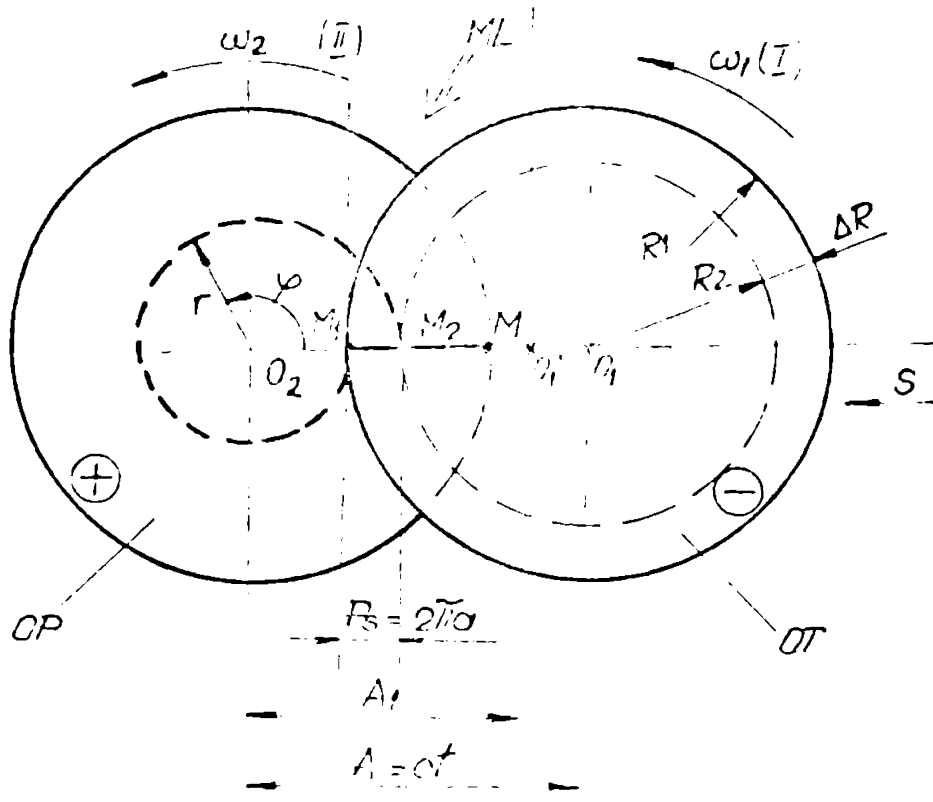


Fig.4.9. Principiul generării suprafețelor profilate prin EEC în condițiile uzării OT-ului

Ecuația care definește spirala arhimedică are expresia:

$$r = a \cdot \varphi \tag{103}$$

în care: r - raza vectoare;

φ - unghiul care definește poziția momentană a razei vectoare;

$a = P_s$ - pasul spiralei arhimedice (mărima razei vectoare la o rotație completă $\varphi^0 = 360^\circ$ $P_s = 2\pi a$, pe de altă parte, pasul spiralei arhimedice reprezintă raportul

dintre viteza de deplasare v_u a punctului M_1 pe dreapta generatoarei și ω care este viteza unghiulară a dreptei respective (O_2M_1) care se rotește în jurul punctului fix O_2 deci $a = \frac{v_u}{\omega}$. Pentru cazul prelucrării prin EEC viteza v_u reprezintă o măsură a vitezei de uzare radială a OT exprimată prin:

$$v_u = \frac{\Delta R}{\Delta t} \tag{104}$$

Dacă micșorarea adâncimii de prelucrare la o rotație completă a OP se încadrează în câmpul de toleranță al OP piesa se consideră bună, dacă nu, se impune realizarea unor treceri suplimentare prin corectarea pătrunderii inițiale realizate prin deplasarea succesivă a OT (micșorarea distanței dintre axele celor două centre $A_1 < A$) pînă cînd pasul spiralei $2\pi a_x \leq T$.

Considerînd ecuația spiralei arhimedice și înlocuind factorii cu expresiile mai sus amintite, la o rotație completă ($\varphi = 2\pi$ și $n = 1$) raza vesticare are expresia:

$$r = \frac{\Delta R}{\Delta t} \cdot \frac{30}{\pi \cdot n} \cdot 2\pi = 60 \cdot \frac{\Delta R}{\Delta t} = K \cdot v_n \quad (105)$$

ceea ce evidențiază legătura determinantă dintre precizia reproducerii formei OT și caracteristicile de uzare ale acestuia, ori viteza de uzare a OT depinde de foarte mulți parametri cum sînt: curentul și tensiunea din spațiul de lucru, perechea de materiale, structura circuitului electric, caracteristicile mediului de lucru, condițiile din spațiul de lucru etc., parametri greu de stăpînit sau de prins în relații matematice, motiv pentru care cercetările experimentale sînt efectiv necesare.

C A P I T O L U L 5

CERCETARI EXPERIMENTALE LA PRELUCRAREA PRIN EEC A CORPURILOR DE REVOLUTIE

Cercetările experimentale efectuate în cadrul prezentei lucrări au fost orientate pe următoarele direcții principale:

1.) Realizarea utilajului în vederea prelucrării prin EEC a corpurilor de revoluție în condițiile asigurării dezvoltării și stabilității procesului eroziv;

2.) Stabilirea și realizarea sistemului de reglare automată a avansului, destinat echipării utilajului de prelucrare prin EEC a corpurilor de revoluție;

3.) Cercetarea și determinarea funcțiilor de răspuns la prelucrarea prin EEC a corpurilor de revoluție în condițiile modificării structurii circuitelor electrice cu parametri concentrați R, L și C;

4.) Elaborarea unor modele matematice pentru determinarea caracteristicilor tehnologice în condițiile modificării structurii circuitelor electrice;

5.) Evidențierea influenței fenomenelor fundamentale asupra modificărilor survenite în stratul de suprafață a sortului de carburi metalice din grupa P prelucrate în condițiile modificării structurii circuitului electric prin EEC.

Toate aceste direcții de cercetare experimentală au la bază studiul desfășurării proceselor elementare discrete ce se dezvoltă în spațiul de lucru sub aspect dinamic și în prezența parametrilor concentrați R, L sau C, cât și a medului în care reglarea automată a avansului influențează desfășurarea acestor fenomene.

O importanță deosebită s-a acordat în cercetarea experimentală evidențierii legăturilor și a medului de influențare a proceselor elementare cât și a caracteristicilor tehnologice prin utilizarea unor perechi conjugate de materiale diferite OF și OP cu scopul reducerii sau înlocuirii consumului de materiale deficitare (cum este de altfel și supra).

Cercetările experimentale s-au efectuat pe o paletă largă de materiale (H₀C 15, oțeluri rapide, oțeluri inoxidabile și carburi metalice) dar pentru acuratețea, omogenitatea și facilitatea comparării rezultatelor obținute în condiții diferite de prelucrare,

toate determinările din prezenta lucrare se referă numai la grupa P de carburi metalice ele reprezentând una din grupele de materiale dificil de prelucrat prin tehnologii convenționale, materiale a căror recuperare și reutilizare prezintă un interes deosebit.

5.1. Structura utilajelor de prelucrare prin EEC

Utilajele destinate prelucrărilor prin EEC trebuie să asigure toate condițiile necesare desfășurării proceselor elementare.

Clasificarea utilajelor de prelucrare prin EEC se poate efectua după diverse criterii [28, 31, 41, 42, 76, 99, 100, 112] cum sînt:

- după operația tehnologică în mașini de debitat, de ascuțit, de profilat, de realizare a fantelor etc.;
- după forma constructivă a obiectului de transfer cu disc, cu bandă sau fir;
- după puterea instalată sau curentul maxim debitat în prelucrare, în mașini de putere mare, mijlocie și mică;
- după sistemul de avans în mașini cu avans manual sau automat, cel automat putînd fi defalcat și ele în funcție de natura elementului de execuție cu sistem electromagnetic, mecanic, hidraulic etc.;
- după destinație: mașini universale sau specializate.

Indiferent de criteriul utilizat, utilajele destinate prelucrării prin EEC trebuie să conțină următoarele sisteme funcționale redată în schema bloc generală din fig.5.1. care pot exista ca unități separate sau încorporate într-o construcție unică cu următoarele reluri:

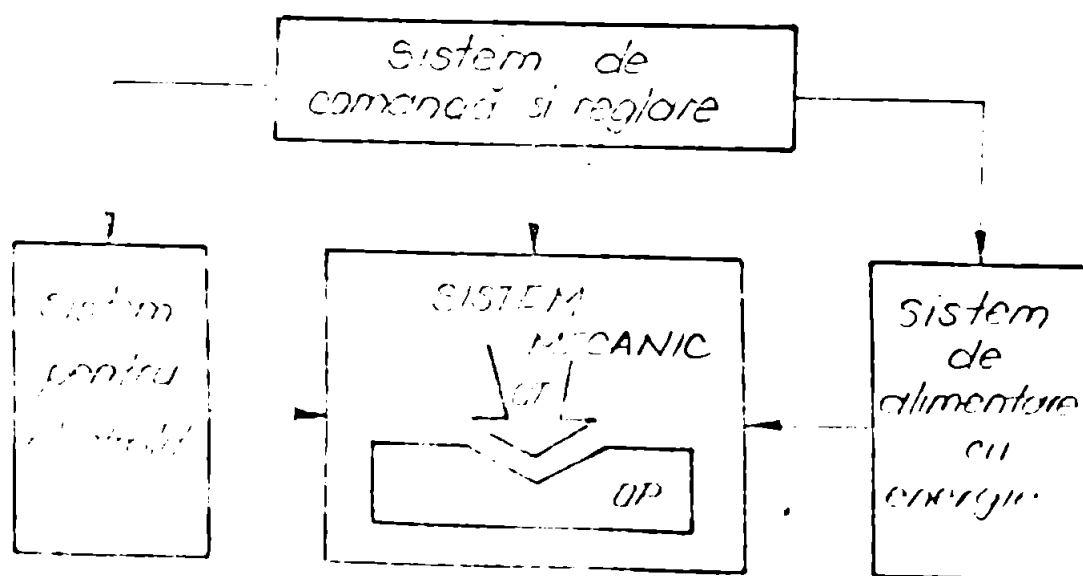


Fig.5.1. Schema bloc generală a utilajelor de prelucrat prin EEC

B - batiu; SL - sanie longitudinală; ST - sanie transversală; IL - incinta de lucru; SP - sistem de protecție și colectare; M - montant; SA - sistem de antrenare; SCRA - sistem de comandă și reglare a avansului; SAE - sistem de alimentare cu energie; PDC - pompă cu debit constant; SO - sorb; RL - rezervor lichid; R₁, R₂, R₃ - robinete; M_r - mișcarea de reglare a capului de forță; OT - obiect de transfer; OP - obiect supus prelucrării; S - mișcarea de avans; SV - sistem de ventilație;

Principalele subansamble funcționale sînt:

a.) - sistemul mecanic, reprezintă mașina propriu-zisă, care cuprinde batiul B pe care se sprijină montantul M, incinta de lucru IL, precum și săniile longitudinală SL și transversală ST. Pe montant se află capul de lucru ce execută mișcarea de reglare M_r și sistemul de antrenare SA al obiectului de transfer OT în mișcare de rotație cu turația n. Construcția acestor elemente este asemănătoare cu cea întâlnită la mașinile unelte clasice cu următoarele diferențieri:

a₁.) - în cazul mașinilor de debitat prin EEC, pe arborele principal se montează sistemul perii-colector, ce asigură conectare OT la polaritatea negativă a sursei de alimentare cu energie electrică iar incinta de lucru trebuie să permită:

- montarea corespunzătoare a OP prin conectarea acestuia la polaritatea pozitivă a sursei de alimentare cu energie electrică, OP-ul fiind totodată izolat electric de restul sistemului mecanic;

- aducerea și dirijarea continuă a electrolitului sub formă de jet în spațiul de interacțiune dintre OT și OP;

- colectarea electrolitului și dirijarea lui către sistemul de recirculare;

- colectarea și evacuarea aerosolilor formați în timpul procesului de prelucrare, prin sistemul de ventilație SV și de protecție SP, care permite și vizualizarea zonei active;

b.) sistemul de alimentare cu energie electrică SAE, prin care tensiunea rețelei este adaptată, în special prin redresarea uneia sau ambelor alternanțe, cerințelor prelucrării, astfel încît să asigure polaritatea necesară prelucrării la tensiuni cuprinse între 20 - 50 V și curenți de 50 - 500 A. Se utilizează redresare mono-fazică sau trifazică de putere, cu celule redresoare de siliciu sau germaniu sau generatoare de curent continuu cu caracteristică externă rigidă.

c.) - sistemul de comandă și reglare automată a avansului SCRA, care realizează conectarea, deconectarea și protecția tutu-

rer compartimentelor electrice avind ca funcție principală stabilizarea mărimii interstițiului de lucru tehnologic a cărui valoare minimă constituie condiția de bază pentru desfășurarea normală a procesului prelucrării

Sistemul de reglare autوماتă a avansului constituie un regulator - stabilizator de presiune între OF și OP asigurând un echilibru între volumul îndepărtat și volumul format de pelicula pasivă de pe virfurile microasperităților, peliculă care are un rol important în reglarea interstițiului cu implicații directe asupra menținerii parametrilor electrici (U, I) constanți și a vitezei de eroziune liniară optimă.

d.) - sistemul de alimentare cu lichid de lucru electrolitic este format dintr-un rezervor RL cu capacitate de 40 - 200 l și o pompă cu debit constant, minim de 1 l/min.

Rezervorul este compartimentat pentru decantarea lichidului care conține în el particule metalice sau de altă natură provenite din spațiul de lucru. În general, sistemul de circulație al lichidului de lucru este în circuit închis și nu se prevăd filtre deoarece ce acestea se obturează, silicatul de sodiu fiind sicativ. În zona de lucru a incintei IL lichidul de lucru este adus prin intermediul unor tuburi flexibile și prin ajutaje corespunzătoare care să permită accesul cât mai bun în zona de interacțiune dintre OF și OP.

5.1.2. Structura mașinilor proiectate pentru profilat și ascuțit prin eroziune electrică complexă

În afara operațiilor de debitare, procesul de EEC se aplică cu rezultate favorabile în operațiile de ascuțire și profilare a sculelor achieteare cit și în cazul realizării unor profile în materiale cu suprafețe plane.

Structura și funcțiile sistemelor componente a acestor utilaje în general ca schemă de bloc nu diferă de cea a utilajelor de debitat, particularitățile sînt determinate de obicei de cinematica generării operației sau de construcția obiectului de transfer.

În continuare se vor trata numai aceste diferențieri cu scopul elucidării condițiilor specifice realizării fiecărei operații tehnologice iar structura utilajelor va fi exemplificată pe utilaje realizate la catedra de Tehnologie mecanică a Institutului ^{Politehnic} "Traian Vuia" din Timișoara, în cadrul contractelor de cercetare științifică.

a.) Profilarea sculelor achieteare și cea a suprafețelor plane

Realizarea acestei operații impune utilizarea OT sub formă de discuri a căror suprafață periferică poartă informația ca negativ al viiterului profil ce trebuie a fi transpus pe suprafața activă a sculelor așchietoare, chiar placate cu carburi metalice fig.5.3.

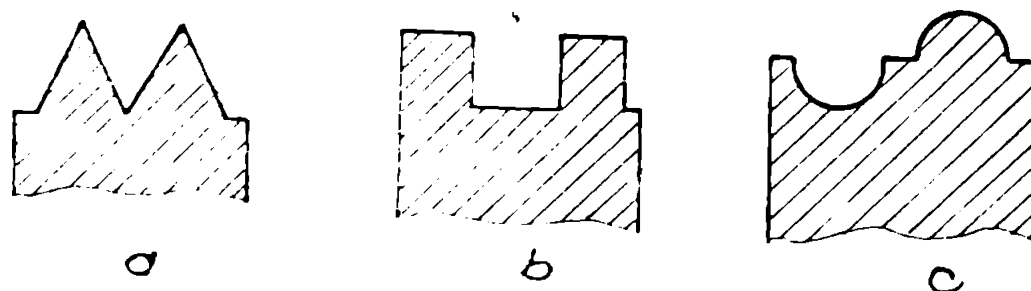


Fig.5.3. Profile simple ale obiectelor de transfer pentru profilare

Obiectele de transfer se construiesc din materiale electroconducătoare cu diametre cuprinse între 180 și 250 mm iar grosimea se stabilește în funcție de lățimea profilului sculei așchietoare. Pe suprafața profilată a OT-ului se practică canale cu lățimea și adâncimea de 3 - 4 mm și înclinate față de generatoarea cu $(18-20)^\circ$ fig.5.4.

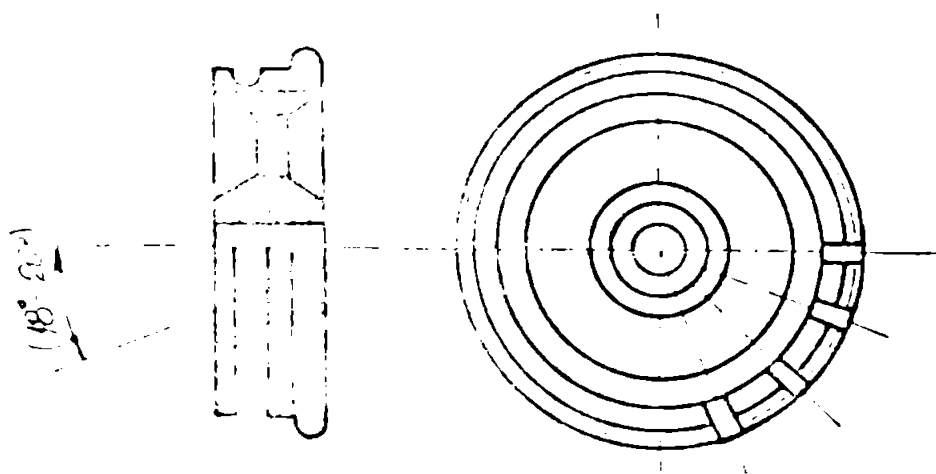


Fig.5.4. Construcția OT pentru profilare

Canalele practicate în OT, favorizează accesul electrolitului în spațiul de lucru tehnologic participând și la evacuarea produselor eroziunii mărind astfel productivitatea și precizia prelucrării. O atenție deosebită trebuie acordată rigidității sistemului mecanic, pentru a evita apariția vibrațiilor din cauza maselor

mari în mișcare de rotație a OT-ului și dimensionării corespunzătoare a sistemelor de alimentare cu electrolit și energie electrică. Sistemul de reglare automată a avansului acționează ea și la debitare asupra organului de reglare care realizează mișcarea de avans longitudinal.

b.) Ascuțirea sculelor aşchiatoare - se realizează pe utilaje ce comportă o schemă bloc asemănătoare utilajelor de debitare cu schema de principiu prezentată în fig.5.5.

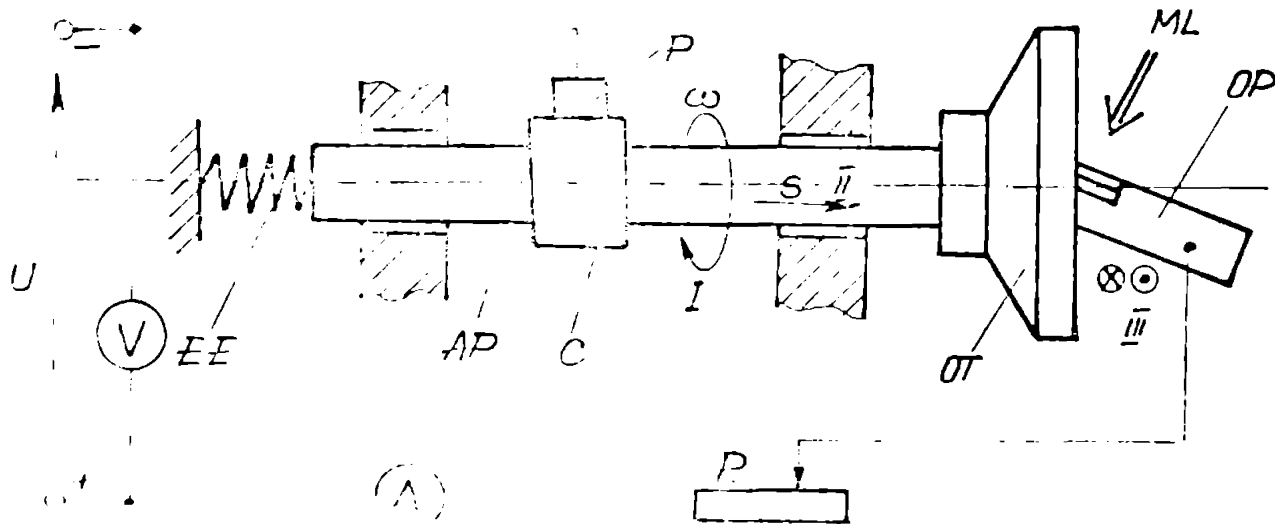


Fig.5.5. Schema principală a ascuțirii sculelor aşchiatoare prin KEC

OT - obiect de transfer; OP - obiect supus prelucrării; ML - mediu de lucru; C - elector; R - rezistivitate limitatoare de curent; V, A - voltmătru și ampermetru; ω - mișcare principală I; S - mișcare de avans II; III - mișcare oscilantă; EE - element elastic.

Obiectele de transfer și în acest caz au o construcție specială fig.5.6. care asigură: Suprafața de interacțiune dintre OT și OP, prin zona suprafeței frontale inelare, prevăzută cu canale radiale, a căror adâncime și lățime este de 3 + 4 mm, rețeaua lor fiind aceeași ca și în cazul profilării.

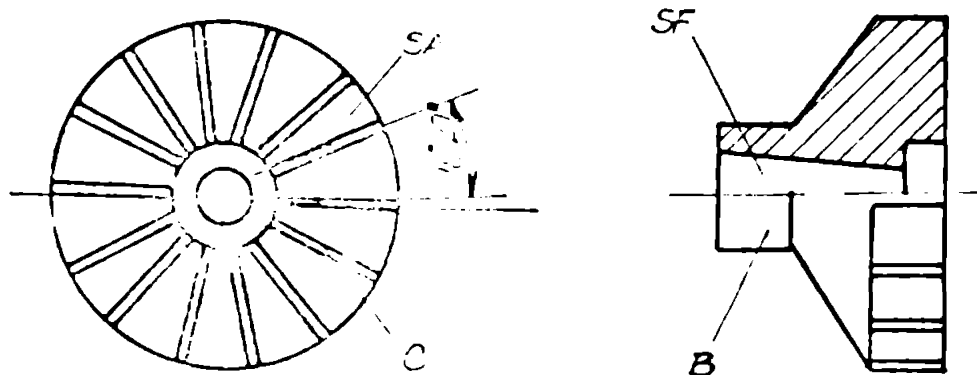


Fig.5.6. Construcția obiectului de transfer pentru ascuțirea sculelor aşchiatoare prin KEC

SA - suprafață activă; SF - sistem de fixare; B - butuc; C - canale

Particularitățile utilajelor de ascutit constau în mediul de

generare asuprafeței sculei așchiatoare, impunând sistemelor mecanice funcții suplimentare, ce participă direct la dezvoltarea proceselor elementare cît și la stabilitatea procesului de prelucrare. Astfel obiectul supus prelucrării trebuie să execute mișcarea III (fig.5.5) mișcarea alternantă în condițiile prezenței forței de apăsare necesară îndepărtării peliculei pasive.

După organul care execută mișcarea prin care se asigură forța de apăsare utilajele pot fi construite în două variante:

A - forța de apăsare este asigurată prin elementul elastic EE (fig.5.5) ce deplasează arborele principal al mașinii AP, în timp ce execută și mișcarea de rotație cu viteza unghiulară. Prin acest sistem se asigură succesiunea celor trei faze de degroșare, semifinisare și finisare în timpul destinderii elementului elastic EE de la valoarea de compresiune maximă (corespunzătoare regimului de degroșare) la cea minimă (corespunzătoare regimului de finisare).

Regimul electric (U, I) inițial fixat se modifică progresiv descrescător, în funcție de mărimea forței de apăsare. Sistemul acesta simplifică schema cinematică și construcția mecanică a mașinii, se realizează ușor și la un preț de cost redus.

B - a doua variantă impune reglajul regimului electric în trepte corespunzător fiecărei faze de prelucrare cît și utilizarea sistemului de avans automat pentru menținerea parametrilor procesului la valori constante. Schema cinematică este mai complexă dar și gama operațiilor tehnologice este mai largă asigurînd operațiile de debitare, ascuțire și profilare. Pentru exemplificare se prezintă în fig.5.7.a. schema cinematică simplificată a mașinii de prelucrat prin MEC, MEC - 50 construită în cadrul catedrei de "Tehnologie mecanică" a Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, iar în fig.5.7.b. ve-

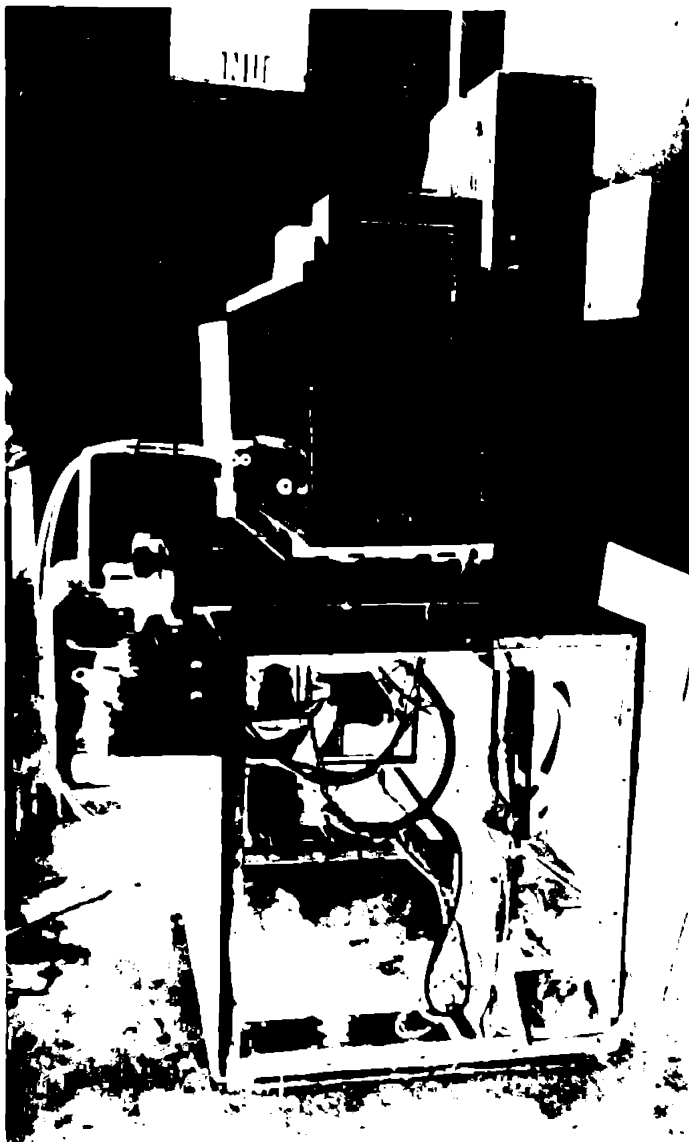


Fig.5.7.b. Vedere generală a mașinii MEC - 50

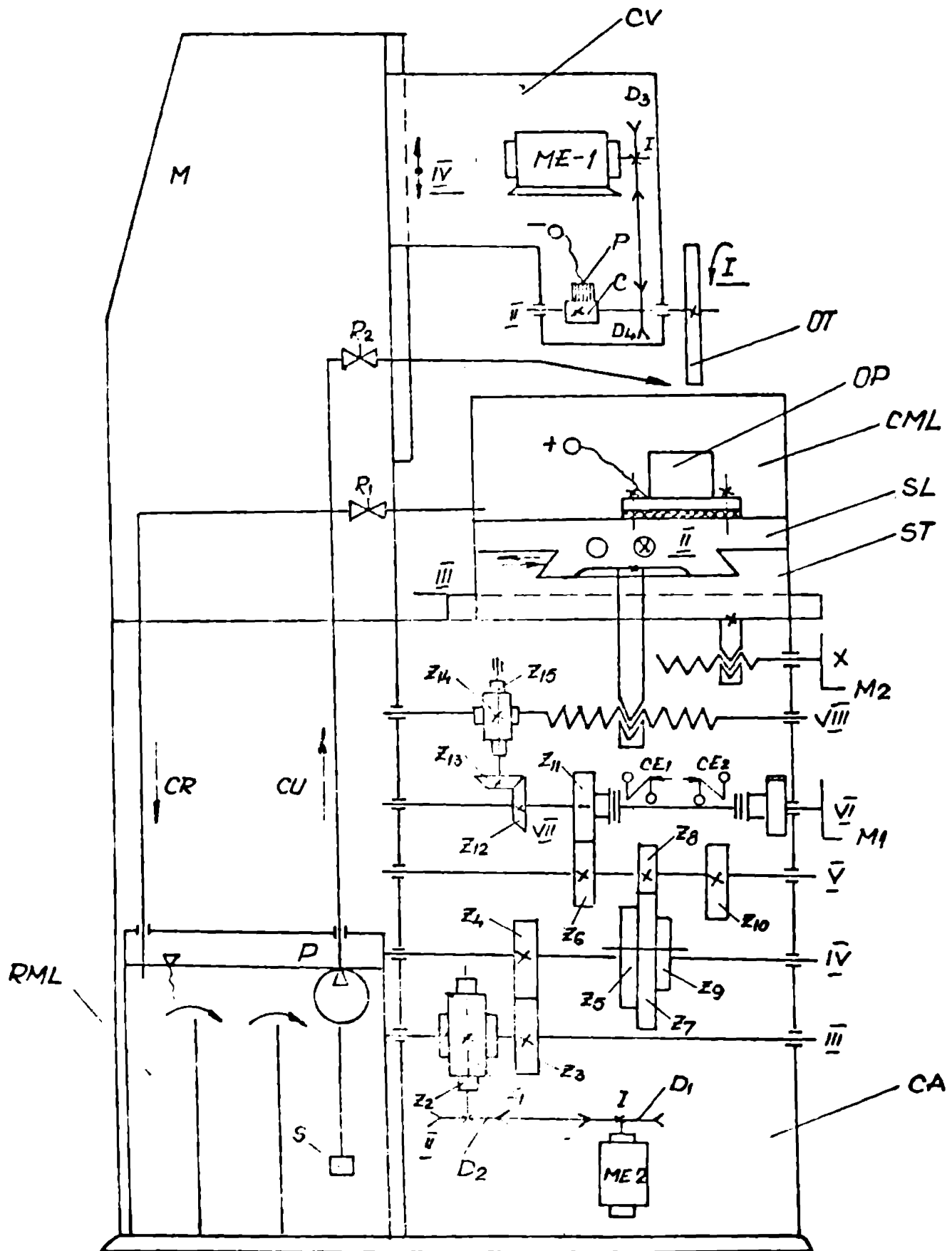


Fig. 5.7. a.

Schema cinematică simplificată a mașinii MEC-50

OT-obiect de transfer; OP-obiect supus prelucrării; CV-cap vertical;
M-montant; CML-cuvă cu mediu de lucru; SL-sanie longitudinală;
ST-sanie transversală; CA-cuștia de avans; ME1, ME2-motore de c.c.;
C-colector; P-perii colectoare; RML-rezervor cu mediu de lucru;
P-pompă; S-sorb; CU-conductă de umplere; CR-conductă de
refulare; R1, R2-robinete

deres de ansamblu a acestei mașini. Această mașină se construiește în momentul de față în serie mică la "Atelierul de prototipuri și microproducție" a Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara.

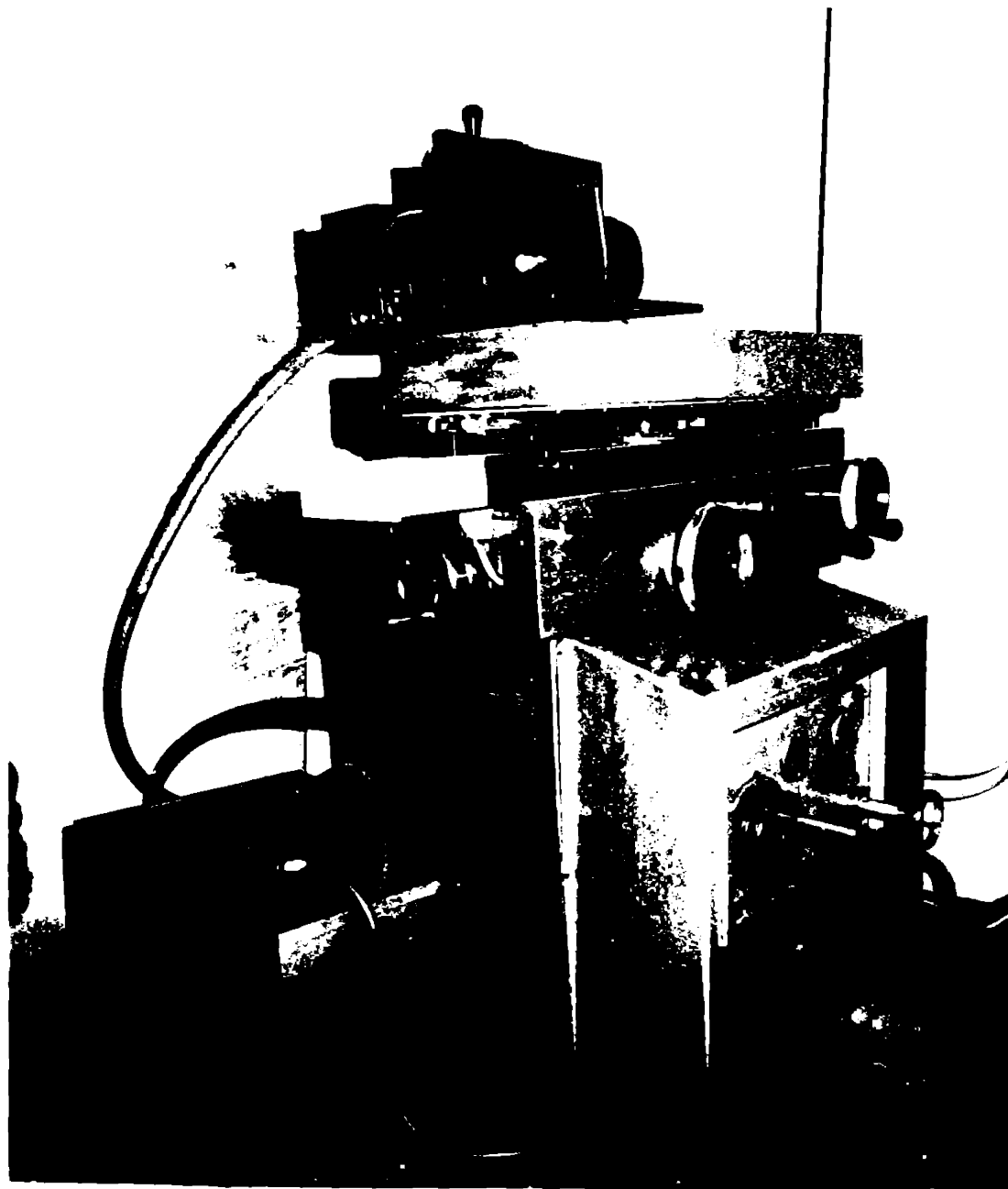


Fig.5.8.b. Mașina de prelucrat prin ERC, MEC - 75 pentru I.C.M. Caransebeș

În baza contractelor de cercetare științifică pentru Întreprinderea de Construcții de Mașini din Caransebeș, printr-o adaptare constructivă și funcțională corespunzătoare a unei mașini de ascuțit scule tip FUS - 200, catedra de Tehnologie mecanică a I.P. "Traian Vuia" din Timișoara a realizat o mașină de prelucrat prin eroziune electrică complexă tip MEC - 75 a cărei schemă cinematică simplificată se prezintă în fig.5.8.a iar în fig.5.8.b. vederea de ansamblu general. Mașina este destinată operațiilor de debitat, profilat și ascuțit.

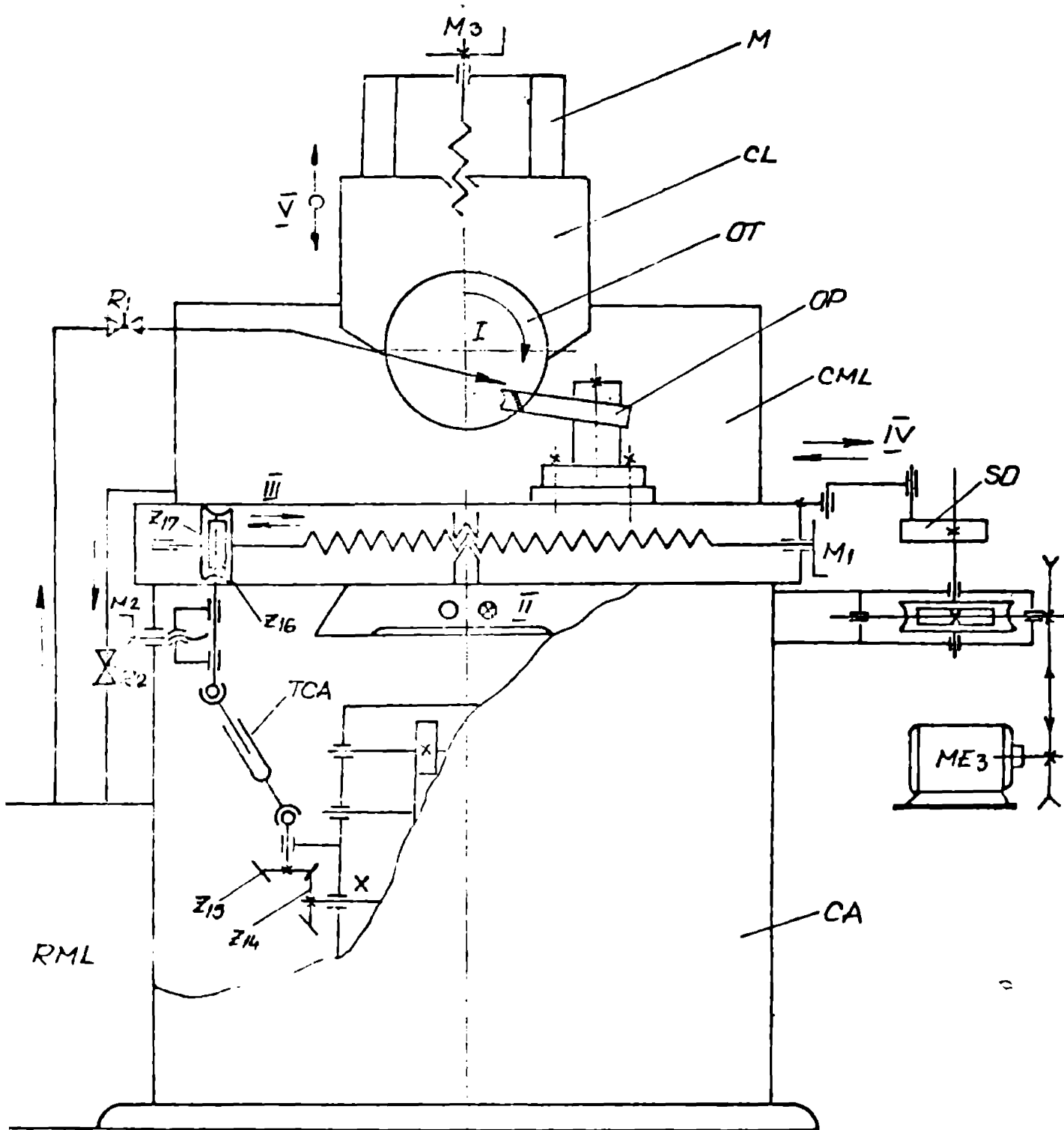
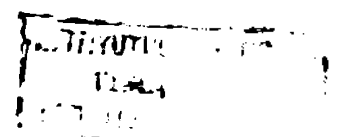


Fig. 5.8.a

Schema cinematică simplificată a mașinii MEC-75

OT - obiect de transfer; OF - obiect supus prelucrării;
 M - montanț; CL - cap de lucru; CML - cuvă cu mediu de lucru;
 SO - sistem oscilant; ME3 - motor de c.c.; CA - cutie de avans;
 RML - rezervor cu mediu de lucru; TCA - transmisie catanică;
 I - mișcare principală; II - avans transversal;
 III - avans longitudinal; IV - mișcare oscilantă;
 V - mișcare de potrivire.



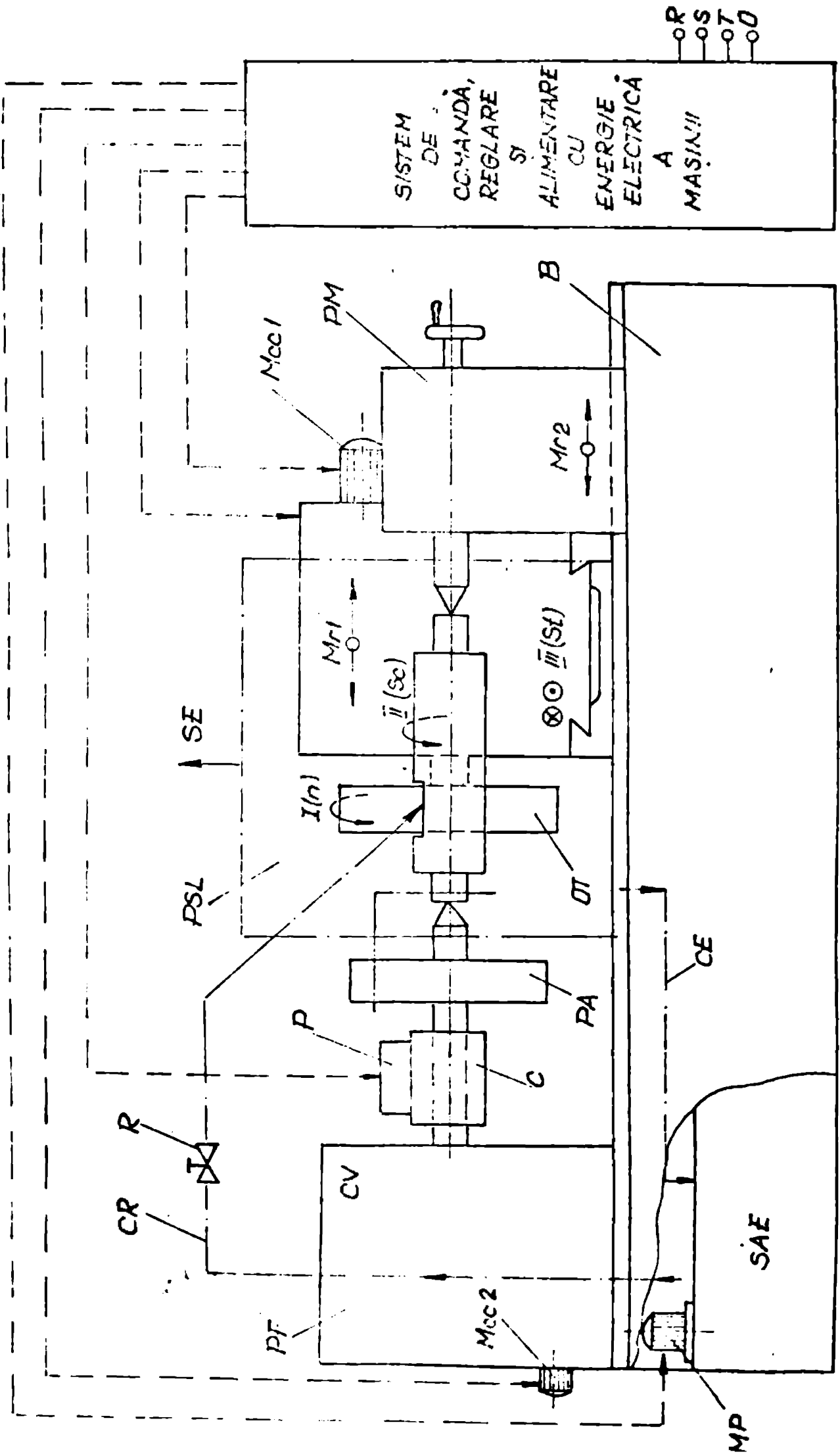


Fig. 5.9. a

Semnificația notațiilor din fig.5.9.a. este următoarea:

OT - obiect de transfer; OP - obiect supus prelucrării; FA - flanșă de antrenare; C - colector; P - perii de alimentare a OP cu energie electrică; CV - cutie de viteze (păpușa fixă); M_{CC_1} - motor de CC pentru antrenarea OT; M_{CC_2} - motor de curent continuu al sistemului de avans automat; PM - păpușă mobilă; SAF - sistem de alimentare și recirculație cu electrolit; MP - motorul pompei pentru electrolit; CR - conductă de refulare; R - robinet; CE - conductă de evacuare; B - batiu; $M_{r_{1,2}}$ - mișcări de reglare; I(n) - mișcarea principală de rotație a OT; II(n) - mișcarea de rotație a OP (avans automat); III(ML) - mișcarea de avans transversal a capului de lucru; PSL - sistemul de protecție a spațiului de lucru tehnologic; SE - sistem de evacuare a aerosolilor.

Mișcarea principală de rotație I a obiectului de transfer este asigurată de sistemul de antrenare propriu cu ajutorul unui motor de curent continuu M_{CC_1} ; mișcarea de reglare M_{r_1} realizată prin deplasarea saniei longitudinale a capului de lucru, asigură poziționarea obiectului de transfer (OT) în scopul îndepărtării locului de prelucrare a obiectului supus prelucrării (OP), urmată de mișcarea III realizată prin deplasarea saniei transversale a capului de lucru, mișcare de avans transversal neautomatizată, necesară obținerii adâncimii de prelucrare și efectuată în faza de început a prelucrării, perioadă în care

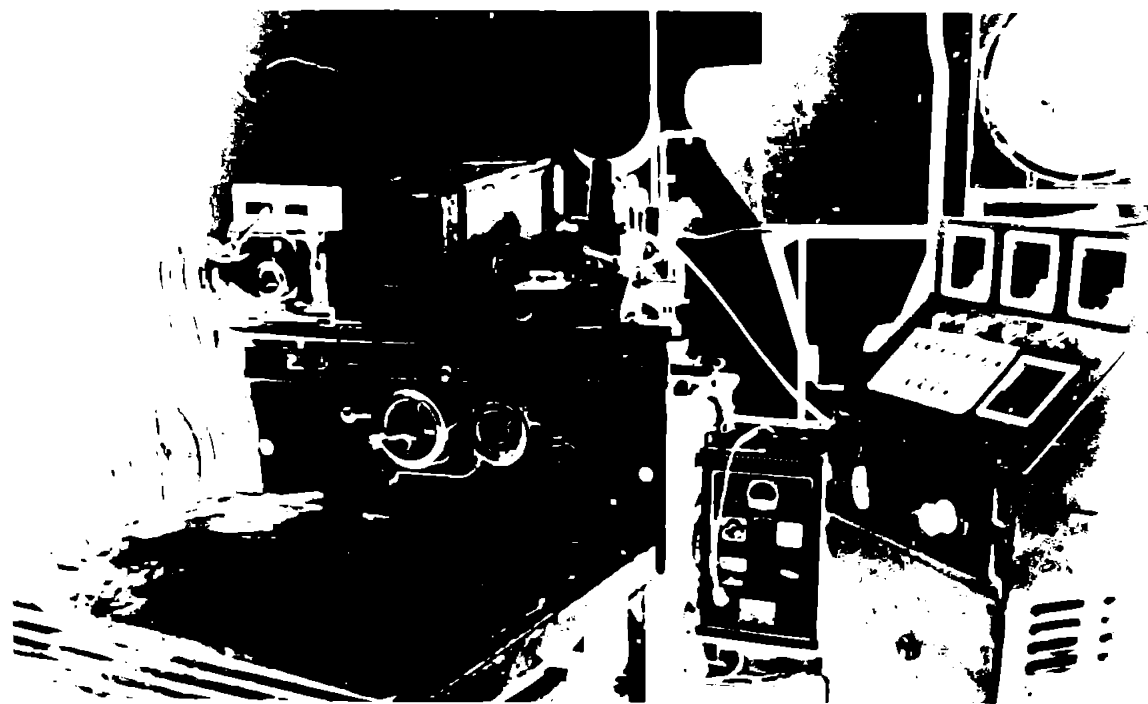


Fig.5.10. Vedere generală a mașinii (stanului experimental) de prelucrare a corpurilor de revoluție prin MEC

rea III realizată prin deplasarea seniei transversale a capului de lucru, mișcare de avans transversal neautomatizată, necesară obținerii adânciții de prelucrare și efectuată în faza de început a prelucrării, perioadă în care mișcarea de avans automat II a OP-ului nu se cuplează. La atingerea cotei de adâncime prescrisă, mișcarea III-a a capului de lucru se decuplează, moment în care sistemul de reglare automată a avansului (SRAA) se cuplează, imprimând OP-ului mișcarea automatizată II, dependentă de condițiile concrete și momentane ale procesului de prelucrare. Mișcarea de reglare M_{r2} se utilizează la fixarea între virfuri a OP-ului în funcție de lungimea acestuia.

Dacă cinematica generării suprafețelor profilate a corpurilor de revoluție implică rezolvarea unor probleme constructive mai complexe, celelalte sisteme dețin aceleași funcții ca și în cazul mașinilor de debitat, profilat sau ascuțit proiectate și dimensionate la necesitățile concrete ale secțiunilor active aflate în interdependență în procesul prelucrării.

În fig.5.10. se prezintă vederea generală a mașinii de prelucrat corpuri de revoluție (stand experimental), în fig.5.11. dispozitivul de fixare a corpurilor de revoluție în vederea prelucrării și sistemul de alimentare cu energie electrică, iar în fig.5.12.a aspect al prelucrării corpurilor de revoluție cu zona spațiului de lucru în prim plan și în fig.5.12.b. în detaliu zona de interacțiune OT și OP pentru profilare.

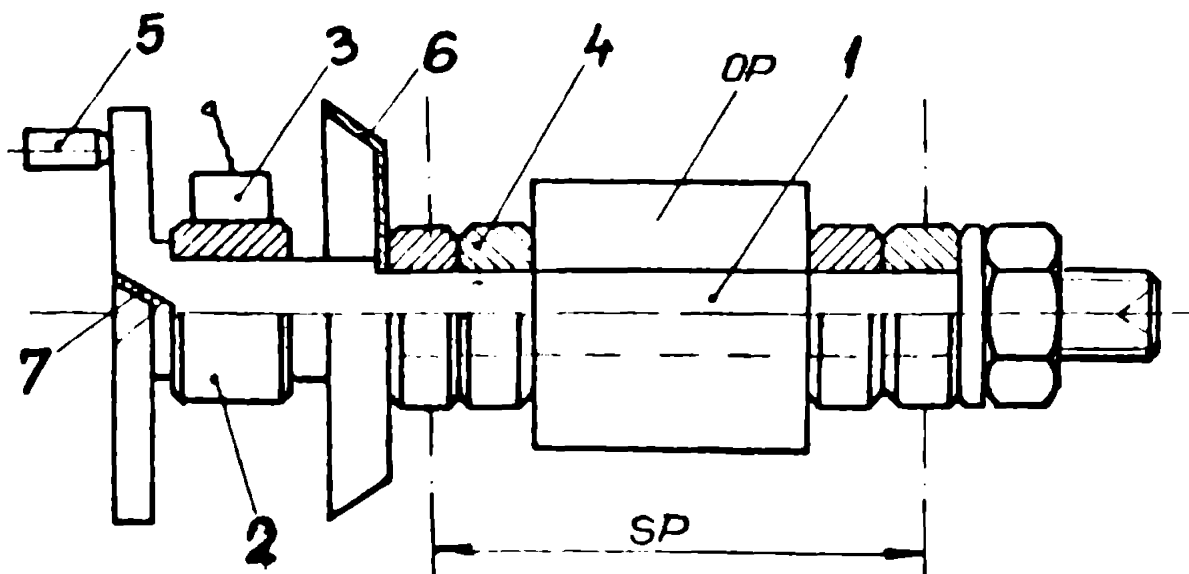


Fig.5.11. Dispozitiv de fixare a OP-ului în vederea prelucrării

- 1. - arbore; 2. - colector; 3. - sistem de perii colectoare;
- 4. - inele intermediare; 5. - sistem de antrenare; 6. - sistem de protecție stropi; 7. - ghuri de centrare cu izolație electrică;
- OP - obiect supus prelucrării și SP - spațiu tehnologic de lucru.



Fig. 5.12.a. Spațiul de lucru la prelucrarea prin rotație a corpurilor de revoluție



Fig. 5.12.b. Detalii ale zonei de interacțiune OT și C. la profilare

5.2. Sisteme de alimentare cu energie electrică utilizate la echiparea mașinilor de prelucrare prin EEC a corpurilor de revoluție

Sistemele de alimentare cu energie electrică a spațiului de lucru în vederea constituirii agenților erozivi și a dezvoltării proceselor elementare de eroziune, îl reprezintă redresoarele mono și trifazate sau generatoarele de curent continuu cu caracteristici rigidizate. Cum în țară nu se produc astfel de surse destinate echipării mașinilor de prelucrat prin EEC, s-au utilizat drept surse de alimentare pentru echiparea utilajelor construite redresoare trifazate tip RSC - 400 destinate sudării în mediu de dioxid de carbon și generatoare de sudură tip GES - 390 utilizat la sudarea manuală cu arc electric.

5.2.1. Redresorul tip RSC - 400 utilizat ca sursă în prelucrările prin EEC

Redresorul tip RSC - 400, fabricat de Întreprinderea Electromagnetica București, destinat sudării electrice în mediu de dioxid de carbon asigură tensiunii în trepte de 25; 30; 37; 44 și 51 volți și curenți în gama 0 ÷ 400 A. Pentru asigurarea spațiului de lucru cu energia electrică necesară din generator se utilizează numai partea redresată a buclei de forță, pentru care s-a determinat dependența $U = f(I)$ prezentată prin caracteristicile externe pentru cele cinci trepte în fig. 5.13.

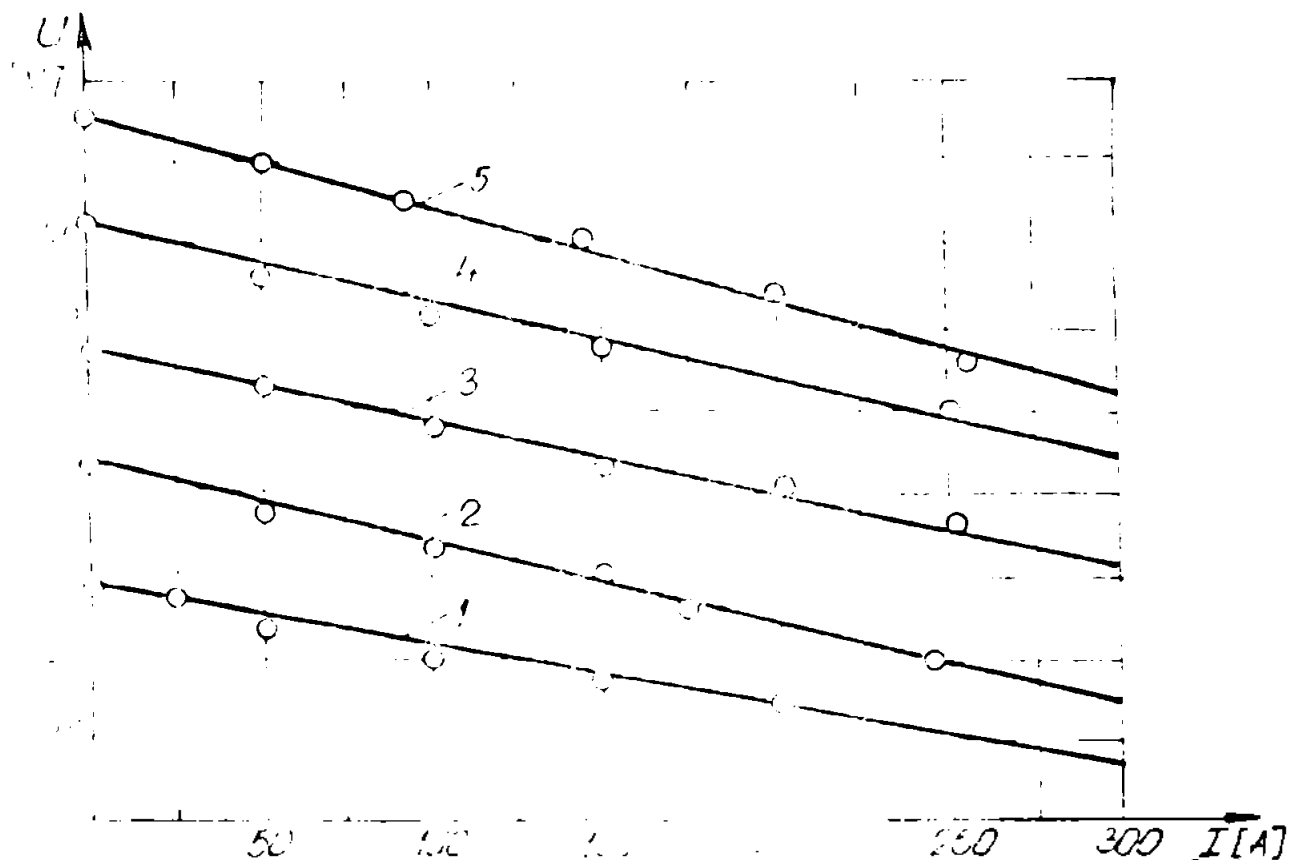


Fig. 5.13. Caracteristicile externe ale redresorului RSC-400

prin intermediul caracteristicilor externe și al rezistențelor de balast se stabilește punctul de funcționare pe una din caracteristicile, în funcție de valoarea curentului asigurându-se pe spațiul de lucru tensiunea de 20 volți.

5.2.2. Generatorul GES - 350 utilizat ca sursă în prelucrările prin EEC

Generatorul GES - 350 destinat sudării manuale cu arc electric discontinuu, pentru electrozi înveliți asigură tensiunea de amorsare de 30 volți și

curenți reglabili între 0 + 350 A, este de tipul cu poli divizați și prezintă schema de principiu din fig.5.14. și caracteristicile externe în fig.5.15., neutilizabile la alimentarea spațiului de lucru al mașinilor de prelucrat prin EEC din cauza variațiilor mari de tensiune, ceea ce provine din instabilitatea procesului de prelucrare. Pentru asigurarea stabilității procesului, generatorul GES - 350 ca sursă în prelucrările prin EEC trebuie să prezinte caracteristici externe rigide ușor crescătoare sau ușor decrescătoare, (favorizând) autoreglarea sistemului

Dintre variantele de rigidizare a caracteristicilor oferite de [17] s-a ales varianta prezentată în fig.5.16., care constă în alimentarea

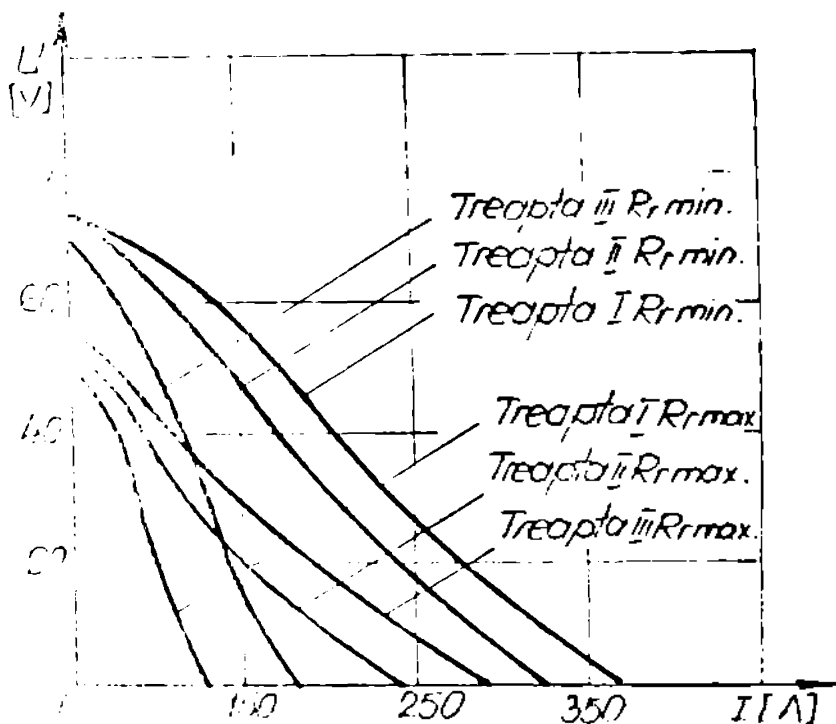


Fig.5.14. Schema de principiu a generatorului GES-350

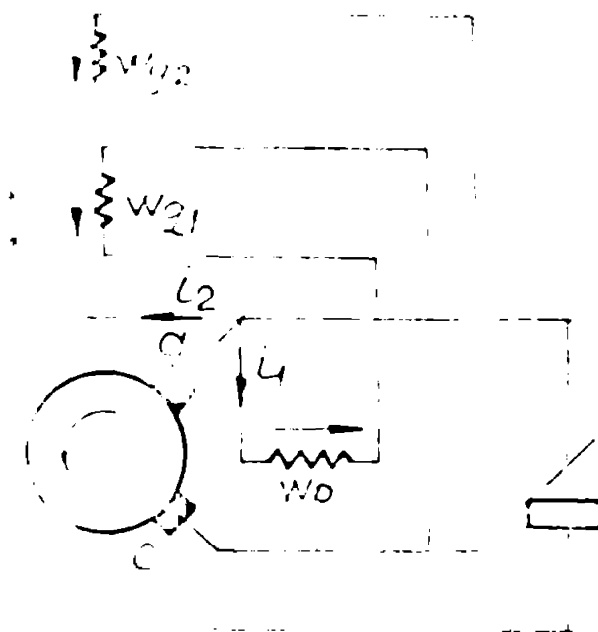


Fig.5.16. Caracteristicile externe ale generatorului GES - 350

înfigurării Wq_2 de la perile b și c și în introducerea reostatului R_x în circuitul de excitație Wq_1 . Prezența reostatului R_x se face simțită mai ales în domeniul curenților de sarcină mici determinând o aplatizare a caracteristicilor exterioare ale sursei ca în fig.5.17. pe treapta a II-a de reglare și în fig.5.18. pentru treapta a III-a de reglare a perilelor.

Fig.5.16. Surse modificată

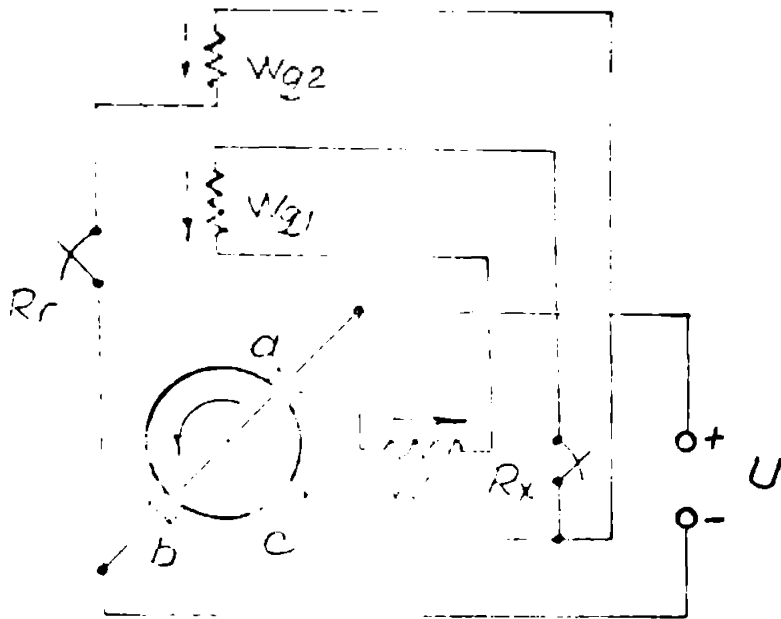
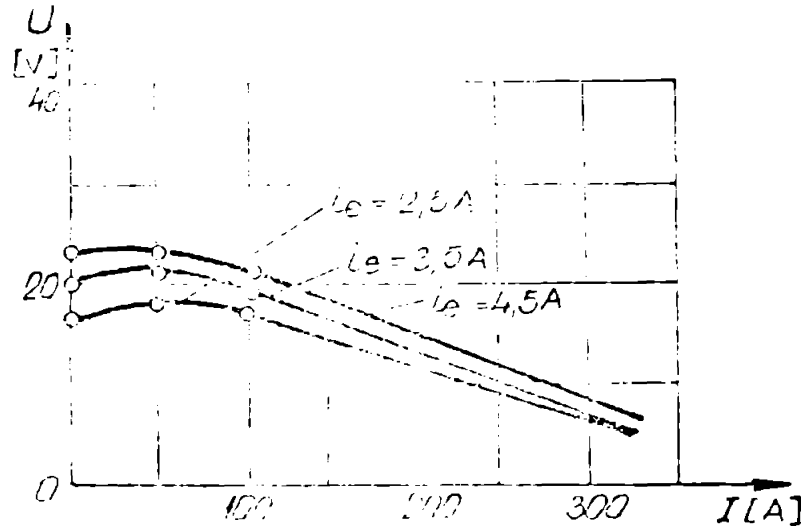
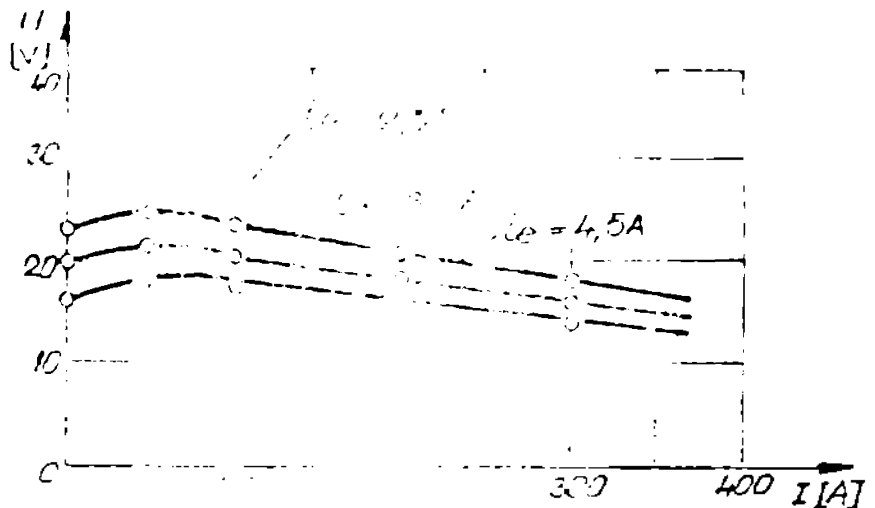


Fig.5.17. Curbe rigidizate pentru treapta a II-a

Fig.5.18. Curbe rigidizate pentru treapta a III-a



Ecuația ce definește aceste caracteristici exterioare a generatorului GEB - 350 rigidizat are forma:

$$U = \frac{1 + \frac{R_{q1}}{R_1} + \frac{R_{q2}}{R_2}}{1 + \frac{R_{q2}}{R_2}} \cdot E_{acc} - \frac{\frac{R_{q1}}{R_1} + \frac{R_{q2}}{R_2} R_{ac} + R_{rq} + R}{1 + \frac{R_{q2}}{R_2}} I \quad (106)$$

în care R_{rq} - este rezistența de reacție echivalentă în cazul rotirii periferic și exprimată prin:

$$R_{rq} = R_{rq0} \left(1 + \frac{R \eta_k}{k} \right) \quad (107)$$

R_1, R_2 - rezistențele ohmice ale circuitelor înfășurării de reacție

$R = R_{ac} + R_{ob}$ reprezintă rezistența indușului

$$R_{q1} = \frac{CW_{q1}}{R_{mq}}; \quad R_{q2} = \frac{CW_{q2}}{R_{mq}}; \text{ cu dimensiuni de rezistențe ohmice}$$

R_{ac} - rezistența înfășurării indușului măsurată între perile ac;

E_{acc} - tensiunea electromotoare între perile ac la mers în gol.

Cu ajutorul reostatului R_x se reglează curentul de excitație a cărui modificare permite obținerea familiilor de curbe pentru fiecare din cele două trepte de reglare.

Ambele familii de curbe au fost ridicate pentru treapta minimă a reostatului R_x .

Dependența $U = f(I)$ din diagrama fig. 5.17. și 5.18. sînt corespunzătoare desfășurării în bune condițiuni a proceselor elementare, cu păstrarea constanței parametrilor electrice și cu implicații pozitive asupra sistemelor de reglare automată a avansului. În această variantă alimentarea spațiului de lucru se realizează prin conectarea corespunzătoare a OP la perile "a" (polaritatea pozitivă) și OT la perile "b" (pentru polaritatea negativă).

incercat mai multe scheme de automatizare [67, 84, 98, 99, 103]. Alegerea și adaptarea unei scheme de automatizare trebuie să se facă în funcție de complexitatea operației, locul și condițiile de exploatare și funcționare a mașinii cât și de factori economici dintre care preponderant este existența componentelor pe plan intern. În cele ce urmează se prezintă trei scheme de automatizare ce echipază mașinile de prelucrat prin MEC, construite de catedra de Tehnologie mecanică din Institutul Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara.

5.3.1. Schema de reglare automată a avansului la mașina de debitat prin MEC MEC - 50

Pentru echiparea mașinilor de debitat, se recomandă utilizarea sistemului de reglare automată a avansului automat prezentat ca schemă de principiu în fig.5.19.

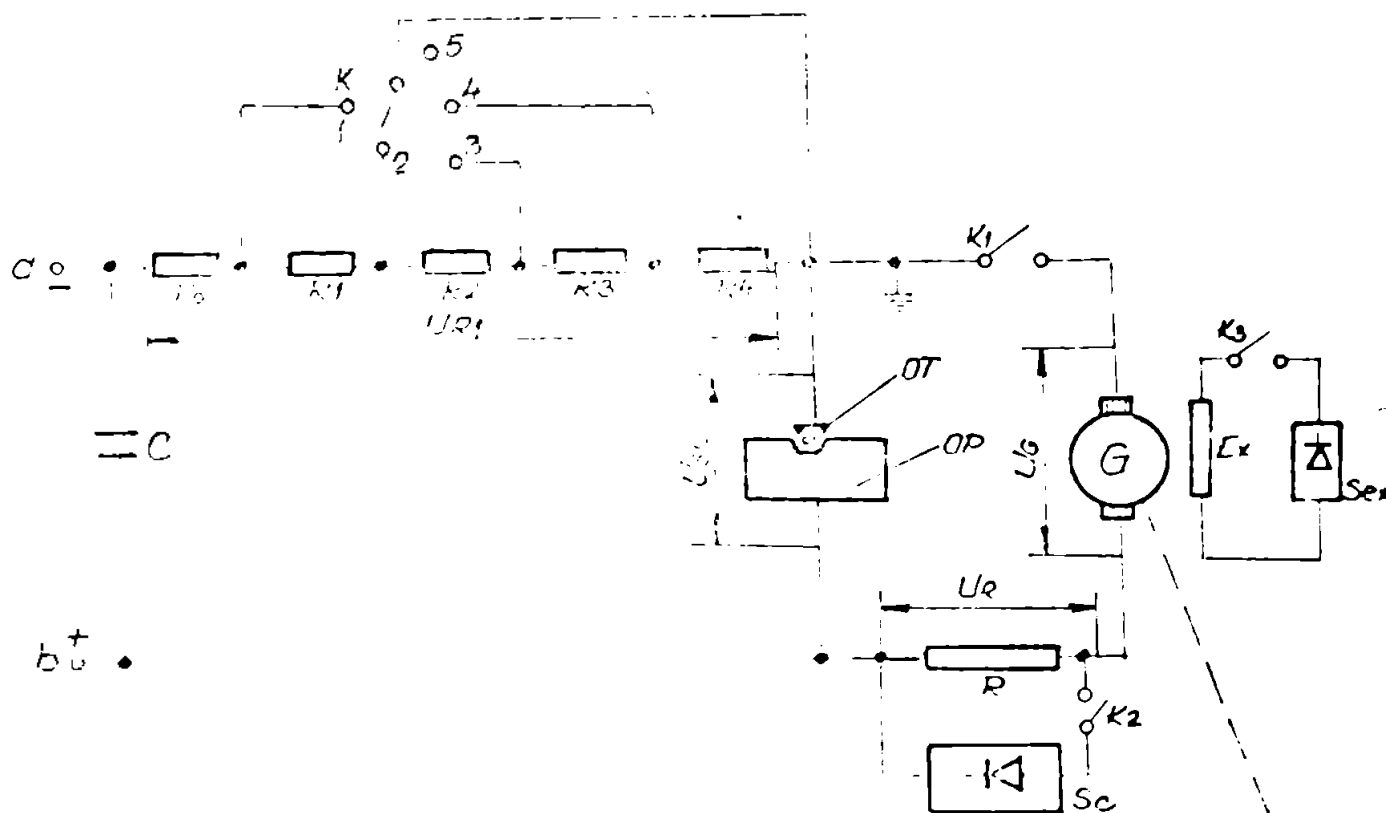


Fig.5.19. Schema de principiu a reglării automate a avansului la mașinile de debitat prin MEC
 în care : a, b - bornele de alimentare a circuitului de lucru;
 R_0 - rezistența limitatoare a curentului de scurt-circuit;
 $R_1 + R_2$ - rezistențe corespunzătoare reglărilor de lucru;
 R - rezistență pentru închiderea circuitului de alimentare a motorului G;

- K - comutatorul regimurilor de lucru;
- K₁, K₂, K₃ - întrerupătoare acționate simultan;
- C - condensator pentru protecția redresorului de alimentare la tensiuni inverse de scurtă durată;
- OT și OP - cele două obiecte; de transfer și cel supus prelucrării.

Elementul de execuție din circuitul de reglare automată este un generator G de curent continuu tip G 430 - 1, fabricat la Întreprinderea Electrometer - Timișoara, care funcționează în regim de motor electric de curent continuu cu excitație separată K_x alimentată de o sursă de curent continuu separată S_{ox}, tensiunea din circuitul indusului U_G este asigurată de diferența dintre tensiunea de pe spațiul de lucru U_{SL} și căderea de tensiune pe rezistența R conectată la o sursă reglabilă SC pentru comanda tensiunii pe spațiul de lucru. Sensul de mișcare al rețerului este funcție de suma algebrică a celor două tensiuni pentru care se pot defini trei stări posibile:

$$U_G = U_{SL} - U_R \tag{108}$$

- dacă: $U_G > 0$ - rotirea se face în sens direct;
- $U_G \leq 0$ - rotirea se execută în sens invers;
- $U_G = 0$ - corespunde poziției de repaus, putându-se

asigura astfel apropierea distanțarea sau oprirea acestora, funcție de mărimea momentană a parametrilor rezultați din condițiile concrete ale prelucrării. Mărimea vitezei de rotație este determinată de nivelul amplitudinii U_G.

Această soluție prezintă avantajul unei scheme de automatizare simplă, cu puține elemente în structură sa, ceea ce înseamnă un preț de cost redus, fiind în același timp suficient de robustă. Ca dezavantaj se poate remarca sensibilitatea redusă în jurul poziției de stop, datorată tensiunii U_G mici, care nu permite realizarea unor cupluri suficient de puternice pentru a învinge momentul rezistent din lanțul cinematic. Asupra măririi acestei zone de insensibilitate influențează în mod direct momentele de inerție a elementelor în mișcare cit și jocurile cumulate ale lanțului cinematic, motiv pentru care se recomandă ca în realizarea sistemului mecanic să se utilizeze sisteme cu prelucrare dinamică sau statică a jocului dintre elementele sistemului în mișcare relativă.

5.3.2. Sistem de comandă și reglare automată a avansului la mașinile de debitat, profilat și ascuțit prin HEC

Pornind de la observația că tensiunea U și curentul I sînt interdependente, prin caracteristicile exterioare (reglabile) ale sursei de alimentare $U = f(I)$, ceea ce permite ca prin sistemul de automatizare să se mențină doar un parametru constant. În această situație se alege drept parametru tensiunea pe spațiul de lucru, curentul rezultînd din expresia:

$$I = \frac{U_0 - U}{Z} \quad (109)$$

Cum în cazul prelucrărilor, pentru un regim dat tensiunea în gol U_0 și impedanța circuitului Z sînt constante, curentul rezultă constant, prin menținerea stabilă a tensiunii U pe spațiul de lucru.

În această situație sistemul de reglare automată a avansului se reduce în principiu la un sistem automat de urmărire, cu schema bloc prezentată în fig.5.20. Obiectul reglat OR este reprezentat de spațiul de lucru iar parametrul reglat este tensiunea medie dependentă de mărimea avansului, respectiv de presiunea de contact dintre OT și OP . Se observă că viteza de avans $v_a = f(\Delta U)$.

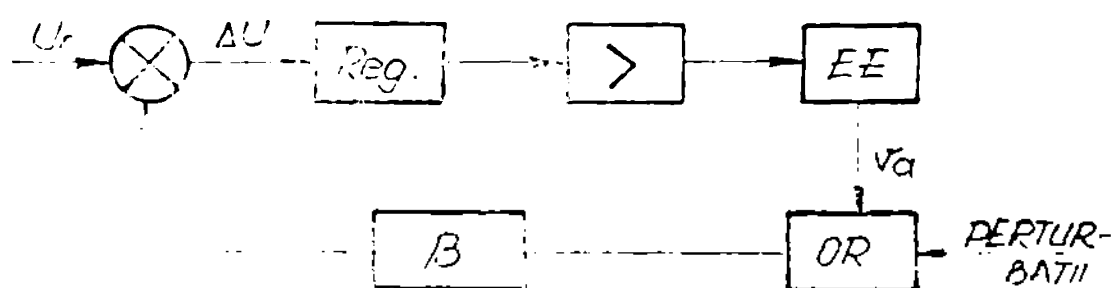


Fig.5.20. Schema bloc a sistemului de urmărire.

U_r - tensiunea de referință; ΔU - abaterea tensiunii pe spațiul de lucru rezultată din elementul comparator; Reg - elementul de reglare automată; > - amplificator; EE - element de execuție; OR - organ reglat; B - element de reacție.

Constructiv sistemul de reglare automată a avansului a fost realizat sub formă modulară și compus din următoarele blocuri funcționale fig.5.21.

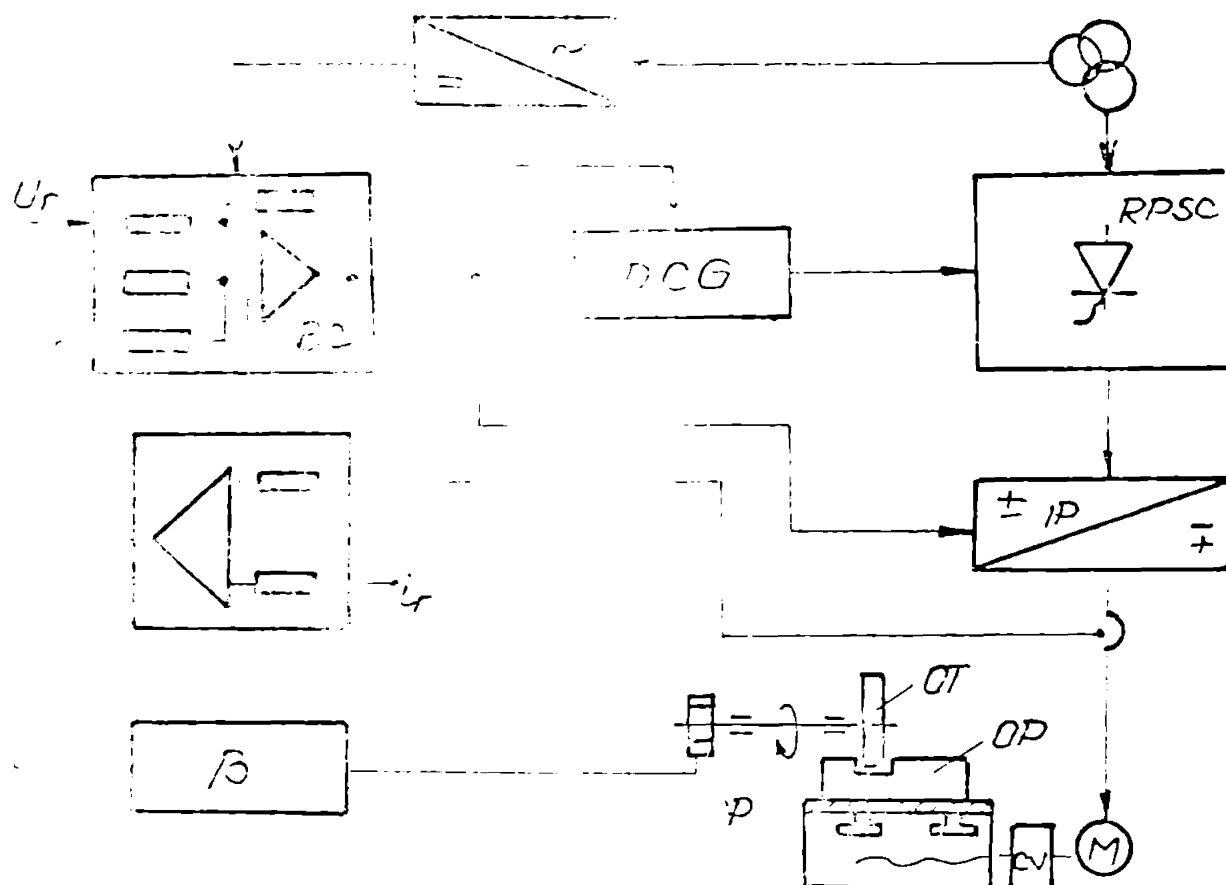


Fig.5.21. Schema bloc a sistemului de reglare automată a avansului pentru mașini de debitat, ascuțit și profilat

BC - bloc comparator tip PI și rețeaua de reacție aferentă; DCG - dispozitiv de comandă pe grilă; RPSC - redresor în punte comandat; IP - inversor de polaritate; M - motor cu excitație separată; β - reductor de reacție; IR - bloc regulator al curentului rotoric; CV - cutie de viteze; P - sistem de perii colectoare; OT și OP - obiect de transfer și obiect supus prelucrării.

Mișcarea de rotație a motorului de c.c.m se transmite prin cutia de viteze CV la gurașul conductor al masei mașinii. S-a adoptat soluția pentru reverșarea mișcării prin inverșarea polarității cu contactoare în scopul simplificării sistemului de alimentare a motorului de c.c., decarece situațiile accidentale care impun reverșarea în timpul desfășurării procesului sînt foarte rare în mod obișnuit simpla reducere a vitezei de avans produce înălturarea perturbațiilor (tendințe de scurtcircuit), inverșorul IP practic funcționează la retragerea masei

5.3.3. Sistemul de comandă și reglare automată a avansului în cazul mașinilor de profilat prin EEC a corpurilor de revoluție

Prelucrarea corpurilor de revoluție și mai ales profilarea

acestora, solicită sistemelor de automatizare, menținerea parametrilor reglați constanți pe o plajă mare a valorilor acestora în condițiile prezenței vitezelor de avans de la valori mari la valori foarte mici, utile în cazul prelucrării unor profile complexe cu suprafețe de interacțiune mari. Pentru aceste sisteme de automatizare care echipază aceste mașini trebuie să fie robuste, prevăzute cu viteze de reacție mari, cu o mică sensibilitate la perturbațiile de scurtă durată care apar ca fenomene normale în proces (perioadele de început și sfârșit de prelucrare, unele bătăi laterale etc.) și o mare stabilitate.

Diversele sisteme de avans automat prezentate în literatura de specialitate [3, 31, 89, 103, 104, 125] cit și cele prezentate anterior în această lucrare, nu pot fi utilizate la echiparea mașinilor de prelucrare prin eroziune complexă a corpurilor de revoluție din următoarele motive:

- semnalul de comandă al avansului se amulează în momentul în care mărimea reglată, devine egală cu mărimea impusă de sursa etalon, ceea ce provoacă o instabilitate pronunțată a procesului, reflectată în scăderea accentuată a productivității;

- aproape toate sistemele de automatizare lucrează pe baza valorilor momentane ale mărimilor electrice și nu cu valorile medii ale acestora, devenind astfel sensibile la variațiile valorilor momentane ale mărimilor reglate, variații care în cazul proceselor de prelucrare prin EEC fac parte din fenomenele de bază, procesul desfășurându-se în permanență ca proces tranzitoriu;

- creșterea stabilității sistemelor de avans prin micșorarea sensibilității sistemelor sau prin micșorarea pronunțată a vitezei de răspuns conduce la apariția frecventă a fenomenelor de scurt-circuit, provocând înrăutățirea tuturor caracteristicilor tehnologice.

Mașina de prelucrat prin EEC a corpurilor de revoluție construită în cadrul catedrei de Tehnologie Mecanică, a fost echipată cu sistemul de avans ce face obiectul brevetului nr.90.003 din 1967, realizat la I.P. "Traian Vuia" din Timișoara, sistem ce elimină multe din neajunsurile semnalate și care asigură o bună stabilitate procesului de prelucrare.

În fig.5.22. se prezintă schema bloc a sistemului de reglare și stabilizare automată a avansului, în care circuitul reacției de curent este format dintr-un traducător de curent - tensiune A care servește la obținerea unei tensiuni proporționale în mărime cu intensitatea curentului din spațiul de lucru și un selector de

tensiune maximă C care primește tensiunea provenită de la traductorul A și tensiunea de la sursa reglabilă B și lasă să treacă spre comparatorul D, printr-un circuit electric cu o constantă de timp convenabil aleasă, numai tensiunea care are valoare mai mare.

Sursa de tensiune reglabilă B servește la etalonarea mărimii curentului din spațiul de lucru. Lanțul reacției de tensiune este alcătuit dintr-un circuit potențometric E de pe care se culege o tensiune proporțională cu tensiunea de pe spațiul de lucru, o sursă de tensiune reglabilă F pentru etalonarea tensiunii de pe spațiul de lucru și un selector de tensiune minimă G care compară tensiunile provenite de la E și F, lăsând să treacă la comparatorul D printr-un circuit electric, având o constantă de timp adecvată, numai tensiunea de valoare minimă.

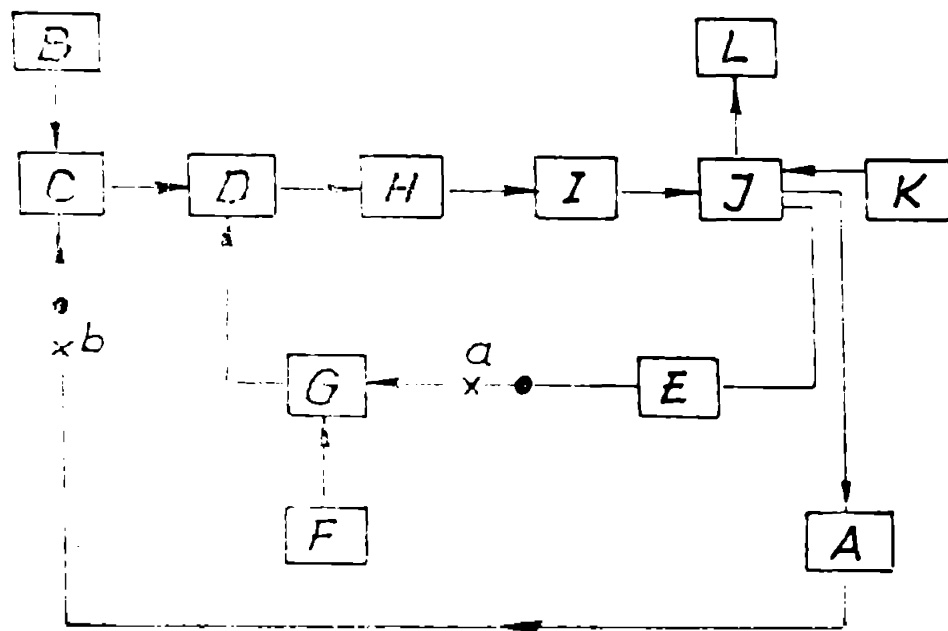


Fig.5.22. Schema bloc a sistemului de reglare și stabilizare automată a avansului

În compartimentul D tensiunea provenită de la selectorul C cu polaritate negativă și tensiunea provenită de la selectorul G cu polaritate pozitivă se însumează algebric obținându-se astfel semnalul de comandă care se amplifică în amplificatorul H (electronic, magnetic, mașină amplificatoare etc.) și apoi se aplică elementului de execuție I constituit dintr-un motor electric de c.c. ce poate acționa fie asupra CT-ului sau GP-ului.

Din cele de mai sus rezultă că atât timp cât tensiunea provenită de la traductorul A nu depășește tensiunea sursei reglabile B, avansul este constant. În cazul în care tensiunea provenită de la traductorul A devine mai mare decât tensiunea sursei reglabile de

etalonare B, din cauza depășirii curentului prescris, respectiv tensiunea provenită de la circuitul potențiometrie K devine mai mică decât tensiunea sursei reglabile F, din cauza scăderii tensiunii pe spațiul de lucru sub valoarea impusă, semnalul de comandă se micșorează, provocând micșorarea vitezei de avans, pentru a reduce tensiunea respectiv curentul din spațiul de lucru la valorile prescrise. Se observă că la acest sistem de automatizare și în momentul în care pe spațiul de lucru tensiunea și curentul prezintă valorile prescrise, în circuit există un semnal de comandă corespunzător procesului.

Cu J s-a notat spațiul de lucru unde au loc procesele elementare de eroziune, cu K o sursă de curent electric care are o tensiune și putere considerabilă, servind la alimentarea cu energie electrică a spațiului de lucru și cu L aparatura de măsurare permanentă a tensiunii și intensității curentului din spațiul de lucru. Întreruperea circuitelor în punctele "a" sau "b" face posibilă funcționarea sistemului cu menținerea constantă fie a tensiunii fie a curentului la valorile medii pe spațiul de lucru. Există și posibilitatea realizării avansului rigid, în care caz se întrerupe circuitul în ambele puncte. Unele detalii privind elementele de protecție, de semnalizare etc., nu au fost reprezentate în schema bloc pentru o urmărire mai ușoară a funcționării sistemului.

În fig.5.23. se prezintă schema electrică de principiu simplificată a sistemului de reglare și stabilizare realizat cu o mașină electrică amplificatoare cu două înfășurări de comandă iar în fig.5.24. vederea constructivă realizată a sistemului de comandă, alimentare și reglare automată a avansului.

În schema electrică principială din fig.5.23. cu 1 s-a notat reostatul cu rol de traductor curent-tensiune, condensatorul 2 puntează în parte componentă alternativă a tensiunii ce se aplică prin întrerupătorul 3 la un selector de tensiune maximă C compus din două diode 4 și 5 de tip EFR 105, o rezistență 6 și un condensator 7. Tensiunea de etalonare culeasă de potențiometrul B alimentat de generatorul 9 acționat împreună cu amplidina 10 de un motor de curent alternativ, nereprezentat în schemă, se aplică selectorului de tensiune maximă C. Excitația generatorului 9 este asigurată de o înfășurare în derivație 11. Un selector de tensiune minimă alcătuit dintr-o diodă 12 ($\Delta 7\text{VK}$), două rezistențe 13 de $350\ \Omega$ respectiv 14 $1\ \text{K}\ \Omega$ și un condensator 15 de $100\ \text{F}$, primește tensiunea de reacție prin intermediul unui potențiometrul 16 de $10500\ \mu\text{F}$ și $0,3\ \text{A}$ iar tensiunea etalon prin potențiometrul 17 și un între-

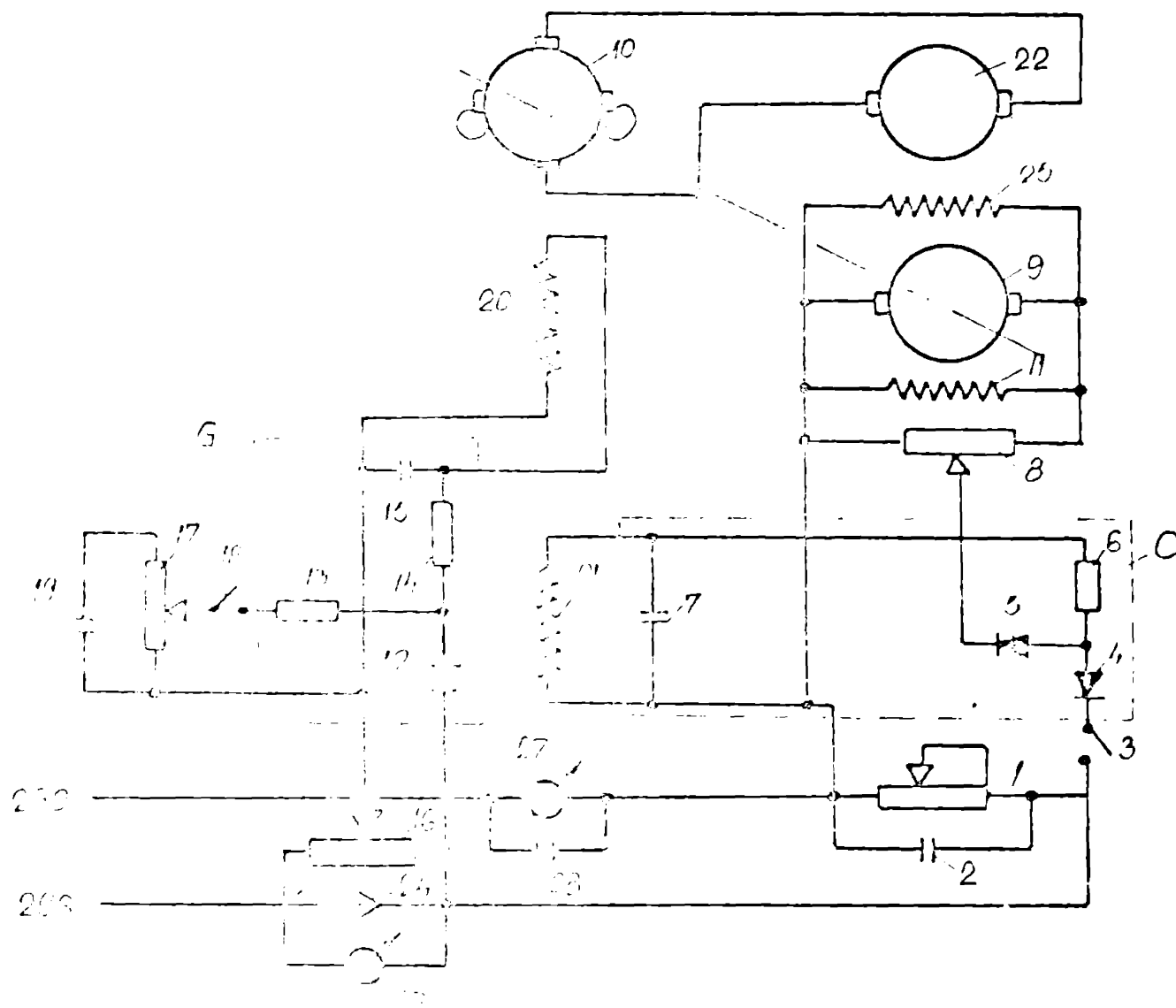


Fig.5.25.

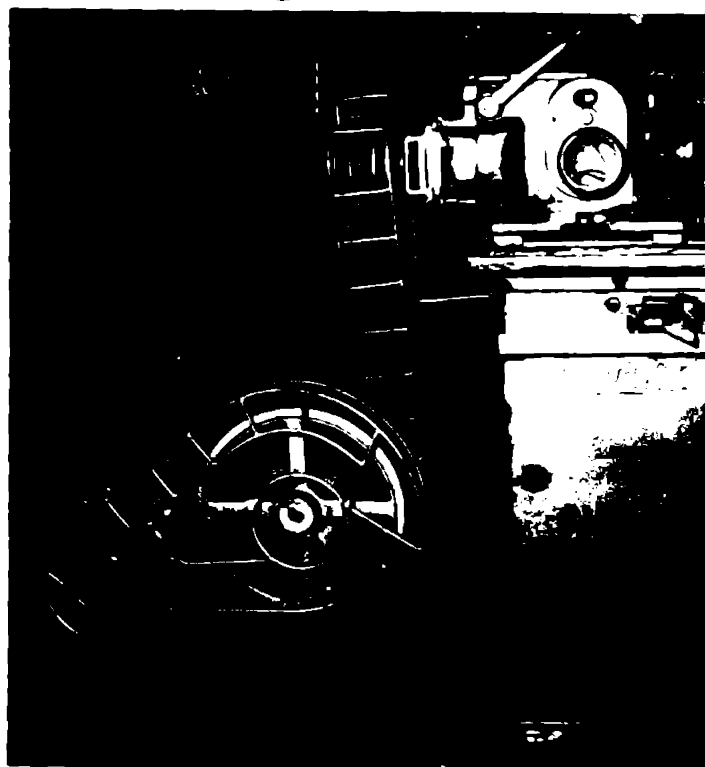


Fig.5.24.

rupător 18 de la o sursă de tensiune constantă 19.

Tensiunea de la selectorul G se aplică înfășurării 21, în opoziție cu 20, cele două înfășurări cu amplidina 10 au rolul de

comparator și amplificator. Motorul electric de c.c. 22, de 360 V și 110 V alimentat de amplidina ^{servoste} 10^v la antrenarea OT-ului 23 sau a OP-ului 24, prin intermediul unui reductor nereprezentat pe schemă. Infilurarea în derivație 25 alimentată de la generatorul 19 asigură excitația motorului 22.

Tensiunea pe spațiul de lucru între cele două obiecte 23 și 24 este indicată de voltmetrul 26 iar curentul de lucru de ampermetrul 27 șuntat cu un condensator 28 de 3,8 μ F. Circuitul de lucru este alimentat de la o sursă de curent continuu prin două borne 29 a, borna pozitivă și 29 b, borna negativă.

Sistemul de reglare automată a avansului elaborat prezintă următoarele avantaje:

- asigură obținerea unor productivități sporite prin mărirea stabilității procesului, datorită faptului că mărirea de comandă este influențată de mărirea de reglare numai în cazul în care aceasta din urmă se abate de la valoarea prescrisă fiind totodată puțin sensibilă la perturbațiile de scurtă durată ce pot surveni în proces;

- permite reglarea automată a avansului cu menținerea constantă fie a curentului, fie a tensiunii ori combinat tensiune și curent. De asemenea se poate lucra în caz de necesitate cu avans rigid;

- prin utilizarea avansului automat, procesul prelucrării prin EEC se desfășoară în condiții normale, cazurile de scurtcircuit sau anersarea desăcărilor în tre staționar sînt eliminate.

5.4. Cercetări experimentale privind determinarea limitelor de rășină la prelucrarea prin EEC a corpurilor de revoluție

5.4.1. Aspecte ale prelucrabilității corpurilor metalice din cartul P prin EEC - condițiile generale ale experimentării

Corpurile metalice fac parte din clasa materialelor speciale sintetizate, caracterizate de proprietăți deosebite de tenacitate, duritate, rezistență la uzură, stabilitate la temperaturi înalte etc., cu mult superioare oțelurilor aliate.

Cum industria prelucrătoare necesită cantități tot mai mari de asemenea materiale de diferite sorturi și tipe-dimensiuni, este evident necesitatea ca, pe lângă dezvoltarea industriei producătoare de asemenea aliaje, să se diversifice corespunzător și

TABELUL 5.1

MATERIAL		P10	P20	P30	P40	CW	Co
COMPOZITIE STAS 6374-61	CW	83-72	82-74	89-82	88-70		
	TiC+TaC	15-20	12-15	5-8	2-5		
	Co	2-8	6-9	6-10	10-12		
COMPOZITIE [65]	CW	64	76	82	75		
	TiC+TaC	28	14	8	12		
	Co	8	10	10	13		
GREUTATE SPECIFICĂ „ ρ ” [g/cm ³]		11,20	11,75	12,98	12,82	15,7	8,83
		11,40	11,90	13,11	13,00		
DURITATE „HV” [daN/mm ²]		1600	1550	1500	1400	1730	
REZISTENȚA LA RUPERE PRIN ÎNCOVIERE „ σ ” [KN/mm ²]		1,3	1,5	1,7	1,9	5,2	
REZISTENȚA LA COMPRESIUNE „ σ_c ” [KN/mm ²]		4,6	4,8	5,0	4,9	8,0	
COEFICIENT DE DILATAȚIE „ α ” [μm/mK]		6,5	6	5,5	5,5	7,2	5,1
CONDUCTIBILITATEA TERMICĂ „ λ ” [KJ/mhK]		91	≈108	≈210	211	437	256
CĂLDURA SPECIFICĂ „ c ” [KJ/KgK]		0,336	—	—	—	—	0,442
COEFICIENT DE TRANSMITERE AL CĂLDURII „ α ” [m ² /h]		0,0254	—	—	0,06	—	0,0666
TEMPERATURA DE TOPIRE „ θ ” [K]		—	—	—	—	3640	1760
REZISTENȚA LA UZURĂ		← CREȘTE →					
TENACITATEA		← SCADE →					
CONDUCTIBILITATEA SI REZISTENȚA LA SOC TERMIC		← SCADE →					

Obs: Principalele caracteristici fizico-mecanice ale grupeii P de carbon metalice

metodele tehnologice de prelucrare.

Este cunoscut faptul că materialele dure de tipul carburilor prezintă mari dificultăți la prelucrare prin procedee clasice, motiv pentru care se impune utilizarea procedeelor neconvenționale, de eroziune.

La prelucrarea carburilor metalice prin procedee de eroziune electrică complexă sau de eroziune electrică, o atenție deosebită trebuie acordată cercetării caracterului procesului eroziv cu proprietățile fizico-mecanice ale aliajelor dure, deoarece prezența descărcărilor electrice în impuls, pot provoca distrugerii necontrolate a integrității plăcuțelor, proces amplificat cu scăderea tenacității și dăruț șocurilor termice [20, 29, 51, 52, 61, 80, 81, 99, 101, 105] .

Principalele caracteristici fizico-mecanice ale carburilor metalice din grupa P se prezintă în tabelul 5.1. [20, 65, 66, 101, 105] .

Aceste materiale se obțin prin sintetizarea la cald a unor pulberi de carburi de W, Ti, Ta, în prezența pulberii de Co care are rolul de liant. Cu toate că duritatea acestor materiale este ridicată, reziliența lor este mică, motiv pentru care nu rezistă la sarcini variabile mari, vibrații, șocuri și mai ales șocurile termice. Prezența Co în proporții mai mari la unele serturi de carburimetale sau în cadrul aceluiași sert duce la scăderea durității și creșterea tenacității, fapt ce ușurează prelucrabilitatea lor prin eroziune electrică complexă [93] . Prezența formațiunilor complexe de tip $(W + Ti + Ta) C + Co$; $(W + Ti)C + Co$, îmbunătățește proprietățile fizico-mecanice, dar înrăutățește comportarea la șoc termic, astfel că aliajele dure prezintă o mare sensibilitate la fisurare sub influența tensiunilor termice și mecanice.

Datorită prezenței acestor caracteristici, prelucrarea prin EEC a carburilor metalice din sertul P ridică probleme deosebite în determinarea parametrilor procesului ce pot asigura caracteristicile tehnologice corespunzătoare utilizării lor ulterioare, adică determinarea acelor condiții în care sollicitările termice dezvoltate în urma descărcărilor electrice să fie cât mai mici. Astfel de condiții se pot obține prin utilizarea unor regimuri electrice de prelucrare noi, determinând o scădere a productivității și o creștere a calității suprafețelor prelucrate [93, 115] .

În scopul determinării și evidențierii acestor condiții s-au efectuat mai mult de 2500 de experimentări pe mașina de prelucrat corpuri de revoluție, prin EEC, realizată, dotată cu sistem de

avans automat original și alimentată de generatorul GES - 350 a
cărui caracteristici au fost rigidizate [17] .

Pentru experimentări ca obiecte ale prelucrării s-au utili-
zat plăcuțe de carburi metalice din sortul P 10, 20, 30, 40 -
fig.5.25. în mișcare de rotație, acționate de sistemul de reglare
și avans automat cît și role cu diametrul de 40 mm și lățimea de
20,5 mm din aceleași materiale fig.5.26.



Fig.5.25.

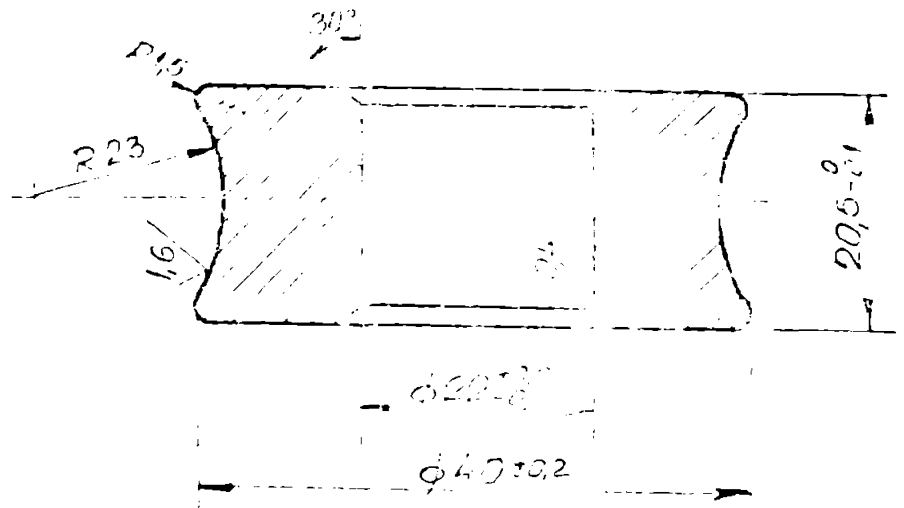


Fig.5.26.

Obiectele de transfer sub formă de disc cu diametrul de
250 mm și lățimea de 28 mm, au fost construite din cupru ca fiind
materialul cel mai indicat [1, 3, 19, 28, 31, 35, 76, 98 etc] cît
și din fontă cenușie și oțel de construcție cu scopul înlocuirii
totale sau parțiale a cuprului, reducînd astfel costul prelucră-
rii fig.5.27.a - OT neprofilate și 5.27.b - OT profilate.



Fig.5.27 a

Pentru toate determinările masice s-a folosit balanța analitică

Ca mediu de lucru, absolut
în toate experimentările s-a
utilizat soluția de sticlă
solubilă cu densitatea de
 $1,2 \text{ g/cm}^3$ și modul $M = 3,2$,
valeri stabilite din [31,
98, 100, 104] cît și din
experimentările preliminare
ca fiind cele mai convena-
bile în desfășurarea stabilă
a procesului de prelucrare
în cazul acestor materiale.

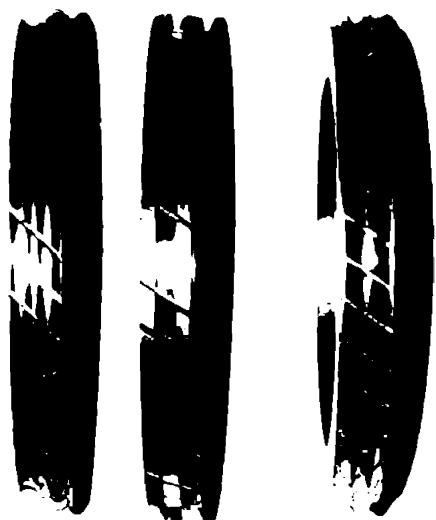


Fig.5.27.b

iar pentru măsurarea microasperităților suprafețelor prelucrate s-a utilizat rugosimetrul "Surtreac" folosindu-se criteriul Ra. Timpul de prelucrare au fost măsurați cu ajutorul unui cronometru cu o precizie 1/30 s. Oscilografieră mărimea caracteristică s-a făcut cu osciloscopul cu memorie tip C 9-9 A fabricat URSS.

Pentru toate tipurile de circuite studiate s-au ridicat curbele de variație a productivității și rugozității în funcție de mărimea caracteristică impuse pentru o comparare ușoară a rezultatelor obținute. Fiecare punct din grafice reprezintă valoarea medie a c

cinci până la zece determinări pentru a elimina erorile ce pot interveni în prelucrare din cauza multiplelor legături de se stabilească asupra parametrilor și factorii caracteristici procesului.

Aspecte caracteristice prelucrării prin EEC sînt prezentate în fig. 5.28 pentru cazul profilării corpurilor de revoluție,



Fig.5.28.



Fig.5.29.

în fig.5.29 modul de reproducere al profilului OT în OP și în fig.5.30. corpuri de revoluție profilate prin eroziune electrică complexă în diferite faze de prelucrare.

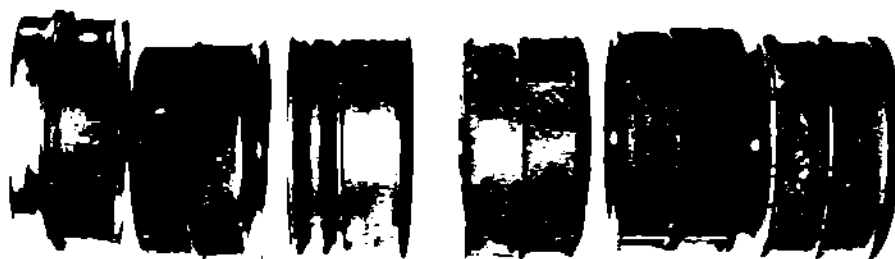


Fig. 5.30.

5.4.2. Influența parametrilor primari asupra caracteristicilor tehnologice în cazul utilizării circuitelor electrice cu structură rezistivă

Prelucrarea materialelor metalice prin EEC, indiferent de operație execută în mod obișnuit pe mașini a căror circuite electrice au o structură ^{rezistivă}, indicată în fig. 3.11 cap. 3.3.1. Rezistența din circuit în serie cu spațiul de lucru are un dublu rol, în primul rând limitează valoarea curentului de sarcină în procesul normal de prelucrare cit și în cazurile de scurtcircuit accidental (cu posibilități frecvente de apariție mai ales la regimurile grele în circuitele rezistive) cu rol de protecție a sursei de alimentare. Din aceste motive prezența rezistenței în circuit este absolut necesară chiar dacă reprezintă un consumator suplimentar de energie, cu atât mai mult cu cât limitarea și constanța curentului participă la mărirea stabilității procesului de prelucrare.

Experimentările realizate privind prelucrarea carburilor metalice din grupa P, în condițiile utilizării circuitului electric cu structură rezistivă, au fost necesare pentru evidențierea următoarelor aspecte:

- influența densității de curent asupra productivității și rugozității în condițiile utilizării vitezelor relative de 6, 10, 15, 20 și 27 m/s și a OT confecționate din cupru, fontă cenușie și oțel;

- influența vitezei relative asupra lui Q_p și R_a în condițiile utilizării densităților de curent optime pentru OT-uri din Cu, Fe, și OL; aspecte ce permit stabilirea celor mai favorabile condiții pentru prelucrarea carburilor metalice din grupa P, ele constituiră punctul de plecare cit și termenul de comparație pentru rezultatele obținute în condițiile modificării structurii circuitului cu ajutorul parametrilor concentrați de natură inductivă și capac-

Circuit resistiv

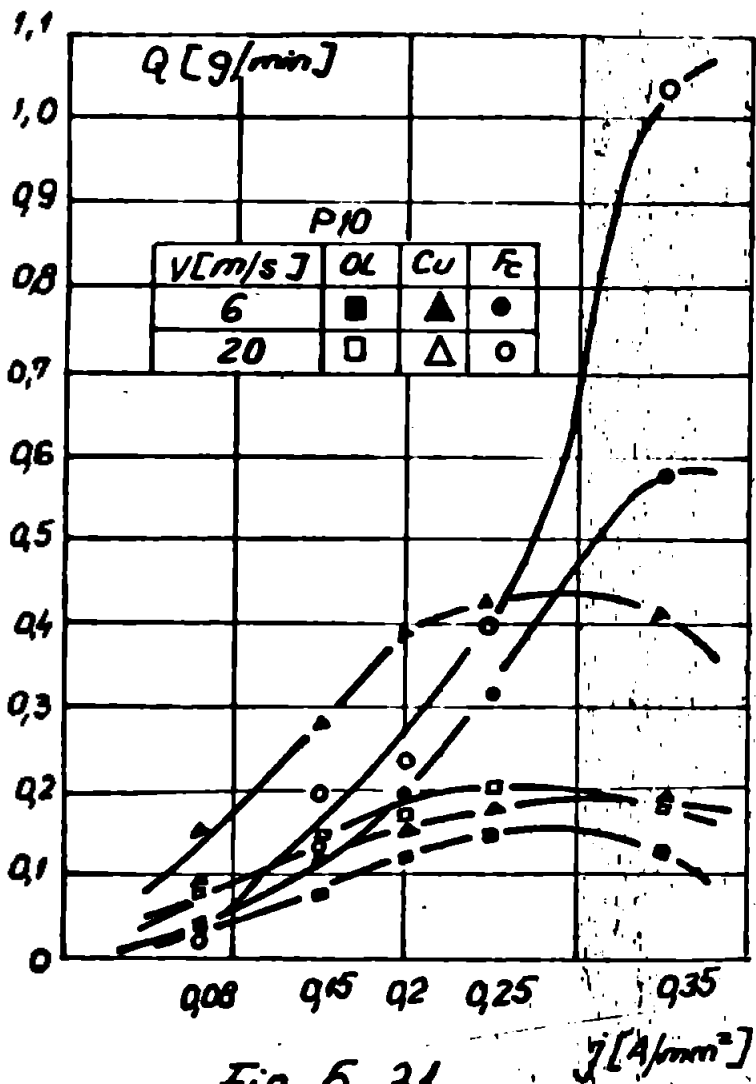


Fig. 5.31

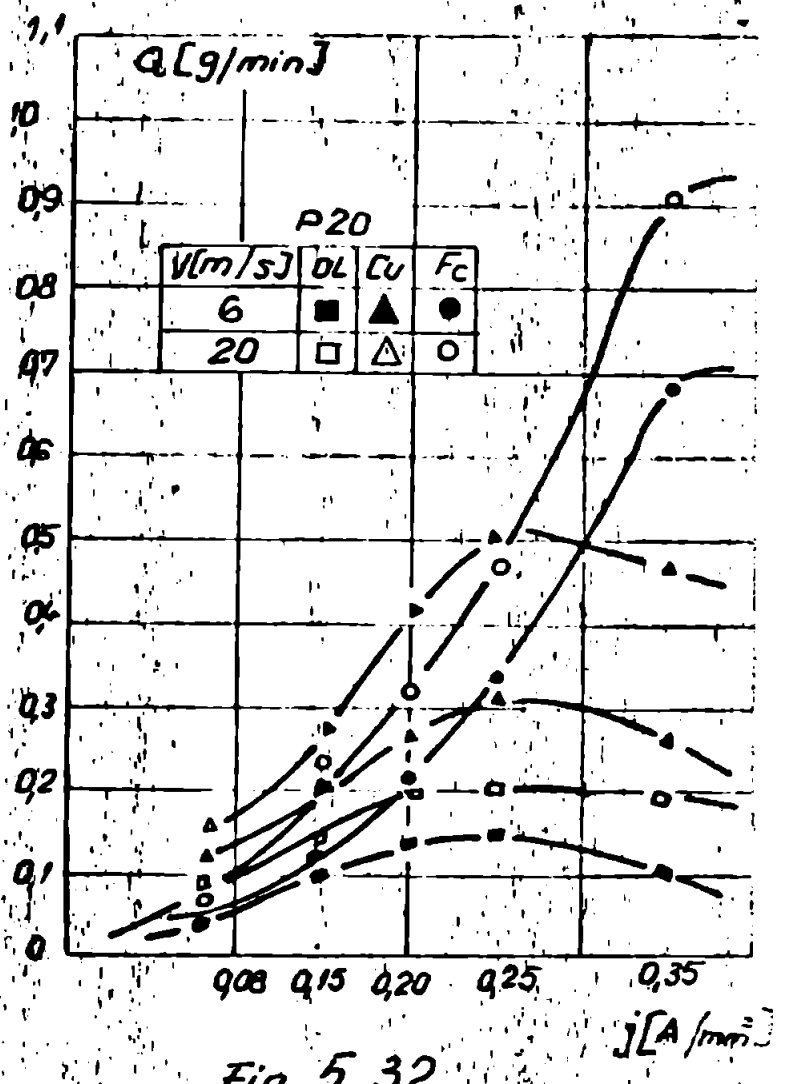


Fig. 5.32

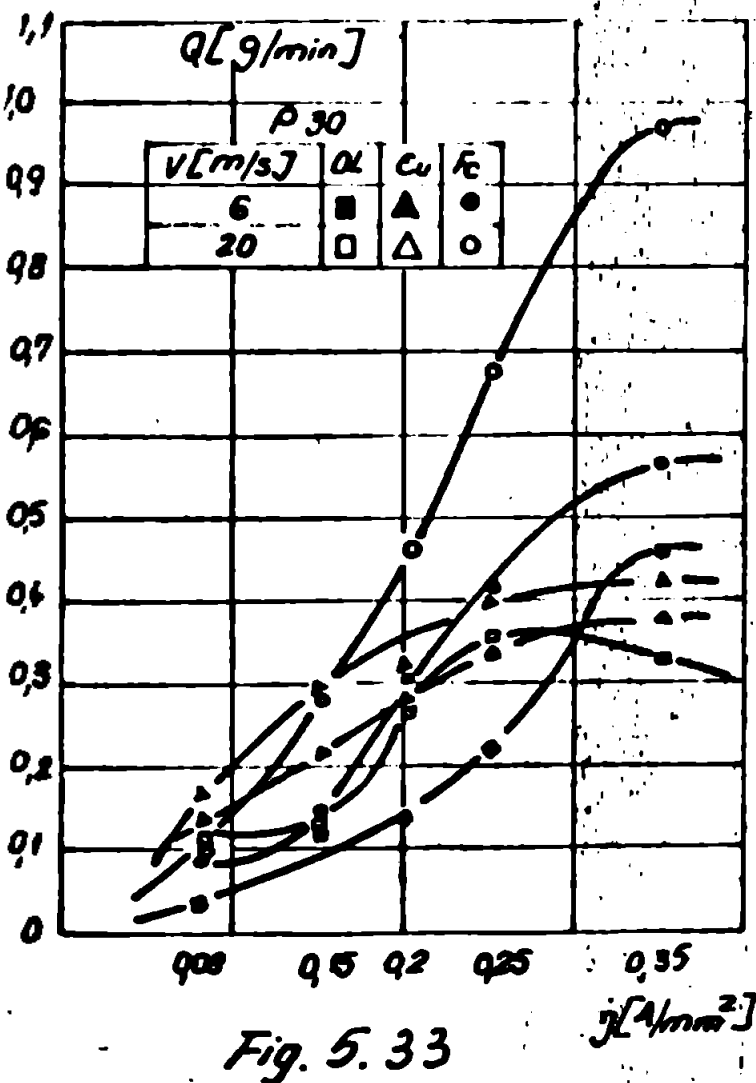


Fig. 5.33

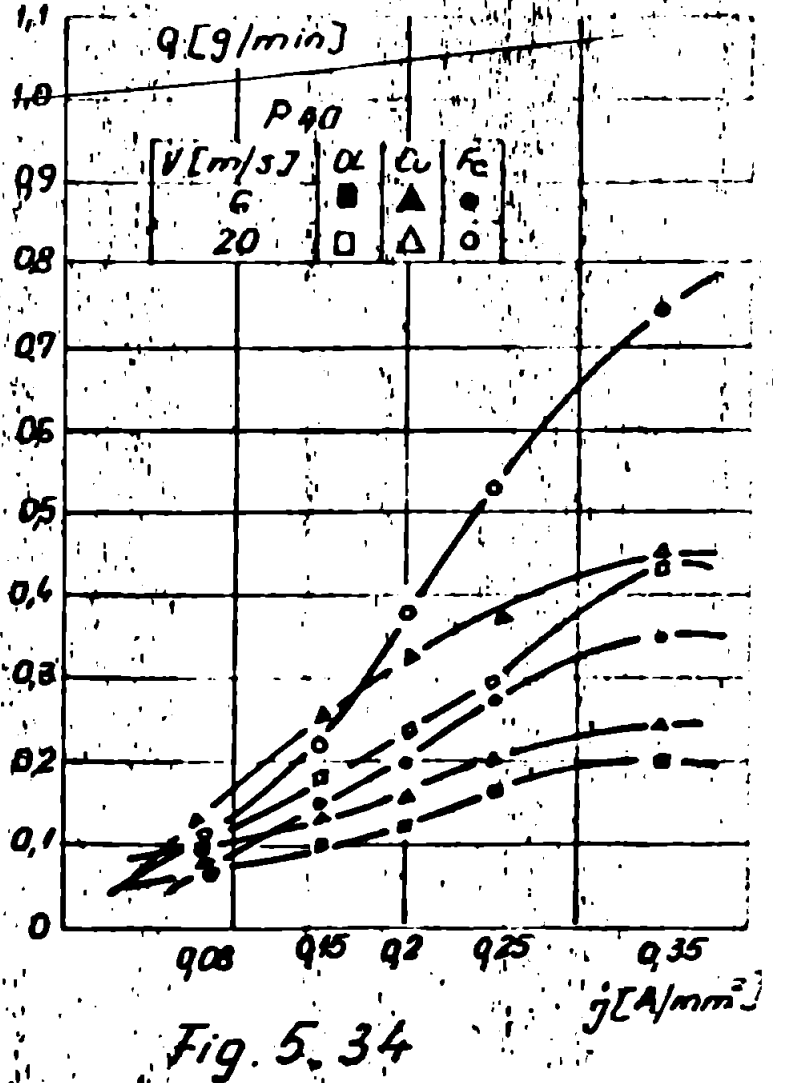


Fig. 5.34

tivă.

Rezultatele experimentale pentru dependența lui Q_{OP} în funcție de j sînt reprezentate în fig.5.31 pentru P 10; fig.5.32. pentru P 20; fig.5.33. pentru P 30 și în fig.5.34 pentru P 40.

În aceste grafice dependența lui $Q_{OP} = f(j)$ s-a reprezentat numai pentru două valori ale vitezei relative de 6 și 20 m/s deoarece pentru celelalte valori ale vitezei relative, curbele de variație ale lui Q_{OP} se plasează între acestea, prezentînd aceeași alură; rezultatele prelucrate sînt prezentate centralizat în tabelul 5.2. pentru sortul P 10; tab.5.3. pentru sortul P 20; tab.5.4. pentru sortul P 30; tab.5.5. pentru sortul P 40 și pentru cele trei materiale ale OT-ului.

Analiza acestor grafice relevă următoarele aspecte:

- variația productivității în funcție de densitatea de curent se realizează după curbe cu maxim indiferent de valoarea vitezei relative sau de materialul din care se construiește obiectul de transfer;

- pentru aceeași valoare a vitezei relative, maximul pentru productivitate diferă în funcție de materialul OT-ului pentru toate sorturile de carburi ale grupeii P;

- pentru aceeași valoare a vitezei relative și materiale diferite pentru OT, maximul de productivitate se obține pentru densități de curent distincte;

- pentru același material al OT-ului dar la viteze relative diferite, maximul de productivitate se obține pentru același j și superior este cel ce corespunde vitezei relative mai mari.

Din rezultatele experimentale privind dependența $Q_{OP} = f(v)$ reprezentată în fig.5.35. pentru P 10; fig.5.36. pentru P 20; fig.5.37 pentru P 30 și fig.5.38 pentru P 40 se pot desprinde următoarele:

- și în acest caz Q_{OP} prezintă o variație maximală pentru toate perechile conjugate ale OT și OP-uri, maximul plasîndu-se pe pentru viteze de 20 și 25 m/s;

- cu creșterea densității de curent productivitatea crește pentru toate materialele obiectului de transfer studiate și pentru toate sorturile de carburi metalice.

Graficele prezentate în fig.5.39., 5.40. și 5.41. și 5.42. pentru OP-uri din P 10, 20, 30, 40 - exprimă legătura dintre rugozitatea măsurată în criteriul R_a și viteza relativă pentru două valori constante ale densității de curent în cazul utilizării obiectelor de transfer din Cu, Fe și OL. Rugozitatea scade cu creșterea vitezei relative cu atît mai mult cu cît și densitatea de curent scade.

În plus se remarcă influența deosebită a materialului obiect-

TABELUL 5.2

OT - OTEL DE CONSTRUCTIE										
VITEZA RELATIVĂ v_t [m/s]	DENSITATEA DE CURENT j [A/mm ²]									
	0,08		0,15		0,20		0,25		0,35	
	Q_{op} [g/min]	R_a [μ m]	Q_{op} [g/min]	R_a [μ m]	Q_{op} [g/min]	R_a [μ m]	Q_{op} [g/min]	R_a [μ m]	Q_{op} [g/min]	R_a [μ m]
6	0,0418	1,1	0,07501	2,5	0,1219	3,3	0,1416*	3,5	0,12526*	4,8
10	0,04907	1,2	0,093	2,5	0,1132	2,8	0,1573*	3,1	0,13122*	4,0
15	0,0567	1,1	0,1125	2,2	0,12124	2,4	0,1805*	2,8	0,1632	3,0
20	0,0752	1,3	0,13571	2,0	0,1712*	2,0	0,20631	2,3	0,1753*	2,4
27	0,0592	1,2	0,0994	1,7	0,1011	1,9	0,10691	2,1	0,1156*	2,3
OT - CUPRU										
6	0,0923	1,3	0,1258	1,7	0,1689	2,2	0,1811*	2,7	0,1836*	3,0
10	0,1034	1,1	0,1373	1,6	0,1733	2	0,2039	2,5	0,1985*	2,5
15	0,1302	1,2	0,2248	1,4	0,2906	1,6	0,2981	2,0	0,3466	2,1
20	0,1539	1,4	0,2801	1,2	0,3898	1,2	0,423	1,7	0,4027*	1,9
27	0,1085	1,1	0,1748	1,0	0,2801	0,9	0,3212	1,5	0,2945*	1,8
OT - FOINTĂ CENUSIE										
6	0,039	1,2	0,1375	2,1	0,19397	2,5	0,3136	3,8	0,5779*	7,0
10	0,0217	1,4	0,1523	1,9	0,2015	2,3	0,3652*	3,4	0,6002*	5,5
15	0,0458	1,2	0,1487	1,7	0,2182	2,0	0,3426*	3,0	0,9221	3,9
20	0,0201	1,0	0,1939	1,5	0,2347	1,5	0,3842	2,5	1,034	2,7
27	0,0192	1,1	0,1502	1,2	0,243	1,2	0,4066*	2,0	1,0467*	2,5

Obs: - Obiectul supus prelucrării P10
 - * - tendință spre descărcare în arc

TABELUL 5.3

OT - OTEL DE CONSTRUCTIE										
VITEZA RELATIVA [m/s]	DENSITATEA DE CURENT j [A/mm ²]									
	0,08		0,15		0,20		0,25		0,35	
	Q_{OP}	R_a	Q_{OP}	R_a	Q_{OP}	R_a	Q_{OP}	R_a	Q_{OP}	R_a
	[g/min]	[μ m]	[g/min]	[μ m]	[g/min]	[μ m]	[g/min]	[μ m]	[g/min]	[μ m]
6	0,0650	1,6	0,0935	2,5	0,1326*	3,4	0,1437*	3,5	0,102*	4,5
10	0,0682	1,5	0,0987	2,4	0,1402	2,2	0,1508*	3,1	0,1314*	3,2
15	0,0705	1,2	0,1122	1,6	0,1673	1,8	0,1722	2,5	0,1575	2,4
20	0,0758	1,3	0,1372	1,5	0,1975	1,4	0,2015	2,0	0,1876	1,9
27	0,0637	1,2	0,1263	1,1	0,1537	1,1	0,1744	1,4	0,1826	1,8
OT - CUPRU										
6	0,1192	1,4	0,2005	1,6	0,2635	1,9	0,310*	2,5	0,2544*	3,0
10	0,1129	1,3	0,2066	1,5	0,2672	1,3	0,3291	2,0	0,280	1,8
15	0,1269	1,2	0,2237	1,3	0,3042	0,9	0,4172	1,3	0,3588	1,4
20	0,1608	1,1	0,2744	1,2	0,4135	0,8	0,5027	1,1	0,4577	1,1
27	0,1555	1,1	0,2855	0,9	0,2974	0,7	0,464	1,0	0,4873	1
OT - FONTA CENUSIE										
6	0,0357	1,5	0,1264	1,9	0,215*	2,4	0,3296*	2,9	0,6849*	3,6
10	0,0392	1,3	0,1403	1,6	0,2215	1,5	0,3291	1,8	0,7078	2,5
15	0,0502	1,1	0,1712	1,5	0,2543	1,1	0,3821	1,7	0,850	2,1
20	0,0708	1,2	0,225	1,2	0,3172	0,8	0,4652	1,3	0,9028	1,7
27	0,0412	1,2	0,1296	1,3	0,2674	0,7	0,428	1,2	0,917	1,6

Obs: Obiectul supus prelucrării P20
 - * - tendința spre descărcare în arc

OT - OTEL DE CONSTRUCTIE										
VITEZA RELATIVĂ v _r [m/s]	DENSITATE DE CURENT j [A/mm ²]									
	0,08		0,15		0,20		0,25		0,35	
	Q _{OP}	R _a	Q _{OP}	R _a	Q _{OP}	R _a	Q _{OP}	R _a	Q _{OP}	R _a
	[g/min]	[μm]	[g/min]	[μm]	[g/min]	[μm]	[g/min]	[μm]	[g/min]	[μm]
6	0,035	2,3	0,1116	2,4	0,1369	2,5	0,2167*	3,7	0,3245*	4,7
10	0,0502	2,1	0,0925	2,3	0,1467	2,1	0,2530	3,1	0,3974*	3,3
15	0,061	2,0	0,0987	2,0	0,1795	1,5	0,2808	1,9	0,4282	2,6
20	0,1197	1,8	0,1198	1,5	0,2633	1,4	0,3548	1,8	0,4536	2,4
27	0,0643	1,4	0,1867	1,3	0,2189	1,3	0,2428	1,6	0,4192	2,1
OT - CUPRU										
6	0,1335	1,5	0,2139	1,8	0,2640	1,7	0,3337*	1,9	0,3794*	2,3
10	0,1477	1,3	0,2009	1,3	0,2705	1,3	0,3282	1,5	0,3850	1,8
15	0,1590	1,1	0,2010	0,8	0,2900	0,8	0,3839	1,2	0,4028	1,3
20	0,1644	1,1	0,2913	0,5	0,3265	0,6	0,4050	0,9	0,4218	1,2
27	0,1398	0,6	0,2335	0,5	0,3063	0,4	0,4169	0,6	0,4208	1,0
OT - FONTĂ										
6	0,09	2,1	0,1399	2,1	0,3053	2,2	0,4012	2,7	0,5599*	3,3
10	0,118	1,8	0,2310	1,5	0,3180	1,4	0,4156	2,2	0,5964	2,6
15	0,1013	1,2	0,2392	1,1	0,3857	1,0	0,5357	1,7	0,8803	1,9
20	0,119	0,8	0,2778	0,8	0,6613	0,7	0,6770	1,3	0,9682	1,6
27	0,105	0,7	0,2810	0,6	0,4520	0,6	0,6220	1,1	0,8382	1,4

Obs: Obiectul supus prelucrării P30

-*- tendință spre descărcare în arc

TABELUL 5.5

OT - OTEL DE CONSTRUCȚIE										
VITEZA RELATIVĂ v_f [m/s]	DENSITATEA DE CURENT j [A/mm ²]									
	0,08		0,15		0,20		0,25		0,35	
	Q_{OP}	R_a	Q_{OP}	R_a	Q_{OP}	R_a	Q_{OP}	R_a	Q_{OP}	R_a
	[g/min]	[μ m]	[g/min]	[μ m]	[g/min]	[μ m]	[g/min]	[μ m]	[g/min]	[μ m]
6	0,0781	2,5	0,1020	2,7	0,1200	3,0	0,1628*	3,5	0,2000*	4,2
10	0,0590	2,3	0,1220	2,5	0,1545	2,3	0,1731	3,1	0,2714*	3,3
15	0,0800	2,1	0,1440	1,9	0,1924	1,8	0,2124	2,7	0,3275	2,1
20	0,1000	1,8	0,1800	1,5	0,2435	1,5	0,2918	2,0	0,4288	1,9
27	0,0800	1,4	0,1625	1,3	0,2213	1,4	0,2725	1,8	0,3822	1,7
OT - CUPRU										
6	0,0800	1,3	0,1324	1,6	0,1615	1,7	0,2042	1,8	0,2428*	2,3
10	0,0886	1,1	0,1485	1,3	0,1822	1,3	0,2294	1,6	0,2742	1,9
15	0,0925	0,9	0,1727	1,0	0,2451	0,9	0,2488	1,2	0,4152	1,5
20	0,1229	0,7	0,2539	0,7	0,3256	0,7	0,3645	1,0	0,4518	1,3
27	0,0917	0,6	0,2412	0,5	0,2875	0,6	0,2975	0,9	0,4412	1,2
OT - FONTĂ CENUSIE										
6	0,0758	1,3	0,1522	1,8	0,1952	1,9	0,2737	2,2	0,3500*	3,2
10	0,0980	1,1	0,1735	1,5	0,2448	1,5	0,3480	2,0	0,4132	2,6
15	0,0790	0,9	0,1834	1,2	0,2611	1,0	0,4082	1,9	0,6573	2,1
20	0,1099	0,7	0,2205	1,0	0,3810	0,9	0,5270	1,4	0,7413	1,6
27	0,1090	0,6	0,2180	0,7	0,3502	0,7	0,5020	1,3	0,7019	1,4

Obs: Obiectul supus prelucrării P40

-*- tendință spre descărcare în arc

Circuit resistiv

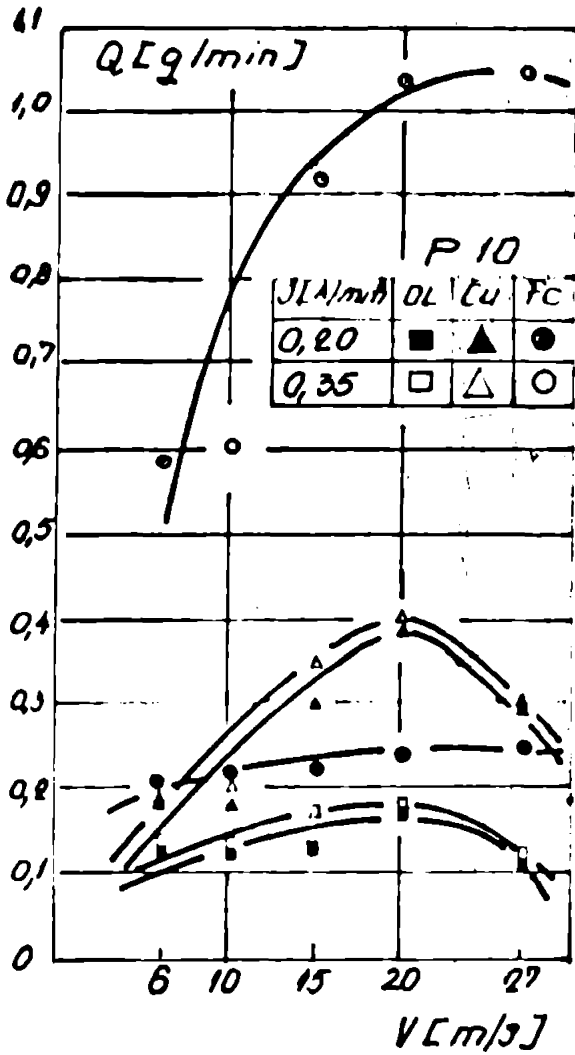


Fig. 5.35

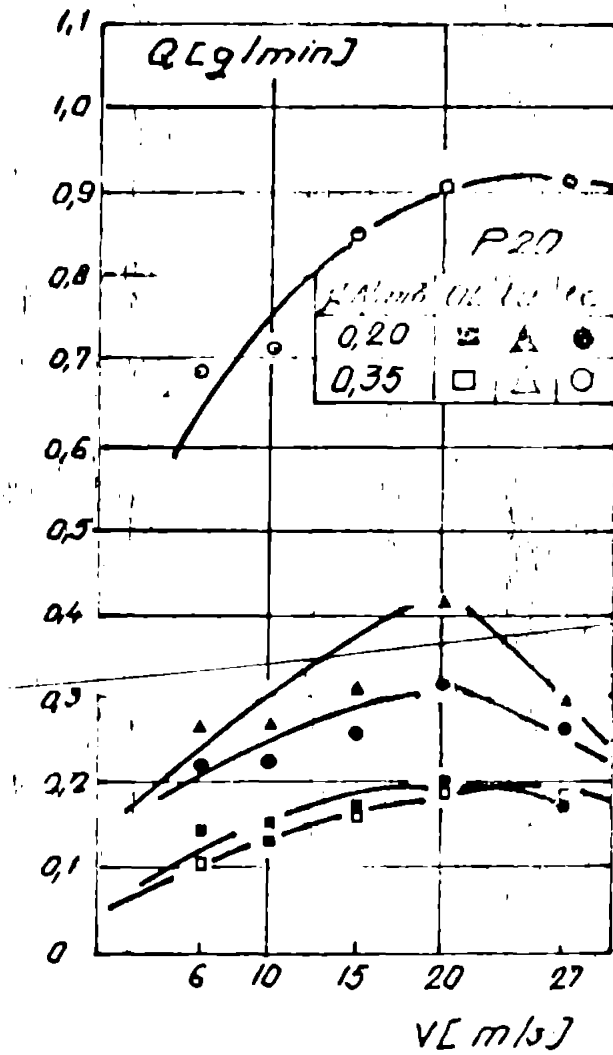


Fig. 5.36

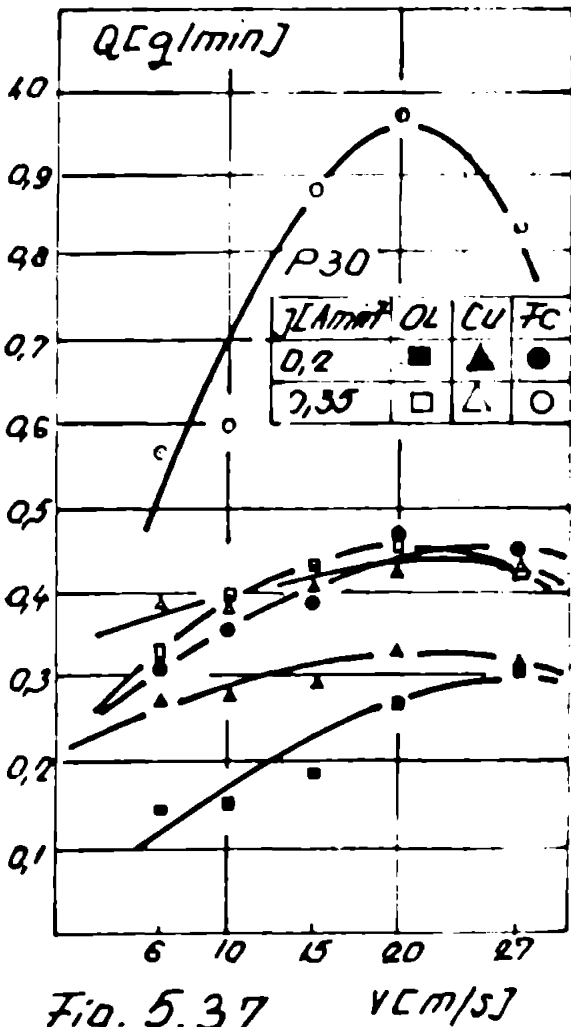


Fig. 5.37

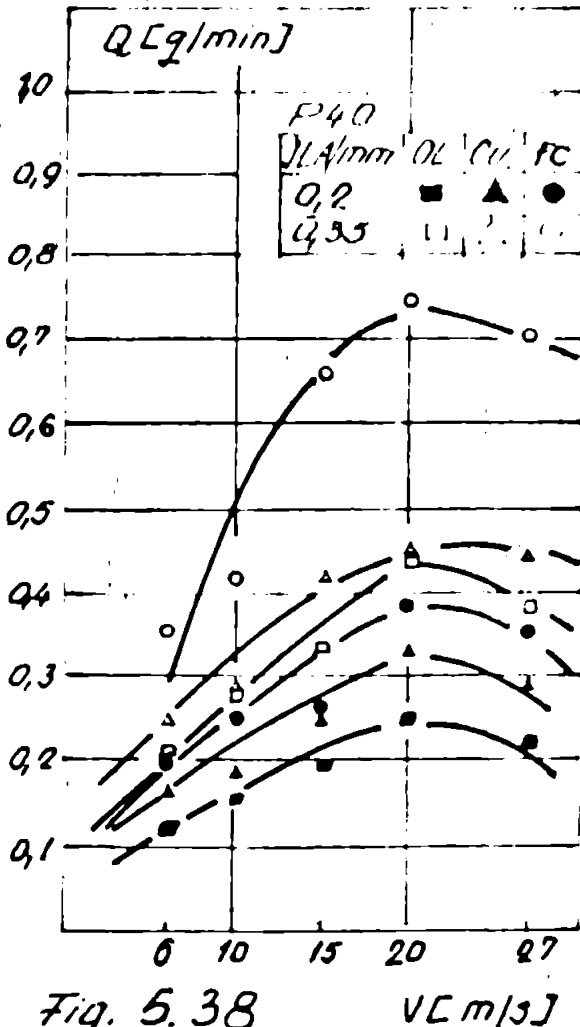


Fig. 5.38

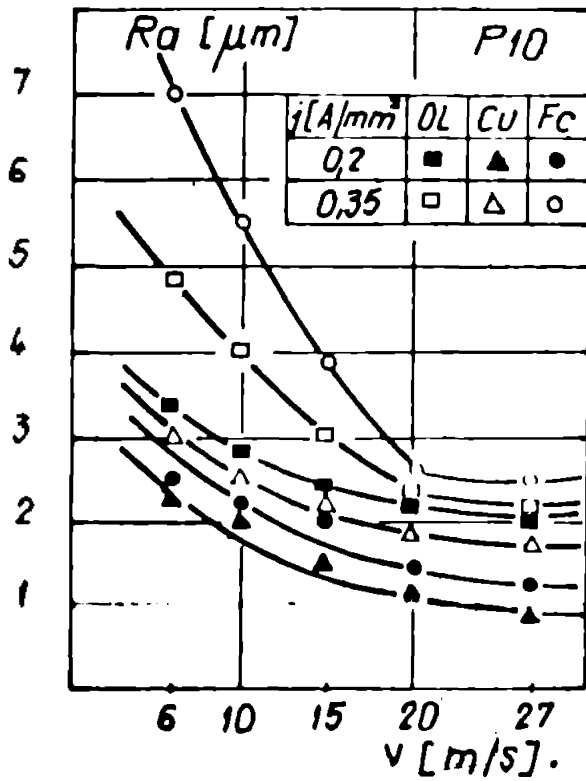


Fig. 5.39

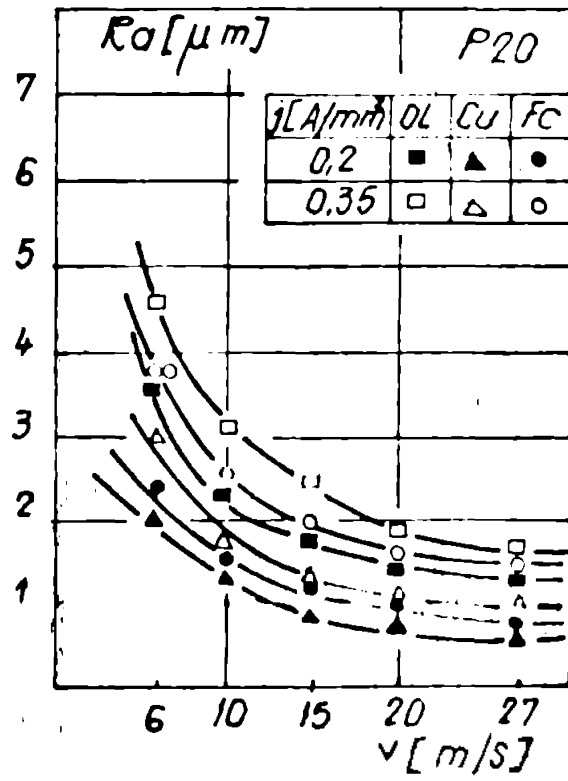


Fig. 5.40

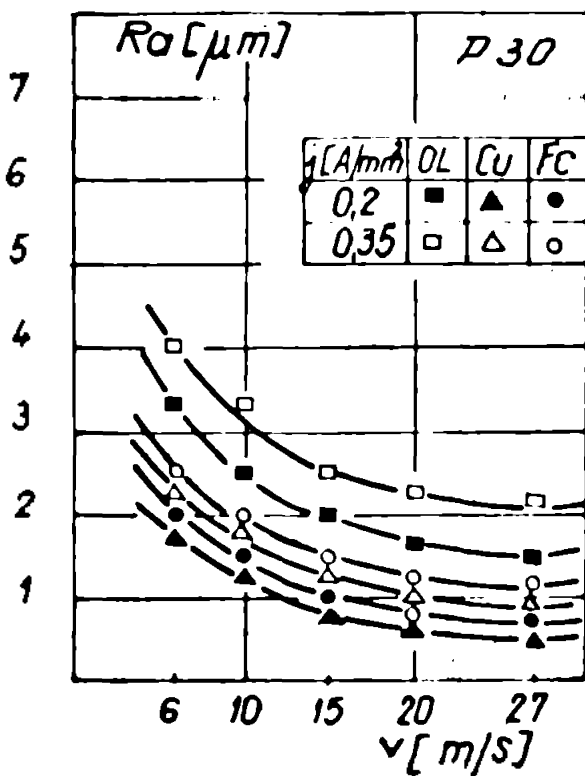


Fig. 5.41

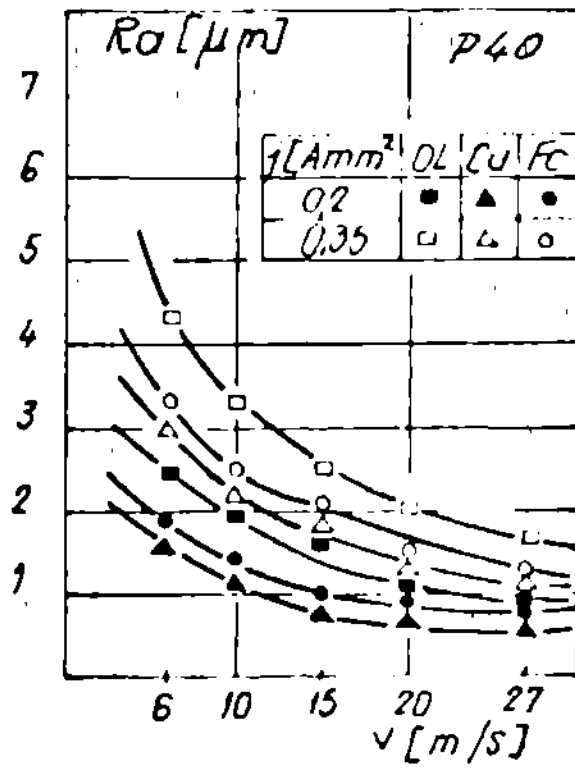


Fig. 5.42

Circuit rezistiv

tului de transfer pentru aceeași j și v_r în stabilirea rugozității suprafeței prelucrate, cele mai mici rugozități asigurându-le OT din cupru.

Rezultatele obținute în cercetarea experimentală vin să confirme concluziile teoretice evidente în paragraful 3.3.1 din cap.3 permițând stabilirea regimurilor optime de prelucrare a carburilor metalice din grupa P, în condițiile utilizării circuitelor electrice cu structură rezistivă, putându-se preciza următoarele:

- în scopul asigurării unor productivități ridicate în prelucrarea carburilor metalice din grupa P, se vor utiliza viteze relative cuprinse între 15 și 20 m/s și densități de curent între 0,2 și 0,25 A/mm², pentru regimurile de degroșare în funcție de materialul obiectului de transfer; densitățile mai mari pot provoca neajunsuri prin apariția macrofisurilor sau crăpăturilor în obiectul supus prelucrării. Pentru finisări se vor utiliza densități de curent sub 0,2 A/mm² și viteze relative cuprinse între 20 și 27 m/s.

- în cazul operațiilor de ascuțire și profilare când OT-ul are mase mari sau în cazul prelucrării corpurilor de revoluție pentru evitarea apariției vibrațiilor ce perturbă stabilitatea prelucrării se vor utiliza viteze relative mai mici de 15 m/s și densități de curent sub 0,2 A/mm² pentru evitarea șocurilor termice premunțate făcând un rabat substanțial la productivitatea și calitatea suprafețelor prelucrate.

Din datele concretizate în tabelul 5.6, caracteristica domeniilor de maximă rezultă că regimul electric al prelucrării trebuie corelat cu viteza relativă și materialul obiectului de transfer,

TABELUL 5.6

VITEZA v_r m/s	OT	P10		P20		P30		P40	
		Q_{op} g/min	j A/mm ²	Q_{op} g/min	j A/mm ²	Q_{op} g/min	j A/mm ²	Q_{op} g/min	j A/mm ²
6	OL	0,15	0,20	0,15	0,25	0,20	0,30	0,20	0,35
	Cu	0,20	0,25	0,25	0,35	0,37	0,35	0,24	0,35
	Fe	0,57	0,35	0,35	0,55	0,55	0,35	0,35	0,35
20	OL	0,20	0,25	0,25	0,25	0,50	0,35	0,42	0,35
	Cu	0,42	0,25	0,25	0,25	0,42	0,35	0,45	0,35
	Fe	1,00	0,35	0,35	0,35	0,34	0,35	0,74	0,35

viteza relativă constituind în cazul circuitelor cu structură rezistivă unul din principalii factori ce contribuie la constituirea caracterului de impuls al descărcărilor electrice, constantele de timp ale procesului "prea mici" sau prea "mari" nepermițând apariția fenomenelor termice productive;

- un al doilea parametru primar de importanță majoră, ce determină productivitatea este densitatea de curent care pentru grupa de carburi metalice P devine optim în funcție de perechea conjugată OT și OP, de v_p și procentul de cobalt conținut în sortul respectiv al carburii metalice. Pentru P 10 și P 20 productivitățile maxime se obțin pentru $j = (0,2 \div 0,3) \text{ A/mm}^2$ iar la P 30 și P 40 pentru $j = (0,3 \div 0,35) \text{ A/mm}^2$, domenii de maxim caracteristice obiectelor de transfer confecționate din cupru sau oțel de construcție, deoarece OT-ul din fontă cenușie prezintă maximele pentru toate sorturile de carburi metalice din grupa P la densități de curent de $0,35 \text{ A/mm}^2$, maxime ce scad de la sortul P 10 spre P 40. Chiar la densitățile de curent pentru care OT-ul din cupru prezintă valori maxime, OT-ul din fontă cenușie asigură cantități de material prelevat apropiate, concurend OT-ul din cupru.

Ca urmare a posibilităților de realizare a unor productivități ridicate concomitent cu asigurarea unor rugozități apropiate de cele ale OT-ului din cupru, fonta cenușie poate fi recomandată drept material corespunzător confecționării obiectelor de transfer pentru prelucrarea prin EEC a carburilor metalice din grupa P.

Pentru a caracteriza complet comportarea materialelor obiectului de transfer în procesul de prelucrare prin eroziune electrică complexă, se propune utilizarea unei mărimi caracteristice numită "coeficient de productivitate specifică K_{PS} " definit prin:

$$K_{PS} = \frac{Q_{OP}}{u_R} \quad [\text{g/min.mm}] \quad (110)$$

reprezentând cantitatea de material prelevat din OP (Q_{OP}) în unitate de timp și corespunzătoare unei uzuri radiale a OT-ului (u_R) de un milimetru. Uzura radială reprezintă o mărime caracteristică fiecărui obiect de transfer, dependentă de materialul prelucrat și condițiile din spațiul de lucru. Rezultatele experimentale obținute pentru cele trei materiale în cazul prelucrării grupeii P de carburi metalice sînt prezentate în tabelul 5.7.

Aceste date vin să confirme ordonarea materialului obiectelor de transfer în suita OL, Fe și Cu - cuprul prezentînd cele mai bune rezultate în sensul că asigură cele mai mari cantități de material prelevat corespunzătoare unei uzuri radiale de 1 mm, urmat fiind

TABELUL 5.7.

OBIECT DE TRANSFER OT	DENSITATE DE CURENȚĂ	COEFICIENT DE PRO- DUCȚIVITATE SPECIFICĂ $K_{PS} = \frac{Q_{op}}{A \cdot R} [g/min \cdot mm]$			
	A/mm ²	P10	P20	P30	P40
Cupru	0,08	17,82	35,91	23,06	7,66
	0,15	14,54	54,08	37,27	7,82
	0,20	16,28	22,89	35,52	9,28
	0,25	12,00	68,39	45,78	9,04
	0,35	10,93	25,26	52,19	10,23
Fontă cenușie	0,08	3,83	6,79	9,73	6,59
	0,15	6,77	12,03	9,26	9,75
	0,20	8,48	12,98	21,86	10,62
	0,25	12,20	13,29	25,68	12,19
	0,35	41,20	22,90	29,67	13,82
Oțel de construc- ție	0,08	1,59	0,16	1,70	0,04
	0,15	2,09	2,47	1,20	0,33
	0,20	2,36	2,81	0,99 *	1,30 *
	0,25	0,92 *	3,31 *	0,25 *	1,51 *
	0,35	0,09 *	3,22 *	0,05 *	1,15 *

Obs: - K_{PS} este exprimat ca valori medii ale lui Q_{op} ;
- * - regimul de lucru instabilizat, frecvențe
de încălzire în caz staționar.

de fontă, oțelul nefiind corespunzător prelucrării carturilor metalice din grupa P prezentând productivități scăzute la uzuri foarte ridicate și o mare instabilitate în prelucrare.

Evidențierea acestei comportări este de un real folos în cazul profilării și prelucrării corpurilor de revoluție, unde uzura prematură a obiectului de transfer micșorează cu mult precizia prelucrării privind forma geometrică a profilului și impunând un număr ridicat de prelucrări succesive cu reprofilarea periodică a obiectului de transfer.

Pentru a aprecia durata de utilizare a obiectului de transfer în prelucrare în limitele preciziei stabilite se poate utiliza o nouă mărime "coeficientul de durabilitate specifică" care se definește drept inversul coeficientului de productivitate specifică:

$$K_{DS} = \frac{1}{K_{PS}} \quad [\text{mm.min/g}] \quad (111)$$

și reprezintă uzura obiectului de transfer corespunzătoare detașării din obiectul supus prelucrării a unei cantități de material cu masa de un gram. De exemplu pentru P 20 la o densitate de curent de $0,20 \text{ A/mm}^2$, $K_{DS} = 0,0436 \text{ mm.min/g}$ la Cu, $K_{DS} = 0,077 \text{ mm.min/g}$, la Fe și $K_{DS} = 0,35 \text{ mm.min/g}$ la OL; durabilitatea cea mai bună prezentînd-o cuprul. Cunoașterea acestor mărimi specifice poate fi utilizată în proiectarea obiectelor de transfer în stabilirea perioadelor de recalibrare, ori în vederea obținerii unor caracteristici tehnologice ridicate în condiții avantajoase din punct de vedere economic.

În urma acestor considerații se pot preciza următoarele recomandări tehnologice: fonta cenușie se va folosi în operațiile de degroșare, cuprul pentru finisare iar obiectele de transfer din oțel de construcție nu se vor utiliza în cazul circuitelor cu structură rezistivă.

5.4.3. Influența parametrilor primari asupra caracteristicilor tehnologice în cazul utilizării circuitelor electrice cu structură inductivă

Din cercetările experimentale efectuate în cazul utilizării circuitelor electrice cu structură rezistivă a rezultat că: prelucrarea carburilor din grupa P se poate efectua la densități de curent de $j \leq 0,25 \text{ A/mm}^2$ pentru a păstra integritatea geometrică și continuitatea materialului.

În capitolul 3 paragraful 3.3.1.2. s-a arătat că în stadiul deconectării microcontactelor în cazul utilizării circuitelor electrice cu structură inductivă apare un surplus de tensiune $u_1 = L \cdot di/dt$ conținută în câmpul magnetic al inductivității ceea ce poate determina apariția șecurilor termice pronunțate cu totul neindicat în prelucrarea carburilor metalice, motiv ce a determinat utilizarea în această grupă de experimentări a densităților de curent $j = 0,20 \text{ A/mm}^2$, valoare pentru care în circuitele rezistive se obțineau productivități maxime pentru OT-ul de cupru și oțel iar OT-ul din fontă asigură productivități comparabile cu ale cuprului.

Inductivitățile utilizate în cercetarea experimentală a avut valori de 1; 2; 4; 6 și 10 mH. Pentru a evidenția dependența ca-

racteristicilor tehnologice de viteză relativă, adică, a legăturii dintre constantele de timp caracteristice circuitului t_c și a procesului t_p s-au utilizat două viteze relative de 6 și 20 m/s limită inferioară utilă în cazul profilării azulelor aşchietoare ori a prelucrării corpurilor de revoluție cu mase mari pentru evitarea apariției vibrațiilor iar cea superioară datorită productivităților superioare obținute în cazul prelucrării prin eroziune electrică complexă în circuite rezistive.

Pentru aceste condiții s-au determinat productivitatea Q_{OP} și rugozitatea R_a în cazul prelucrării sorturilor de carburi metalice a grupeii P prin eroziune electrică complexă, utilizând obiectele de transfer confecționate din cupru, fontă cenușie și oțel de construcție pe același utilaj și mediu de lucru ca și în cazul circuitelor rezistive.

Rezultatele cercetării experimentale sînt trecute concentrat ca valori medii a cîinci măsurători succesive efectuate în aceleași condiții pentru obiectul de transfer din cupru în tabelul 5.8 și în figurile 5.43; 5.44; 5.45 și 5.46 în care s-au redat dependențele $Q_{OP} = f(L)$ și $R_a = f(L)$ pentru P 10, 20, 30, și 40.

În tabelul 5.9 și în graficele din figurile 5.47; 5.48; 5.49 și 5.50 dependențele $Q = f(L)$ și $R_a = f(L)$ pentru prelucrarea prin EEC a sorturilor de carburi P 10; 20; 30; 40 - utilizînd obiecte de transfer din fontă iar în tabelul 5.10 și în graficele din figurile 5.51; 5.52; 5.53; 5.54 - aceleași dependențe pentru cazul utilizării obiectelor de transfer din oțel.

Curbele de variație ale lui $Q_{OP} = f(L)$ pentru ambele viteze și pentru toate perechile de materiale OT și OP prezintă aceeași alură cu zonă caracteristică de maxim pentru inductivitățile de valeare mici cuprinse în domeniul de 0,5 + 3 mH și cu scădere pronunțată corespunzătoare creșterii inductivității. Această variație corespunde și confirmă concluziile expuse în cap.3 și în paragraful 3.3.1.2. privitoare la influența pozitivă pe care o are prezența inductivității în circuitul electric, demonstrîndu-se practic legătura strînsă ce se constituie între constantele de timp caracteristice circuitului electric " t_c " și ale procesului " t_p " - maximum de productivitate plasîndu-se în zona corespunzătoare relației $t_c = 1/3 t_p$, legătură susținută și de scăderea maximumului de productivitate și deplasarea acestuia spre "întînga" în domeniul inductivităților mici pentru creșterea vitezei relative (20 m/s). Creșterea vitezei relative determină o scădere a constantei de timp a procesului astfel că $t_c > 1/3 t_p$ ori efectul

OBIECT DE TRANSFER - CUPRU

TABELUL 5.8

		OP - SORT P10				OP - SORT P20			
		$v_r = 6m/s$		$v_r = 20m/s$		$v_r = 6m/s$		$v_r = 20m/s$	
L		Q	Ra	Q	Ra	Q	Ra	Q	Ra
mH		g/min	μm	g/min	μm	g/min	μm	g/min	μm
0		0,1689	2,5	0,3898	1,8	0,2635	2,3	0,4135	1,7
1		0,4513	1,8	0,6255	1,6	0,7332	1,8	0,6222	1,3
2		0,9981	1,5	0,7517	1,4	0,7981	1,7	0,6419	1,3
4		0,4372	1,3	0,3492	1,2	0,3147	1,5	0,2429	1,2
6		0,2755	1,2	0,1318	1,1	0,1398	1,4	0,1127	1,1
10		0,1298	1,1	0,1075	1,1	0,1293	1,2	0,0921	1,1
		OP - SORT P30				OP - SORT P40			
0		0,2640	1,7	0,3265	1,4	0,1615	1,7	0,3256	1,2
1		0,3627	1,6	0,8203	1,0	0,2279	1,5	0,6314	0,9
2		0,6481	1,4	0,6011	0,8	0,3283	1,3	0,8228	0,8
4		0,3096	1,3	0,2952	0,75	0,2011	1,2	0,4073	0,7
6		0,1617	1,2	0,1899	0,7	0,1402	1,1	0,2181	0,7
10		0,0802	1,1	0,1188	0,7	0,0793	1,1	0,1082	0,6

Cu - P10

4.9 [g/min] 2.5 [μm]

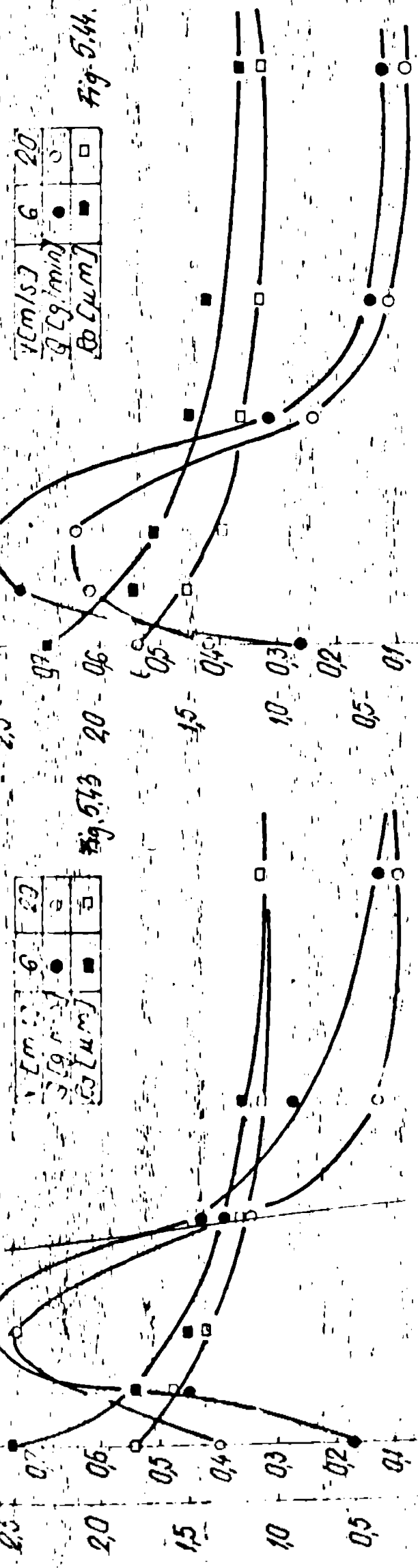
Fig. 5.43

2.5 [g/min]

Fig. 5.44

V [m/s]	6	20
Q [g/min]	●	○
R_0 [μm]	■	□

V [m/s]	6	20
Q [g/min]	●	○
R_0 [μm]	■	□



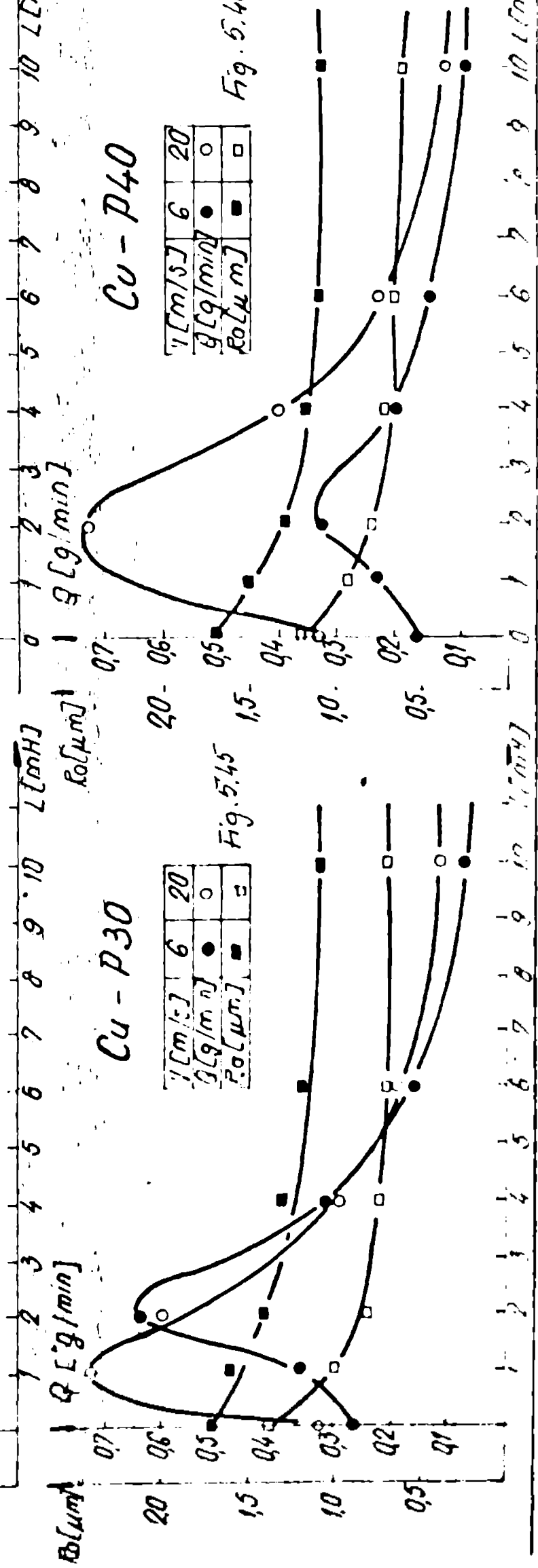
Cu - P30

4.9 [g/min]

Fig. 5.45

V [m/s]	6	20
Q [g/min]	●	○
R_0 [μm]	■	□

V [m/s]	6	20
Q [g/min]	●	○
R_0 [μm]	■	□



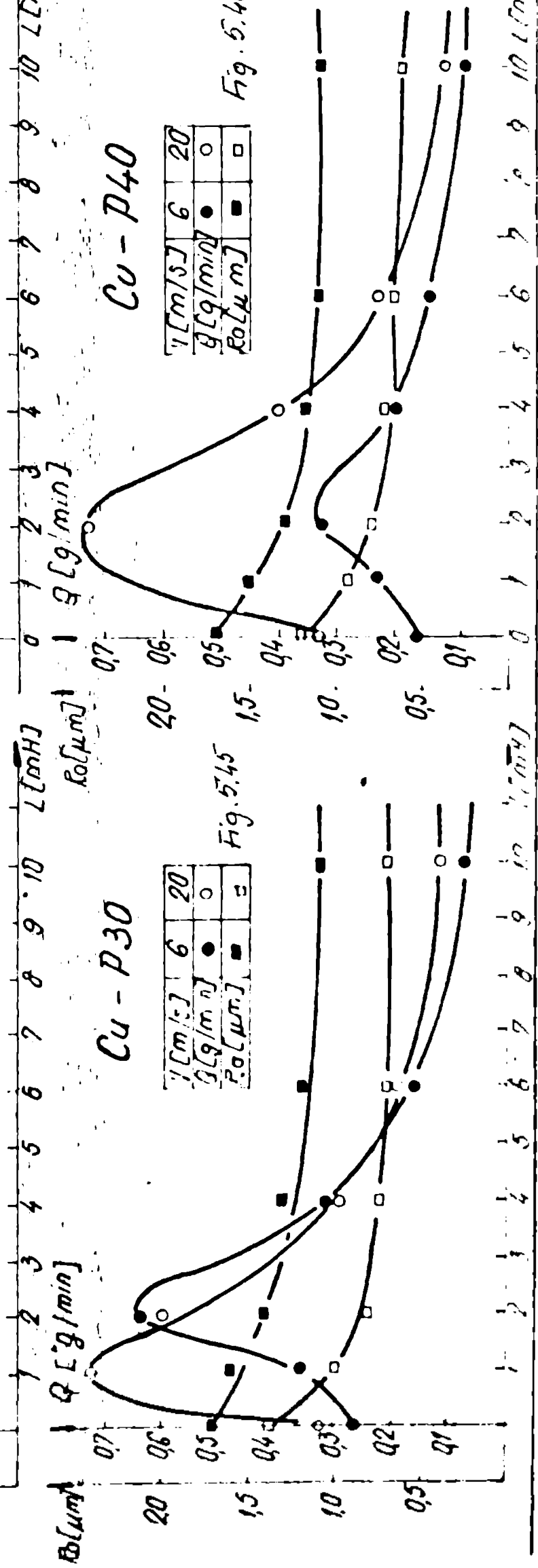
Cu - P40

4.9 [g/min]

Fig. 5.46

V [m/s]	6	20
Q [g/min]	●	○
R_0 [μm]	■	□

V [m/s]	6	20
Q [g/min]	●	○
R_0 [μm]	■	□

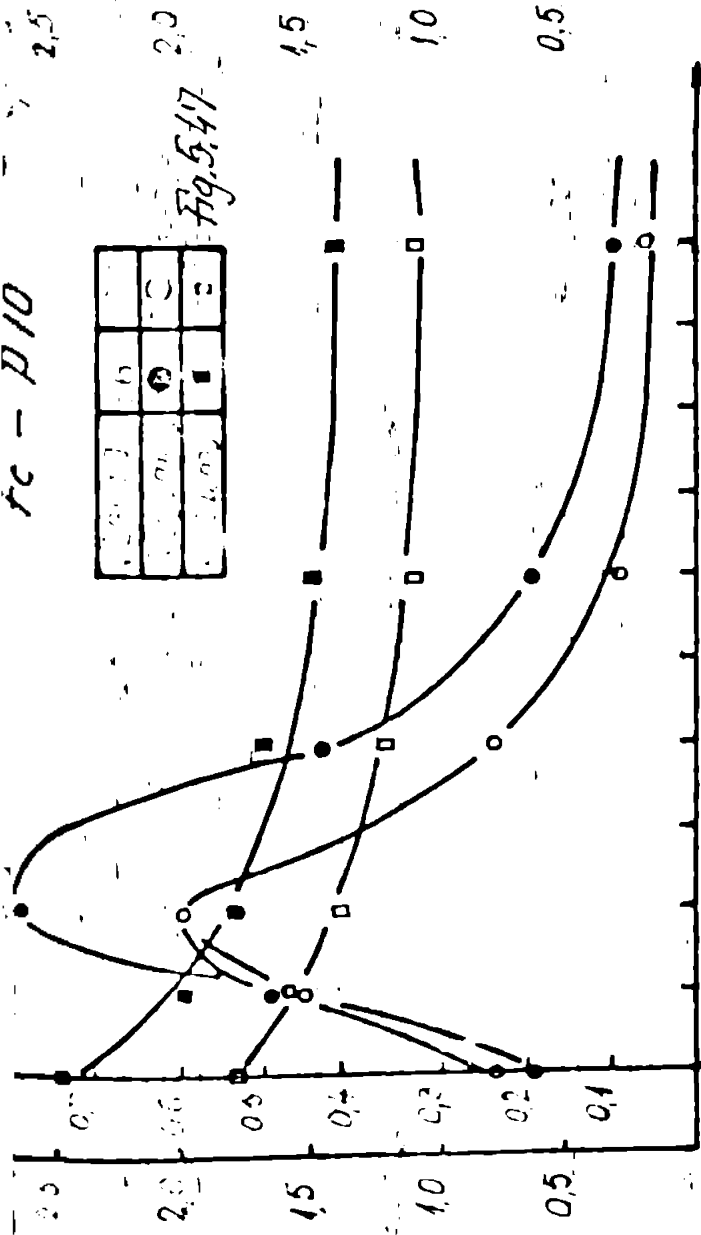


OBIECT DE TRANSFER - FONTĂ -

TABELUL 5.9

OP - SORT		P10		OP - SORT		P20		
L	$v_r = 6\text{ m/s}$		$v_r = 20\text{ m/s}$		$v_r = 6\text{ m/s}$		$v_r = 20\text{ m/s}$	
	Q	R _a	Q	R _a	Q	R _a	Q	R _a
mH	g/min	μm	g/min	μm	g/min	μm	g/min	μm
0	0,19397	2,5	0,2347	1,8	0,2150	2,4	0,3172	1,7
1	0,5204	2,0	0,4666	1,6	0,4281	2,0	0,4799	1,4
2	0,8536	1,8	0,6051	1,4	0,5597	1,7	0,3662	1,3
4	0,4463	1,7	0,2339	1,2	0,2996	1,6	0,1873	1,2
6	0,1892	1,5	0,0913	1,1	0,1446	1,5	0,1196	1,1
10	0,092	1,4	0,0640	1,1	0,0531	1,4	0,0338	1,1
OP - SORT		P30		OP - SORT		P40		
0	0,3053	2,8	0,5613	1,6	0,1952	2,0	0,3810	1,4
1	0,5311	1,8	0,7337	1,4	0,3810	1,8	0,7137	1,2
2	0,4678	1,6	0,4891	1,3	0,2448	1,7	0,6851	1,1
4	0,2117	1,5	0,2891	1,2	0,1507	1,6	0,4071	1,0
6	0,1215	1,4	0,2062	1,1	0,1072	1,5	0,2422	1,0
10	0,0869	1,4	0,1601	1,1	0,0859	1,5	0,1286	0,9

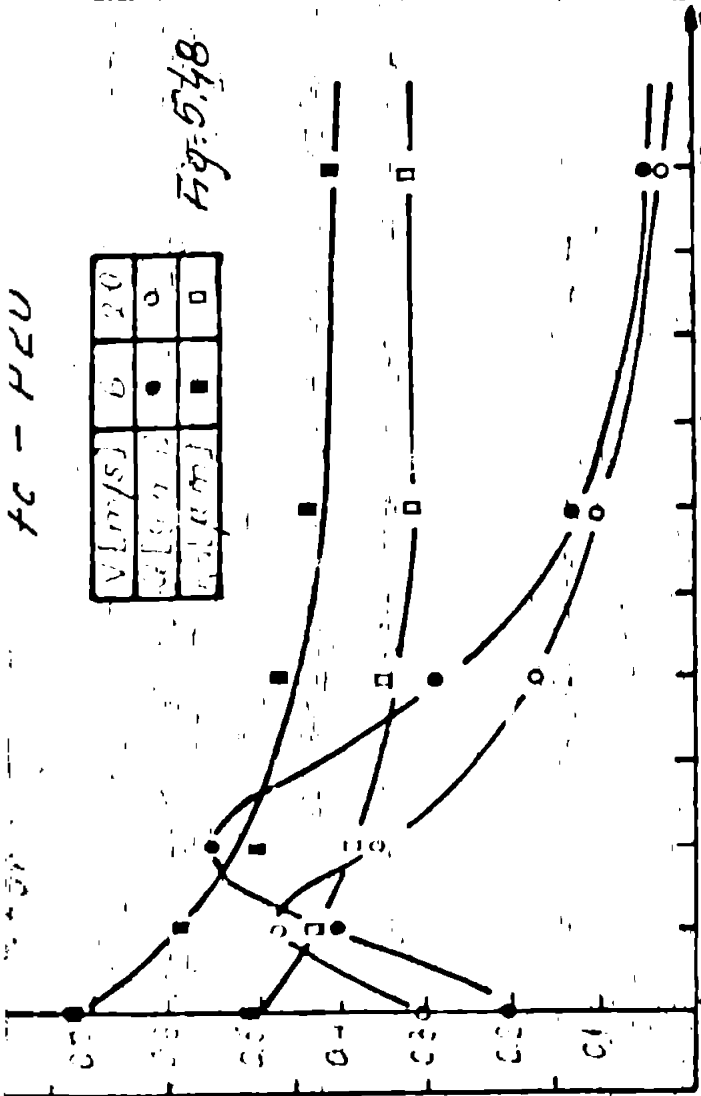
FC - P10



V [m/s]	6	20	60
G [g/min]	•	○	□
Ra [μm]	■	□	□

Fig. 5.47

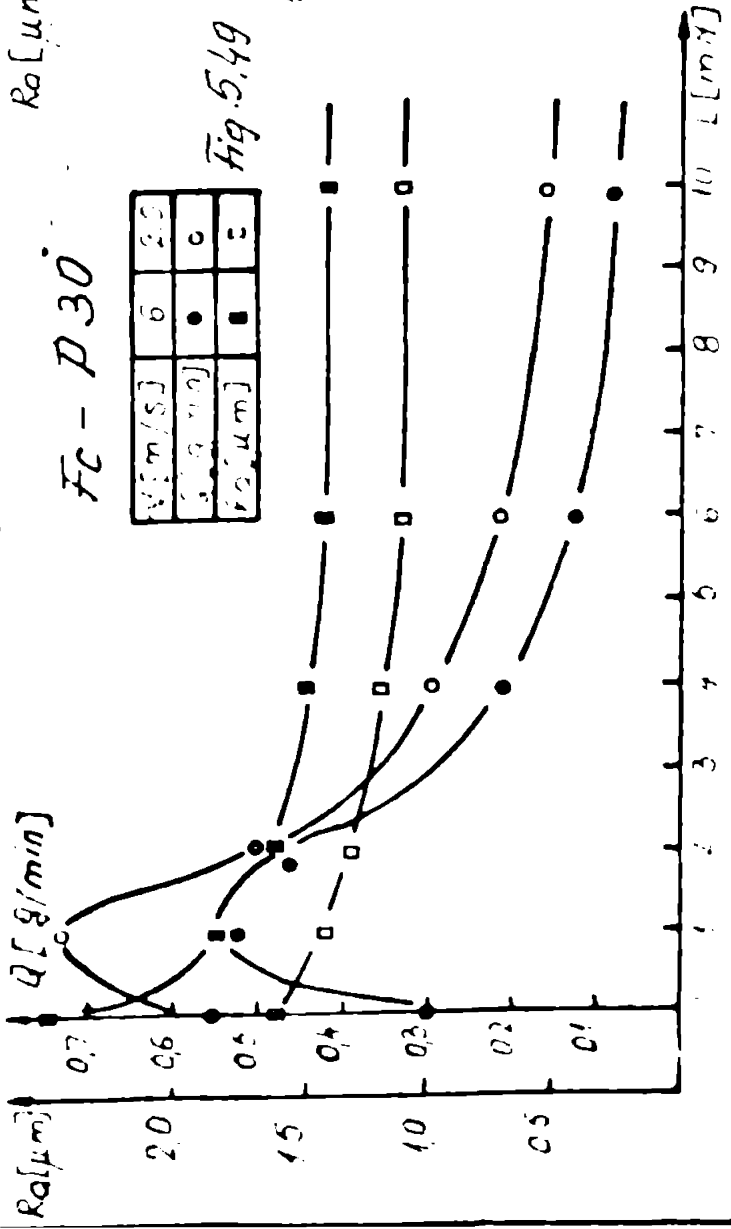
FC - P20



V [m/s]	6	20	60
G [g/min]	•	○	□
Ra [μm]	■	□	□

Fig. 5.48

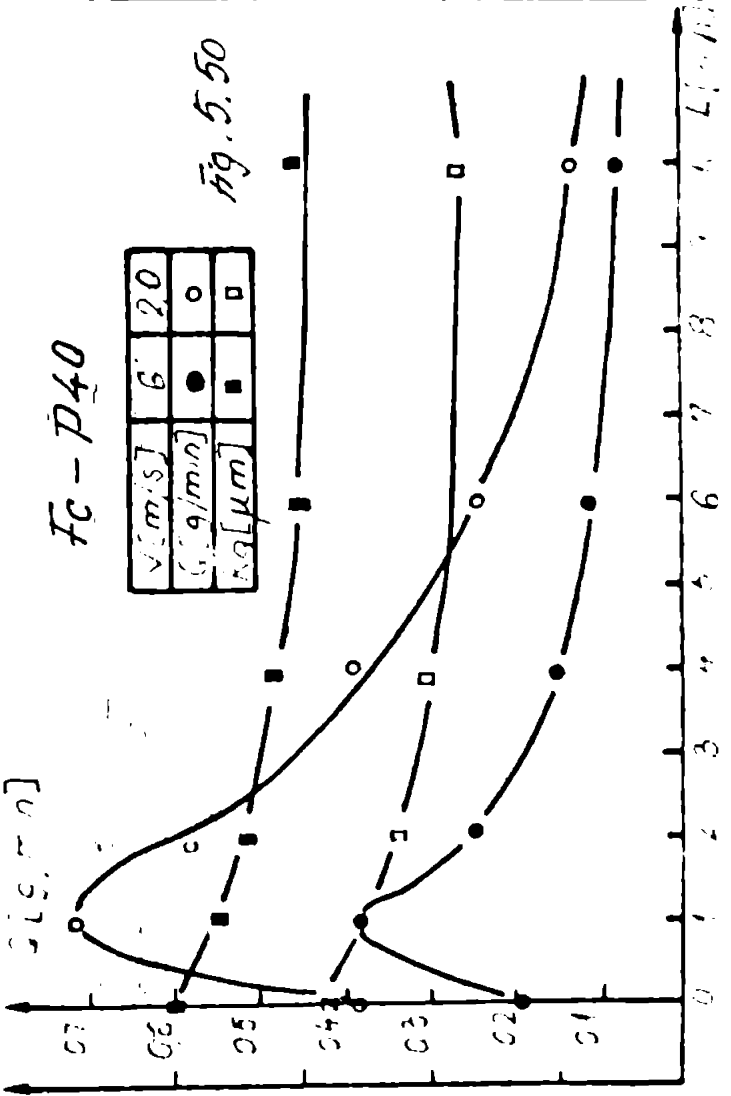
FC - P30



V [m/s]	6	20	60
G [g/min]	•	○	□
Ra [μm]	■	□	□

Fig. 5.49

FC - P40

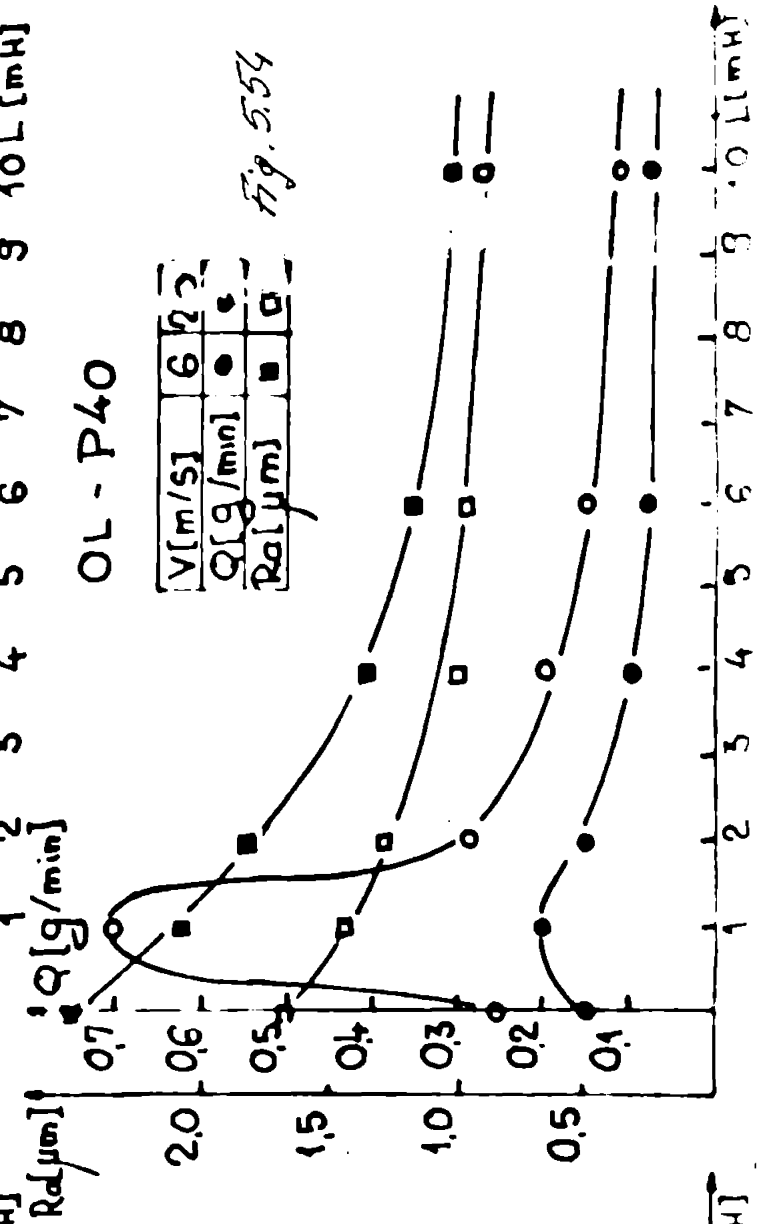
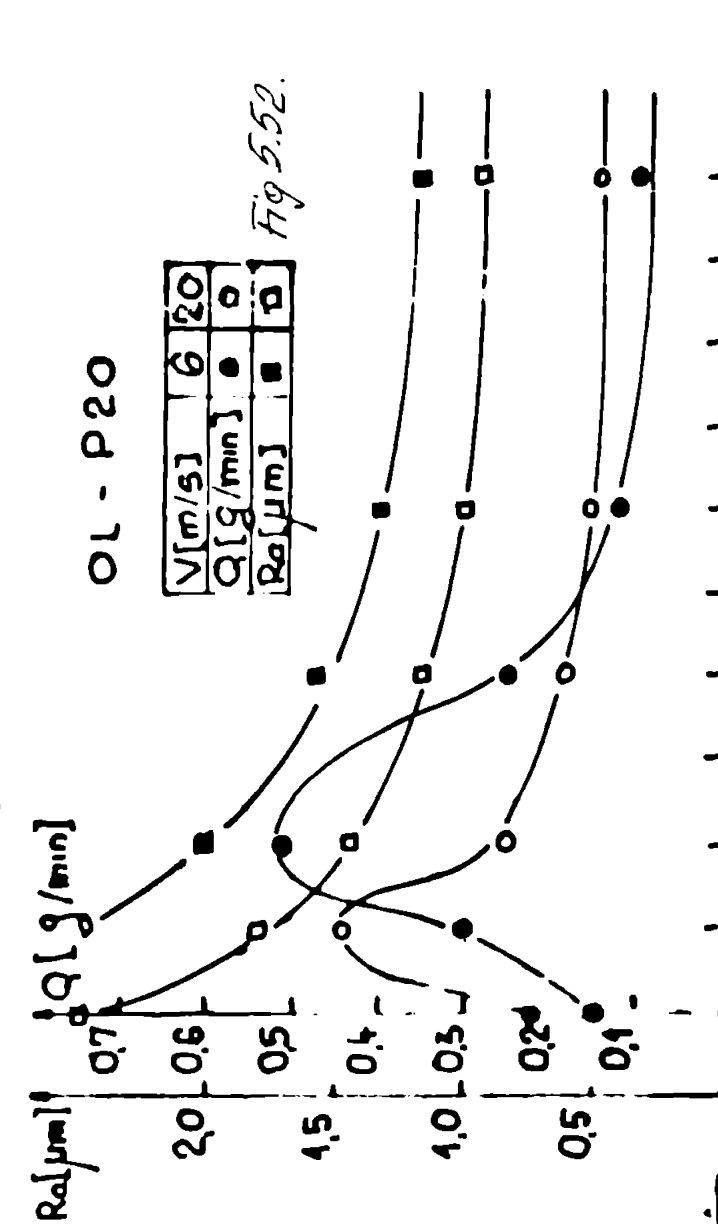
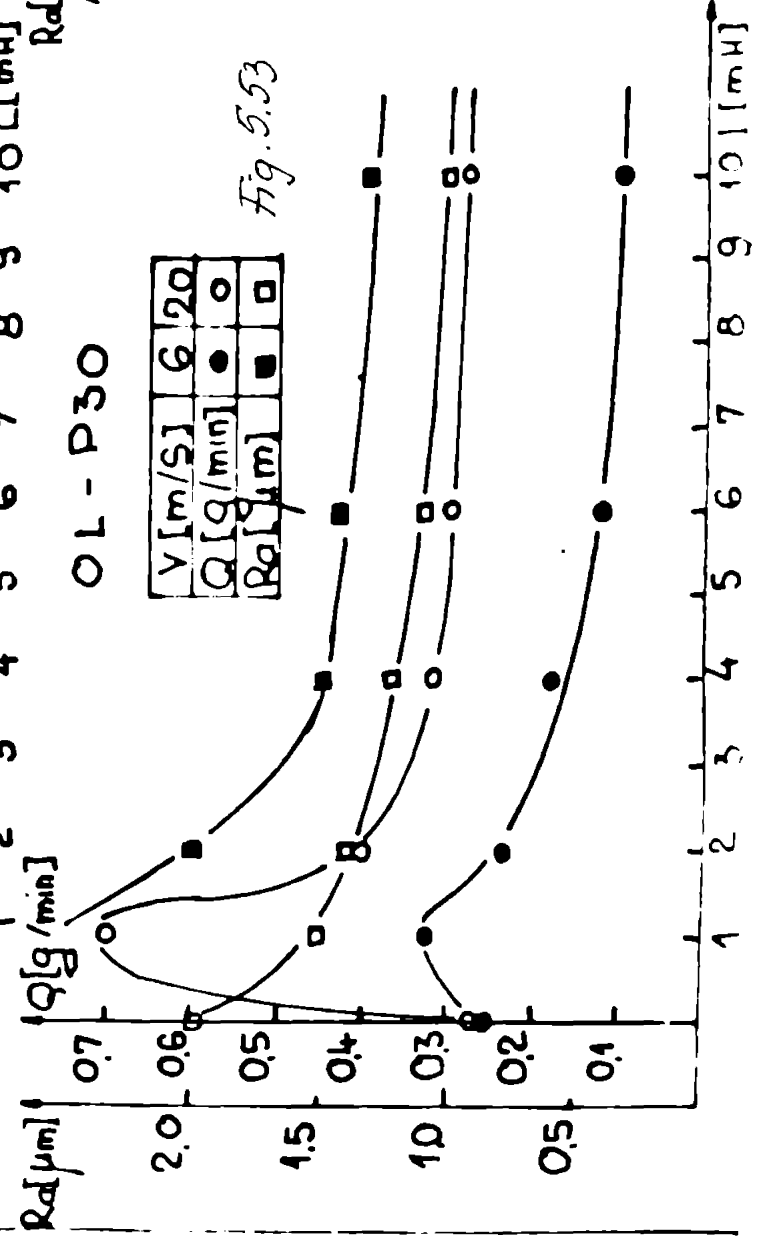
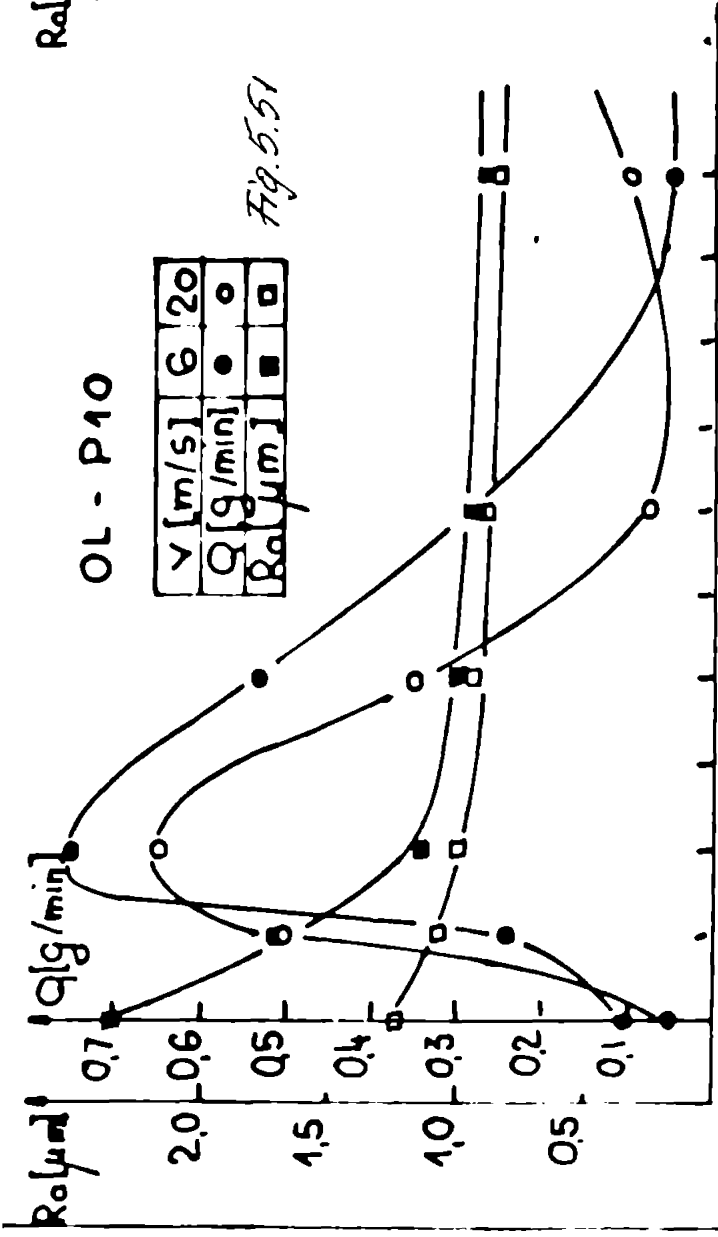


V [m/s]	6	20	60
G [g/min]	•	○	□
Ra [μm]	■	□	□

Fig. 5.50

OBIECT DE TRANSFER - OTEL - TABELUL 5.10

OP - SORT		P10		OP - SORT		P20		
L	$v_r = 6 m/s$		$v_r = 20 m/s$		$v_r = 6 m/s$		$v_r = 20 m/s$	
	Q	R_a	Q	R_a	Q	R_a	Q	R_a
mH	g/min	μm	g/min	μm	g/min	μm	g/min	μm
0	0,1219	3,3	0,1712	2,1	0,1326	3,4	0,1975	2,0
1	0,2336	2,5	0,4815	1,8	0,2903	2,6	0,4508	1,7
2	0,8139	2,0	0,6830	1,6	0,5237	2,0	0,2108	1,4
4	0,6201	1,8	0,2837	1,4	0,2177	1,5	0,1671	1,3
6	0,2544	1,6	0,1207	1,3	0,1251	1,4	0,1360	1,2
10	0,0476	1,5	0,0956	1,3	0,1073	1,3	0,1289	1,2
OP - SORT		P30		OP - SORT		P40		
0	0,1369	2,5	0,2633	1,8	0,1200	2,8	0,2435	1,7
1	0,3618	2,1	0,7223	1,5	0,2812	2,4	0,8642	1,4
2	0,2272	1,7	0,3994	1,3	0,1405	2,2	0,3817	1,3
4	0,1508	1,4	0,3204	1,2	0,1103	2,0	0,2623	1,0
6	0,1362	1,3	0,3021	1,1	0,0911	1,8	0,1342	0,9
10	0,1124	1,3	0,2572	1,1	0,0745	1,7	0,1105	0,9



surplusului energetic datorat inductivității poate fi livrat numai în condițiile în care egalitatea se păstrează la valoarea de $t_c = 1/3 t_p$ egalitate realizată la valori mai mici ale inductivității, aceasta determinând o scădere a energiei înmagazinate în inductivitate ($L \frac{di}{dt}$) deci productivitate mai mică.

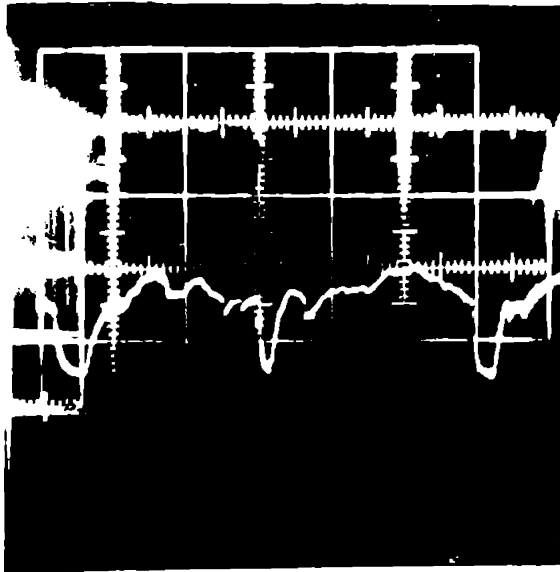


Fig. 5.55.

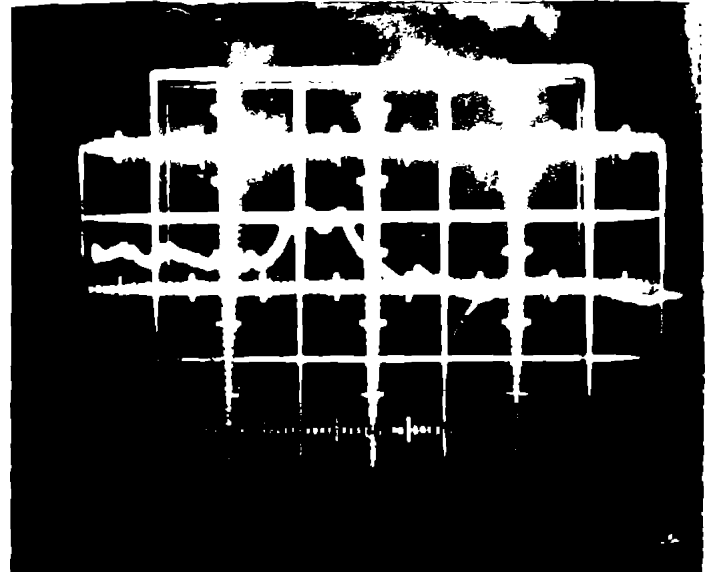


Fig. 5.56.

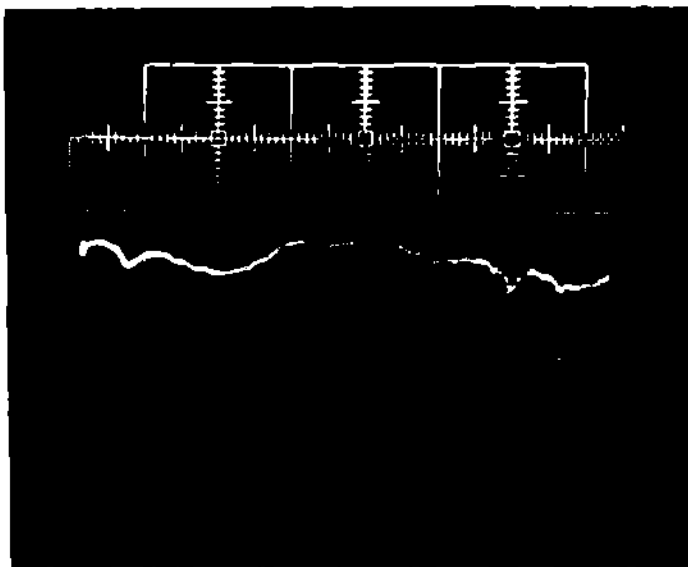


Fig. 5.57.

Din oscilogrammele prezentate în fig. 5.55 pentru $L=0,8$ mH în fig. 5.56 pentru $L=2$ mH și în fig. 5.57 pentru $L=10$ mH în care se vede variația curentului în timpul procesului de prelucrare a carburilor P 20 la $v_r = 6$ m/s și $j = 0,2$ A, se confirmă efectul de netezire pronunțat a curentului determinat de creșterea inductivității, provocând reducerea efectului de impuls și descă-

oșirilor electrice cu tendință evidentă de a se stabili un curent de conducție, micșorând mult productivitatea prelucrării și rugozitatea suprafeței OP-ului. Efectul este mult amplificat în cazul vitezelor relative mari prezentat pentru $v_r = 20$ m/s și în aceleași condiții ca mai sus în oscilogrammele din fig. 5.58 pentru $L = 0,08$ mH; fig. 5.59 pentru $L = 2$ mH; fig. 5.60 pentru $L = 10$ mH

Cu totul deosebită apare comportarea sorturilor P 30 și P 40 care pentru toate cele trei materiale ale obiectului de transfer prezintă maxime mai ridicate pentru viteze relative de 20 m/s deplasate spre inductivități mai mari și mai scăzute la viteze de 6 m/s.

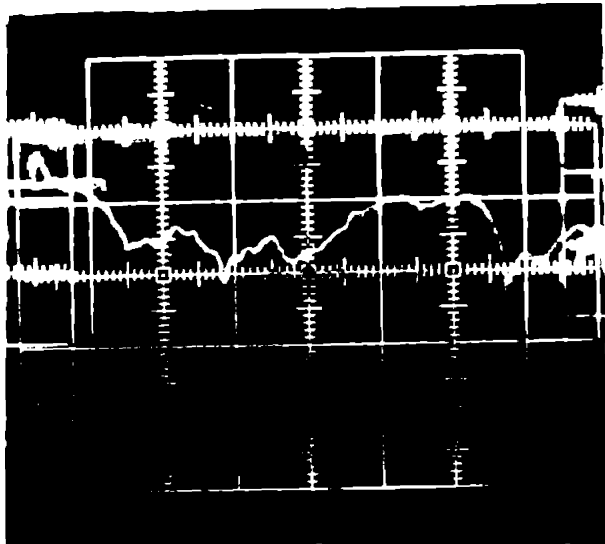


Fig.5.58

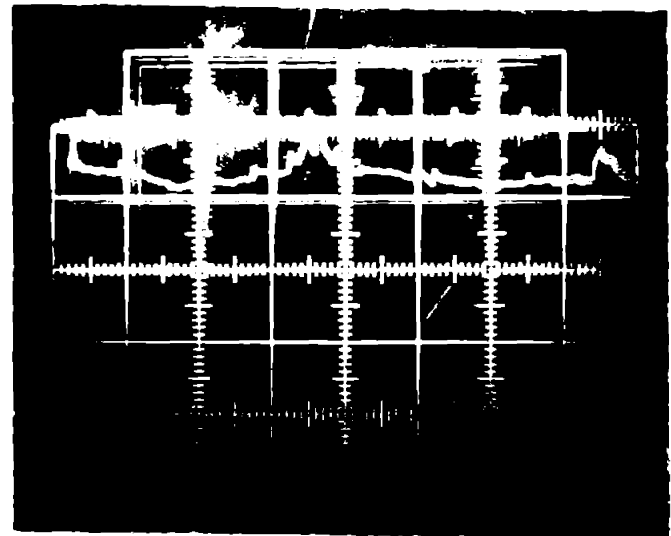


Fig.5.59.

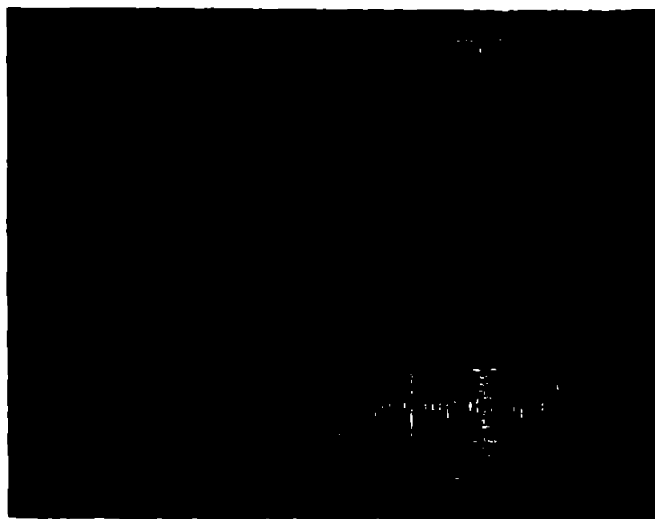


Fig.5.60.

compensarea

țată a difuziei termice, realizându-se în faza ruperii microcontactului prin transmiterea unor energii mai mari, asigurate de descărcările în impuls dezvoltate mai ferm la viteze mari. În cazul vitezelor mici cantitatea de energie corespunzătoare unor prelevări eficiente se realizează la valori mai mari ale inductivităților asigurând fenomene termice corespunzătoare pe parcursul fazei de contact (efect Joule) cât și în faza ruperii contactului datorate energiilor mai mari livrate de inductivitate.

Dacă se consideră descărcarea în impuls drept sursă de căldură punctiformă și suprafețele izoterme semi-sferice, se poate exprima distanța maximă până la care efectul termic dezvoltat de sursă este productiv [104] prin relația razei maxime:

$$r_{\max} = K \cdot t_1 \sqrt[3]{\frac{U_M^2 \cdot I_M}{\sigma \cdot \rho \cdot T_{\text{top}}}} \quad (112)$$

în care: K - coeficient de proporționalitate $0 < K < 1$;

U_M, I_M - tensiunea în V și curentul în A caracteristicii re-

gimului de lucru;

c - căldura specifică în KJ/Kg.K ;

ρ - greutatea specifică în Kg/m^3 ;

T_{top} - temperatura de topire în K ;

t_i - durata impulsului de curent în s.

cun înșă durata impulsului $t_i = t_c$ și conductibilitatea termică $\lambda = c \cdot \rho \cdot a$ în care a - coeficientul de transmitere a căldurii în m^2/h rezultă că:

$$r_{\text{max}} = K \cdot t_c \sqrt[3]{\frac{U^2 \cdot I \cdot a}{T_{\text{top}} \cdot \lambda}} \quad (113)$$

de unde se observă că odată cu creșterea conductibilității termice scade r_{max} , r_{max} poate să crească cu creșterea lui t_c deci la inductivități mai mari.

Din analiza diagramelor rezultă că valorile productivităților corespunzătoare domeniilor de maxim depășesc de 3 + 4 ori valorile maxime obținute în cazul circuitelor rezistive, pentru orice pereche de OT și OP și orice viteză. Analizând în continuare variația rugozității în funcție de valoarea inductivităților se observă că ea scade continuu cu creșterea inductivității iar în domeniul de maxim de productivitate rugozitatea suprafețelor prelucrate este mai mică cu ca. 5 + 10 μm față de cazul circuitelor rezistive.

În urma acestor rezultate se poate afirma că prezența inductivității în circuitele electrice cu structură modificată este utilă permițând obținerea unor productivități sporite concomitent cu asigurarea unor calități corespunzătoare suprafețelor prelucrate absolut tuturor sorturilor de carburi metalice din grupa P. În plus se remarcă faptul că obiectele de transfer se pot confecționa din fontă cenușie și chiar din oțel de construcție, acesta înlocuind cu succes cuprul.

Circuitele electrice cu structură inductivă constituie unica cale ce permite reducerea vitezei relative în condițiile în care atît productivitatea cît și rugozitatea suprafețelor prelucrate să obțină valori nășvenabile din punct de vedere economic.

5.2.4. Influența parametrilor primari asupra caracteristicilor tehnologice în cazul utilizării circuitelor electrice cu structură capacitivă și inductiv - capacitivă

Circuitele electrice cu structură capacitivă sau inductiv-capacitivă, au reliefat probabilitatea scăzută de a prezenta un comportament corespunzător în experimentări datorită nivelelor energetice scăzute pe care le pot asigura în timpul desfășurării proceselor de prelucrare. Astfel că în cazul circuitelor capacitive prezența capacității determină micșorarea grosimii peliculei pasive împiedicând formarea acesteia în faza premergătoare contactului metalic iar în faza de contact metalic poate livra (sau nu) energia sa într-un singur punct sau mai multe, în funcție de condițiile locale și mărimea constantei de timp t_p în comparație cu constanta de timp t_c a circuitului. În cazul circuitelor complexe, capacitiv-inductive, fenomenele se pot desfășura asemănător cu atât mai mult cu cât între C și L se pot produce transferuri energetice frînând dezvoltarea proceselor productive în spațiul de lucru.

Cercetările experimentale efectuate pentru cele două variante de circuit în care pentru cele capacitive s-au folosit capacitățile de 32; 64; 160; 320 și 640 μF iar pentru cele complexe parametrul variabil l-a constituit capacitatea la o valoare constantă a inductivității de 0,8; 1; 2; 4; 6 și 10 mH. S-au ridicat curbele de variație a productivității și rugozității pentru toate perechile conjugate de OT și OP și pentru viteza de 6 și 20 m/s. Întrucât aceste circuite nu prezintă interes tehnologic, în continuare spre exemplificare se redau rezultatele experimentale pentru sortul P 20 în condițiile utilizării succesive a obiectelor de transfer din cupru, fontă și oțel pentru circuite capacitive și separat pentru cele inductiv-capacitive.

Pentru circuitele capacitive dependența Q_{OP} și R_a este prezentată în fig. 5.61. pentru OT din cupru, în fig. 5.62. pentru OT din fontă și în fig. 5.63. pentru OT din oțel.

Se observă obținerea unui minim de rugozitate corespunzător capacităților mici de 32 μF ce coincide și cu minimul de productivitate. În rest atât productivitatea cât și rugozitatea se plasează sub valorile corespunzătoare circuitelor rezistive, variația ușor crescătoare nefiind semnificativă și utilă practic.

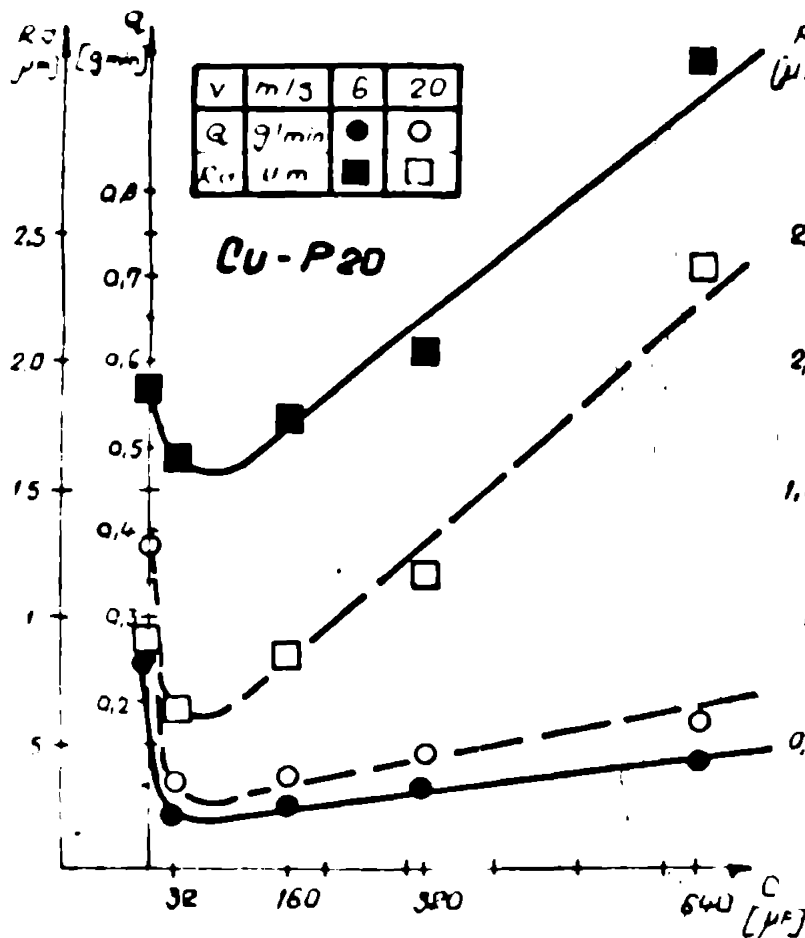


Fig. 5.61. Circuit capacitiv OT-cupru

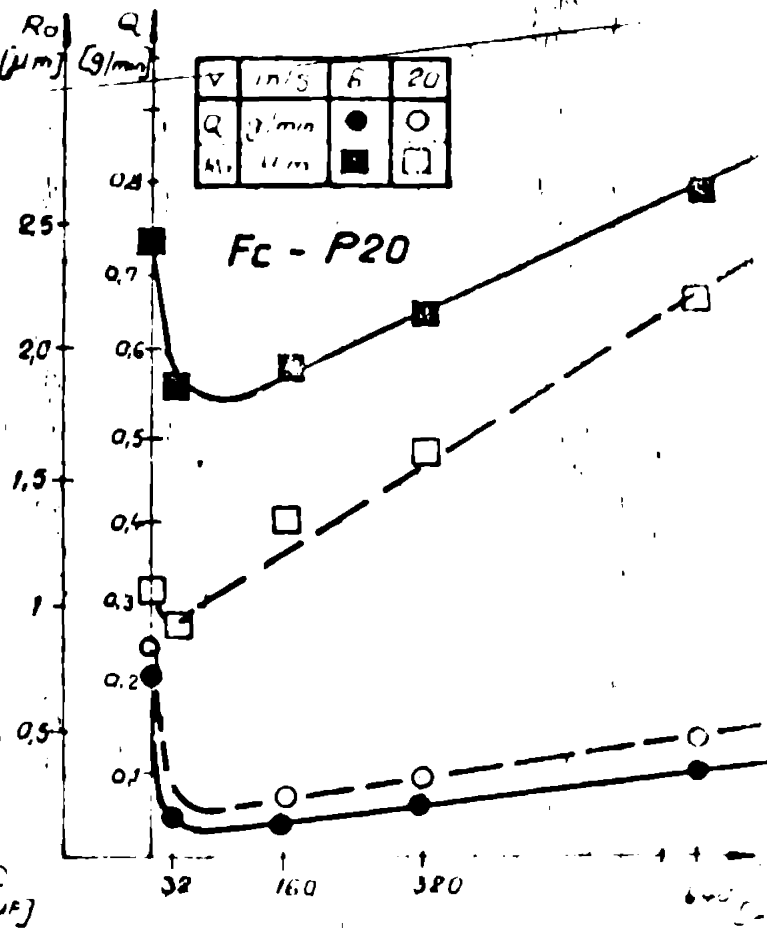


Fig. 5.62. Circuit capacitiv OT-fontă

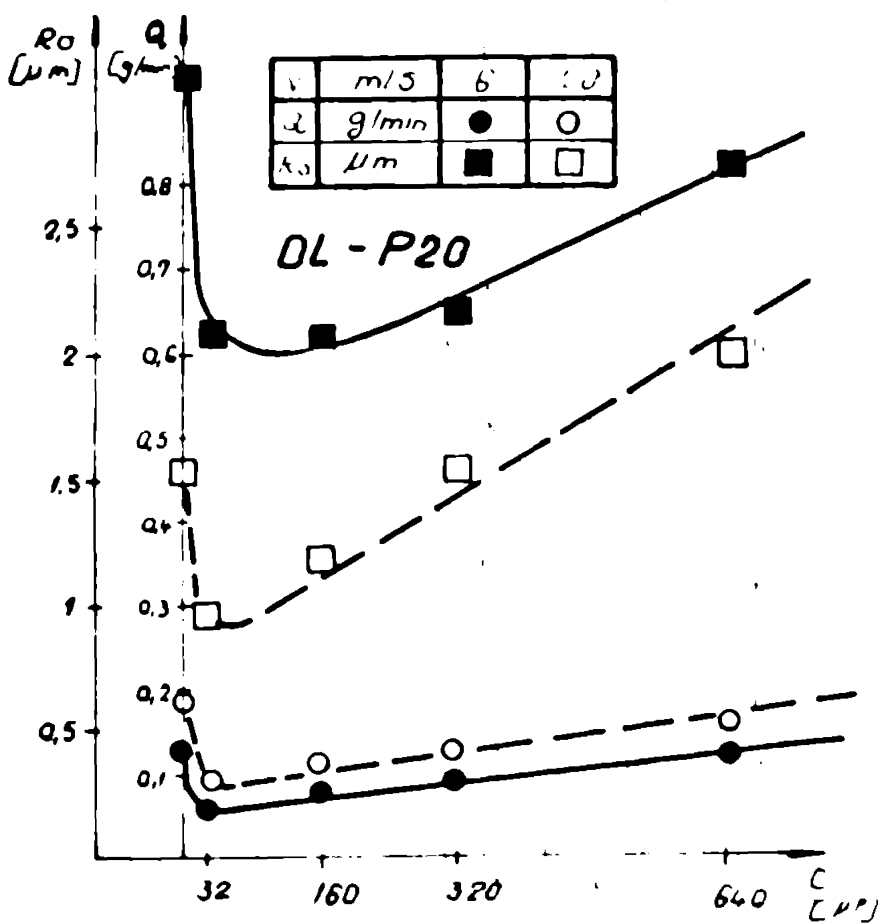


Fig. 5.63. Circuit capacitiv OT-oțel

Aceeași comportare se prezintă și în cazul circuitelor inductiv-capacitive la care apare un spor de productivitate și o micșorare a răzrezității în comparație cu circuitele pur capacitive, variație determinată de prezența inductivității cu influență mai pronunțată asupra caracteristicilor tehnologice. În cazul acestor circuite dependențele Q_{op} și Ra se prezintă în fig. 5.64. pentru OT din cupru, fig. 5.65. pentru OT din fontă și fig. 5.66. pentru OT din oțel.

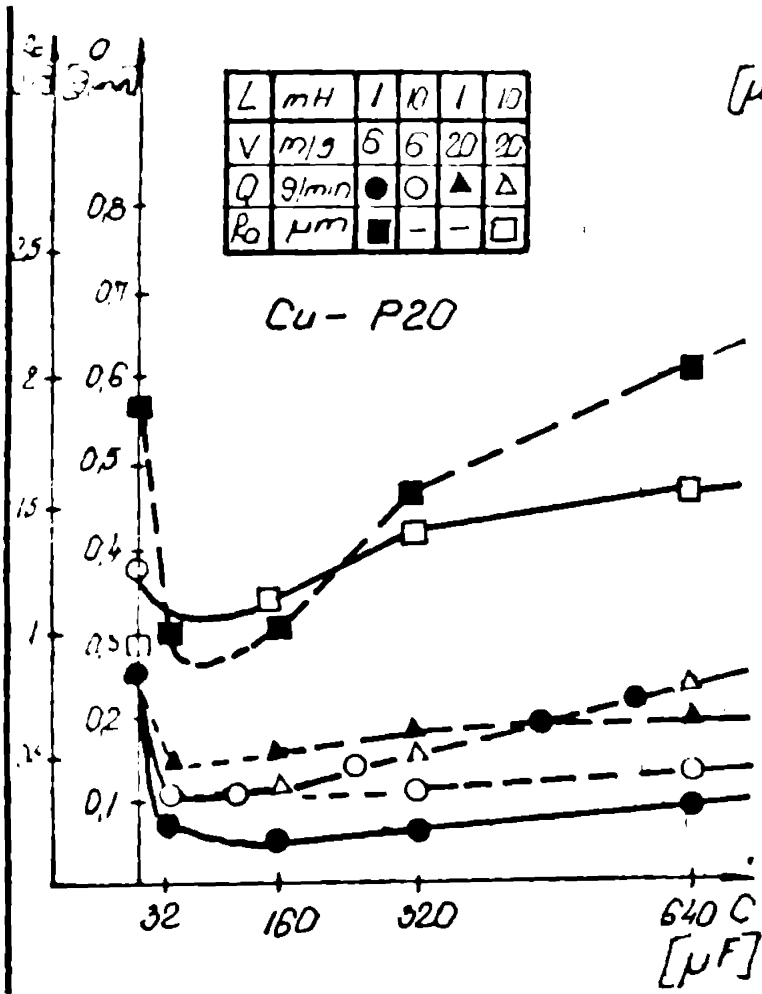


Fig. 5.64. Circuit inductive-capacitiv OT-cupru

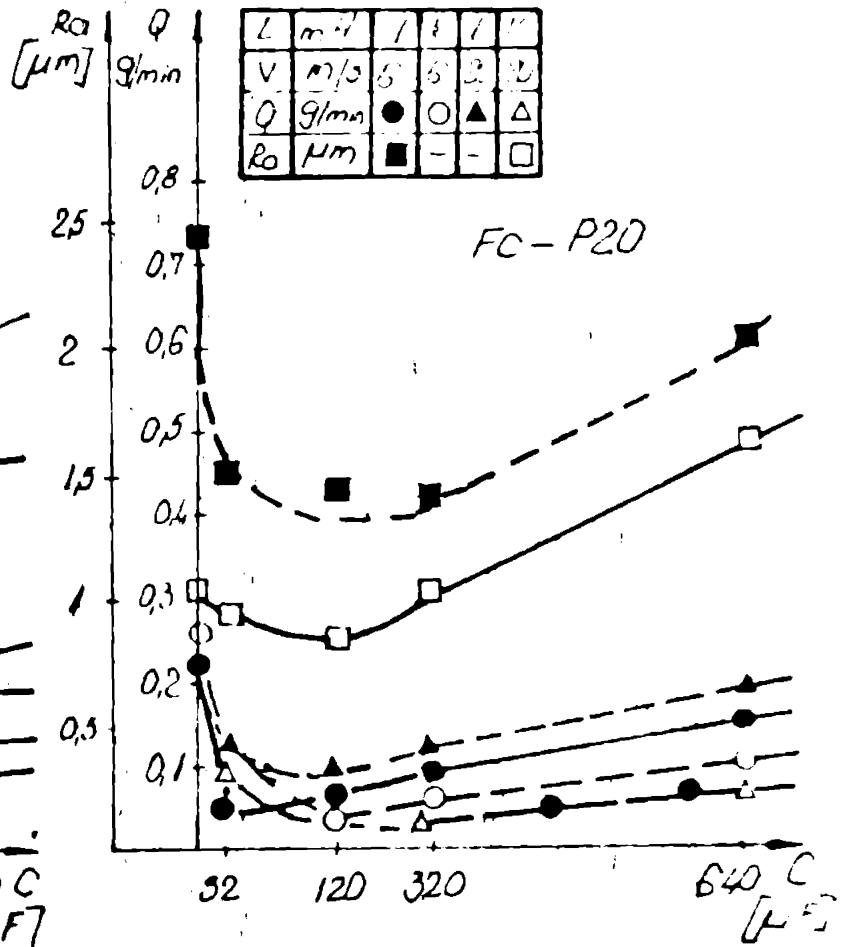


Fig. 5.65. Circuit inductive-capacitiv OT-foatã

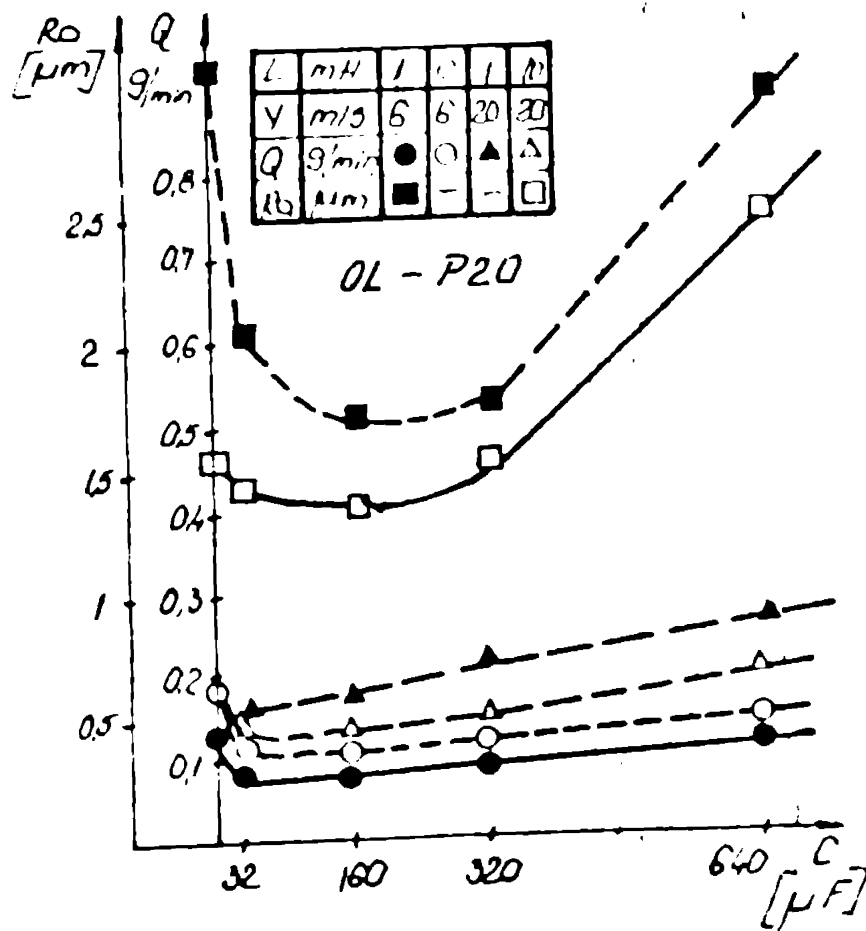


Fig. 5.66. Circuit inductive-capacitiv OT-otol

Pentru confirmarea rezultatelor experimentale obținute în cazul circuitelor cu structură inductiv capacitivă în fig.5.67, 5.68, și 5.69 și 5.70 se prezintă oscilogramele curentului din procesul prelucrării prin EEC a carburilor metalice din sortul P 20 pentru combinațiile $L = 1 \text{ mH}$ și $C = 640 \mu\text{F}$, $L = 10 \text{ mH}$ și $C = 32 \mu\text{F}$ și $L = 10 \text{ mH}$ și $C = 640 \mu\text{F}$ la viteza relativă de 20 m/s și $j=0,2 \text{ A/mm}^2$. Se remarcă prezența impulsurilor de curent de intensități foarte diferite, alternând cu perioade de mers în gol (curent de conducție) pentru inductivități mici și capacități mici, ajungând chiar la dispariția impulsurilor de curent în cazul prezenței inductivităților mari indiferent de valoarea capacității situație în care productivitatea este scăzută iar rugozitatea pronunțată determinate fiind de fenomenele termice produse în urma ruperii neexplozive a contactelor metalice.

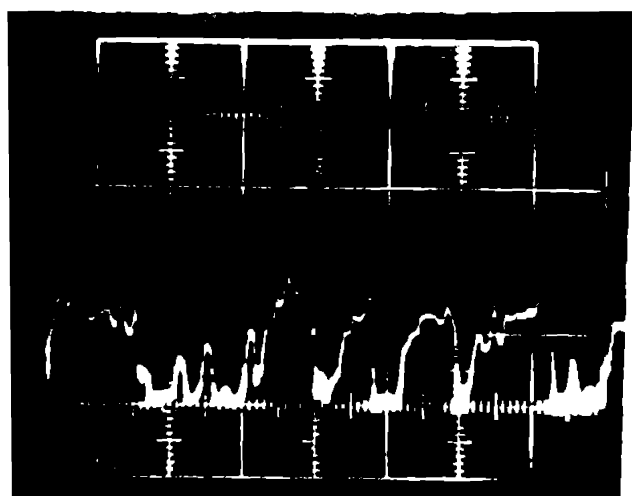


Fig.5.67

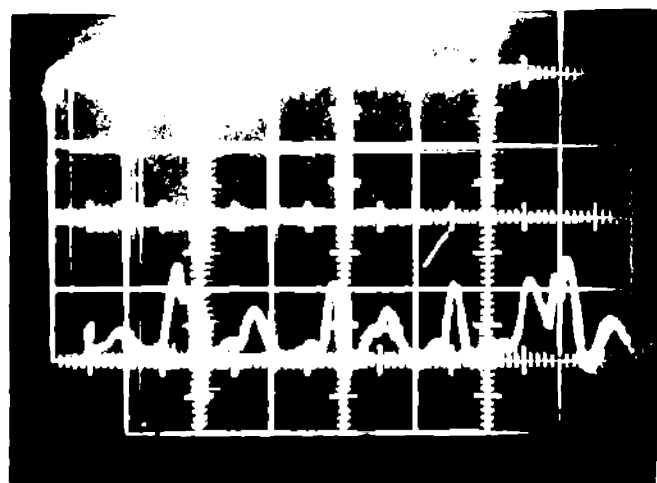


Fig.5.68.

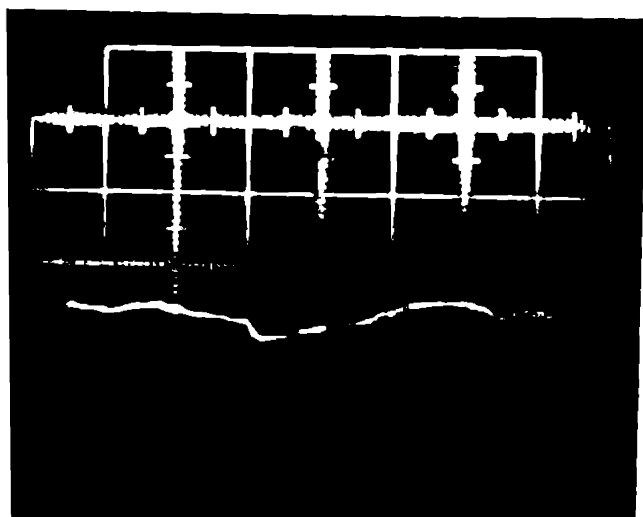


Fig.5.69.

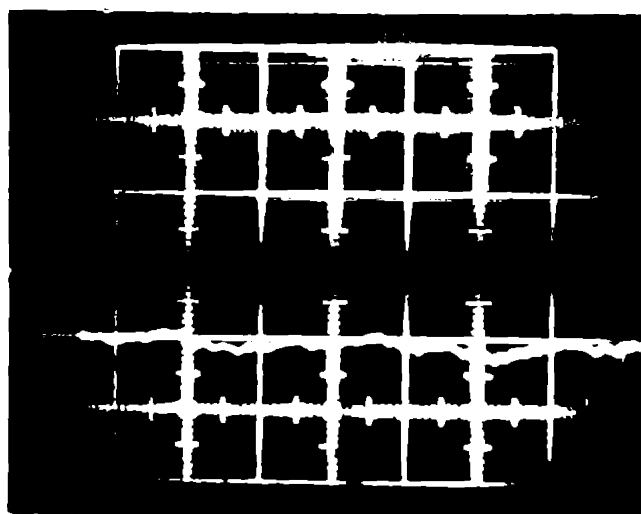


Fig.5.70.

În urma rezultatelor obținute din cercetarea experimentală și pe baza considerațiilor teoretice evidențiate în cap3 pe-

paragraful 3.3.2 și 3.4. cu privire la utilizarea circuitelor electrice cu structură capacitivă sau inductiv-capacitivă se pot face următoarele precizări:

- în cazul prelucrării carburilor metalice din grupa P acestea nu se recomandă a fi utilizate, deoarece nu pot asigura productivități corespunzătoare din punct de vedere economic;

- sperul de calitate al suprafeței prelucrate obținut în cazul acestor circuite pentru valori relativ mici ale capacităților și al inductivităților nu justifică scăderea gradului de complexitate al utilajului, rezultate net superioare obținându-se prin utilizarea circuitelor cu structură inductivă.

5.4.5. Model matematic privind determinarea funcțiilor de răspuns în cazul prelucrării prin SEC a corpurilor de revoluție

Pentru a construi modelul matematic al dependenței parametrilor tehnologici de parametrii principali ai procesului de prelucrare prin eroziune electrică complexă a corpurilor de revoluție constituite din sorturile de carburi metalice a grupeii P, s-au folosit datele experimentale obținute în urma utilizării circuitelor electrice cu structură rezistivă, inductivă și capacitivă.

5.4.5.1. Cazul circuitelor cu structură rezistivă

În cazul circuitelor cu structură rezistivă analiza datelor experimentale și a graficelor prezentate în cap.5 paragraful 5.4.2 se poate deduce prin testare că alura curbelor care exprimă dependența $Q = f(j)$ este de tip parabolic și pot fi modelate matematic printr-o funcție polinomială de ordinul doi de forma:

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (114)$$

în care $j \in x = (0,08; 0,15; 0,2; 0,25; 0,33)$. Pentru determinarea parametrilor $a_1 (i = 0,1,2)$ din ecuația (114) pe baza principiului celor mai mici pătrate se obține următorul sistem de ecuații normale:

$$\begin{aligned} a_0 \sum_{i=1}^5 1 + a_1 \sum_{i=1}^5 x_i + a_2 \sum_{i=1}^5 x_i^2 &= \sum_{i=1}^5 y_i \\ a_0 \sum_{i=1}^5 x_i + a_1 \sum_{i=1}^5 x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^5 x_i^3 &= \sum_{i=1}^5 y_i x_i \\ a_0 \sum_{i=1}^5 x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^5 x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^5 x_i^4 &= \sum_{i=1}^5 y_i x_i^2 \end{aligned} \quad (115)$$

Prin utilizarea următoarelor notații:

$$\begin{aligned}
 S_0 &= n \\
 S_1 &= \sum_{i=1}^5 x_i & Y_0 &= \sum_{i=1}^5 y_i \\
 S_2 &= \sum_{i=1}^5 x_i^2 & Y_1 &= \sum_{i=1}^5 y_i \cdot x_i \\
 S_3 &= \sum_{i=1}^5 x_i^3 & Y_2 &= \sum_{i=1}^5 y_i \cdot x_i^2 \\
 S_4 &= \sum_{i=1}^5 x_i^4
 \end{aligned} \tag{116}$$

sistemul de ecuații (115) se transpune în forma (117) utilizată în programarea pe calculator în limbaj "BASIC - FRAE",

$$\begin{cases}
 A_0 \cdot S_0 + A_1 \cdot S_1 + A_2 \cdot S_2 = Y_0 \\
 A_0 \cdot S_1 + A_1 \cdot S_2 + A_2 \cdot S_3 = Y_1 \\
 A_0 \cdot S_2 + A_1 \cdot S_3 + A_2 \cdot S_4 = Y_2
 \end{cases} \tag{117}$$

sistem de ecuații algebrice liniare ce se rezolvă prin metoda lui Cramer, obținându-se pentru coeficienții de regresie următoarele expresii:

$$A_0 = \frac{\det A_0}{\det A} ; \quad A_1 = \frac{\det A_1}{\det A} ; \quad A_2 = \frac{\det A_2}{\det A} \tag{118}$$

Calculul s-a efectuat pe baza schemei logice prezentate în fig.5.71. utilizând modelul matematic de formă polinomială (119) pentru productivitate, determinându-se și mărimea erorilor rela-

$$P(I) = A_0 + A_1 \cdot X(I) + A_2 \cdot X^2(I) \tag{119}$$

tive ale valorilor productivităților obținute cu modelul matematic față de cele experimentale cu expresia:

$$E(I) = 100 \cdot \frac{P(I) - Y(I)}{P(I)} \tag{120}$$

Valorile calculate cu modelul matematic pentru productivitate exprimate în g/min, valoarea erorilor relative exprimate în %, valorile coeficienților de regresie cît și expresia polinomială P(I) pentru fiecare sort de carburi metalice din grupa P, pentru cele cinci viteze experimentale și cele trei obiecte de transfer din cupru, fontă și oțel sînt trecute în tabelul 5.11 pentru P 10, tabelul 5.12. pentru P 20, tabelul 5.13 pentru P 30 și tabelul 5.14 pentru P 40.

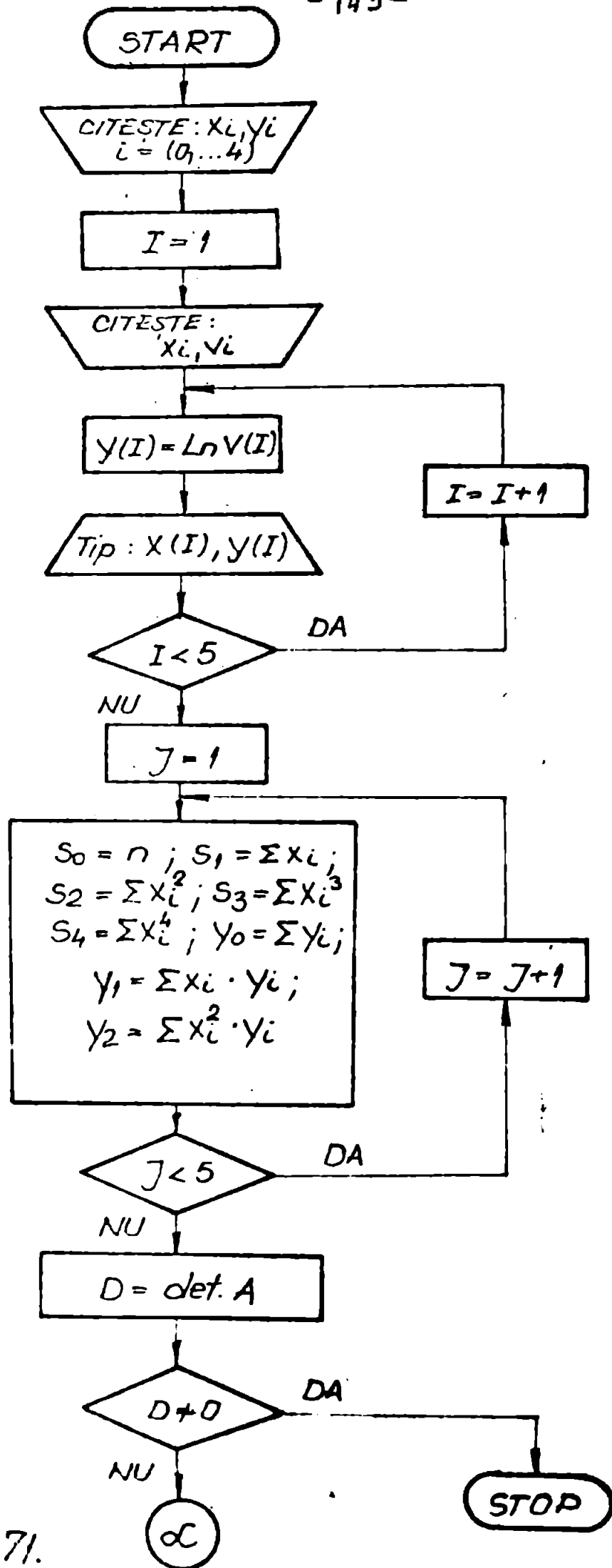


Fig. 5.71.

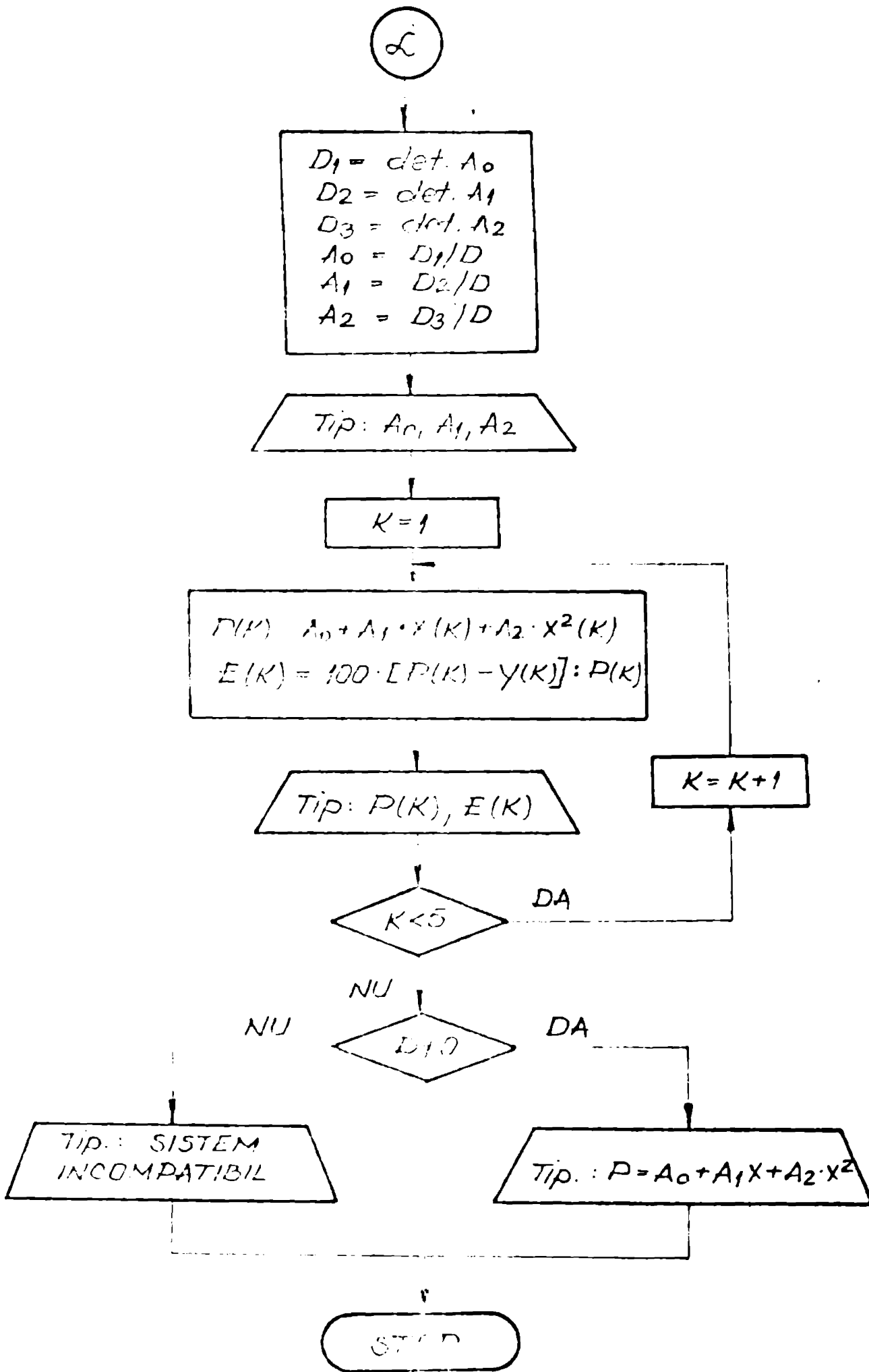


Fig. 5 71.

CIRCUITE REZISTIVE

TABELUL S.11.

n	CUPRU					FONTA					P10					OTEL					
	P10	Q	E	P	D	P10	Q	E	P	D	P10	Q	E	P	D	P10	Q	E	P	D	
6	Q	0,0882	0,1374	0,1622	0,1784	0,1851	0,0408	0,1221	0,2350	0,3087	0,5781	0,0353	0,0913	0,1176	0,1324	0,0353	0,0913	0,1176	0,1324	0,1580	0,2285
	E	-4,533	8,488	-4,078	-1,457	0,8394	4,480	-6,8450	5,417	-1,576	0,0517	-8,139	7,8632	-3,599	-6,749	-8,139	7,8632	-3,599	-6,749	-8,139	7,8632
	P	$D = 1,14 \cdot 10^{-2} + 1,0977X - 1,7186X^2$					$P = -2,3 \cdot 10^{-3} + 0,2281X + 4,1442X^2$					$D = -5,58 \cdot 10^{-2} + 1,3215X - 2,2708X^2$									
10	Q	0,098	0,1489	0,1750	0,1922	0,2018	0,0231	0,1366	0,2337	0,3438	0,6033	0,0450	0,0922	0,1247	0,1392	0,0450	0,0922	0,1247	0,1392	0,1580	0,2285
	E	-5,451	7,088	0,9726	-5,910	1,6806	6,372	-1,317	0,796	-6,222	0,522	-10,89	6,986	9,2725	-12,88	-10,89	6,986	9,2725	-12,88	-10,89	6,986
	P	$D = 1,93 \cdot 10^{-2} + 1,202X - 1,7109X^2$					$P = -7,51 \cdot 10^{-2} + 1,0192X + 2,6268X^2$					$P = -4,31 \cdot 10^{-2} + 1,2782X - 2,913X^2$									
15	Q	0,1321	0,2258	0,2761	0,3125	0,3436	0,0648	0,1070	0,2130	0,3822	0,9101	0,0537	0,1118	0,1410	0,160	0,0537	0,1118	0,1410	0,160	0,1784	0,2585
	E	1,4412	0,4656	-5,235	4,620	-0,855	9,444	-8,850	-2,397	10,377	-1,309	-5,483	-0,596	14,041	-12,764	-5,483	-0,596	14,041	-12,764	-5,483	0,2585
	P	$D = -8,3 \cdot 10^{-3} + 1,9783X - 2,7785X^2$					$P = 1,681 \cdot 10^{-1} - 2,302X + 2,6364X^2$					$P = -3,71 \cdot 10^{-2} + 1,2997X - 2,0434X^2$									
20	Q	0,1461	0,3027	0,3763	0,4180	0,4056	0,0515	0,011	0,2444	0,4363	1,0167	0,0707	0,1439	0,1768	0,1935	0,0707	0,1439	0,1768	0,1935	0,2186	0,2986
	E	-5,3105	7,485	-3,439	-1,186	0,7392	10,994	-6,414	3,988	11,941	-1,7192	-6,357	5,70	3,1829	-6,568	-6,357	5,70	3,1829	-6,568	-6,357	0,2986
	P	$D = -0,1094 + 3,7051X - 6,3808X^2$					$P = 0,1327 - 2,0643X + 13,114X^2$					$P = -5,17 \cdot 10^{-2} + 1,7886X - 3,2297X^2$									
27	Q	0,0941	0,212	0,2687	0,3025	0,3016	0,0367	0,1101	0,2421	0,4404	1,0361	0,068	0,0901	0,1035	0,1119	0,068	0,0901	0,1035	0,1119	0,1137	0,1537
	E	-15,25	17,55	-4,22	-6,15	2,365	7,809	-6,357	-0,3508	7,6914	-1,01	5,8054	-10,312	2,3658	4,5778	5,8054	-10,312	2,3658	4,5778	4,5778	-1,639
	P	$D = -9,54 \cdot 10^{-2} + 2,736X - 4,576X^2$					$P = 0,1121 - 2,0031X + 13,266X^2$					$P = 1,96 \cdot 10^{-2} + 0,064X - 1,0047X^2$									

CIRCUITE REZISTIVE

TABELUL 5.12

Ur	CUPRU					FONTA					P20					OTEL								
	P20	0,08	0,15	0,20	0,25	0,35	P20	0,15	0,20	0,25	0,35	P20	0,08	0,15	0,20	0,25	0,35	P20	0,15	0,20	0,25	0,35		
6	R	0,002	0,2195	0,2674	0,2674	0,2901	0,2602	0,0393	0,1187	0,2128	0,3381	0,6824	0,1092	0,1282	0,1347	0,1052								
	E	-0,06	8,673	1,467	-6,832	2,232	9,345	-6,454	-1,007	2,5371	-0,360	-10,63	14,42	-2,91	-6,68	3,088								
	P	$-9 \cdot 10^{-2} + 2,717X - 5,0288X^2$					$235 \cdot 10^{-2} - 0,3019X + 6,2406X^2$					$P = -318 \cdot 10^{-2} + 1,3522X - 2,744X^2$												
10	R	0,042	0,2227	0,2768	0,3055	0,2863	0,0470	0,1235	0,2182	0,3453	0,7027	0,063	0,1125	0,1345	0,1453	0,1337								
	E	-0,283	7,266	3,498	-7,721	2,2137	6,659	-3,571	-14,906	+3,805	-0,321	-15,64	12,29	6,592	-3,168	3,469								
	P	$-2,23 \cdot 10^{-2} + 2,8649X - 5,094X^2$					$D = 397 \cdot 10^{-2} - 0,4431X - 6,6782X^2$					$P = -201 \cdot 10^{-2} + 1,2183X - 2,2248X^2$												
15	R	0,097	0,255	0,3256	0,3686	0,3746	0,0625	0,1433	0,2531	0,4061	0,842	0,0654	0,1279	0,1562	0,1708	0,1591								
	E	-0,2643	11,291	6,592	-10,168	3,469	9,701	-9,412	-0,459	5,945	-0,177	-7,754	10,33	-7,069	-0,768	1,029								
	P	$-0,1226 + 3,3473X - 5,5882X^2$					$D = 7,41 \cdot 10^{-2} - 0,050X + 8,669X^2$					$P = -388 \cdot 10^{-2} + 1,522X - 2,732X^2$												
20	R	0,401	0,3225	0,4112	0,4653	0,4696	0,0813	0,1987	0,3229	0,4907	0,8972	0,072	0,1502	0,1854	0,2035	0,1882								
	E	-0,713	10,93	-0,538	-6,012	2,553	8,925	3,2207	1,776	3,236	-0,617	-5,136	8,665	-6,468	1,0109	0,3701								
	P	$-0,513 + 4,1983X - 6,9253X^2$					$D = 2,77 \cdot 10^{-2} + 0,131X + 6,7233X^2$					$P = -5,83 \cdot 10^{-2} + 1,9044X - 3,428X^2$												
27	R	0,323	0,2721	0,3525	0,4166	0,496	0,04	0,1351	0,259	0,4315	0,9167	0,0642	0,1245	0,1548	0,1746	0,1823								
	E	-2,409	-4,906	5,63	8,36	1,771	-2,919	4,108	-2,948	0,819	-0,028	0,904	-1,422	0,753	0,128	-0,109								
	P	$-6,65 \cdot 10^{-2} + 2,7455X - 3,2516X^2$					$D = 4,46 \cdot 10^{-2} - 0,8125X + 9,44X^2$					$P = -299 \cdot 10^{-2} + 1,3473X - 2,115X^2$												

CIRCUITE REZISTIVE

TABELUL 5.13

v _r	CUPRU					FONTA					P30					QTEL							
	P30	0,08	0,15	0,20	0,25	0,35	P30	0,08	0,15	0,20	0,25	0,35	P30	0,08	0,15	0,20	0,25	0,35	P30	0,08	0,15	0,20	0,25
6	Q	2,274	2,196	2,2735	2,3188	2,3330	0,0697	0,194	0,225	0,378	0,569	0,0366	0,1021	0,1531	0,2073	0,3256							
	E	-3,145	2,614	3,507	-4,67	0,945	-12,105	11,902	-7,088	-6,195	1,6733	4,029	-9,248	10,586	-4,523	0,353							
	P	$P = 5,3 \cdot 10^{-3} + 16907X - 17477X^2$					$P = -6,79 \cdot 10^{-2} + 16902X + 0,373X^3$					$P = -3,07 \cdot 10^{-2} + 0,787X + 0,66X^2$											
10	Q	0,140	2,2190	0,2693	0,3141	0,3894	0,1152	0,2429	0,3828	0,4257	0,5961	0,2432	0,1033	0,1604	0,2295	0,4032							
	E	-5,496	2,259	-0,425	-4,35	1,139	-2,384	4,927	-4,537	1,454	-0,042	-6,094	10,461	8,581	-10,23	14,53							
	P	$P = 0,3739 + 1365X - 10263X^2$					$P = -3,33 \cdot 10^{-2} + 1,8745X - 0,2173X^2$					$P = 3,1 \cdot 10^{-3} + 0,3114X + 2,3766X^2$											
15	Q	0,146	2,245	0,303	0,350	0,4119	0,0889	0,262	0,4004	0,5512	0,889	0,0504	0,1211	0,1841	0,2574	0,4350							
	E	-8,700	9,919	4,236	-6,660	2,232	-13,923	8,725	3,693	-6,257	1,035	-20,90	16,54	2,5057	-7,088	15,74							
	P	$P = 74 \cdot 10^{-3} + 1907X - 2,147X^2 - 3,6813X^3$					$P = -1,422 \cdot 10^{-1} + 2,897X + 0,877X^2$					$P = -3,77 \cdot 10^{-3} + 1,358X + 4,4263X^2$											
20	Q	0,1646	0,283	0,346	0,3906	0,4241	0,0951	0,3121	0,4784	0,6370	0,9795	0,1119	0,278	0,4413	0,677	1,0139							
	E	0,125	-2,776	5,695	-3,686	0,552	-7,553	10,946	2,355	-6,267	1,1549	10,46	6,945	3,662	10,542	4,5137							
	P	$P = 1,53 \cdot 10^{-2} + 2,5442X - 3,6813X^2$					$P = -1,422 \cdot 10^{-1} + 2,897X + 0,877X^2$					$P = -3,77 \cdot 10^{-3} + 1,358X + 4,4263X^2$											
27	Q	0,1271	0,2553	0,3256	0,3784	0,4308	0,0914	0,3104	0,4562	0,5932	0,840	0,1055	0,2811	0,4527	0,6229	0,893							
	E	-9,969	8,544	5,953	-10,173	2,312	-11,782	1,482	0,932	-4,846	1,020	17,782	7,785	-4,509	-8,521	6,814							
	P	$P = -6,17 \cdot 10^{-2} + 2,6436X - 3,5318X^2$					$P = -1,799 \cdot 10^{-1} + 3,5333X - 1,7641X^2$					$P = -5,363 \cdot 10^{-3} + 1,693X + 2,4949X^2$											

CIRCUITE REZISTIVE

TABELUL 5.14

Nr	CUPRU					FONTA					DTEL									
	P40	J	0,08	0,15	0,20	0,25	0,35	P40	0,08	0,15	0,20	0,25	0,35	P40	0,08	0,15	0,20	0,25	0,35	
6	R	0,0786	0,1333	0,1673	0,1972	0,2443		0,073	0,1536	0,2278	0,2591	0,3541	0,0753	0,1052	0,1279	0,1517	0,2026			
	E	-1,735	0,497	3,506	-3,539	3,6325		-3,701	0,9604	6,0723	-5,626	0,9023	-3,604	3,097	6,200	-7,306	1,237			
	P	$P = 6,0 \cdot 10^{-3} + 0,9741 \cdot X - 0,838 \cdot X^2$						$P = -2,582 \cdot 10^{-2} + 2,82 \cdot X - 3,5689 \cdot X^2$						$P = -4,39 \cdot 10^{-2} + 0,3757 \cdot X + 0,2219 \cdot X^2$						
10	R	0,0866	0,1493	0,1882	0,2223	0,2575		0,076	0,1827	0,2782	0,3898	0,6611	0,064	0,1124	0,1488	0,1869	0,2676			
	E	-1,568	0,563	3,224	-3,203	0,568		-3,870	0,189	6,143	-4,716	0,588	7,926	-8,495	-3,762	7,387	-1,391			
	P	$P = 3,2 \cdot 10^{-3} + 1,1202 \cdot X - 0,9763 \cdot X^2$						$P = -72 \cdot 10^{-3} + 0,5646 \cdot X + 3,215 \cdot X^2$						$P = 1,258 \cdot 10^{-1} + 0,6184 \cdot X + 0,3154 \cdot X^2$						
15	R	0,0966	0,1664	0,2209	0,2794	0,4082		0,0878	0,1916	0,2583	0,3187	0,4209	0,0841	0,140	0,1827	0,2275	0,3238			
	E	6,895	-3,759	-10,907	10,976	-1,709		-11,515	9,474	5,230	-9,180	1,831	4,939	-4,215	-5,306	6,648	-1,838			
	P	$P = 2,63 \cdot 10^{-2} + 0,8161 \cdot X + 0,7855 \cdot X^2$						$P = -4,56 \cdot 10^{-2} + 1,769 \cdot X - 1,2454 \cdot X^2$						$P = 2,554 \cdot 10^{-1} + 0,6973 \cdot X + 0,4425 \cdot X^2$						
20	R	0,1263	0,2483	0,319	0,376	0,4489		0,0941	0,2579	0,3776	0,499	0,7502	0,0178	0,1792	0,2377	0,2985	0,4273			
	E	2,760	-2,232	-2,058	3,063	-0,645		-6,772	4,5241	-0,876	-5,474	1,1966	1,267	-0,433	-2,432	2,2651	-0,347			
	P	$P = 4,58 \cdot 10^{-2} + 2,372 \cdot X - 2,739 \cdot X^2$						$P = -8,77 \cdot 10^{-2} + 2,2378 \cdot X + 0,4474 \cdot X^2$						$P = 1,78 \cdot 10^{-2} + 1,0052 \cdot X + 0,4704 \cdot X^2$						
27	R	0,1068	0,2105	0,2761	0,3347	0,4307		0,0942	0,2439	0,3552	0,4702	0,7113	0,0803	0,1623	0,2192	0,2747	0,3817			
	E	-14,21	-14,54	-4,104	11,121	-2,428		-5,650	3,097	14,325	-6,741	1,323	0,4917	-0,087	-0,932	0,829	-0,1286			
	P	$P = 284 \cdot 10^{-2} + 18046 \cdot X - 14076 \cdot X^2$						$P = 6,8 \cdot 10^{-2} + 1,9699 \cdot X + 0,733 \cdot X^2$						$P = -1,65 \cdot 10^{-2} + 1,234 \cdot X - 0,2746 \cdot X^2$						

Din analiza valorilor obținute pentru productivitate cît și mărimea erorilor relative se remarcă faptul că cele 60 de expresii polinomiale calculate pentru cele cinci regimuri de viteze în funcție de densitatea de curent, caracterizează destul de fidel aceste dependențe, expresiile putîndu-se aplica în practica tehnologică pentru oricare din cele trei obiecte de transfer utilizate în experimentări (Cu, Fe și OL)

5.4.5.2. Cazul circuitelor electrice cu structură inductivă

Pentru modelarea matematică a curbelor experimentale obținute în cazul circuitelor electrice cu structură inductivă, în cazul dependenței $Q_{OP} = f(L)$ s-au încercat următoarele funcții:

$$a.) f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (121)$$

$$b.) f(x_1) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + a_3x_1^3 \quad (122)$$

$$c.) f(x_2) = a_0 + a_1x_2 + a_2x_2^2 + \frac{a_3}{x_2} \quad (123)$$

$$d.) f(x_4) = a_0 + a_1x_4 + a_2x_4^2 \quad (124)$$

$$e.) f(x_5) = a_0 e^{a_1x + a_2x^2} \quad (125)$$

fără a reuși încaadrarea rezultatelor în limitele erorilor admisibile. Alura acestei dependente în schimb permite descompunerea ei în trei secțiuni fig.5.72. fiecare dintre acestea fiind caracterizată printr-o expresie analitică corespunzătoare. În consecință dependența este exprimată sub forma:

$$Q_{OP} = \begin{cases} ax^2 + bx + c & \text{pentru } x \in [\alpha, \beta] \\ Ax^2 + Bx + C & \text{pentru } x \in [\beta, \gamma] \\ A_1 e^{B_1x + C_1x^2} & \text{pentru } x \in [\gamma, \delta] \end{cases} \quad (126)$$

unde $x = L$ (inductivitatea) este variabilă independentă ce determină variabila dependentă Q_{OP} (productivitatea)

Coeficienții de regresie $a, b, c, A, B, C, A_1, B_1,$ și C_1 se determină prin metoda celor mai mici pătrate cu ajutorul sistemului corespunzător de ecuații normale, ^{Ajfel} pentru polinomul de ordinul doi $ax^2 + bx + c$ folosindu-se determinările experimentale pentru Q_1 și x_1 pentru $i = \overline{1, n}$ se obține un sistem de ecuații normale asemănător cu (115) care rezolvat pe calculator după schema logică prezentată în fig.5.71 în care s-au introdus noile date, s-au obținut

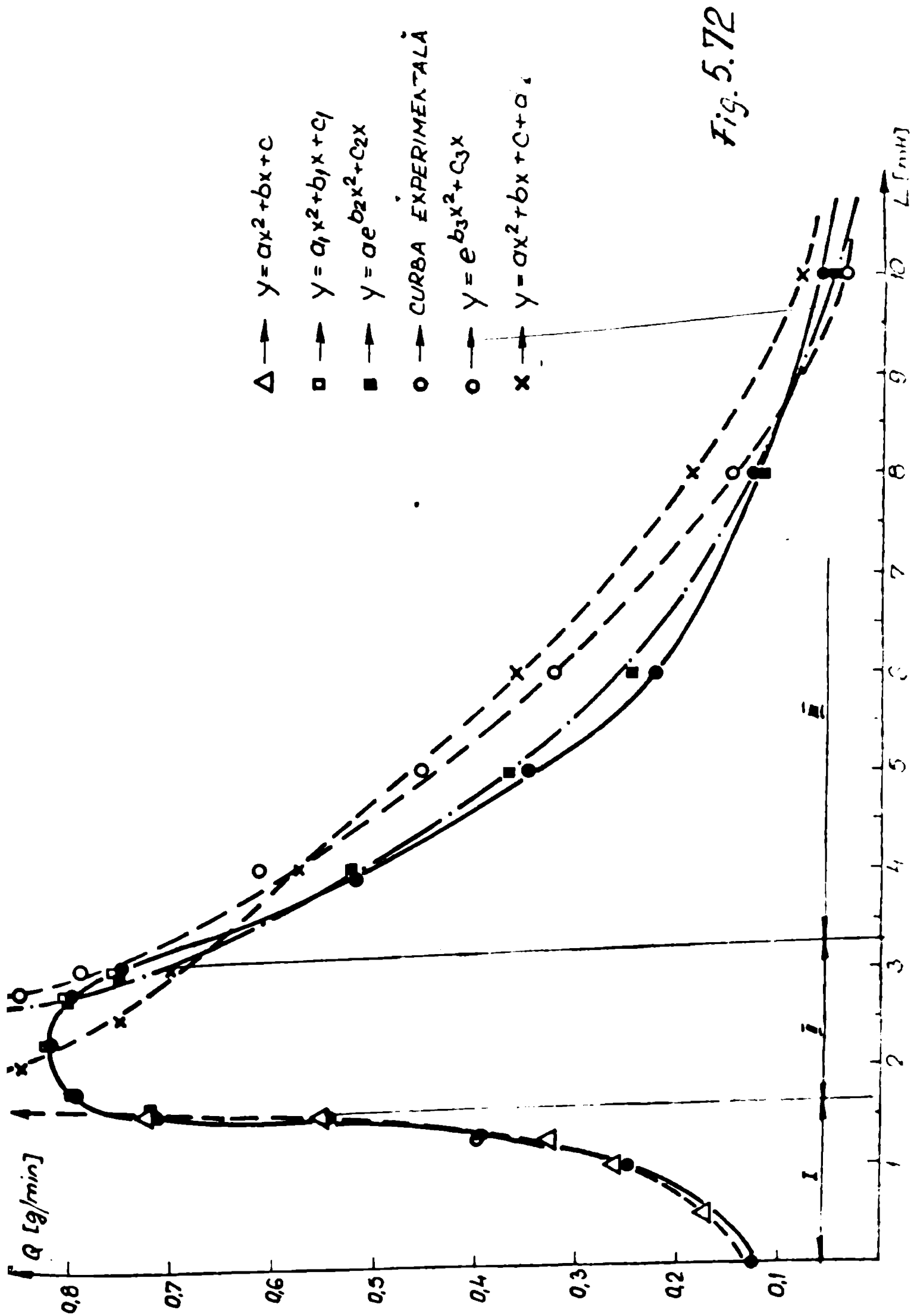


Fig. 5.72

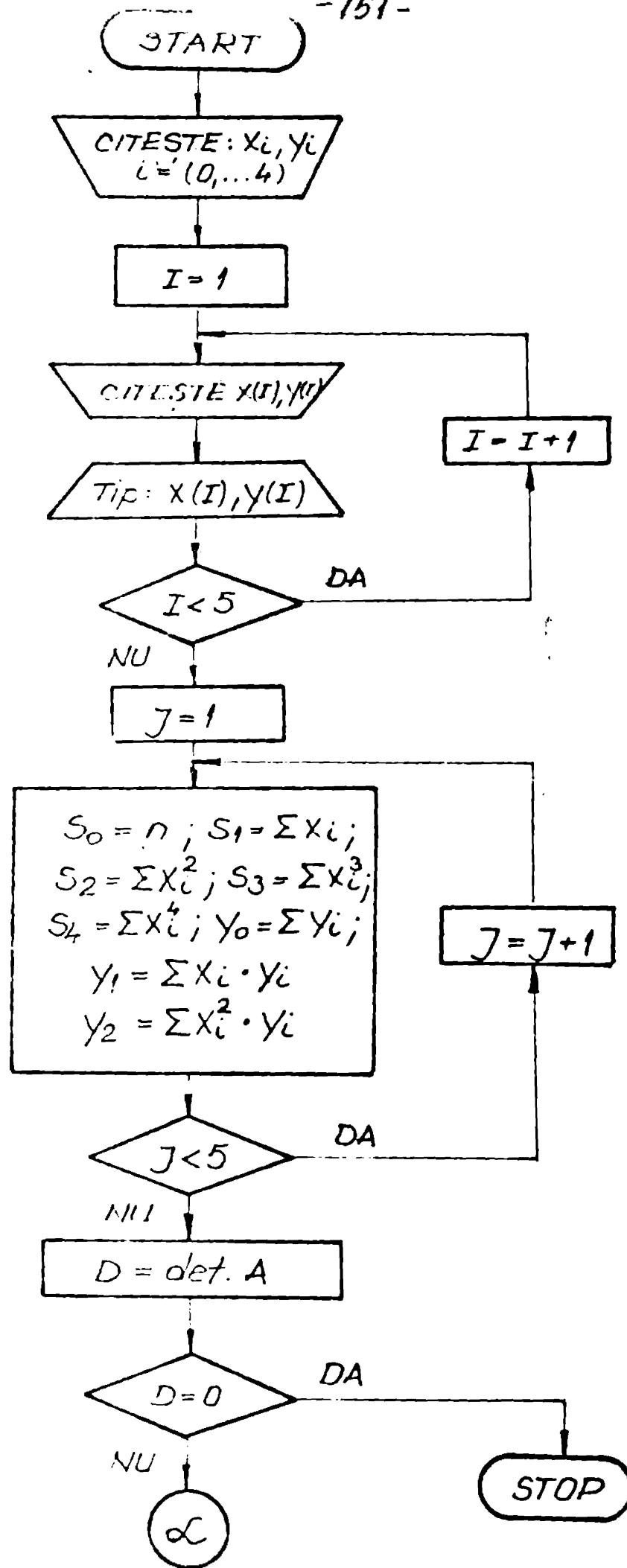


Fig. 5.73.

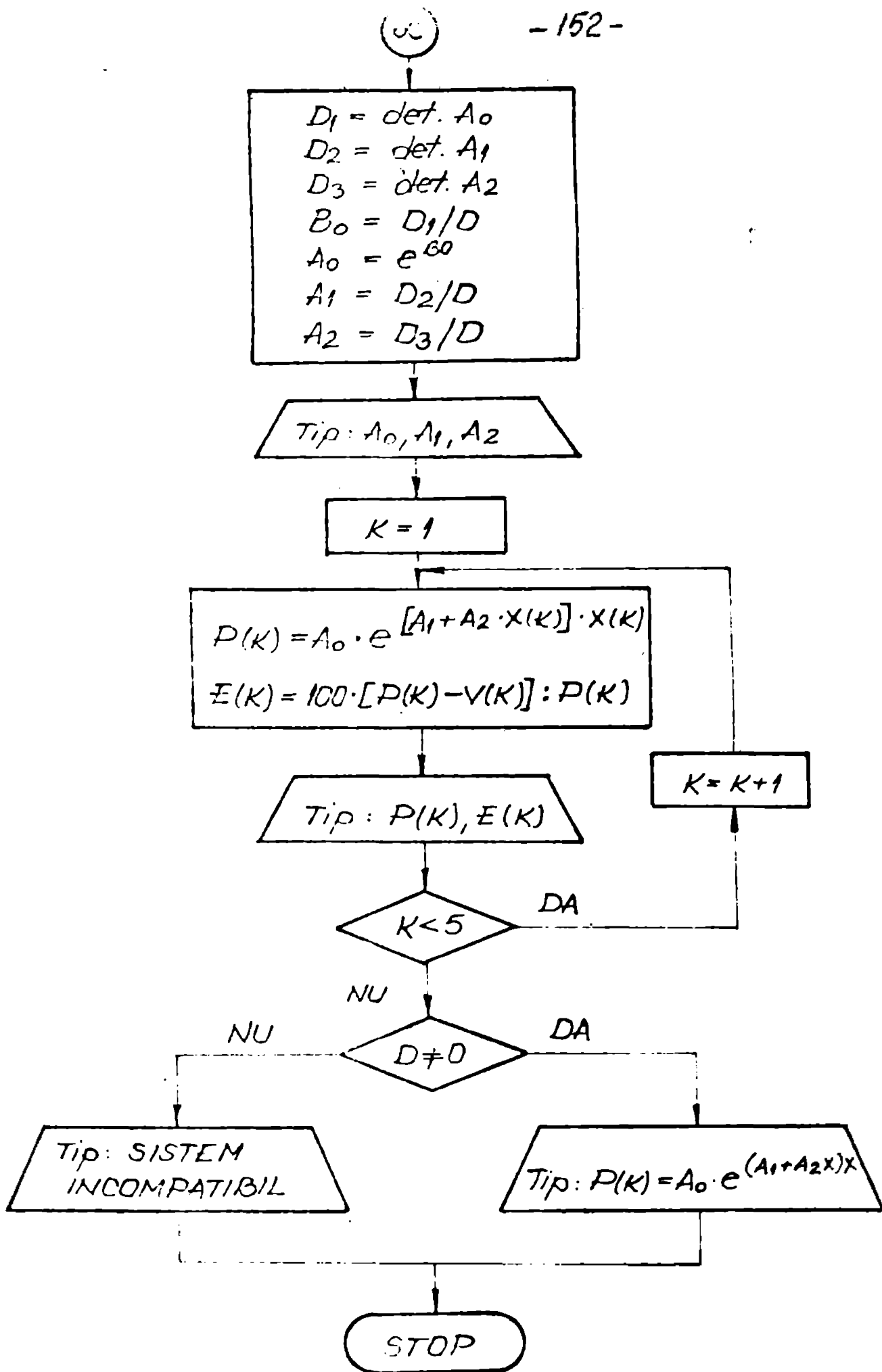


Fig. 5.73

pentru ramura urcătoare a dependenței $Q_{OP} = f(L)$ coeficienții de regresie pentru OT din Cu, Fe și OL și pentru cele două viteze relative de 6 și 20 m/s.

În mod similar s-a rezolvat a doua porțiune caracteristică zonei de maxim pentru toate cele trei materiale ale OT-ului, pentru ambele viteze și cele patru serturi de carburi metalice.

Pentru porțiunea a treia caracteristică zonei coboritoare a zonei curbei, s-a stabilit ecuația de regresie:

$$Q_{OP} = A_1 e^{B_1 x + C_1 x^2} \quad (127)$$

în care $x \in [\gamma, \delta]$. În scopul determinării coeficienților de regresie se logaritizează expresia (127) obținându-se:

$$\ln Q_{OP} = \ln A_1 + B_1 x + C_1 x^2 \quad (128)$$

netînd cu $\ln Q_{OP} = Y_i$ și $\ln A_1 = A$ se calculează valorile lui Y_i pentru $i = \overline{1, n}$ din determinările experimentale ale lui Q_1 ca în continuare să se efectueze calculele în vederea determinării coeficienților de regresie A_1 , B_1 și C_1 prin intermediul ecuațiilor normale, analoage cu (115); expresia lui $Y_1 = A + B_1 x + C_1 x^2$ fiind tot un polinom de gradul doi, rezolvarea s-a făcut pe calculator după schema logică prezentată în fig.5.73. Rezultatele obținute sînt trecute centralizat în tabelele 5.15., 5.16. și 5.17. pentru aceleași condiții și perechi de materiale ca în cazurile precedente.

Curbele de variație a rugozității prelucrării prezintă pentru toate perechile de materiale experimentate o variație exponențială de forma ecuației (127) care, rezolvată pe calculator după schema logică prezentată în fig.5.73., se prezintă numai pentru obiectul de transfer din cupru și obiectele supuse prelucrării din P 10, 20, 30, 40 cu ecuațiile de regresie cuprinse în tab.5.18.

Determinarea și prezentarea tuturor expresiilor analitice ale curbelor de dependență dintre principalii parametri primari și caracteristicile tehnologice de prim rang, în condițiile utilizării circuitelor electrice cu structură modificată (R, L sau C) permit determinarea rapidă a acestora, diminuând la minimum numărul încercărilor experimentale necesare stabilirii tehnologiilor de prelucrare prin eroziune electrică complexă a aliajelor dure. Totodată existența expresiilor matematice a funcțiilor de legătură deschide calea spre efectuarea calculelor de optimizare a tehnologiilor de prelucrare prin eroziune electrică complexă.

L	P10				P20				
	$v_r = 6m/s$		$v_r = 20m/s$		$v_r = 6m/s$		$v_r = 20m/s$		
	Q	E	Q	E	Q	E	Q	E	
mH	g/min.	%	g/min.	%	g/min.	%	g/min.	%	
0	0,1013	-11,02	0,1510	-10,16	0,1172	-10,30	0,1828	-9,80	
1	0,2563	11,16	0,5048	4,61	0,3134	7,38	0,4013	-2,15	
1,25	0,4088	-0,27	0,5793	-3,56	0,3762	-1,009	0,4454	-1,21	
1,5	0,5378	-12,28	0,6347	-0,82	0,4338	-6,01	0,7479	4,40	
2	0,8449	3,66	0,6881	0,75	0,5340	1,94	0,7132	-3,71	
$P(6) = 0,01 + 0,1549x + 0,1312x^2$					$P(6) = 0,011 + 0,3422x - 0,0405x^2$				
$P(20) = 0,0154 + 0,6424x - 0,153x^2$					$P(20) = 0,018 + 0,7617x - 0,344x^2$				
2	0,8144	0,06	0,6430	0,46	0,4616	0,35	0,3875	-2,41	
2,25	0,8261	0,07	0,6751	-1,16	0,5183	-1,03	0,4288	4,40	
2,5	0,8193	-0,09	0,6518	0,29	0,5162	0,24	0,4432	-1,69	
2,75	0,7941	-0,11	0,6195	1,54	0,4936	0,80	0,3857	-1,11	
3	0,7504	0,05	0,5733	-1,15	0,3885	-0,37	0,2136	1,03	
$P(6) = 0,057 + 0,6736x - 0,1475x^2$					$P(6) = 0,1947 + 0,6807x - 0,1621x^2$				
$P(20) = 0,2149 + 0,4513x - 0,1106x^2$					$P(20) = 0,2129 + 0,4605x - 0,2302x^2$				
3	0,7430	-0,92	0,5280	1,52	0,3801	-0,044	0,1827	1,49	
4	0,5642	-9,89	0,3173	6,02	0,2481	-4,77	0,1619	1,21	
6	0,2902	7,35	0,1498	9,30	0,1355	7,71	0,1367	0,56	
8	0,1282	-9,16	0,1006	-9,2	0,1031	-6,63	0,1271	-2,22	
10	0,0486	2,2	0,0965	-1,00	0,1011	1,87	0,1301	0,99	
$P(6) = 1,35 \text{ Exp. } (-0,14x - 0,011x^2)$					$P(6) = 2,24 \text{ Exp. } (-0,716x + 0,041x^2)$				
$P(20) = 4,14 \text{ Exp. } (-0,81x + 0,044x^2)$					$P(20) = 0,3 \text{ Exp. } (-0,20x + 0,012x^2)$				

L	P30				P40			
	$v_r = 6\text{ m/s}$		$v_r = 20\text{ m/s}$		$v_r = 6\text{ m/s}$		$v_r = 20\text{ m/s}$	
	Q	E	Q	E	Q	E	Q	E
mH	g/min	%	g/min.	%	g/min.	%	g/min.	%
0	0,1321	-0,915	0,2527	-0,82	0,1211	-0,87	0,2289	-3,58
0,25	0,1515	-12,18	0,3775	-8,6	0,1444	-4,56	0,4457	0,95
0,5	0,2545	1,79	0,6091	1,50	0,2323	9,61	0,7227	-5,15
0,75	0,3223	3,83	0,7202	2,80	0,2757	2,07	0,8539	6,31
1,0	0,3548	-1,95	0,7106	-1,63	0,2746	-2,39	0,8392	-2,47
$P(6) = 0,0139 + 0,6338x - 0,2821x^2$				$P(6) = 0,0121 + 0,6181x - 0,0355x^2$				
$P(20) = 0,0252 + 1,6502x - 0,9648x^2$				$P(20) = 0,0228 + 1,983x - 1,1667x^2$				
0,5	0,2838	-2,16	0,611	0,82	0,2130	1,42	0,7447	-2,04
0,75	0,3286	5,66	0,6954	-3,53	0,2638	-2,33	0,8328	3,94
1	0,3428	-5,52	0,7301	0,94	0,2814	0,08	0,8568	-0,85
1,25	0,3268	2,02	0,7154	2,15	0,2658	2,19	0,8168	-2,83
1,5	0,2798	-0,05	0,6501	-1,36	0,2170	-1,36	0,7127	1,79
$P(6) = 0,1027 + 0,4842x - 0,2441x^2$				$P(6) = 0,0118 + 0,5351x - 0,2658x^2$				
$P(20) = 0,2940 + 0,8322x - 0,5961x^2$				$P(20) = 0,3664 + 0,9929x - 0,5124x^2$				
1,5	0,2781	-0,68	0,5867	-12,4	0,2081	-5,68	0,7412	5,56
2	0,2451	7,33	0,5162	12,6	0,1801	12,01	0,5750	-6,08
4	0,1624	7,11	0,3423	6,41	0,1124	1,90	0,2484	-5,57
6	0,1247	-9,19	0,2670	-13,36	0,0832	-9,30	0,1424	5,963
10	0,1144	1,78	0,2646	2,82	0,0786	2,22	0,1092	-1,1817
$P(6) = 0,4288 \text{ Exp.}(-0,3164x + 0,0184x^2)$				$P(6) = 0,3424 \text{ Exp.}(-0,3838x + 0,021x^2)$				
$P(20) = 0,915 \text{ Exp.}(-0,3272x + 0,02x^2)$				$P(20) = 1,7652 \text{ Exp.}(-0,631 + 0,035x^2)$				

CIRCUIT INDUCTIV - DT - CUPRU

TABELUL 5.16.

L	P 10				P 20				
	$v_T = 6 \text{ m/s}$		$v_T = 20 \text{ m/s}$		$v_T = 6 \text{ m/s}$		$v_T = 20 \text{ m/s}$		
	Q	E	Q	E	Q	E	Q	E	
mH	g/min	%	g/min	%	g/min	%	g/min	%	
0	0,1913	12,52	0,3787	-2,95	0,2573	-1,92	0,4687	-1,16	
0,5	0,2591	-13,48	0,4814	6,53	0,5266	3,16	0,5245	2,76	
1	0,4514	0,32	0,6044	-3,49	0,7074	-3,64	0,6062	-2,63	
1,25	0,5950	15,96	0,6133	2,16	0,7615	1,90	0,6343	0,26	
1,5	0,7701	-7,77	0,7474	2,37	0,7995	-0,06	0,6538	0,59	
$P_6 = 0,1931 + 0,0056X + 0,2526X^2$					$P_6 = 0,2573 + 0,6213X - 0,1772X^2$				
$P_{20} = 0,3786 + 0,1856X + 0,0401X^2$					$P_{20} = 0,4087 + 0,2655X - 0,0681X^2$				
1	0,3942	-14,14	0,62	-0,46	0,7232	-1,36	0,6151	-1,14	
1,25	0,6139	8,55	0,6918	0,26	0,7285	2,41	0,6415	1,48	
1,5	0,7836	-5,91	0,7353	0,72	0,7989	-0,63	0,6532	0,49	
2	0,9732	-2,55	0,7452	-0,66	0,7915	-0,82	0,6326	1,45	
2,5	0,9630	1,35	0,6522	0,34	0,7129	0,44	0,5534	0,62	
$P_6 = -0,9839 + 1,7778X - 0,3996X^2$					$P_6 = -0,3545 + 0,519X - 0,1502X^2$				
$P_{20} = 0,0888 + 0,7398X - 0,2057X^2$					$P_{20} = 0,3628 + 0,3694X - 0,1173X^2$				
2,5	0,9412	-0,92	0,7015	-7,35	0,7071	-0,39	0,5606	1,89	
3	0,7511	-6,5	0,5191	-2,09	0,5163	3,16	0,4119	-1,96	
4	0,4980	12,22	0,3063	-13,19	0,303	-4,88	0,241	-0,78	
6	0,2573	-7,04	0,1441	8,54	0,1429	2,23	0,138	-0,98	
10	0,1310	0,98	0,1059	-1,42	0,1288	-0,31	0,0913	-0,17	
$P_6 = 3,5586 \text{ Exp}(-0,599X + 0,269X^2)$					$P_6 = 5,2426 \text{ Exp}(-0,9448X + 0,057X^2)$				
$P_{20} = 4,6044 \text{ Exp}(-0,877X + 0,05X^2)$					$P_{20} = 3,9137 \text{ Exp}(-0,9113X + 0,0536X^2)$				

CIRCUIT INDUCTIV - OT-CUPRU

TABELUL 5.16 (cont.)

L	P30				P40				
	$v_r = 6\text{ m/s}$		$v_r = 20\text{ m/s}$		$v_r = 6\text{ m/s}$		$v_r = 20\text{ m/s}$		
	Q	E	Q	E	Q	E	Q	E	
mH	g/min.	%	g/min.	%	g/min.	%	g/min.	%	
0	0,2618	-0,83	0,3162	-3,23	0,1666	3,10	0,3184	-2,24	
0,5	0,2817	2,40	0,6302	4,80	0,1863	-7,32	0,4701	4,28	
1	0,3550	-2,19	0,7902	-3,57	0,2322	1,85	0,6176	-2,22	
1,25	0,4116	0,39	0,8157	-0,39	0,2649	5,64	0,6898	-1,47	
1,5	0,4815	0,32	0,8014	1,42	0,3042	-3,54	0,7609	1,43	
$P_6 = 0,2618 - 0,0134x + 0,1056x^2$					$P_6 = 0,1664 + 0,0131x + 0,0523x^2$				
$P_{20} = 0,3162 + 0,7803x - 0,3046x^2$					$P_{20} = 0,3184 + 0,3075x - 0,0083x^2$				
1	0,3385	-7,12	0,8348	1,73	0,2212	-3,0	0,6240	-1,12	
1,25	0,4331	5,34	0,8084	-1,30	0,2677	6,63	0,7047	0,67	
1,5	0,5090	6,69	0,7662	-3,09	0,3016	-4,44	0,7622	1,60	
2	0,6046	-7,18	0,6344	4,78	0,3111	0,68	0,8075	-1,87	
2,5	0,6254	2,47	0,4394	-2,40	0,3099	-0,005	0,7502	0,69	
$P_6 = 0,2267 + 0,7149x - 0,1496x^2$					$P_6 = -0,0917 + 0,4145x - 0,1015x^2$				
$P_{20} = 0,7823 + 0,1789x - 0,1264x^2$					$P_{20} = 0,0694 + 0,74x - 0,1858x^2$				
2,5	0,6158	0,94	0,4702	4,30	0,3204	3,25	0,7640	1,17	
3	0,4869	-2,68	0,4018	-7,02	0,2780	-7,91	0,6151	-2,41	
4	0,3175	2,51	0,3018	2,18	0,2137	5,91	0,4138	1,57	
6	0,1601	-0,98	0,1904	0,96	0,1374	-2,03	0,2171	-0,42	
10	0,0802	0,12	0,1186	-0,11	0,0794	0,22	0,1082	0,03	
$P_6 = 2,4645 \text{ Exp. } (-0,6254x + 0,0283x^2)$					$P_6 = 0,7238 \text{ Exp. } (-0,3609x + 0,014x^2)$				
$P_{20} = 1,187 \text{ Exp. } (-0,417x + 0,0186x^2)$					$P_{20} = 2,7179 \text{ Exp. } (-0,5693x + 0,0247x^2)$				

CIRCUIT INDUCTIV - OT - FONTA

TABELUL 517.

L	P10				P20				
	$v_r = 6 \text{ m/s}$		$v_r = 20 \text{ m/s}$		$v_r = 6 \text{ m/s}$		$v_r = 20 \text{ m/s}$		
	Q	E	Q	E	Q	E	Q	E	
mm	g/min.	%	g/min.	%	g/min.	%	g/min.	%	
0	0,1927	-0,63	0,2325	-0,94	0,2667	0,81	0,3135	-1,16	
0,5	0,3491	-0,22	0,3624	2,05	0,3260	-1,20	0,4261	2,62	
1	0,5431	4,26	0,4548	-2,58	0,4521	-0,68	0,4676	-2,61	
1,25	0,6542	-5,46	0,4869	1,41	0,4709	2,32	0,4617	0,37	
1,5	0,7446	1,89	0,5096	-0,07	0,5141	-1,14	0,4380	0,68	
$P_6 = 0,1927 + 0,2753x + 0,7502x^2$					$P_6 = 0,2167 + 0,2207x - 0,0203x^2$				
$P_{20} = 0,2325 + 0,2974x - 0,7517x^2$					$P_{20} = 0,3135 + 0,2963x - 0,1422x^2$				
1	0,5271	1,36	0,4468	-4,42	0,4197	-1,98	0,4225	0,54	
1,25	0,6710	-2,81	0,4083	3,67	0,4753	3,23	0,4578	-0,46	
1,5	0,7739	1,79	0,5349	4,66	0,5162	-0,72	0,4311	-0,89	
2	0,8565	-0,24	0,5636	-6,45	0,5538	-1,04	0,3713	1,39	
2,5	0,7749	-0,01	0,5328	2,41	0,5325	0,48	0,3031	-0,59	
$P_6 = 0,4587 + 1,3143x - 0,3283x^2$					$P_6 = 0,0501 + 0,4873x - 0,1177x^2$				
$P_{20} = 0,0294 + 0,4732x - 0,1188x^2$					$P_{20} = 0,5599 - 0,0606x - 0,0166x^2$				
2,5	0,7983	3,006	0,5493	5,34	0,5166	-2,59	0,3053	0,11	
3	0,6294	1,40	0,3951	-3,77	0,4222	5,27	0,2669	-4,87	
4	0,4072	-9,6	0,2213	-5,68	0,2882	-3,95	0,2030	7,74	
6	0,1991	4,97	0,0954	4,38	0,1462	1,13	0,1149	-4,07	
10	0,0912	-0,87	0,0635	-0,74	0,0530	-0,11	0,0337	0,56	
$P_6 = 3,1992 \text{ Exp}(-0,6217x + 0,2659x^2)$					$P_6 = 1,5758 \text{ Exp}(-0,4817x + 0,014x^2)$				
$P_{20} = 4,25 \text{ Exp}(-0,951x + 0,053x^2)$					$P_{20} = 0,5817 \text{ Exp}(-0,248x - 0,035x^2)$				

CIRCUIT INDUCTIV - OT - FONTA

TABELUL 5.17 (cont.)

L	P30				P40				
	$v_r = 6m/s$		$v_r = 20m/s$		$v_r = 6m/s$		$v_r = 20m/s$		
	Q	E	Q	E	Q	E	Q	E	
mm	g/min.	%	g/min.	%	g/min.	%	g/min.	%	
0	0,3053	-0,01	0,5657	-0,27	0,1957	0,28	0,3812	0,059	
0,5	0,4667	0,37	0,6850	0,74	0,3292	-0,23	0,5990	-0,06	
1	0,5196	-2,19	0,7266	-0,97	0,3762	-1,005	0,7104	-0,45	
1,25	0,5054	3,06	0,782	0,44	0,3672	,98	0,7251	0,71	
1,5	0,4641	-1,26	0,6903	0,05	0,3367	-0,92	0,7128	-0,30	
$P_6 = 0,3053 + 0,4312X - 0,2169X^2$					$P_6 = 0,1957 + 0,3534X - 0,1729X^2$				
$P_{20} = 0,5657 + 0,3164X - 0,155X^2$					$P_{20} = 0,3812 + 0,5456X - 0,2164X^2$				
1	0,5171	-2,64	0,7526	2,5	0,3886	2,23	0,7095	-0,58	
1,25	0,5032	2,63	0,7048	-1,44	0,3555	-1,38	0,7220	0,40	
1,5	0,4862	3,33	0,6523	-5,77	0,3231	-5,19	0,7218	0,95	
2	0,4433	-5,52	0,5331	8,25	0,2646	7,51	0,6763	-1,28	
2,5	0,3887	2,24	0,3949	-3,82	0,2131	-3,20	0,5730	0,52	
$P_6 = 0,5447 - 0,0039X - 0,023X^2$					$P_6 = 0,5406 - 0,1358X + 0,0139X^2$				
$P_{20} = 0,8962 - 0,1056X - 0,0379X^2$					$P_{20} = 0,5114 + 0,3137X - 0,1156X^2$				
2,5	0,3651	-4,07	0,4041	-1,45	0,2188	-0,73	0,5674	-0,45	
3	0,2977	5,96	0,3575	2,12	0,1913	0,68	0,497	3,42	
4	0,2074	-2,05	0,2873	-0,6	0,1513	0,40	0,3868	-5,23	
6	0,1212	-0,23	0,2058	-0,14	0,1067	-0,43	0,2488	2,37	
10	0,0869	0,10	0,1661	0,04	0,0859	0,07	0,1281	-0,33	
$P_6 = 1,2767 \text{Exp}(-0,578X + 0,0309X^2)$					$P_6 = 0,4919 \text{Exp}(-0,375X + 0,02X^2)$				
$P_{20} = 0,8483 \text{Exp}(-0,339X + 0,0173X^2)$					$P_{20} = 1,1813 \text{Exp}(-0,317X + 0,0094X^2)$				

CIRCUIT INDUCTIV - 05 - CUPRU

TABELUL 5.18.

L	P10				P20				
	$v_r = 6m/s$		$v_r = 20m/s$		$v_r = 6m/s$		$v_r = 20m/s$		
	R_0	E	R_0	E	R_0	E	R_0	E	
mH	μm	%	μm	%	μm	%	μm	%	
0	2,2870	-9,3	1,7980	-0,11	8,471	-7,11	1,6686	-1,89	
1	1,9106	5,74	1,5846	-0,96	1,9299	6,73	1,4954	-0,30	
2	1,6353	6,2	1,4208	1,46	1,7541	3,08	1,3409	4,47	
4	1,2823	-0,92	1,2027	0,22	1,4980	-0,13	1,1796	-1,72	
6	1,1178	-3,34	1,0906	-0,85	1,3374	-1,67	1,0865	-1,23	
10	1,1155	2,26	1,1024	0,22	1,2177	1,46	1,1059	0,53	
$P_6 = 2,287 \text{Exp}(-0,1919x + 0,012x^2)$					$P_6 = 2,1471 \text{Exp}(-0,1121x^2 + 0,0055x^2)$				
$P_{20} = 1,798 \text{Exp}(-0,1349x + 0,0086x^2)$					$P_{20} = 1,6684 \text{Exp}(-0,1170x + 0,0075x^2)$				
P30				P40					
0	1,6953	-0,27	1,2634	2,81	1,6684	-1,89	1,0958	9,49	
1	1,5644	-2,27	1,0565	5,35	1,4954	-0,30	0,9613	6,38	
2	1,4557	3,82	1,9178	1,88	1,3609	4,47	0,8512	6,67	
4	1,2923	-0,59	0,7274	-3,10	1,1796	-1,72	0,7157	2,19	
6	1,1861	-1,17	0,5497	-7,72	1,0865	-1,23	0,6378	8,7	
10	1,1044	0,37	0,7181	2,57	1,1059	0,53	0,6161	2,61	
$P_6 = 1,6953 \text{Exp}(-0,0845x + 0,0041x^2)$					$P_6 = 1,6684 \text{Exp}(-0,117x + 0,0075x^2)$				
$P_{20} = 1,2634 \text{Exp}(-0,1923x + 0,0135x^2)$					$P_{20} = 1,095 \text{Exp}(-0,1391x + 0,081x^2)$				

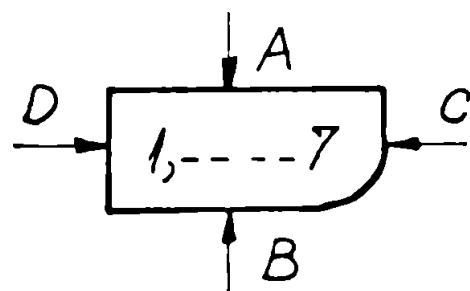
5.9. Aspecte metalurgice ale compactării metalice din grupa P în cazul prelucrării prin EEC

Pentru a întregi aspectul compactării în prelucrarea prin EEC a sorturilor de carburi metalice din grupa P s-au realizat o serie de investigații prin intermediul examenului metalografic structural. Pentru aceasta un număr de șapte eșantioane din sortul P 20 s-au prelucrat în 28 regimuri diferite prin EEC, condiții prezentate în tabelul 5.19.

TABELUL 5.19

Nr. prob	FATE TĂ	VITEZĂ		DENSIT. CURENT		L mH	C μF
		m/s		A			
1	A	6		0,2			
	B	6		0,35			
	C		20	0,35	10	640	
	D	6		0,2			640
2	A		20	0,2			
	B		20	0,35			
	C	6		0,2	1	32	
	D		20	0,2			640
3	A	6		0,2	1		
	B		20	0,2	10		
	C	6		0,35	10	32	
	D		20	0,2	1	32	
4	A		20	0,2	1		
	B	6		0,35	10		
	C		20	0,35	10	32	
	D	6		0,2			32

Nr. prob	FATE TĂ	VITEZĂ		DENSIT. CURENT		L mH	C μF
		m/s		A			
5	A	6		0,35	1		
	B		20	0,35	10		
	C	6		0,2	10	640	
	D		20	0,2			32
6	A		20	0,35	1		
	B	6		0,2	0,35	10	32
	C		20	0,2	10	640	
	D	6		0,2	1	640	
7	A	6		0,2	10		
	B		20	0,2	10	32	
	C	6		0,35	10	640	
	D		20	0,2	1	640	



În urma prelucrării au fost supuse unui proces de spregătire metalografică și stocate cu soluția Murkani, examinarea metalografică fi-

cându-se la un microscop optic cu lumină reflectată tip 2.

Examenul microscopic a pus în evidență prezența unor fisuri ce se dezvoltă din zona activă a craterelor spre interiorul materialului neafectat termic, pe direcții preferențiale ce coincid fie cu o zonă de coresitate sporită, fie cu o zonă de aglomerare a liantului, prezente din procesul de fabricație al produselor ori născute ca urmare a proceselor termice anterior dezvoltate în stratul marginal. Frecvența indicată de apariție a acestora se produce în condițiile utilizării circuitelor electrice cu structură rezistivă la orice valoare a vitezei relative și la densități de curent mai mari de $0,25 \text{ A/mm}^2$ fig.5.74. În aceeași măsură fisurile sînt prezente și în cazul utilizării circuitelor electrice cu structură capacitivă indiferent de corelarea mărimilor caracteristice ale perechilor de C și v_r după cum rezultă din fig.5.75. la care $v_r = 6 \text{ m/s}$; $j = 0,2 \text{ A/mm}^2$ și $C = 640 \mu\text{F}$; în fig.5.76. la care $v_r = 6 \text{ m/s}$; $j = 0,2 \text{ A/mm}^2$ și $C = 32 \mu\text{F}$ și în fig.5.77. la care $v_r = 20 \text{ m/s}$; $j = 0,2 \text{ A/mm}^2$ și $C = 640 \mu\text{F}$. Comportare asemănătoare prezintă și circuitele inductiv capacitiv pentru orice corelație între L și C .

În cazul utilizării circuitelor cu structură pur inductivă prezența fisurilor apare ca un caz particular, accidental, generat de neuniformitatea materialului în care microfisura era prezentă din procesul anterior de fabricație. În urma procesului de prelucrare prin EBC indiferent de regimul electric, de valoarea inductivității sau a vitezei relative în stratul marginal nu sînt sesizate fisuri după cum rezultă și din fig.5.78. în care $v_r = 20 \text{ m/s}$; $j = 0,35 \text{ A/mm}^2$ și $L = 10 \text{ mH}$; în fig.5.79. pentru $v_r = 20 \text{ m/s}$; $j = 0,35 \text{ A/mm}^2$ și $L = 1 \text{ mH}$ ca și în fig.5.80 în care $v_r = 6 \text{ m/s}$; $j = 0,2 \text{ A/mm}^2$ și $L = 1 \text{ mH}$.

În afara prezenței și al modului de propagare al fisurilor din figurile mai sus amintite indiferent de structura circuitului electric se poate observa că în urma efectelor termice dezvoltate de descărcările electrice în impuls se produce o serie de modificări mai mult sau mai puțin intense, ce afectează zona stratului de suprafață pe o adîncime de $0,02 \pm 0,03 \text{ mm}$. În această grosime de strat se observă o ușoară tendință spre rarefiere a materialului prin creșterea porozității, mai evidentă fiind în fig.5.77., cu evidentă tendință de grupare și formare a unor noi amorse de microfisuri avînd direcții de propagare paralele cu suprafața prelucrată, putînd provoca în timpul procesului de prelucrare prin EBC excavații de material prin efecte pur mecanice, dezvoltate pe fondul unor caracteristici termofizice foarte diferențiate ale fazelor în echilibru.

În același strat este evidentă tendința de mîrunțire a carboni-



Fig. 5.74

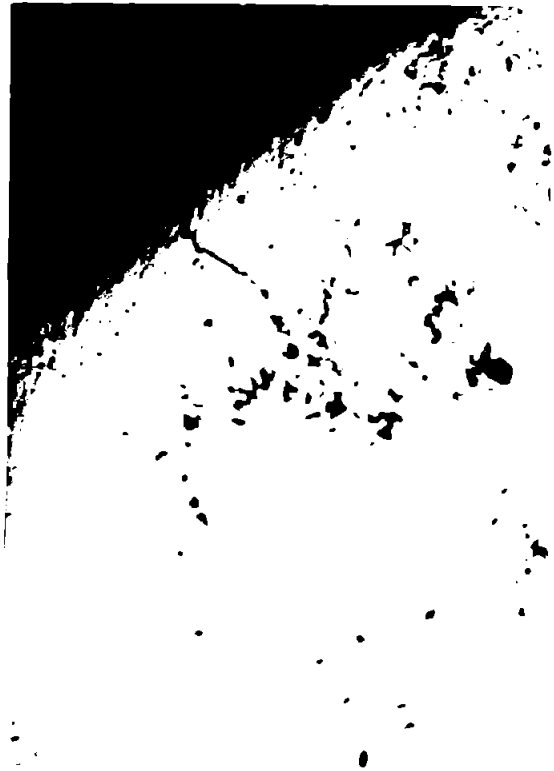


Fig. 5.75



Fig. 5.76



Fig. 5.77



Fig. 5.78.



Fig. 5.79.

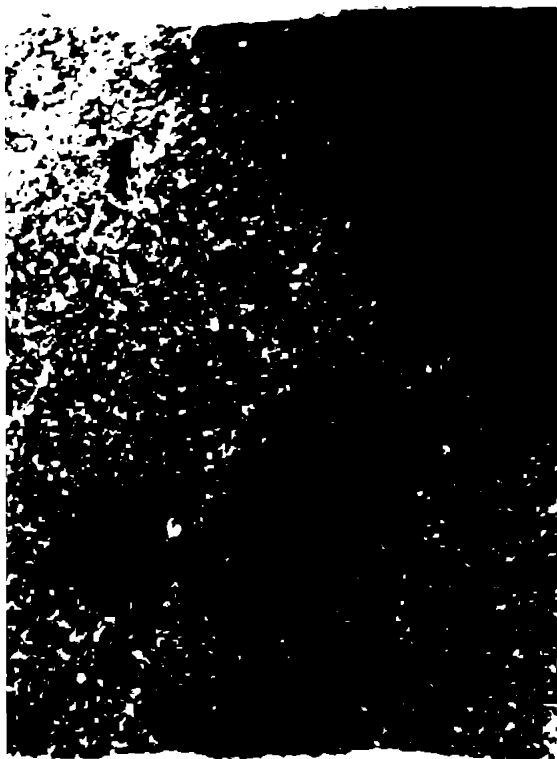


Fig. 5.80.

ler concomitentă cu un proces de reorganizare spațială posibilă de realizat în condițiile prezenței unor supratemperaturi și a recristalizării în care procesele de difuzie dețin rolul determinat. Procesele de difuzie în cazul aliajelor cu carburi complexe de tipul $CV - TiC - TaC - Co$ (cazul grupei P) pot provoca în funcție de afinitatea reciprocă procese de dizolvare a carburii de wolfram în TiC sau TaC și difuzii reciproce între TiC și TaC 20 modificări ce se reflectă în proprietățile de utilizare a acestor materiale.

Încercările de microduritate efectuate cu metoda Vickers nu a evidențiat o modificare substanțială a durității în acest strat

în comparație cu duritatea materialului de bază, posibilă și cauzată de neuniformitatea structurală.

Caracteristicile metalografice efectuate vin să întregesc și să confirme recomandările tehnologice cu privire la restricțiile impuse în prelucrarea carburilor metalice din grupa P prin EEC, în sensul utilității limitării densității de curent sub $0,2 \div 0,25 \text{ A/mm}^2$ și la excluderea din folosința curentă a circuitelor electrice cu structură capacitivă sau inductiv-capacitivă; pe de altă parte se demonstrează strânsa interdependență dintre factorii și parametrii procesului, răspunzători fiind de toate modificările suferite

de OP în procesul prelucrării, interdependențe greu de stăpinit.

Elucidarea proceselor și a fenomenelor întinse ce au loc în stratul de suprafață afectat termic al carburilor metalice din grupa P, ridică probleme deosebite constituind o temă foarte generoasă ce se impune a fi rezolvată cât mai rapid pentru a se putea utiliza la capacitatea reală propriietățile de exploatare a acestor materiale.

CAPITOLUL 6

Concluzii

In condițiile în care elaborarea și utilizarea materialelor cu caracteristici mecanice și termice superioare este tot mai frecventă, creșterea aplicabilității și a ariei de răspândire a tehnologiilor neconvenționale în general și a prelucrării prin eroziune electrică complexă în special, constituie o strictă necesitate. Aceasta poate fi realizată în prezent acționându-se în următoarele direcții:

- elucidarea intimității proceselor și fenomenelor fundamentale în scopul cunoașterii și stăpânirii procesului de prelucrare, a corelării parametrilor și factorilor în vederea realizării unor caracteristici tehnologice superioare;

- diversificarea gamei operațiilor tehnologice prin asigurarea desfășurării procesului eroziv în noi condiții cinematice;

- conceperea și realizarea a noi utilaje tehnologice, concepute cu îmbunătățirea caracteristicilor funcționale la cele existente printr-o automatizare avansată a prelucrării;

- elaborarea de noi tehnologii în vederea asigurării caracteristicilor tehnologice finale la consumuri energetice și de materiale scăzute atât în procesele tehnologice de fabricare cât și în cazurile recuperării sau a recondiționării unor produse;

- reducerea cheltuielilor prelucrărilor prin mărirea productivității, a micșorării consumului de materiale deficitare și a utilizării unor înlocuitori în construcția obiectelor de transfer, în funcție de dinamica generării suprafeței, de operațiile tehnologice cât și de caracteristicile tehnologice finale impuse.

Incercările autorului de a participa la rezolvarea acestor probleme s-au concretizat în prezenta lucrare de doctorat prin următoarele contribuții originale:

A. IN DOMINIUL CERCETĂRII FUNDAMENTALE

1. Abordarea inedită a prelucrării prin eroziune electrică complexă, sub aspectul desfășurării dinamice a proceselor elementare și a fenomenelor fundamentale, studiate prin prisma teoriei contactelor, pentru cazul particular al microcontactelor singulare cît și pentru cazul real complex al microcontactelor multiple.

2. Definirea etapelor și stadiilor de evoluție a fenomenelor fundamentale și a proceselor elementare, stabilindu-se expresiile matematice de interdependență dintre mărimile caracteristice ce participă în mod direct sau indirect la dezvoltarea și stabilitatea procesului eroziv.

3. Elaborarea unui criteriu de departajare a mărimilor caracteristice ce determină evoluția procesului de prelucrare prin eroziune electrică complexă, clasificându-le în grupe distincte de parametri și factori, evidențiind implicațiile lor în determinarea caracteristicilor tehnologice.

4. Ordonarea și definirea unor noi caracteristici tehnologice la prelucrarea prin eroziune electrică complexă, oferind un sistem uniform de apreciere a transformărilor suferite de obiectul supus prelucrării și a celui de transfer.

5. Studiul și determinarea influenței pe care modificările structurii circuitului electric cu parametri concentrați R , L sau C o produce asupra procesului de prelucrare prin eroziune electrică complexă cît și asupra caracteristicilor tehnologice finale, efectuat prin prisma evoluției fenomenelor fundamentale în procesele tranziției determinate de caracterul rezistiv, inductiv sau capacitiv al circuitelor electrice.

6. Definirea în cazul utilizării circuitelor electrice cu structură modificată a mărimilor caracteristice de "constantă de timp a procesului" și "constantă de timp a circuitului" drept parametri de referință în determinarea și evoluția fenomenelor fundamentale a proceselor elementare, cît și a caracteristicilor tehnologice și a stabilității procesului eroziv.

7. Stabilirea mecanismului și a condițiilor complexe de formare a peliculei pasivante determinându-se legea de variație, expresia analitică și valorile minime și maxime ale rezistenței electrice proprii peliculei pasivante, precum și funcția de regle-

re a procesului eroziv prin limitarea punctelor de contact.

8. Stabilirea legilor de variație a parametrilor electrici în cazul circuitelor electrice cu structură modificată cărora li se determină expresiile matematice aferente evoluției fenomenelor fundamentale în cele trei stadii caracteristice de conectare, contact și rupere de contact.

9. Evidențierea utilității circuitelor electrice cu structură inductivă în prelucrarea corpurilor de revoluție, constituind unica posibilitate de reducere a vitezei relative la valori de 3-5 m/s în condițiile asigurării unor productivități maxime și a unor rugozități convenabile.

10. Studiul și determinarea schemei de generare a suprafețelor de revoluție în condițiile dezvoltării și stabilității procesului eroziv.

11. Stabilirea legii de uzare a obiectelor de transfer în cazul prelucrării corpurilor de revoluție prin eroziune electrică complexă și implicațiile uzării în precizia reproducerii profilului obiectului de transfer în obiectul supus prelucrării.

12. Stabilirea condițiilor și măsurilor de reglare automată a avansului a avansului în procesul de prelucrare prin eroziune electrică complexă, prin definirea "suprafeței portante" drept interstațiu tehnologic determinând măsurile rezistenței echivalente ce reprezintă elementul purtător de informație, măsurile de reglare fiind viteza de avans și parametrii reglării, tensiunea și curentul pe spațiul de lucru luată cu valorile lor medii, date de componenta continuă.

3. ÎN DOMENIUL CERCETĂRII APLICATIVE

1. Determinarea structurii și schemei cinematice pentru mașinile de ascuțit și profilat prin eroziune electrică complexă.

2. Determinarea structurii și schemei cinematice pentru mașina de prelucrare a corpurilor de revoluție prin eroziune electrică complexă.

3. Determinarea principiilor și schemei de reglare și stabilizare automată a avansului în cazul prelucrării prin eroziune electrică complexă.

4. Elaburarea unui model de calcul al funcțiilor de transfer

și a stabilității sistemelor de reglare și stabilizare automată a avansului în cazul prelucrării prin eroziune electrică complexă.

5. Conceperea și realizarea unui sistem de reglare și stabilizare automată a avansului destinat echipării mașinilor de prelucrare a corpurilor de revoluție prin eroziune electrică complexă - brevetat.

6. Pe baza studiilor și cercetărilor efectuate s-au realizat în cadrul catedrei de Tehnologie mecanică a Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara mașinile de prelucrat prin eroziune electrică complexă MEC - 50 a cărei variantă se construiește în serie mică la "Atelierul de prototipuri și microproducție" a Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara și MEC - 75 destinată recuperării și recondiționării plăcuțelor din carburi metalice pentru I.C.M. - Caransebeș. Ambele mașini fiind echipate cu sistem de reglare și avans automat.

7. Proiectarea și realizarea practică într-o concepție originală a mașinii de prelucrat prin eroziune electrică complexă a corpurilor de revoluție, echipată cu sistem de reglare și stabilizare automată a avansului.

8. În urma cercetărilor experimentale s-au putut determina funcțiile de răspuns la prelucrarea prin eroziune electrică complexă a corpurilor de revoluție, constituite din carburi metalice a grupă de utilizare P, pentru cazurile utilizării circuitelor electrice cu structură rezistivă, inductivă, capacitivă și complexă.

9. Pentru a permite utilizarea rațională a materialelor în construcția obiectelor de transfer în funcție de necesitățile tehnologice s-au intrădus mărimi noi caracteristice perechilor conjugate de obiecte de transfer și obiecte supuse prelucrării, precum coeficientul de productivitate specifică " K_{ps} " și cel de durabilitate specifică " K_{DS} ".

10. În scopul înlocuirii materialelor deficitare în construcția obiectelor de transfer s-au determinat condițiile în care obiectele de transfer construite din fontă cenușie și oțel de construcție, pot asigura obținerea caracteristicilor tehnologice impuse.

11. Pentru calculul și determinarea stabilității sistemelor de automatizare s-a elaborat un model matematic și un program de calcul în limbaj BASIC - PRAM. Pentru determinarea funcțiilor de răs-

puns în cazul prelucrării corpurilor de revăzuție prin eroziune electrică complexă s-au elaborat modele matematice adecvate și două programe de calcul în limbaj BASIC - SINCLAIR, permițând stabilirea expresiilor analitice și a coeficienților de regresie în cazul prelucrării sorturilor de carburi metalice P 10, P 20, P 30, și P 40 în condițiile utilizării circuitelor electrice cu structură rezistivă, inductivă și capacitivă. Rezultatele pot fi utilizate în calculul și stabilirea corectă a tehnologiilor de prelucrare.

12. Evidențierea unor aspecte inedite ale fenomenelor fundamentale în prelucrarea prin eroziune electrică complexă a sorturilor de carburi metalice din grupa de utilizare P, pe baza analizăi întreprinse prin microscopie optică, a permis stabilirea regimurilor optime de prelucrare pentru care adâncimea stratului cu microfisuri să fie inexistentă sau minimă.

Logica conducerii cercetării din prezenta lucrare de doctorat, metodele teoretice de calcul și de investigație cât și metodele experimentale aplicate materialelor extradure constituite din sorturile de carburi metalice ale grupeii de utilizare P, pot fi aplicate și extinse la toată gama de materiale electreconductoare care se utilizează în prezent în tehnica modernă.

BIBLIOGRAFIE

1. x ^X x "Directivale Congresului al XIII-lea al Partidului Comunist Român la dezvoltarea economice-sociale a României în cincinalul 1985 - 1990 și orientările de perspectivă până în anul 2000". Ed. Politică, București, 1984.
2. Andronescu Fl. - Bazele electrotehnicii. Vol.I, II E.D.P. București, 1973.
3. x ^X x Анаэно - Механическая резка металлов на дисковых станках. Минск, 1970.
4. Artamonov V. ș.a. - Razmernaia električeskaja obrabotka metallov. Moskva "Vișnia șkola", 1978
5. Atanasiu I. ș.a. - Electrochimie - principii teoretice. Ed. Teh. București, 1958.
6. Baren T. - Calitatea și fiabilitatea produselor. E.D.P., București 1976.
7. Botez E. - Mașini unelte - bazele teoretice ale proiectării. Vol.I, II. Ed. Teh. București, 1976
8. Bărbulescu N. ș.a. - Teoria cinetică - moleculară a gazelor. Ed. Științifică București 1972.
9. Bădărău E., Popescu I. - Gaze ionizate, descărcări electrice în gaze. Ed. Teh. București, 1965.
10. Bojan I., Balaban Gh. - Automatizări și telecomenzi în electroenergetică. E.D.P. București, 1976.
11. Bockerski V.A. ș.a. - Teoria reglării automate. Ed. teh. București 1964.
12. Bearnă C., Cotea O., ș.a. - Sudarea metalelor. Ed. Teh. București 1965.
13. Budușan H. - Automatizări și telecomenzi. E.D.P. București, 1968.
14. Călin S. - Reglatoare automate. E.D.P. București 1974.
15. Colmarov B. ș.a. - Kalibrovka prokatnih valcov. Metallurgia, Moskva, 1971.

16. Centea C. Micoleși V. - Mașini și aparate pentru sudarea electrică. Ed. Teh. București, 1967.
17. Centea C. ș.a. - Metode de rigidizare a caracteristicilor exterioare, a grupului convertizor de sudat tip. GES - 350. Comunicată la sesiunea științifică I.P.T.V. Timișoara, 1965
18. Cescușescu Nicu, Popescu I. - Tehnologiile neconvenționale. Scrisul Românesc, Craiova, 1982.
19. Cetirkin H.P. - Anodo - mehanicevkaia rezka metallov. M. Mașgiz 1952.
20. Ciocirdea I. ș.a. - Aliaje dure sinterizate din carburi metalice. Ed. Teh. 1985.
21. Desnițki V.P. - Proizvestvo leghirovanih stalnih otlivok dlia energomashinostroenie. Mașgiz Moskva, 1961.
22. Devoche A. - Divers aspects de l'usinage électrolitique. Mécanique électrique, Science et industrie, Paris, 1963, Nr.217.
23. Dezidarev G.P. - Experiența în aplicarea metodei de tăiere anodo - mecanică la repararea șinelor. În "Prelucrarea metalelor prin electroeroziune" Caiet selectiv, IDT, București 1956.
24. Diaconko P.Z. ș.a. - Ploșadi fakticeskogo kontakta napriajenih poverkhnostei. Izd. Acad. Nauk SSSR, Moskva, 1963.
25. Dreucosa A. - Mașini unelte și prelucrări prin așchiere. E.D.P. București, 1968.
26. Drăghici G. - Metode înaintate de prelucrare a metalelor. Ed. Teh., București, 1965.
27. Feteev H.K. - Tehnologia elektroeroziionnoi obrabotka. "Mașinostrieie", Moskva, 1980
28. Gavrilaș I., Stan N., Gîrleanu I. - Prelucrări electrice în construcția de mașini. Ed. Teh. București, 1968.
29. Gavrilaș I. ș.a. - Tehnologiile de prelucrare cu scule din aliaje dure și extradure. Ed. Teh., București, 1977.
30. Gheorghiu St., Lăncrăngean Z., Popovici I. - Influența parametrilor electrici asupra prelucrării și calității suprafețelor la așchirea electroerozivă anodo - mecanică a oțelurilor de scule OSC. Bul. St. al IPTV. Timișoara, Tom.12/26, 1967.
31. Gusev V.M. - Anodo - mehanicevkaia obrabotka metallov. Mașgiz 1952.

32. Ovtkin, B.I. - Avtomatizatsiia elektrozrezanih stanokov. Mashinostroenie. Leningrad 1971.
33. Mergesovici P. - Metale dure. Ed. Teh., Bucuresti, 1970.
34. Hofstede A. - Noi rezultate in domeniul strunjirii electrochimice. In "Prelucrarea metalelor prin tehnologii neconventionale. IDT. nr.4, Bucuresti, 1972.
35. Helm R. - Electric contacts Theory and Application. Berlin Heidelberg, New - York, Springer Verlag, 1967.
36. Hertopan Gh. - Relatii noi privind inchiderea contactelor electrice. Electrotehnica nr.17, 1969 si Electrotehnica nr.18 1980.
37. Hertopan Gh. - Aparate electrice.E.D.P. Bucuresti, 1980.
38. Ivanov Gh.T. - Durificarea prin scintai electrice. Ed. Teh., Bucuresti, 1963.
39. König W. ș.a. - Bazele reglării automate a proceselor de prelucrare prin eroziune electrică. Tehnologii neconventionale in prelucrarea metalelor - CERN Timisoara, 1971.
40. Kosmacev I.G. - Obrabotka metallov anodo - mehanicheskoi spاسبom. Mashiz, Moskva, 1961.
41. Kerasik G.A., Kosolator I.I. - Kestruirovanie anodno - mehanicheskikh otreznih i zatocnih stanokov. Mashiz, 1961.
42. Kruglov A.I. - Nekotore svedeniia o mehanizme razriada pri elektricheskoi razrezanii metallov. "Problemi elektricheskoi obrabotki metallov" Acad. Nauk SSSR, 1962.
43. Kunk I. - Elektrozreziion metal cutting in CSR. Primul simpozion internațional de prelucrări electrice a metalelor. Praga, 1960.
44. Kuznetsova V.I. - Elektrozreziionnaia i elektrichimicheskaiia obrabotka metallov . Mashinostroenie, 1967.
45. Lăncrăngean Z., Popovici I. - Asupra prelucrabilității prin eroziune electrică complexă a sculelor confecționate din oțeluri OSt. Bul. St. IIS Sibiu, Vol.III, 1980.
46. Lăncrăngean Z. - Cercetări cu privire la posibilitățile de reducere a vitezei relative în cazul prelucrării corpurilor de revoluție prin eroziune electrică complexă. Bul. St. IPTV Timisoara, fascicula 1, 1978.
47. Lăncrăngean Z. - Studii și cercetări cu privire la prelucrabilitatea prin eroziune complexă a oțelurilor de cilindri de laminor. Bul. St. IPTV Timisoara, Tom. 25, 1980.

48. Lăncrăngean Z. - Aspecte ale prelucrabilității prin eroziune electrică complexă a carburilor P 20. A III-a Conferință Națională de tehnologii neconvenționale 14 - 15 mai Sibiu 1982.
49. Lăncrăngean Z. - Aspecte ale prelucrabilității prin eroziune electrică complexă a carburilor P 10. Comunicările celei de a IV-a conferințe de procese și utilaje de prelucrări la rece. Vol.II, Timișoara 1981.
50. Lăncrăngean Z. - Influența naturii circuitului electric asupra parametrilor tehnologici în cazul prelucrării prin eroziune electrică complexă a carburilor P 10. Comunicările celei de a IV-a conferințe PUPR, Vol.II, Timișoara, 1981.
51. Lăncrăngean Z., Sporec I. - Cercetări metalografice asupra structurilor plăcuțelor P 10, prelucrate prin eroziune electrică complexă. Comunicările celei de a IV-a conferințe PUPR, Vol.II, Timișoara, 1981.
52. Lăncrăngean Z. - Prelucrabilitatea prin eroziune electrică complexă a carburilor din sertul P 40. A IV-a conferință de Tehnologii neconvenționale 3 - 5 nov. 1983, Timișoara.
53. Lăncrăngean Z. - Dependența parametrilor tehnologici de natura circuitului electric, la prelucrarea prin eroziune electrică complexă a carburilor din sertul P 40. A IV-a conferință de Tehnologii neconvenționale 3 - 5 nov.1983, Timișoara.
54. Lăncrăngean Z., Popovici I., Herman R., Reviczky A. - Influența tensiunii din spațiul de lucru asupra timpului de debitare prin eroziune electrică complexă a oțelurilor bogat aliate. A IV-a conferință de Tehnologii neconvenționale 3 - 5 nov.1983, Timișoara.
55. Lăncrăngean Z., Popovici I., Herman R., Reviczky A., Gavrilă F. - Influența curentului din spațiul de lucru asupra timpului de debitare și a productivității prelucrării oțelurilor bogat aliate cu croma prin eroziune electrică complexă. A IV-a conferință de Tehnologii neconvenționale 3-5 nov. 1983, Timișoara.
56. Lăncrăngean Z. - Contribuții cu privire la rolul presiunii dintre sculă și piesă în procesul prelucrării anode - mecanice. Comunicată la sesiunea cadrelor didactice. Timișoara 1966.

57. Livăiț A.L. - Prelucrarea metalelor prin eroziune electrică. IDT, București 1998.
58. Livăiț A.L. - Mecanismul procesului de prelucrare prin eroziune electrică a metalelor. Trad. Stankei Instrument nr.9, 1967.
59. Livăiț A.L. - Elektroeroziionnaia obrabotka metallov. Maghiz. Moskva 1957.
60. Maghilevski I., ș.a. - Izmeneniia v mikrostruktura metallov vagnikaiușcie pri elektroiskrevoi obrabotke v suspensii kaolina. "Problemi elektriceskoi obrabotki materialov" Izd. Acad. Nauk SSSR, Moskva, 1962.
61. Marinescu M., Cevrilaș I. ș.a. - Aspecte privind inscripționarea electrochimică a carburilor metalice. A IV-a conferință de Tehnologie neconvenționale 3 - 5 nov.1983, Timișoara.
62. Markuriev A.K. ș.a. - Nebetorie osobenosti sovetskoi elektrohimiceskoi i elektroeroziionnoi obrabotki materiallov. Elektrennaia obrabotka materiallov. Nr.3, 1969.
63. Miclăgeș C. - Sudarea metalelor. Ed. Teh., București, 1965.
64. Militaru C. ș.a. - Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice. Ed. Teh., București, 1980.
65. Nitelea I. - Studiu metalelor. Lito. IPTV Timișoara, 1982.
66. Moga Al. - Materiale noi în construcția de mașini. Ed. Teh., București, 1964.
67. Nanu A., Lăncrăngean Z., Popovici V., Gyusik P. - Sistem de reglare și stabilizare automată a evansului la mașinile de prelucrat prin electroeroziune. Brevet OSI, nr.50.007/1967.
68. Nanu A., Popovici V., - Desenii de aplicare și avantajele tehnico-economice ale prelucrării prin electroeroziune. Plan de Stat P. 18.27. 1968.
69. Nanu A., Lăncrăngean Z. - Prelucrarea spruvelor plate profilate din oțeluri bogat aliate la mașina anode - mecanică de ascutit scule. Bul. St. Teh.1, IPTV, Timișoara, 1964.
70. Nanu A., Popovici V., Nichici A. - Debavurarea electroeroziivă anode - mecanică a piștelor turnate. A VI-a sesiune tehnico științifică a ICTCM București, 1969.
71. Nanu A., Popovici V., Nichici A. - Cercetări teoretice și experimentale asupra debitării metalelor prin procedeul electro-

creziv anode - mecanic. Bul. St. I.P. Iași Serie nouă Tom. XII Fascicola 3 - 4, 1966.

72. Nambu A., Savii Gh. - Determinarea regimului optim de aşchiere electrocrezivă anode-mecanică a sculelor aşchietoare din oţel rapid R 18 tratate termic la maşina 4332. Studii şi cercetări şt. tehn. Acad. R.S.R. Baza Timişoara Tom X, 1963
73. Nambu A. - Fundamentarea teoretică a principalelor fenomene constatate experimental la prelucrarea anode - mecanică a metalelor. Bul. St. IPTV Timişoara Tom.8/2, 1961.
74. Nambu A., Nichici Al., Papa H. - O nouă concepţie asupra noţiunii de prelucrare dimensională prin eroziune. Tehnologii neconvenţionale în prelucrarea metalelor - CNTN - Timişoara 1971.
75. Nambu A., Nambu D. - Prelucrarea dimensională prin eroziune electrică în câmp magnetic. Ed. Facla Timişoara 1981.
76. Nambu A. - Tehnologia materialelor. EHP Bucureşti 1983.
77. Nambu A., Popovici V., Carţig I. - Studiul transformărilor structurale pe suprafaţa prelucrată prin procedeul anode - mecanic la oţelul austenitic manganes. In "Metalurgia" Acad. R.S.R., Baza Timişoara, Tom.1, 1970.
78. Nambu A., Popovici V. - Influenţa formei şi dimensiunilor electrozilor scule şi piesă asupra productivităţii la debitarea electrocrezivă anode - mecanică. In "Construcţia de maşini" nr.6 - 7, 1963.
79. Nambu A., Lăscărângan Z. - Cercetări asupra posibilităţilor de prelucrare dimensională a corpurilor de revoluţie prin eroziune complexă. Bul. St. IPTV Timişoara nr.17, 1972.
80. Nambu A., Lăscărângan Z., Nambu D. - Prelucrarea dimensională prin eroziune a rolelor din aliaj dur sinterizat. In "Lucrările conferinţei de Tehnologie noi în construcţia de maşini" Vol.III, Univ. Galaţi 1977.
81. Nambu A., Lăscărângan Z. - Prelucrabilitatea prin eroziune electrică complexă a carturilor P 30. A IV-a Conferinţă Naţională de Tehnologii neconvenţionale, Timişoara 3-5 nov., 1983.
82. Nambu A., Lăscărângan Z. - Dependenţa parametrilor tehnologici de natura circuitului electric la prelucrarea prin eroziune electrică complexă a carturilor din sortul P 30.

**A IV-a Conferință de Tehnologii neconvenționale Timișoara
3 - 5 nov. 1983.**

83. **Mamu A. - Realizări din domeniul tehnologiilor neconvenționale în R.S.R. A IV-a Conferință Națională de Tehnologii neconvenționale Timișoara 3 - 5 nov. 1983.**
84. **Mamu A., Lăscărțean Z., Reviesky A., Gavrilă F. - Cu privire la sistemul automat de avans la mașina de prelucrat prin eruziune electrică complexă a carburilor metalice. Comunicată la a III-a Conferință Națională de Tehnologii neconvenționale 14 - 15 mai 1982, Sibiu.**
85. **Nichici Al., Popovici V., Gheorghiu St. - Contribuții la determinarea interdependenței dintre parametrii electrici și tehnologici la rectificarea amode - mecanică a plăcuțelor din aliaj dur K 10. Bul. St. IPTV Timișoara Tom 12/1, 1967.**
86. **Nichici Al., Mamu A., Sălcănuș A. - Un nou procedeu pentru executarea fantelor în obiecte din materiale electroconductoare. Bul. St. IPTV Timișoara Tom 19/2 1974.**
87. **Nichici Al., Pupa M. ș.a. - Prelucrarea prin eruziune în construcția de mașini. Ed. Facla Timișoara 1983.**
88. **Nișu C. ș.a. - Echipamente electrice și electronice de automatizare. EDP București 1980.**
89. **Х² X Новое в электрофизической и электрохимической обработке материалов. Под. ред. Попилова Л.А. "Машиностроение" 1966.**
90. **Oniscu L. - Chimie fizică electrochimică. EDP București 1973.**
91. **Popilov L.A. - Prelucrarea electrică a metalelor. Ed. Teh. București 1976.**
92. **Pekin V.B. - O fizicheckoi prirede protaska amodomechanicheckoi obrabotke. "Novije metodei elektricheckoi obrabotki materialov" Maghiz, Moskva 1955**
93. **Pomman I.A. - Stanki i instrument nr.1 1970.**
94. **Pisandrina M. - Elektrohimicheckaia obrabotka metallov. Maghiz Moskva 1961.**
95. **Podas K. - Amodomechanichecka mikro pila PAK - 2. Strojirenska vireba nr.4. 1961.**
96. **Popilov L.I. ș.a. - Elektricheckie metodei obrabotki metallov. Maghiz, Moskva 1978.**

97. Popilov L.I. - Elektriceskaia i ultrazvukovaia obrabotka. Mag-ghin, Moskva 1962.
98. Pavelescu D. - Concepții noi, calcule și aplicații în frecarea și uzura solidelor deformabile. Ed. Academiei R.S.R. 1971.
99. Popilov L.I. - Spravochnik po elektriceskim i ultrazvukovym me-todam obrabotki materialov - Izdatelstvo mașinostroenia Leningrad, 1971.
100. Popilov L.I. - Osnovi elektrotehnologii i novoe ee raznovidnos-ti. Mașinostreenie 1971.
101. Popovici V., Michici Al. - Asupra relației de interdependență dintre structură și comportarea la eroziune electrică a aliajelor dure pe bază de CW, TiC, Co. Comunicările pri-mei sesiuni tehnico - științifice sătmărene, Satu - Mare, 1979.
102. Popovici V. ș.a. - Studiul modificărilor structurale în stratul superficial la oțelurile debitate prin electroeroziune. Bal. St. IPTV Timișoara Tom 12/26 1967.
103. Peștraev V.N. - Fiziko - himiçeskie metody obrabotki. Moskva "Mașinostreenie" 1973.
104. Popovici V. - Contribuții la studiul fenomenelor fundamentale la prelucrarea prin eroziune complexă. Teză de doctorat IPTV Timișoara 1970.
105. Popovici V. - Comportarea unor sorturi de carburi metalice la prelucrarea prin eroziune complexă. Cercetări metalurgi-ce Vol 18 București 1977.
106. Popovici V. - Utilizarea suspensiilor de caolin în apă la de-bitarea electroerozivă anoda - mecanică. Comunicată se-siunea științifică IPTV Timișoara 1964.
107. Pahl D. - Technologie des elektrochemischen Senkens. Tehnologii neconvenționale în prelucrarea metalelor, Timișoara, 1971.
108. Rădoi I., Nemeș M. - Electrochimie. Ed. Facla 1974.
109. Rosa I. ș.a. - Probleme de statistică rezolvate pe calculator. Ed. Facla 1984.
110. Roman I. ș.a. - Tehnologii neconvenționale în construcția de mașini. A IV-a Conferință de Tehnologii neconvenționale 3 - 5 nov. Timișoara 1983.

111. Romanov A. - Obrata i oshaka otlivok. Mashinostroenie, Moskva, 1964.
112. Razvan V. - Istociniki pitania dlia elektromekhaniceski i smecno-mekhaniceskih stankov. Stanki i instrument nr.1, 1970.
113. Savii Gh. ș.a. - Cercetări cu privire la influența structurii scuielor așchietoare din oțel rapid K 18 asupra uscuțirii anode - mecanice la mașina 4352. Studii și cercetări tehnice Academia R.S.R. Baza Timișoara Tom 2, 1962.
114. Savii Gh. - Studiul asupra prelucrabilității fontelor nodulare prin procedee electroerazive. Teză de doctorat IPTV Timișoara 1970.
115. Sarkisov A.G. - Fiziko - himiceskie osnovi anemomekhaniceskogo rezania metallov. Cuibifșev 1960.
116. Sălișean I. - Fenomene fizice și metalurgice la sudarea oțelurilor cu arcul electric. Ed. Academiei R.S.R. București 1963.
117. Sontea S. - Studii asupra suprafețelor obținute prin prelucrări electroerazive. Construcția de mașini București 1977.
118. Șanău D. - Dispozitive și circuite electronice. EDP București 1975.
119. Șivescu M., Popescu Al. - Circuite electronice. Vol. III, Ed. Teh. București 1974.
120. Sciteva V.M. ș.a. - Ispedovanie sistem avtoregulirovania pri erozionii metallov. "Problemy elektriceskoi obrabotki materiallov" Izd. Nauk SSSR Moskva 1960.
121. Sporea I., Lăncrăngean Z., Lechințan A. - Confecționarea rapidă a formelor metalice prin procedee neconvenționale. Bul.Șt. Vol III, Sibiu 1980.
122. Susiu I. - Bazele calculului solicitărilor termice ale aparatelor electrice. Ed. Teh., București 1980.
123. Teamin I.L. - Indreptar privind regimurile electrice tranzitorii Ed. Teh. București 1958.
124. Vignățkil A.L. ș.a. - Elektromekhaniceskaia i elektromekhaniceskaia obrabotka metallov. "Mashinostroenie" 1971.
125. Vitlia V.M. - Elektrofiziceskie metody obrabotki v metalurghiceskom proizvodstve. "Metalurghia" Moskva 1970.
126. Vîrș, Atila - Curățirea pieselor turnate. Ed. Teh. București 1971

128. Zingerman A.S. ș.a. - O fizicească privire electroeroziunii obrabotki metalelor. IVUZ, Elektromehanika nr.7, 1959.
129. Zolov L.M. ș.a. - "Stanki i instrument" nr.9, 1967.
129. Zolotih V.M. - Vestnik mașinostroenie. Mașinis nr.15, Moskva 1959.
130. x x Extinderea procedurilor de prelucrare electrică. Culegere de traduceri, IDT București 1971.
131. x x Prelucrarea chimică și electrochimică a metalelor. IDT București 1970.
132. x x Metode și mijloace moderne de prelucrare a metalelor. Culegere de traduceri, IDID București, 1975.
133. x x Principii noi și metode moderne de calibrare a cilindrilor de laminare. IDT București 1964.
134. x x "Cercetări asupra posibilităților recalibrării și calibrării cilindrilor de laminare prin eroziune complexă". Protocol I - Ministerul Industrii Metalurgice București 1972.
135. x x "Mașini specializate și tehnologia de debitare și condiționare prin eroziune electrică complexă a plăcuțelor din carburi metalice din necesarul IIT". Protocol I, II și III Întreprinderea Mecanică Timișoara 1978 - 1980.
136. x x "Prelucrarea prin eroziune electrică complexă a cutitelor plate cu carburi metalice" Protocol I, II și III Întreprinderea de Construcții de Mașini - Cărmăneș 1980 - 1982.
137. x x "Studii și cercetări pentru debitarea prin eroziune electrică complexă a barelor din oțel R₁" Protocol I și II Combinatul Siderurgic Reșița 1983 - 1985.