

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA"
TIMISOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ

Ing. IOAN MIHĂILĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

OPTIMIZAREA TEHNICO-ECONOMICĂ A
PROCESULUI DE PRELUCRARE DIMENSIONALĂ
PRIN EROZIUNE ELECTRICALĂ MATRITE PENTRU
TURNAREA SUB PRESIUNE A ALIAJELOR
NEFEROASE.

Conducător științific

Prof. dr. doc. șt. ing. AUREL NANU

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

TIMIȘOARA
1988

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA

E

Volumul

Dulap

534.508
335.9

C U P R I N S

	<u>Pag.</u>
CAP.1. NECESITATEA OPTIMIZARII TEHNOLOGIEI DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTRICA A ELEMENTELOR DE MATRITE PENTRU TURNAREA SUB PRESIUNE.	2
CAP.2. CU PRIVIRE LA TURNAREA SUB PRESIUNE	7
2.1. Aliaje uzuale pentru turnarea sub presiune a pieselor mici utilizate în construcția mijloa- celor de transport auto, feroviar și a bunuri- lor de larg consum	7
2.2. Sinteza asupra tehnologiei de fabricare a pie- selor mici din aliaje de siluminiu, zamac și alamă pentru mijloace de transport auto, ferro- viar și bunuri de larg consum.	11
2.3. Tehnologia de turnare sub presiune utilizată la fabricarea pieselor din silumin, zamac și alamă.	17
2.3.1. Scurtă descriere a procedurii de tur- nat sub presiune și a utilajului folosit	17
2.3.2. Parametrii principali ai tehnologiei turnării sub presiune	20
2.3.3. Nomenclatorul semifabricatelor obținute prin turnarea sub presiune.	24
2.4. Matrițe utilizate pentru turnarea sub presiune a pieselor din silumin, zamac și alamă pentru mijloace de transport auto, feroviar și bunuri de larg consum	24
2.4.1. Particularitățile constructive ale ma- trițelor de turnat sub presiune	24
2.4.2. Metodica proiectării matrițelor de tur- nat sub presiune.	24
CAP.3. TIPIZAREA MATRITELOR PENTRU TURNAT SUB PRESIUNE	29
3.1. Tipizarea, o necesitate a tehnologiei actuale.	29
3.2. Situația actuală în industria din țara noastră	31
3.3. Propuneri de tipizare a matrițelor de turnat sub presiune pentru piese folosite la mijloace de transport auto, feroviar și bunuri de larg consum.	35

3.3.1.	Tipizarea elementelor componente ale matrițelor de turnat sub presiune.	35
3.3.2.	Matrițe de turnat sub presiune realizate din elemente tipizate.	41
3.3.2.1.	Matriță de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru rotoare de blocare DACIA 1300 . . .	42
3.3.2.2.	Matriță de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru dispozitivul de blocare a cheii de locomotivă EL.6580 C.P. . . .	45
3.4.	Proiectarea matrițelor de turnat sub presiune din elemente tipizate cu ajutorul calculatorului . .	47
CAP.4.	PRELUCRAREA ELEMENTELOR COMPONENTE ALE MATRIȚELOR TIPIZATE DE TURNAT SUB PRESIUNE PRIN EROZIUNE ELECTRICA	50
4.1.	Avantajele și dezavantajele prelucrării prin eroziune electrică.	50
4.2.	Situația actuală a prelucrărilor prin eroziune electrică.	51
4.2.1.	Utilajul folosit.	54
4.2.2.	Electrozi utilizați	55
4.2.3.	Tehnologia prelucrării prin eroziune electrică	58
4.3.	Cercetări cu privire la tehnologia de prelucrare a electrozilor utilizați la prelucrarea matrițelor pentru turnat sub presiune	61
4.3.1.	Metode de fabricare a electrozilor folosiți la prelucrarea matrițelor de turnat sub presiune.	63
4.4.	Cercetări cu privire la tehnologia de prelucrare a matrițelor de turnat sub presiune.	73
4.4.1.	Dispozitive pentru prelucrarea prin eroziune electrică a elementelor de matriță pentru turnarea sub presiune.	81
4.4.2.	Cercetări cu privire la tehnologia de prelucrare a matrițelor de turnat sub presiune prin eroziune electrică, folosind dispozitivele proiectate.	83

	<u>Pag.</u>
CAP.5. OPTIMIZAREA PROCESULUI DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTRICA A MATRITELOR DE TURNAT SUB PRESIUNE. . .	93
5.1. Factorii și parametrii care determină caracteristicile tehnologice la prelucrare.	93
5.1.1. Interdependența factorilor și parametrilor procesului.	93
5.1.2. Variabilele independente ale procesului	94
5.1.3. Caracteristici tehnologice ale procesului.	96
5.2. Ordonarea influenței parametrilor procesului de lucru asupra criteriilor de performanță prin metoda bilanțului aleatoriu.	99
5.2.1. Planificarea datelor experimentale . .	99
5.2.2. Desfășurarea experimentului.	99
5.2.3. Ordonarea influenței parametrilor la prelucrarea de degroșare și finisare .	100
5.2.4. Aprecieri privind rezultatele obținute	
CAP.6. MODELAREA MATEMATICA A PROCESULUI TEHNOLOGIC DE PRELUCRARE DIMENSIONALA PRIN EROZIUNE ELECTRICA A MATRITELOR DE TURNAT SUB PRESIUNE.	128
6.1. Modelarea matematică a procesului de prelucrare.	128
6.2. Programarea experiențelor	128
6.2.1. Experimentul factorial	129
6.2.2. Testarea datelor experimentale	131
6.3. Analiza de regresie	141
6.3.1. Calculul coeficienților de regresie. .	142
6.3.2. Testarea semnificației coeficienților de regresie.	143
6.4. Verificarea adecvantei modelului matematic. .	144
6.5. Prelucrarea datelor experimentale	148
6.6. Stabilirea ecuațiilor dreptelor de regresie .	148
6.7. Tehnologia optimă de prelucrare a oțelului V Cr W 05 prin eroziune electrică	162
6.8. Aprecieri privind rezultatele obținute prin modelare matematică.	175
CAP.7. CONCLUZII GENERALE SI CONTRIBUTII ORIGINALE ALE AUTORULUI.	178
BIBLIOGRAFIE	183

C A P I T O L U L 1

NECESITATEA OPTIMIZĂRII TEHNOLOGIEI DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTRICA A ELEMENTELOR DE MATRITĂ PENTRU TURNAREA SUB PRESIUNE

Rezultatele deosebite obținute în ultimii ani în industria constructoare de mașini, au apărut și datorită elaborării și utilizării tot mai frecvente a unor materiale și aliaje noi, cu proprietăți deosebite, cât și introducerii unor noi tehnologii - tehnologiile neconvenționale -, mult mai eficiente (sau uneori singurele) în cazul prelucrării acestor materiale.

În categoria materialelor cu proprietăți deosebite pot fi amintite și oțelurile termostabile, din categoria cărora face parte și oțelul VCrW85, utilizat frecvent în tehnologia matrițelor de turnat sub presiune.

Pentru ca utilizarea acestor materiale să devină rentabilă, a fost necesară o perfecționare continuă a tehnologiilor existente, dar mai ales elaborarea și introducerea unor noi tehnologii. În acest sens, în ultimii ani se întâlnește tot mai frecvent prelucrarea dimensională prin eroziune în construcția de mașini, din care 65-70 % o formează prelucrarea prin eroziune electrică [76, 160, 209]. Acest lucru se explică, pe de-o parte că metoda permite realizarea unei game foarte variate de prelucrări economice, iar, pe de altă parte, că în ultimii ani un număr mare de țări produc utilajul necesar în serie [51, 100, 161, 162, 175, 210, 235].

Faptul că eroziunea electrică asigură prelucrarea materialelor electroconductoare, indiferent de duritatea lor și fără efort însemnat între sculă și piesă, pentru orice formă geometrică, se poate aplica cu succes și în tehnologia matrițelor de turnat sub presiune. Sigur că eroziunea electrică s-a aplicat și pînă în prezent în tehnologia matrițelor de turnat sub presiune, dar după cîte știu, nu există o optimizare realizată în acest sens.

Lacă la prelucrările clasice punerea la punct a metodelor științifice de determinare a optimului propus (de obicei economic) se reduce la stabilirea corelației unei combinații de

trei variabile ¹ în anumite condiții -, problema este mult mai dificilă la prelucrările neconvenționale. Aceasta, datorită numărului mare de combinații posibile ale parametrilor care guvernează procesul de prelucrare prin eroziune electrică, când ei vor fi restrinși la un domeniu în care obiectivele de prelucrare urmărite sînt maxime sau minime, astfel ca eficiența economică a prelucrării să crească.

Numeroasele cercetări efectuate arată că există în dezvoltarea sistemelor tehnologice, mai ales pentru cel neconvențional, cu particularizare pentru eroziunea electrică, următoarele tendințe:

- abordarea sistemică a tehnologiei de prelucrare și a sistemului tehnologic, astfel încît să permită o construcție modulară favorabilă dezvoltării flexibilității sistemului;
- îmbunătățirea legăturii sistem de calcul - sistem tehnologic prin construirea unor echipamente periferice capabile să realizeze comunicare directă între operator și mașină;
- se vor extinde comenzile adaptive, secvențiale, numerice și numerice cu calculator, care, utilizînd calculatoare de proces ce prelucrează informațiile primite, adaptează programul în mod corespunzător pentru asigurarea optimului;
- proiectarea și realizarea de mașini speciale și centre de prelucrare pentru introducerea lor în liniile fabricației de serie;
- prelucrarea prin generare și prelucrări cinematice complexe prin creșterea numărului de mișcări ale piesei și sculei;
- utilizarea calculatoarelor - în faza de cercetare pentru modelarea fenomenelor care stau la baza noii tehnologii; în faza de proiectare, pentru efectuarea calculelor de dimensionare; în faza de execuție, pentru conducerea și controlul procesului de comandă numerică; în faza de exploatare, pentru controlul periodic al parametrilor care țin evidența uzurilor, a randamentelor și a consumurilor specifice;
- dezvoltarea unor noi procedee de rectificare, superfinisare, durificarea suprafețelor, prelucrarea electroerozivă cu frecvență ridicată, prelucrarea microorificiilor, prelucrarea multicanal etc;
- prelucrarea prin eroziune electrică combinată cu alte metode și procedee de prelucrare permite obținerea unor linii de prelucrare în flux (orologerie, aparatură de injecție pentru motoare cu ardere internă etc.).

Creșterea gradului de automatizare a utilajelor de prelucrare prin eroziune electrică a permis:

- adaptarea structurii prin adăugarea sau eliminarea de module, exemplu: capete multiple funcționând simultan;

- adaptarea funcțiilor prin reglarea diferitelor mișcări, exemplu: reglarea automată și continuă a mișcării tridimensionale;

- adaptarea subsistemelor comandate ale structurii, exemplu: realizarea pentru prelucrarea prin copierea formei pe o mașină cu electrod filiform sau pe o mașină cu electrod profilat, echipată cu sistem de prelucrare tridimensională planetară.

În următoarele două decenii, procedeele de prelucrare prin eroziune electrică vor înregistra o creștere de 5-6 ori, reușind să înlocuiască procedeele clasice în tehnologiile dificile, dar nu le vor depăși pe acestea în performanțele tehnologice.

În următorul deceniu eroziunea electrică se va extinde până la 60 - 80 % în fabricarea matrițelor de forjat, ambutisat, injectat, presat; a elementelor active pentru stanțe și matrițe de turnat sub presiune; fabricarea organelor de mașini și aparate din oțeluri și aliaje refractare. Îmbunătățirea performanțelor acestor tehnologii se va realiza și prin extinderea proiectării lor cu ajutorul calculatorului.

În țara noastră, documentele programatice ale Partidului Comunist Român [1, 2] oferă un program mobilizator de lucru cercetării științifice, ingineriei tehnologice, întreprinderilor constructoare de mașini și aparate și învățământului superior, sarcini prioritare pentru economia națională de mare importanță, privind progresul economico-social în cincinalul 1986-1990 și de perspectivă până în anul 2000. Una din sarcinile de bază a acestor documente o constituie perfecționarea tehnologiilor, proiectarea, experimentarea și aplicarea industrială de noi tehnologii, care să contribuie la o creștere mai rapidă a productivității muncii, îmbunătățirea calității producției, astfel încât să fie competitivă cu produsele similare pe plan mondial, reducerea consumurilor specifice de energie și materiale, îmbunătățirea coeficientului de încărcare a utilajelor, reducerea efortului depus de către operator și o creștere importantă a eficienței economice.

Aceste obiective l-au determinat pe autor în alegerea temei pentru lucrarea de față, în alegerea opțiunii pentru o problemă tehnico-economică actuală, complexă și de perspectivă, de mare

importanță pentru nevoile practicii industriale ale întreprinderilor producătoare de matrițe, mai ales că se realizează și o optimizare a acestor tehnologii.

Lucrarea de doctorat și-a propus rezolvarea următoarelor probleme:

1. Din punct de vedere teoretic:

- abordarea sistemică a tehnologiei de prelucrare prin eroziune electrică cu electrod masiv a oțelurilor termostabile;
- studiul și ordonarea ponderii de influență a parametrilor procesului, funcție de criteriile de performanță urmărite;
- studii și cercetări pentru determinarea relațiilor matematice care descriu procesul și determinarea domeniilor aplicării optime a tehnologiei de prelucrare prin eroziune electrică a oțelurilor termostabile.

2. Din punct de vedere aplicativ-tehnologic:

- tipizarea matrițelor pentru turnat sub presiune;
- proiectarea, experimentarea și introducerea în producție a unor matrițe realizate din elemente tipizate;
- proiectarea și realizarea unei familii de dispozitive folosite pentru prelucrarea elementelor de matriță prin eroziune electrică;
- stabilirea experimentală a regimului de prelucrare a oțelurilor termostabile prin eroziune electrică cu electrod masiv.

Pentru rezolvarea acestor probleme, se consideră că se aduc contribuții privind aplicarea industrială a rezultatelor cercetării, folosindu-se astfel tehnologiile optime stabilite, care vor mări substanțial eficiența economică a prelucrării prin eroziune electrică a matrițelor de turnat sub presiune.

În lucrare s-a abordat modul de cercetare sistemică, deoarece această metodă este un instrument științific puternic, care asigură cunoașterea fenomenelor complexe, din care categorie face parte și prelucrarea prin eroziune electrică.

Se cunoaște că orice sistem [162, 175] este format din o mulțime de componente care, în limitele anumitor condiții de spațiu, interacționează între ele, obținând un anumit rezultat, Cum

Între un sistem și un model matematic există o legătură biunivocă, a fost necesară elaborarea acestui model. Modelul matematic elaborat a permis o modelare experimentală a procedurii prin aplicarea statisticii matematice și a analizei regresionale, în scopul obținerii unui domeniu de prelucrare optim.

Gradul ridicat la care astăzi a ajuns modelarea matematică, permite aplicarea în practică a rezultatelor obținute.

Rezolvarea economică a modelelor matematice se realizează cu ajutorul calculatoarelor, care, determinând ecuații potrivite, rezumă fenomenul într-o scară nouă, fără a mai fi nevoie de încercări experimentale dificile și laborioase.

Teza de doctorat, desfășurată pe 182 pagini, cu 57 tabele, 51 figuri, 268 relații și 271 referiri bibliografice este concepută pe 7 capitole, corespunzător obiectivului de cercetare stabilit. Din totalul listei bibliografice 23 de titluri sînt lucrări publicate de autor, individual sau în colectiv.

Rezultatele obținute în teză au fost unele valorificate prin diferite contracte de cercetare [127, 128, 129, 130], iar altele urmează să facă obiectul unor noi contracte de cercetare cu I.A.M.T.Oradea.

În prima parte a lucrării se motivează alegerea temei, necesitatea optimizării tehnologiei de prelucrare prin eroziune electrică a matrițelor de turnat sub presiune, se definesc scopul și obiectivele cercetării efectuate și se arată modul de rezolvare a obiectivelor propuse.

În capitolul doi este prezentată o sinteză asupra tehnologiei de turnare sub presiune, care se referă la aliajele uzuale utilizate, descrierea procedurii, parametrii principali ai turnării sub presiune, nomenclatorul semifabricatelor obținute prin acest procedeu, matrițe utilizate pentru obținerea diferitelor semifabricate și particularitățile constructive ale acestora.

Capitolul trei prezintă o tipizare a matrițelor de turnat sub presiune și diferite tipuri de matrițe realizate pe baza acestei tipizări și livrate pe bază de contract la I.A.M.T.Oradea.

În capitolul patru se prezintă tehnologia prelucrării prin eroziune electrică a elementelor de matriță tipizate și a familiei de dispozitive proiectate, realizate și experimentate în scopul optimizării acestei tehnologii.

Capitolul cinci cuprinde o prezentare sistemică a catego-

riilor de factori și parametri ai procesului de prelucrare prin eroziune electrică. Folosind metoda bilanțului aleatoriu, s-a ordonat influența parametrilor asupra criteriilor de performanță. Problema a fost rezolvată cu ajutorul unui program de calcul scris în limbaj BASIC și rulat pe calculator, în scopul optimizării procesului.

În capitolul șase se prezintă modelarea matematică a procesului de prelucrare prin eroziune electrică pentru oțelurile termostabile. În acest scop s-a utilizat metoda experimentului factorial, unde, pe baza analizei de regresie, s-au obținut funcțiile matematice, care realizează legătura dintre parametrii reglabili ai procesului și caracteristicile tehnologice urmărite. Pe baza funcțiilor matematice au fost determinate ecuațiile dreptelor de regresie, a căror reprezentare indică domeniul optim de prelucrare a oțelului VCrW85 în diferite condiții.

Capitolul șapte cuprinde concluziile lucrării, care scot în evidență principalele contribuții originale aduse în domeniul cercetării fundamentale și al celei aplicative.

Autorul își exprimă, și pe această cale, întreaga sa grațitudine și cele mai sincere mulțumiri conducătorului științific prof.dr.doc.șt.ing.Aurel Nanu, pentru competența, răbdarea și bună-tatea de care a dat dovadă pe tot parcursul cercetării, experimentării și elaborării acestei lucrări, în scopul formării și specializării profesionale a autorului acestei lucrări.

Autorul mulțumește, de asemenea, tuturor colegilor de la catedrele Tehnologie Mecanică și Tehnologia Construcțiilor de Mașini ale Institutului Politehnic „Traian Vuia” din Timișoara, de la Institutul de Subingineri Oradea, de la I.A.M.T.Oradea, cât și studenților pentru ajutorul acordat, privind efectuarea unui mare număr de încercări, proiectarea și experimentarea produselor realizate în producție, prelucrarea unui mare volum de date în vederea finalizării cercetărilor efectuate, pe baza cărora s-a putut elabora această lucrare.

CAPITOLUL 2

2. CU PRIVIRE LA TURNAREA SUB PRESIUNE

2.1. Aliaje uzuale pentru turnarea sub presiune a pieselor mici, utilizate în construcția mijloacelor de transport auto, feroviar și a bunurilor de larg consum

Cele mai utilizate aliaje pentru turnarea sub presiune sînt: zamacurile, siluminurile și alamele. Ele se pot clasifica după următoarele criterii:

a) După temperatura de topire (tabelul 2.1):

Tabelul 2.1

Denumirea categoriei metalelor și aliajelor	Denumirea aliajelor	Temperatura începerii topirii
Foarte ușor fuzibile	Aliajul „Wood”.	$< 100^{\circ}\text{C}$
Ușor fuzibile	De Zn, Pb, etc.	$100^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$
Mijlocii	De Al și Mg	$500^{\circ}\text{C} - 800^{\circ}\text{C}$
Greu fuzibile	De Cupru etc.	$800^{\circ}\text{C} - 1800^{\circ}\text{C}$

b) După greutatea specifică (tabelul 2.2):

Tabelul 2.2

Denumirea și categoria metalelor și a aliajelor	Denumirea aliajului	Greutatea specifică (Kg/dm^3)
Ultra ușoare	de Magneziu	sub 2
Ușoare	de Aluminiu	de la 2.....3.5
Grele	de Cupru și Zinc	de la 3.5.....12

Valorile optime ale temperaturilor de turnare ale aliajelor neferoase și de preîncălzire ale matrițelor sînt date, o-

rientativ, în tabelul 2.3.

Tabelul 2.3

Temperaturi de turnare ale aliajelor și de preîncălzire ale matritelor

Nr. crt.	Aliajul turnat	Temperatura aliajului în momentul presării, [°C]	Temperatura matritei în momentul presării, [°C]
1	Pe bază de Pb	260.....300	120.....140
2	Pe bază de Sn	280.....330	130.....150
3	Pe bază de Sn și Cu Staniu Aluminiu Cupru	430.....490 420.....440 530.....550	180.....220
4	Pe bază de Al și Cu Cupru Siliciu Magneziu	630.....750 620.....700 720.....780	200.....250
5	Pe bază de Mg	650.....750	200.....280
6	Pe bază de Cu Alamă cu Zinc Alamă cu Siliciu	850.....920 900.....980	300.....350

Aliajele de turnat sub presiune trebuie să îndeplinească următoarele condiții: [31, 84, 193, 233, 258]

- să umple bine forma la temperaturi de turnare medii;
- să asigure o bună omogenitate a pieselor;
- să aibă o contracție minimă;
- să asigure rezistență suficientă pieselor turnate;
- acțiunea distructivă a aliajului, asupra matritei și creuzetului, trebuie să fie minimă;
- aliajul să se lipească cât mai puțin posibil de pereții matritei;
- proprietățile tehnologice ale aliajului vor corespunde condițiilor procesului tehnologic adoptat pentru obținerea piesei finite;

- aliajul trebuie să corespundă condițiilor de exploatare ale piesei turnate (rezistență la coroziune, greutate specifică etc).

Aliajele de zinc au cea mai mare întrebuințare pentru turnarea sub presiune la mijloace de transport, în industria electrotehnică și pentru obiecte de larg consum.

În turnătorie, zincul se folosește în blocuri de turnare sub presiune (Zn Al 4T; Zn Al 4Cu 1T) sau sub formă de aliaje fine de zinc (Zn Al 4T, Zn Al 4 Cu 3T) etc.

La elaborarea aliajelor de zinc se vor folosi numai materiale noi și anume [258]:

- Zinc marca Zn Al STAS 646-67;
- aluminiu marca AlE STAS 7607-66;
- cupru marca CuE STAS 270-66;
- magneziu cu puritate minimă de 98,5 %.

Compoziția chimică a aliajelor de zinc utilizate la turnarea sub presiune este dată în tabelul 2.4 [259]

Tabelul 2.4

Compoziția chimică a aliajului de zinc.

Marca aliajului	Compoziția chimică %				Impurități % max				
	Al	Cu	Mg	Zn	Fe	Pb	Cd	Sn	Total
Zn Al 4T	35...4.3	max.003	0.092...0.06	rest	0.10	0.005	0.003	0.002	0.2
Zn Al 4Cu 1T	35...4.3	0.75...1.25	0.02...0.06	rest	0.10	0.005	0.003	0.002	0.2
Zn Al 4Cu 3T	35...4.3	2.5...3.1	0.02...0.06	rest	0.10	0.005	0.003	0.002	0.2

Notarea mărcii aliajului cuprinde simbolul chimic (Zn) al metalului de bază, urmat de simbolurile chimice ale elementului de aliere, cu indicarea conținutului mediu al fiecăruia în % și litera T (turnat) [258].

Mărcile aliajelor de aluminiu turnate în piese se simbolizează cu literele [259]:

- ATN - pentru aliaje turnate în amestec de formare;
- ATC - pentru aliaje turnate în cochilă;
- ATP - pentru aliaje turnate sub presiune, urmate de simbolurile chimice ale elementelor componente de aliere.

(cele mai cunoscute aliaje de aluminiu, folosite la tur-

narea sub presiune, sînt: Al-Si, Al-Cu, Al-Mg, Al-Zn, precum și cele polinare ca: Al-Si-Fe, Al-Si-Mg-Fe, Al-Si-Mg-Mn-Ti etc. [42, 73, 131, 163, 193, 233, 240, 258].

Siluminurile sînt aliaje ale aluminiului care conțin 6-12% Si. Dacă în siluminiu se adaugă pînă la 4 % Cu se îmbunătățesc proprietățile de turnare [42, 193, 233].

În tabelul 2.5 sînt indicate cele mai utilizate siluminuri la turnarea sub presiune [259].

Tabelul 2.5

Siluminuri folosite la turnarea sub presiune

Marca aliajului	Compoziția chimică %						Impurități %								
	Cu	Si	Mg	Mn	Ti	Al	Fe	Mg	Zn	Cu	Ni	Pb	Sn	Ti	
ATP Si 5 Mg Fe	-	40 70	05 09	05 09	-	rest	1.3	-	0.5	0.3	0.5	0.05	0.1	0.2	
ATP Si 5 Cu 1	1.5	6.0	0.6	0.5	-	rest	0.8	-	0.5	-	0.3	0.2	0.1	0.2	
ATP Si 5 Cu 3	4.5	6.5	-	0.7	-	rest	1.0	0.15	0.5	-	0.3	0.1	0.05	0.2	
ATP Si 6 Cu 4	5.0	7.0	-	0.6	-	rest	1.3	0.3	2.0	-	0.3	0.2	0.1	0.2	
ATP Si 7 Mg Fe	-	7	0.35	0.4	0.15	rest	1.3	-	0.3	0.2	0.05	0.05	0.05	-	
ATP Si 8 Cu 3	3	8	-	0.4	-	rest	1.3	0.15	1.2	-	0.3	0.3	0.2	0.2	
ATP Si 10 Mg Fe	-	10	0.3	0.4	-	rest	1.3	-	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	
ATP Si 12 Fe	-	12	0.35	-	-	rest	1.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.05	0.15	
ATP Si 12 Mg Fe	-	12	0.35	-	-	rest	1.3	-	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	
ATP Si 12 Mg Mn Ti	-	12	0.5	0.5	0.2	rest	0.6	-	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	-	

Caracteristicile tehnologice și indicațiile de utilizare ale aliajelor de aluminiu turnate în piese, cît și tratamentele termice ale acestora sînt indicate în STAS 201/2 - 71.

Alamele sînt aliaje ale cuprului cu zincul în care zincul poate fi maximum 50 %.

Potrivit standardelor românești, simbolurile alamelor cuprind simbolul chimic al cuprului urmat de simbolul chimic al zincului, de simbolurile chimice ale celorlalte elemente și, uneori, de

conținutul procentual în aceste elemente, de exemplu: Cu Zn 5, Cu Zn 36 Pb1, Cu Zn 40 Mn 2 Al etc.

Alamele speciale sînt aliaje multicomponente realizate pe baza sistemului Cu - Zn, prin aliere cu unul sau mai multe elemente componente, cum sînt: Si, Sn, Pb, Fe, Mn, Cr, Co etc., adăugate pentru îmbunătățirea diferitelor proprietăți [71, 73, 83, 163, 232, 233, 240]. Astfel, Pb micșorează coeficientul de frecare, Fe și Mn măresc rezistența la rupere, Al asigură creșterea durității, Si îmbunătățește fluiditatea, Sn realizează anticorozivitatea, Ni îmbunătățește aspectul și structura etc. [42, 71, 73, 83, 192, 206, 232, 240].

În tabelul 2.6 sînt indicatele alamele speciale folosite la turnarea sub presiune [259].

Tabelul 2.6

Alame folosite la turnarea sub presiune

Marca aliajului	Compoziția chimică %					Impurități % max.				
	Cu	Pb	Mn	Fe	Zn	Sn	Sb	Mn	Fe	Pb
Cu Zn40Mn2Al	53 ₅₉	-	2.2	0.3	rest	0.5	0.1	-	-	0.5
Cu Zn40 Pb Sn	60	1	-	-	rest	-	0.1	0.3	0.25	-
Cu Zn 38 Pb2Mn2	58	2	2	-	rest	0.5	0.1	-	0.8	-

Mai rar la turnarea sub presiune se folosesc și aliajele Pb-Sn, Cu-Al și Mg-Si [71, 73, 131, 206, 240].

2.2. Sinteză asupra tehnologiei de fabricare a pieselor mici din aliaje de siluminiu, zamac și alamă pentru mijloace de transport auto, feroviar și bunuri de larg consum

Pe lângă turnarea sub presiune - care este principala metodă de fabricare a pieselor mici din aliaje de silumin, zamac și alamă - se mai întîlnesc și alte metode de turnare, cum sînt [31, 35, 131, 158, 163, 233, 255]:

- turnarea în forme din amestec de formare;
- turnarea în forme ceramice;
- turnarea în cochile;
- turnarea centrifugală.

Turnarea în forme din amestec de formare se folosește în cazul fabricării unor piese de precizie scăzută, ce trebuie

să se realizeze într-un număr mic.

Pentru a se obține suprafețe mai netede se folosesc amestecuri de turnare cu granulație fină, având un procent corespunzător de amestecuri noi, iar pentru formele durabile se folosesc vopsele din negru de fum și petrol.

La turnarea aliajelor de aluminiu, amestecurile de formare utilizate vor avea, pe lângă granulația fină, și o compresibilitate ridicată.

Dacă în forme temporare se toarnă aliaje de magneziu, este necesar ca în amestecul de formare să se introducă 0,5 - 1% acid boric și 0,25 % - 3 % pulbere de sulf, evitând astfel pericolul de explozie în prezența umidității.

Turnarea în forme ceramice realizate cu modele permanente reprezintă o metodă care are la bază patentul Shaw, brevetat în 1938 și aplicat pentru prima dată în Anglia în anul 1951 [121].

Procesul tehnologic de realizare a formei ceramice și a pastei cuprinde următoarele operații [122]:

1. Obținerea materialelor refractare de tipul silicat de zirconiu, silicat de aluminiu, cromit cu granulație de 0,1-0,05 mm.
2. Prepararea liantului din silicat de etil hidrolizat într-o soluție slabă de acid clorhidric.
3. Amestecarea materialului refractar cu liantul și întăritorul folosit într-un malaxor.
4. Turnarea pastei ceramice peste model sau în cutia de miez, realizate din lemn, metal, ipsos, masă plastică etc.
5. Extragerea modelului după întărire.
6. Forma sau miezul astfel obținut se aprinde și va arde cu flacără liberă, pînă cînd toate substanțele volatile sînt consumate, formîndu-se astfel rețele de microfisuri care apar în întregul volum al formei ceramice și, care, de fapt, reprezintă particularitatea procedurii.
7. Calcinarea formei ceramice într-un cuptor la 850° - 950° C, timp de 2-6 h, cînd are loc îndepărtarea completă a umidității.
8. Asamblarea formelor și umplerea cu metal lichid. În fig.2.1 se indică succesiunea operațiilor tehnologice de realizare a formei ceramice monobloc [265].

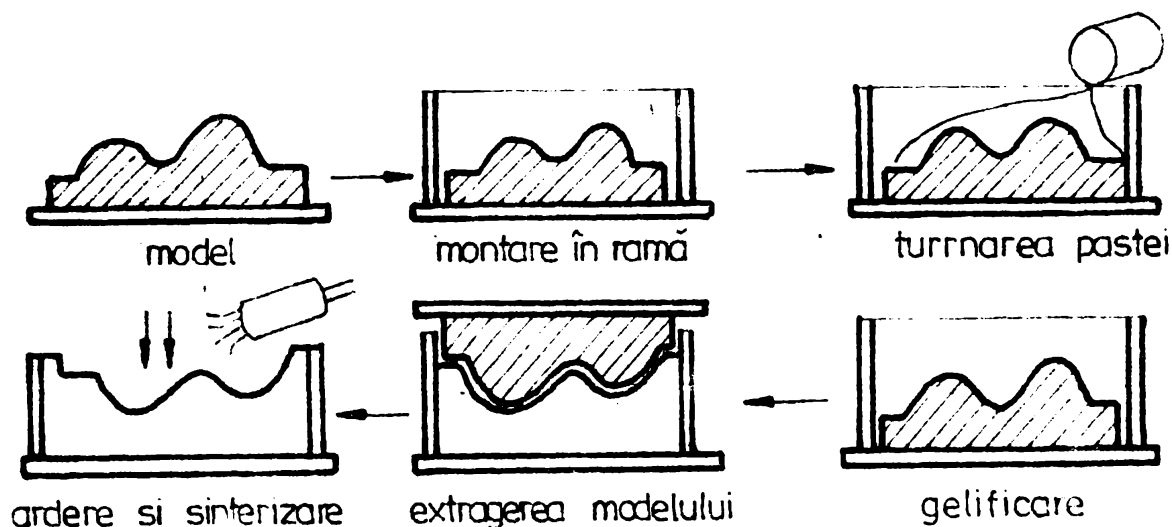


Fig.2.1. Fluxul operațiilor tehnologice de realizarea formelor ceramice monobloc

Literatura de specialitate [35, 121, 122, 246, 265] prezintă o serie de variante ale procedurii Shaw (COMPOSITE, UNICAST etc) care au apărut în ultimii ani.

În general procedura Shaw prezintă avantajele [35] :

- permite obținerea unor piese compacte și lipsite de defecte de suprafață;

- piesele obținute pot avea variație mare a grosimii pereților;

- metoda se aplică în fabricație de piese unicat, serie mică și mijlocie din orice aliaj;

- turnarea în forme ceramice Shaw poate înlocui turnarea în forme metalice, mai ales la piesele cu cavități adânci și ieșituri pronunțate, care nu se pot realiza cu miezuri.

În unele țări industrializate s-a extins în ultimii ani procedura turnării în forme metalice. Pentru ca aplicarea acestui procedeu să dea rezultate bune, trebuie îndeplinite următoarele condiții [239]:

- construcția formelor metalice va fi simplă și rațională;

- se va stabili numărul de piese pentru care devine economic utilizarea formei metalice;

- asigurarea unui proces tehnologic corect, care să țină seama de vitezele foarte mari de răcire ale metalului;

- mecanizarea operațiilor de executare a formelor me-

talice și a operațiilor de asamblare, turnare și extracție a piesei turnate.

În literatura de specialitate [31, 239, 240, 255, 261] sînt scoase în evidență avantajele acestui procedeu, dintre care amintim:

- excluderea operațiilor de formare;
- îmbunătățirea indicelui de utilizare a materialului topit;
- utilizarea mai rațională a caracteristicilor intrinseci ale aliajelor, ca urmare a finisării structurii prin mărirea vitezei de răcire;
- scurtarea ciclului de fabricație și creșterea posibilităților de mecanizare și automatizare a proceselor.

Extinderea procedurii este limitată de următoarele dezavantaje:

- costul ridicat al formelor metalice;
- efectele negative ale contracției aliajului și rezistența mare a formei care se opune acestei contracții;
- durabilitatea redusă a formelor metalice și S.D.V.-urilor în cazul cînd acestea au fost incorect proiectate.

La noi în țară, turnarea în forme metalice se realizează la: IREMOAS, Întreprinderea de pompe „Aversa”, Întreprinderea „23 August”, Întreprinderea „Semănătoarea”, I.C.M. Reșița, „Electroputere” Craiova etc.

Determinarea grosimii pereților formei metalice se face cu relația:

$$g_f = 13 + 0,6 g_p \quad [\text{mm}] \quad (2.1)$$

în care: g_f este grosimea pereților formei metalice, în mm; g_p este grosimea pereților piesei turnate, în mm.

Caracteristicile constructive ale pieselor turnate în forme metalice se dau în tabelul 2.7 [239]

Pentru a se realiza o umplere și o solidificare în bune condiții a pieselor turnate în forme metalice este necesar ca formele să fie preîncălzite la o anumită temperatură, în funcție de aliajul ce se toarnă. Limitele de variație ale acestor temperaturi

Tabelul 2.7

Caracteristicile constructive ale pieselor turnate în forme metalice

Denumirea caracteristicii	Valoarea caracteristicii la piesele turnate		
	Mici	Mijlocii	Mari
Grosimea peretelui piesei, în mm			
- la piese fără miez	3	8	15
- la piese cu miez de nisip	2.5	5	10
Unghiul de înclinare al peretilor interiori ai piesei	5	3	2

sînt date în tabelul 2.8.

Tabelul 2.8

Temperaturile de preîncălzire ale formelor metalice

Aliajul și mărimea piesei de turnat	Temperatura de încălzire a formei metalice, în °C
Aliaj de aluminiu	100.....150
Aliaj de magneziu	100.....250
Aliaj de cupru	200.....250
- piese mici	80.....100
- piese mijlocii și mari	100.....150

Pentru creșterea durabilității formelor metalice și pentru evitarea uzurilor premature pe suprafețele active ale acestora se depune o masă de protecție, formată din pudră de cuarț și soluție de silicat de sodiu, sau argilă refractară, grafit și ulei mineral.

Adaosurile de prelucrare pentru piesele turnate în forme metalice se reduc cu 60 - 70 % față de cazul turnării în forme din amestec de formare, conform STAS 1592-74.

În tabelul 2.9 sînt indicate abaterile dimensionale ale pieselor din aliaje neferoase, obținute prin turnarea în forme metalice.

Tabelul 2.9
Abateri dimensionale ale pieselor din aliaje neferoase turnate în forme metalice

Clasa de precizie	Dimensiunile maxime ale piesei în mm	Dimensiunea nominală a grosimii peretelui, în mm			
		pînă la 6	6.....10	10.....20	20.....30
I	Pînă la 200	0.7	0.8	1.0	1.2
	200.....500	0.8	0.9	1.2	1.4
II	Pînă la 200	1	1.2	1.4	1.6
	200.....500	1.2	1.4	1.6	1.8

Turnarea centrifugă este o metodă ce se aplică cu succes la fabricarea pieselor cu profil simetric, din aliaje neferoase grele și ușoare, cît și la fabricarea unor piese bimetalice [31, 131, 163, 233, 238, 255].

Metoda este caracterizată de mișcarea de rotație în jurul unui ax a formei metalice, la turnarea și solidificarea piesei. Viteza de rotație a formei este un parametru tehnologic important, de care depinde calitatea piesei turnate. Pentru viteze reduse de rotație, suprafața interioară a piesei nu este dreaptă, iar piesa va reține incluziunile nemetalice posibile în aliaj. La depășirea vitezei de rotație, crește mult presiunea metalului lichid, apar crăpături, aderențe și segregatii, mașina vibrează și se uzează rapid.

Viteza optimă de rotație este corespunzătoare vitezei minime în care se obțin piese de calitate corespunzătoare, fără defecte de turnare.

Viteza de rotație a formei, la turnarea cu ax orizontal, se determină cu formula lui Kammen sau formula lui Constantinov [31]

Formula lui Kammen

$$n = \frac{C}{\sqrt{r}} \text{ [rot/min] } \quad (2.2)$$

Formula lui Constantinov

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot r}} \text{ [rot/min] } \quad (2.3)$$

în care:

n - numărul de rotații pe minut;

C - coeficient ce depinde de natura aliajului;

n - numărul de rotații pe minut;

γ - greutatea specifică a aliajului, în $[Kg/cm^3]$;

- pentru aliajele de aluminiu $C = 2250$ r - raza suprafeței interioare a piesei
- r - raza suprafeței interioare a piesei.

Deoarece aliajul introdus în formă este supus acțiunii forței centrifuge, cât și acțiunii forței gravitaționale, se poate determina coeficientul gravitațional k_g cu relația:

$$k_g = \frac{F_c}{F_g} = \frac{m \omega^2 r}{m g} = \frac{\omega^2 r}{g} \quad (2.4)$$

În practica tehnologică s-a demonstrat că turnarea centrifugă are loc dacă $\frac{\omega^2 r}{g} \gg 16$ [256].

Literatura de specialitate [3, 15, 35] indică o serie de tabele și grafice cu ajutorul cărora, în practică, se determină rotația optimă a formei la turnarea centrifugă.

Pentru micșorarea vitezei de răcire a piesei și deci evitarea apariției zonelor extradure și a tensiunilor de turnare foarte mari, se vor folosi căptușelile refractare pe formele metalice.

Statisticile arată că, pe ansamblul grupului țărilor prelucrătoare de aliaje neferoase (S.U.A., R.F.G., Japonia, Franța), ponderea procedeeleor de turnare a aliajelor cu bază de aluminiu a fost, la nivelul anului 1980, următoarea:

- 16 % aliaje turnate în forme clasice din amestec;
- 37 % aliaje turnate în forme metalice obișnuite;
- 47 % aliaje turnate în forme metalice sub presiune.

2.3. Tehnologia de turnare sub presiune utilizată la fabricarea pieselor din aluminiu, zinc și alamă

Ca și pe plan mondial și în țara noastră, în ultimii 10-15 ani, a crescut simțitor procentajul fabricării pieselor din aliaje neferoase prin turnarea sub presiune.

2.3.1. Scurtă descriere a procedurii de turnat sub presiune și a utilajului folosit

Perfecționarea proceselor tehnologice duce la folosirea, la mijlocul veacului al XV-lea, în locul formelor de nisip a formelor metalice și abia în secolul al XIX-lea, au fost făcute primele încercări pentru a folosi presiunea metalului turnat

534 506
335 4

în forme [193].

Totuși, pînă la primul război mondial turnarea sub presiune s-a dezvoltat foarte încet. Primul război mondial a cerut industriei o sporire bruscă a productivității și fabricarea pieselor în masă. Acestor condiții îi corespundea turnarea sub presiune, care, începînd din 1918, se perfecționează din ce în ce mai mult și pătrunde pe o scară largă în industrie la construcția automobilelor, în electrotehnică, radiotehnică, construcții de aparate, de avioane și pentru obiecte casnice.

Astăzi, turnarea sub presiune reprezintă, în cadrul procedeelor speciale de turnare a aliajelor neferoase, un procedeu modern de fabricare a pieselor, cu o productivitate ridicată, o precizie dimensională superioară și o bună calitate a suprafețelor pieselor.

Turnarea sub presiune se caracterizează prin viteză mare de curgere a aliajului lichid, sub acțiunea unei suprapresiuni realizate mecanic sau pneumatic, într-o formă metalică de construcție specială, numită în practica curentă matriță.

Turnarea sub presiune, cu toate că nu este clasificată în categoria turnărilor de precizie, realizează piese de dimensiuni precise și cu un înalt grad de netezime a suprafețelor, superioară altor procedee cum ar fi: turnarea în modele ușor fuzibile sau turnarea în coji, fapt ce permite o utilizare directă a acestor piese fără operații ulterioare de finisare. Metoda se limitează, deocamdată, la turnarea pieselor din aliaje neferoase și de mase relativ mici și mijlocii (max \sim 150 kg/buc); devine rentabilă, comparativ cu celelalte procedee, și reprezintă singura metodă de turnare a unor piese cu grosimi sub 1 mm și suprafață mare a peretelui.

Procedeul de turnare sub presiune are o extindere limitată, datorită investițiilor inițiale mari și dificultăților în proiectarea și realizarea matrițelor. Se pare că odată cu asimilarea unor mărci de oțel superioare celor existente, care să asigure o durabilitate ridicată a matriței și, pe măsura dezvoltării și perfecționării metodelor de proiectare și executare a matrițelor, acest procedeu va putea fi dezvoltat conform necesităților industriei constructoare de mașini și mecanicii fine [132].

Turnarea sub presiune prezintă următoarele avantaje[53, 131, 132, 158, 163, 193, 206, 233, 255] :

1. Posibilitatea obținerii unor piese cu pereți subțiri și cu configurație complicată.
2. Precizie mare a dimensiunii pieselor, ceea ce asigură interschimbabilitatea lor.
3. Excluderea completă a folosirii amestecurilor de formare și de miezuri.
4. Evitarea necesității de a se transporta nisipul și alte materiale de formare.
5. Se reduce numărul lucrătorilor din turnătorie.
6. Crește procentul de mecanizare a procesului de producție, crește productivitatea și se ușurează munca turnătorului.
7. Se îmbunătățesc condițiile de muncă și starea sanitară, în comparație cu turnarea în nisip.

Dintre dezavantajele procedeului amintim:

1. Se cer utilaje complicate și costisitoare.
2. Dimensiunile pieselor turnate sînt limitate.
3. Mașinile moderne de turnat sub presiune se pot folosi eficient numai la materiale ce au temperatura de topire sub 1000°C .

La noi în țară există turnătorii cu sectoare de turnat sub presiune la: „I.R.E.M.O.A.S”, „I.E.A.”, și „I.M.E.B.” din București, „Metrom” și „Tractorul” la Brașov, „I.A.E.M.”, „Electrobanat” și „Electromotor” la Timișoara, „Balanța” și „I.P.A.” din Sibiu, „I.A.M.B.A.” la Arad, „U.A.M.T.” Oradea, „I.P.A.” Pitești.

Clasificarea procedeelor de turnare sub presiune se face în funcție de următoarele elemente:

- natura agentului ce realizează presiunea;
- valorile presiunilor realizate;
- direcția după care se realizează presiunea asupra aliajului care curge și cristalizează.

O clasificare a procedeelor de turnare sub presiune este dată în fig.2.2.

În practică se utilizează mașini de turnat la joasă presiune și mașini de turnat sub presiuni înalte.

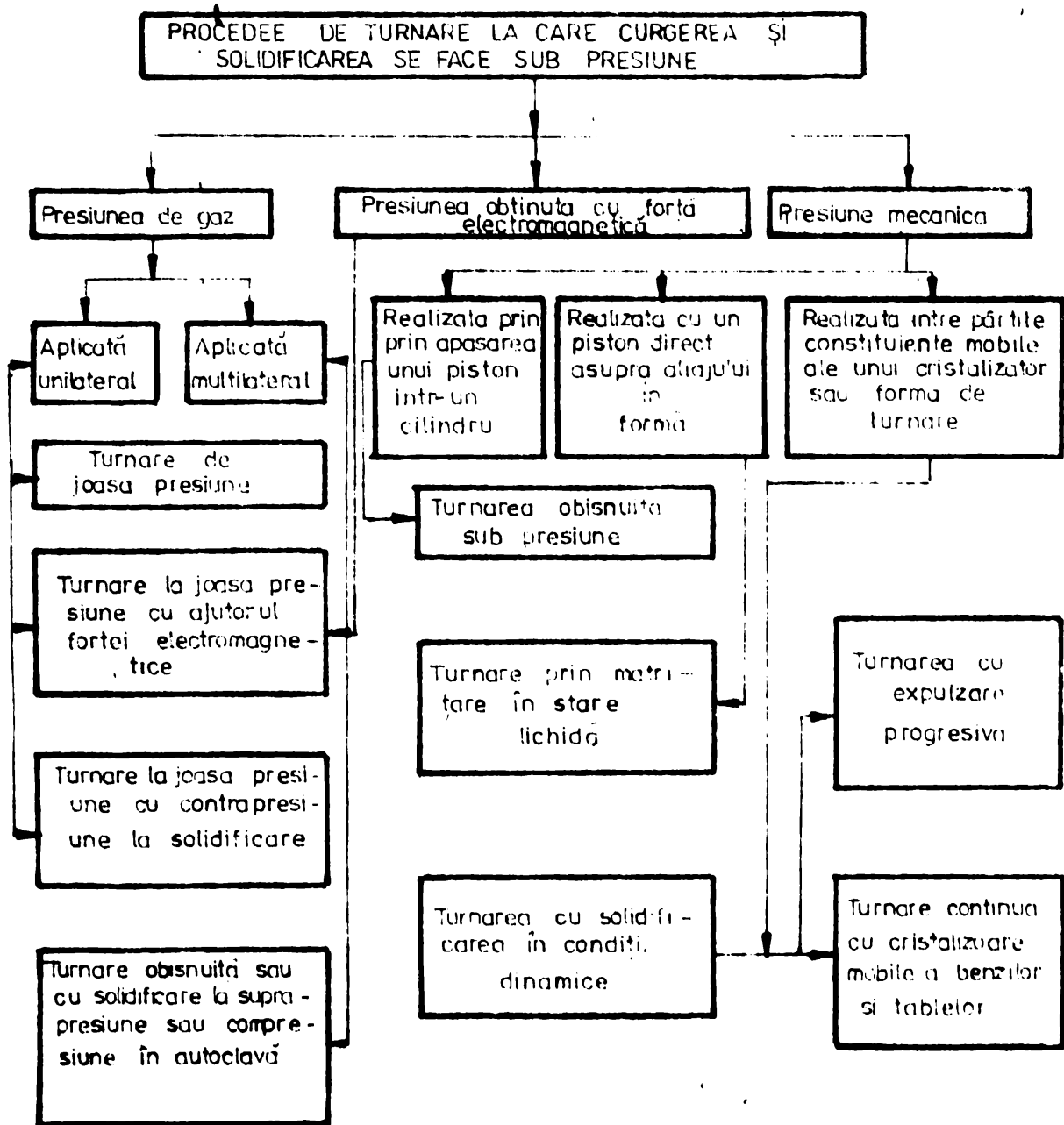


Fig.2.2. Clasificarea procedeelor de turnare sub presiune

In fig.2.3 se prezintă o clasificare a mașinilor de turnat sub presiuni înalte, după criteriul constructiv și din punctul de vedere al concepției de realizare a utilajului.

2.3.2. Parametrii principali ai tehnologiei turnării sub presiune

Cercetările efectuate în acest domeniu [2, 68, 206, 255] au stabilit următorii parametri principali în turnarea sub presiune:

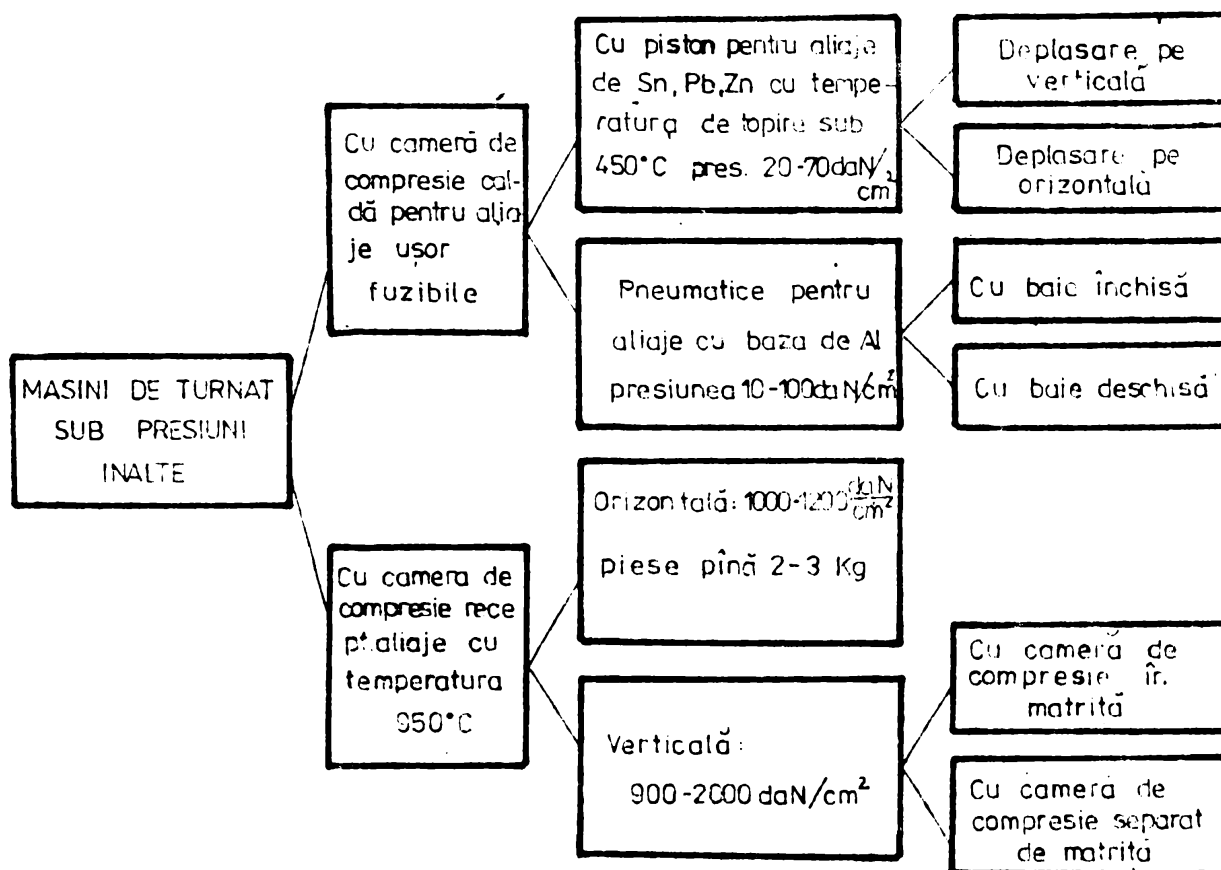


Fig.2.3. Clasificarea mașinilor de turnare sub presiuni înalte

- presiunea de injectare;
- forța de presare și forța de închidere;
- secțiunea alimentatorului.

În fig.2.4 este reprezentată variația vitezei de turnare și a presiunii aliajului din sistemul cameră-matrită, unde se deosebesc fazele:

- în perioada T_1 pistonul de presare se deplasează încet pînă vine în contact cu aliajul lichid; valoarea presiunii P_1 reprezintă frecarea în sistemul hidraulic;
- în perioada T_2 aliajul se ridică în camera de compresie pînă udă întregul ei perimetru; iar valoarea presiunii P_2 depășește valoarea presiunii P_1 ;
- în perioada T_3 se umple rețeaua de turnare și cavitatea matritei cu aliaj topit;
- presiunea de vîrf P_4 este determinată de șocul hidraulic, care apare ca urmare a forțelor de inerție.

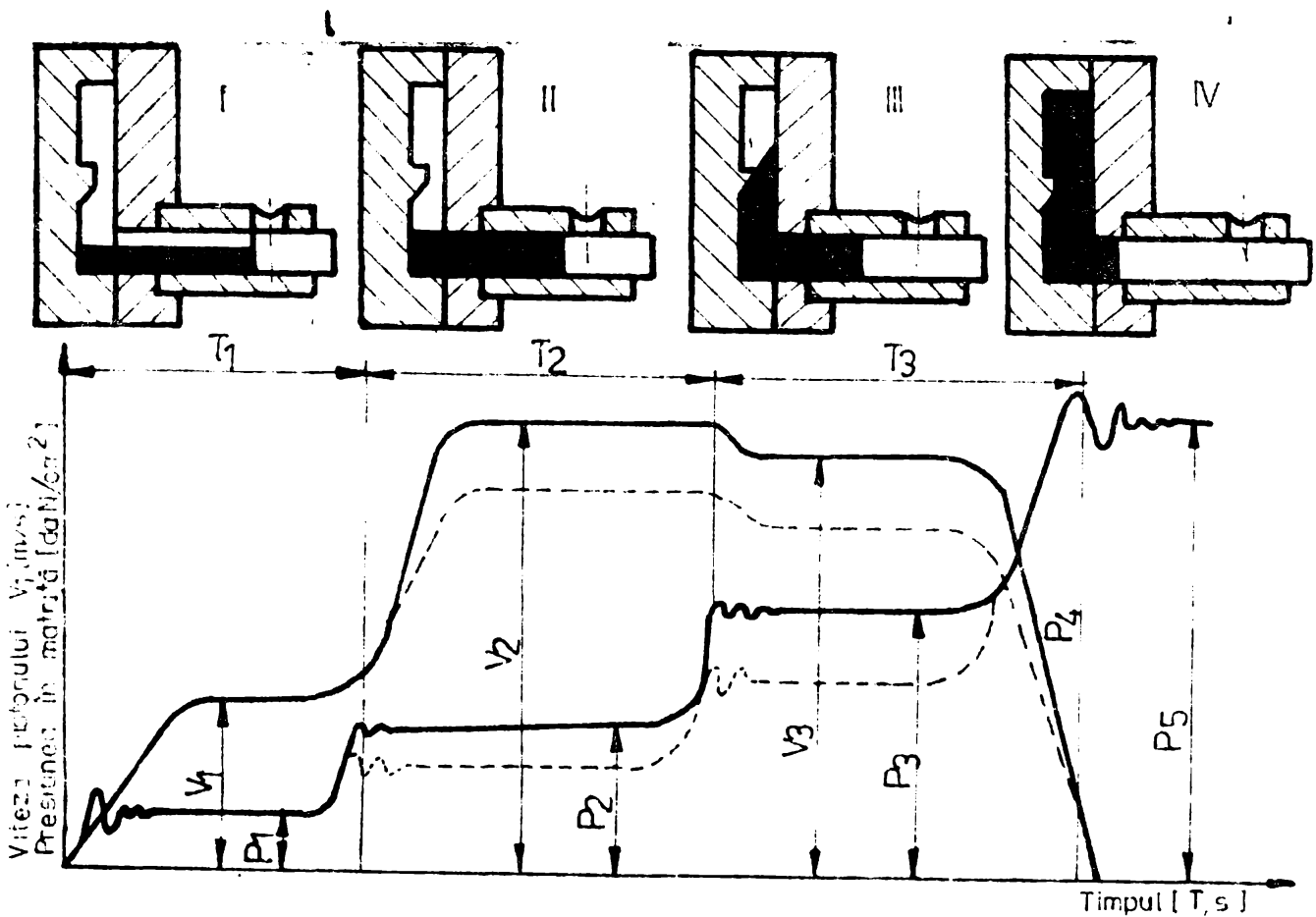


Fig.2.4. Diagrama complexă a variației vitezei de injecție și a presiunii din sistemul cameră-matriță

- după amortizarea șocului hidraulic, în zona cilindrului de presare se stabilește presiunea statică P_5 , care, atunci când se transmite prin metal întregii mase de aliaj lichid din cavitatea matriței, realizează postpresarea.

Presiunea de injecție P_1 se adoptă experimental, în funcție de natura aliajului turnat, grosimea minimă a peretelui piesei și suprafața peretelui respectiv (tabelul 2.10).

Tabelul 2.10

Presiuni specifice de injecție folosite la turnarea sub presiune

Aliajul turnat pe baza de	Pres. specifică de injecție [daN/cm ²]	Aliajul turnat pe baza de	Pres. specifică de injecție [daN/cm ²]
Plumb	20.....70	Magneziu	100.....300
Staniu	20.....110	Aluminiu	300.....700
Zinc	20.....150	Cupru	300.....1000

Având presiunea hidraulică dezvoltată de mașină și mărimea diametrului pistonului hidraulic D_h , se poate determina diametrul pistonului de injectare cu relația:

$$d_i = D_h \sqrt{\frac{P_h}{P_i}} \quad [\text{cm}] \quad (2.5)$$

Forța de închidere a semimatritelor se determină cu relația:

$$F_i = K F_{d_p} \quad [\text{N}] \quad (2.6)$$

în care: K este un coeficient de siguranță = 1,2 ... 3;

F_{d_p} - forța de deschidere pe care o realizează pistonul de presare la injectare.

În practică F_{d_p} se determină relativ simplu, folosind diagrama de sarcină a mașinii.

Secțiunea alimentatorului se poate determina cu relația:

$$S_a = \frac{M}{\rho V_a T} \quad [\text{m}^2] \quad (2.7)$$

M - masa aliajului din piesă, în [kg];

ρ - densitatea aliajului turnat, în [kgf/m³];

V_a - viteza de curgere a aliajului la alimentare;

T - timpul de umplere a cavității cu aliaj în [s].

Viteza aliajului în alimentator este între 10-60 m/s, valorile mici fiind recomandate pentru piesele cu secțiuni groase, iar cele ridicate pentru piese cu secțiuni subțiri.

În tabelul 2.11 se indică orientativ timpul de umplere

Tabelul 2.11

Timpul de umplere a formei la, turnarea sub presiune

Nr. crt.	Grosimea peretelui piesei, turnate	Timpul aproximativ de umplere, S
1	1.5.....2	0.01.....0.06
2	2.....2.5	0.03.....0.09
3	2.5.....4	0.09.....0.12
4	4.....6	0.12.....0.30

a formeii la turnarea sub presiune, funcție de grosimea peretelui piesei.

2.3.3. Nomenclatorul semifabricatelor obținute prin turnarea sub presiune

Turnarea sub presiune, datorită multiplelor sale avantaje, a permis obținerea unei game variate de piese pentru un număr mare de produse.

În lucrările [31, 132, 206] sînt prezentate o serie de tabele care se referă la:

- grosimi minime ale pereților pieselor;
- înclinația constructivă a peretelui;
- caracteristicile orificiilor obținute direct prin turnare;
- dimensiunile minime ale filetelor care se pot obține direct prin turnare;
- toleranțe pentru dimensiuni etc.

Din nomenclatorul larg al semifabricatelor turnate sub presiune, unele sînt indicate în tabelul 2.12.

2.4. Matrite utilizate pentru turnarea sub presiune a pieselor din silumin, zamac și alamă pentru mijloace de transport auto, feroviar și bunuri de larg consum

Nomenclatorul foarte variat al semifabricatelor obținute la turnarea sub presiune impune ca o necesitate realizarea unor matrite de o complexitate tot mai mare. În fig.2.5 se prezintă o clasificare a acestor matrite.

2.4.1. Particularitățile constructive ale matritelor de turnat sub presiune

Turnarea sub presiune a aliajelor neferoase se execută în matrite, care, în principal, au următoarele părți componente:

Blocul matritei fix compus în mod obișnuit din placa portmatrită fixă, matrița fixă propriu-zisă, care împreună cu miezurile, bolțurile de ghidare și pastilele componente alcătuiesc o semiformă de turnare.

Partea mobilă a matritei este compusă din matrița mobilă cu placa portmatrită, sistemul de aruncare, placa de bază

Tabel 2.12

Semifabricate obtinute prin turnarea sub presiune.

Nr. crt.	Denumirea produsului pentru care s-a turnat piesa	Denumirea piesei
1.	Autoturisme DACIA	Emblemă de bord, macara geam, uşă faţă dreapta si stînga, suport geam uşă, minere diferite, buşon rezervor benzină, ştergător parbriz, ornament spate, carburator, pistoane, etc
2.	Autoturisme ARO	Apărător soare, buşon rezervor benzină, retrovizor exterior cu oglindă, lagăre buce, distribuitor.
3.	Autoturisme OLTCIT	Zăvor, macara geam stînga si dreapta, bieletă de legătură, carter, antrenor, zăvor întoarcere la zero.
4.	Autocamioane	Mîner exterior şi interior, corp rotativ, ax melcat, armatură butuc, piston, capac carcasă, cutie de viteze, capac lagăr. etc.
5.	Vagoane	Corp zăvor, mîner, suport ghidaj, corp de articulaţie, balama, cep interior si cep exterior, şilduri etc.
6.	Maşini unelte	Inel, suport oscilant, roata de mîna, disc mîner etrier, rolă, piuliţe, lagăre, angrenaje, cuzineţi etc.
7.	Pompe de injectie	Capac regulator, corp regulator, carcasă, fulie, taler inferior şi superior, etc.
8.	Razboaie de ţesut	Placă superioară, suport inel, apărătoare pentru curele de transmisie etc.
9.	Maşini de cusut	Braţul maşinii, placa de bază, capac superior, capacul volantului.
10.	Articole de feronerie	Talpă suport prosop, articulaţie port prosop, consolă pentru etajeră, consolă de galerie etc.

pentru fixare pe mașină, bucle de ghidare, bolțuri de ghidare și de reducere, miezuri fixe și mobile, mecanisme pentru acționarea miezurilor laterale etc.

Sistemul de aruncare al matriței realizează extragerea din formă prin aruncătoarele fixate pe placa portaruncătoare și placa aruncătoare, care este acționată de sistemul de aruncare al mașinii de turnat.

Aruncătoarele sînt de construcție tubulară sau tija masivă. Aruncătoarele se montează pe miezurile fixe, care sînt prinse într-o placă suplimentară, amplasată între placa aruncătoare și placa de bază a matriței.

Miezurile au rolul de a realiza în piesa turnată orificii rotunde sau de diferite profile. Miezurile pot fi fixe sau mobile și se amplasează, de regulă, în partea mobilă a matriței.

Determinarea dimensiunilor părților active ale matriței se face ținînd cont de următorii factori:

- modificarea dimensiunilor în timp, datorită uzurii;
- realizarea abaterilor dimensionale admisibile pentru piesa turnată;
- toleranțele realizate la execuția matriței;
- posibilitatea realizării unor recondiționări pe parcursul exploatării matriței;
- contracția aliajului turnat și dilatația matriței la turnare.

Pentru a determina dimensiunile exterioare D_e și D_i ale cavității amprentă se folosesc relațiile 132,206 :

$$D_e = N_{pt} - A_1 + A_c + T \quad [\text{mm}] \quad (2.8)$$

$$D_i = N_{pt} - A_s - A_c - T \quad [\text{mm}] \quad (2.9)$$

în care:

- N_{pt} - dimensiunea nominală a piesei turnate, în [mm];
- A_1 - abaterea inferioară a dimensiunii nominale, în [mm];
- A_s - abaterea superioară a dimensiunii nominale, în [mm];
- A_c - adaos de compensare a contracției la dimensiunea nominală, în [mm];
- T - toleranța la execuția dimensiunii respective la cavitățile matriței, în [mm]

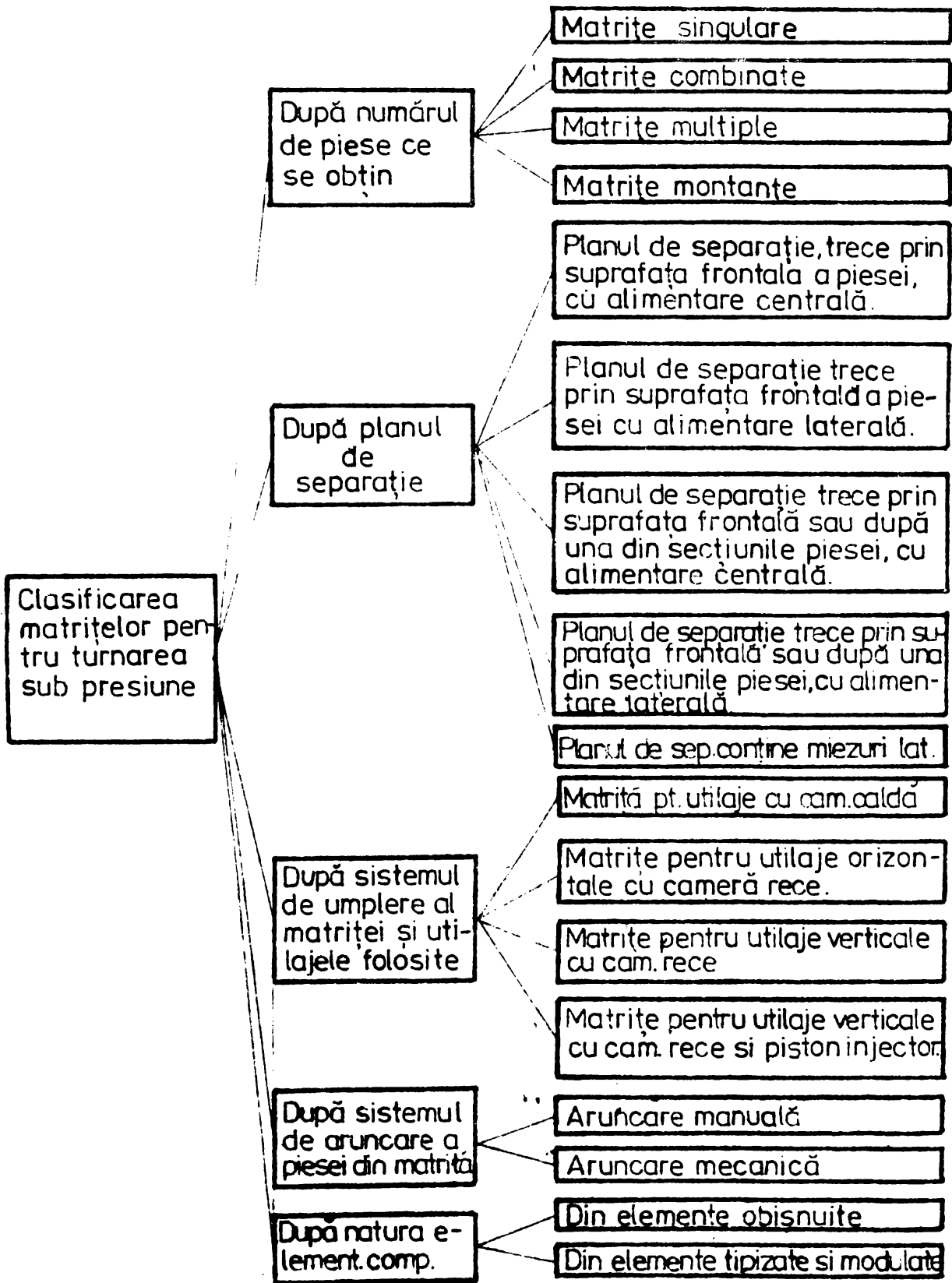


Fig.2.5. Clasificarea matritelor pentru turnarea sub presiune

Mărimea A_c se determină cu relația:

$$A_c = \frac{N_{pt} \cdot C}{100} \quad [\text{mm}] \quad (2.10)$$

În care C reprezintă coeficientul de contracție al aliajului turnat, în % (Tabelul 2.13).

Tabelul 2.13

Contractia aliajelor folosite la turnarea sub presiune

Nr. crt.	Aliajul turnat	Contractia %
1.	Cu bază de staniu	0.2.....0.4
2.	Cu bază de zinc	0.4.....0.6
3.	Cu bază de aluminiu	0.5.....0.8
4.	Cu bază de magneziu	0.6.....0.8
5.	Cu bază de cupru	1.1.....1.2

2.4.2. Metodica proiectării matrițelor de turnat sub presiune

La proiectarea unei matrițe se vor parcurge etapele [4, 244, 263]:

- analiza piesei;
- stabilirea formei și dimensiunilor piesei plane;
- stabilirea schemei tehnologice a matriței;
- calculul forțelor de lucru și a centrului de presiune;
- alegerea mașinii de turnat sub presiune;
- proiectarea matriței;
- calculul de rezistență ale unor elemente constructive;
- calculul dimensiunilor nominale și ale toleranțelor părților active;
- întocmirea desenelor de execuție și normarea tehnică pentru reперele componente;
- indicații privind exploatarea, întreținerea și repararea matriței respective;
- justificarea economică a proiectării matriței.

C A P I T O L U L 3

TIPIZAREA MATRITELOR PENTRU TURNAT SUB PRESIUNE

3.1. Tipizarea, o necesitate a tehnologiei actuale

Activitatea de standardizare-tipizare, în țara noastră, a căpătat o dezvoltare corespunzătoare numai în urma înființării, prin Decretul 334 din 19.XI.1948 a Prezidiului Marii Adunări Naționale, a unui organ național - Comisia de standardizare de pe lângă Consiliul de Miniștri.

În 1956 Comisia de standardizare se transformă în Oficiul de stat pentru standarde, iar în 1970, în Institutul Român de Standardizare.

Prin standardele de stat, tipizarea produselor s-a realizat diferențiat, în funcție de gradul lor de complexitate.

O etapă avansată de organizare a tipizării în construcția de mașini începe după anul 1960, când I.C.T.C.M. elaborează tematici generale pe țară.

Din 1973 funcționează Consiliul de coordonare a profilării, specializării și cooperării în ramurile industriei construcțiilor de mașini și industriei metalurgice, cu largi atribuțiuni și în domeniul activității de tipizare.

Pentru accelerarea procesului de standardizare și tipizare, în 1979 se înființează Comisia de partid și de stat pentru problemele de tipizare și standardizare pe economie, condusă de președintele Consiliului Național pentru Știință și tehnologie, care coordonează, îndrumă și controlează într-o concepție unitară întreaga activitate de tipizare și standardizare.

Conform definiției adoptate de I.S.O., prin standardizare se înțelege procesul de stabilire și aplicare a unor norme în scopul introducerii ordinii într-un domeniu de activitate dat, în interesul și cu colaborarea tuturor părților interesate, avându-se în vedere promovarea, în interesul general, a unei economii optime.

Tipizarea este considerată ca o latură a standardizării și are două funcții principale: selectivă și constructivă. Funcția selectivă indică limitarea mașinilor și accesoriilor acestora la

niveluri minime, prin extinderea producției numai a tipurilor de mașini celor mai corespunzătoare scopului dat și eliminarea din fabricație a mașinilor care satisfac aceeași trebuință, dar cu caracteristici constructive diferite. Funcția constructivă presupune orientarea construcției mașinilor și subansamblelor, astfel încât să se poată adopta cât mai fidel cerințelor tehnologice în continuă diversificare [23].

Parte a standardizării, tipizarea nu poate fi confundată cu aceasta. Standardizarea cuprinde: caracteristici de calitate a produselor, metode de încercare, verificare și recepție, condiții de transport, exploatare și reparații etc (fig.3.1).

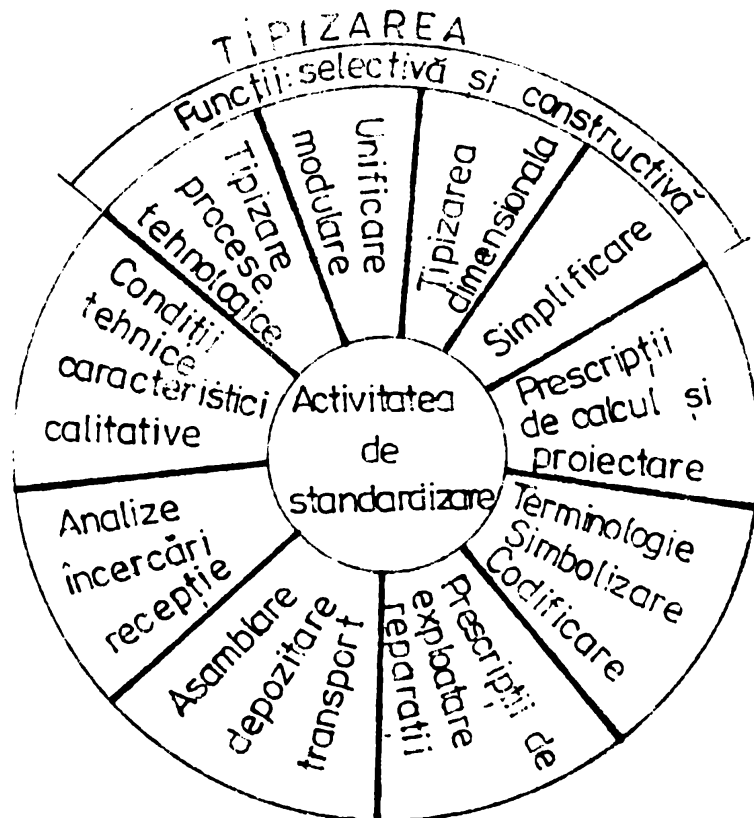


Fig.3.1. Schema principală a conținutului standardizării

normativ de tipizare se transformă în standard de stat, dacă produsul respectiv interesează mai multe ramuri economice.

Pe lângă atributele de factor al progresului tehnic în ridicarea calității și fiabilității produselor, tipizarea și standardizarea constituie pîrghii puternice de creștere a eficienței economice atât în cazul producției cu caracter de masă, cât și a celei de serie reduse.

Datele existente în literatura de specialitate [23, 154]

Menționăm că standardizarea se bazează pe standarde obligatorii la scara întregii economii naționale, iar tipizarea pe norme de tipizare la nivel de ramură și întreprindere, precum și pe proiecte tip, cu sferă de obligativitate mai restrînsă și cu flexibilitate mai mare. După un anumit timp, când sînt suficiente date, documentul tehnic

ci rezultatele multor institute de cercetări științifice, inginerie tehnologică și proiectări din țara noastră arată că, prin tipizarea constructivă, volumul documentației de proiectare se reduce de 5 - 7 ori, durata de proiectare a noilor produse scade de 4-5 ori, iar valoarea manoperei se diminuează cu aproape 40 - 50 %.

Sintetizând multiplele aspecte pe care le îmbracă eficiența activității de tipizare- standardizare și prezentându-le în fig.3.2, rezultă că, o dată cu creșterea gradului de tipizare scade costul și manopera necesară executării produselor,

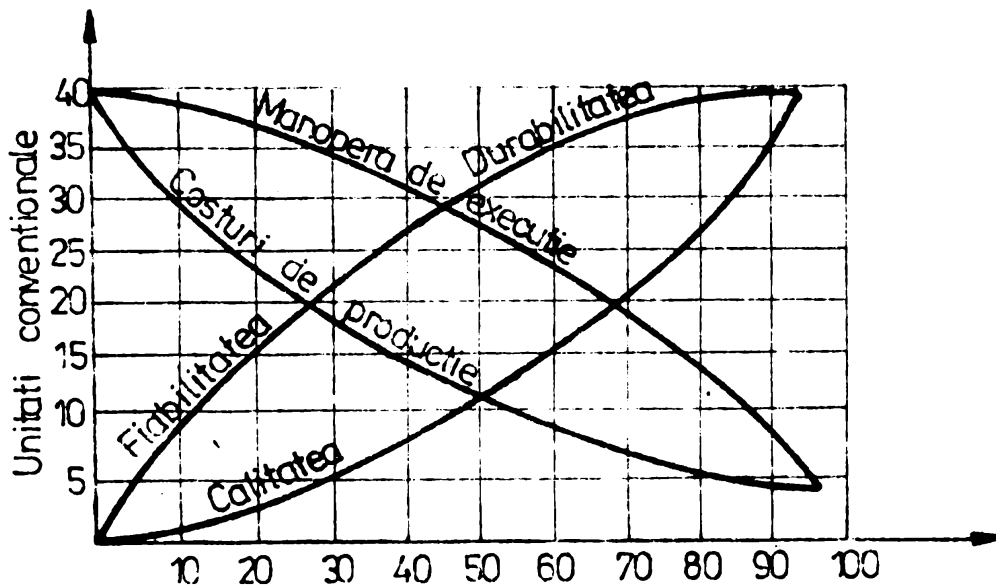


Fig.3.2. Variația indicatorilor produselor în funcție de gradul de unificare

îmbunătățindu-se calitatea, fiabilitatea și durata lor de viață [202].

3.2. Situația actuală în industria din țara noastră

Cercetările efectuate în domeniul tipizării produselor în construcția de mașini [23, 24, 25, 37, 55, 201] arată că au fost obținute o serie de rezultate bune în domeniul mașinilor - unelte, motoarelor electrice, motoarelor cu ardere internă, utilajelor terasiere și de transport etc.

Avantajele deosebite ale tipizării acestor produse au dus la o serie de cercetări [24, 55, 54, 134, 128, 129, 130] care arată că tipizarea poate fi aplicată și în domeniul matrite-

lor de turnat sub presiune.

3.3. Propuneri de tipizare a matritelor de turnat sub presiune pentru piese folosite la mijloace de transport auto, feroviar și bunuri de larg consum

Practica tipizării diferitelor produse industriale de către unități de concepție specializate în acest domeniu, ca și experiența altor instituții de cercetare și inginerie tehnologică, indică drept etapă necesară în realizarea oricărei acțiuni de tipizare, elaborarea unei scheme program la care sînt fundamentate și clarificate principalele aspecte ale problemei.

Această schemă conturează concepția de tipizare a produselor, în conformitate cu anumite criterii constructive și tehnologice, privind structura, tipodimensiunea, furnizînd datele de sinteză pentru organizarea rațională a procesului tehnologic de fabricație, specializării și cooperării între întreprinderi.

Schema program de tipizare studiază și soluționează:

- schema bloc pentru matrița reprezentativă din grupa studiată, cu determinarea următoarelor elemente: parametrul principal al matriței, simbolizarea de gabarit, gradul de automatizare, posibilități de execuție etc;

- definirea stadiului actual al fabricației în țara noastră, privind necesarul uzual și în perspectivă de matrițe din grupa respectivă, pe tipodimensiuni;

- propuneri de asimilare pentru perioada adoptată în calcul, care va cuprinde numărul necesar de matrițe din produsul respectiv, numărul tipodimensiunilor, precum și variantele pentru fiecare tipodimensiune în parte;

- analiza matrițelor fabricate în alte țări, aparținînd grupei luată în studiu care trebuie să cuprindă realizările de bază ale firmelor străine și nivelul de tipizare constructivă realizat;

- analiza posibilităților de refolosire a pieselor matriței de bază la realizarea unor noi variante de matrițe.

Cercetările efectuate de către autor, în domeniul tipizării matrițelor, [127, 128, 129, 130] au fost concretizate prin elaborarea unui material amplu [134], în care propunem un model de tipizare pentru matrițele de turnat sub presiune. La elaborarea acestui material (prezentat în anexă) s-a ținut cont de următoarele criterii

dime șiunile de gabarit ale plăcilor de fixare de la

mașinile de turnat sub presiune;

- calculele de rezistență pentru diferite organe componente ale matriței, care sînt mai solicitate în procesul de turnare (plăci de bază și plăci de capăt, elemente de ghidare etc);

- gama tipodimensională a reperelor, ce urmează a fi realizată prin turnare;

- experiența acumulată de întreprindere în domeniul turnării sub presiune;

- echilibrul termic al matriței, folosită la turnarea sub presiune.

Pentru a se putea urmări mai ușor tipizarea elementelor de matriță se prezintă în fig.3.3 elementele principale ale unei matrițe de turnat sub presiune.

La matrița din fig.3.3 deosebim următoarele elemente, care au fost codificate astfel:

Denumirea:	Codul:
1. Placă de bază	87.01.3000
2. Inel de fixare	87.01.2100
3. Placă aruncător	87.01.4100
4. Placă portaruncător	87.01.4200
5. Placă portmatriță mobilă	87.01.2000
6. Matriță mobilă	87.01.1000
7. Matriță fixă	87.02.1000
8. Placă portmatriță fixă	87.00.2000
9. Bolt	87.01.4200
10. Bucșă de ghidare	87.02.1100
11. Bolt de ghidare	87.02.2300
12. Placă distanțier	87.01.5000
13. Despicator	87.01.1100
14. Bucșă aruncător	87.01.4220
15. Bucșă de alimentare	87.02.2100
16. Dop	87.02.2200

Au fost tipizate elementele care se repetă identic la aceleași tipuri de dimensiuni și exemplificate elementele care își schimbă unele dimensiuni funcție de planul de separație, de forma piesei turnate etc.

Codul folosit reprezintă: 87 - anul cînd s-a realizat tipizarea; 00, 01, 02 - parte fixă, mobilă sau elementele care

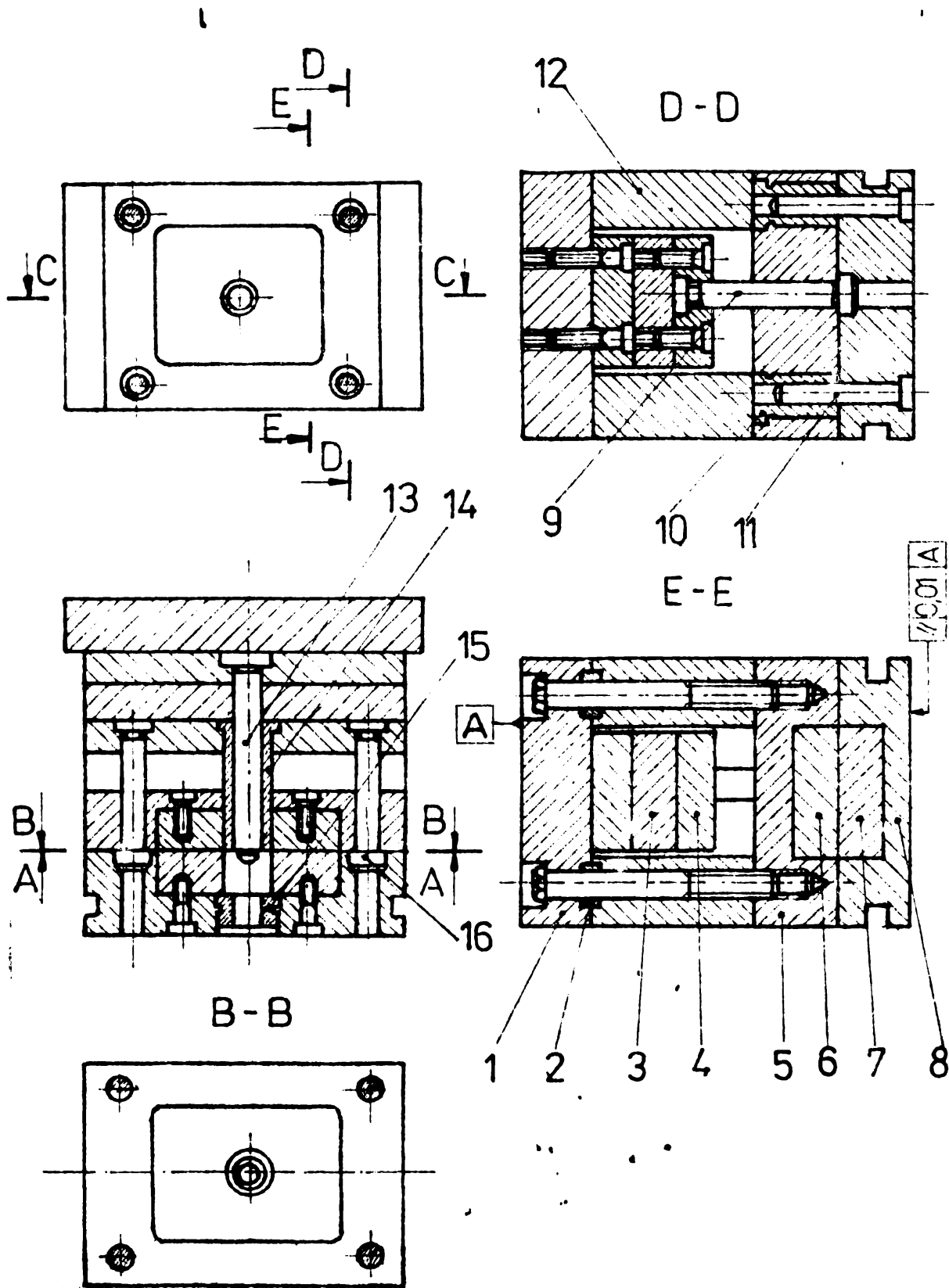


Fig.33. Elementele principale ale unei matrite de turnat sub presiune

se găsesc în ambele părți ale matriței. Celelalte cifre reprezintă fiecare o altă parte componentă a matriței.

Intocmirea codului elementelor tipizate este impusă de necesitatea definirii precise a fiecărui element din sistem, astfel încât, să fie posibilă constituirea unei matrițe cu parametri prescriși.

Având un caracter special și subordonându-se acestui scop, codul elementelor tipizate pentru matrițe de turnat sub presiune, trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să permită o identificare rapidă și unică a fiecărui element din sistem;
- să indice grupele de elemente cu funcții similare;
- să aibă un caracter general, astfel încât să fie posibilă cuprinderea elementelor ce pot fi proiectate;
- să permită constituirea grupelor de piese, în vederea prelucrării lor pe baza tehnologiei de grup;
- să aibă un număr mic de cifre, pentru a putea fi cât mai ușor utilizat și reținut de către tehnologi.

3.3.1. Tipizarea elementelor componente ale matrițelor de turnat sub presiune

Tipizarea formelor și elementelor de matriță asigură următoarele avantaje:

- se reduce foarte mult volumul de proiectare al matrițelor;
- se pot realiza în serie elemente de matriță și piese de schimb, ușurând astfel întreținerea și repararea matrițelor;
- creează posibilitatea refolosirii unor subansambluri la mai multe matrițe;
- se pot utiliza elemente de matriță ieșite din exploatare;
- la matrițele mici, mai ales, se pot executa forme permanente la care se schimbă numai părțile active;
- se poate întocmi o normare tehnică mai judicioasă.

Tipizarea plăcilor de bază. Plăcile de bază sînt elemente principale pe care se fixează și poziționează celelalte elemente ale matriței.

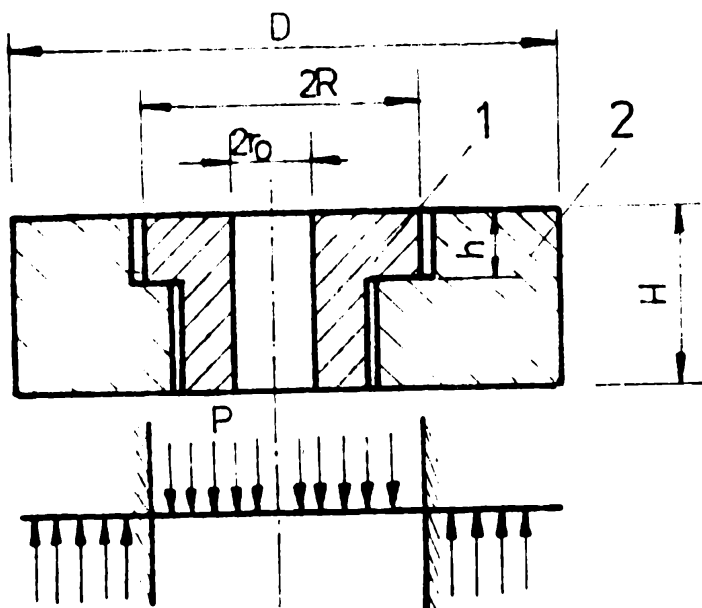
Pentru ca matrița să lucreze în bune condiții, plăcile de bază vor respecta următoarele cerințe:

- să aibă o formă constructivă simplă și ușor de realizat;

- construcția lor să fie astfel concepută, încât să permită utilizarea lor în scopuri multiple;
- suprafețele active să aibă o duritate ridicată, cuprinsă în intervalul 42 ... 46 HRC;
- să reziste la solicitări dinamice de compresiune - încovoiere, strivire etc.

La tipizarea plăcilor de bază s-a avut în vedere calculul grosimii acestora.

Determinarea grosimii H (fig.3.4) corespunzătoare elementului amovibil 1, fixat în placa 2, se face în funcție de valoarea



efortului unitar maxim din secțiunea transversală și reducerea rezistenței datorate canalelor T practicate pe suprafața activă.

Deoarece elementul 1 formează cu alezajul plăcii 2 un ajustaj presat, determinarea grosimii H se va face ca în cazul plăcilor inelare, încastrate pe contur.

Fig.3.4. Schema de calcul a rezistenței plăcilor amovibile de formă circulară

și tangențial \sqrt{t} pentru plăcile inelare încastrate pe contur și încărcate cu o sarcină distribuită, se determină cu relațiile [26]:

$$\sqrt{r_{max}} = \frac{3p}{4h^2} \left[R^2 - 2r_0 + \frac{r_0^4(1-\mu) - 4r_0^2 r_0^2 \ln \frac{R}{r_0} + R^2 r_0^2 (1+\mu)}{R^2(1-\mu) + r_0^2(1+\mu)} \right] \left[\frac{daN}{mm^2} \right] \quad (3.1)$$

$$\sqrt{t_{max}} = \frac{3p(2-\mu^2)}{4h^2} \left[\frac{R^4 - r_0^4 - 4R^2 r_0^2 \ln \frac{R}{r_0}}{R^2(1-\mu) + r_0^2(1+\mu)} \right] \left[\frac{daN}{mm^2} \right] \quad (3.2)$$

în care:

R - este raza mare a elementului inelar;

r - este raza mică a elementului inelar;

μ - constanta lui Poisson.

Deoarece rigiditate plăcii de bază influențează siguranța în exploatare a matrițelor tipizate, este necesar calculul deformației maxime ω_{\max} . Pentru acest caz, deformația maximă ω_{\max} se determină cu relația [26]:

$$\omega_{\max} = \frac{3p(1-\mu)^2}{16h^2E} \left\{ R^4 + 5r_0^4 - 6R^2r_0^2 + 8r_0^4 \ln \frac{R}{r_0} + \frac{[8R^6(1+\mu) - 4R^2r_0^2(1+3\mu) + 4R^4r_0^2(1+\mu)] \ln \frac{R}{r_0}}{R^2(1-\mu) + r_0^2(1+\mu)} + \frac{16R^2r_0^2(1+\mu) \left(\ln \frac{R}{r_0} \right)^2 - 4R^2r_0^2 + 2R^4r_0^2(1+\mu) - 2r_0^6(1-\mu)}{R^2(1-\mu) + r_0^2(1+\mu)} \right\} \quad [\text{mm}] \quad (3.3)$$

Plăcile de cap sînt supuse unor solicitări mai echilibrate în raport cu plăcile de bază, din care cauză grosimea acestora va fi egală cu (0,8 ... 0,9) din grosimea plăcilor de bază.

Cînd plăcile schimbabile sînt de formă dreptunghiulară (fig.3.5), mărimea eforturilor unitare maxime la jumătatea laturilor a și b se calculează cu relațiile [26]

$$\sigma_{a_{\max}} = \frac{0,25 p a^2}{h^2} \quad \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \quad (3.4)$$

$$\sigma_{b_{\max}} = \frac{0,5 p b^2}{h^2(1 + 0,623 f^6)} \quad \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right] \quad (3.5)$$

în care p este forța medie care acționează pe unitatea de suprafață a plăcii de bază, în $[\text{daN}/\text{mm}^2]$.

$$f = \frac{b}{a} < 1$$

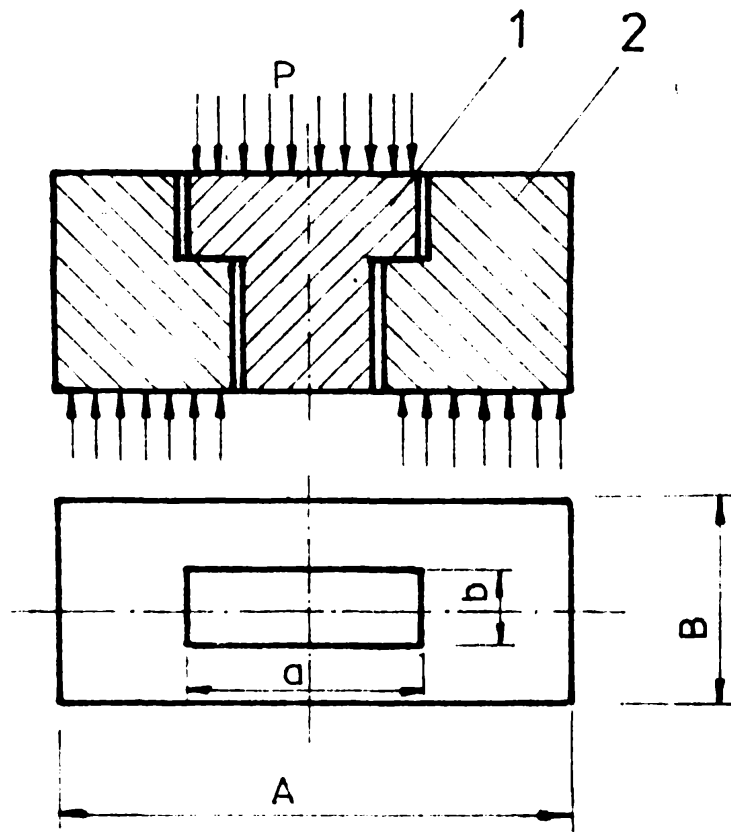


Fig.3.5 Schema de calcul a rezistenței plăcilor amovibile de formă dreptunghiulară

Deformația maximă ω_{\max} a elementului amovibil 1 se determină cu relația:

$$\omega_{\max} = \frac{0,028 pb^2}{Eh^2(1+1056b^5)} \leq \omega_a \quad [\text{mm}] \quad (3.6)$$

în care:

ω_a - este deformația admisibilă în stare asamblată a plăcii și este egală cu $0,0015-0,002/100$ [mm];

E - modulul de elasticitate egal $2,1 \cdot 10^6$ [daN/mm²];

h - grosimea plăcii, corespunzătoare adâncimii canalului T, în [mm.]

Tipizarea matriței fixe. Matrița fixă are rolul de a asigura semicavitata pentru piesa ce urmează a se turna sub presiune. Se realizează, în general, din oțelul termostabil VCrW85.

Tipizarea bolturilor de ghidare. Bolturile de ghidare au rolul de a asigura ghidarea precisă a celor două pachete de matrițe.

Datorită jocului din ghidajul berbecului mașinii de turnat sub presiune, precum și a variației forței de presare, bolturile sînt solicitate la încovoiere. Cercetările experimentale au arătat că forța maximă de încovoiere este între (0,7... 0,8) din forța maximă de turnare sub presiune și acționează după o perpendiculară pe axa bolturilor de ghidare. Ținînd cont de acest lucru, diametrul bolturilor de ghidare se determină cu relația:

$$d = \sqrt{\frac{32 K L F}{\pi \sigma}} \quad [\text{mm}] \quad (3.7)$$

în care: l

- K - este raportul dintre forța normală pe axa coloanei de ghidare și forța maximă la turnarea sub presiune;
- L - lungimea părții active a coloanei de ghidare în [mm];
- F - forța maximă la turnarea sub presiune; în [daN];
- \sqrt{a} - rezistența admisibilă a materialului coloanelor de ghidare, în [daN/mm²].

Trebuie precizat faptul că diametrul va fi astfel determinat, încît să formeze cu bușele de ghidare ajustajul alunecător (H_7/h_8).

Diametrul părții active pentru coloanele de ghidare se poate calcula cu relația:

$$d_a = d + \rho p^{-1} \quad [\text{mm}] \quad (3.8)$$

- d_a - diametrul părții active a coloanei de ghidare;
- d - diametrul minim al coloanei de ghidare (conform rel. 3.8);
- ρ - rația progresiei geometrice, conform STAS 283-49;
- p - ordinul rangului grupeî tipodimensionale din care face parte coloana.

Menționăm că, în anexă, este dată o reprezentare pentru fiecare element tipizat al matrițelor de turnat sub presiune, urmată de tabele ce indică dimensiunile corespunzătoare ale acestora.

La tipizarea tuturor elementelor de matriță s-a avut în vedere faptul ca durabilitatea acestora să fie maximă. În acest sens, a fost efectuat și un calcul privind echilibrul termic al matrițelor pentru turnarea sub presiune [134, 206].

Energia termică a aliajului turnat, pătruns în sculă este:

$$Q_1 = G C_1(t_s - t_a) + C_2(t_t - t_s) + T \quad [\text{K cal}] \quad (3.9)$$

în care:

- G - greutatea metalului, inclusiv din pîlnia de turnare, canalele de distribuție și bavura;
- C_1 - căldura specifică medie a aliajului în stare solidă, [K cal/kg °C];
- C_2 - căldura specifică medie a aliajului în stare lichidă, în [K cal/kg °C];

- t_a - temperatura mediului ambiant, în $^{\circ}\text{C}$;
- t_s - temperatura de topire, în $^{\circ}\text{C}$;
- P - temperatura de topire a aliajului turnat sub presiune.

Energia de presiune a pistonului se transformă în căldură prin energia cinetică a metalului pătruns în matrită.

Energia de presiune se determină cu relația:

$$E = P_s \cdot \Delta y \quad (3.10)$$

în care:

P_s - este presiunea medie de turnare în timpul umplerii matritei, în $[\text{daN}/\text{cm}^2]$;

Δy - volumul de material injectat în matrită

Energia termică se determină cu relația:

$$Q_2 = \frac{1}{4270} \frac{G P_s}{\gamma} \quad [\text{K cal}] \quad (3.11)$$

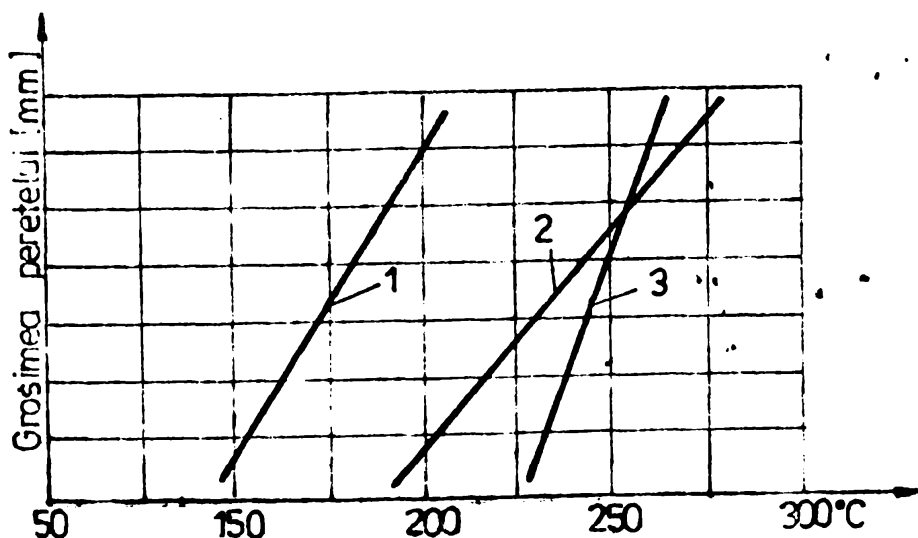
în care: γ este greutatea specifică a metalului topit, în stare lichidă.

Căldura eliminată din sculă pentru turnarea sub presiune se definește astfel:

a) Căldura metalului injectat:

$$Q_3 = G C_1 (t_1 - t_a) \quad [\text{K cal}] \quad (3.12)$$

în care: t_1 - este temperatura de injectare (fig.3.6).



b) Căldura Q_4 care se elimină prin răcire de pe suprafața matritei (conductivitate, emisie termică, transfer de căldură). Astfel, relația echilibrului termic va fi:

$$Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 = 0 \quad (3.13)$$

Fig.3.6. Variația temperaturii de injectare în funcție de grosimea peretelui
1-aliaje de zinc; 2-aliaje de aluminiu;

sau

$$G C_1(t_s - t_a) + C_2(t_t - t_s) + T + \frac{1}{4270} \frac{G P_s}{\mu} - G C_1(t_i - t_a) - Q_4 = 0 \quad (.14)$$

In fig.3.7 este prezentată creșterea de temperatură în funcție de vitezele diferitelor metale.

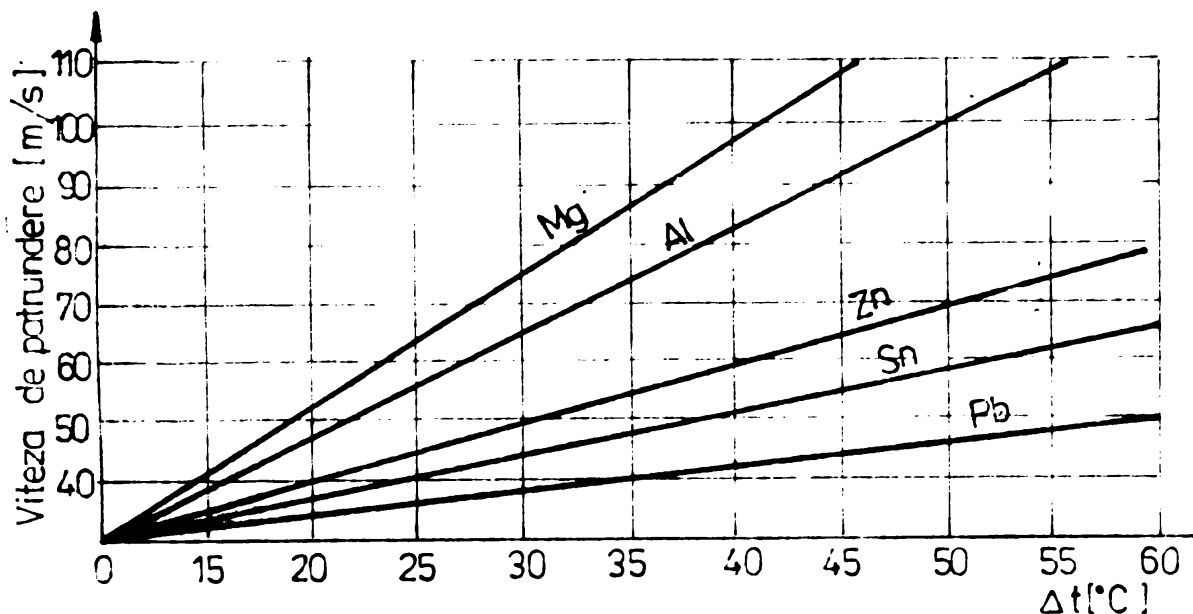


Fig.3.7. Creșterea de temperatură în funcție de viteza de pătrundere pentru diferite metale

3.3.2. Matrite de turnat sub presiune realizate din elemente tipizate

Bazându-ne pe avantajele incontestabile ale tipizării matritelor, și la Institutul de Subinginerii Oradea, sub conducerea autorului, au fost făcute mai multe cercetări în acest domeniu, care, în final s-au concretizat într-o serie de contracte de cercetare [127, 128, 128, 130]. Aceste contracte cuprind un vast material care se referă la proiectarea, realizarea și experimentarea unor matrite de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru:

- rotoare de blocare DACIA 1300;
- șilduri pentru locomotive și vagoane;
- chei de locomotivă;
- indicatoare tip pentru autoturismul ARO.

3.3.2.1. Matrită de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru rotoare de blocare DACIA 1300

Datorită formelor lor complexe, cât și preciziei dimensionale ridicate (0,02 ... 0,05 mm), rotoarele de blocare pentru DACIA 1300 se recomandă a fi obținute prin turnarea sub presiune.

Rotoarele de blocare se utilizează în industria autoturismelor, pentru realizarea mecanismelor de tip „Yalle” la închiderea ușilor. Rotorul este prevăzut cu un canal axial pentru introducerea cheii și cu locașe radiale pentru verturi.

Nerespectarea preciziei dimensionale și de formă a orificiilor, cât și a dimensiunilor exterioare, atrage după sine funcționarea necorespunzătoare a mecanismului de blocare a ușilor, permițând deschiderea Yallei și cu ajutorul cheilor de altă variație și deci produsul nu corespunde scopului pentru care a fost creat.

Pentru satisfacerea cerințelor partenerilor externi și pentru continuă ridicare a calității produselor, industria românească de autoturisme a introdus în fabricație o gamă largă de tipuri de Yalle.

Rotorul de blocare se execută din Zn Al 4 Cu 1P, STAS 6925-80. Condiții impuse: suprafețe netede pentru cromare ulterioară, piese fără sufluri, porozități de suprafață și suduri reci. Piesa se acoperă cu un strat protector de Cu-Ni-Cr având grosimea de 20 ... 25 μm.

La U.A.M.T. Oradea, rotoarele de blocare se realizează într-un număr foarte mare în șase tipodimensiuni diferite. Inițial, aceste repere se realizau cu șase tipuri de matrițe al căror preț de cost - fiecare, separat, era de 120.000-130.000 lei. Studiind aceste matrițe am ajuns la concluzia că se poate proiecta o matriță din elemente tipizate, cu care prin schimbarea unor elemente modulate, se pot realiza toate cele șase tipuri de rotoare de blocare, rezultând o substanțială reducere a consumului de metal, scule, manoperă și liberarea unei capacități de proiectare și producție. Cercetările efectuate asupra tehnologiei rotoarelor de blocare pentru DACIA 1300 au fost finalizate prin înlocuirea celor șase matrițe cu una singură la prețul de 156.000 lei [128]. În figura 3.8, este prezentată matrița realizată din elemente tipizate.

Proiectarea și partea grafică a matriței este dată în anexă.

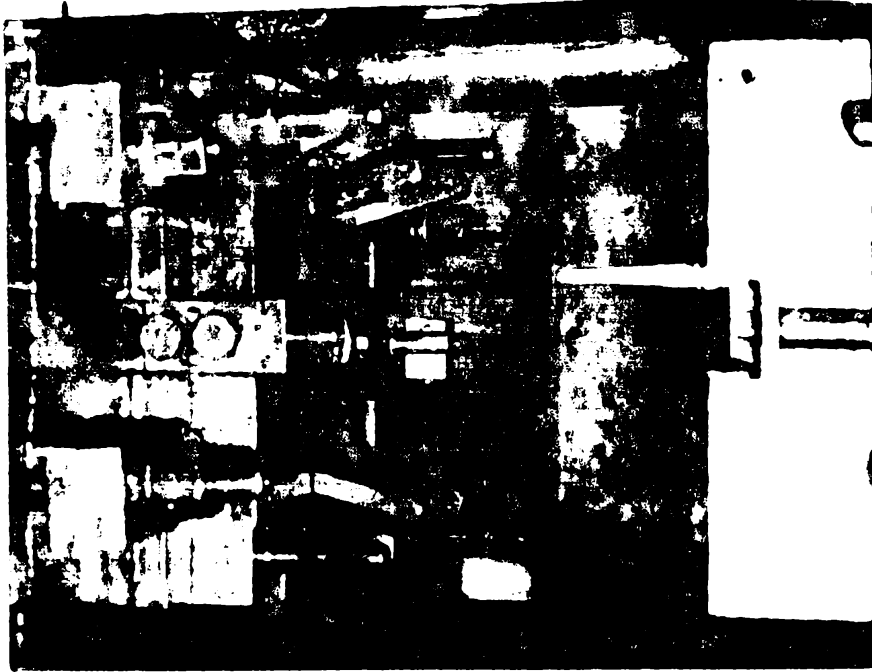


Fig.5.8. Matrița din elemente tipizate pentru turnarea sub presiune a rotoaselor de blocare de la DACIA 1300

Funcționarea matriței. La închiderea matriței în vederea turnării, bolțurile oblice din partea fixă obligă suporturile cu miezurile laterale să se deplaseze spre interiorul matriței, ajungând în poziția de lucru. Blocarea suporturilor în poziția de lucru este realizată de penele de blocare. Concomitent cu acestea, bolțurile de readucere, prin tamponarea în dopurile din partea fixă, vor retrage pachetul de plăci aruncătoare împreună cu aruncătoarele în poziția de lucru. Matrița fixă face contactul cu matrița mobilă prin planul de separație, realizând forma pentru turnare.

Ghidarea celor două pachete se realizează prin intermediul celor patru perechi de elemente de guidare (bucșe și bolțuri).

După turnare și menținere în vederea cristalizării, matrița se deschide, iar bolțurile vor retrage progresiv miezurile laterale din piesa turnată. Partea turnată este reținută în partea mobilă de miezurile laterale, deoarece, dacă ar rămâne pe miezul din partea fixă, nu ar mai putea să fie extrasă. Din această cauză, orificiul înclinat din suportul miezului lateral are o formă ovală, pentru a realiza un defazaj între deschiderea matriței și momentul în care începe extragerea miezurilor laterale din piesa turnată. Acest defazaj este necesar din următoarele motive:

- pe durata acestui defazaj, piesa este reținută în partea mobilă de miezurile laterale care nu au început să fie extrase, fiind astfel smulsa de pe miezul fix, în continuare ieșind liber de pe aceasta din cauza înclinațiilor de turnare;

- pe de altă parte, la închiderea matriței, în planul de separație se formează vid. Forța necesară deschiderii platourilor trebuie să învingă presiunea atmosferică, care tinde să mențină cele două pachete în contact. În cazul când nu ar exista acest defazaj, forța de deschidere a platourilor ar trebui să învingă forța necesară extragerii piesei de pe miezurile laterale, care este considerabilă în cazul unor miezuri laterale de dimensiuni mari.

Miezurile laterale sînt blocate în poziția deschiderii cu ajutorul unui sistem de poziționare cu arc și bilă. Acest sistem este obligatoriu, mai ales în cazul miezurilor

care acționează în poziție verticală, deoarece acestea ar cădea datorită greutății proprii, producînd, la închiderea matriței, deteriorarea acestora.

Profilarea tipului de rotor pe care dorim să-l obținem, din cele șase variante posibile, este asigurată de suporturile laterale de miez (37 și 42) în care se fixează miezurile laterale (48, 49 și 60).

După curățirea matriței în planul de separație de eventualele bavuri și ungera acesteia, se reia ciclul de fabricație.

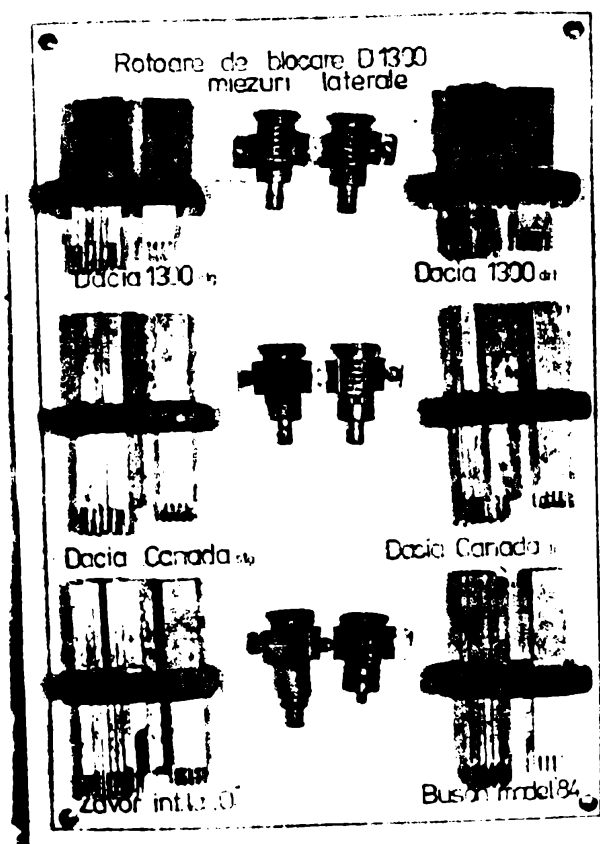


Fig.3.9. Rotoare de blocare turnate într-o matriță din elemente tipizate

Înainte de turnare, matrița se va încălzi pînă la 130-140°C. pentru a evita șocurile termice de la primele turnări. De asemenea, se va verifica sistemul de aruncare prin închiderea și deschiderea matriței, fără a acționa pistonul de injectare.

În fig.3.9 sînt prezentate cele șase tipuri de rotoare

de blocare, cu miezurile corespunzătoare pentru DACIA 1300, obținute cu matrița proiectată din elemente tipizate.

3.3.2.2. Matriță de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru dispozitivul de blocare a cheii de locomotivă IE-6580 CP

Denumirea produsului este cheie A-365-15 și se utilizează pentru dispozitivul de blocare a cheii de locomotivă IE-6580 CP.

Cheia are 11 variații tipodimensionale, care diferă între ele prin golurile de pe partea frontală a interstițiului ei și constă din combinații de figuri geometrice a una, două sau trei cifre și litere de formă și mărimi bine stabilite constructiv.

Cheile sînt turnate din Zn Al 4 Cu 1T la o temperatură de 420°C. În urma turnării, cheile sînt supuse operațiilor de debavurare, șlefuire, lustruire și cromare.

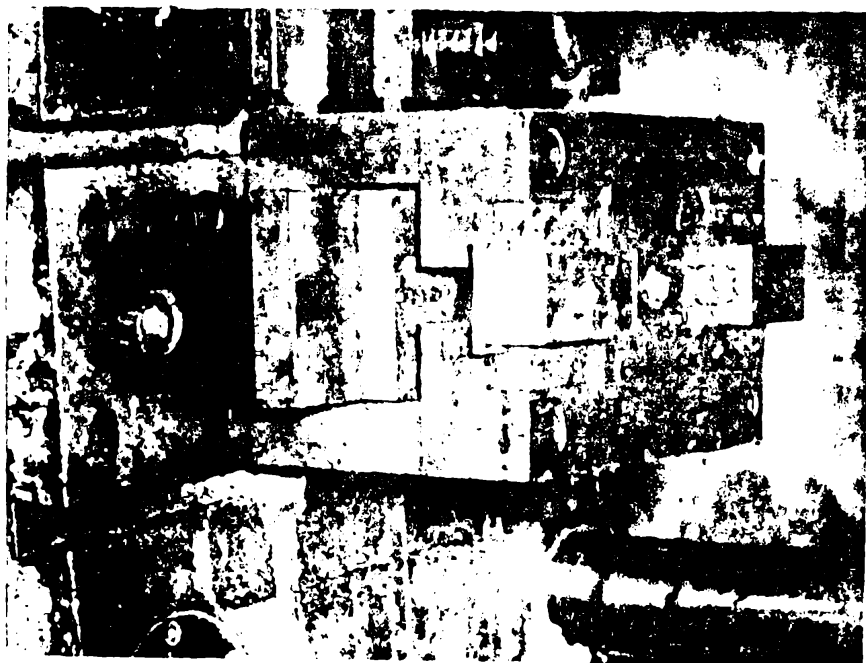


Fig.3.10. Matriță din elemente tipizate pentru turnarea sub presiune a cheilor de locomotivă IE-6580 C.P.

U.A.M.T.Oradea realizează chei de blocare la locomotiva IE-6580 CP prin turnare sub presiune în 11 tipodimensiuni, care, inițial, se realizau cu 11 tipuri de matrițe diferite.

Cercetările efectuate la Institutul de Subingineri Oradea și U.A.M.T.Oradea, sub conducerea autorului, au condus la proiectarea, realizarea și experimentarea unei matrițe de turnat sub presiune din elemente tipizate cu care se pot obține - prin schimbarea unor pastile și miezurile corespunzătoare - toate cele 11 ti-

puri de chei [129].

În fig.3.10 este prezentată matrița de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru chei de locomotivă LE-6580 C.P. Partea grafică a matriței este prezentată în anexă.

Funcționarea matriței. La închiderea matriței în vederea turnării, bolțurile înclinabile (11) obligă portmiezurile (12) să înainteze spre centru, concomitent cu aceasta, bolțurile re-educatoare împing placa portaruncătoare (5), iar matrița fixă (17) face contact cu matrița mobilă (10), realizând cavitatea pentru turnare.

Ghidarea și centrarea părții mobile pe partea fixă se face prin intermediul celor patru perechi de elemente de ghidare, bușe (32) și bolțuri (27) de ghidare, care asigură acest lucru datorită ajustajului precis al acestora.

După turnare, matrița se deschide, miezurile laterale se deblochează, bolțurile laterale se retrag din locașuri, iar piesa rămâne împreună cu rețeaua de turnare în partea mobilă a sculei, din cauza strîngerii piesei pe miezurile fixe și pe despicător. Când matrița s-a deschis complet, intră în acțiune sistemul de aruncare, care,

prin placa aruncătoare (5) și aruncătoarele (8), împing piesele din locașul lor, după care se ung locașurile și procesul se reia din nou.

Pentru a se putea obține toate cele 11 tipuri de chei cu aceeași matriță, s-a proiectat și realizat un set de miezuri interschimbabile, pentru fiecare tip de cheie.

În fig.3.11 se prezintă miezurile folosite și tipurile de chei obținute prin schimbarea corespunzătoare a acestora.

Cercetările ultimilor 3 ani întreprinse de către

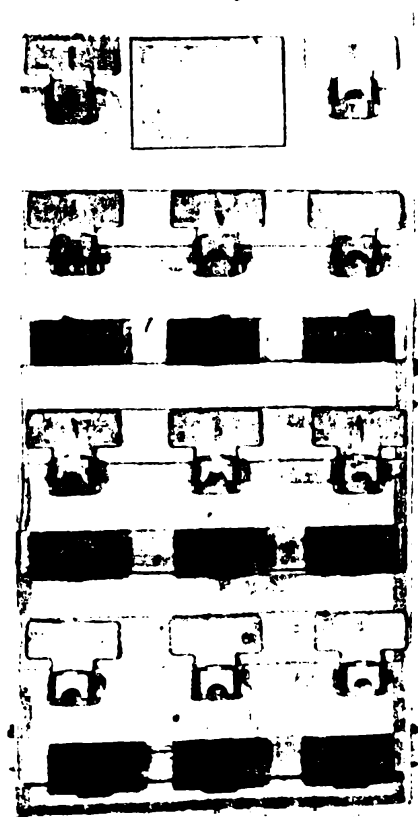


Fig.3.11. Chei de locomotivă obținute prin turnarea sub presiune și miezurile corespunzătoare

un colectiv mai larg de studenți și absolvenți ai Institutului de Subingineri Oradea - sub conducerea autorului - au scos în evidență faptul că, matrițele din elemente tipizate pot fi aplicate la turnarea sub presiune și pentru alte repere, cum sînt:

- șilduri pentru vagoane, în șase variante;
- indicatoare tip pentru autoturismele de teren ARO, în cinci variante [134];
- șilduri pentru locomotiva, în patru variante;
- indicatoare tip pentru autoturismele DACIA 1300, în cinci variante;
- rotoare de blocare pentru autoturismele OLTCIT, în cinci variante;
- rotoare de blocare pentru motoreta MOBKA, în două variante.

Cea mai recentă realizare a colectivului de „Tehnologii neconvenționale” din Institutul de Subingineri Oradea o constituie obiectul contractului de cercetare [130] cu U.A.M.T. Oradea, prezentată în fig.3.12.



Fig.3.12. Matriță de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru indicatoare tip la autoturismele de teren ARO

3.4. Proiectarea matrițelor de turnat sub presiune din elemente tipizate cu ajutorul calculatorului

Matrițele de turnat sub presiune fiind scule de complexitate relativ ridicată, la proiectarea lor se cere un volum mare de muncă. În scopul reducerii timpului de proiectare și desenare,

s-a utilizat calculatorul.

Programul a fost scris în limbaj FORTRAN, iar rularea programului s-a făcut pe calculator CORAL 4030.

Etapele proiectării unei matrițe de turnat sub presiune din elemente tipizate cu ajutorul calculatorului sînt:

1. Se scrie programul în limbaj FORTRAN, în care se specifică dacă există sau nu calculele necesare determinării punctelor de coordonate - caz de optimizare -, dacă nu se pune problema optimizării, atunci datele se introduc cu valori standardizate.

2. Poate subrutinele definite de utilizator pot fi trecute în continuarea programului principal, dacă ele nu sînt definite se iau implicit din biblioteca plotorb care aparține stației de lucru.

3. Pentru început se scrie programul care se compilează cu compilatorul FORTRAN. După link-editare se face compilarea în care se adaugă toate subrutinele separat definitive, compilate conform limbajului în care au fost scrise. Exemplu: Desen MMO - se compilează cu compilatorul MACRO; Desen FTN- se compilează cu compilatorul FORTRAN.

4. Se rulează programul obținut. Dacă se utilizează calculatorul M 118-B atunci programul este lansabil imediat după link - editare. În momentul lansării se definește un fișier de ieșire, în care se vor introduce valorile calculate de program sau cele definite de utilizator.

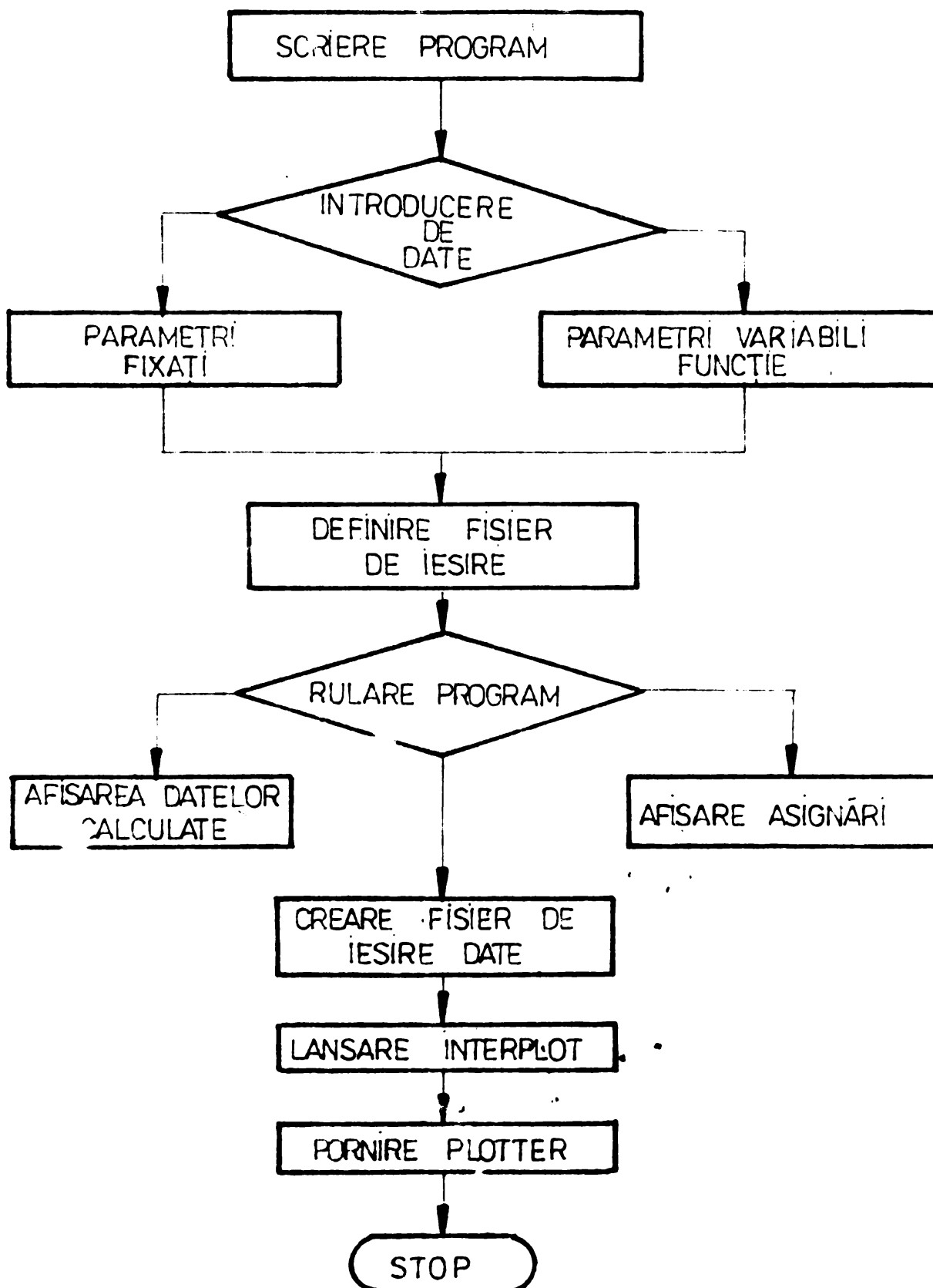
De exemplu pentru fișierul de ieșire: Pentru CALL SEGM01 (10., 10, col) se crează: SEGM01 : 10, 10., 1.

5. Pentru desenare pe ploter se lansează programul INT - TSK care creează fișierul în cod mașină, transmisibil direct la masa de desenat.

6. La terminare se emite mesajul END care determină oprirea operației de proiectare sau desenare și readucerea capului în punctul inițial.

Aceste etape au fost parcurse la proiectarea matriței de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru dispozitivul de blocare a cheii de locomotivă LE-6580 CP., cu ajutorul calculatorului.

Partea grafică a matriței este cuprinsă în anexa lucrării, iar schema logică de calcul este prezentată în fig.3.11.



3.13. Schema logică de calcul și proiectarea matritelor de turnat sub presiune din elemente tipizate cu ajutorul calculab-
rului.

PRELUCRAREA ELEMENTELOR COMPONENTE ALE MATRITELOR
DIN ELEMENTE TIPIZATE PRIN EROZIUNE ELECTRICA

Apariția procedeelor de prelucrare prin eroziune a completat în mod fericit posibilitățile de prelucrare economică a diferitelor piese și subansamble.

În cadrul prelucrărilor dimensionale prin eroziune, prelucrarea prin eroziune electrică are ponderea cea mai mare, apreciată la 65 ... 70 % [74, 211]. Acest fapt se datorește atât fabricării în serie a primelor mașini de prelucrare prin eroziune electrică încă din anul 1947, cât, mai ales, posibilităților tehnologice deosebite ale metodei [56, 93, 111, 176]. Așa se explică faptul că, în țările dezvoltate din punct de vedere industrial, aproximativ 5 % din parcul de mașini-unelte al întreprinderilor constructoare de mașini, aparate și S.L.V.-uri, îl formează utilajele de prelucrare prin eroziune electrică [10, 134, 176].

4.1. Avantajele și dezavantajele prelucrărilor prin eroziune electrică

Prelucrarea prin eroziune electrică prezintă următoarele avantaje:

- prelucrabilitatea oricăror materiale electroconductoare, indiferent de proprietățile lor fizico-chimice;
- eroziunea electrică poate utiliza toate metodele de generare a suprafețelor: copiere, rulare, metoda urmei și a tangenței;
- utilizarea unor obiecte de transfer (electrozi) din materiale cu rezistență și duritate relativ mică;
- prelucrarea se realizează fără contact între OT și OP, deci nu există forțe în procesul de prelucrare, astfel că se pot prelucra piese cu secțiuni foarte mici;
- dimensiunile suprafețelor care se prelucrează sînt foarte variate de la $\varnothing 0,003$ mm pînă la dimensiuni de 10 m²;
- se folosesc utilaje cu structuri cinematice relativ simple și grad ridicat de automatizare;
- productivitate și precizie ridicată a metodei;
- economicitate ridicată a metodei, mai ales, la prelucrarea unor materiale cu proprietăți deosebite (rezistență și duritate foarte mare) și a unor suprafețe de formă complexă.

Dezavantajele metodei sînt:

- necesitatea prelucrării în mediu lichid dielectric, complicînd astfel construcția și deservirea utilajelor;
- productivitatea și precizia prelucrării sînt funcție de o serie de parametri interdependenți, care, încă, sînt greu de determinat și controlat;
- consumul specific de energie este încă ridicat, iar prețul de cost al obiectelor de transfer ajunge, uneori, la 50.. 60 % din costul prelucrării.

După patru decenii de dezvoltare și aplicare industrială, metoda tinde să se apropie de mulțimea metodelor clasice de prelucrare dimensională, lucru dovedit și de reducerea ratei de creștere a brevetelor, a producției de utilaje electroerozive după anul 1975 [8, 99], de nivelul tehnic și calitativ ridicat al utilajelor produse în prezent, de performanțele economice și tehnologice deosebite ale prelucrărilor realizabile, indiferent de metoda de obținere a suprafețelor la obiectul de prelucrat [56].

4.2. Situația actuală a prelucrărilor prin eroziune electrică

Deși fenomenul electroeroziv se cunoaște din anul 1768 (Lanc, Priestly) [191, 221], cercetările în domeniul tehnologiilor neconvenționale pe plan mondial au început prin anii 1940-1950, fiind concentrate cu precădere pe lângă instituțiile de învățămînt superior (S.U.A., Japonia, U.R.S.S., R.F.G., R.D.G.), institute de cercetare-proiectare cu caracter departamental (U.R.S.S., R.S.Cehoslovacia, Bulgaria), cît și pe lângă unități producătoare de echipamente tehnologice (S.U.A., Japonia, Elveția) [162].

Primele rezultate în acest domeniu au fost obținute de către Boris Romanovici Lazarenko și Natalia Ioasafova Lazarenko care pun la punct prelucrarea electroerozivă (patent URSS și patent internațional 1943), realizînd și o mașină de prelucrat prin scînteii [266].

La noi în țară primele cercetări au fost făcute în perioada 1953-1955 la Institutul Politehnic Timișoara, Facultatea de Mecanică, Catedra Electrotehnică de către prof.dr.doc.st.Aurel Nann. Cercetările s-au extins apoi la Universitatea din Brașov, Facultatea de Mecanică, Catedra Tehnologia Construcțiilor de Mașini (1965), Universitatea Craiova, Facultatea de Electrotehnică

(1970), Institutul Politehnic București, Facultatea de Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Catedra Tehnologia Metalelor și Tehnologia Construcțiilor de Mașini (1970), Institutul de Cercetări și Proiectări în Construcția de Mașini (1970), Institutele Politehnice din Cluj și Iași (1973), Institutul de învățământ Superior Sibiu (1976), precum și la Institutul de învățământ Superior Oradea (1978).

Cercetările pe plan mondial, și în țara noastră, legate de tehnologia prelucrărilor prin eroziune electrică au permis realizarea unor pași importanți în direcția perfecționării acesteia, pornind de la cunoașterea și fundamentarea științifică a proceselor fizice ce caracterizează sistemul de prelucrare, continuând cu proiectarea constructivă și tehnologică a utilajului. Cu toate acestea, în cadrul tehnologiei prin eroziune electrică se pot aduce o serie de îmbunătățiri importante privind optimizarea procesului tehnologic și a utilajului, cu implicații deosebite asupra acestei metode de prelucrare.

Legat de aspectele fizice ce caracterizează prelucrarea prin eroziune electrică, teoria termo-electro-mecanică enunțată de Zolotîh în anul 1970 [254] este considerată cea mai importantă în prezent, pe baza căreia, în interstițiul de lucru, au loc o serie de procese termice, energetice, mecanice, hidrodinamice și termochimice ce sînt funcție de energia care a fost distribuită atât în canalul de descărcare, cît și în zonele învecinate. Această teorie a fost susținută și completată de mai mulți cercetători [66, 119, 168, 181].

În ultimii ani au fost efectuate o serie de cercetări în direcția modelării [44, 45, 188, 251] și optimizării prelucrării prin eroziune electrică în scopul optimizării procesului de prelucrare după parametrii tehnologici, cum ar fi productivitatea, în condițiile unor restricții legate de uzura minimă a electrozilor sculă, cost minim al prelucrării [3, 9, 19, 30, 40, 119, 135, 163, 165, 177, 185, 200, 252] consum minim de energie [186] etc.

O altă direcție de cercetare privind îmbunătățirea procesului tehnologic de prelucrare prin eroziune electrică o constituie introducerea unor cîmpuri conlucrative în spațiul de lucru, ca suprapresiunea [90], vibrațiile electrodului-sculă pentru prelucrarea prin copierea formei [95, 178], sau a unui cîmp magnetic [88, 90, 167, 168, 169, 216], care, pentru intensități superioare lui 200 Gauss și frecvențe de 0,1 - 100 Hz permite mărirea interstițiului de lucru de aproximativ 2,5 ori și deci creșterea produc-

tivității prelucrării.

Un rol important în extinderea tehnologiilor neconvenționale, în țara noastră, îl are I.C.S.T.T.C.M. București care, împreună cu alte institute de cercetare și cu întreprinderea Electrotimiș, produc mai multe tipuri constructive de mașini de prelucrare prin eroziune electrică: ELER SD, ELER-01, ELER 11, ELER 21, ELEROFIL 10 [212, 213] și proiectarea altor tipuri ce vor intra în fabricație la sfârșitul acestui cincinal ca: ELEROFIL -20 și ELER 03 - SEM cu comandă numerică. Fabricarea acestor mașini a permis, într-o mai mare măsură, extinderea tehnologiilor de prelucrare prin eroziune electrică [123]. Astfel, au fost elaborate tehnologii de prelucrare prin eroziune electrică de profilare cu disc rotativ, prin copiere după șablon, de durificare a suprafețelor metalice prin scântei, tehnologii de prelucrare în condiții de activare a procesului de eroziune, ca de exemplu: vibrarea electrodului [170], folosirea unor lichide de lucru active [125], eroziune în condiții de suprapresiune [90], rotirea electrodului [125, 127, 170, 171] eroziune în cimpuri magnetice [168], tehnologii pentru prelucrarea matrițelor [128, 129, 130] etc.

Cu toate că realizările în domeniul tehnologiei de prelucrare prin eroziune electrică sînt deosebite, din studiul lucrărilor de specialitate [8, 38, 63, 115, 150, 165, 166, 211, 217, 250], reiese că, în anii următori, vor trebui rezolvate problemele:

1. In domeniul utilajelor de prelucrare prin eroziune electrică: diversificarea tipodimensiunilor și a gradului de specializare; creșterea gradului de unificare a subansamblelor; perfecționarea funcțională generală; perfecționarea sistemelor mecanice prin diversificarea largă a metodelor de generare a suprafețelor și raționalizarea constructiv-funcțională a acționărilor ajutătoare; perfecționarea și diversificarea gamei generatoarelor de impulsuri, care să asigure o uzură practic nulă pentru electrod; îmbunătățirea sistemelor de circulație a mediului de lucru dielectric; perfecționarea și diversificarea sistemelor de conducere adaptivă, cu program și cu calculator; introducerea robotizării și automatizării complete a utilajului.

2. In spațiul de lucru: dezvoltarea și aprofundarea în continuare a cercetărilor teoretico-experimentale ale proceselor de eroziune electrică din spațiul de lucru; îmbunătățirea caracteristicilor metalelor existente și introducerea de noi metode

privind fabricarea electrozilor, care să asigure precizie ridicată, identitate bună și economicitate sporită; asimilarea de către institutele de cercetare și producție a noi materiale pentru electrozi și lichide dielectrice, care să asigure îmbunătățirea caracteristicilor tehnologice ale eroziunii electrice; proiectarea electrozilor cu ajutorul calculatorului, mai ales în cazul generării suprafețelor prin rulare; cercetarea și introducerea unor variante tehnologice care să permită dublarea productivității.

3. In domeniul pregătirii fabricației: cercetarea, întocmirea și elaborarea unor normative unitare, pentru toate întreprinderile ce au în dotare mașini de prelucrat prin eroziune electrică, privind exploatarea rațională a acestora; organizarea unor cursuri periodice, cu caracter special, pentru cei care deservește aceste utilaje; lărgirea domeniului de aplicare a prelucrărilor prin eroziune electrică atât în producția de bază, cât și în producția auxiliară; creșterea numărului de accesorii normale și speciale, care, echipate pe aceste utilaje, să permită realizarea oricărei prelucrări; proiectarea proceselor tehnologice cu ajutorul calculatorului.

Prin redactarea acestei lucrări, autorul consideră că aduce o modestă contribuție și în domeniul pregătirii fabricației pentru tehnologia prin eroziune electrică.

4.2.1. Utilajul folosit

În prezent se estimează că, pe plan mondial, numărul mașinilor de prelucrare prin eroziune electrică instalate depășește numărul de 150.000 de bucăți. La cele mai recente utilaje se observă un grad ridicat de unificare al tuturor subansamblelor, inclusiv al accesoriilor (diferite tipuri constructive pentru dispozitive de instalare, mese rotative, capete universale sau specializate etc). Subansamblele funcționale asigură performanțe și siguranță bună în exploatare. Astfel, în cazul unor utilaje mari echipate cu generatoare de impulsuri, s-au realizat, la prelucrări monocanal, productivități maxime de până la 50.000 [mm³/min] pentru OP din oțel.

În domeniul optimizării constructive a utilajului de prelucrare prin eroziune electrică, cercetătorii au urmărit realizarea și perfecționarea generatoarelor de impulsuri dependente, a generatoarelor de impulsuri independente, comandate, în scopul obținerii unor baterii de tranzistoare conectate în paralel sau serie [96, 151, 187, 223, 226], totodată obținându-se realizări deosebite în

direcția introducerii tiristoarelor în schemele electronice ale generatoarelor de impulsuri [11, 16, 22, 152, 216] și în perfecționarea sistemelor de reglare automată a interstițiului de lucru, prin introducerea motoarelor pas cu pas, ce asigură precizii de ordinul μm .

O altă direcție pregnantă privind optimizarea proceselor de eroziune electrică o constituie sistemele de conducere adaptivă, comandă program și cu calculator, care reduc la minimum intervenția operatorului. Perfecționările aduse, în ultimii ani, părților mecanice ale utilajelor, mediilor de lucru dielectrice, materialelor și fabricării electrozilor a permis realizarea unor precizii de prelucrare de ordinul $0,001 \dots 0,003 \text{ mm}$ și a unor rugozități a suprafețelor $R_a = 0,8 \dots 0,5 \mu\text{m}$, lucrând cu regimuri de finisare [8, 9, 11, 15, 50, 60, 78, 93, 97, 104, 116, 120, 214, 218, 224, 229, 263].

La toate încercările care s-au făcut privind optimizarea tehnologiei prin eroziune electrică, a matrițelor de turnat sub presiune din elemente tipizate, s-a utilizat mașina ELER-01.

4.2.2. Electrozi utilizați

Alegerea materialului pentru confecționarea electrodului sculă va fi în concordanță cu materialul obiectului prelucrării, tipul generatorului și valorile regimului electric folosit, astfel ca la prelucrările de degroșare productivitatea să fie maximă, iar la finisare să se obțină calitatea suprafeței impusă.

Deoarece energia dezvoltată în descărcările electrice prin impuls se repartizează între electrod și obiectul prelucrării, într-un mod determinat, funcție de parametrii impulsurilor de tensiune și curent, de materialele folosite și mediul în care are loc prelucrarea, rezultă că nu poate exista un material universal pentru electrod, care să poată fi folosit optim pentru orice prelucrare. Deci pentru confecționarea electrozilor se folosesc mai multe tipuri de materiale, care trebuie să îndeplinească următoarele condiții [69, 82, 131, 133, 208, 237]:

- conductibilitate electrică bună, pentru ca transportul de energie electrică în spațiul de lucru să aibă randament maxim;
- conductibilitate termică ridicată, pentru a asigura evacuarea rapidă a căldurii din masa electrodului;
- să fie ușor prelucrabil, pentru confecționarea avantajoasă din punct de vedere tehnico-economic a electrozilor;

- să aibă bună stabilitate dimensională, determinată de rigiditate, absența tensiunilor interne reziduale și un coeficient de dilatare termică mic;

- să aibă preț de cost scăzut și să nu fie deficitare;
- temperatura de topire și vaporizare cât mai mare;
- să aibă bună rezistență la eroziune electrică.

Prin rezistență la eroziune electrică a unui material electroconductor se înțelege comportarea la nivel macroscopic a acestuia, independent de factorii geometrici ai prelucrării ES-OP.

Pentru a exclude influența negativă a încălzirii OT și ES asupra rezultatelor încercării la eroziune electrică, trebuie ca în interstițiu să se realizeze o densitate de curent [117, 198, 204, 268]

$$i_{med} = (0,5 \dots 15) [A/cm^2] \quad (4.1)$$

în funcție de suprafețele de interacțiune și modul de evacuare a deșeurilor din interstițiu.

Determinarea rezistenței la eroziune electrică se poate face fără lichid de lucru sau cu lichid de lucru.

Dacă încercarea rezistenței la eroziune electrică se realizează fără lichid de lucru, este necesar ca suprafețele de interacțiune să aibă o arie minimală [196]:

$$A_{min} = (20 \dots 30) [mm^2] \quad (4.2)$$

Când încercarea rezistenței la eroziune electrică este realizată cu lichid dielectric, acesta va fi refulat în interstițiul activ cu o presiune [230, 268]:

$$P = (0,05 \dots 0,3) [daN/cm^2] \quad (4.3)$$

Încercarea rezistenței la eroziune electrică durează 5 ... 15 min.

S-a constatat că polaritatea conectării ES și OP la generatorul de impulsuri determină în toate cazurile o prelevare de material mai mare la unul din electrozi [117, 199].

Efectul de polaritate la electrozi este influențat de [99, 105, 182, 194, 199, 236, 249]: polaritatea conectării la generatorul de impulsuri; caracteristicile fizico-chimice ale mediului de lucru; caracteristicile materialelor pentru electrozi; geometria canalului de scărcări și caracteristicile impulsurilor de tensiune.

Durabilitatea la eroziune electrică a unui electrod sculă se poate determina cu relația [199]

$$D = \frac{V_{OP}}{V_{ES}} \quad (4.4)$$

în care: V_{OP} [mm³] - volumul de material prelevat de la obiectul de prelucrat OP; V_{ES} [mm³] - volumul uzurii electrodului sculă.

Trebuie ca la fiecare prelucrare să existe inegalitatea:

$$V_{ES} < V_{OP} \quad (4.5)$$

Pentru o pereche de materiale electroconductoare coeficientul de polaritate se determină cu relația [199]:

$$C_p = \frac{\gamma_{0-}}{\gamma_{0+}} = \frac{V_{ES-}}{V_{OP+}} \cdot \frac{V_{OP-}}{V_{ES+}} \quad (4.6)$$

în care: γ_{0-} este uzura relativă volumică a electrodului la polaritatea directă, când nu se depune peliculă protectoare pe ES; γ_{0+} este uzura relativă volumică a electrodului la polaritatea inversă. Când $K_p \ll 1$ se va lucra cu polaritate directă - electrodul sculă legat la catod -, iar dacă $K_p \gg 1$ se va lucra cu polaritate indirectă, electrodul sculă se va lega la anod.

Cercetările efectuate în acest domeniu [195, 199, 249] au permis stabilirea unei scări a rezistenței la eroziunea electrică a diferitelor materiale pentru electrozi sculă.

La început nu s-au putut explica uzurile foarte reduse ale ES în anumite condiții de lucru, Ulterior, pe baza unui mare număr de încercări, a fost emisă ipoteza că electrozii din grafit și cupru supuși eroziunii electrice, în anumite condiții, de regim electric și lichid dielectric, își refac dimensiunile prin depunerea la suprafața lor a unor pelicule de protecție, formate din produsele de piroliză ale lichidului dielectric.

Astăzi se cunoaște că depunerea peliculelor și protejarea electrozilor împotriva uzurii cere îndeplinirea următoarelor condiții [115, 118, 133]:

- electrodul sculă ES trebuie să aibă la suprafață o temperatură care să-i permită formarea peliculei protectoare ($\sim 700^\circ\text{C}$). Această temperatură să fie inferioară temperaturii de

topire a materialului ES:

$$T_{dep} \leq T_{ES} < T_{tES} \quad (4.7)$$

- trebuie ca în apropierea electrodului să existe suficiente produse lichide și gazoase ale pirolizei, din care să poată forma pelicula pe ES;

- depunerea peliculei să dureze un timp suficient de mare, astfel încât grosimea acesteia să asigure protecția ES în timpul prelucrării.

Cercetările din ultima perioadă arată că reducerea la minimum a uzurii electrodului poate fi realizată prin:

- materiale noi și structuri noi ale materialelor folosite la fabricarea electrozilor [98, 102, 199, 208, 231];

- folosirea unor lichide de lucru ce conțin pulbere de grafit [44, 67, 231];

- optimizarea caracteristicilor impulsurilor de tensiune și ale utilajelor de prelucrat prin eroziune electrică [67, 103, 106, 112, 116, 190];

- utilizarea lichidelor de lucru cu circulație forțată [74, 107, 234].

4.2.3. Tehnologia prelucrării prin eroziune electrică

Aplicarea tehnologiei prelucrării prin eroziune electrică se va face numai în urma unui calcul de eficiență economică.

Proiectarea tehnologiei eroziunii electrice, este dificilă, deoarece, pe de o parte, nu există un sistem unic de definire și realizare a parametrilor de proces, pe de altă parte, lipsesc prescripțiile normalizate și fiecare constructor de utilaj indică recomandări proprii privind exploatarea economică a mașinilor.

Pe baza indicațiilor date de către firmele de specialitate, se consideră că proiectarea unei tehnologii prin eroziune electrică se realizează conform organigramei, din fig.4.1. [176]:

Experimental s-a constatat că, la prelucrarea unei suprafețe cu $R_a = 0,4 \dots 1,6 \mu\text{m}$, sînt necesare cel puțin trei treceri; pentru $R_a > 2,2 \mu\text{m}$ sînt suficiente două treceri.

Dacă uzura electrozilor este mare, aceștia vor fi prevăzuți cu adaosuri inițiale pentru compensarea uzurii sau cu posibilitatea de schimbare rapidă, cînd s-a atins limita de uzură admisă.

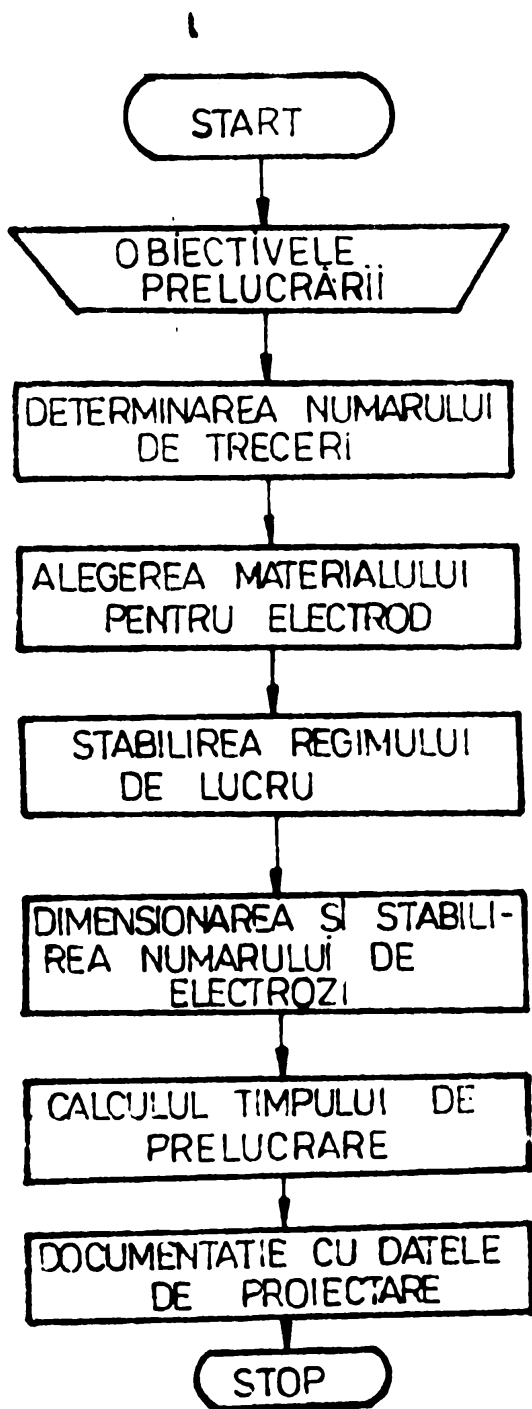


Fig.4.1. Organigrama pentru proiectarea procesului de prelucrare prin eroziune electrică

Materialul pentru electrozi se va alege în funcție de analiza condițiilor inițiale, rugozitate, productivitate, uzura volumică, configurația și dimensiunile piesei de prelucrat, cât și procedeele de realizare a electrozilor (subcapitolul 4.3).

Pentru stabilirea regimului de lucru se folosesc recomandările din literatura de specialitate [4, 133, 176]

Regimul de lucru al eroziunii electrice este definit prin:

- polaritatea electrodului;
- nivelul de intensitate, N_p , ce determină amplitudinea impulsului de curent;
- tensiunea de mers în gol U_0 [V];
- tensiunea medie pe interstițiu U_n [V], care poate fi reglată prin sistemul de avans;
- presiunea lichidului de lucru, p [bar].

Polaritatea se alege în funcție de categoria de regim,

cuplul de materiale ES-OP și tipul de generator utilizat.

Cînd se lucrează cu ES din cu-

pru polaritatea va fi inversă, mai puțin în cazul utilizării generatoarelor de relaxare. Dacă ES este conectați din grafit, se pot utiliza ambele polarități, cea inversă permite obținerea unor productivități ridicate la uzuri mici, iar polaritatea directă asigură productivități foarte mari la uzuri mijlocii și mari.

Nivelul de intensitate al curentului este ales în funcție de mărirea suprafeței de prelucrat, categoria de regim și rugozitatea impusă.

Valorile optime ale densităților de curent sînt cele indicate în tabelul 4.1. [176].

Densități de curent recomandate pentru diferite materiale de electrozi la treceri de degrosare

Tabelul 4.1

Materialul	Polaritate	Densitate de curent [A/cm ²]	
		la otel	la aliaje dure
Cupru	+	10.....25	15.....25
Grafit	+	10.....12	-
Grafit	-	6.....8	-
Worfram - Cupru	+	2.....5	15.....25

La dimensionarea electrozilor se va avea în vedere caracteristicile de precizie și calitatea suprafeței piesei de prelucrat, regimurile de lucru alese și cuplul de materiale folosit.

Spre deosebire de tehnologia clasică-unde timpul de bază se poate determina cu destulă precizie -, la tehnologia electrică acesta se poate determina numai cu aproximație:

$$t_b = t_{bD} + t_{bSF} + t_{bF}, \quad [\text{min}] \quad (4.8)$$

Pentru fiecare din aceste treceri valoarea t_b se calculează cu relațiile:

$$t_{bD} = \frac{V_p D}{Q_p D} \cdot K_{dD}; \quad t_{bSF} = \frac{V_p SF}{Q_p SF} \cdot K_{dSF}; \quad t_{bF} = \frac{V_{pF}}{Q_p F} \cdot K_{dF} \quad (4.9)$$

în care: $V_p(D, SF, F)$ sînt volumele de material prelevate la trecerea respectivă;

$Q_p(D, SF, F)$ reprezintă productivitățile prelucrării date în tabelele tehnologice pentru regimul utilizat;

$K_d(D, SF, F)$ este factor de dificultate care apreciază ponderea de creștere a timpului în funcție de complexitatea suprafeței de prelucrat, dimensiuni, regimul de spălare și regimul electric [195].

4.5. Cercetari cu privire la fabricarea electrozilor sculă utilizați la prelucrarea matritelor pentru turnat sub presiune

Pentru obținerea unor performanțe superioare la prelucrarea prin eroziune electrică, electrozii sculă vor îndeplini condițiile:

- să aibă forme identice cu a modelului;
- precizia de execuție cât mai mare;
- să aibă o structură compactă cu grăunți fini;
- formele lor vor fi simple și tehnologice.

Materialele folosite pentru confecționarea electrozilor sînt clasificate în trei categorii:

a) materiale feroase, neferoase și aliajele lor, cum sînt: cuprul, aluminiul, oțelul, fonta, wolfram etc., aliaje pe bază de zinc, staniu, aluminiu, aliaje de aluminiu, wolfram, molibden sau pulberi metalice sinterizate, carburi metalice sau pulberi metalice sinterizate;

b) combinații de materiale metalice și nemetalice: pulberi de grafit amestecate cu pulberi de cupru, sau alte combinații;

c) materiale nemetalice: grafitul.

Cuprul electrolitic este materialul cel mai frecvent utilizat deoarece permite introducerea unor puteri mari în spațiul de lucru, are stabilitate foarte bună pentru toate materialele prelucrabile prin eroziune electrică, iar fenomenul de piroliză produs în lichidul dielectric asigură formarea unei pelicule de grafit protectoare împotriva uzurii. Electrozii de cupru se recomandă pentru prelucrarea aliajelor de carburi metalice și de aluminiu, folosind orice regimuri de lucru și mai ales la prelucrările ce necesită regimuri de lucru fine, cu frecvență ridicată a impulsurilor. Acești electrozi vor fi supuși unei recoaceri de detensionare, deoarece, sub acțiunea căldurii în timpul prelucrării, tensiunile interne pot să modifice dimensiunea lor. Ca dezavantaje ale utilizării cuprului se pot aminti: se prelucrează greu prin așchiere, din cauza aderenței așchiilor pe suprafețele sculelor, preț de cost ridicat, material deficitar și uzură mare.

Grafitul este al doilea material ca pondere de utilizare privind confecționarea electrozilor-sculă. Grafitul folosit ca electrozi este diferit de grafitul utilizat în alte scopuri prin: structură, granulație, rezistență mecanică la încovoiere și compr-

siune, conductivitate termică și electrică, duritate. Grafitul folosit pentru eroziune electrică în funcție de proprietăți și de comportarea lui în procesul de prelucrare se clasifică astfel [4, 200

- grafit cu densitate medie ($1,6 - 1,7 \text{ g/cm}^3$) și granulație fină, avînd o porozitate de 16 - 25 %, folosit în prelucrarea cu productivitate ridicată la degroșarea oțelurilor;

- grafit cu densitate mare ($1,7 - 1,8 \text{ g/cm}^3$) și granulație fină, avînd o porozitate 10 - 16 %, cu un domeniu larg de utilizare și o uzură relativ mică;

- grafit dens (aprox. $1,85 \text{ g/cm}^3$) cu granulație foarte fină și porozitate mică 7 - 10 %, folosit pentru fabricarea electrozilor de dimensiuni precise.

Grafitul utilizat pentru confecționarea electrozilor va avea următoarele caracteristici [69, 133]:

- greutatea specifică, $1,6 \dots 1,85 \text{ [g/cm}^3]$;
- rezistivitatea electrică, $8 \dots 15 \text{ [mm}^2/\text{m}]$;
- rezistența la rupere, $200 \dots 600 \text{ [daN/cm}^2]$;
- granulația, $0,01 \dots 0,003 \text{ [mm]}$.

Comparativ cu electrozii din cupru, electrozii din grafit permit prelevarea unui debit de material cu 50 ... 70 % mai mare.

Folosirea electrozilor din grafit prezintă următoarele avantaje:

- rezistență mare la șocuri termice;
- deformații foarte mici în timpul prelucrării;
- greutate mică și ușor de confecționat;
- uzuri relativ mici.

Dezavantajele principale sînt: puterea electrică introdusă în spațiul de lucru este limitată; rezistență mecanică mică și preț de cost ridicat.

Pentru prelucrarea unor piese din aliaje greu fuzibile sau pentru realizarea unor operații care cer precizie și finețe se folosesc electrozi obținuți prin metalurgia pulberilor - singurul procedeu - care realizează materiale compuse, cu posibilități largi de variație a formei lor care, în mod obișnuit, nu dau împreună aliaje, fiindcă nu formează compuși chimici. Proprietățile elementelor care intră în pseudo-aliaje realizate prin presare și sinterizare le asigură acestora o gamă largă de însușiri, care pot asigura funcțiile de electrod pentru prelucrarea prin eroziune electrică.

Experimental s-a încercat o gamă foarte largă de alte ma-

teriale speciale pentru electrozi [4, 196, 199, 237], dintre care amintim:

- electrozi din straturi succesive de materiale refractare și cupru, depuse prin acoperire;

- electrozi din materiale uzuale (Ni, Al, Zn, Fe) pe suprafața cărora s-a depus un material oxizolant;

- compoziții cu matrice de Cu 93 % sau alamă 97 %, cu adaosuri de oxizi de cupru, de vanadiu, de mangan, în proporții diferite.

Alama are o bună stabilitate a prelucrării, din care cauză se folosește mai ales pentru faza de finisare. La prelucrarea pieselor din oțel, electrozii din alamă asigură o funcționare uniformă a generatoarelor, fără vibrații ale sistemului piesă - sculă.

Aluminiul și aliajele sale se folosesc pentru confecționarea electrozilor care vor prelucra suprafețe cu rugozitate $R_a = 6 \dots 12 \mu\text{m}$, pentru piese din oțel, la care suprafața de prelucrat este mică.

Oțelul și fonta pot fi utilizate pentru prelucrări de finisare a matrițelor din oțel cu suprafață mică, dar se obține o productivitate de 2-3 ori mai mică, ca în cazul folosirii alamei sau a cuprului.

Prețul de cost al piesei prelucrate prin eroziune electrică este influențat și de metoda prin care se obține electrodul -sculă.

4.3.1. Metode de fabricare a electrozilor folosiți la prelucrarea matrițelor de turnat sub presiune

Electrozii -sculă se pot obține prin mai multe procedee de fabricare, în funcție de posibilitățile tehnice existente în întreprinderea respectivă.

Dintre aceste procedee, cele mai utilizate sînt:

- prelucrarea prin așchieră (strunjire; frezare, rabotare, rectificare etc);
- prin matrițare la cald, la rece sau combinat;
- prin extrudare;
- prin turnare;
- prin atac chimic;
- alte procedee de realizare a electrozilor (galvanoplas-

tie, sinterizare etc).

Deoarece costul sculelor pentru prelucrarea prin eroziune electrică reprezintă un procentaj important din costul prelucrării, se vor alege cele mai economice materiale și procedee de fabricare a electrozilor. În acest sens, se va determina costul producției unui lot de electrozi cu ajutorul relației [195]:

$$C_{nE} = n_E \cdot C_E = n_E \left\{ \sum_{s=1}^n [C_{ME} - C_{deș.E} + C(1+R)]_S + \frac{C_{SDV}}{n_E} \right\} \left[\frac{\text{lei}}{\text{lot}} \right] \quad (4.10)$$

sau cu ajutorul taxei-oră-mașină sau al valorii medii a orei-secție;

$$C_{nE} = n_E \cdot C_E = n_E \left(\sum_{k=1}^g T_{hmk} - N_{TKE} C_{ME} + \frac{C_{SDV}}{n} \right) \left[\frac{\text{lei}}{\text{lot}} \right] \quad (4.11)$$

$$C_{nE} = n_E \cdot C_E = n_E \left(v_{mhs} \sum_{k=1}^g N_{TKE} + C_{ME} + \frac{C_{SDV}}{n} \right) \left[\frac{\text{lei}}{\text{lot}} \right] \quad (4.12)$$

în care:

C_E - costul unui electrod, [lei/buc];

C_{ME} - costul materialelor directe necesare fabricării unui electrod, [lei/buc];

$C_{deșE}$ - contravaloarea deșeurilor recuperabile, [lei/buc];

C_{r_s} - costul cu retribuiția directă în secția s, [lei/buc];

R - regia secției s; s = 1, 2, 3, ... n - secțiile în care se fabrică electrodul;

C_{SDV} - costul SDV-urilor speciale necesare fabricării electrozilor (modele, matrițe etc), [lei/lot];

K = 1 ... q - operațiile necesare fabricării electrodului;

T_{hmk} - taxa-oră-mașină pentru operațiile k; [lei/oră];

N_{TKE} - norma de timp pentru operația k, [lei/oră];

v_{mhE} - valoare medie a orei-secție pentru operațiile de fabricare, [lei/oră].

În urma calculelor efectuate de către autor [131, 135, 137, 138, 139, 140, 146] s-a ajuns la concluzia că, pentru prelucra-

rea matrițelor de turnat sub presiune prin eroziune electrică, cele mai importante procedee de fabricare a electrozilor sînt (fig. 4.2):

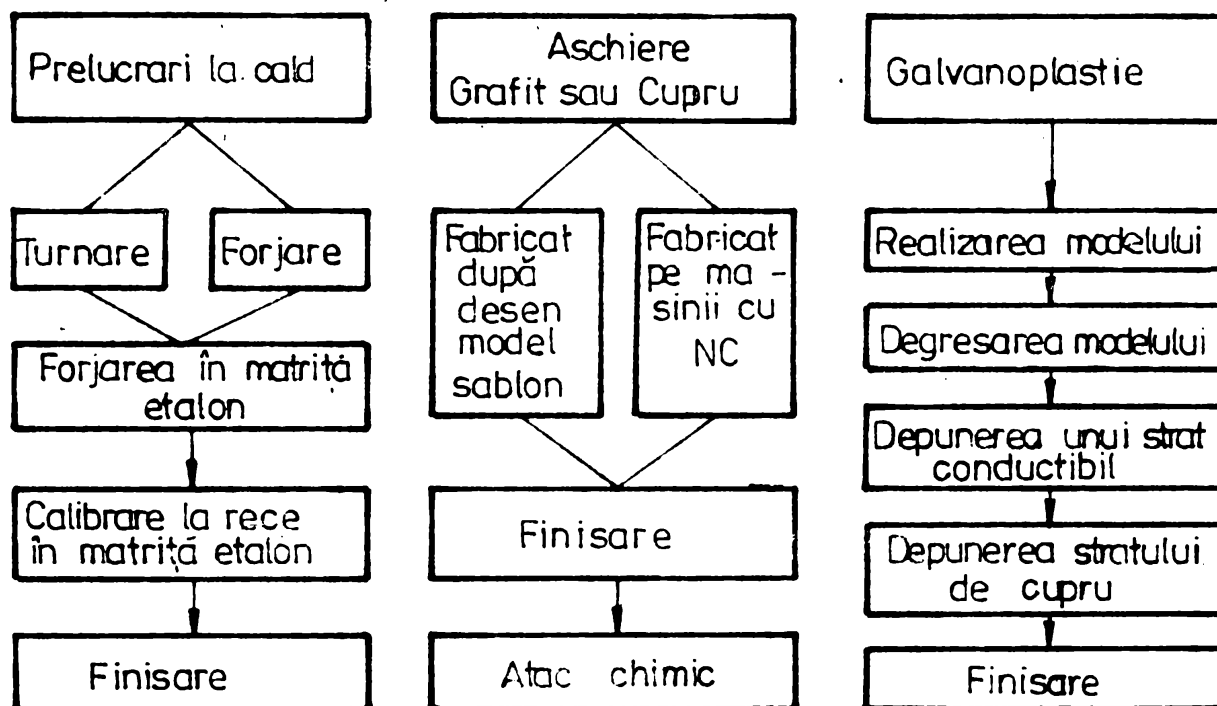


Fig.4.2. Procedee de realizare a electrodului-sculă pentru fabricarea matrițelor de turnat sub presiune prin eroziune electrică

Prelucrări la cald. Procedeele permite obținerea unor semifabricate pentru electrozi din cupru electrolitic, alamă sau oțel, fie prin topirea și turnarea electrozilor uzați, fie prin forjarea acestora. Se execută apoi o matrițare când semifabricatele se încălzesc pînă la $800...850^{\circ}\text{C}$, într-o atmosferă neutră sau curenți de inducție. Pentru electrozi de formă mai complexă se execută două-trei matrițări succesive, iar între acestea, s-a prevăzut o recoacere la $500-600^{\circ}\text{C}$, în scopul asigurării proprietății de maleabilitate a materialului. Ultima operație de matrițare constă într-o calibrare la rece care asigură o uniformizare a tensiunilor interne remanente.

Electrozii obținuți sînt supuși procedeeului de finisare.

S-a constatat că electrozii obținuți prin acest procedeu au o structură densă și o bună comportare în procesul de eroziune electrică.

Prelucrarea prin aschiere. Procedeele se întîlnește, în general, sînd se cer electrozi pentru executarea găurilor străpun-

se sau înfundate, pentru cavități tridimensionale sau pentru forme geometrice simple.

În acest procedeu de fabricare a electrozilor s-a urmărit determinarea regimurilor optime de strunjire în scopul obținerii caracteristicilor geometrice și de calitate impuse acestor scule.

Rezultatele obținute în urma încercărilor sînt prezentate în tabelul 4.2. [133].

Regimurile de prelucrare prin strunjire a electrozilor
sculă din diferite materiale

Tabelul 4.2

Materialul electrodului	Materialul sculei	Viteza de aschiere [m/min]	Unghiul de asezare α [°]	Unghiul de degajare γ [°]
Cupru electrolit	Otel rapid	10.....20	8.....10	4.....6
	Carbură metalică	60.....100	6.....8	4.....6
	Diamant	150.....220	10.....12	10.....12
Grafit	Otel rapid	70.....90	15.....20	8.....10
	Carbură metalică	150.....180	15.....20	6.....8
	Diamant	300.....450	8.....12	15.....20
Alamă	Otel rapid	35.....150	8.....12	1.....5
Aluminiu	Otel rapid	100.....200	6.....10	1.....5
Fontă	Otel rapid	30.....60	8.....10	4.....6
	Carbură metalică	80.....150	6.....8	8.....10
	Diamant	100.....200	10.....12	10.....12
Bronz	Otel rapid	45.....100	8.....10	2.....6
Otel	Otel rapid	35.....70	6.....12	6.....8
	Carbură metalică	80.....200	8.....10	4.....6
	Diamant	150.....200	10.....12	10.....12
Elkonic	Carbură metalică	60.....120	8.....10	6.....8

În urma prelucrării acestor materiale se impun câteva observații asupra grafitului.

Grafitul se caracterizează printr-o bună prelucrabilitate, chiar a celor mai complexe forme, are o comportare excelentă ca electrod, însă are și unele inconveniente, cum sînt:

- culoare neagră, lăsînd urme la atingere;
- absența elasticității datorate naturii sale ceramice;
- ușoară abrazivitate;
- la prelucrare, pulbera este dificil de captat.

Semifabricatele de grafit se produc în diverse forme, cum sînt:

- semifabricate sub formă de plăci, blocuri și cilindri;
- semifabricate standard degroșate, asamblate pe plăci suport metalice sau izolate;
- electrozi pentru lucrări de serie sau complexe.

Prelucrarea grafitului s-a făcut fără lichid de răcire, iar dacă în urma prelucrării rezultă cantități mari de pulberi, se folosește sistemul de aspirație.

Avîndu-se în vedere abrazivitatea grafitului, s-au luat o serie de măsuri privind protecția ghidajelor și a diverselor organe în mișcare.

De asemenea, mașinile-unelte folosite la prelucrarea grafitului nu trebuie să aibă vibrații, iar puterile lor vor fi $1/2 \dots 1/5$ din valoarea puterilor necesare prelucrării electrozilor din oțel.

Din numărul mare de materiale care pot fi utilizate ca electrozi s-a constatat că sînt economice mult mai puține, datorită uzurii mari în procesul eroziv.

Rezultatele încercărilor experimentale, cu cuplul de materiale indicate la prelucrarea matritelor prin eroziune electrică, sînt date în tabelul 4.3 [140].

Electrozi utilizați la prelucrarea prin eroziune electrică a matritelor de turnat sub presiune

Tabelul 4.3

Materialul de prelucrat	Materialul electrodului	Greutatea		Regim de lucru				Rugozitatea Ra [μm]
		inițială g	finală g	I [A]	U [V]	t_{ps}	t_{ps}	
VCr W 85	Cupru electrolitic	26.0725	25.9958	6	30	5	9	5.5
VCr W 85	Grafit	2.6162	2.4131	10	30	7	11	3.5
VCr W 85	Elkonic	5.5534	5.5517	6	30	5	9	3.8
VCr W 85	Carbură metalică	56.0140	56.0002	6	30	5	9	6.5

Încercările au fost efectuate pe mașina ELER 01, la care spălarea cu lichid dielectric s-a realizat prin injecție, iar durata încercării a fost de 60 minute pentru unu electrolitic și

elkonic și 120 minute pentru grafit și carbura metalică. În toate cazurile electrozii nu au fost rectificăți.

Pentru îmbunătățirea calității suprafeței prelucrate, electrozii vor fi rectificăți. În acest sens s-au stabilit regimurile orientative privind rectificarea electrozilor în tabelul 4.4 [133].

Regimurile de prelucrare prin rectificare a electrozilor
scula din diferite materiale

Tabelul 4.4

Materialul electrodului	Avansul longitudinal sl. [mm/rot]	Avansul transversal st. [mm/cursă]	Viteza de [m/s]
Cupru electrolitic	8.....10	0.012.....0.014	25.....30
Grafit	15.....20	0.08.....0.09	35.....40
Elkonic	10.....12	0.05.....0.06	30.....35
Carbură metalică	10.....15	0.02.....0.03	25.....35

Pentru electrozii de formă complexă finisarea s-a realizat prin atac chimic cu diferiți acizi, în soluții de concentrații diferite.

Dintre soluțiile cu care s-au făcut încercările, cele mai bune rezultate au fost obținute cu soluția formată din [69, 133]:

- 60 % acid azotic cu densitatea $1,4 \text{ [kg/m}^3\text{]} - 400 \text{ [cm}^3\text{]}$;
- 80 % acid fosforic cu densitatea $1,7 \text{ [kg/m}^3\text{]} - 100 \text{ [cm}^3\text{]}$;
- apă distilată $350 \text{ [cm}^3\text{]}$.

Folosind soluția amintită, s-a îndepărtat un strat de $0,07 \text{ mm}$ într-un timp de 10 minute.

Pentru ca îndepărtarea de pe suprafața electrodului să fie uniformă, acestuia i se va asigura o mișcare în baie în timpul atacului chimic.

După atacul chimic, electrozii au fost spălați în apă curgătoare pentru a se opri acțiunea corozivă a acizilor utilizați.

Pe întreaga durată a procesului de erodare chimică vor fi respectate următoarele reguli de protecție:

- la obținerea soluțiilor acide, întotdeauna se varsă acidul în apă;

- procesul va avea loc în camere separate prevăzute cu ventilație;

- soluțiile sînt depozitate în recipiente din oțel cu înveliș rezistent la acțiunea corozivă.

O altă soluție cu care electrozii au fost finisați prin atac chimic a avut compoziția [133]:

- 215 ml acid azotic de concentrație 96 %;
- 65 ml acid fosforic de concentrație 85 %;
- 525 ml de apă distilată.

Obținerea electrozilor prin galvanoplastie. Procedul de galvanoplastie este cunoscut încă din 1853, ca o metodă de prelucrare dimensională fără contact între obiectul de transfer, conectat drept catod și materialul de adaos, conectat drept anod. Mediul de lucru este un electrolit, iar agentul fizico-chimic este electrolitul din câmpul electric generat în interstițiul dintre electrozi de către echipamentul electric de alimentare.

Astăzi, galvanoplastia este utilizată pe scară largă la fabricarea unor piese cu caracteristici deosebite, de la suprafețe mici pînă la 5 m^2 (la fabricarea modelelor pentru păpuși, la fabricarea diferitelor matrițe și electrozi pentru prelucrări prin eroziune electrică etc.), la rugozități de pînă la $R_a = 0,02 \text{ } \mu\text{m}$, precizii de $\pm 2 \text{ } \mu\text{m}$ și costuri mai mici de 20 ... 40 de ori față de alte procedee neconvenționale [81, 85, 131, 133, 135, 146, 227].

În ultimii ani acest procedeu s-a extins și datorită progreselor deosebite înregistrate în fabricarea modelelor [41, [124, 234, 272].

La noi în țară, la Jimbolia și București s-a realizat galvanoplastia nichelului, pentru executarea matrițelor de injectat mase plastice [124], iar galvanoplastia cuprului se folosește la Brașov, Timișoara, București și Oradea la fabricarea electrozilor pentru eroziune electrică, a căror arie transversală, $A_t \approx 0,4 \text{ m}^2$ [62, 108, 146, 195].

Avînd în vedere consumul mare de cupru folosit pentru confecționarea electrozilor, ne-am propus obținerea acestora prin procedeul de galvanoplastie.

Cercetările efectuate la Institutul de Subingineri Oradea, sub conducerea autorului, au urmărit înlocuirea unor electrozi masivi din cupru folosiți la prelucrarea matrițelor pentru turnarea sub presiune a diferitelor repere de la DACIA 1300 și OLTICIT, cum sînt: camă de revenire, închizător, cală reglaj, roze-tă, mîner ușă, carter de direcție etc., executate la U.A.M.F. Oradea, cu electrozi din materiale mult mai ieftine.

La alegerea materialului pentru confecționarea modelului s-a ținut seama de:

- numărul cojilor galvanice ce se execută pe același model;
- prelucrabilitatea mecanică a modelului;
- complexitatea conturului piesei;
- comportarea materialului la acțiunea băii.

Modelele se pot executa din materiale conductoare ca: oțel, fontă, aluminiu etc., sau din materiale neconductoare, cum

sînt: rășinile poliesterice, epoxidice, lemnul și cerurile.

Pe baza studiului literaturii de specialitate [64, 77, 124, 195, 204, 256] s-a proiectat și realizat o instalație de obținere a electrozilor-sculă prin galvanoplastie (fig.4.3)

La instalație se deosebesc următoarele părți componente:

- cuva executată din tablă de oțel și căptușită cu polistiren;

- material de adaos anod de cupru electrolitic pentru catozi, STAS 270/1-74 și STAS 642-71;

- catod din tablă de oțel inoxidabil, avînd dimensiuni corespunzătoare cu ale modelului, STAS 3583-64;

Fig.4.3. Instalație pentru obținerea electrozilor-sculă prin galvanoplastie

siuni corespunzătoare cu ale modelului, STAS 3583-64;

- electrolit acid în soluție apoasă, formată din: cianură de potasiu 20,4 g/l și cupru 40,5 g/l, sau sulfat de cupru 220 ... 250 g/l și acid sulfuric 40 ... 60 g/l.

Pe parcursul cercetărilor eu fost folosite ambele soluții, iar activarea acestora s-a realizat mecanic.

Schema bloc a instalației de galvanoplastie este prezentată în fig.4.4, iar în fig.4.5 schema electrică.



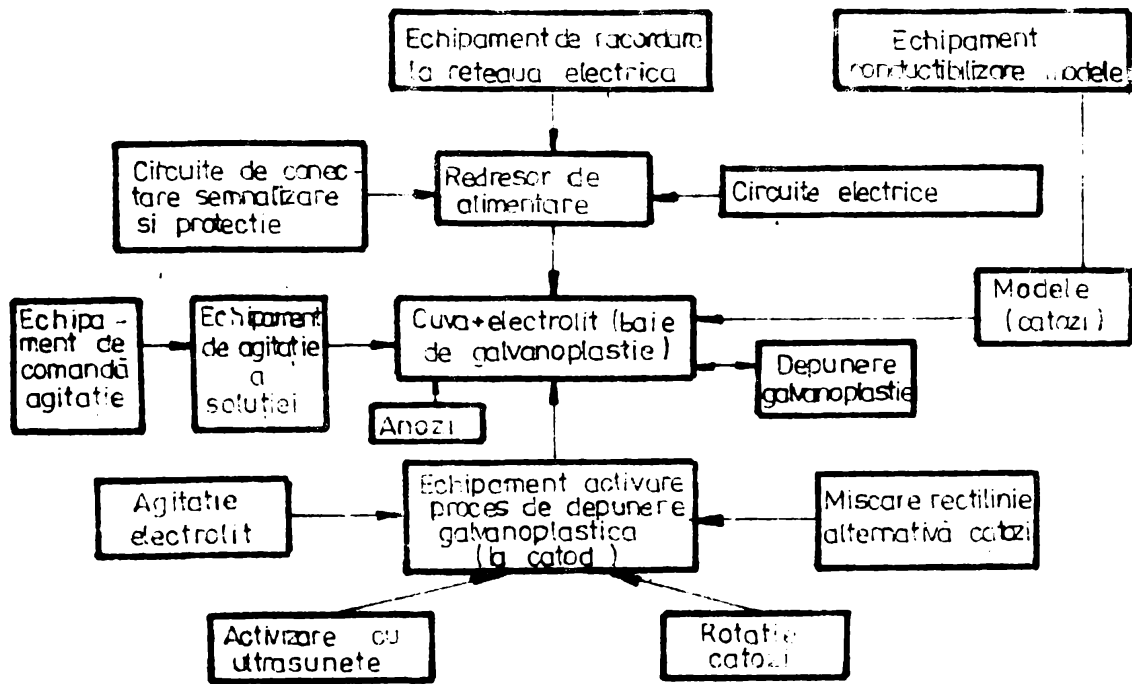


Fig.4.4 Schema bloc a instalației de galvanoplastie

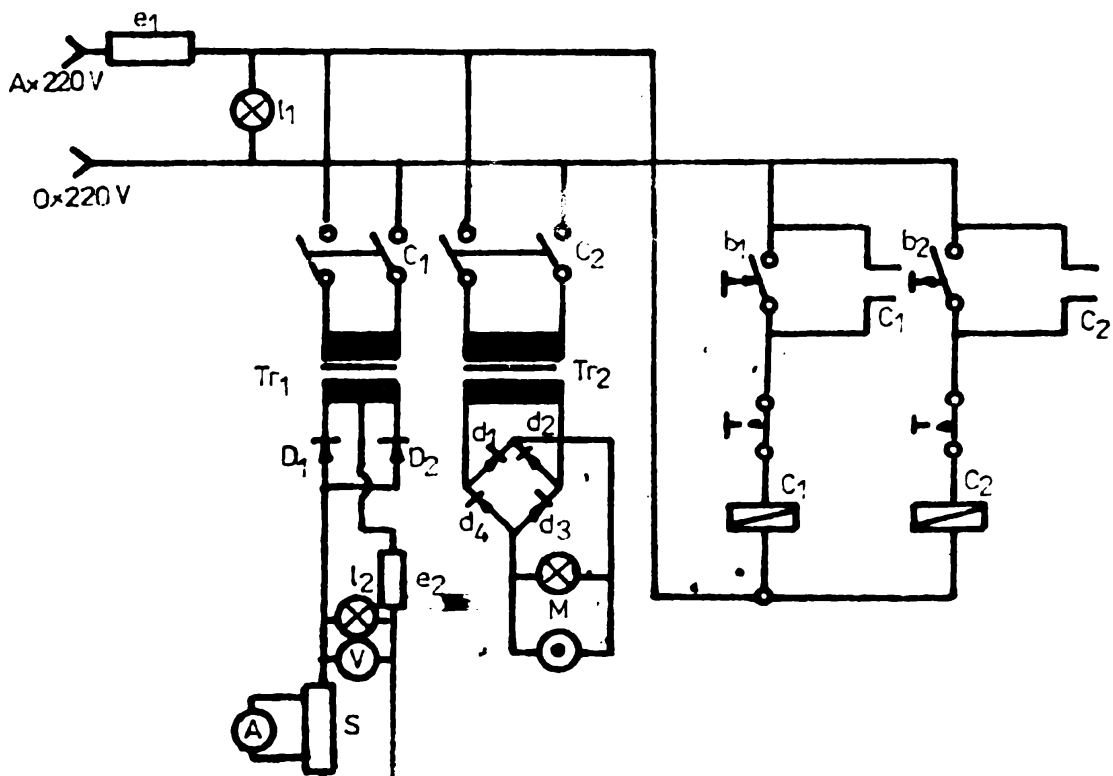


Fig.4.5. Schema electrică a instalației de galvanoplastie

Din schema electrică se observă că, pentru redresarea curentului, au fost utilizate diode de putere (B TU 32 D). Redresarea se face pentru ambele alternanțe, obținându-se un curent pînă la 50 A și 12 V. Alimentarea punții redresoare se face de la un transformator de putere, coborîtor.

Tensiunile la bornele electrozilor trebuie să fie de 4 - 12 V, iar curentul în funcție de soluția băii și de materialul ce se depune, ajungînd pîna la $J = 5 - 9 \text{ [A/dm}^2\text{]}$.

Pentru încercări experimentale s-au executat modele pentru electrozi atît din materiale conductoare ca: oțel, fontă și aluminiu, cît și modele de electrozi din materiale neconductoare, cum sînt: cerurile și masele plastice.

În timpul experimentărilor s-a constatat că cele mai mari precizii se obțin cu modele din aliaje metalice ușor fuzibile, sau diferite compoziții de ceruri [69, 135, 138].

În vederea electroformării, modelele au fost supuse următoarelor operații:

- degresarea într-o soluție ce conține 45 g/l fosfat trisodic, la temperatura de 60 ... 75°C;
- degresarea catodică timp de 1 minut, cu o densitate de curent de 5 A/dm² într-o cuvă separată, care conține aceeași soluție degresată (45 g/l fosfat trisodic);
- spălarea cu apă curentă;
- înersarea modelului într-un alt vas, conținînd o soluție de acid sulfuric 10 ... 20 %, unde se ține 2-3 minute;
- pasivizarea modelului în soluții de: acid azotic concentrat, bicarbonat de potasiu 6 g/l, sau bicarbonat de sodiu 15-25 g/l și acid azotic 180-220 g/l;
- spălarea pentru îndepărtarea urmelor de bicarbonat;
- menținerea în apă la temperatura băii de electroliză, pînă cînd temperatura modelului este identică cu a băii;
- introducerea modelului în baia de electroliză.

Pentru modelele din materiale neconductoare s-a realizat operația de conductibilizare. În acest sens se aplică procedeele:

- reducerea chimică a cuprului, argintului, nichelului și cobaltului;
- depunerea în vid a unui film metalic;
- depunerea pe suprafața modelelor a unor pulberi fine din argint, cupru sau grafit, procedeu care s-a aplicat și în ca-

zul experimentărilor de față.

Viteza de depunere la instalația folosită a fost de 20 $\mu\text{m/h}$, iar temperatura soluției de 25 ... 30°C.

Din cercetările efectuate se constată că se pot obține electrozi-sculă prin procedeul de galvanoplastie, pentru prelucrarea matrițelor de turnat sub presiune cu ajutorul instalației prezentate, realizându-se astfel economii de circa 75 - 80 % la consumul de cupru, care numai pentru mașinile din Oradea ar reprezenta 3000 ... 5000 kg anual.

Rezultatele cercetărilor privind obținerea electrozilor prin galvanoplastie au fost folosite în cadrul diferitelor contracte de cercetare [128, 129, 130], iar unele au fost publicate [133, 141].

4.4. Cercetări cu privire la tehnologia de prelucrare a matrițelor de turnat sub presiune

Principalele elemente ale unei matrițe de turnat sub presiune sînt: placa de bază, placa de alunecare, placa de capăt, placă matriță mobilă, placă matriță fixă, pastile, bolțuri și rigle de ghidare, aruncătoare, despicator, miezuri etc.

Deoarece la realizarea elementelor de matriță se folosesc o gamă largă de procedee, cum sînt: strunjirea, frezarea, rectificarea, prelucrarea prin eroziune electrică etc., la alegerea procedeeului optim de prelucrare vom avea în vedere:

- utilajul de care dispunem;
- asigurarea preciziei de prelucrare prescrisă;
- prețul de cost al procedeeului.

Creșterea simțitoare a numărului de mașini-unelte pentru prelucrare prin eroziune electrică a permis ca unele elemente ale matrițelor de turnat sub presiune să fie prelucrate pe aceste mașini. Acest fapt completează în mod fericit posibilitățile de fabricare ale matrițelor, contribuind în mod direct la creșterea preciziei de prelucrare, a productivității muncii și a complexității acestora.

In acest sens se prezintă în sinteză tehnologia de execuție a matriței pentru retrovizor la DACIA 1300. [133].

Placa de bază s-a executat dintr-un semifabricat laminat de formă dreptunghiulară (OLC 45 STAS 880-80), avînd dimensiunile în funcție de caracteristicile tehnice ale matriței.

La proiectarea procesului tehnologic de realizare a plă-

cilor de bază și a plăcilor de capăt au fost respectate principiile:

- folosirea unor semifabricate cu adaosuri minime de prelucrare;
- determinarea succesiunii operațiilor, care să asigure o calitate superioară a suprafețelor la un preț de cost minim;
- repartizarea corespunzătoare a adaosului de prelucrare pe operații (degroșare, finisare);
- includerea tuturor operațiilor într-o linie de prelucrare mecanică în flux;
- alegerea acelorași baze de referințe pentru întregul proces tehnologic.

Condițiile tehnologice impuse, cât și materialele utilizate pentru toate elementele matrițelor sînt indicate în cap. 3 (anexă).

Tehnologia plăcilor active. Plăcile active ale matrițelor se execută din oțeluri de bună calitate, oțeluri bogat aliate, oțeluri refractare etc., și din carburi metalice.

Pentru matrița considerată, plăcile active (matrița mobilă și matrița fixă) sînt executate din oțelul V Cr W 85. S-a ales acest oțel deoarece asigură:

- stabilitate dimensională ridicată;
- duritate bună;
- rezistă bine la șocurile termice.

Elementele active ale matriței au fost executate atît prin procedee clasice (frezare, găurire, rectificare), cât și prin procedeul de eroziune electrică. Acest procedeu are avantajul că poate fi aplicat cu productivitate ridicată atît înainte, cât și după tratamentul termic de călire. Prelucrarea matrițelor după operația de tratament termic asigură eliminarea unor operații suplimentare de rectificare necesare înlăturării deformațiilor remanente produse de tratamentul termic.

Parametrii regimului electric se vor alege în funcție de precizia și rugozitatea suprafeței elementului activ ce trebuie prelucrat, precum și de aria suprafeței prelucrate de către electrod, astfel ca productivitatea să fie maximă.

Pentru determinarea operativă a rugozității suprafețelor de matriță, prelucrate prin eroziune electrică, autorul a proiectat și executat rigle etalon pentru suprafețele frontale (fig.4.6) și

pentru suprafețele laterale (fig.4.7), în funcție de elementele regimului de lucru instalate pe mașină.

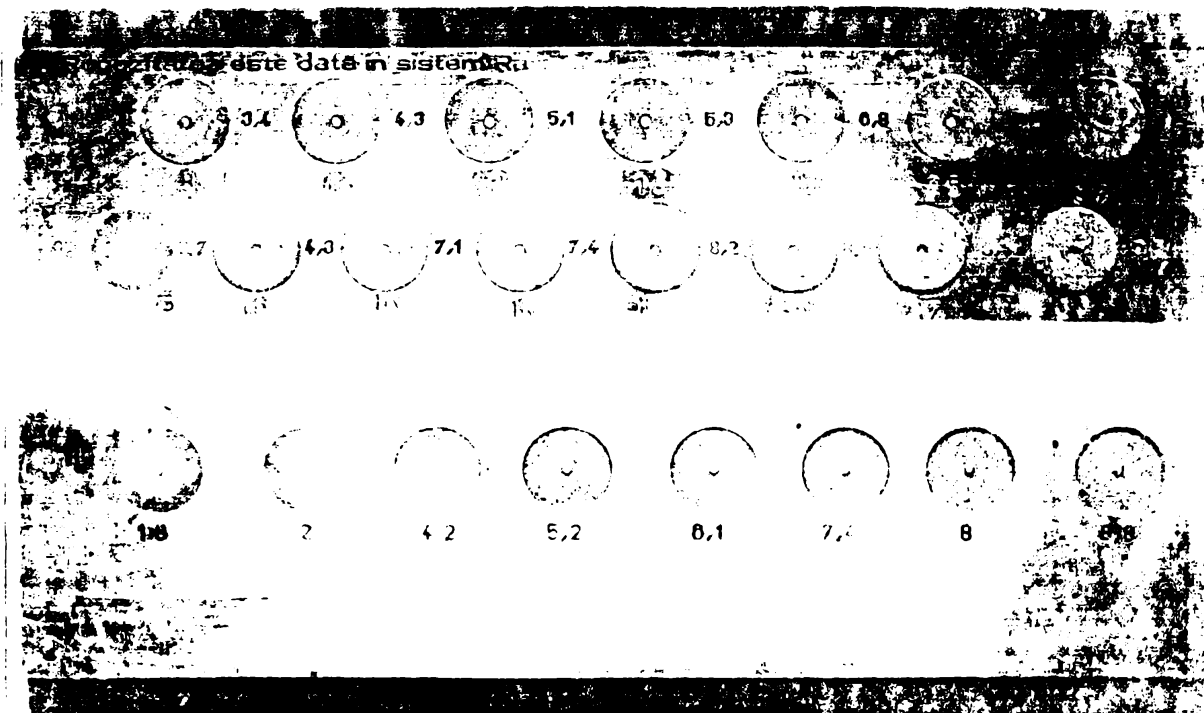


Fig.4.6. Riglă etalon pentru suprafețe frontale

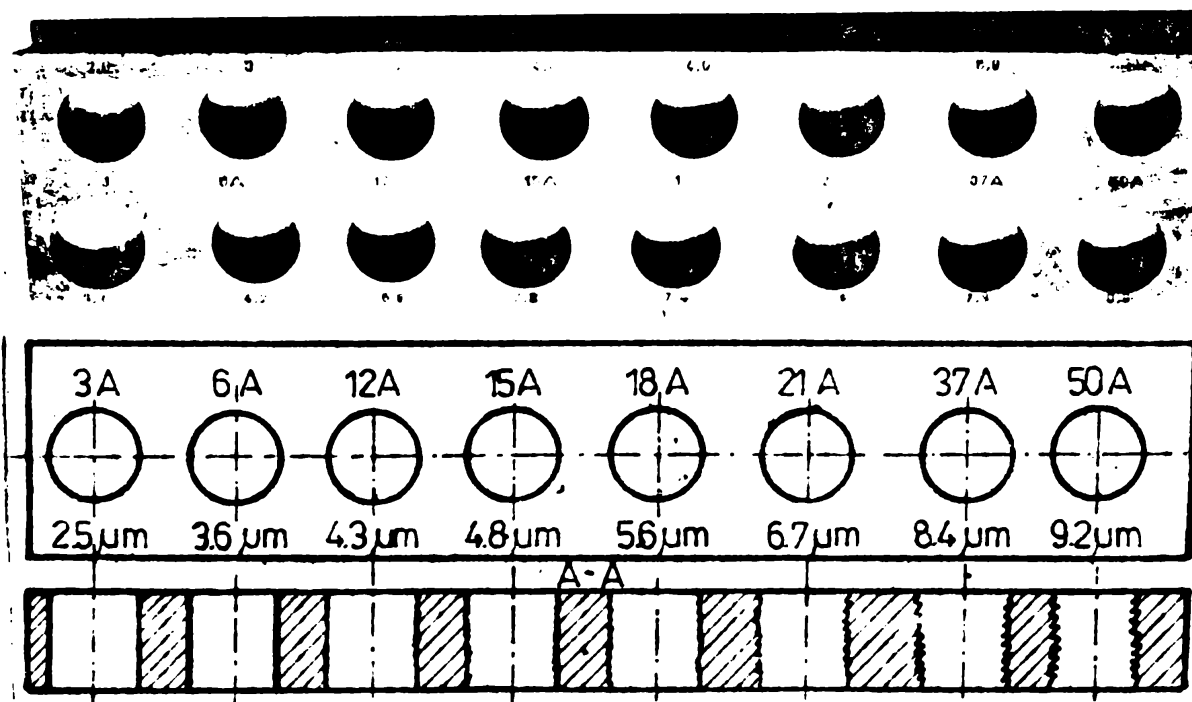


Fig.4.7. Riglă etalon pentru suprafețe laterale

Cu aceste rigle etalon [133], avînd desenul de execuție al unui element de matriță - la care este indicată rugozitatea ce trebuie obținută în urma prelucrării, - se poate instala pe mașină un regim de lucru care să permită obținerea rugozității indicate.

La plăcile de matriță cu cavități ce au un volum de erodare foarte mare, se execută mai întîi o prelucrare pe mașini de frezat, în stare netratată a materialului, lăsîndu-se, în funcție de complexitatea cavității de realizat, un adaos de prelucrare de 0,5 ... 5 mm pentru prelucrarea prin eroziune electrică.

O precizie ridicată a cavității se asigură dacă, după ultima trecere, se mai face o trecere de superfinisare cu același electrod sculă, dar cu un regim electric de prelucrare mai fin.

Dacă urmărim un contact bun între cele două plăci active ale matriței (matrița mobilă și matrița fixă), finisarea se poate face simultan, cînd una dintre ele este folosită drept electrod sculă.

Pentru matrițele care necesită o suprafață activă lustruită, se lasă - după operația de finisare prin eroziune electrică - un adaos de prelucrare de 0,01 ... 0,04 mm pe toate suprafețele cavității, care va fi îndepărtat prin superfinisare cu ajutorul pilelor diamantate și a pastelor cu praf de diamant, de granulație 14 ... 20 μ m.

La prelucrarea cavității matrițelor au fost utilizați electrozi obținuți prin diferite procedee de fabricare care au, în general, forma conjugată a cavității de prelucrat.

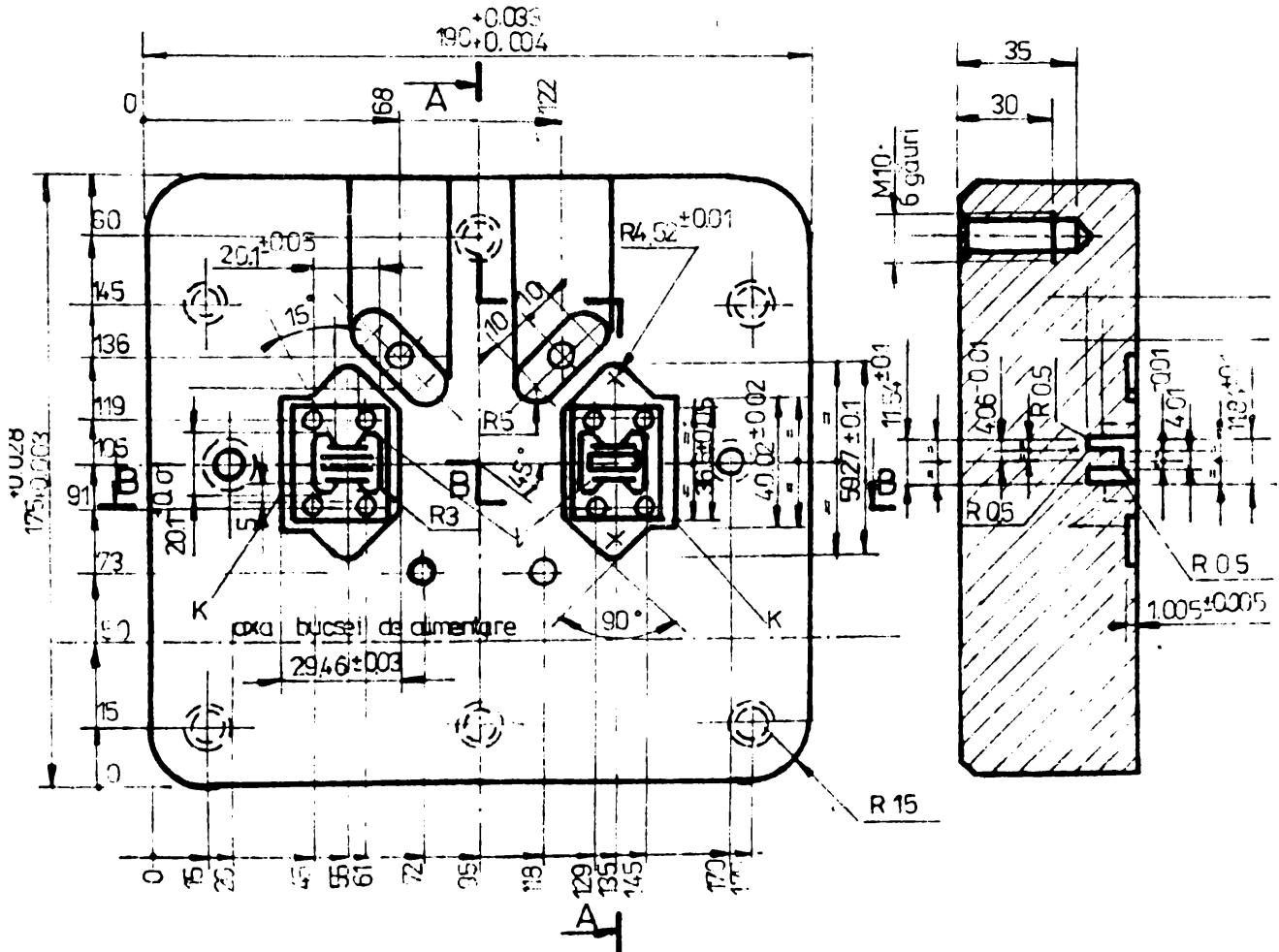
Pentru a scoate în evidență avantajul prelucrării cavităților la plăcile active prin eroziune electrică, este suficient să amintim următorul exemplu, experimentat în timpul cercetărilor.

La prelucrarea de degroșare prin eroziune electrică a unui locaș de matriță cu dimensiunile înscrise într-un pătrat de 150 x 150 mm și adîncimea de 50 mm, timpul de prelucrare a fost de 2,5 ore, iar pentru finisare 2,8 ore. Dacă cavitatea era prelucrată prin așchiere, necesita un timp de circa cinci ori mai mare.

Tehnologia de execuție a matriței mobile. În matrița mobilă (fig.4.8) se execută semicavitatea pentru reperul ce trebuie obținut prin turnarea sub presiune. Cînd este posibil, în matriță sînt prevăzute mai multe cavități.

Amplasarea numărului de cavități pe matriță este legat de:

A - A



B - B

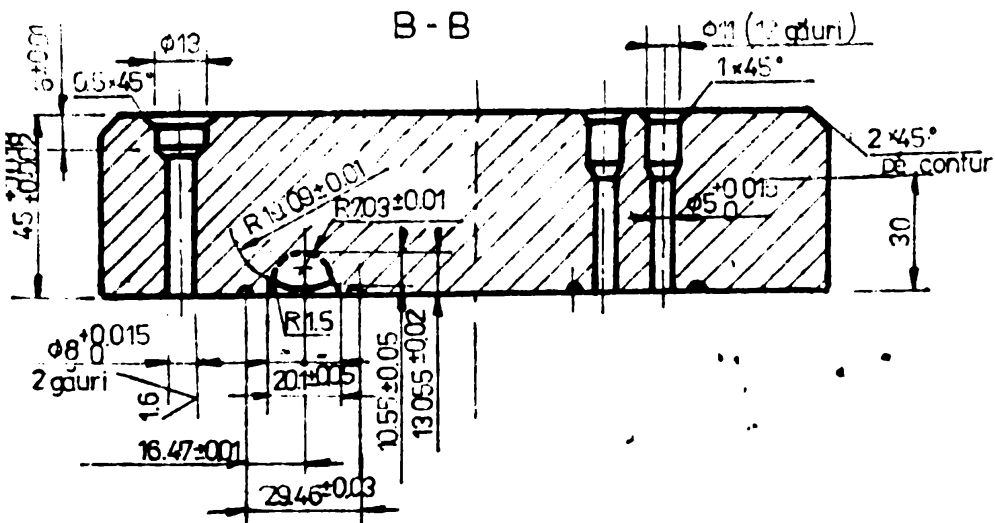


Fig 4.8 Matrita mobila pentru retrovizor extern DACIA 1300

- sistemul de turnare;
- tipul rețelei de turnare;
- suprafața de separație a matriței;
- canalele de aerisire;
- posibilități de extragere din matriță;
- condițiile de formă și dimensiuni ale piesei.

În funcție de numărul cavităților și forma acestora, se întâlnesc următoarele tipuri de matrițe:

Matrițe singulare sînt cele mai uzuale și se folosesc pentru o singură piesă, avînd următoarele caracteristici:

- au o singură cavitate, executată în una sau ambele jumătăți ale matriței;
- se folosesc pentru piese mari și complexe;
- se recomandă pentru producție mică și piesa necesită două sau mai multe miezuri mobile laterale.

Matrițe combinate permit turnarea simultană a două sau mai multe piese, de configurație diferită, care necesită 1-2 miezuri mobile laterale.

Matrițe multiple permit turnarea simultană a două sau mai multe piese identice și se recomandă în cazurile:

- producții de serie mare și masă;
- pentru piese mici de configurație simplă și precizie dimensională mică;
- pentru piese ce nu necesită miezuri mobile laterale.

Matrițe montate se folosesc pentru turnarea pieselor de mărime mijlocie cînd cerințele producției sînt relativ scăzute. Aceste matrițe au următoarele caracteristici:

- cavitatea este formată din elemente separate, care apoi sînt montate în locașe executate dinainte în plăcile matriței;
- dimensiunile de montare sînt similare, astfel că prin schimbarea elementelor de formă să poată fi folosite în diferite cazuri;
- suportul bloc este permanent montat pe mașină, schimbarea elementelor montate se realizează fără întreruperea fabricației.

Avînd în vedere forma, dimensiunile, condițiile tehnice impuse și numărul mare de retrovizoare ce trebuie să se realizeze anual, s-au realizat patru semicavități în matrița mobilă.

Forma cavităților, conform condițiilor impuse, este asigurată de către matrița mobilă împreună cu matrița fixă (fig. 4.9), care

a fost realizată din V Cr 85 avînd semicavităţile realizate prin eroziune electrică.

Pentru a scoate în evidenţă importanţa utilizării eroziunii electrice la fabricarea matriţelor de turnat sub presiune, întreaga tehnologie a matriţei pentru retrovizor DACIA 1300 a fost

Rezultate obţinute -privind variantele tehnologice ale matriţei pentru retrovizor DACIA 1320

Tabelul 4.5

Denumirea operaţiei	Variante tehnologice					
	Tehnologie conventională		Tehnologia întreprinderii		Tehnologia propusa	
	nr. de ore si categ. lucrării	pret de cost	nr. de ore si categ. lucrării	pret de cost	nr. de ore si categ. lucrării	pret de cost
Strunjire	45 IV	520	45 IV	520	34 IV	390
Frezare	460 V	6300	164 IV	1900	140 IV	1600
Rabotare	200 IV	2300	62 III	670	53 III	570
Găurire SIP	54 V	670	54 V	670	40 V	490
Rectificarea găurilor	32 IV	360	32 IV	360	24 III	270
Rectificare plană	21 II	220	21 II	220	15 III	163
Rectificare în coordonate	36 V	440	36 V	440	26 III	320
Prelucrare prin eroziune electrică	-	-	315 V	3900	241 V	3000
Tratament termic	8 IV	90	8 IV	90	6 IV	70
Ajustare I	36 II	360	36 II	360	28 II	280
Ajustare II	108 III	1100	108 III	1100	90 II	965
Ajustare III	288 IV	3330	288 IV	3330	236 IV	2700
Ajustare IV	7 V	85	7 V	85	5 V	60
Ajustare V	216 V	2940	216 VI	2940	160 VI	2200
Pret de cost manufacturii	24.715		16.595		13.078	

proiectată și executată în trei variante: prelucrarea numai prin procedee clasice, prelucrarea după varianta întreprinderii și prelucrarea după varianta propusă.

Avînd tehnologia stabilită detaliat pentru fiecare element al matriței [133], în tabelul 4.5 sînt date rezultatele obținute în urma aplicării celor trei variante tehnologice.

Analizînd cele trei variante tehnologice pentru matrița studiată, se desprind următoarele concluzii:

- prețul de cost al manoperei este relativ ridicat și precizia de execuție mică a cavităților la tehnologia convențională, din cauza lipsei prelucrării prin eroziune electrică;

- aplicînd tehnologia întreprinderii, se obține o reducere a prețului de cost și o creștere a preciziei de prelucrare a cavităților, deoarece acestea sînt prelucrate prin eroziune electrică;

- prelucrînd matrița după varianta propusă, aceasta se obține la un preț de cost minim și cu precizia impusă de către proiectant. Reducerea prețului de cost al manoperei cu aproape 45% se datorează prelucrării tuturor operațiilor cu regimuri optime de lucru - determinate în prealabil prin metoda analitică - și introducerii unor norme cu motivare tehnică.

În general, obținerea unor tehnologii optime pentru prelucrarea elementelor de matriță folosite la turnările sub presiune necesită, pe lîngă calculul elementelor regimului de așchiere, al normelor tehnice și o dispozitivare corespunzătoare [144, 208, 236].

4.4.1. Dispozitive pentru prelucrarea prin eroziune electrică a elementelor de matriță pentru turnarea sub presiune.

În scopul lărgirii posibilităților de lucru ale mașinilor de prelucrat prin eroziune electrică și al optimizării tehnologiei acestora, un loc important îl ocupă dispozitivele. Din această cauză s-a realizat o serie de dispozitive de prindere, cu respectarea condițiilor tehnice legate de procesul de orientare și fixare [241, 242], cît și dispozitive de prelucrare. În categoria dispozitivelor de prelucrare au fost fabricate o serie de variante constructive, mai ales pentru mașinile de prelucrat prin eroziune electrică cu electrod masiv, ce realizează în timpul prelucrării mișcări de rotație [117, 128, 129, 130, 170, 171, 237, 241].

sau mișcări planetare [57, 58, 125, 267]. Introducerea acestor dispozitive în accesorile mașinilor de prelucrat prin eroziune electrică au condus la obținerea unor productivități sporțite, calități mai bune a suprafețelor prelucrate și eliminarea mai bună a produselor eroziunii din interstițiul de lucru, datorită stabilirii unor regimuri optime de mișcare a electrozilor-sculă.

De asemenea, în literatura de specialitate [47, 59] sînt prezentate o serie de dispozitive de prelucrat prin eroziune

Dispozitive folosite la prelucrarea prin eroziune electrică a matritelor de turnat sub presiune

Tabelul 4.6

Nr. crt.	Denumirea dispozitivului	Dimensiuni, de gabarit [mm]
1	Dispozitiv pentru prelucrarea alezajelor cu mișcare de rotație a electrodului	180 × 120 × 170
2	Dispozitiv pentru prelucrarea pieselor sub un anumit unghi	220 × 120 × 40
3	Dispozitiv pentru fixarea electrozilor mari	350 × 200 × 250
4	Dispozitiv pentru fixarea pieselor mari în plan orizontal	280 × 220 × 70
5	Dispozitiv pentru fixarea rapidă a electrodului în bușca elastică	250 × 220 × 150
6	Dispozitiv de prelucrat asferic	270 × 240 × 270
7	Dispozitiv de tăiat cu electrod filiform.	360 × 200 × 150
8	Dispozitiv de prelucrat prin copiere după după șablon cu electrod filiform	200 × 50 × 150
9	Dispozitiv pentru prelucrarea alezajelor, cu electrod orbitat	200 × 170 × 190
10	Dispozitiv cu sistem de divizare	380 × 200 × 220
11	Dispozitiv pentru prelucrarea alezajelor după un arc de cerc la raze diferite	350 × 45 × 150
12	Dispozitiv pentru prelucrarea filetelor în plan vertical	300 × 165 × 195
		280 × 180 × 290
13	Dispozitiv pentru prelucrarea filetelor în plan orizontal	300 × 180 × 130

electrică cu scule multiple, dispozitive pentru prelucrarea filetelor pe suprafețe cilindrice și conice, interioare și exterioare [125, 127, 146, 171, 237], dispozitive pentru prelucrarea suprafețelor la unghiuri de înclinare diferite până la 45° [92, 113], [127, 146], dispozitive utilizate la prelucrarea alezajelor curbilinii [88] sau diferite construcții de dispozitive pentru prelucrări cu destinație specială [125, 127, 144, 146].

Gama tipodimensională a elementelor de matriță la turnarea sub presiune fiind foarte variată, a fost necesar să se proiecteze, realizeze și experimenteze o familie de dispozitive cu care, în mod practic, să se poată realiza toate prelucrările prin eroziune electrică.

În acest sens, în lucrare se prezintă o gamă variată de dispozitive, unele dintre ele în mai multe variante constructive, cu care s-au realizat toate prelucrările prin eroziune electrică necesare elementelor de matriță pentru turnarea sub presiune (tabelul 4.6).

4.4.2. Cercetări cu privire la tehnologia de prelucrare a matrițelor de turnat sub presiune prin eroziune electrică, folosind dispozitivele proiectate

Din numărul mare de încercări, efectuate de către autor, privind aplicarea dispozitivelor proiectate la tehnologia matrițelor prin eroziune electrică [127, 133, 144, 146], majoritatea au fost aplicate în diferite contracte de cercetare [128, 129, 130].

În cele ce urmează se prezintă unele din rezultatele mai semnificative.

Dispozitiv de tăiere cu electrod filiform. Pentru realizarea operației de tăiere cu sîrmă, pe mașinile de prelucrat prin eroziune electrică de copiere - tip ELER, s-a proiectat și realizat un dispozitiv de tăiere cu electrod filiform (fig.4.10).

Electrodul sculă poate fi confecționat din cupru moale, oțel și molibden cu proprietăți fizice bine determinate [43, 73], avînd diametre de 0,05, 0,08 ... 0,3 mm.

Încercările efectuate au arătat că există o dependență între viteza de rulare a electrodului-sculă V_E , materialul de prelucrat și înălțimea de tăiere, h (fig.4.11).

Astfel, la viteze mici de tăiere, electrodul filiform este solicitat de un număr mai mare de descărcări, ceea ce poate

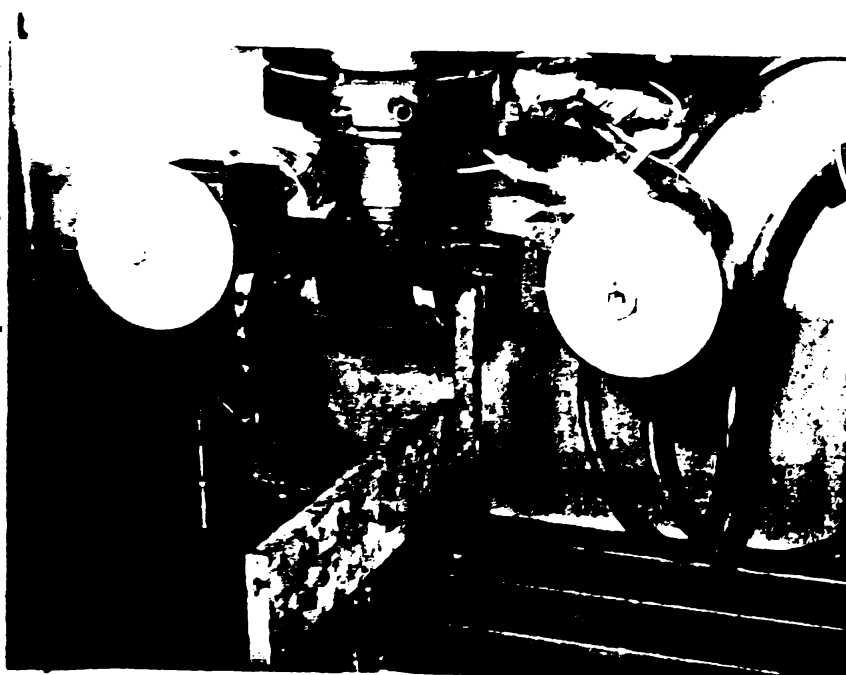


Fig.4.10. Dispozitiv de tăiere cu electrod filiform

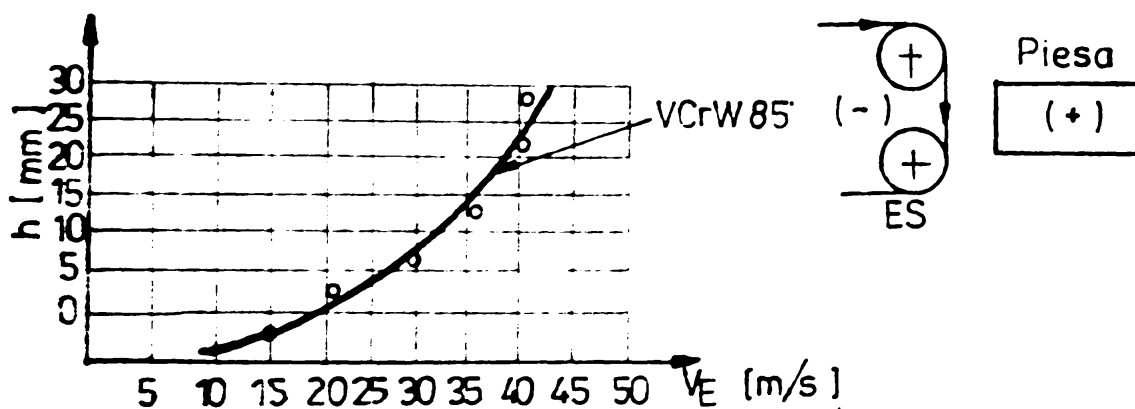


Fig.4.11. Influența vitezei de derulare a electrodului în funcție de înălțimea de tăiere

duce la ruperea acestuia.

Dacă înălțimea de tăiere crește, se mărește viteza electrodului datorită curentului de șardină și a frecvenței sporite a descărcărilor; pe de altă parte, viteza electrodului este limitată de reducerea preciziei de prelucrare, de pierderea stabilității procesului și de schimbarea bobinei cu sîrmă la intervale mici.

Experimental se constată că precizia formei prelucrate este influențată de direcția de deplasare a electrodului sculă și modul de injectare a lichidului dielectric (fig.4.12).

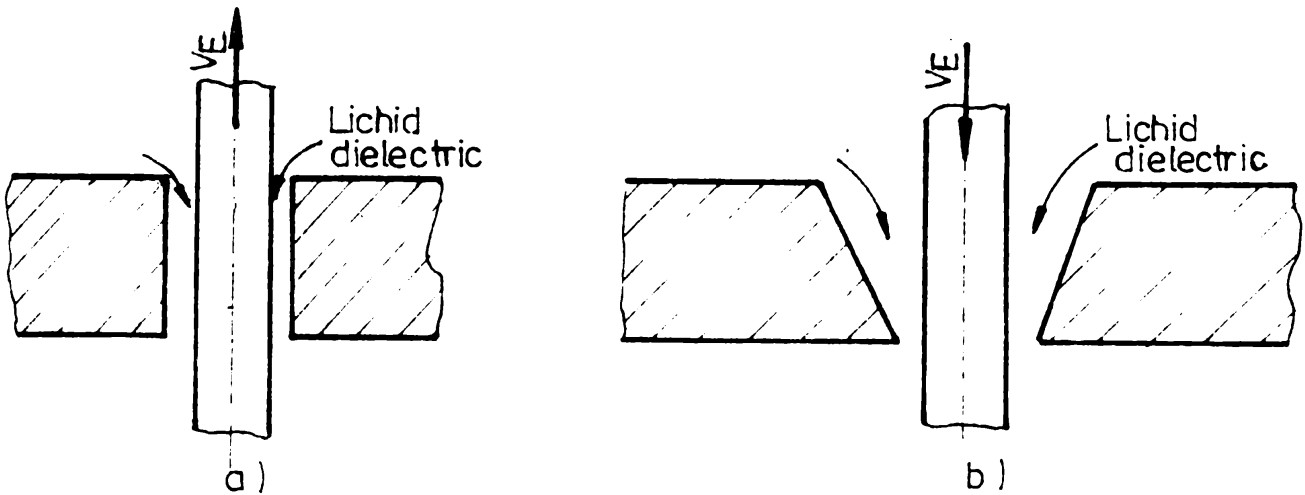


Fig.4.12. Influența preciziei formei prelucrate datorită direcției de deplasare a electrodului și modului de injectare a lichidului dielectric

Pentru prelucrări precise, direcția de deplasare a electrodului va fi inversă direcției de injectare a lichidului dielectric (fig.4.12,a). În acest caz, numărul descărcărilor fictive se reduce și suprafețele piesei devin paralele. În caz contrar (fig. 4.12,b), particulele erodate se vor aglomera la suprafața piesei, mărinđ numărul descărcărilor fictive, realizându-se astfel o tăietură unghiulară.

Dacă interstițiul de lucru este spălat prin injecție oblică, se folosesc presiuni, $p \leq 0,1$ [daN/cm²]. Mărinđ presiunea de 4 ... 8 ori, apar perturbații ale procesului de eroziune electrică [225].

Dispozitiv pentru prelucrarea alezajelor cu electrod orbital

Pentru eliminarea dezavantajelor care apar la eroziune electrică cu copierea formei (utilizarea mai multor electrozi pentru o precizie dată; obținerea orificiilor străpuse și cavităților cu anumite conicități; grosimi ale interstițiului frontal mai mici decât ale interstițiului lateral; evacuarea dificilă a deșeurilor din interstițiul de grosime mică etc.), s-au cercetat, proiectat și experimentat. În ultimii ani, diverse dispozitive care realizează o translație circulară a electrodului, mișcare orbitală

(fig.4.13), mișcare planetară, translații liniare în plan perpendicular pe direcția de avans vertical al BS sau combinații ale acestor mișcări.

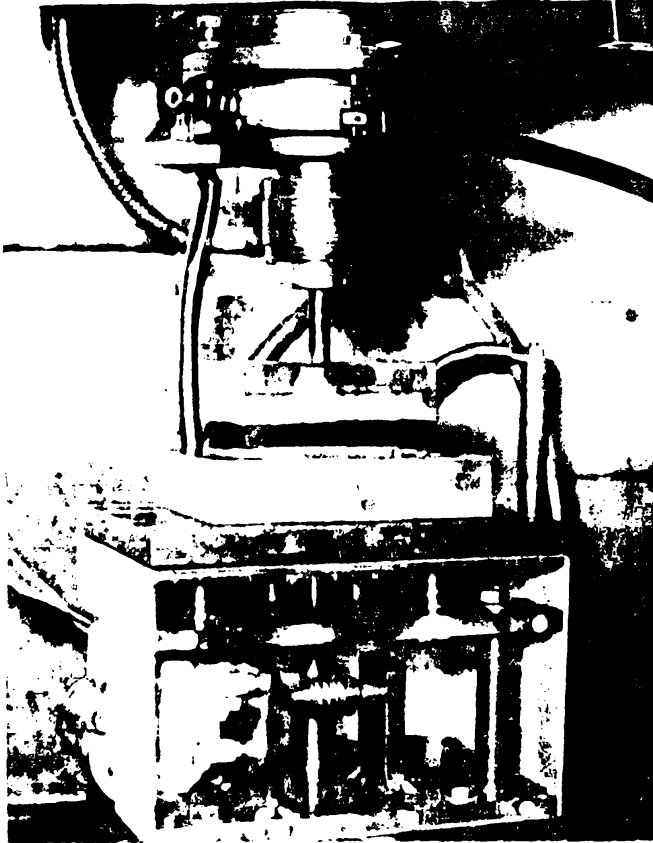


Fig.4.13. Dispozitiv pentru prelucrarea alezajelor cu electrod orbital

Caracteristica mișcării orbitale este aceea că asigură o mișcare relativă între piesă și electrodul - sculă, pentru dispozitivul proiectat: o mișcare de rotație în plan și o mișcare de translație pe verticală (fig.4.14,a).

Pentru a se înțelege principiul prelucrării orbitale, se consideră o secțiune cu un plan paralel cu masa mașinii prin piesă și electrod (fig.4.14,b). Se observă că la mișcarea de translație circulară toate punctele electrodului se mișcă pe aceeași traiectorie circulară, asigurându-se astfel o copiere echidistantă a formei.

Comparativ cu prelucrarea electroerozivă cu copiere simplă a formei, se remarcă următoarele performanțe tehnologice suplimentare [70, 127, 133, 176] :

- dimensiunile cavității prelucrate nu depind de dimensiunile sculei, mărimea cavității putînd fi reglată prin modificarea excentricității;

- se măresc posibilitățile de generare cinematică a unor suprafețe de mare complexitate;

- datorită interstițiului de grosime mare variabilă și mișcării de translație circulară, uzura electrodului se diminuează, fiind posibilă prelucrarea oricărei cavități cu cel mult doi electrozi, ceea ce face ca prețul de cost al electrozilor să scadă pînă la 40 ... 60 %;

- durata de prelucrare la semifinisare și finisare se reduce de două-trei ori, iar pălănia în zona de lucru este mult - surata datorită mișcării orbitale.

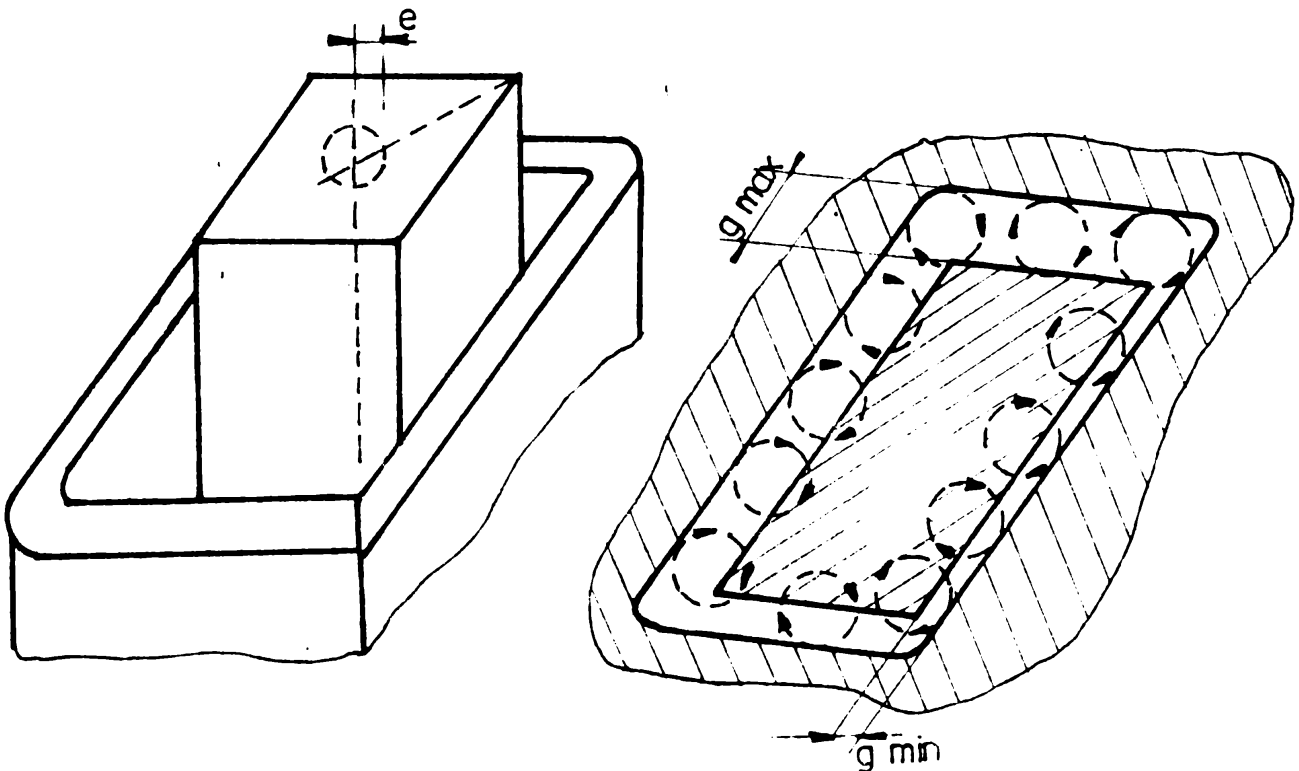


Fig.4.14 Principiul prelucrării alozajelor cu electrod orbital

- eroarea de prelucrare e_p este mai mică, datorită eliminării conicității în zona de evacuare a deșeurilor, uzurii uniforme și mult mai reduse a electrodului;

- rugozitatea este mai mică și identică pe suprafețele frontale sau laterale la orice regim de lucru.

La dispozitivul proiectat, sistemul de antrenare în mișcarea de rotație continuă îl asigură un motor de curent continuu, alimentat la 12 V, iar sistemul de generare a mișcării orbitale se obține printr-un angrenaj de trei roți dințate, din care două se fixează pe axe cu excentrice.

Dispozitivul a permis prelucrarea unor cavități cu dimensiuni până la 150 mm, cu o rugozitate laterală $R_{al} = 10 \mu\text{m}$ și frontală $R_{af} = 6 \mu\text{m}$, pentru faza de degroșare și $R_{al} = 5 \mu\text{m}$ și $R_{af} = 2 \mu\text{m}$, pentru faza de finisare.

Dispozitivul permite reglarea excentricității $e = 1,5 \dots 2,5$ mm, iar a turației $n = 10 \dots 90$ rot/min.

Dispozitive pentru prelucrarea filetelor. Deși în tehnică se pot găsi soluții de realizare a filetelor prin procedee con-

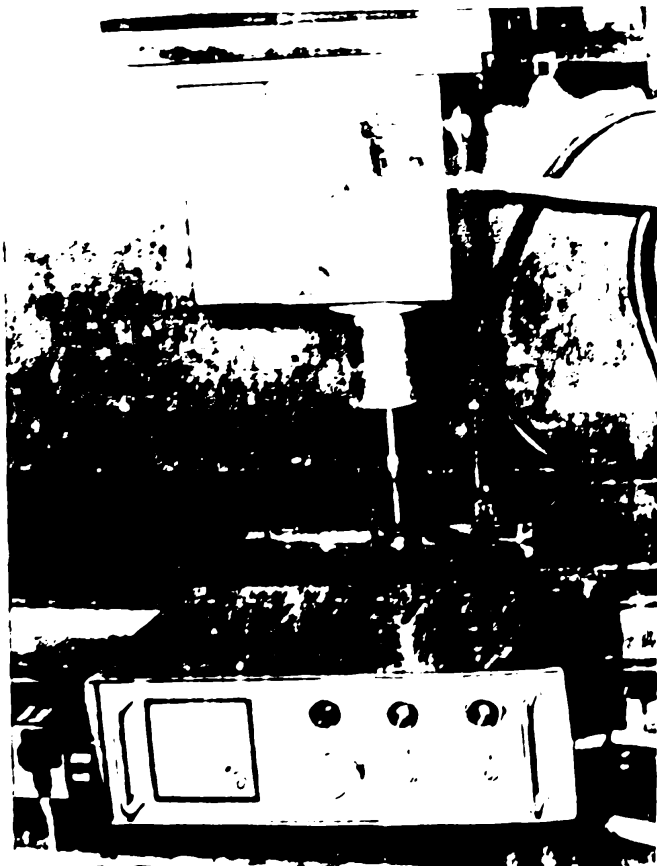
venționale mult mai ieftine și mult mai productive, acestea rămân ineficiente când se cere prelucrarea filetelor în materiale dure, frecvent întâlnite în tehnologia materiilor (Cr 120, V Cr W 85, Kp etc). În aceste cazuri rămâne o soluție practică prelucrarea prin eroziune electrică.

Problemele cele mai deosebite care au apărut la proiectarea dispozitivelor respective sînt legate de realizarea unor turații foarte mici la electrodul-sculă (de ordinul $1/6 \dots 3/6$ [rot/min], funcție de cuplul de materiale, regimul de prelucrare, dielectric, diametrul electrodului, pasul filetelui, condiții impuse etc.

Mișcarea de rotație a electrodului s-a realizat printr-un reductor melc roată melcată acționat de către un motor electric, prevăzut cu un regulator electronic de turație pentru a se realiza o gamă mai largă de turații.

Au fost proiectate, realizate și experimentate atât dispozitive de prelucrare a filetelui în plan vertical, cât și dispozitive de prelucrare a filetelui în plan orizontal.

Cercetările efectuate de către autor în acest domeniu [127, 128, 129, 130, 131, 133, 144, 146] au scos în evidență fap-



tuț că prelucrarea filetelui în plan vertical este mai dificilă decît în plan orizontal, aceasta, pe de o parte, datorită stabilității mai mici a dispozitivului în plan vertical fixat pe corpul mașinii, iar pe de altă parte, mai ușor se realizează condiția cinematică pentru prelucrarea filetelui în plan orizontal.

De asemenea, calitatea și rugozitatea filetelor prelucrate cu dispozitiv în plan vertical (fig. 4.15) este mai slabă ($R_a = 20 \dots 15 \mu m$)

Fig.4.15 Dispozitiv pentru prelucrarea filetelor prin eroziune electrică în plan vertical

Caracteristicile principale a acestor dispozitive sînt:

Tensiunea de alimentare	$U = 12$ [V]
Puțerea instalatã	$P = 36$ [W]
Turația electromotorului	$n = 240$ [rot/min]
Turația electrodului	$n_1 = 1/6$ [rot/min]
	$n_2 = 1/3$ [rot/min]
	$n_2 = 1/2$ [rot/min]

Au fost executate filete pe suprafațe cilindrice exterioare cu electrozi prisocatici (fig.4.16,a) sau cu electrozi cilindrici (fig.4.16,b). Mai dificilã este prelucrarea la interior, pentru gãuri infundate. Pentru aceastã operație dispozitivele sînt prevãzute cu limitatoare și, în același timp, cu inversoare de cursã. Electroductul-sculã se va executa sub forma unui segment, avînd parametrii filetelui care trebuie prelucrat (fig.4.16, c).

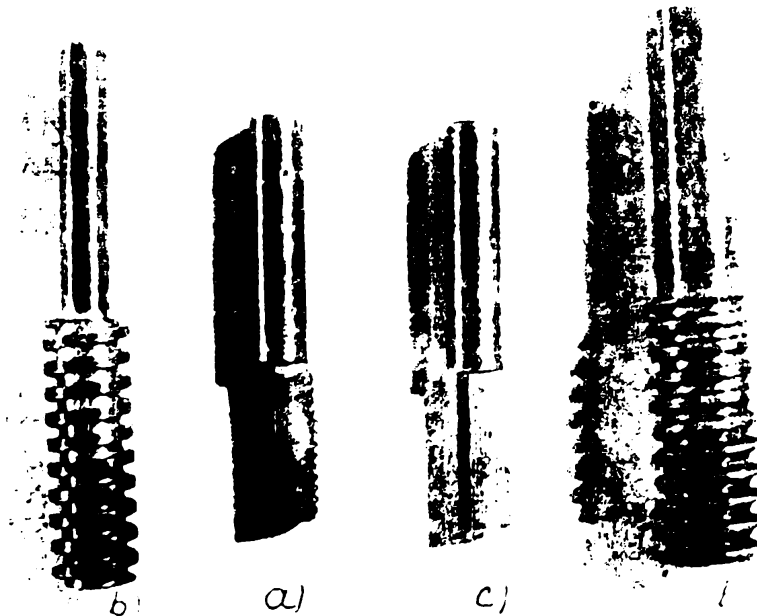


Fig.4.16. Tipuri de electrozi folosiți la prelucrarea filetelor

La stabilirea regimului de lucru trebuie precizate polaritatea electrodului și nivelul de intensitate.

Pentru prelucrarea filetelor este indicat ca densitatea curentului sã nu depãșeascã 50 A/cm^2 , deoarece se înrãutățesc parametrii tehnologici.

La prima angajare a electrodului-sculã în piesã, se recomandã ca valoarea curentului sã fie de $0,5 \dots 0,6$ din curentul normal de lucru.

Pentru stabilirea procesului electroeroziv și îmbunãțirea prelucrabilitãții filetelor, se folosește o circulație for-

țată a dielectricului la o presiune de $0,1 \dots 0,3 \text{ daN/cm}^2$, cu o amplitudine pe direcția axială de $0,05 \text{ mm}$.

La proiectarea și construcția electrodului-sculă tarod, trebuie ca fiecare punct al profilului tarodului să se găsească la o anumită depărtare S față de punctul corespunzător al profilului piesei (se recomandă ca $S = 0,15 \dots 0,3 \text{ mm}$ pentru un curent de $5 \dots 40 \text{ A}$). Această mărime se determină cu relația:

$$S = t + \Delta R + \frac{a}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{b}{\sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad [\text{mm}] \quad (4.13)$$

în care:

- t - este distanța dintre cei doi electrozi;
- ΔR - înălțimea neregularităților îndepărtate la operația de finisare;
- a și b - amplitudinea vibrațiilor sculei în plan vertical, respectiv orizontal. Pentru degroșare a și b vor avea valorile $0,1 \dots 0,15 \text{ mm}$, iar la finisare a și b au valorile $0,08 \dots 0,1 [\text{mm}]$;
- α - unghiul profilului filetelui.

La prelucrarea filetelor metrice, diametrul mediu al filetelor D se determină cu relația:

$$D = d + \frac{t + \Delta R}{\sin \frac{\alpha}{2}} + a + \frac{b}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad [\text{mm}] \quad (4.14)$$

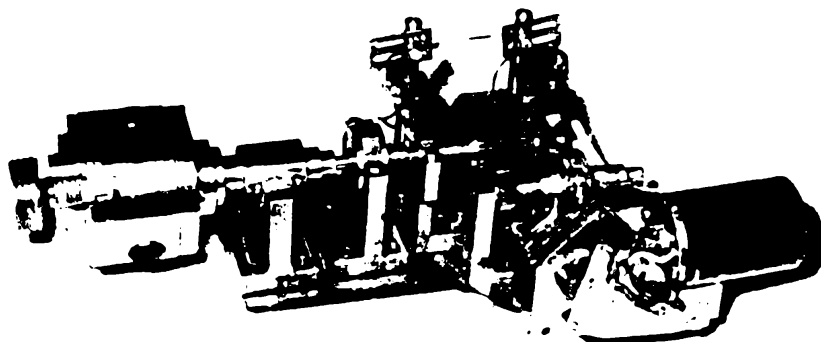


Fig. 4.17 Dispozitiv pentru prelucrarea filetelor prin eroziune electrică în plan orizontal

În timpul cercetărilor s-a constatat că, prelucrând filete cu un dispozitiv în plan orizontal (fig.4.17) se îmbunătățesc calitatea suprafețelor, precizia geometrică a profilului și rugozitatea acestuia (tabelul 4.7)

În cazul prelucrării filetelor în alezaje înfundate, electrodul va avea lungimea:

$$l_{ES} = 0,8 l_{alezaj} \text{ [mm]} \quad (4.15)$$

Cercetările efectuate au scos în evidență faptul că dispozitivele proiectate pot fi utilizate pentru realizarea oricărui tip de filet în materiale dure și foarte dure, cum sînt: carburile metalice, oțelurile bogat aliate, oțelurile rapide etc.

Dintre reperele la care au fost realizate filete cu dispozitivul de prelucrat în plan orizontal, unele sînt indicate în fig.4.18.

Dacă filetelor realizate prin eroziune electrică li se impune precizie și rugozitate deosebită, se execută suplimentar operații de finisare și superfinisare ca: rectificarea, rodarea sau chiar lepuirea.

Filetul a fost realizat în piese din oțel termostabil (V Cr W 85) cu electrozi din cupru electrolitic, conectați la polul pozitiv, iar lungimea părții filetate a fost pentru toate piesele de 20 mm.

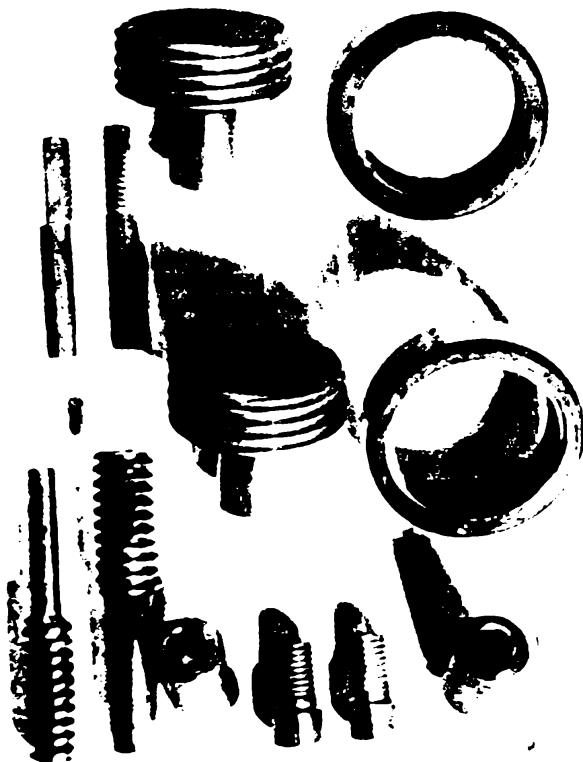


Fig.4.18. Piese cu suprafețe filetate, executate prin eroziunea electrică

Rezultatele obtinute la prelucrarea filetelor prin eroziune electrică

Tabelul 4.7

Faza de lucru	Tipul filetelui	Parametri variabili				Timpul de baza T_b (min)	Rugozitate R_a (μm)
		I [A]	T_i [μs]	T_p [μs]	p [bar]		
Degrosare	Pt 42x4 int.	25	24	12	0.3	40	20
Degrosare	Pt 42x4 ext.	25	24	12	0.3	36	16
Finisare	Pt 42x4 int.	6.125	9	5	0.2	10	6.5
Finisare	Pt 42x4 ext.	6.125	9	5	0.2	8	4.5
Degrosare	Tr 38x3 int.	25	24	12	0.3	38	18
Degrosare	Tr 38x3 ext.	25	24	12	0.3	32	14
Finisare	Tr 38x3 int.	6.125	9	5	0.2	8	4.2
Finisare	Tr 38x3 ext.	6.125	9	5	0.2	6	3.8
Degrosare	Rd 30x2 int.	25	24	12	0.3	35	15
Degrosare	Rd 30x2 ext.	25	24	12	0.3	30	12
Finisare	Rd 30x2 int.	6.125	9	5	0.2	6	3.5
Finisare	Rd 30x2 ext.	6.125	9	5	0.2	5	2.9
Degrosare	M 12x1.75 int.	12.5	9	5	0.3	4	13
Degrosare	M 12x1.75 ext.	12.5	9	5	0.3	3	12
Finisare	M 12x1.75 int.	3.125	6	3	0.2	2	2.6
Finisare	M 12x1.75 ext.	3.125	6	3	0.2	2	2.2

CAPITOLUL 5

OPTIMIZAREA PROCESULUI DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTRICA A MATRITELOR DE TURNAT SUB PRESIUNE DIN ELEMENTE TIPIZATE

5.1. Factorii și parametri care determină caracte- risticile tehnologice la prelucrare

Ca și alte metode neconvenționale sau clasice, prelucra-
rea prin eroziune electrică este caracterizată de diferiți parame-
tri sau factori. Acești parametri sînt variabile independente, spe-
cifice utilajului de prelucrare, pe care operatorul le selecțio-
nează dintr-o gamă largă de posibilități de reglare a acestuia [4,
224, 240].

Posibilitățile multiple de reglare sînt justificate de
domeniul larg de aplicații pentru care producătorul a conceput și
realizat utilajul de prelucrare. Multiplele combinații posibile a-
le variabilelor independente, creează greutate operatorului în
cea ce privește alegerea condițiilor optime de prelucrare.

5.1.1. Interdependența factorilor și parametrilor procesului

Considerînd că prelucrarea prin eroziune electrică este
un proces de transformare sistemic [224, 241], intervin cele trei
mari categorii de factori (fig.5.1):

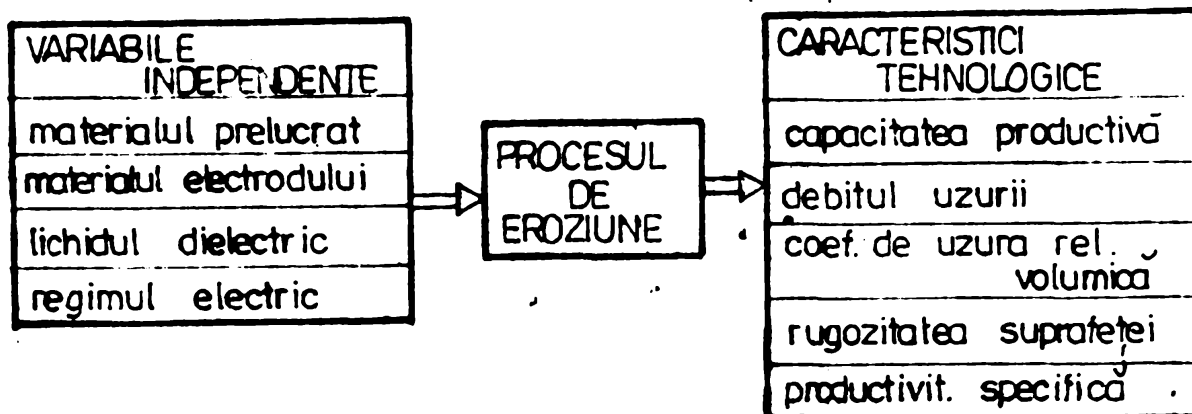


Fig.5.1. Categori de factori in procesul de eroziune electrică

- factori primari (de intrare);
- factori intermediari (de proces);
- factori finali (de ieșire - caracteristici tehnologice).

În [176] se prezintă schema de interdependență globală a factorilor și parametrilor în procesul de eroziune electrică.

5.1.2. Variabilele independente ale procesului

a) Materialul prelucrat. Materialul obiectului prelucrării exercită influență asupra caracteristicilor tehnologice, prin compoziție chimică, proprietăți fizice și constituenți structurali.

Rezistența la eroziune a unui material se definește prin capacitatea acestuia de a-și păstra integritatea la acțiunea descărcărilor electrice. Aprecierea rezistenței la eroziune electrică se face prin „criteriul stabilității termice”, P

$$P = C \int \rho \lambda (T_t - T_a)^2 \quad (5.1)$$

în care:

- C - căldura specifică;
- ρ - densitatea;
- λ - conductivitatea termică;
- T_t - temperatura de topire;
- T_a - temperatura ambiantă.

Cu cât valoarea lui P este mai mare, cu atât materialul respectiv se prelucrează mai greu.

b) Materialul electrodului (vezi § 4.2.2).

c) Lichidul dielectric. Lichidul dielectric utilizat la prelucrarea prin eroziune electrică are următoarele funcțiuni:

- asigură formarea descărcării electrice într-un canal delimitat, concentrând energie și localizînd-o pe suprafața obiectului prelucrării;
- realizează răcirea obiectului prelucrării și a electrodului sculă;
- evacuează produsele eroziunii din spațiul de lucru, asigurînd continuitatea procesului;
- evită lipirea pulberilor metalice pe suprafața electrozilor sculă, asigurînd astfel păstrarea dimensiunilor lor;
- asigură izolarea electrică și răcirea dielectrică a mediului de lucru.

- Vaporizarea lichidului dielectric intensifică fenomenul de aruncare a particulelor de metal topit.

Pentru a îndeplini aceste funcțiuni, lichidul dielectric trebuie să aibă vîscozitate sub $2,8^{\circ}\text{E}$ la 320°K , rezistență chimică mare față de acțiunea aerului, conductivitate termică și electrică mică, putere de răcire și sedimentare, să nu conțină gaze și să nu producă fum, filtrabilitate, capacitate de deionizare ridicată, tensiune superficială mică și punct de aprindere ridicat.

Lichidele dielectrice sînt de natură anorganică (apa distilată), organică (apa industrială, hidrocarburi, soluții și suspensii apoase, petrol lampant în amestec cu ulei de transformator, ulei mineral purificat etc), mixtă (emulsii ulei-apă).

Apa industrială, soluțiile și suspensiile apoase se recomandă pentru prelucrările de degroșare, avînd avantajul că nu se carburează suprafața prelucrată.

La prelucrările de precizie se recomandă alcoolul etilic, metilic sau butilic, care, datorită vîscozității reduse, pătrunde ușor în interstițiile mici.

Pentru prelucrarea industrială de degroșare și de finisare cu orice tip de generator de impulsuri, se recomandă petrolul lampant sau uleiul de transformator. Aceste lichide asigură o bună evacuare a produselor eroziunii și formează pelicule protectoare de grafit cristalin pe suprafața electrodului.

În scopul creșterii productivității prelucrării, s-au efectuat cercetări importante asupra dielectricilor utilizați, în scopul găsirii celor optimi, corespunzător calității suprafețelor prelucrate [101, 174, 230]. În acest sens s-au propus dielectrici cu proprietăți active [173, 174], sau dielectrici conținînd compuși organici simpli.

d) Regimul electric. Regimul electric este caracterizat prin: polaritatea conectării, energia impulsurilor și frecvența impulsurilor.

Polaritatea conectării influențează repartitia energiei între electrod și obiectul prelucrării, determinînd efectul eroziv preferențial la unul dintre aceștia (vezi § 4.2.2).

Energia impulsurilor este determinată de funcția de timp a tensiunii și curentul pe durata descărcării electrice:

$$W_1 = \int_0^{t_1} U(t) \cdot i(t) dt \quad (5.2)$$

Frecvența impulsurilor rezultă în funcție de durata impulsului t_i și durata pauzei dintre impulsuri t_p :

$$f_p = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_i + t_p}, \quad (5.3)$$

T fiind perioada impulsurilor.

Durata impulsului (t_i) este un parametru reglabil în trepte, care determină cantitatea de material prelevat. Când rămân constante nivelul de intensitate și tensiune, creșterea duratei impulsului duce la creșterea productivității și scăderea uzurii relative. Acest parametru este ales în funcție de materialul de prelucrat și regimul de lucru.

Durata pauzei (t_p) este o mărime ce se realizează în trepte, fiind limitată inferior de timpul minim necesar deionizării spațiului străpuns de descărcarea anterioară și refacerii rigidității dielectrice a interstițiului. Timpul de pauză minim se alege în funcție de condițiile din spațiul de lucru.

5.1.3. Caracteristici tehnologice ale procesului

Caracteristicile tehnologice la prelucrarea prin eroziune electrică sînt considerate acele variabile care exprimă cantitativ și calitativ transformările suferite de obiectul prelucrării și electrod.

Principalele mărimi cu care se apreciază cantitativ eroziunea la OP sînt [4, 131, 167, 176]

- volumul prelevării totale, V_p , mărime absolută determinată de volumul mediu al craterelor elementare, V_{ip} , frecvența impulsurilor de prelevare f_p și timpul prelucrării t .

$$V_p = V_{ip} \cdot f_p \cdot t = \frac{m_{p1} - m_{p2}}{\rho_p} \quad [\text{mm}^3], \quad (5.4)$$

în care: m_{p1} , m_{p2} - masa piesei înainte, respectiv după prelucrare;
 ρ_p - densitatea materialului piesei.

- productivitatea prelucrării, sau debitul prelevării, Q_p , care măsoară volumul de material îndepărtat din piesă în unitatea de timp și este caracteristica tehnologică de bază pentru evaluarea cantitativă a prelucrării.

$$Q_p = V_{ip} \cdot f_p = \frac{V_p}{t} \quad [\text{mm}^3/\text{min}], \quad (5.5)$$

- productivitatea specifică a prelevării, Q_{sp} , care caracterizează din punct de vedere tehnico-economic prelucrarea. Valoarea ei este o măsură a eficacității prelucrării, referitoare la consumul de energie și la timpul de mașină.

$$Q_{sp} = \frac{Q_p}{I_m} \quad [\text{m}^3/\text{A} \cdot \text{min}], \quad (5.6)$$

- coeficient de prelucrabilitate relativă volumică, ε_p , mărime relativă globală care măsoară procentual cantitatea de material prelucrat din piesă la unitatea de volum uzat din electrod

$$\varepsilon_p = \frac{V_p}{V_E} \cdot 100 [\%] = \frac{Q_p}{Q_E} \cdot 100 [\%] \quad (5.7)$$

In mod analog cu variabilele de transformare la OP se definesc și cele de uzură la electrod:

- debitul uzurii, Q_E , care măsoară volumul de material uzat din electrod în unitatea de timp

$$Q_E = V_{iE} (f_p + f_k) = \frac{V_E}{t} \quad [\text{mm}^3/\text{min}], \quad (5.8)$$

- coeficient de uzură relativă volumică, μ , mărime relativă care măsoară volumul de material uzat din electrod la prelucrarea unității de volum din piesă.

$$\mu = \frac{V_E}{V_p} \cdot 100 [\%] = \frac{Q_E}{Q_p} \cdot 100 [\%] \quad (5.9)$$

Calitatea suprafeței este determinată, ca și la prelucrările mecanice, de aspectul microgeometric (rugozitatea suprafeței) și de aspectul fizic (structura și proprietățile stratului superficial).

Rugozitatea suprafețelor prelucrate prin eroziune electrică se apreciază prin criteriile:

- raportul de umplere a suprafeței, R_u ,

$$R_u = \frac{V}{V_p} \quad (5.10)$$

în care: A_N este aria nominală; A_R - aria reală.

Pentru eroziune electrică, $R_u = 0,46 - 0,49$, față de $0,4 - 0,6$, la prelucrările de aşchiere;

- înălțimea microneregularităților, măsurată prin unul din criteriile: R_{max} , R_a sau R_z , care, în toate direcțiile de măsurare, prezintă aceleași caracteristici, fără a avea o orientare preferențială.

Sub aspect fizic, calitatea suprafeței este caracterizată de adâncimea stratului de material modificat și de adâncimea fisurilor apărute. Aceste caracteristici sînt funcție de materialul piesei și parametrii regimului de lucru.

Pentru studiul optimizării procesului de prelucrare prin eroziune electrică a matrițelor de turnat sub presiune din elemente tipizate, prezintă interes următoarele caracteristici tehnologice:

- productivitatea prelucrării, Q_p [mm^3/min];
- debitul uzurii, Q_E [mm^3/min];
- coeficientul de prelucrabilitate relativă volumică, ξ_p [%];
- rugozitatea suprafeței prelucrate, R_a [μm];
- productivitatea specifică, Q_{sp} [$mm^3/min \cdot A$], pentru faza de degroșare, și:
- productivitatea prelucrării, Q_p [mm^2/min];
- debitul uzurii, Q_E [mm^3/min];
- coeficient de uzură relativă volumică, γ [%];
- rugozitatea suprafeței, R_a [μm], pentru faza de finisare.

Datorită numărului mare de parametri variabili care influențează procesul de prelucrare și diferitelor valori pe care le pot lua acești parametri, determinarea condițiilor optime este foarte dificilă, necesitînd un volum mare de experimentări. Pentru scurtarea programului de experimentări și pentru a avea posibilitatea de a obține rezultate concludente este necesar să se folosească metode statistico-matematice și informaționale de prelucrare a datelor.

Intr-o primă etapă a studiului de optimizare se va urmări ordonarea influenței exercitate de parametri variabili asupra caracteristicilor tehnologice. Această ordonare permite evidențierea parametrilor care au un rol preponderent în determinarea caracteristicilor tehnologice, reducînd astfel numărul de variabile ale procesului.

În cea de-a doua etapă a studiului, selectînd variabilele cu influență semnificativă se va stabili corelația între acestea și caracteristicile tehnologice, determinîndu-se ecuațiile curbelor de

regresie.

5.2. Ordonarea influenței parametrilor procesului de prelucrare asupra criteriilor de performanță prin metoda bilanțului aleatoriu

În cazul unui proces cu mulți parametri, cum este și cel de prelucrare prin eroziune electrică, pentru a se putea stabili regimurile optime, este necesar a se cunoaște, în prealabil, care dintre parametri exercită influențe semnificative asupra indicilor tehnologici.

În acest caz se folosesc diferite metode de planificare a încercărilor și de analiză statistică a rezultatelor. Metoda bilanțului aleatoriu sau random [6, 39, 48, 172, 179, 220] permite ordonarea parametrilor după ponderea de influență exercitată asupra indicilor tehnologici.

5.2.1. Planificarea datelor experimentale

Având în vedere că variabilele independente pot avea 2, 3 sau 4 nivele, s-a admis o serie experimentală formată din 24 încercări, datorită divizibilității prin 2, 3 și 4. Seria de încercări poate fi mai mare sau mai mică, în funcție de numărul de nivele ale variabilelor analizate.

Pentru a se evita, în seria de încercări, combinații necorespunzătoare din punct de vedere teoretic și practic, s-au adoptat valori pentru regimul de degroșare și regimul de finisare, conform datelor din literatura de specialitate [4, 167, 176, 270, 271].

Distribuția întâmplătoare (randomizarea) nivelelor pentru fiecare experiență s-a efectuat pe baza unui tabel cu numere aleatoare [157, 220, 257], singura restricție este ca fiecare nivel să apară de același număr de ori în seria de încercări.

Matricea de programare a celor 24 de încercări experimentale, cuprinzând parametrii variabili admisi și indicii tehnologici obținuți, este prezentată în tabelul 5.1, pentru degroșare, și în tabelul 5.2, pentru finisare.

5.2.2. Desfășurarea experimentului

Am fost supuse prelucrării piese din oțelul termostabil V. Cr. W. 85, utilizat în mod frecvent pentru confecționarea părților active ale matritelor de turnat sub presiune. Electrozii au

fost confecționați din cupru sau alamă de diametre, $D = 20$ mm, cu gaură centrală de diametru $d = 2$ mm.

Lichidul dielectric, motorina, a fost circulată în spațiul de lucru prin absorbție, prin alezajul central din electrod, reglându-se diferite presiuni (0,1 bar, 0,2 bar și 0,3 bar). Durata prelucrării a fost constantă la toate încercările, respectiv 20 minute.

Pentru determinarea maselor la electrozi și piese s-a utilizat o balanță analitică cu o precizie de 0,0001 g.

Calitatea suprafețelor prelucrate s-a apreciat prin criteriul R_a , abaterea medie aritmetică a profilului. Măsurările s-au efectuat cu aparatul „Surtronic”, avînd precizia de 0,2 μ m. Fiecare măsurare s-a repetat de trei ori.

Toate prelucrările au fost efectuate pe o mașină de eroziune electrică tip EIER-01, echipată cu un generator de impulsuri de tip GEP-50 F.

Rezultatele experimentale, pentru toate criteriile de performanță prescrise, sînt prezentate centralizat în tabelul 5.1, pentru degroșare, și în tabelul 5.2, pentru finisare.

5.2.3. Ordonarea influenței parametrilor la prelucrarea de degroșare și finisare

Ordonarea influenței variabilelor se efectuează succesiv asupra fiecăreia dintre caracteristicile tehnologice determinate.

Prelucrarea datelor experimentale pentru ordonarea influenței parametrilor prin metoda bilanțului aleatoriu constă în parcurgerea următorului algoritm [48, 136, 148]:

- calcularea mediei aritmetice a indicelui tehnologic obținut la încercările cu fiecare parametru j , pentru caracteristica x și valorile nivelului k ale acestuia:

$$\bar{x}_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.11)$$

în care $i = \overline{1, n}$ reprezintă numărul de repetări ale parametrului j la fiecare valoare k , iar $k = \overline{1, m}$ este numărul de valori ale parametrului j ;

j - calcularea amplitudinii mediilor aritmetice ale indicelui tehnologic obținut la încercările cu fiecare parametru j :

Tabelul 5.1

MATRICEA DE PROGRAMARE A EXPERIENTELOR																	
nr. experientei	REGIM DE DEGROSARE																
	Parametrii variabili												Indici tehnologici				
	1		2		3		4		5		6		1	2	3	4	5
	Pol	cod	i _j	cod	t _p	cod	t _i	cod	p	cod	OT	cod	Q _p	Q _E	ε _p	R _a	Q _{ps}
		[A]		[μs]		[μs]		[bar]				mm ³ /min	mm ³ /min	%	μm	mm ³ /min	
1	-	2	50	3	24	1	190	2	0,3	3	Am	1	22.3653	16.9733	131.76	11.82	0.5193
2	+	1	50	3	190	4	900	4	0,1	1	Am	1	26.2080	7.3597	356.10	13.45	0.6541
3	+	1	50	3	48	2	190	2	0,2	2	Am	1	30.5719	15.1376	201.96	12.25	1.0223
4	+	1	25	2	190	4	900	4	0,2	2	Cu	2	14.5874	0.0948	15387.5	6.95	0.5936
5	-	2	12,5	1	95	3	420	3	0,3	3	Cu	2	3.3539	2.5460	367.78	4.95	0.8497
6	+	1	12,5	1	48	2	190	2	0,2	2	Am	1	2.0249	8.8783	22.807	5.82	0.1840
7	-	2	12,5	1	190	4	420	3	0,3	3	Am	1	1.0831	7.9857	13.563	6.25	0.0262
8	+	1	50	3	95	3	420	3	0,3	3	Am	1	15.1298	20.4431	74.009	15.25	0.0780
9	-	2	50	3	48	2	190	2	0,2	2	Cu	2	77.9700	0.0694	12348.7	12.30	1.9477
10	-	2	25	2	24	1	95	1	0,1	1	Am	1	5.5719	18.7982	29.7879	7.50	0.2646
11	-	2	12,5	1	24	1	420	3	0,2	2	Am	1	1.5927	6.5112	24.4609	5.60	0.1577
12	+	1	12,5	1	48	2	900	4	0,1	1	Cu	2	7.3191	1.2055	607.142	6.35	0.4865
13	-	2	25	2	95	3	900	4	0,3	3	Cu	2	30.9040	2.0969	1473.79	7.54	1.5450

- Tot -

Tabelul 5.1 (continuare)

14	-	2	25	2	24	1	190	2	0,1	1	Am	1	5.8826	17.7147	33.207	6.35	0.3911
15	+	1	50	3	190	4	95	1	0,2	2	Am	1	14.8175	28.6263	59.762	12.55	1.4809
16	-	2	12,5	1	48	2	900	4	0,1	3	Cu	2	4.8126	0.8776	710.24	8.45	0.4700
17	+	1	25	2	190	4	95	1	0,2	2	Cu	2	11.8803	0.3742	3174.8	7.53	0.5933
18	-	2	12,5	1	24	1	420	3	0,2	2	Cu	2	13.8116	1.4648	942.9	6.42	1.3800
19	+	1	50	3	190	4	190	2	0,3	3	Cu	2	48.7721	0.3501	13930.9	11.20	1.2179
20	+	1	50	3	95	3	420	3	0,1	1	Cu	2	78.1341	0.4691	16229.8	11.45	1.9510
21	-	2	25	2	48	2	95	1	0,3	3	Am	1	3.3727	3.6399	92.659	7.35	0.1676
22	+	1	25	2	95	3	900	4	0,1	1	Cu	2	44.7998	1.0903	4107.25	6.95	2.7386
23	-	2	25	2	24	1	95	1	0,1	1	Am	1	4.1436	3.6252	114.300	8.10	0.2071
24	+	1	12,5	1	95	3	95	1	0,1	1	Cu	2	5.5867	0.9678	577.37	6.45	0.6969

Tabelul 5.2

MATRICEA DE PROGRAMARE A EXPERIENTELOR																
Nr. experientei	Regim de finisare															
	Parametrii variabili												Indici tehnologici			
	1		2		3		4		5		6		1	2	3	4
	Pol	cod	i_j [A]	cod	t_p [μs]	cod	t_j [μs]	cod	p [bar]	cod	I/A [bar]	cod	Q_p [mm ³ /min]	Q_E [mm ³ /min]	μ [%]	R_a [μsm]
1	-	2	12,5	3	24	4	6	1	0,3	3	I	1	2,5558	0,5466	21,3864	3,75
2	+	1	6,25	2	8	2	6	1	0,2	2	A	2	0,6370	0,1243	18,0931	3,42
3	-	2	12,5	3	8	2	48	4	0,2	2	I	1	1,0256	0,2552	21,9578	3,81
4	+	1	6,25	2	12	3	24	3	0,3	3	I	1	2,1597	0,0735	3,4127	3,55
5	-	2	12,5	3	12	3	48	4	0,2	2	I	1	0,7347	0,2619	35,64	4,10
6	-	2	3,125	1	12	3	6	1	0,3	3	I	1	0,3451	0,0147	4,2596	2,15
7	+	1	3,125	1	6	1	24	3	0,3	3	A	2	0,3566	0,0066	1,8508	1,85
8	-	2	3,125	1	12	3	48	4	0,1	1	A	2	0,5424	0,0133	2,4520	1,95
9	+	1	12,5	3	8	2	6	1	0,1	1	A	2	1,2245	0,2579	21,0616	3,95
10	+	1	3,125	1	12	3	24	3	0,3	3	I	1	0,7265	0,0160	2,2023	2,42
11	-	2	6,25	2	24	4	12	2	0,1	1	A	2	0,7429	0,0534	7,1880	3,22
12	+	1	6,25	2	6	1	12	2	0,2	2	A	2	0,6870	0,1403	20,4221	3,95
13	+	1	3,125	1	24	4	12	2	0,3	3	A	2	0,3566	0,0574	16,0964	2,10

Tabelul 5.2 (continuare)

14	-	2	6,25	2	6	1	6	1	0,3	3	A	2	0,9681	0,7591	78,4113	3,52
15	-	2	12,5	3	8	2	24	3	0,2	2	A	2	2,1729	0,2539	11,6848	3,95
16	+	1	12,5	3	6	1	24	3	0,1	1	A	2	3,5535	0,8860	24,8911	4,25
17	-	2	3,125	1	24	4	48	4	0,2	2	I	1	0,6870	0,0147	2,1397	1,90
18	+	1	3,125	1	12	3	12	2	0,1	1	I	1	0,6229	0,0601	9,6484	2,10
19	+	1	6,25	2	6	1	6	1	0,1	1	I	1	0,7429	0,0441	5,9362	3,55
20	-	2	6,25	2	6	1	48	4	0,1	1	I	1	1,2853	0,1042	8,1070	3,90
21	+	1	12,5	3	8	2	24	3	0,1	1	A	2	3,1163	0,7952	25,5174	4,10
22	-	2	3,125	1	24	4	12	2	0,3	3	I	1	0,3336	0,0160	4,7961	3,20
23	+	1	6,25	2	24	4	48	4	0,2	2	A	2	1,2689	1,1306	89,1068	3,15
24	-	2	12,5	3	18	2	12	2	0,2	2	I	1	2,2337	0,4223	18,9506	2,90

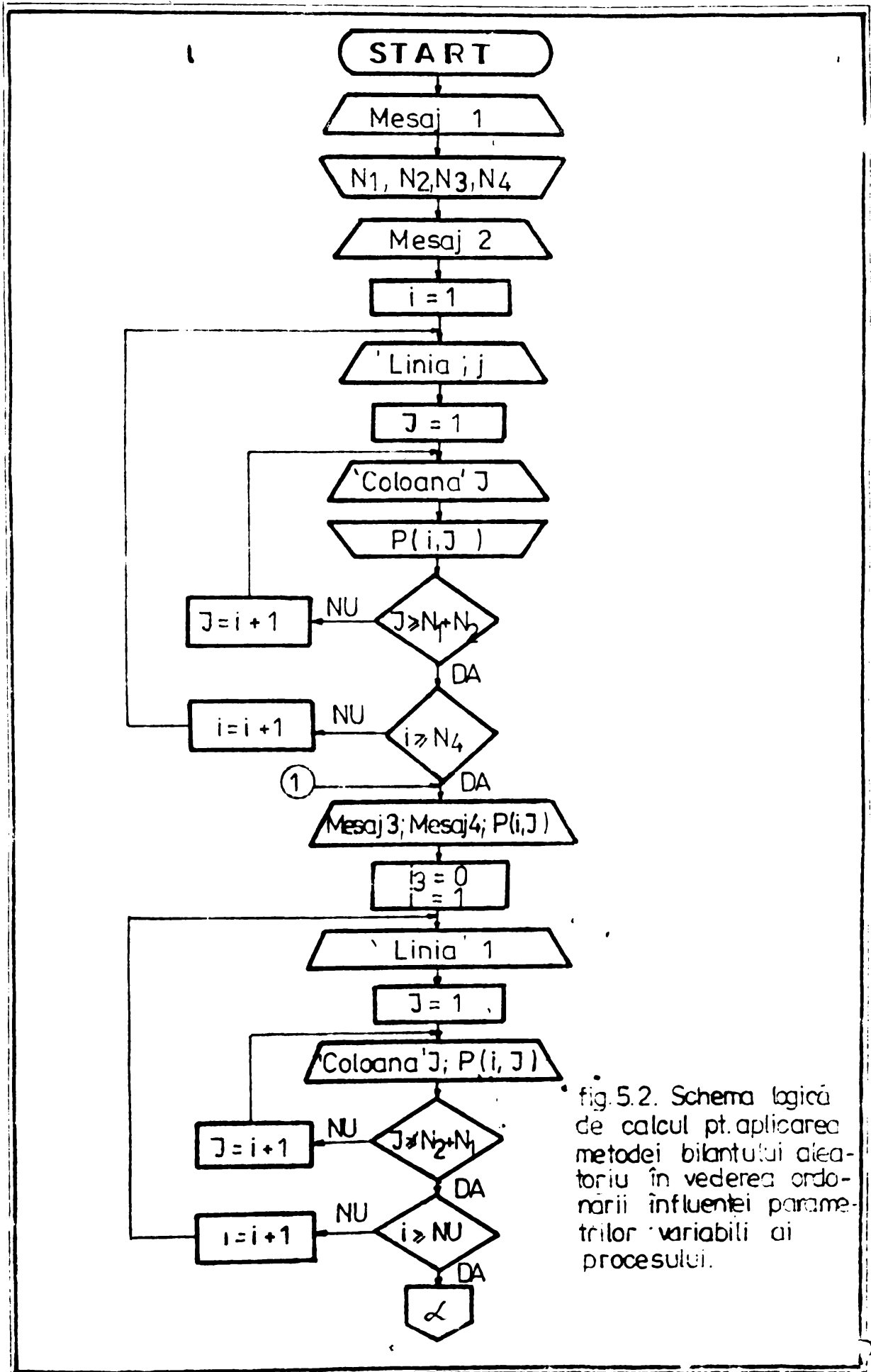


fig. 5.2. Schema logică de calcul pt.aplicarea metodei bilantului aleatoriu în vederea ordonării influenței parametrilor variabili ai procesului.

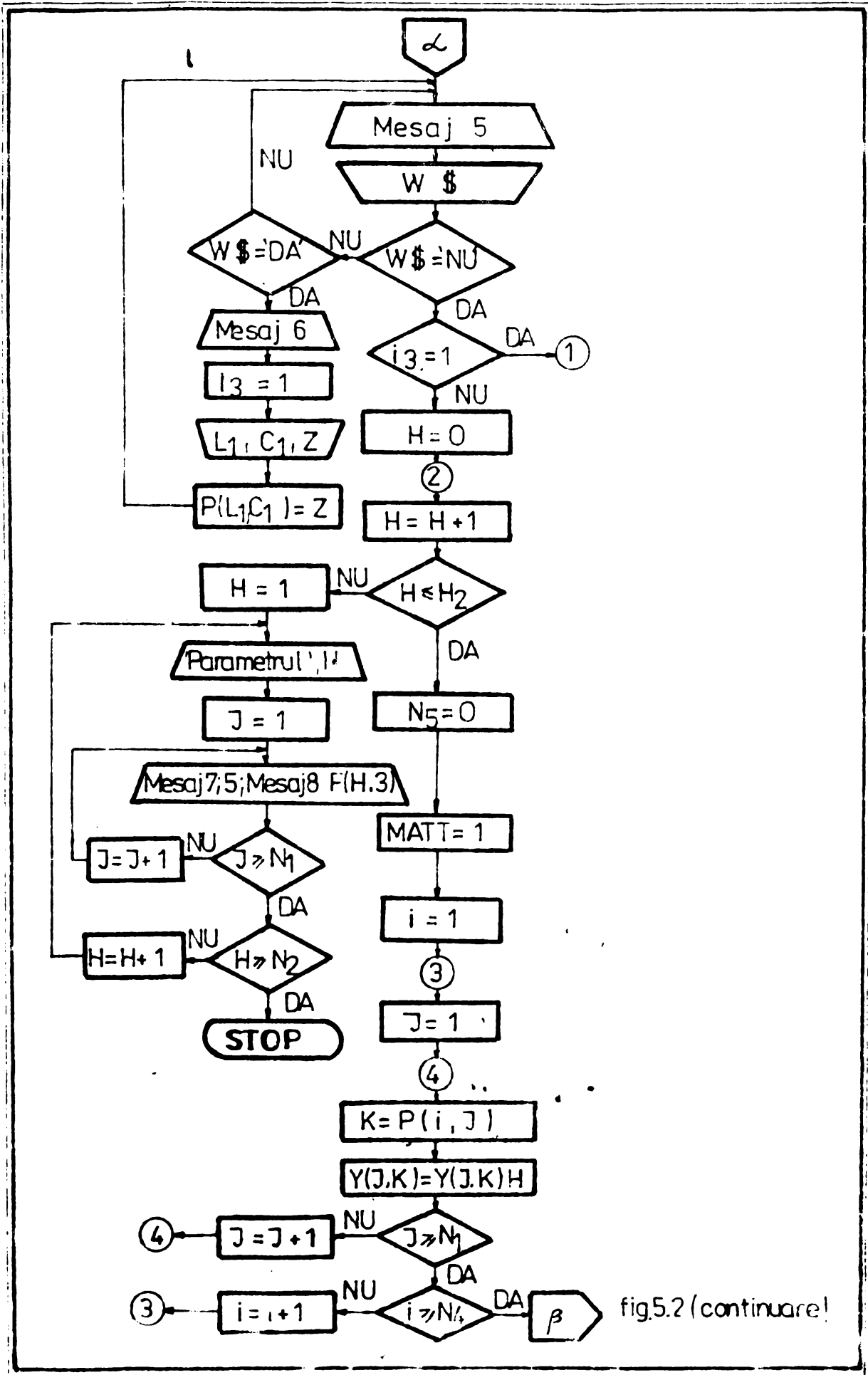


fig.5.2 (continuare!)

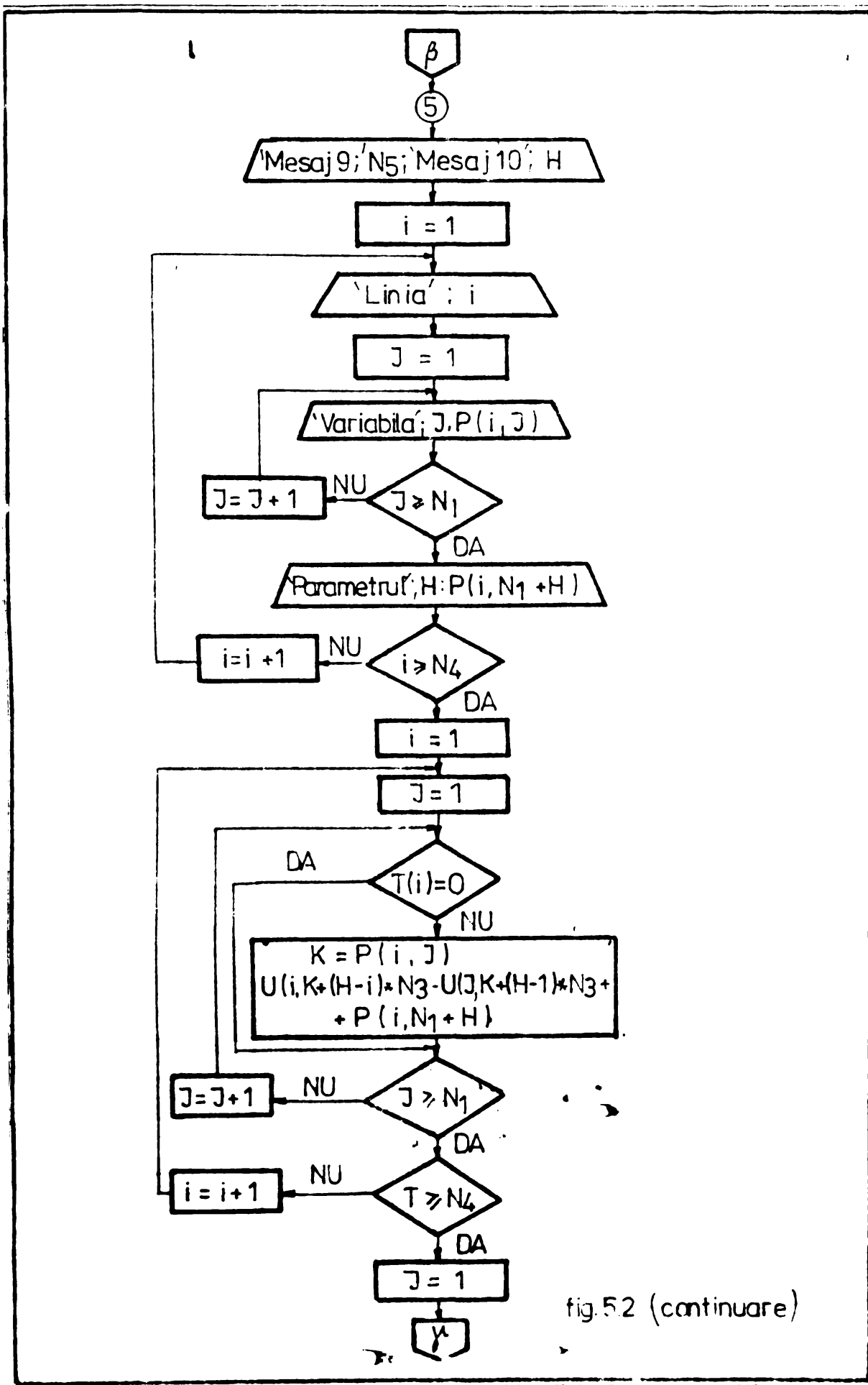


fig.52 (continuare)

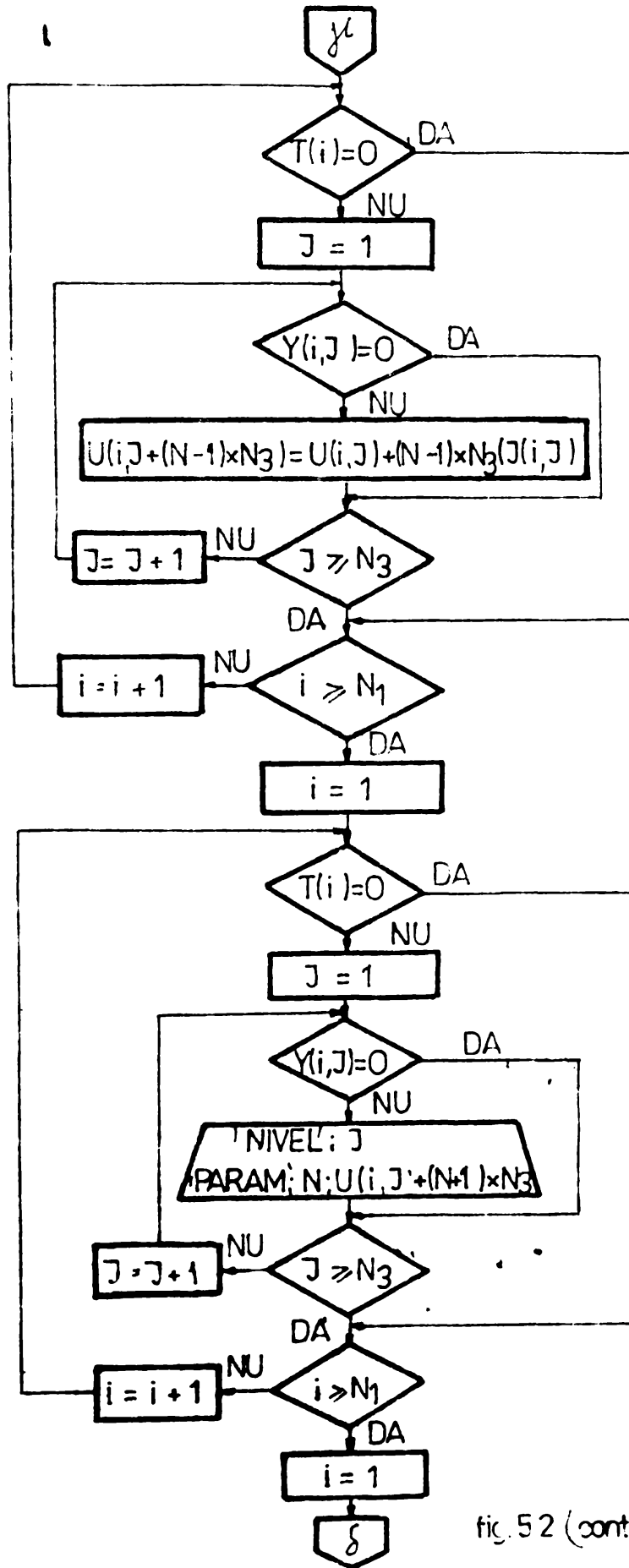


fig. 52 (continuare)

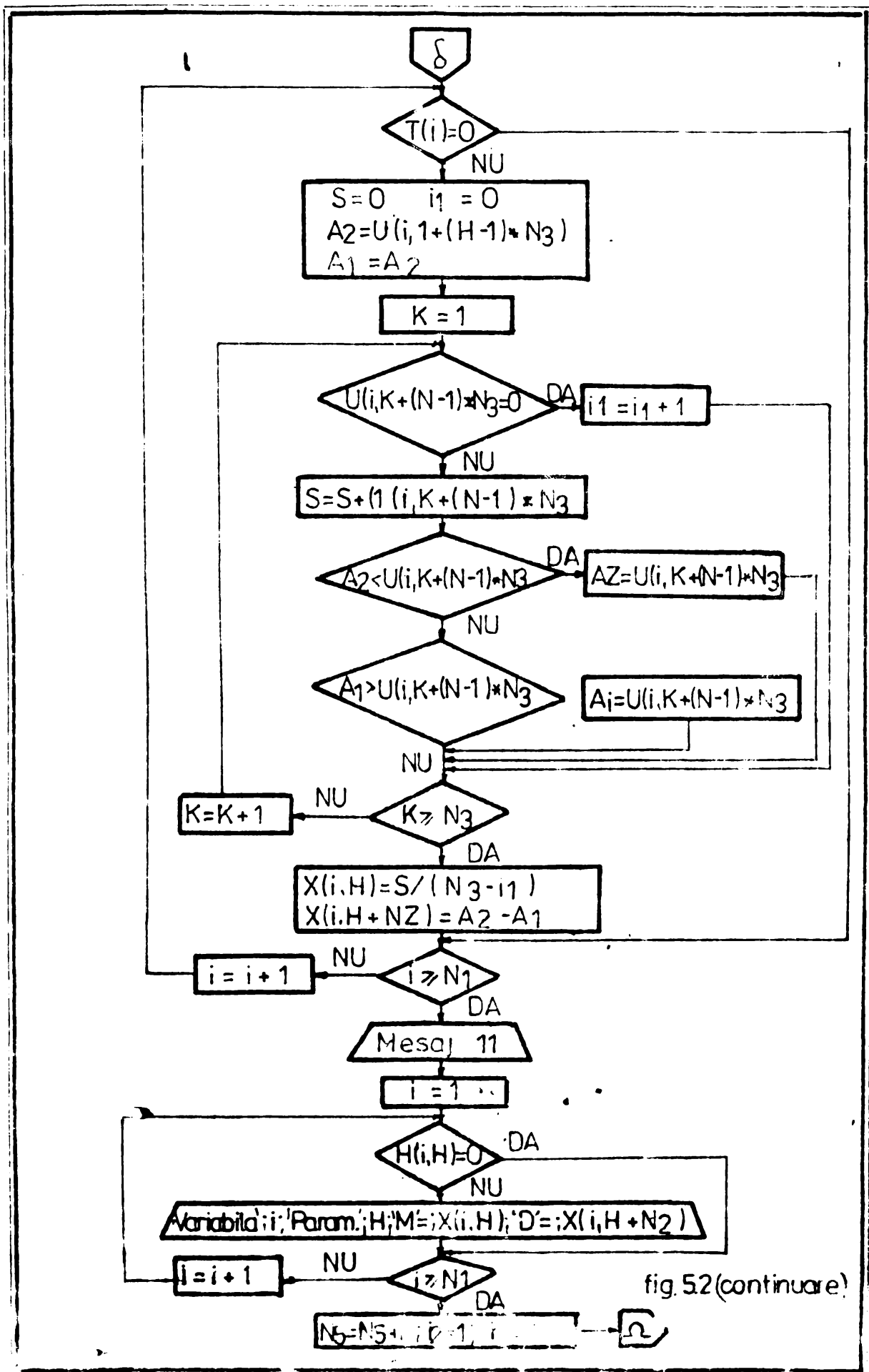


fig. 52 (continuare)

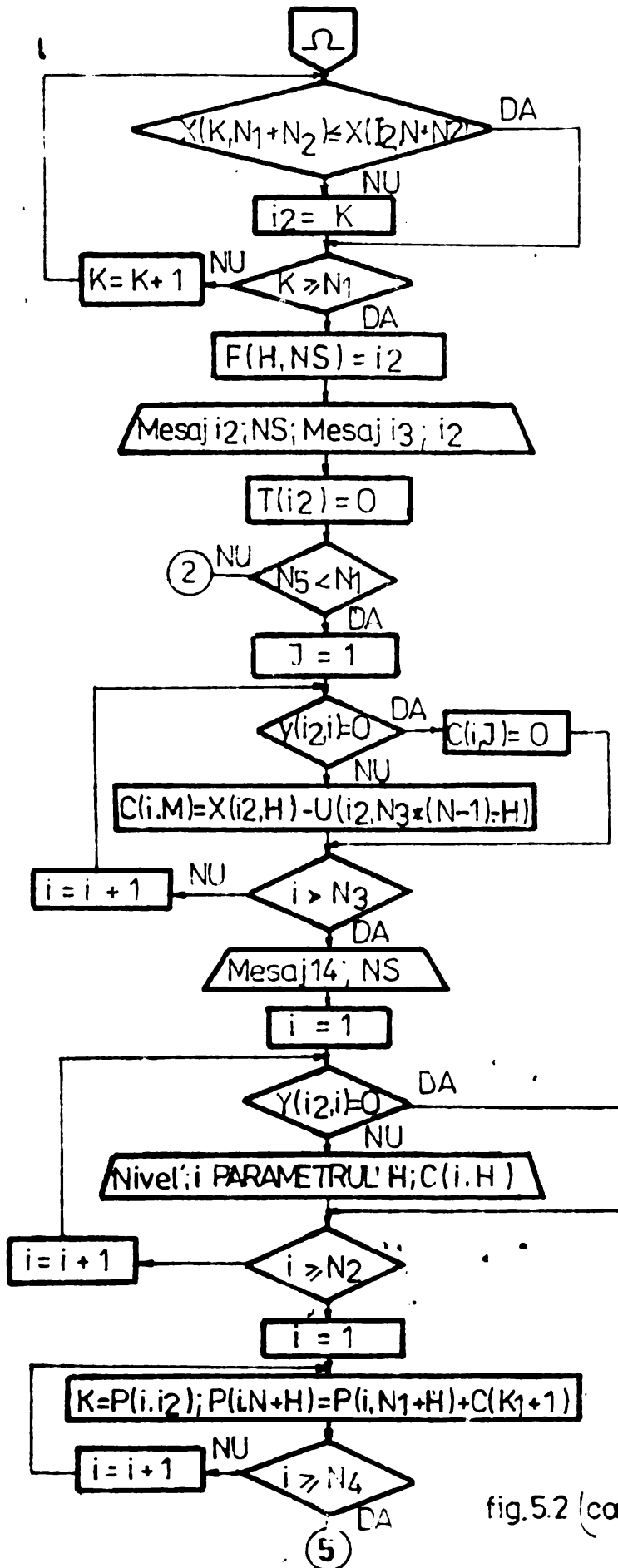


fig.5.2 (continuare)

$$\Delta_{jk} = \bar{x}_{jk_{\max}} - \bar{x}_{jk_{\min}}, \quad (5.12)$$

valoarea maximă a amplitudinii indicînd parametrul cu cea mai mare influență;

- eliminarea influenței parametrului semnificativ, corectîndu-se valorile indicelui tehnologic cu mărimea

$$\Delta_{jk} = \bar{\bar{x}}_j - \bar{x}_{jk}, \quad (5.13)$$

în care:

$$\bar{\bar{x}}_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \bar{x}_{jk}, \quad (5.14)$$

obținîndu-se valorile corectate ale indicelui tehnologic,

$$x_{Ii} = x_i + \Delta_{Ijk} \quad (5.15)$$

Valorile corectate ale indicelui tehnologic se supun prelucrării după același algoritm, obținîndu-se parametrul cu influența de ordinul II ș.a.m.d., pînă la ordonarea tuturor parametrilor.

Deoarece calculul necesare sînt laborioase, a fost întocmit un program în limbaj BASIC, a cărui schemă logică de calcul este dată în fig.5.2, iar datele au fost rulate pe calculatorul AMIC.

Tabelele 5.3 ... 5.7 cuprind rezultatele prelucrării datelor în vederea ordonării influenței parametrilor la degroșare, iar în tabelele 5.8 ... 5.12 sînt prezentate rezultatele, pentru faza de finisare.

Valorile corecțiilor aplicate, după stabilirea fiecărui ordin de influență, sînt prezentate în tabelele 5.13 ... 5.17, pentru degroșare, și în tabelele 5.18 ... 5.21, pentru finisare.

Ordinea de influență a parametrilor asupra indicilor tehnologici analizați este prezentată centralizat în tabelul 5.22, pentru degroșare, și în tabelul 5.23, pentru finisare.

5.2.4. Aprecieri privind rezultatele obținute

Analizînd tabelul 5.22 în care se prezintă ordinea de influență a variabilelor după amplitudinea efectului produs asupra criteriilor de performanță - la faza de degroșare -, se constată că productivitatea prelucrării (Q_p) este influențată, în primul rînd, de energia descărcării. Pentru încercările experimentale

Tabelul 5.3

Regim de degrosare		Ordinul I de influență											
		Qp [mm ³ /min]		QE [mm ³ /min]		εp [%]		Ra [μm]		Qps [mm/min A]			
nr. crt. var.	param. nivel de var.	Qp	Qp	QE	QE	εp	εp	Ra	Ra	Qps	Qps	RQps	RQps
1	P	24.8184	19.9456	7.0880	6.9587	4560.78	7.2552	3.6833	8.7012	0.9831	0.8222	0.3217	
		15.0728		6.8344		1690.25		7.7191	1.9644	0.6613			
2	Ii [A]	5.6993		3.7795		428.28		6.2862		0.5327			
		15.1415	19.9456	5.9190	6.9597	3051.55	7.2552	7.2837	8.7012	0.7626	0.8222	0.6387	
3	t [μs]	38.9960		11.4785		17916.6		12.5337		1.1714			
		8.8946		10.8328		212.73		7.6316		0.4857			
4	t [μs]	21.018		4.9347		189972		8.7533		0.7480			
		30.3189	19.9456	4.6021	6.9597	3804.99	7.2552	8.7549	9.7012	1.2765	0.8222	0.7897	
5	p [bar]	19.5580		7.4651		5487.1		9.6549		0.7777			
		7.5621		9.3235		674.77		8.2466		0.5683			
6	electrod	31.2644		9.8538		2111.5		9.9566		0.9137			
		19.5191	19.9456	6.5699	6.3597	2952.08	7.2552	8.3199	8.7012	0.7905	0.8222	0.4478	
7	p [bar]	21.4367		2.0874		9773.66		8.2816		1.0162			
		21.9544		6.3925		2756.8		9.3249		0.8612			
8	p [bar]	20.9070	19.9456	7.6445	6.9587	16520.3	7.2552	8.6774	8.7012	0.9575	0.8222	0.3095	
		16.9754		6.8390		2099.33		9.1012		0.6479			
9	Cu	11.0637	19.9456	12.9669	6.9597	9519	7.2552	9.3574	8.7012	0.4711	0.8222	0.7022	
		28.8276		0.9505		14154.8		8.0449		1.1733			

Tabelul 5.4

Regim de degrosare		Ordinul II de influență									
nr. crt	param. var.	Qp [mm ³ /min]		Qe [mm ³ /min]		εp [%]		Ra [μm]		Qps [mm ³ /min A]	
		Qp	Qp	Qe	Qe	εp	εp	Ra	Ra	Qps	Qps
1	P	20.0558	19.9456	8.0844	6.9587	4.49148	7125.51	8.7252	8.7012	0.8688	0.8222
		9.8354		5.8330	2.2513	9.75955		8.6772		0.7757	0.0931
2	Ii [A]	12.5		5.2816		2396.05				0.5364	
		25		6.9180	4.3948	5785.72	7125.51			0.7952	0.8222
		50		9.6765		13194.78				1.1350	0.5906
3	tp [μs]	24	12.8703	6.8274		-904.54		8.5056			
		48	22.5855	4.9347	14196.64		8.9195				
		95	30.3180	19.9456	8.6076	3.6729	8089.12	7125.51	8.7649	8.7012	0.4129
		190	14.0086		7.4651		7120.86		8.6137		
4	hi [μs]	95	9.9644	7.3208				6.9554		0.6317	
		190	21.7392	7.9511				8.0404		1.0701	
		420	22.6665	19.9456	6.5699	1.7582			8.6524	8.7012	1.1162
		900	25.4725		6.0929				9.1566		0.8222
5	p [bar]	0.1	19.9456	6.3925		5207.51		8.5793		0.8315	
		0.2	20.3065	19.9456	7.6445	1.2620	14353.12	7125.51	8.5003	8.7012	0.4237
		0.3	16.749		6.8390		1815.92		8.9240		0.5367
6	electrod	Am	8.2889			-1090.38		8.8368	8.7012	0.5027	0.8222
		Cu	31.6023			15341.42		8.5656	8.7012	1.0417	0.4389

Tabelul 5.5

Regim de degrosare		Ordinul III de influență													
		nr. crt	param var.	nivel de var.	Qpl [mm ³ /min]		QE [mm ³ /min]		εp [%]		Ra [μm]		Qps [mm ³ /min A]		
Qp	Op				QOp	QOE	εp	εp	Ra	Ra	Qps	Qps	RQps	RQps	
1	P	+	181130	199456	3.6651	74049	6.9587	0.8924	322.16	7125.52	8006.7	8.6831	0.7906	0.8222	0.0633
		-	217782			6.5124		1128.87				87193	0.8539		
2	i ₁ [A]	125						342.07							
		25						5785.72	712.52	14906.6					
		50						15248.7							
3	tp [μs]	24	20.6415			74538			4572.72			8.6584			
		48	22.5855			50407			14196.6			9.0558			
		95	22.5468	19.9456	8.5769	8.6076	9.3587	3.5068	2611.85	712.52	11584.7	8.5952	0.702	0.5603	
		190	14.0085			6.7325			7130.86			8.4954			
4	ti [μs]	95	13.8497			7.8411							0.5452		
		190	25.6248			6.4922							0.9137	0.8222	0.3158
		420	22.6665	19.9456	11.7750	6.7821	6.9597	1.3463					0.7690		
		900	17.6414			6.7193							0.9610		
5	p [bar]	0.1	231554			6.6527			5207.51			8.5019			
		0.2	203065	19.9456	6.7805	7.5144	6.9587	0.8675	1353.12	712.52	12537.1	8.6398	0.7012	0.4553	0.5367
		0.3	16.3749			6.7089			316.92			8.9579	0.5458		
6	electrod	Am										8.9466	0.5328	0.8222	0.5387
		Cu										8.4558	1.0916		

Tabelul 5.6

Regim de degrosare		Ordinul IV de influență											
nr art	param var.	nivel de var	Qp [mm ³ /min]		QE [mm ³ /min]		εp [%]		Ra [μm]		Qps [mm ³ /min A]		
			\bar{Q}_p	RQp	\bar{Q}_E	ROE	$\bar{\epsilon}_p$	Rεp	\bar{R}_a	RRa	\bar{Q}_{ps}	RQps	
1	P	+	18.5318	2.8276	74290	0.9405	1091.35	120.33	8.7156	0.0287	0.7457	0.1530	
		-	21.3594		64884		13159.68		8.6808		0.8988		
2	Ii [A]	12.5											
		25											
3	tp [μs]	24	19.8734										
		48	21.5300										
		95	22.9704	7.5618			712.51	124.9208					
		190	15.4086										
4	tt [μs]	95			7.7963						0.7350		
		190			7.3238						1.0035		
		420			5.8362	1.3630					0.7690	0.2085	
		900			6.8844						0.7814		
5	p [bar]	0.1	25.2556		6.1157				8.5391		0.8383		
		0.2	19.3085	9.9826	6.3587	712.51	725.372		8.5947	0.306	1.0826	0.5367	
		0.3	15.7228		6.5647				8.9698		0.5458		
6	electrod	Am							8.9361	8.7012			
		Cu							8.4663	0.4697			

• E •

Tabelul 5.7

Regim de degroșare		Ordinul V-VI de influență															
nr. crt.	param. de var.	nivel de var.	Qp [mm ³ /min]			QE [mm ³ /min]			Ep [%]			Ra [μm]			Ops [mm ³ /minA]		
			Qp	Qp	RQp	QE	QE	RQE	Ep	Ep	REp	Ra	Ra	RRa	Ops	Ops	ROps
1	P	+	17.3636	19.9456	5.1640	7.3305	6.9587	0.7436	2.2704	14.805.8	8.7547	8.7912	0.1070	0.6766	0.8222	0.2912	
		-	22.5276			6.5869			14.5289		8.6477			0.9679			
2	ij [A]	12.5															
		25															
		50															
3	tp [μs]	24	18.2056						550.89								
		48	22.5211						13.563.3								
		95	22.6519	19.9456	5.2521				6141.91	725.51	104.674						
		190	16.3997						3195.88								
4	ti [μs]	95				7.8710								0.6862			
		190				6.9775								0.9628			
		420				5.7556		2.1153						0.8177	0.8222	0.2765	
		900				7.2307								0.8222			
5	p [bar]	0.1									8.5391						
		0.2									8.5947	0.7012	0.4305				
		0.3									8.969.8						
6	electrod	Am															
		Cu															

Tabelul 5.8

		Regim de finisare						Ordinul I de influență										
nr. crt	param. variabili	nivel de variabilă	Qp [mm ³ /min]		QE [mm ³ /min]		RQp		QE		RQE		ȳ [%]		Ra [μm]			
			\bar{Q}_p	σ_{Qp}	\bar{Q}_E	σ_{QE}	\bar{R}_{Qp}	\bar{Q}_E	σ_{QE}	\bar{R}_{QE}	\bar{R}_{QE}	\bar{R}_{Qp}	σ_{RQp}	\bar{R}_{Qp}	σ_{RQp}	\bar{R}_a	σ_{Ra}	
1	Polaritate	-	1.2918	1.2137	0.2993	0.2628	0.0730	1.7721	3.1991	3.1974	0.0033							
			1.1355		0.2262						3.1958							
2	ij [A]	3.125	0.4963	1.2137	0.0248	0.2628	0.4350	18.9671	2.2087	3.1974	1.6424							
			1.0677		0.3036						3.5324							
			2.0771		0.4598						3.8512							
3	ti [us]	6	1.2655		0.3233				23.2697	3.5033								
			1.7433		0.3514						3.6883							
			0.8553	1.2137	0.0732	0.2628	0.8881	0.2782	13.8497	2.7116	3.1974	0.9766						
			0.9907		0.3031						2.8866							
4	tp [us]	6	1.0872		0.2911				24.8580	3.3899								
			0.8294		0.1249						2.9116							
			2.0142	1.2137	0.3365	0.2628	1.1848	0.2136	14.9740	3.3533	3.1974	0.4783						
			0.9239		0.2966						3.1349							
5	PI [bar]	0.1	1.4788		0.2767				13.1002	3.3774								
			1.1870	1.2137	0.3253	0.2628	0.5035	0.1391	14.1491	3.3974	3.1974	0.6000						
			0.9752		0.1862						2.8174							
6	Circulația	A	1.1210	1.2137	0.1524	0.2628	0.2207	16.9671	3.1108	3.1974	0.1733							
			1.3663		0.3731						3.2841							

Tabelul 5.9

nr. crt.	param. variabili	Regim de finisare						Ordinul II de influență					
		Qp [mm ³ /min.]		Q _E [mm ³ /min.]		v [%]		Ra [μm-]		Rz [μm-]			
		\bar{Q}_p	\bar{Q}_p	\bar{Q}_E	\bar{Q}_E	\bar{v}	\bar{v}	\bar{R}_a	\bar{R}_a	\bar{R}_z	\bar{R}_z		
1	Rotirea	1.3759	1.2137	0.3123	0.2528	19.3367	18.9671	3.2257	3.1974	0.7390	0.0569		
		1.0514		0.2132	0.0990	18.5976		3.1692					
2	ij [A]												
		3.125											
		6.25											
		12.5											
3	ti [μs]	1.3385	1.2137	0.3329	0.2628	18.3360	18.9671	3.3358	3.1974	11.4777	0.2481		
		1.0481		0.1804		14.8420		3.0877					
		1.2139		0.1922		16.3707		3.2060					
		1.2542		0.3756		26.3198		3.1604					
4	tp [μs]	0.9920	1.2137	0.2446	0.2628	20.9573	18.9671	3.1693	3.1974	13.9409	0.1652		
		1.0929		0.1974		15.7178		3.1854					
		1.8460		0.3125		12.6262		3.3002					
		0.9239		0.2966		26.5672		3.1349					
5	P [bar]	1.3891	1.2137	0.2470	0.2628	11.4081	18.9671	3.2539	3.1974	11.9984	0.2014		
		0.8998		0.2412		23.4065		3.0685					
		1.3522		0.3001		22.0857		3.2699					
6	Orucita	1.1686	1.2137	0.1755	0.2628	13.4367	18.9671	3.2211	3.1974	10.9608	0.0472		
		1.2587		0.3499		24.4476		3.1738					

Tabelul 5.10 •

		Regim de finisare						Ordinul III de influență						
nr. crt.	param. variabilă	nivel de variație	Qp [mm ³ /min]			QE [mm ³ /min]			Y [%]			Ra [μm]		
			\bar{Q}_p	\bar{Q}_p	RQp	\bar{Q}_E	\bar{Q}_E	RQE	\bar{Y}	\bar{Y}	RY	\bar{R}_a	\bar{R}_a	RRa
1	Polaritate	+ -	1,2223 1,2051	1,2137	0,0171	0,3184 0,2572	0,2628	0,4112	18,9671	21,6601 16,2741	5,3860	3,2111 3,1838	3,1974	0,0272
2	i _j [A]	3,125 6,25 12,5												
3	t _j [s]	6 12 24 48	1,2701 0,9797 1,1568 1,4482	1,2137	0,4684				18,9671	19,0611 15,5672 16,1609 25,0794	9,5122			
4	t _p [μs]	6 8 12 24				0,2516 0,1598 0,3501 0,2896	0,2628	0,1902				3,1646 3,1977 3,2878 3,1397	3,1974	0,1480
5	P [bar]	0,1 0,2 0,3	1,3891 1,0235 1,2284	1,2137	0,3655	0,2551 0,2551 0,2742	0,2628	0,0181	18,9671	11,4081 20,9627 24,5306	13,1224	3,2319 3,1144 3,2461	3,1974	0,1317
6	Circulație	I A	1,2455 1,1819	1,2137	0,0635	0,1839 0,3416	0,2628	0,1577	18,9671	12,3249 25,6093	13,2843	3,2220 3,1728	3,1974	0,0492

Tabelul 5.11

		Regim de finisare						Ordinul IV de influență					
nr crt.	param. variabili	nivel de variabil.	Qp [mm ³ /min]		QE [mm ³ /min]		Y [%]		Ra [μm]		R _Y	R _{Ra}	
			\bar{Q}_p	\bar{Q}_p	\bar{Q}_E	\bar{Q}_E	\bar{Y}	\bar{Y}	\bar{R}_a	\bar{R}_a			
1	Polaritate	+	1,2371	1,2137	0,3083	0,2628	10,4461	18,9671	3,1864	3,1974	0,9579	0,0221	
			1,1903		0,2177	0,0910	18,4882		3,2085				
2	i _j [A]	3125											
3	t _i [μs]	6											
4	t _p [μs]	8											
5	P [bar]	0.2	1,4114	1,2137	0,2561	0,2628	9,7475	18,9671	3,2319	3,1974	16,4435	0,0959	
			1,0820		0,2608	0,0152	20,9627		3,1360				
			1,1477		0,2714		26,1911		3,2244				
6	Circulație	A	1,2402	1,2137	0,1869	0,2529			3,2344	3,1974		0,0738	
			1,1872		0,3366	0,1476			3,1605				

Tabelul 5.13

Q _p (degroşare)				
Corectia	Variabila	Nivelul		Valoarea corectiei
I	i _i [A]	12,5	1	14,2463
		25	2	4,8041
		50	3	-19,0504
II	Electrod	Am	1	11,6567
		Cu	2	-11,6567
III	t _i [µs]	95	1	6,0958
		190	2	-5,6791
		420	3	-2,7209
		900	4	2,3042
IV	Presiunea [bar]	0,1	1	-5,3098
		0,2	2	0,6370
		0,3	3	4,6728
V	t _p [µs]	24	1	1,7359
		48	2	-2,5755
		95	3	-2,7063
		190	4	3,5458

Tabelul 5.14

Q _E [DEGROŞARE]				
Corectia	Variabila	Nivelul		Valoarea corectiei
I	Electrod	Am	1	-6,0081
		Cu	2	+6,0081
II	i _i [A]	12,5	1	1,6771
		25	2	1,0406
		50	3	-2,7177
III	t _p [µs]	24	1	-0,4951
		48	2	1,9179
		95	3	-1,6489
		190	4	0,2260
IV	p [bar]	0,1	1	0,8420
		0,2	2	-1,2359
		0,3	3	0,3939
V	t _i [µs]	95	1	-0,9122
		190	2	-0,0168
		420	3	1,2031
		900	4	-0,2720

Tabelul 5.15

ϵ_D [Degrosare]				
Corectia	Variabila	Nivelul		Valoarea corectiei
I	t_i [μs]	95	1	6450,7
		190	2	-13986,03
		420	3	4183,43
		90	4	3351,85
II	Electrod	Am	1	8215,9
		Cu	2	- 8215,9
III	i_j [A]	12,5	1	6783,44
		25	2	1339,79
		50	3	- 8123,24
IV	P [bar]	0,1	1	1583,05
		0,2	2	- 7061,12
		0,3	3	5472,07
V	Polaritatea	+	1	7403,43
		-	2	- 7403,43

Tabelul 5.16

R_a [Degrosare]				
Corectia	Variabila	Nivelul		Valoarea corectiei
I	i_j [A]	12,5	1	2,4149
		25	2	1,4174
		50	3	-3,8324
II	t_i [μs]	95	1	-0,2541
		190	2	0,6608
		420	3	0,0487
		900	4	-0,4554
III	t_p [μs]	24	1	0,0427
		48	2	-0,3545
		95	3	0,1060
		190	4	0,2057
IV	Electrod	Am	1	-0,2348
		Cu	2	0,2348
V	Presiunea [bar]	0,1	1	0,1620
		0,2	2	0,1065
		0,3	3	-0,2685

Tabelul 5.17

		Q _{ps} [Degrosare]		
Corectia	Varicbila	Nivelul	Valoarea corectiei	
I	t _p [μs]	24	1	0,3355
		48	2	0,0741
		95	3	-0,4542
		190	4	0,0445
II	I _j [A]	12,5	1	0,2858
		25	2	0,0269
		50	3	-0,3128
III	Electrod	Am	1	0,2693
		Cu	2	-0,2693
IV	P [bar]	0,1	1	-0,0160
		0,2	2	-0,2603
		0,3	3	0,2763
V	Polaritatea	+	1	0,1456
		-	2	-0,1456

Tabelul 5.22

REGIM DE DEGROSARE

Criteriul de performanță	Ordinea de influență a variabilelor					
	I	II	III	IV	V	VI
Q _p [mm ³ /min]	I _j	OT	t _j	P	t _p	Pol. E
Q _E [mm ³ /min]	OT	I _j	t _p	P	t _j	Pol. E
ε _p [%]	t _j	OT	I _j	P	Pol. E	t _p
R _a [μm]	I _j	t _j	t _p	OT	P	Pol. E
Q _{ps} [mm ³ /min]	t _p	I _j	OT	P	Pol. E	t _j

Tabelul 5.23

REGIM DE FINISARE

Criteriul de performanță	Ordinea de influență a variabilelor					
	I	II	III	IV	V	VI
Q _p [mm ³ /min]	I _j	t _p	t _j	P	Cir.	Pol. E
Q _E [mm ³ /min]	I _j	t _j	t _p	Cir.	P	Pol. E
Y [%]	I _j	t _p	Cir.	P	t _j	Pol. E
R _a [μm]	I _j	t _j	t _p	P	Cir.	Pol. E

Tabelul 5.18

Q _p (finisare)				
Corectia	Variabila	Nivelul		Valoarea corectiei
I	i _j [A]	3.125	1	0.7173
		6.25	2	0.1460
		12.5	3	-0.8633
II	t _p [μs]	4	1	0.2217
		12	2	0.1208
		24	3	-0.6322
		48	4	0.2897
III	t _i [μs]	6	1	-0.0564
		8	2	0.2339
		12	3	0.0569
		24	4	-0.2344
IV	P [bar]	0.1	1	-0.1976
		0.2	2	0.1317
		0.3	3	0.0659
V	Circulația	I	1	-0.0484
		A	2	+0.0484
VI	Polaritatea	+	1	
		-	2	

Q_E (finisare)

Tabelul 5.19

Corectia	Variabila	Nivelul		Valoarea corectiei
I	i _j [A]	3.125	1	0.2379
		6.25	2	-0.0408
		12.5	3	-0.1970
II	t _i [μs]	6	1	-0.0401
		8	2	0.0823
		12	3	0.0705
		24	4	-0.1128
III	t _p [μs]	6	1	0.0111
		12	2	0.1029
		24	3	-0.0873
		48	4	-0.0263
IV	Circulația	I	1	0.0738
		A	2	-0.0738
V	P [bar]	0.1	1	0.0251
		0.2	2	0.0019
		0.3	3	-0.0270
VI	Polaritatea	+	1	
		-	2	

Tabelul 5.20

γ^c (finisare)				
Corectia	Variabila	Nivelul		Valoarea corectiei
I	i_j [A]	3.125	1	13.5365
		6.25	2	-9.8674
		12.5	3	-3.6690
II	t_p [μ s]	6	1	-1.9902
		12	2	3.2493
		24	3	6.3409
		48	4	-7.6000
III	Circuletia	J	1	6.6421
		A	2	-6.6421
IV	P [bar]	0.1	1	9.2195
		0.2	2	-1.9955
		0.3	3	-7.2240
V	t_i [μ s]	6	1	0.2509
		8	2	3.8712
		12	3	-0.7504
		24	4	-3.3715
VI	Polaritatea		1	
			2	

Ra (finisare)

Tabelul 5.21

Corectia	Variabila	Nivelul		Valoarea corectiei
I	i_j [A]	3.125	1	0.9887
		6.25	2	-0.3350
		12.5	3	-0.6537
II	t_i [μ s]	6	1	-0.1383
		8	2	0.1097
		12	3	-0.0085
		24	4	0.0370
III	t_p [μ s]	6	1	0.0328
		12	2	-0.0002
		24	3	-0.0903
		48	4	0.0577
IV	P [bar]	0.1	1	-0.0344
		0.2	2	0.0614
		0.3	3	-0.0270
V	Circuletia	J	1	-0.0375
		A	2	+0.0375

prezentate, productivitatea maximă se obține când se lucrează cu treapta cea mai mare de curent $i_1 = 50$ A.

În continuare, în ordinea influenței exercitate asupra productivității, urmează obiectul de transfer și timpul de impuls, t_i . Productivitatea maximă se obține când se lucrează cu un timp de impuls, $t_i = 190$ μ s, iar ca obiect de transfer se folosește cuprul electrolitic.

O importanță mai mică îi revine presiunii, p , timpului de pauză, t_p și polarității. S-a obținut productivitate maximă, lucrînd cu o presiune, $p = 0,2$ bar, timp de pauză cît mai mic, $t_p = 48$ μ s și polaritate negativă.

Dacă se analizează debitul uzurii (Q_B), se remarcă unele inversiuni în ceea ce privește ordinea de influență și mărimea nivelelor variabilelor independente. Astfel, cel mai important parametru este obiectul de transfer și se asigură uzura minimă dacă se lucrează cu cupru. Variabila cu ordinul doi de influență este impulsul de curent; i_1 , iar apoi, timpul de pauză, t_p . Uzura minimă s-a obținut lucrînd cu un curent, $i_1 = 50$ A și un timp de pauză, $t_p = 48$ μ s.

În continuarea ordinei de influență urmează presiunea, p , timpul de impuls, t_p , iar influența cea mai mică o are polaritatea.

Analizînd coeficientul de prelucrabilitate relativă volumică (ϵ_p), se remarcă influența hotărîtoare a timpului de impuls, t_i , iar apoi a obiectului de transfer și a impulsului de curent, i_1 . Influențe mai mici au presiunea, p , polaritatea și timpul de pauză, t_p .

Rugozitatea suprafeței (R_a), este influențată în primul rînd de impulsul de curent, i_1 , iar apoi de timpul de impuls, t_i și timpul de pauză, t_p . Valoarea maximă a rugozității s-a obținut pentru un curent, $i_1 = 50$ A, timp de impuls, $t_i = 420$ μ s și timp de pauză, $t_p = 95$ μ s. Obiectul de transfer, OT, presiunea, p și polaritatea au influențe mai mici.

Productivitatea specifică (Q_{ps}) este influențată în primul rînd de timpul de pauză, t_p , impulsul de curent, i_1 , și obiectul de transfer OT. Valoarea maximă a fost obținută lucrînd cu un timp de pauză, $t_p = 95$ μ s, impuls de curent, $i_1 = 25$ A, iar ca OT s-a folosit cuprul. Presiunea, p , polaritatea și timpul de impuls, t_i , au influențe mai mici.

În cazul regimului de finisare, productivitatea prelu-

crării este influențată în principal de aceleași variabile ca la degroșare. Valoarea maximă a productivității s-a obținut cu treapta de curent, cea mai mare pentru această fază, $i_1 = 12,5$ A, timp de impuls, $t_i = 24$ μ s, timp de pauză, $t_p = 6$ μ s, presiunea, $p = 0,1$ bar și polaritate pozitivă.

În cazul debitului uzurii (Q_E) se remarcă o mică schimbare în privința ordinii de influență a variabilelor. Si la acest criteriu de performanță, influența hotărâtoare o are impulsul de curent, i_1 , urmat de timpul de impuls, t_i și timpul de pauză, t_p . Experimental s-a găsit că uzura minimă se obține dacă impulsul de curent, $i_1 = 3,125$ A, timpul de pauză $t_p = 6$ μ s, timpul de impuls $t_i = 24$ μ s, presiunea, $p = 0,3$ bar și circulația dielectricului prin absorbție.

Analizînd coeficientul de uzură relativă volumică (\mathcal{Z}), se observă că valoarea lui este minimă pentru aceiași parametri ca în cazul debitului uzurii (Q_E).

Rugozitatea suprafeței (R_a) este influențată de energia de impuls i_1 , timpul de impuls, t_i și timpul de pauză, t_p . Presiunea p , sistemul de circulație a dielectricului și polaritatea au o influență mai mică.

Rugozități mici se pot obține lucrînd cu: intensități de curent, $i_1 = 3,125$ A, timp de pauză, $t_p = 12$ μ s, timp de impuls, $t_i = 48$ μ s, presiunea, $p = 0,1$ bar și circulația lichidului dielectric prin absorbție.

Analizînd rezultatele obținute, se pot face aprecieri și recomandări cu privire la prelucrarea prin eroziune electrică a oțelului termostabil V Cr W 85.

Productivitatea prelucrării este influențată atît la degroșare, cît și la finisare de energia descărcării, timpul de pauză și timpul de impuls. Deci pentru degroșare se va lucra cu curenți de descărcare mari, durate lungi pentru impuls și electrodul legat la anod, iar la finisare, curenți de descărcare mici, durate scurte pentru impuls și electrodul legat la catod.

S-a constatat că la prelucrarea oțelurilor termostabile cu electrozi din cupru, uzura relativă scade edată cu creșterea duratei impulsului (t_i). Această constatare se explică prin conductivitatea termică ridicată, a cuprului, care la durate mai lungi de impuls permite disiparea mai bună a energiei transmise electrodului și deci o uzură mai redusă a acestuia [258]

Pe baza rezultatelor obținute prin aplicarea metodei bilanțului aleatoriu s-a adăugat o contribuție importantă - teoretică și practică - la stabilirea unei ierarhizări a influenței factorilor și parametrilor de intrare reglabili, care determină mărimile de ieșire ale sistemului, prin valorile caracteristicilor tehnologice, pentru optimizarea tehnologiei de prelucrare a oțelului termostabil V Cr W 85 [122, 129, 130, 136, 143, 148, 149].

Din rezultatele obținute se pot selecta numai variabilele cu ponderea cea mai mare asupra criteriilor de performanță analizate, pentru elaborarea unui model matematic al procesului de prelucrare prin eroziune electrică folosit la prelucrarea oțelurilor termostabile, întâlnite frecvent în tehnologia matrițelor de turnat sub presiune.

C A P I T O L U I 6

MODELAREA MATEMATICA A PROCESULUI TEHNOLOGIC DE PRELUCRARE DIMENSIONALA PRIN EROZIUNE ELECTRICA A MATRITELOR DE TURNAT SUB PRESIUNE

6.1. Modelarea matematică a procesului de prelucrare

Modelarea a devenit o fază foarte importantă a cercetării, folosită ca mijloc de investigare a procesului de prelucrare. Prin model se înțelege un sistem teoretic cu care se pot studia indirect proprietățile și transformările unui alt sistem complex, cu care modelul are o anumită analogie [4, 12, 13].

Modelul folosit în cercetare înlocuiește un model real, care se poate obține numai prin efectuarea unui număr infinit de experimentări. Metoda de interferență statistică limitează experiențele numai la o selecție din întreaga populație [14, 17, 32, 80, 150, 151, 152, 153, 184, 188, 207, 222, 247].

Modelarea se poate aplica cu succes și la eroziunea electrică care este un proces complex, format dintr-un număr mare de factori și parametri legați între ei prin relații de interdependență care reflectă transformările tehnologice [4, 230].

La modelarea unui proces este necesar să se rezolve problemele:

- să se găsească o funcție matematică, pe baza analizei de regresie, care să determine forma legăturii;
- să se caracterizeze prin analiza de corelație în ce măsură funcția matematică găsită, numită model matematic al procesului, a reușit să descrie comportarea sistemului.

6.2. Programarea experiențelor

Pentru a arăta efectul influenței parametrilor procesului de eroziune electrică asupra caracteristicilor tehnologice, trebuie găsit un sistem de programare a experiențelor, care să dea un volum de informații cât mai mare.

Din aceste motive se adoptă un sistem de experimentare programat statistic, la care valorile mai multor factori independenți au fost variate simultan, iar efectele fiecărui factor, cât și cele ale interacțiunilor lor, au fost determinate separat.

6.2.1. Experimentul factorial

Experimentul factorial se caracterizează printr-un program, care cuprinde numai experiențele strict necesare pentru obținerea informațiilor necesare privind procesul de prelucrare studiat [4, 12, 13, 28, 39, 75, 126, 150, 203].

Experimentul factorial permite estimarea efectelor parametrilor și interacțiunea dintre ei, determinându-se ecuații polinomiale, ale căror coeficienți pot fi stabiliți prin analiza de regresie. Funcția determinată reprezintă o suprafață sau o hipersuprafață de regresie, în raport cu numărul parametrilor variabili luați în considerare.

Experimentele factoriale cele mai utilizate sînt de tip 2^n , unde n este numărul variabilelor independente luate în considerare -, acestea necesitînd cel mai mic număr de experiențe.

Reținînd din cei 6 parametri variabili numai primii 3 parametri, în ordinea influenței pe care o exercită, rezultă un experiment factorial $2^3 = 8$, al cărui aranjament este prezentat în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1

Parametri variabili			Combinatia		
X ₁	X ₂	X ₃			
11	X ₂₁	X ₃₁ X ₃₂	X ₁₁ X ₁₁	X ₂₁ X ₂₁	X ₃₁ X ₃₂
	X ₂₂	X ₃₁ X ₃₂	X ₁₁ X ₁₁	X ₂₁ X ₂₂	X ₃₁ X ₃₂
12	X ₂₁	X ₃₁ X ₃₂	X ₁₂ X ₁₂	X ₂₁ X ₂₁	X ₃₁ X ₃₂
	X ₂₂	X ₃₁ X ₃₂	X ₁₂ X ₁₂	X ₂₂ X ₂₂	X ₃₁ X ₃₂

Nivelele de variație considerate pentru variabilele independente sînt prezentate în tabelul 6.2.

Fiecare experiență s-a repetat de un număr $n = 6$ ori.

Valorile naturale ale variabilelor se transformă în valori codificate, considerîndu-se pentru nivelul superior valoarea (+1), iar pentru nivelul inferior valoarea (-1). Valoarea codificată s-a definit conform relației:

Tabelul 6.2

Nivelele variabilelor	Simbol	Valori			Valoarea codificată
		X ₁	X ₂	X ₃	
Nivelul superior	X _{i1}	X ₁₁	X ₂₁	X ₃₁	+ 1
Nivel de bază	X _{i0}	X ₁₀	X ₂₀	X ₃₀	0
Nivel inferior	X _{i2}	X ₁₂	X ₂₂	X ₃₂	- 1
Interval de variație	Δ _{x_i}	Δ _{x₁}	Δ _{x₂}	Δ _{x₃}	-

$$x_1 = \frac{x_{1j} - x_{10}}{\Delta x_1} \quad (6.1)$$

în care:

- x_{1j} - valoarea reală a variabilei;
- x₁₀ - valoarea reală a variabilei la nivelul de bază;
- Δx₁ - intervalul de variație al variabilei reale.

Pentru a putea calcula media funcțiilor de răspuns a fost introdusă valoarea fictivă x₀. Matricea de experimentare are forma generală:

$$X = \begin{pmatrix} x_{01} & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ x_{02} & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{0n} & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{pmatrix} \quad (6.2)$$

În tabelul 6.3 se prezintă matricea completă de planificare a experimentelor pentru experimentul factorial 2³ = 8 încercări, introducând variabilele la valoarea codificată și considerând interacțiunile ce pot să apară.

În tabelele 6.4 ... 6.8 se prezintă matricea de programare a experimentului factorial cu valorile indicilor tehnologici urmăriți, în faza de degrosare, iar în tabelele 6.9 ... 6.12, pentru faza de fin sare.

Tabelul 6.3

nr. exp.	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

6.2.2. Testarea datelor experimentale

Se determină valorile medii ale funcțiilor de răspuns (caracteristicilor tehnologice) Pentru fiecare experiment cu relația:

$$\bar{Y}_e = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n Y_{er} \quad (6.3)$$

în care:

r = 1 ... n numărul de repetări ale fiecărui experiment;

e = 1 ... N numărul de experiențe;

Y_{er} - rezultatul replicii r din experimentul e.

Acceptând aprioric o repartiție normală a rezultatelor, s-au calculat dispersiile funcțiilor de răspuns cu relația:

$$S_{ye}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{r=1}^n (Y_{er} - \bar{Y}_e)^2 \quad (6.4)$$

Omogenitatea dispersiilor se verifică cu ajutorul criteriului Cochran:

$$G_e = \frac{(S_{ye})^2_{\max}}{\sum_{e=1}^N S_{ye}^2} \quad (6.6)$$

Tabelul 6.4

Matricea de programare a experimentului factorial 2^3 DEGROȘARE

Parametrii variabili			Indice tehnologic					
i [A]	p [bar]	t _i [μs]	Productivitatea prelucrării, Q _p [mm ³ /min]					
25	0.1	95	25.7128	25.6987	25.7102	26.9974	26.9346	26.4089
50	0.1	95	40.0076	41.2833	41.2833	41.1525	41.2992	41.2910
25	0.3	95	24.7564	24.6538	24.7564	24.7307	25.0128	25.4743
50	0.3	95	27.4935	27.4358	27.4807	27.5102	27.4358	26.2820
25	0.1	900	31.6179	31.5782	31.6179	31.6141	31.4474	31.6474
50	0.1	900	62.0743	62.0561	62.0499	62.0525	61.4346	62.2897
25	0.3	900	26.7307	26.6025	26.6538	26.6538	26.7179	26.9833
50	0.3	900	23.3153	23.3115	23.4999	23.2807	23.3128	23.8846

Tabelul 6.5

Matricea de programare a experimentului factorial 2^3
DEGROȘARE

Parametri variabili		Indice tehnologic							
i [A]	p [bar]	t _i [us]	Debitul uzurii, Q _E [mm ³ /min.]						
25	0.1	95	3.5942	3.5988	3.6300	3.6416	3.5884	3.5930	
50	0.1	95	2.6416	2.6346	2.6439	2.6369	2.6427	2.6439	
25	0.3	95	3.3722	3.4531	3.4508	3.3687	3.3699	3.3722	
50	0.3	95	5.1791	5.2254	5.1768	5.1618	5.1780	5.1826	
25	0.1	900	3.2578	3.2335	3.2473	3.2578	3.3225	3.2578	
50	0.1	900	1.6011	1.6017	1.7618	1.6312	1.6289	1.6346	
25	0.3	900	3.8670	3.8705	3.8693	3.8485	3.8670	3.8739	
50	0.3	900	3.1063	3.0739	3.0046	3.0087	3.0739	3.0682	

Tabelul 6.6

Matricea de programare a experimentului factorial 2^3 DEGROȘARE

Parametri variabili		Indice tehnologic							
i [A]	p [bar]	t _j [μs]	Coeficientul de prelucrabilitate relativă volumică, ξ_p [%]						
25	0.1	95	715.397	714.090	708.269	741.360	750.604	735.009	
50	0.1	95	1514.52	1567.15	1561.45	1560.63	1562.76	1561.74	
25	0.3	95	734.132	713.961	717.410	734.131	742.241	755.420	
50	0.3	95	530.854	525.046	530.843	532.957	529.853	507.119	
25	0.1	900	970.529	976.595	973.967	970.412	946.498	971.934	
50	0.1	900	3876.97	3874.38	3521.96	3804.10	3771.53	3810.70	
25	0.3	900	691.251	687.314	688.853	692.576	692.500	696.540	
50	0.3	900	750.581	758.368	782.130	773.779	758.411	778.456	

Tabelul 6.7

Matrița de programare a experimentului factorial 2^3
DEGROȘARE

Parametri variabili		Indicele tehnologic								
i [A]	p [bar]	t _i [μs]	Rugozitatea suprafeței prelucrate, R _a [μm]							
25	0.1	95	7.42	7.50	7.60	8.10	7.30	7.40		
50	0.1	95	10.32	10.40	12.50	11.40	10.50	11.30		
25	0.3	95	8.45	8.60	8.25	8.40	8.70	8.20		
50	0.3	95	19.36	19.40	19.25	18.40	18.75	18.60		
25	0.1	900	8.63	8.20	8.10	8.50	8.30	8.15		
50	0.1	900	16.40	15.30	15.25	16.10	16.35	15.32		
25	0.3	900	8.26	8.15	8.20	8.35	8.40	8.30		
50	0.3	900	20.15	20.25	19.60	19.45	20.20	19.75		

INSTITUTUL POLITEHNIC
 TIMIȘOARA
 FACULTATEA CENTRALĂ

Matricea de programare a experimentului factorial 2³
DEGROȘARE

Parametri variabili		Indicele tehnologic								
i [A]	p [bar]	t _i [μs]	Productivitatea specifică, Q _{sp} [mm ³ /min A]							
25	0.1	95	2.3375	2.3362	2.3372	2.4543	2.4486	2.4008		
50	0.1	95	1.8185	1.8765	1.8765	1.8705	1.8772	1.8768		
25	0.3	95	2.0630	2.0544	2.0630	2.0608	2.0844	2.1228		
50	0.3	95	1.0937	1.0974	1.0992	1.1004	1.0974	1.0512		
25	0.1	900	2.4321	2.4290	2.4321	2.4318	2.4190	2.4391		
50	0.1	900	2.2169	2.2162	2.2160	2.2161	2.1940	2.2246		
25	0.3	900	2.6730	2.6602	2.6653	2.6653	2.6717	2.6983		
50	0.3	900	1.1657	1.1655	1.1749	1.1640	1.1656	1.1652		

Tabelul 6.9

Matricea de programare a experimentului factorial 2^3 FINISARE

Parametri variabili		Indicele tehnologic						
i [A]	Circula- ția [μs]	Productivitatea prelucrării, Q_p [mm ³ /min]						
3.125	I	6	0.8769	0.7974	0.8346	0.8179	0.8589	0.8192
12.5	I	6	1.6076	1.6076	1.6358	1.5820	1.5525	1.5628
3.125	A	6	0.7256	0.6974	0.7551	0.6974	0.6551	0.6615
12.5	A	6	1.9435	1.9576	1.9858	1.9435	2.0397	1.9743
3.125	I	.48	0.6025	0.6282	0.5128	0.5641	0.5256	0.6282
12.5	I	48	3.3435	3.3576	3.3910	3.3435	3.3730	3.4525
3.125	A	48	1.0269	1.0269	1.1435	1.1089	1.2153	1.0525
12.5	A	48	5.7012	5.6910	5.6551	5.7012	5.6807	5.7512

Matricea de programare a experimentului factorial 2³ FINISARE

Parametri variabili		Indicele tehnologic						
i [A]	Circulația ti [μs]	Debitul uzurii, Q _E [mm ³ /min]						
3.125	I	6	0.1236	0.1410	0.1564	0.1156	0.1319	0.1179
12.5	I	6	1.0924	1.1421	1.0982	1.0786	1.0924	1.1456
3.125	A	6	0.1005	0.0840	0.0727	0.0854	0.0820	0.0793
12.5	A	6	1.0115	1.0011	1.0115	0.9872	1.0393	0.9875
3.125	I	48	0.1052	0.0924	0.1144	0.1041	0.0924	0.0786
12.5	I	48	0.9387	0.9838	0.9976	0.9260	0.9248	0.9248
3.125	A	48	0.1861	0.1664	0.1791	0.1756	0.1700	0.1621
12.5	A	48	1.5754	1.5815	1.5653	1.5283	1.5791	1.5167

Matricea de programare a experimentului factorial 2³ FINISARE

Parametri variabili		Indicele tehnologic						
i [A]	Circula- tia ti [μs]	Coeficient de uzură relativă volumică, Y [%]						
3.125	I	6	14.0951	17.6824	18.7395	14.1337	15.3568	14.3920
12.5	I	6	67.9522	71.0437	67.1353	68.1795	70.3639	73.3043
3.125	A	6	13.8506	12.0447	9.3278	12.2454	12.5171	11.9879
12.5	A	6	52.0452	51.1391	50.9366	50.7949	50.9535	50.0177
3.125	I	48	17.4605	14.7086	20.3088	18.4541	17.5799	14.5159
12.5	I	48	28.0753	29.3006	29.4190	27.6955	27.4177	26.7863
3.125	A	48	18.1225	16.2041	15.6624	15.8355	13.5424	15.4014
12.5	A	48	27.6327	27.7894	27.6794	26.8066	27.7976	26.3718

Matricea de programare a experimentului factorial 2^3 FINISARE

Parametri variabili		Indicele tehnologic							
i [A]	Circula- tia [μs]	Rugozitatea suprafeței prelucrate, R_a [μm]							
3.125	I	6	1.80	1.90	1.70	1.65	1.85	1.95	
12.5	I	6	2.50	2.40	2.35	2.46	2.80	2.42	
3.125	A	6	1.90	2.15	2.25	1.95	2.20	2.16	
12.5	A	6	2.82	3.20	2.95	3.10	2.78	2.90	
3.125	I	48	2.15	2.80	2.95	2.65	2.46	2.55	
12.5	I	48	3.80	3.10	3.15	3.20	3.40	3.60	
3.125	A	48	3.10	3.15	3.20	3.25	3.48	3.35	
12.5	A	48	4.45	3.86	4.25	4.18	3.75	3.90	

în care $(S_{ye}^2)_{\max}$ este valoarea maximă din șirul de dispersii calculate pentru experiențele $e = 1 \dots N$.

Valoarea calculată a fost verificată cu valoarea tabulată $G_T(m_1; m_2; \alpha)$ [4, 12, 157 219, 245] unde m_1 și m_2 reprezintă gradele de libertate, iar α pragul de semnificație.

Dispersiile se consideră omogene atunci când este îndeplinită condiția:

$$G_C < G_T(m_1; m_2; \alpha) \quad (6.7)$$

Pentru estimarea pragului de semnificație a coeficienților de regresie, se calculează valoarea dispersiei erorii experimentale:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{e=1}^N S_{ye}^2 \quad (6.8)$$

Numărul gradelor de libertate considerate, la determinarea acestei dispersii, s-a notat cu f_2 și se calculează cu relația:

$$f_2 = N(n - 1) \quad (6.9)$$

Analizând rezultatele obținute, se vede că toate dispersiile calculate sînt omogene, fiind îndeplinită relația (6.7).

6.3. Analiza de regresie

Analiza de regresie se folosește pentru exprimarea dependenței dintre două sau mai multe variabile cu ajutorul unei funcții matematice [202, 203]. Când există un număr mai mare de variabile independente, funcția nu se poate reprezenta grafic, ci numai analitic, sub forma unei funcții matematice cu mai multe variabile.

Modelul matematic al procesului se exprimă sub forma unei dependențe funcționale între funcția de răspuns analizată (caracteristica tehnologică) și variabilele independente (parametrii procesului).

$$r = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (6.10)$$

în care r este funcția de răspuns ce trebuie determinată;

$x_1, x_2 \dots x_k$ - lvariabile independente.

Deoarece fenomenele sînt complexe, forma funcției r nu se poate cunoaște exact, dar poate fi determinată experimental cu o oarecare aproximație. Dezvoltînd funcția r în serie Taylor, în jurul unui punct central de coordonate $(x_{10}, x_{20}, \dots x_{k0})$ se obține:

$$r = f(x_{i0}) + \sum_{i=1}^K \left. \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|_{x_{i0}} \cdot x_i + \sum_{i < j}^K \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \right|_{\substack{x_{i0} \\ x_{j0}}} \cdot x_i x_j + \dots \quad (6.11)$$

Deoarece nu se pot calcula derivatele parțiale, se înlocuiește funcția r cu o expresie polinomială:

$$r = \beta_0 + \sum_{i=1}^K \beta_i x_i + \sum_{i < j}^K \beta_{ij} x_i x_j + \dots \quad (6.12)$$

Coefficienții de regresie teoretici $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \dots$ nu se pot determina experimental decît cu aproximație. Rezultă deci polinomial de aproximație y , al cărui coeficienți b_0, b_1, b_{ij}, \dots sînt estimațiile corecte ale coeficienților

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i x_i + \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{j=i+1}^K b_{ij} x_i x_j \quad (6.13)$$

În cazul experimentului factorial complet 2^3 , ecuația regresiei multiple liniare are forma generală:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (6.14)$$

Această ecuație reprezintă un hiperplan în spațiul euclidian cu $n + 1$ dimensiuni.

6.3.1. Calculul coeficienților de regresie

Estimațiile coeficienților de regresie pentru ecuația (6.14) se determină prin metoda celor mai mici pătrate [4, 6, 12, 28, 29, 75, 202, 203, 215]. Datorită ortogonalității experimentului factorial, coeficienții de regresie pot fi estimați independen-

dent. Pentru calcul se folosesc coloanele matricii de experimentare cu valori codificate (tabelul 6.3).

Expresiile de calcul ale acestor coeficienți sînt:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{e=1}^N x_{ie} \cdot \bar{y}_e \quad (6.15)$$

în care $i = 0, 1, 2, \dots, k$ este numărul factorilor.

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{e=1}^N (x_i x_j)_e \bar{y}_e \quad (6.16)$$

$$b_{ijk} = \frac{1}{N} \sum_{e=1}^N (x_i x_j x_k)_e \bar{y}_e \quad (6.16')$$

în care $i \neq j \neq k \approx 1, 2, 3, \dots$ reprezintă numărul de ordine al variabilelor independente introduse la valoarea lor codificată x , iar \bar{y}_e este media funcției de răspuns calculată cu relația (6.3).

6.3.2. Testarea semnificației coeficienților de regresie

Pentru ca estimațiile coeficienților de regresie calculați să fie semnificative, este necesar ca valorile acestora să depășească o valoare critică de semnificație notată cu b_T ,

$$|b_i| \geq b_T \quad (6.17)$$

$$\text{în care } b_T = t(\alpha, f_2) \cdot S_{b_i} \quad (6.18)$$

$t(\alpha, f_2)$ este valoarea tabulată a unei variabile aleatoare, numită distribuția Student [28, 75, 126, 202, 203, 215] cu care se testează semnificația coeficienților, funcție de pragul de semnificație (α) acceptat și numărul gradelor de libertate (f_2).

S_{b_i} - este abaterea standard a estimațiilor coeficienților de regresie, determinată cu relația:

$$S_{b_i} = \left(\frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{n \cdot N} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6.19)$$

Valorile coeficienților de regresie oferă posibilitatea aprecierii cantitative a influenței variabilei respective asupra funcției de răspuns considerate. Valorile relative mai mari indică o influență mai pronunțată, iar semnul acestora indică sensul influenței (direct sau invers proporțional).

În tabelul 6.13 se indică valorile criteriului Cochran, valorile coeficienților de regresie, ale criteriului Student și ale criteriului Fischer pentru indicatorii tehnologici urmăriți la faza de degroșare, iar în tabelul 6.14 aceleași valori pentru indicatorii tehnologici urmăriți la faza de finisare.

6.4. Verificarea adecvantei modelului matematic

În urma stabilirii coeficienților de regresie și reținând doar pe cei a căror valoare depășește pragul de semnificație determinat pentru fiecare funcție de răspuns, se pot scrie sub formă polinomială, pornind de la relația (6.14), modelele matematice ale indicilor tehnologici.

Pentru faza de degroșare se pot scrie următoarele ecuații:

$$Y_{Qp} = 32,9130 + 5,5251 x_1 - 7,3060 x_2 + 3,0213 x_3 - 5,7683 x_1 x_2 + 1,2539 x_1 x_3 - 3,5495 x_2 x_3 - 2,6452 x_1 x_2 x_3 \quad (6.20)$$

$$Y_{Q_E} = 3,3324 - 0,3013 x_1 + 0,5436 x_3 - 0,3752 x_3 + 0,4453 x_1 x_2 - 0,4060 x_1 x_3 - 0,0396 x_2 x_3 - 0,2429 x_1 x_2 x_3 \quad (6.21)$$

$$Y_{\xi p} = 1218,061 + 438,026 x_1 - 538,770 x_2 + 332,778 x_3 - 470,857 x_1 x_2 + 282,906 x_1 x_3 - 289,912 x_2 x_3 - 212,351 x_1 x_2 x_3 \quad (6.22)$$

$$Y_{R_B} = 12,3074 + 4,1633 x_1 + 1,6266 x_2 + 0,7616 x_3 + 1,4158 x_1 x_2 + 0,6108 x_1 x_3 - 0,6074 x_2 x_3 - 0,3783 x_1 x_2 x_3 \quad (6.23)$$

$$Y_{Q_{sp}} = 1,9882 - 0,4026 x_1 - 0,2358 x_2 + 0,1338 x_3 - 0,2185 x_1 x_2 - 0,0266 x_1 x_3 + 0,0357 x_2 x_3 - 0,1025 x_1 x_2 x_3 \quad (6.24)$$

Pentru faza de finisare au fost determinate ecuațiile:

$$Y_{Q_F} = 1,9805 + 1,1792 x_1 + 0,3857 x_2 + 0,6186 x_3 + 0,2899 x_1 x_2 + 0,6710 x_1 x_3 + 0,3239 x_2 x_3 + 0,1603 x_1 x_2 x_3 \quad (6.25)$$

$$Y_{Q_E} = 0,6384 + 0,5169 x_1 + 0,0668 x_2 + 0,0560 x_3 + 0,0597 x_1 x_2 + 0,0420 x_1 x_3 + 0,1040 x_2 x_3 + 0,0734 x_1 x_2 x_3 \quad (6.26)$$

$$Y_{\mu} = 29,6068 + 14,4197 x_1 - 3,0648 x_2 - 7,4989 x_3 - 1,7979 x_1 x_2 - 8,7966 x_1 x_3 + 2,5275 x_2 x_3 + 1,9505 x_1 x_2 x_3 \quad (6.27)$$

$$Y_{R_a} = 2,8295 + 0,3920 x_1 + 0,2654 x_2 + 0,4904 x_3 \quad (6.28)$$

În ultima ecuație unii termeni au fost excluși deoarece au coeficienții ne semnificativi.

Verificarea adecvantei modelelor matematice elaborate se face cu ajutorul criteriului Fișcher, prin care se stabilește dacă diferența observată între dispersii este reală sau întâmplătoare.

Valoarea criteriului Fischer se determină cu relația:

$$F_C = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} \quad (6.29)$$

în care S_{ad}^2 - este dispersia abaterilor modelului față de valoarea medie a funcției de răspuns și se determină cu relația:

$$S_{ad}^2 = n \sum_{e=1}^N (Y_e - \bar{Y}_e)^2 \quad (6.30)$$

pentru $f_1 = N-K$ grade de libertate.

\bar{Y}_e - valoarea medie a funcției de răspuns la experimentul e;

Y_e - valoarea dată de modelul matematic la experiența e;

K - numărul coeficienților de regresie semnificativi inclusiv b_0 ;

S_y^2 - dispersia erorii experimentale (rel.6.8), pentru $f_2 = N(n-1)$ grade de libertate.

Tabelul 6.13

Modelul matematic		DEGROSARE						
		G_p [mm ³ /min]	Q_e [mm ³ /min]	ϵ_p [%]	R_a [um]	Q_{sp} [mm ³ /min A]		
Criteriul Cohran	Gc	0.3139	0.3994	0.4209	0.3915	0.3865	-	
	GT	0.4225	0.4225	0.4225	0.4225	0.4225	-	
Coeficientii de regresie	b0	32.9130	3.3324	1218.061	12.3074	1.9882	-	
	b1	5.5251	-0.2013	438.0269	4.1633	-0.4026	-	
	b2	-7.3060	0.5436	-538.770	1.6266	-0.2358	-	
	b3	3.0213	-0.3752	332.778	0.7616	0.1338	-	
	b12	-5.7785	0.4453	-470.857	1.4158	-0.2185	-	
	b13	1.2539	-0.4060	282.906	0.6108	-0.0266	-	
	b23	-3.5495	-0.0396	-289.912	-0.6074	0.0357	-	
Criteriul Student	b123	-2.6452	-0.2429	-212.315	-0.3783	-0.1025	-	
	bT	0.2699	$3.9184 \cdot 10^{-2}$	47.697	0.4187	0.0253	-	
Criteriul Fischer	Fc	$1.8831 \cdot 10^{-8}$	$1.8485 \cdot 10^{-8}$	$2.7782 \cdot 10^{-9}$	3.8567	$8.3123 \cdot 10^{-9}$	-	
	FT	4.1371	4.1371	4.1371	4.1371	4.1371	-	

Tabelul 6.14

Modelul matematic		FINISARE					R [μm]
		Gp [mm^3/min]	Ge [mm^3/min]	μ [%]	R		
Criteriul Cohran	Gc	0.3627	0.2979	0.2969	0.2374		
	G _T	0.4225	0.4225	0.4225	0.4225		
Coeficienții de regresie	b ₀	1.9805	0.6384	29.6068	2.8295		
	b ₁	1.792	0.5169	14.4197	0.3920		
	b ₂	0.3857	0.0668	-3.0648	0.2654		
	b ₃	0.6186	0.0560	-7.4989	0.4904		
	b ₁₂	0.2899	0.0597	-1.7979	0.0024		
	b ₁₃	0.6710	0.0420	-6.7966	0.0007		
	b ₂₃	0.3239	0.1040	2.5275	0.0074		
Criteriul Student	b ₁₂₃	0.1603	0.0734	1.9505	-0.0019		
	b _T	0.0435	0.0210	1.5790	0.2011		
Criteriul Fischer	F _c	1.8997	$3.9999 \cdot 10^{-9}$	$1.4409 \cdot 10^{-9}$	1.9389		
	F _T	4.1371	4.1371	4.1371	2.6571		

Valoarea tabulară $F_T(\alpha; f_1; f_2)$ este determinată din tabele în funcție de gradul de semnificație (α) și gradul de libertate (f_1) și (f_2) [4, 12, 28, 29, 36, 75, 157, 202, 203, 219, 245]

Modelul matematic determinat se consideră adecvat dacă este îndeplinită condiția:

$$F_C \leq F_T(\alpha; f_1; f_2) \quad (6.31)$$

Urmărind rezultatele obținute în tabelul 6.13 pentru faza de degroșare și în tabelul 6.14 pentru faza de finisare, toate modelele matematice (6.20 ... 6.28) sînt adecvate.

6.5. Prelucrarea datelor experimentale

Schema logică pentru modelarea matematică a procesului de prelucrare prin eroziune electrică este prezentată în fig.6.1.

Programul de calcul este întocmit în limbaj BASIC și a fost rulat pe calculatorul AMIC.

Folosind unele rezultate experimentale, s-a verificat corectitudinea programului elaborat, obținîndu-se ecuațiile de regresie, din a căror reprezentare grafică se pot alege parametrii optimi ai regimului de prelucrare, funcție de scopul urmărit.

6.6. Stabilirea ecuațiilor dreptelor de regresie

Modelele matematice, obținute pentru procesul de prelucrare prin eroziune electrică a oțelului termostabil V Cr W 85, stau la baza stabilirii unei zone de lucru de maximizare sau minimizare a funcției de răspuns. În acest sens, folosind modelele matematice (6.20 ... 6.28) se determină dreptele de regresie care delimitează zona optimă pentru prelucrare [20, 34, 165, 197, 228].

Pentru faza de degroșare au fost determinate următoarele 135 de ecuații:

$$Q_p(50 A; 0,3 b) = - 0,0047 t_1 + 27,7260 \quad (6.32)$$

$$Q_p(50 A; 0,2 b) = - 0,0106 t_1 + 33,1538 \quad (6.33)$$

$$Q_p(50 A; 0,1 b) = 0,0260 t_1 + 38,5816 \quad (6.34)$$

$$Q_p(37,5A; 0,3 b) = - 0,0013 t_1 + 26,2598 \quad (6.35)$$

$$Q_p(37,5A; 0,2 b) = 0,0075 t_1 + 29,1786 \quad (6.36)$$

$$Q_p(37,5A; 0,1 b) = 0,0163 t_1 + 32,0973 \quad (6.37)$$

$$Q_p(25 \text{ A; } 0,3 \text{ b}) = 0,0021 t_1 + 24,7936 \quad (6.38)$$

$$Q_p(25 \text{ A; } 0,2 \text{ b}) = 0,0042 t_1 + 25,2034 \quad (6.39)$$

$$Q_p(25 \text{ A; } 0,1 \text{ b}) = 0,0066 t_1 + 25,6131 \quad (6.40)$$

$$Q_p(50 \text{ A; } 900 \text{ } \mu\text{s}) = - 192,7334 p + 81,2721 \quad (6.41)$$

$$Q_p(50 \text{ A; } 497,5 \text{ } \mu\text{s}) = - 130,8462 p + 64,6074 \quad (6.42)$$

$$Q_p(50 \text{ A; } 95 \text{ } \mu\text{s}) = - 68,8991 p + 47,9426 \quad (6.43)$$

$$Q_p(37,5 \text{ A; } 900 \text{ } \mu\text{s}) = - 108,555 p + 57,6455 \quad (6.44)$$

$$Q_p(37,5 \text{ A; } 4897,5 \text{ } \mu\text{s}) = - 73,0604 p + 47,5251 \quad (6.45)$$

$$Q_p(37,5 \text{ A; } 95 \text{ } \mu\text{s}) = - 37,5654 p + 37,4040 \quad (6.46)$$

$$Q_p(25 \text{ A; } 900 \text{ } \mu\text{s}) = 24,3173 p + 34,0188 \quad (6.47)$$

$$Q_p(25 \text{ A; } 497,5 \text{ } \mu\text{s}) = 15,2745 p + 30,4429 \quad (6.48)$$

$$Q_p(25 \text{ A; } 95 \text{ } \mu\text{s}) = -6,2318 p + 26,8669 \quad (6.49)$$

Reprezentarea grafică a acestor ecuații este dată în figura 6.2.

$$Q_p(0,3 \text{ b; } 900 \text{ } \mu\text{s}) = - 0,1315 i_1 + 30,0131 \quad (6.50)$$

$$Q_p(0,3 \text{ b; } 497,5 \text{ } \mu\text{s}) = - 0,0202 i_1 + 26,3674 \quad (6.51)$$

$$Q_p(0,3 \text{ b; } 95 \text{ } \mu\text{s}) = 0,0910 i_1 + 22,7417 \quad (6.52)$$

$$Q_p(0,2 \text{ b; } 900 \text{ } \mu\text{s}) = 0,5423 i_1 + 15,5973 \quad (6.53)$$

$$Q_p(0,2 \text{ b; } 497,5 \text{ } \mu\text{s}) = 0,4420 i_1 + 15,3377 \quad (6.54)$$

$$Q_p(0,2 \text{ b; } 95 \text{ } \mu\text{s}) = 0,3416 i_1 + 17,0782 \quad (6.55)$$

$$Q_p(0,1 \text{ b; } 900 \text{ } \mu\text{s}) = - 1,2162 i_1 + 1,1614 \quad (6.56)$$

$$Q_p(0,1 \text{ b; } 497,5 \text{ } \mu\text{s}) = 0,9042 i_1 + 6,3000 \quad (6.57)$$

$$Q_p(0,1 \text{ b; } 95 \text{ } \mu\text{s}) = 0,5923 i_1 + 11,4347 \quad (6.58)$$

$$Q_p(0,3 \text{ b; } 900 \text{ } \mu\text{s}) = - 0,0324 i_1 + 4,6761 \quad (6.59)$$

$$Q_p(0,3 \text{ b; } 497,5 \text{ } \mu\text{s}) = 0,0195 i_1 + 3,1439 \quad (6.60)$$

$$Q_p(0,3 \text{ b; } 95 \text{ } \mu\text{s}) = 0,0714 i_1 + 1,6116 \quad (6.61)$$

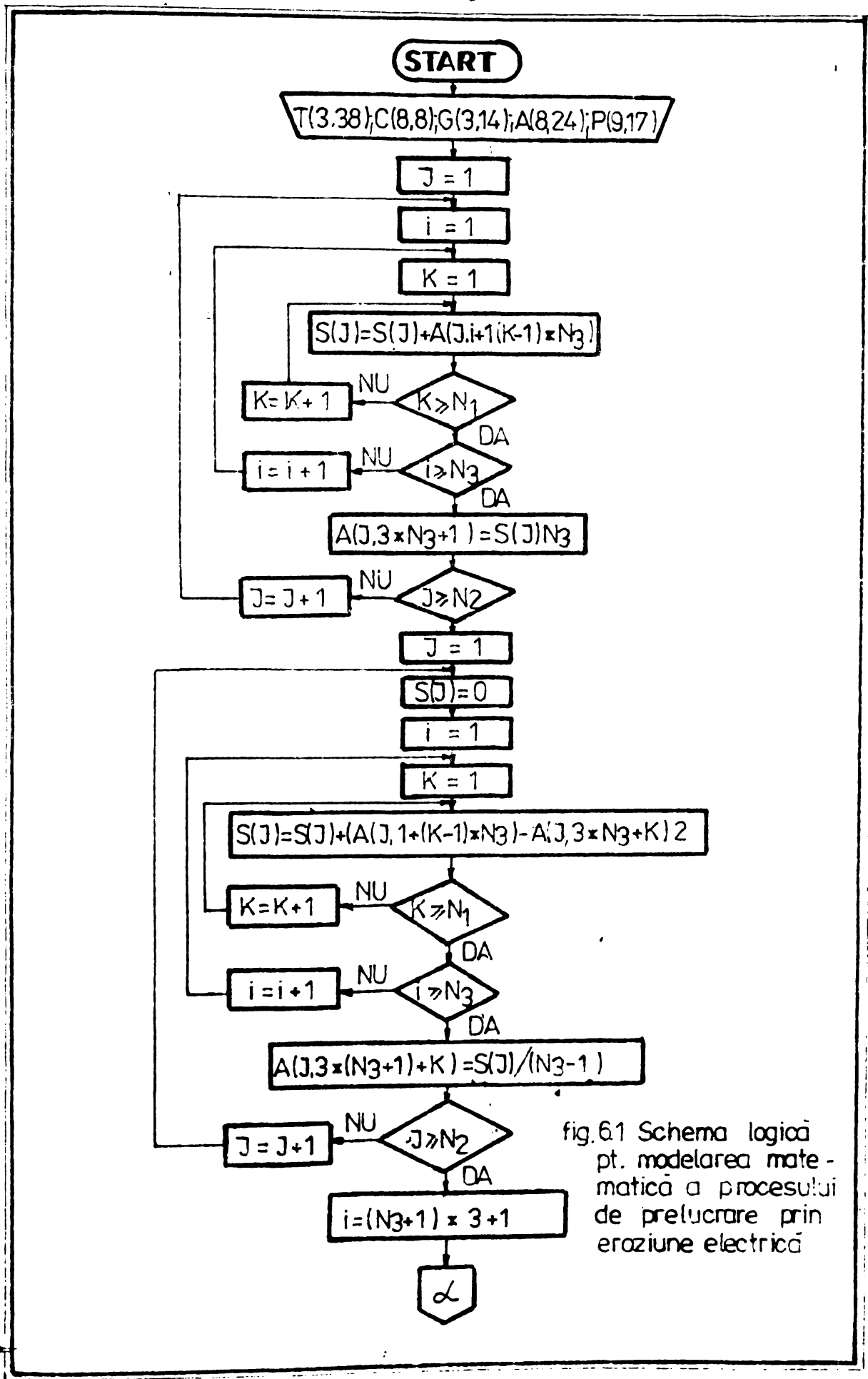


fig.6.1 Schema logică pt. modelarea matematică a procesului de prelucrare prin eroziune electrică

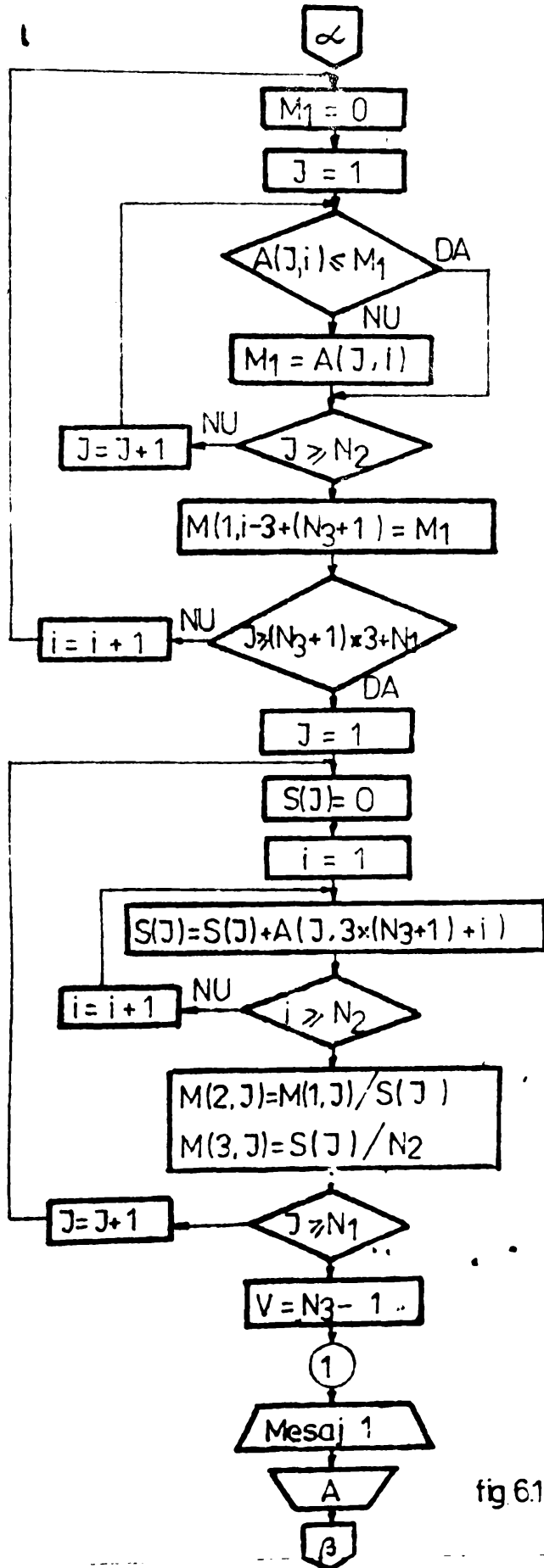


fig.61 (continuare)

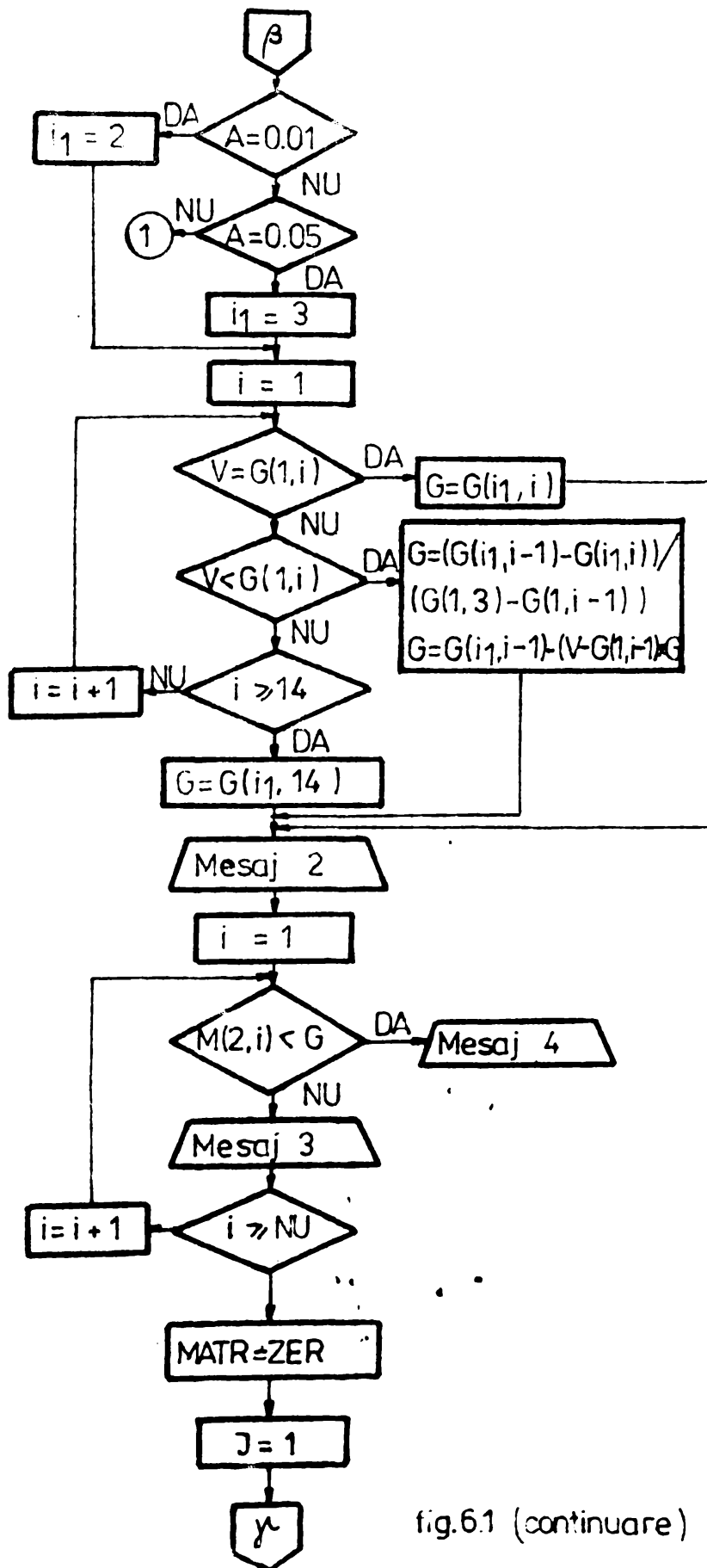


fig.6.1 (continuare)

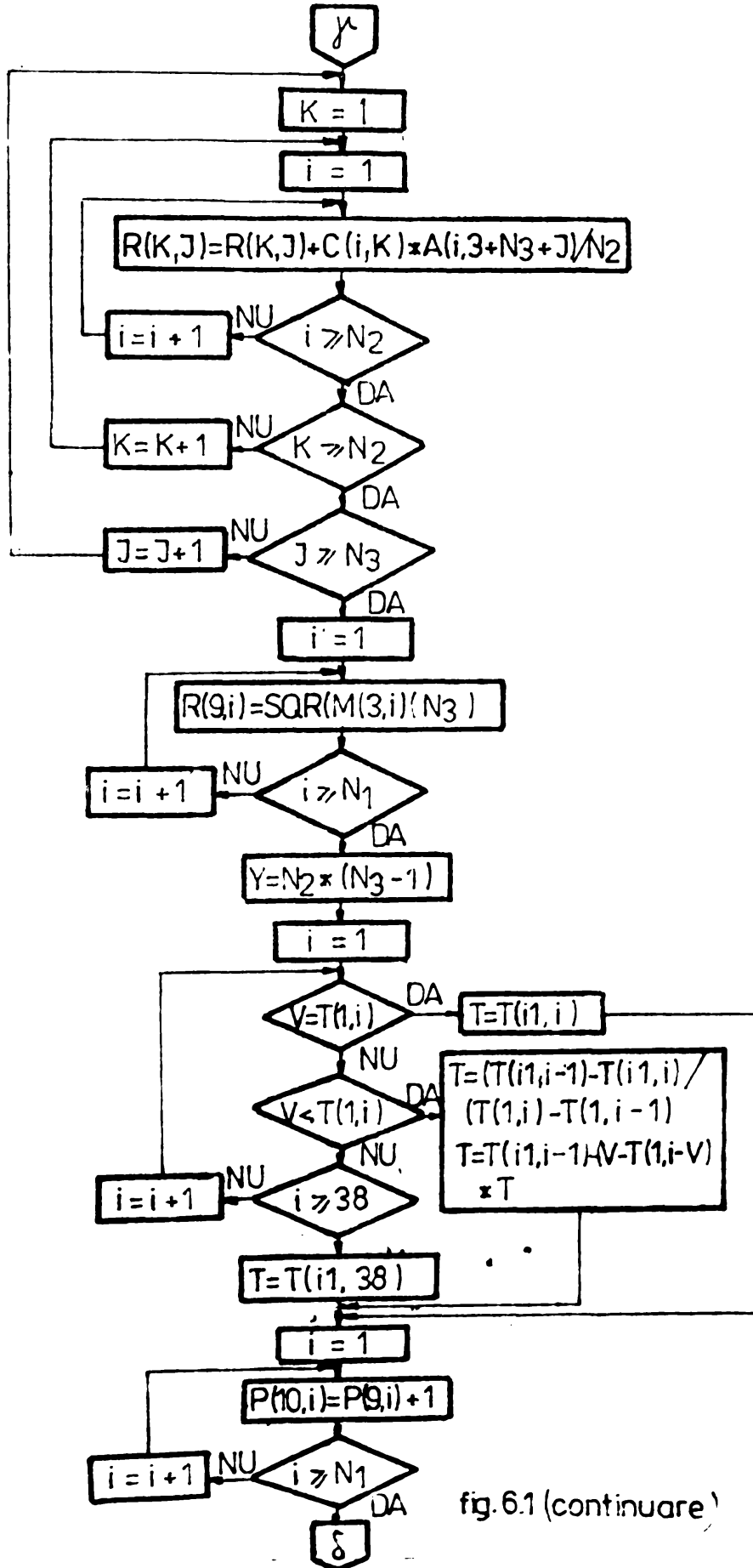


fig. 6.1 (continuare)

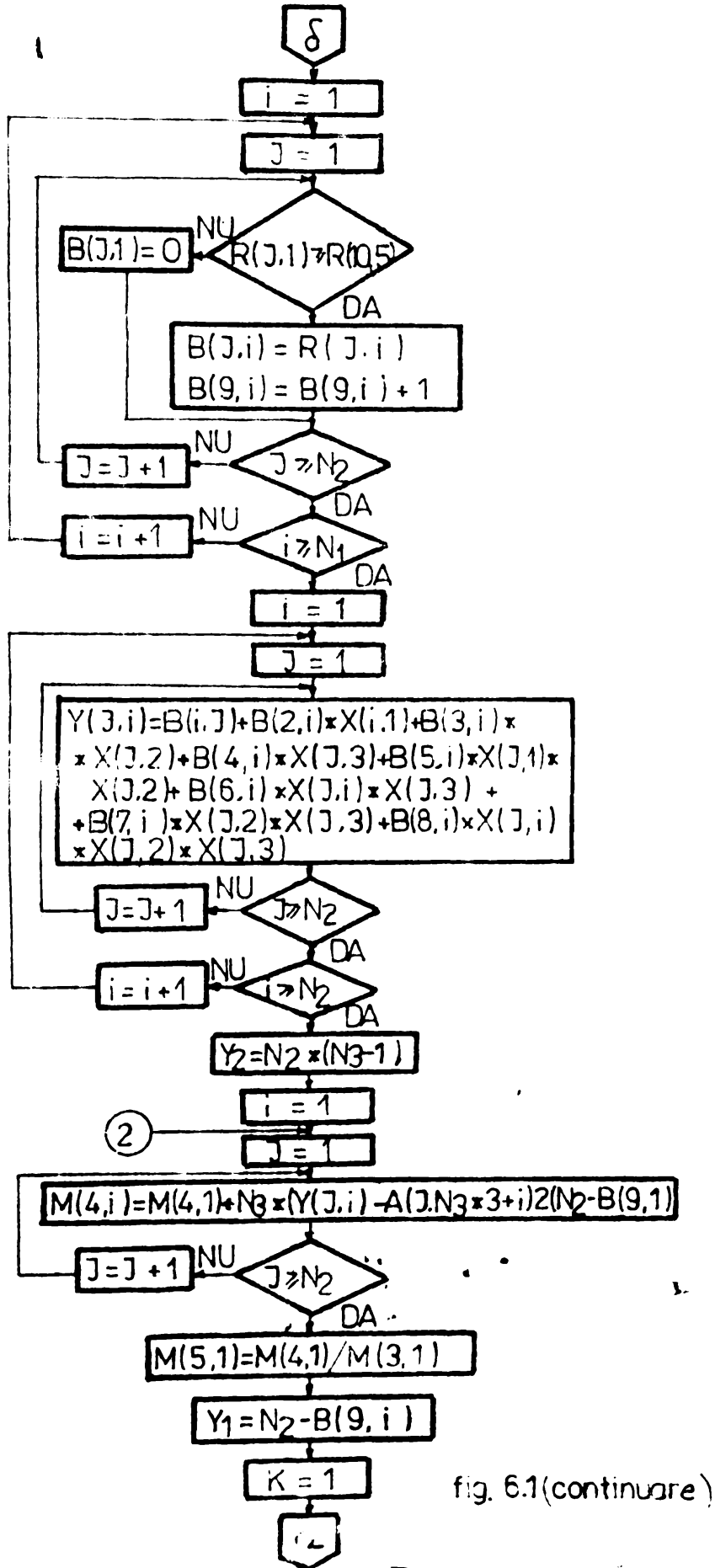


fig. 6.1(continue)

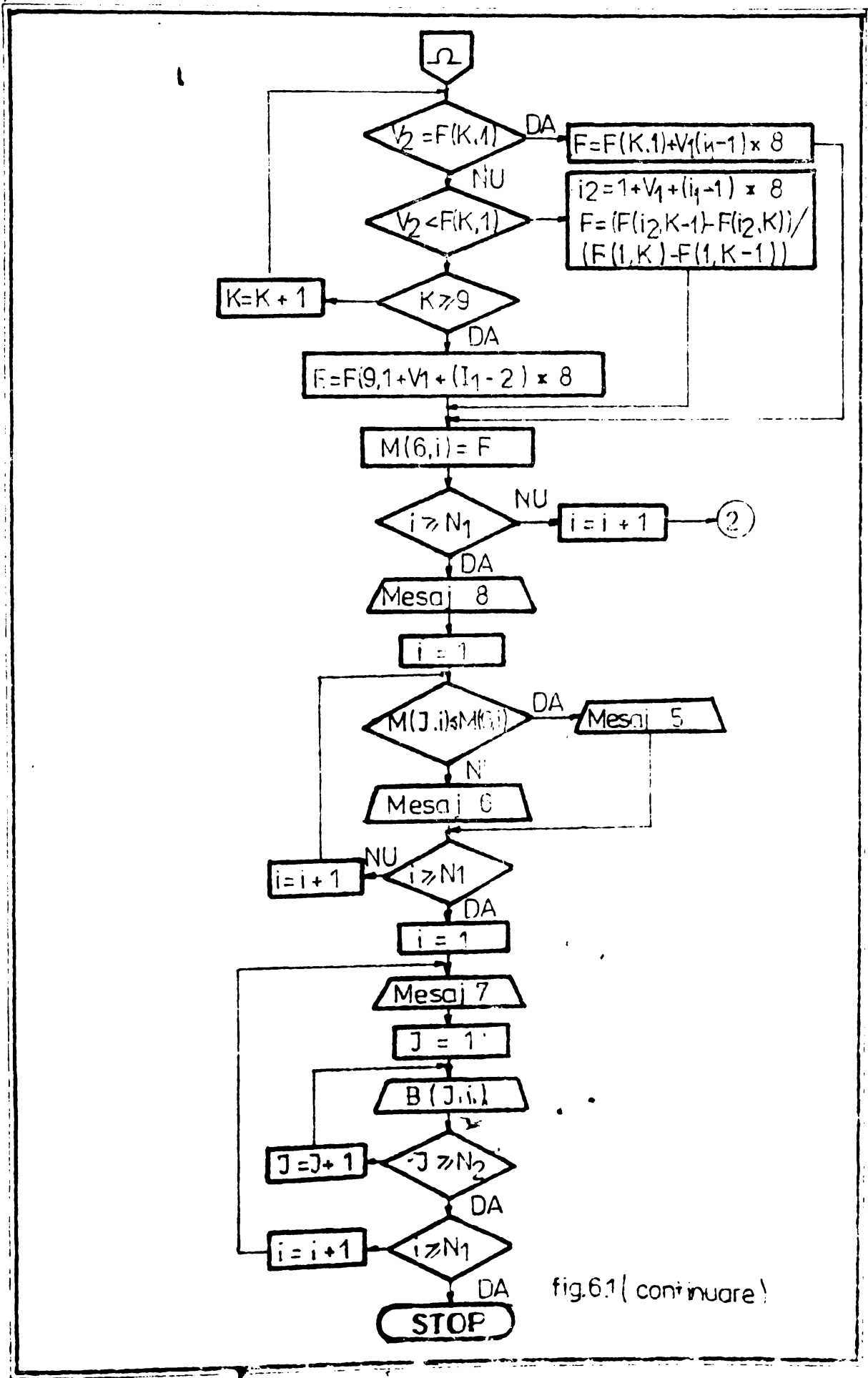


fig.6.1 (continuare)

$$Q_E(0,2 \text{ b; } 900 \mu\text{s}) = -0,0485 i_1 + 4,7799 \quad (6.62)$$

$$Q_E(0,2 \text{ b; } 497,5 \mu\text{s}) = -0,0161 i_1 + 3,9362 \quad (6.63)$$

$$Q_E(0,2 \text{ b; } 95 \mu\text{s}) = 0,0163 i_1 + 3,0932 \quad (6.64)$$

$$Q_E(0,1 \text{ b; } 900 \mu\text{s}) = 0,0647 i_1 + 4,8823 \quad (6.65)$$

$$Q_E(0,1 \text{ b; } 497,5 \mu\text{s}) = -0,0517 i_1 + 4,7887 \quad (6.66)$$

$$Q_E(0,1 \text{ b; } 95 \mu\text{s}) = -0,0386 i_1 + 4,5747 \quad (6.67)$$

Aceste ecuații (6.50 ... 6.67) sînt reprezentate în figura 6.3.

$$Q_E(50 \text{ A; } 0,3 \text{ b}) = -0,0026 t_1 + 5,4350 \quad (6.68)$$

$$Q_E(50 \text{ A; } 0,2 \text{ b}) = -0,0019 t_1 + 4,0965 \quad (6.69)$$

$$Q_E(50 \text{ A; } 0,1 \text{ b}) = -0,0002 t_1 + 2,7582 \quad (6.70)$$

$$Q_E(37,5 \text{ A; } 0,3 \text{ b}) = 0,0010 t_1 + 4,3888 \quad (6.71)$$

$$Q_E(37,5 \text{ A; } 0,2 \text{ b}) = 0,0009 t_1 + 3,7960 \quad (6.72)$$

$$Q_E(37,5 \text{ A; } 0,1 \text{ b}) = 0,0008 t_1 + 3,2033 \quad (6.73)$$

$$Q_E(25 \text{ A; } 0,3 \text{ b}) = 0,0005 t_1 + 3,3425 \quad (6.74)$$

$$Q_E(25 \text{ A; } 0,2 \text{ b}) = 0,0007 t_1 + 3,4954 \quad (6.75)$$

$$Q_E(25 \text{ A; } 0,1 \text{ b}) = -0,0004 t_1 + 3,6483 \quad (6.76)$$

$$Q_E(50 \text{ A; } 900 \mu\text{s}) = 7,6635 p + 0,9368 \quad (6.77)$$

$$Q_E(50 \text{ A; } 497,5 \mu\text{s}) = 9,8902 p + 1,1528 \quad (6.78)$$

$$Q_E(50 \text{ A; } 95 \mu\text{s}) = 12,7168 p + 1,3688 \quad (6.79)$$

$$Q_E(37,5 \text{ A; } 900 \mu\text{s}) = 5,0399 p + 1,9492 \quad (6.80)$$

$$Q_E(37,5 \text{ A; } 497,5 \mu\text{s}) = 5,4368 p + 2,2448 \quad (6.81)$$

$$Q_E(37,5 \text{ A; } 95 \mu\text{s}) = 5,8537 p + 2,5767 \quad (6.82)$$

$$Q_E(25 \text{ A; } 900 \mu\text{s}) = 3,0162 p + 2,9611 \quad (6.83)$$

$$Q_E(25 \text{ A; } 497,5 \mu\text{s}) = 0,9835 p + 3,3368 \quad (6.84)$$

$$Q_E(25 \text{ A; } 95 \mu\text{s}) = -1,0492 p + 3,7125 \quad (6.85)$$

Ecuațiile (6.68 ... 6.85) sînt reprezentate în fig.6.4

$$\varepsilon_p(50 \text{ A; } 0,3 \text{ b}) = 0,2991 t_1 + 497,6898 \quad (6.86)$$

$$\varepsilon_p(50 \text{ A; } 0,2 \text{ b}) = 1,5296 t_1 + 895,0932 \quad (6.87)$$

$$\varepsilon_p(50 \text{ A; } 0,1 \text{ b}) = 2,7601 t_1 + 1292,49 \quad (6.88)$$

$$\varepsilon_p(37,5 \text{ A; } 0,3 \text{ b}) = 0,1238 t_1 + 617,724 \quad (6.89)$$

$$\varepsilon_p(37,5 \text{ A; } 0,2 \text{ b}) = 0,8267 t_1 + 806,745 \quad (6.90)$$

$$\varepsilon_p(37,5 \text{ A; } 0,1 \text{ b}) = 1,5296 t_1 + 995,762 \quad (6.91)$$

$$\varepsilon_p(25 \text{ A; } 0,3 \text{ b}) = -0,0513 t_1 + 737,765 \quad (6.92)$$

$$\varepsilon_p(25 \text{ A; } 0,2 \text{ b}) = 0,1239 t_1 + 718,397 \quad (6.93)$$

$$\varepsilon_p(25 \text{ A; } 0,1 \text{ b}) = 0,2993 t_1 + 699,029 \quad (6.94)$$

$$\varepsilon_p(50 \text{ A; } 900 \mu\text{s}) = -15048,25 p + 5281,43 \quad (6.95)$$

$$\varepsilon_p(50 \text{ A; } 497,5 \mu\text{s}) = -10095,62 p + 3675,21 \quad (6.96)$$

$$\varepsilon_p(50 \text{ A; } 95 \mu\text{s}) = -5142,97 p + 2069,32 \quad (6.97)$$

$$\varepsilon_p(37,5 \text{ A; } 900 \mu\text{s}) = -8216,17 p + 3194,08 \quad (6.98)$$

$$\varepsilon_p(37,5 \text{ A; } 497,5 \mu\text{s}) = -5387,04 p + 2295,47 \quad (6.99)$$

$$\varepsilon_p(37,5 \text{ A; } 95 \mu\text{s}) = -2557,92 p + 1396,87 \quad (6.100)$$

$$\varepsilon_p(25 \text{ A; } 900 \mu\text{s}) = -1384,08 p + 1106,73 \quad (6.101)$$

$$\varepsilon_p(25 \text{ A; } 497,5 \mu\text{s}) = 678,472 p + 915,735 \quad (6.102)$$

$$\varepsilon_p(25 \text{ A; } 95 \mu\text{s}) = 27,1382 p + 724,740 \quad (6.103)$$

Reprezentarea grafică a ecuațiilor (6-89 ... 6.103) este dată în fig.6.5.

$$\varepsilon_p(0,3 \text{ b; } 900 \mu\text{s}) = 3,0179 i_1 + 617,572 \quad (6.104)$$

$$\varepsilon_p(0,3 \text{ b; } 497,5 \mu\text{s}) = -2,6264 i_1 + 777,854 \quad (6.105)$$

$$\varepsilon_p(0,3 \text{ b; } 95 \mu\text{s}) = -8,2708 i_1 + 939,652 \quad (6.106)$$

$$\varepsilon_p(0,2 \text{ b; } 900 \mu\text{s}) = 57,6746 i_1 - 611,952 \quad (6.107)$$

$$\varepsilon_p(0,2 \text{ b; } 497,5 \mu\text{s}) = 35,0421 i_1 - 96,0124 \quad (6.108)$$

$$\varepsilon_p(0,2 \text{ b; } 95 \mu\text{s}) = 12,4096 i_1 + 419,9265 \quad (6.109)$$

$$\xi_p(0,1 \text{ b}; 900 \mu\text{s}) = 112,3313 i_1 - 1839,95 \quad (6.110)$$

$$\xi_p(0,1 \text{ b}; 497,5 \mu\text{s}) = 72,7107 i_1 - 969,879 \quad (6.111)$$

$$\xi_p(0,1 \text{ b}; 95 \mu\text{s}) = 33,0901 i_1 - 99,7988 \quad (6.112)$$

$$R_a(0,3 \text{ b}; 900 \mu\text{s}) = 0,4749 i_1 - 3,3466 \quad (6.113)$$

$$R_a(0,3 \text{ b}; 497,5 \mu\text{s}) = 0,4463 i_1 - 2,8033 \quad (6.114)$$

$$R_a(1,3 \text{ b}; 95 \mu\text{s}) = 0,4277 i_1 - 2,2599 \quad (6.115)$$

$$R_a(0,2 \text{ b}; 900 \mu\text{s}) = 0,3819 i_1 - 1,2533 \quad (6.116)$$

$$R_a(0,2 \text{ b}; 497,5 \mu\text{s}) = 0,3330 i_1 - 0,1824 \quad (6.117)$$

$$R_a(0,2 \text{ b}; 95 \mu\text{s}) = 0,2341 i_1 + 0,8883 \quad (6.118)$$

$$R_a(0,1 \text{ b}; 900 \mu\text{s}) = 0,2989 i_1 + 0,8399 \quad (6.119)$$

$$R_a(0,1 \text{ b}; 497,5 \mu\text{s}) = 0,2197 i_1 + 2,4383 \quad (6.120)$$

$$R_a(0,1 \text{ b}; 95 \mu\text{s}) = 0,14061 i_1 + 4,0366 \quad (6.121)$$

Ecuațiile (6.104 ... 6.121) sînt reprezentate grafic în fig.6.6.

$$R_a(50 \text{ A}; 0,3 \text{ b}) = 0,0019 t_1 + 18,5674 \quad (6.122)$$

$$R_a(50 \text{ A}; 0,2 \text{ b}) = 0,0034 t_1 + 14,7743 \quad (6.123)$$

$$R_a(50 \text{ A}; 0,1 \text{ b}) = 0,0049 t_1 + 10,9810 \quad (6.124)$$

$$R_a(37,5 \text{ A}; 0,3 \text{ b}) = 0,00038 t_1 + 13,7436 \quad (6.125)$$

$$R_a(37,5 \text{ A}; 0,2 \text{ b}) = 0,0018 t_1 + 11,3660 \quad (6.126)$$

$$R_a(37,5 \text{ A}; 0,1 \text{ b}) = 0,0034 t_1 + 8,9885 \quad (6.127)$$

$$R_a(25 \text{ A}; 0,3 \text{ b}) = -0,0011 t_1 + 0,9194 \quad (6.128)$$

$$R_a(25 \text{ A}; 0,2 \text{ b}) = 0,00037 t_1 + 7,9577 \quad (6.129)$$

$$R_a(25 \text{ A}; 0,1 \text{ b}) = 0,0018 t_1 + 6,9960 \quad (6.130)$$

$$R_a(50 \text{ A}; 900 \mu\text{s}) = 24,3499 p + 12,9733 \quad (6.131)$$

$$R_a(50 \text{ A}; 497,5 \mu\text{s}) = 30,4249 p + 10,3835 \quad (6.132)$$

$$R_a(50 \text{ A}; 95 \mu\text{s}) = 36,4999 p + 7,7983 \quad (6.133)$$

$$R_a(37,5 \text{ A}; 900 \mu\text{s}) = 10,1916 p + 11,0308 \quad (6.134)$$

$$R_a(37,5 \text{ A}; 497,5 \mu\text{s}) = 16,2666 p + 9,0541 \quad (6.135)$$

$$R_a(37,5 \text{ A}; 95 \mu\text{s}) = 22,3416 p + 7,0775 \quad (6.136)$$

$$R_a(25 \text{ A}; 900 \mu\text{s}) = -0,1833 p + 8,3316 \quad (6.137)$$

$$R_a(25 \text{ A}; 497,5 \mu\text{s}) = 2,1083 p + 7,7224 \quad (6.138)$$

$$R_a(25 \text{ A}; 95 \mu\text{s}) = 4,3999 p + 7,1133 \quad (6.139)$$

Reprezentarea grafică a ecuațiilor (6.122 ... 6.139) este dată în fig.6.7.

$$Q_{sp}(50 \text{ A}; 0,3 \text{ b}) = 0,0001 t_1 + 1,0813 \quad (6.140)$$

$$Q_{sp}(50 \text{ A}; 0,2 \text{ b}) = 0,0002 t_1 + 1,4531 \quad (6.141)$$

$$Q_{sp}(50 \text{ A}; 0,1 \text{ b}) = 0,0004 t_1 + 1,8249 \quad (6.142)$$

$$Q_{sp}(37,5 \text{ A}; 0,3 \text{ b}) = 0,0004 t_1 + 1,5742 \quad (6.143)$$

$$Q_{sp}(37,5 \text{ A}; 0,2 \text{ b}) = 0,0003 t_1 + 1,8227 \quad (6.144)$$

$$Q_{sp}(37,5 \text{ A}; 0,1 \text{ b}) = 0,0002 t_1 + 2,1027 \quad (6.145)$$

$$Q_{sp}(25 \text{ A}; 0,3 \text{ b}) = 0,0007 t_1 + 2,0042 \quad (6.146)$$

$$Q_{sp}(25 \text{ A}; 0,2 \text{ b}) = 0,0003 t_1 + 2,1923 \quad (6.147)$$

$$Q_{sp}(25 \text{ A}; 0,1 \text{ b}) = 0,00005 t_1 + 2,3804 \quad (6.148)$$

$$Q_{sp}(50 \text{ A}; 900 \mu\text{s}) = -5,2175 p + 2,7351 \quad (6.149)$$

$$Q_{sp}(50 \text{ A}; 497,5 \mu\text{s}) = -4,5435 p + 2,4943 \quad (6.150)$$

$$Q_{sp}(50 \text{ A}; 95 \mu\text{s}) = -3,8755 p + 2,2535 \quad (6.151)$$

$$Q_{sp}(37,5 \text{ A}; 900 \mu\text{s}) = -2,0013 p + 2,5223 \quad (6.152)$$

$$Q_{sp}(37,5 \text{ A}; 497,5 \mu\text{s}) = -2,3583 p + 2,4598 \quad (6.153)$$

$$Q_{sp}(37,5 \text{ A}; 95 \mu\text{s}) = -2,7153 p + 2,3974 \quad (6.154)$$

$$Q_{sp}(25 \text{ A}; 900 \mu\text{s}) = 1,2089 p + 2,3096 \quad (6.155)$$

$$Q_{sp}(25 \text{ A}; 497,5 \mu\text{s}) = -0,1731 p + 2,4254 \quad (6.156)$$

$$Q_{sp}(25 \text{ A}; 95 \mu\text{s}) = -1,5051 p + 2,5412 \quad (6.157)$$

Ecuațiile (6.140 ... 6.157) sînt reprezentate grafic în

fig.6.8.

$$Q_{sp}(0,3 \text{ b}; 900 \mu\text{s}) = - 0,0600 i_1 + 4,1729 \quad (6.158)$$

$$Q_{sp}(0,3 \text{ b}; 497,5 \mu\text{s}) = - 0,0496 i_1 + 3,6157 \quad (6.159)$$

$$Q_{sp}(0,3 \text{ b}; 95 \mu\text{s}) = - 0,0393 i_1 + 3,0585 \quad (6.160)$$

$$Q_{sp}(0,2 \text{ b}; 900 \mu\text{s}) = - 0,0343 i_1 + 3,4100 \quad (6.161)$$

$$Q_{sp}(0,2 \text{ b}; 497,5 \mu\text{s}) = - 0,0322 i_1 + 3,1960 \quad (6.162)$$

$$Q_{sp}(0,2 \text{ b}; 95 \mu\text{s}) = - 0,0300 i_1 + 2,9820 \quad (6.163)$$

$$Q_{sp}(0,1; 900 \mu\text{s}) = - 0,0086 i_1 + 2,6470 \quad (6.164)$$

$$Q_{sp}(0,1; 497,5 \mu\text{s}) = - 0,0147 i_1 + 2,7762 \quad (6.165)$$

$$Q_{sp}(0,1; 95 \mu\text{s}) = - 0,0207 i_1 + 2,9050 \quad (6.166)$$

Reprezentarea grafică a ecuațiilor (6.158 (6.166) este dată în fig.6.9.

Pentru faza de finisare au fost determinate următoarele 48 de ecuații:

$$Q_p(12,5 \text{ A}; A) = 0,0844 t_1 + 1,5545 \quad (6.167)$$

$$Q_p(12,5 \text{ A}; I) = 0,0383 t_1 + 1,4486 \quad (6.168)$$

$$Q_p(7,81 \text{ A}; A) = 0,0488 t_1 + 1,1544 \quad (6.169)$$

$$Q_p(7,81 \text{ A}; I) = 0,1403 t_1 + 1,2158 \quad (6.170)$$

$$Q_p(3,125 \text{ A}; A) = 0,0052 t_1 + 0,7542 \quad (6.171)$$

$$Q_p(3,125 \text{ A}; I) = -0,0102 t_1 + 0,9831 \quad (6.172)$$

$$Q_p(A; 48 \mu\text{s}) = 0,4967 i_1 - 0,5253 \quad (6.173)$$

$$Q_p(A; 27 \mu\text{s}) = 0,3134 i_1 - 0,0822 \quad (6.174)$$

$$Q_p(A; 6 \mu\text{s}) = 0,1360 i_1 + 0,3608 \quad (6.175)$$

$$Q_p(I; 48 \mu\text{s}) = 0,2986 i_1 - 0,4437 \quad (6.176)$$

$$Q_p(I; 27 \mu\text{s}) = 0,1897 i_1 + 0,1126 \quad (6.177)$$

$$Q_p(I; 6 \mu\text{s}) = 0,0807 i_1 + 0,6690 \quad (6.178)$$

Reprezentarea grafică a ecuațiilor (6.167 (6.178)

este dată în fig.6.10.

$$Q_E(12,5 \text{ A; A}) = 0,0131 t_1 + 0,9275 \quad (6.179)$$

$$Q_E(12,5 \text{ A; I}) = - 0,0378 t_1 + 1,1309 \quad (6.180)$$

$$Q_E(7,81 \text{ A; A}) = 0,0075 t_1 + 0,4994 \quad (6.181)$$

$$Q_E(7,81 \text{ A; I}) = - 0,0022 t_1 + 0,6333 \quad (6.182)$$

$$Q_E(3,125 \text{ A; A}) = 0,0021 t_1 + 0,0712 \quad (6.183)$$

$$Q_E(3,125 \text{ A; I}) = 0,0007 t_1 + 0,1558 \quad (6.184)$$

$$Q_E(\text{A; } 48 \mu\text{s}) = 0,1476 i_1 - 0,2882 \quad (6.185)$$

$$Q_E(\text{A; } 27 \mu\text{s}) = 0,1230 i_1 - 0,2558 \quad (6.186)$$

$$Q_E(\text{A; } 6 \mu\text{s}) = 0,0983 i_1 - 0,2234 \quad (6.187)$$

$$Q_E(\text{I; } 48 \mu\text{s}) = 0,0908 i_1 - 0,1859 \quad (6.188)$$

$$Q_E(\text{I; } 27 \mu\text{s}) = 0,0975 i_1 - 0,1903 \quad (6.189)$$

$$Q_E(\text{I; } 6 \mu\text{s}) = 0,1042 i_1 - 0,1946 \quad (6.190)$$

Ecuațiile (6.179 ... 6.190) sînt reprezentate grafic în fig.6.11.

$$\lambda(12,5 \text{ A; A}) = 0,5627 t_1 + 54,3575 \quad (6.191)$$

$$\lambda(12,5 \text{ A; I}) = 0,9892 t_1 + 75,5984 \quad (6.192)$$

$$\lambda(7,81 \text{ A; A}) = - 0,2367 t_1 + 32,9337 \quad (6.193)$$

$$\lambda(7,81 \text{ A; I}) = - 0,4774 t_1 + 45,5629 \quad (6.194)$$

$$\lambda(3,125 \text{ A; A}) = 0,0892 t_1 + 11,5099 \quad (6.195)$$

$$\lambda(3,125 \text{ A; I}) = 0,0343 t_1 + 15,5273 \quad (6.196)$$

$$\lambda(\text{A; } 48 \mu\text{s}) = 1,2321 i_1 + 11,9442 \quad (6.197)$$

$$\lambda(\text{A; } 27 \mu\text{s}) = 2,6926 i_1 + 5,5056 \quad (6.198)$$

$$\lambda(\text{A; } 6 \mu\text{s}) = 4,1531 i_1 - 0,9329 \quad (6.199)$$

$$\lambda(\text{I; } 48 \mu\text{s}) = 1,1670 i_1 + 13,5275 \quad (6.200)$$

$$\lambda(\text{I; } 27 \mu\text{s}) = 3,4597 i_1 + 5,6421 \quad (6.202)$$

$$\lambda(\text{I; } 6 \mu\text{s}) = 5,7525 i_1 - 2,2433 \quad (6.202)$$

Reprezentarea grafică a ecuațiilor (6.191 ... 6.202) este dată în fig.6.12.

$$R_a(12,5 \text{ A}; A) = 0,0233 t_1 + 2,8565 \quad (6.203)$$

$$R_a(12,5 \text{ A}; I) = 0,0233 t_1 + 2,3257 \quad (6.204)$$

$$R_a(7,81 \text{ A}; A) = 0,0233 t_1 + 2,4644 \quad (6.205)$$

$$R_a(7,81 \text{ A}; I) = 0,0234 t_1 + 1,9336 \quad (6.206)$$

$$R_a(3,125 \text{ A}; A) = 0,0233 t_1 + 2,0723 \quad (6.207)$$

$$R_a(3,125 \text{ A}; I) = 0,0233 t_1 + 1,9336 \quad (6.208)$$

$$R_a(A; 48 \mu\text{s}) = 0,0836 i_1 + 2,9319 \quad (6.209)$$

$$R_a(A; 27 \mu\text{s}) = 0,0836 i_1 + 2,4415 \quad (6.210)$$

$$R_a(A; 6 \mu\text{s}) = 0,0836 i_1 + 1,9511 \quad (6.211)$$

$$R_a(I; 48 \mu\text{s}) = 0,0836 i_1 + 2,4011 \quad (6.212)$$

$$R_a(I; 27 \mu\text{s}) = 0,0836 i_1 + 1,9106 \quad (6.213)$$

$$R_a(I; 6 \mu\text{s}) = 0,0836 i_1 + 1,4302 \quad (6.214)$$

Ecuațiile (6.203 ... 6.214) sînt reprezentate grafic în fig.6.13.

Cu ajutorul acestor ecuații (6.32 ... 6.214) tehnologul poate calcula valoarea funcției de răspuns dorite, pentru variabilele independente dintr-un anumit domeniu bine determinat și variabila parametru dată. Toate ecuațiile stabilite sînt valabile pentru prelucrarea oțelurilor termostabile, cu electrod din cupru electrolitic legat la polul pozitiv.

6.7. Tehnologia optimă de prelucrare a oțelului V Cr V 85

Pentru ca rezultatele obținute să poată fi folosite cît mai eficient atît de către tehnolog, cît și de către operator, pe baza relațiilor (6.32 ... 6.214) determinate inițial, s-au trasat dreptele de regresie, care delimitează domeniul optim, unde funcția de răspuns are după caz valoarea minimă sau maximă.

În fig.6.2 ... 6.9 este prezentată tehnologia optimă a oțelului termostabil V Cr V 85, pentru faza de degroșare, iar în fig. 6.10 ... 6.13, pentru faza de finisare.

REGIM DE DEGROSARE

Materialul electrodului : Cu

Polaritatea electrodului: (+)

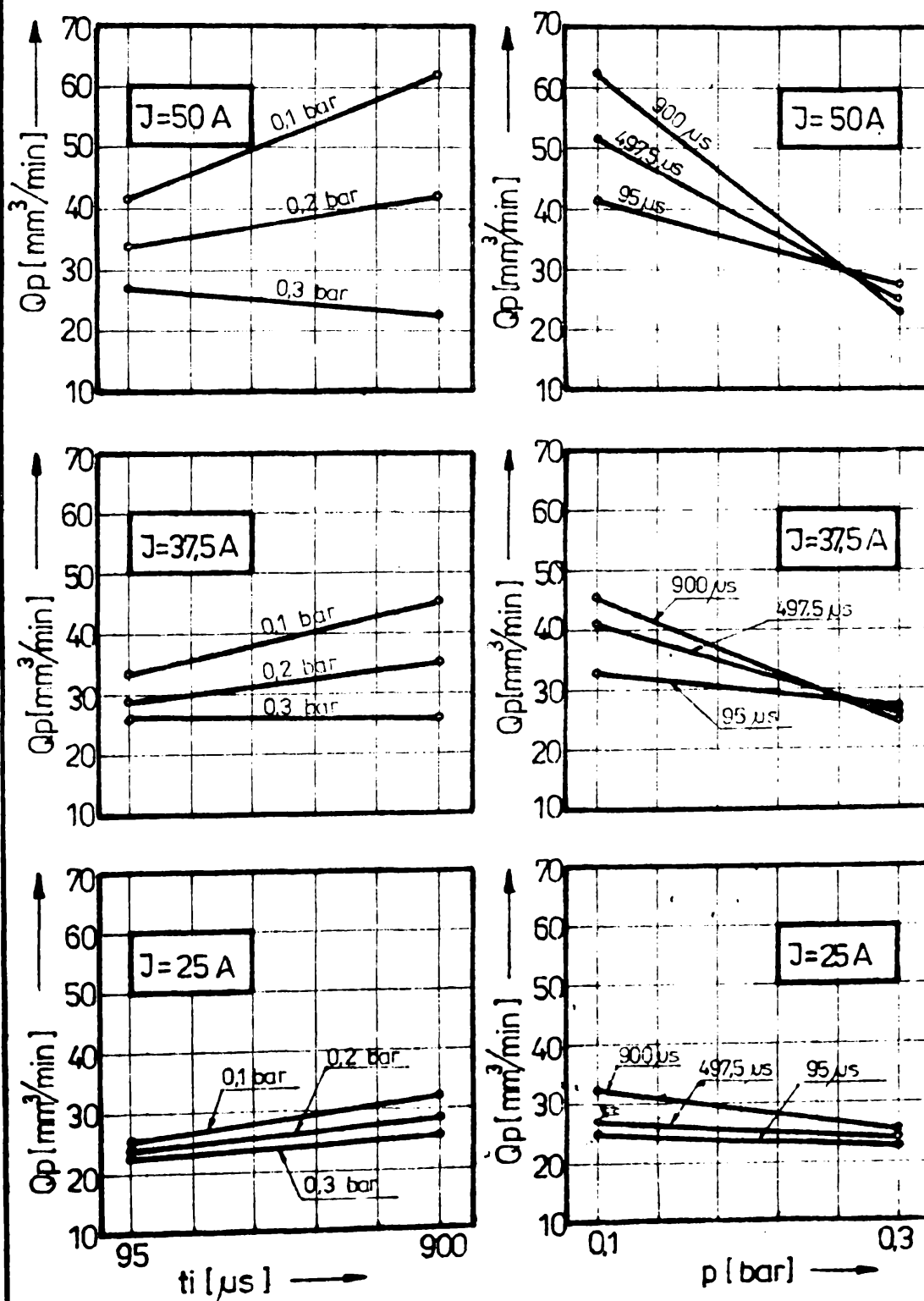


Fig.6.2: Variația productivității în funcție de timpul de impuls și presiunea de lucru.

REGIM DE DEGROSARE

Materialul electrodului: CU

Polaritatea electrodului: (+)

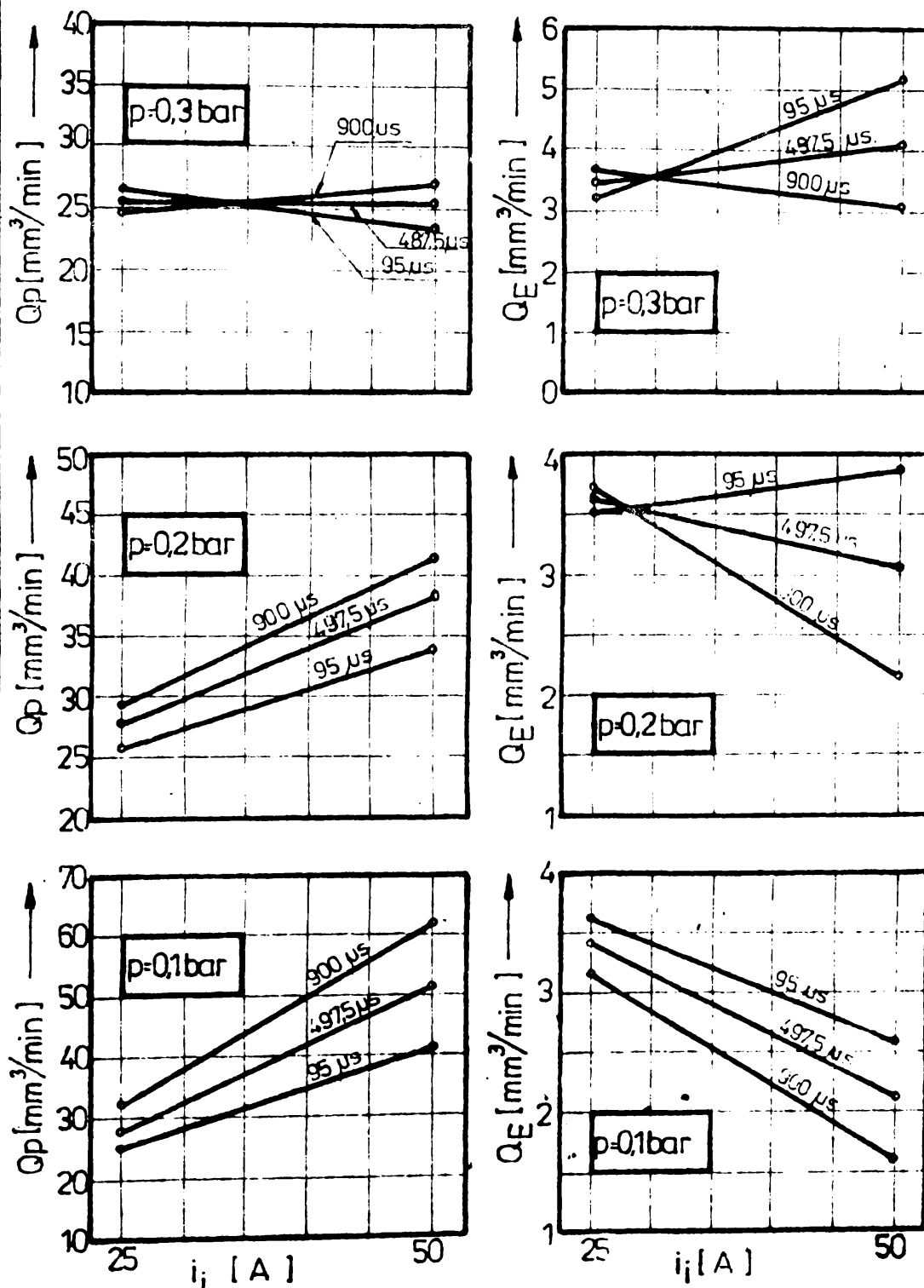


Fig. 63: Variația productivității și a uzurii electrodului în funcție de impulsul de curent.

REGIM DE DEGROSARE

Materialul electrodului: Cu

Polaritatea electrodului: (+)

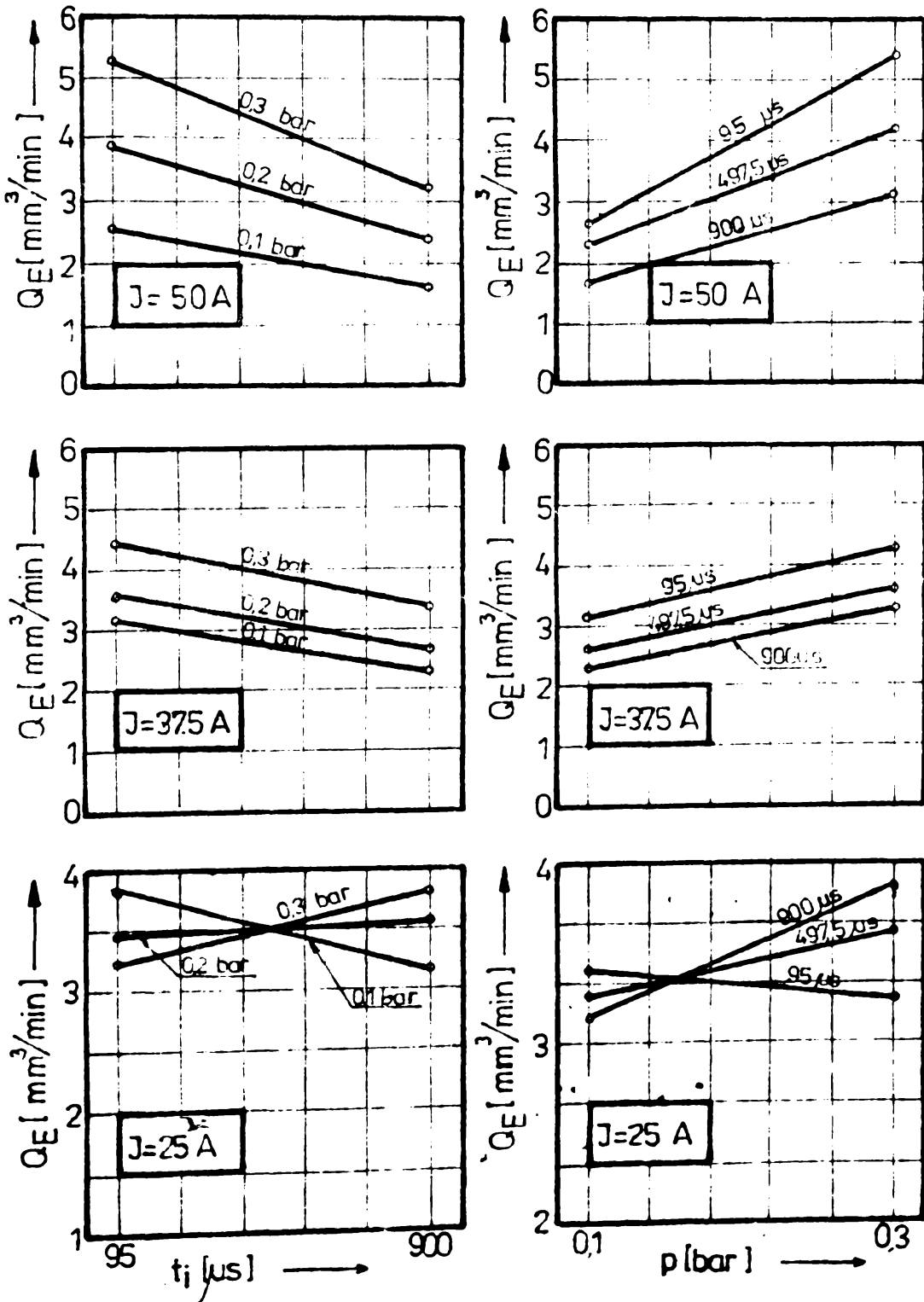


Fig 64. Variația uzurii electrodului în funcție de timpul de impuls și presiunea de lucru.

REGIM DE DEGROSARE

Materialul electrodului: Cu

Polaritatea electrodului (+)

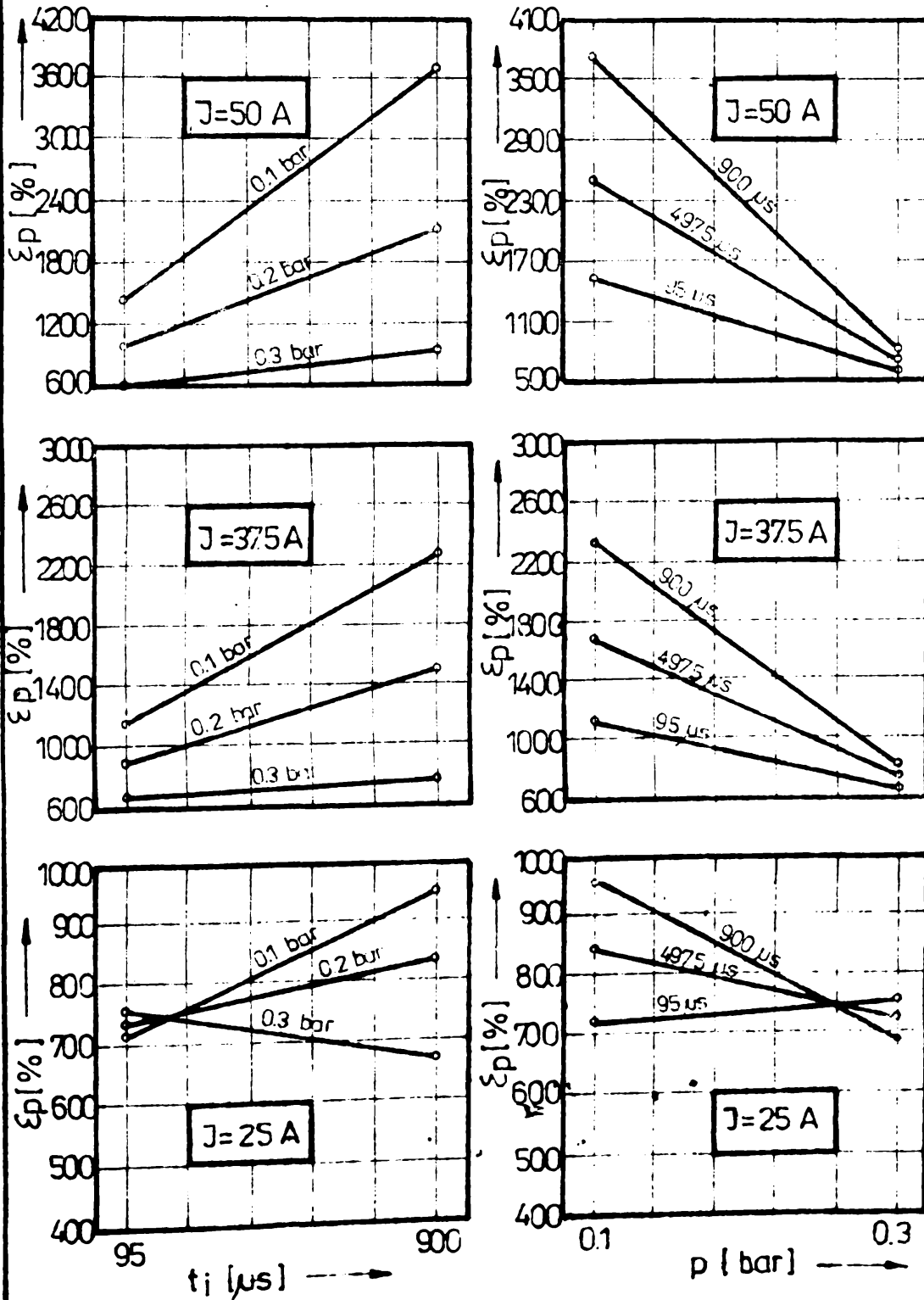


Fig.6.5: Variația prelucrabilității relative volumice în funcție de timpul de impuls și presiunea de lucru.

REGIM DE DEGROSARE

Materiialul electrodului: **Cu**

Polaritatea electrodului **(+)**

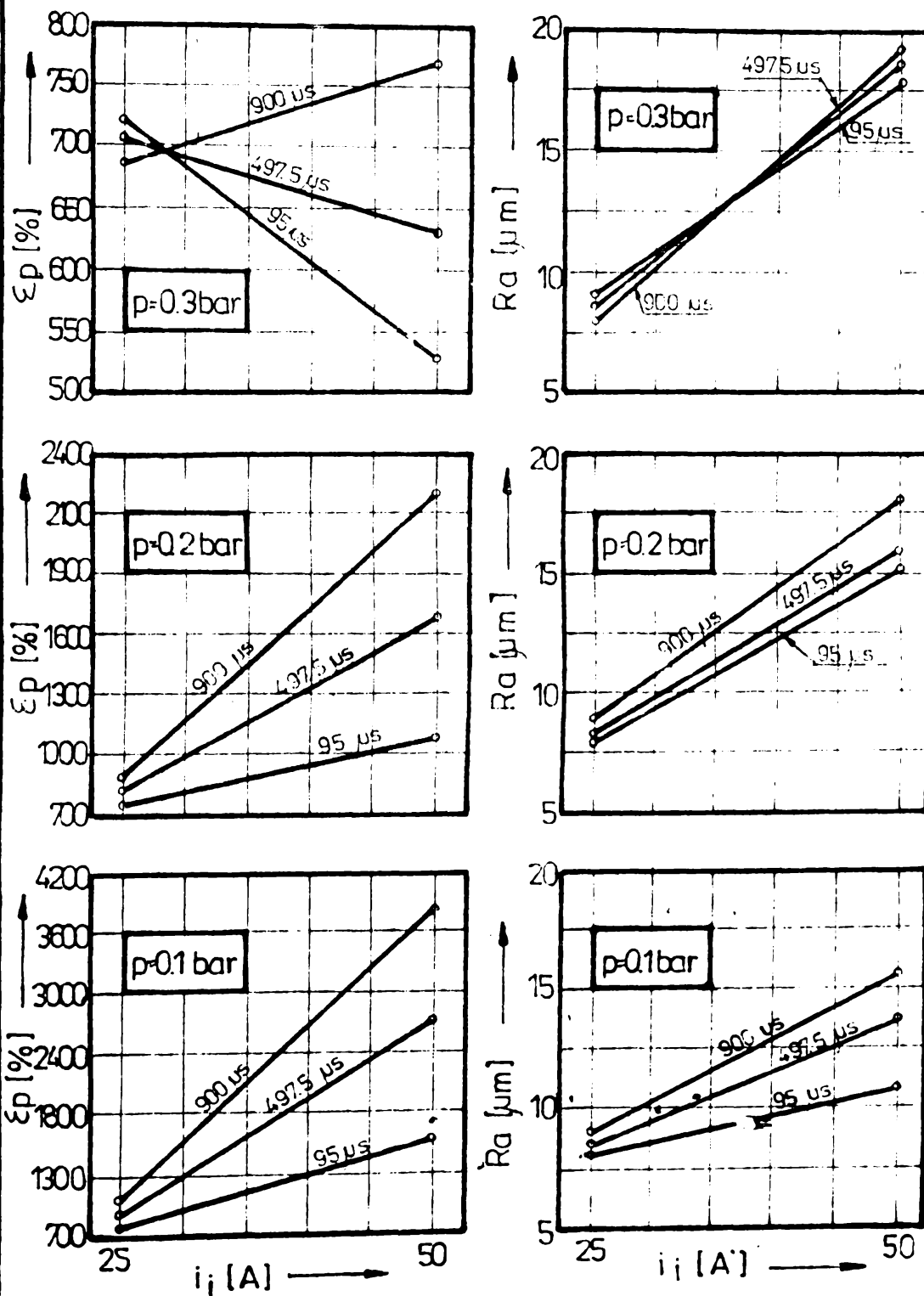


Fig.6.6: Variația prelucrabilității relative volumice și a rugozității în funcție de impulsul de curent.

INSTITUTUL DE RESEARCH
TIMIȘOARA
PLATA CENTRALĂ

REGIM DE DEGROSARE

Materialul electrodului: **CU**

Polaritatea electrodului: **(+)**

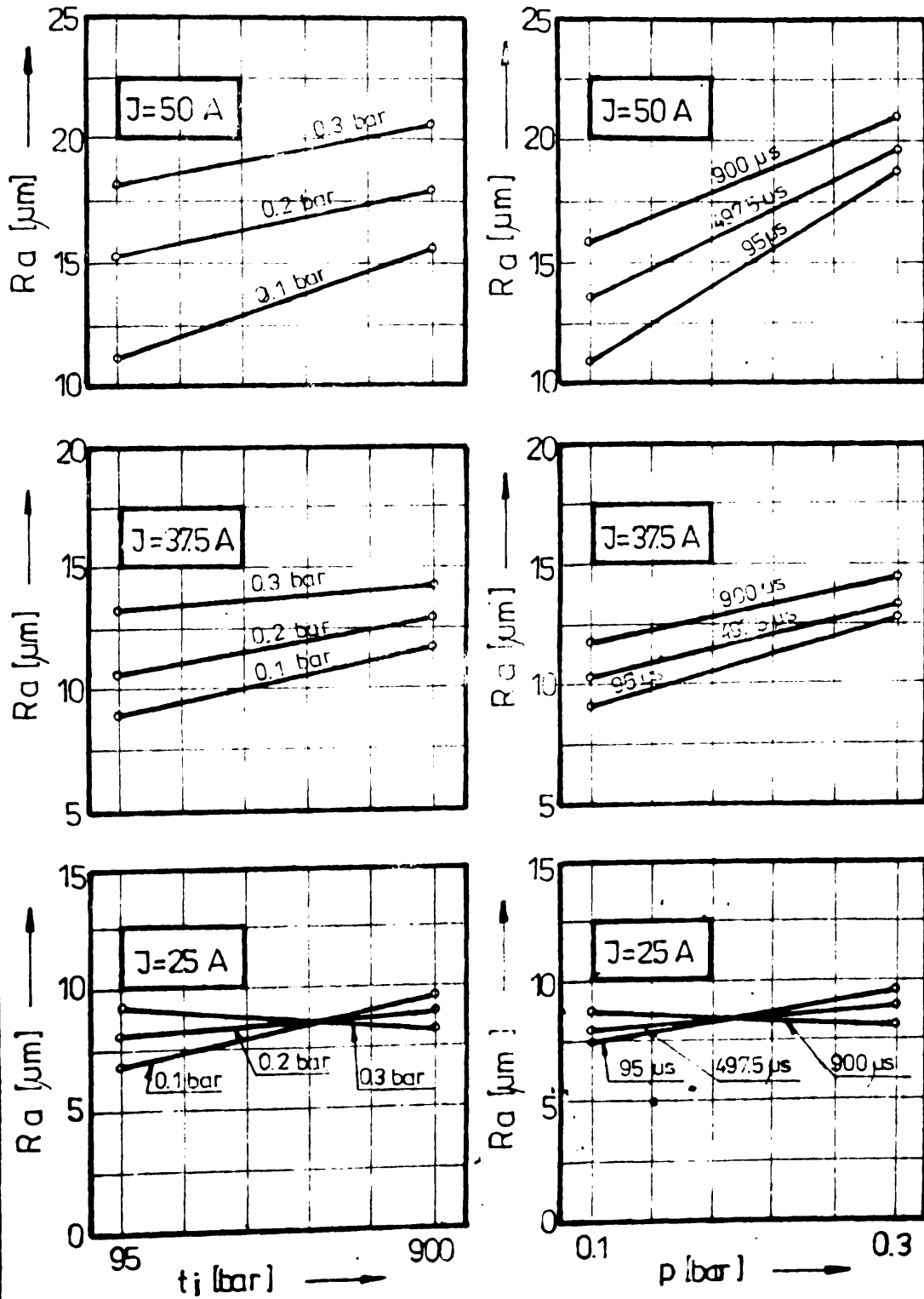


Fig.6.7: Variația rugozității în funcție de timpul de impuls și presiunea de lucru.

REGIM DE DEGROSARE

Materialul electrodului : Cu

Polaritatea electrodului : (+)

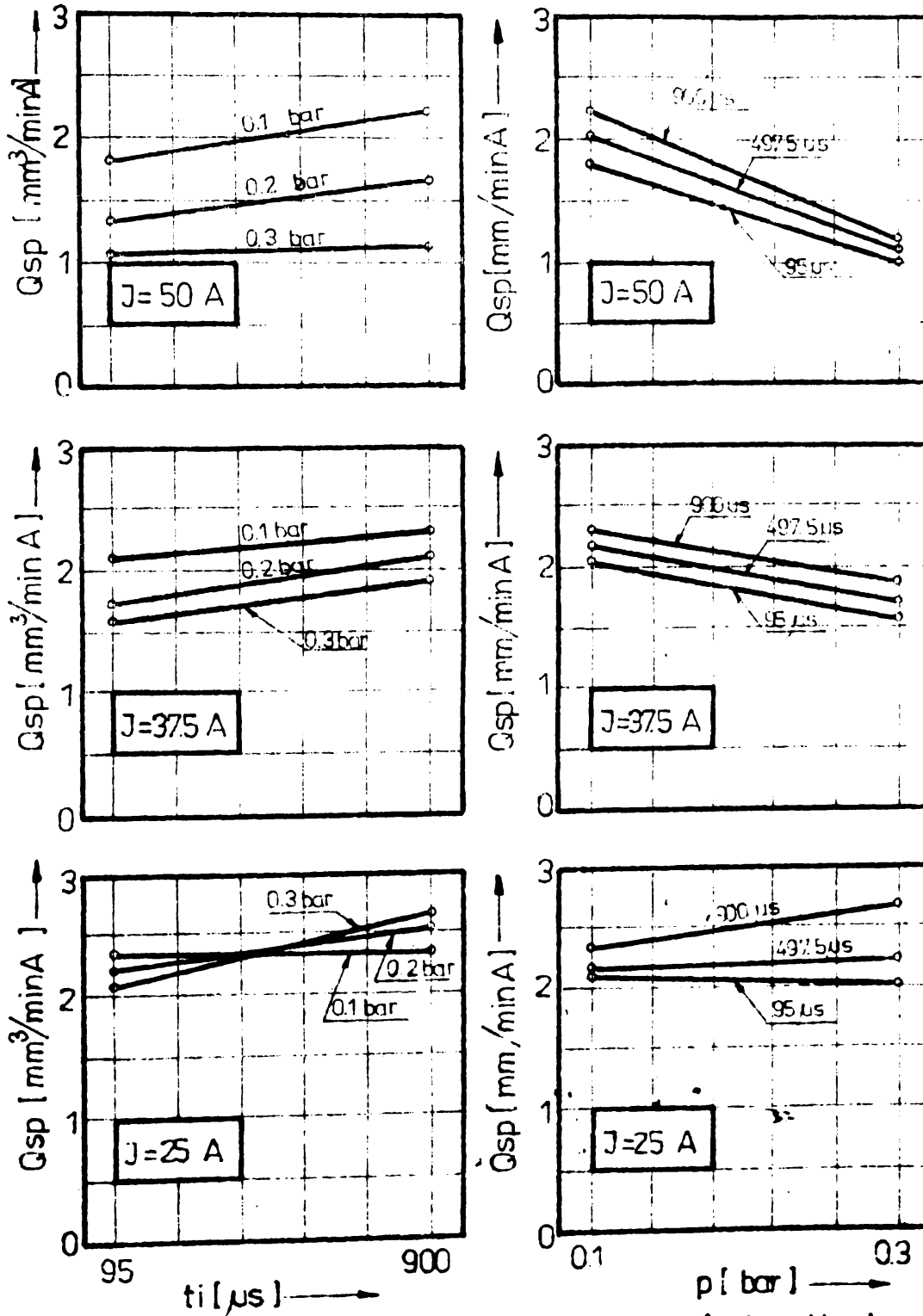


Fig.6.8: Variația productivității specifice în funcție de timpul de impuls și presiunea de lucru.

REGIM DE DEGROSARE

Materialul electrodului: **CU**

Polaritatea electrodului: **+**

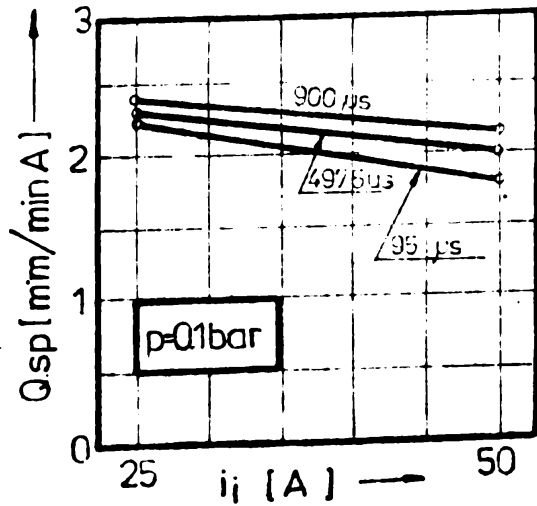
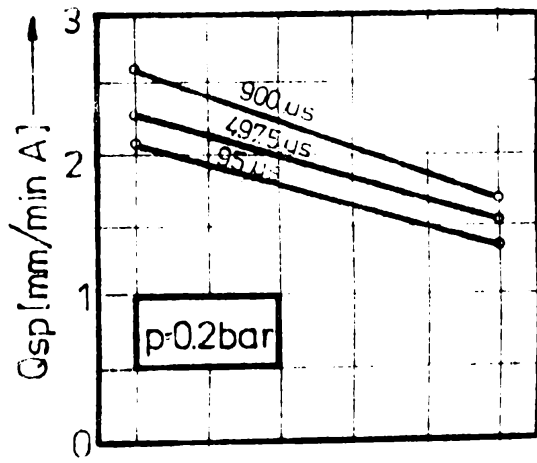
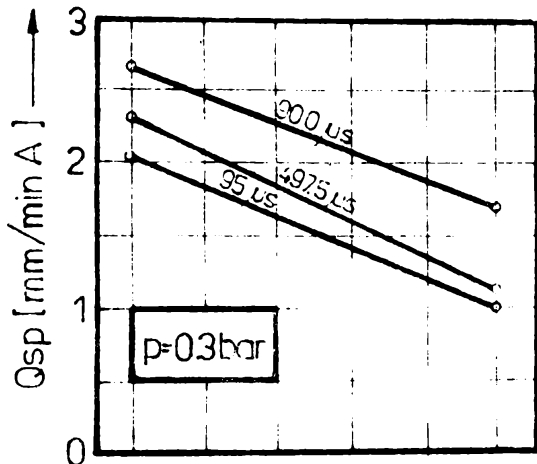


Fig 69: Variația productivității specifice în funcție de impulsul de curent

REGIM DE FINISARE

Materialul electrodului: Cu

Polaritatea electrodului: (+)

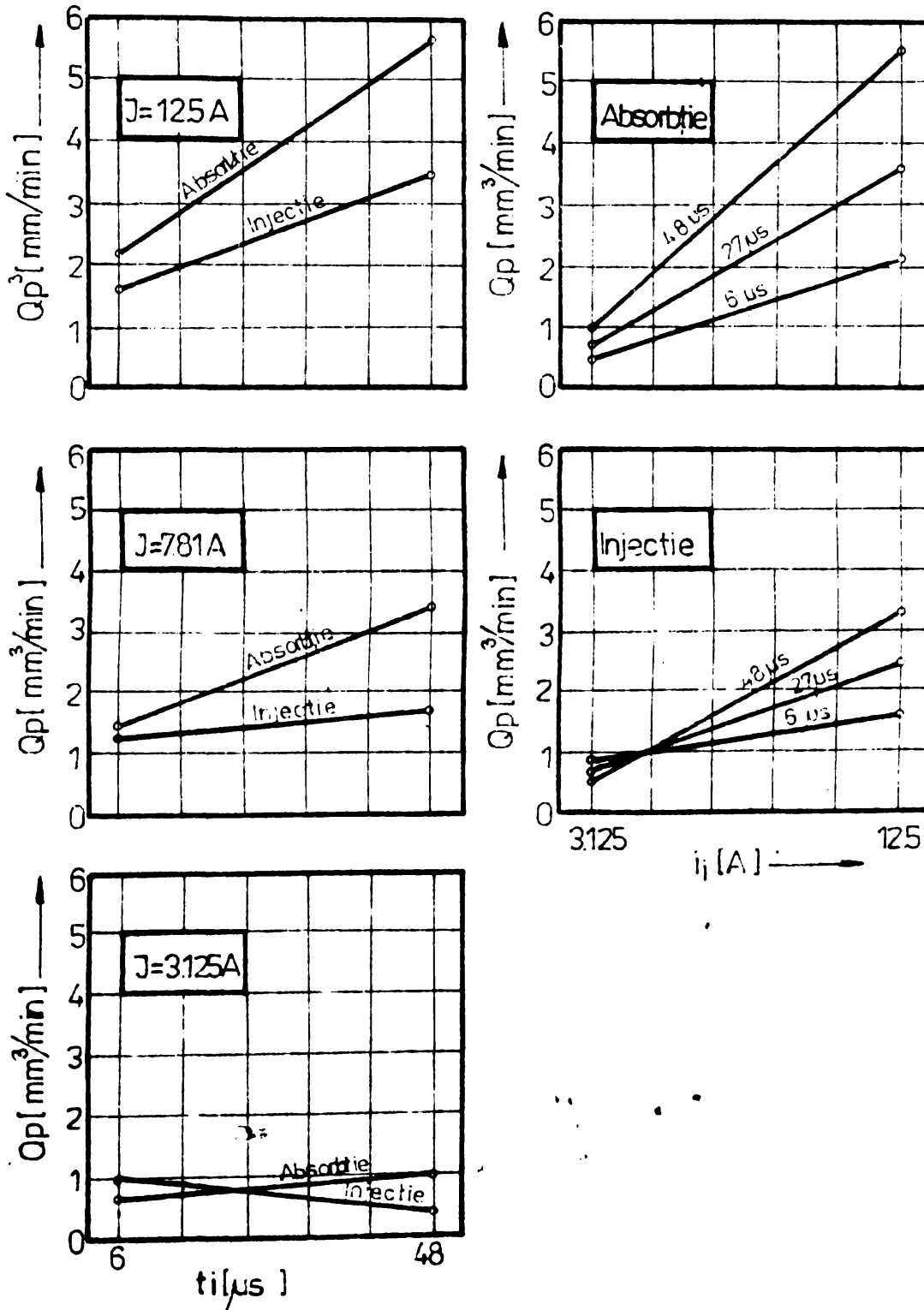


Fig 6:10 Variația productivității în funcție de timpul de impuls și impulsul de curent.

REGIM DE FINISARE

Materialul electrodului Cu

Polaritatea electrodului

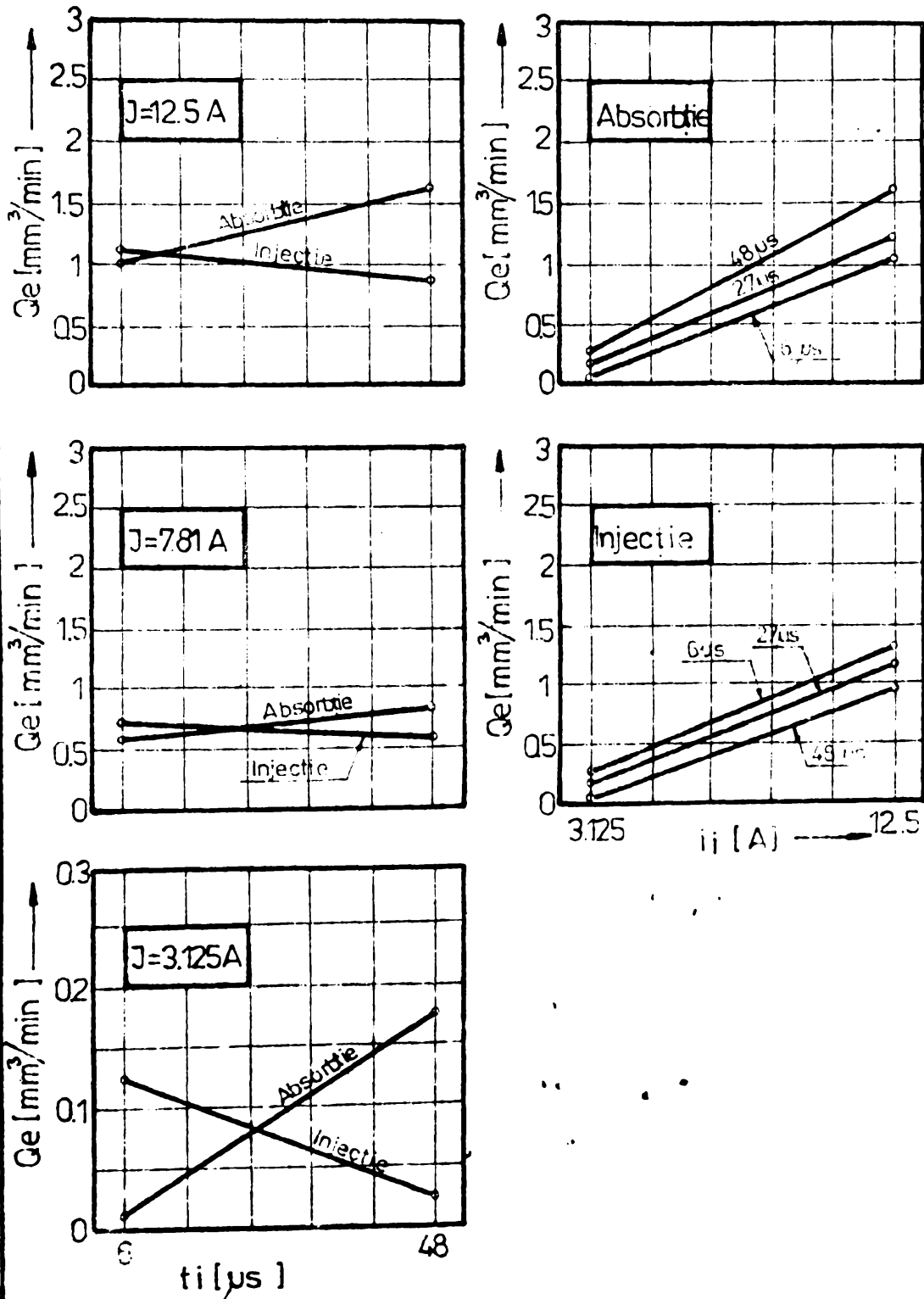


Fig 6.11: Variația uzurii electrodului în funcție de timpul de impuls și impulsul de curent.

REGIM DE FINISARE

Materialul electrodului: Cu

Polaritatea electrodului: (+)

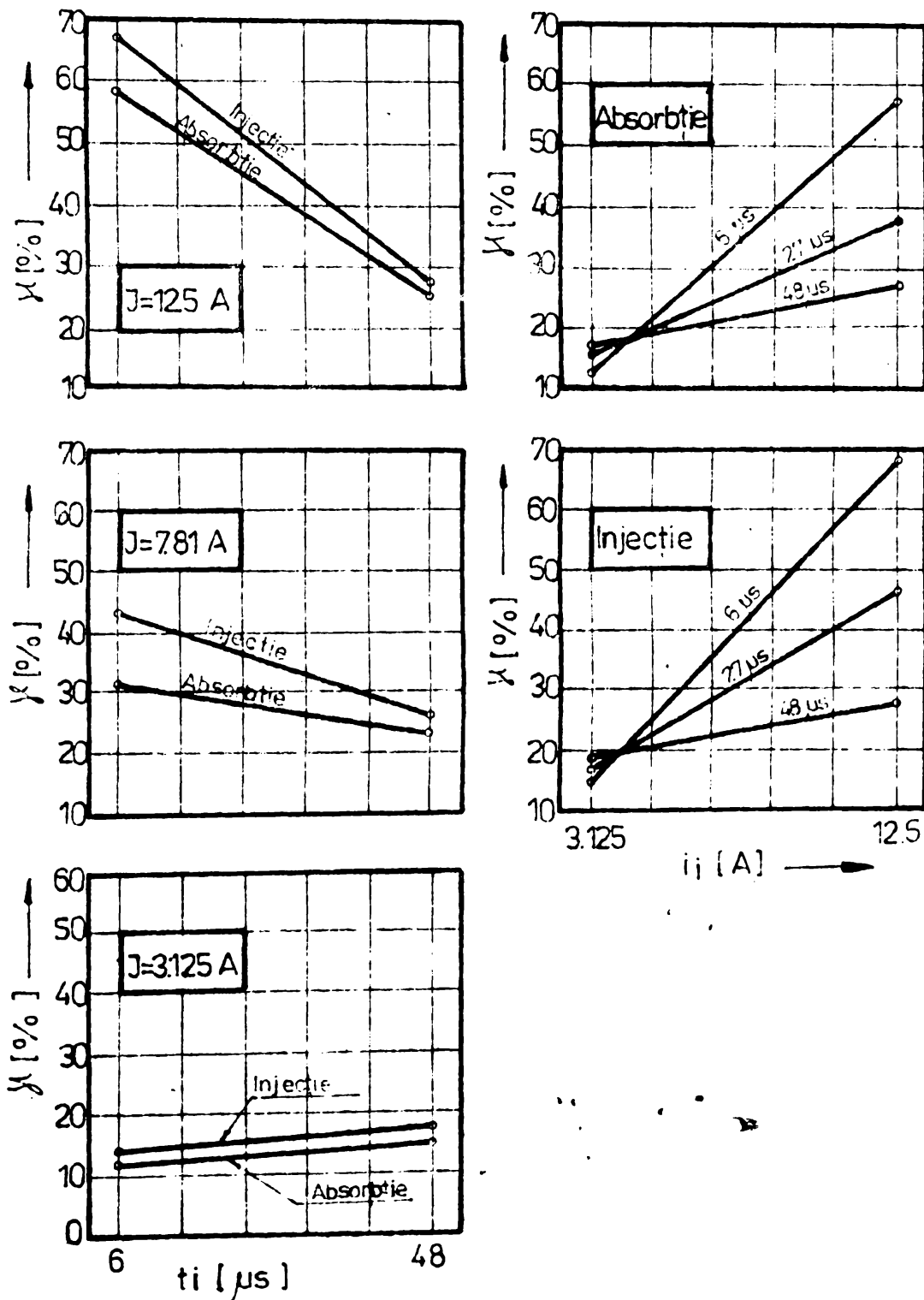


Fig 6.12 Variația coeficientului de uzură relativă volumică în funcție de timpul de impuls și impulsul de curent.

REGIM DE FINISARE

Materialul electrodului: CU

Polaritatea electrodului: (+)

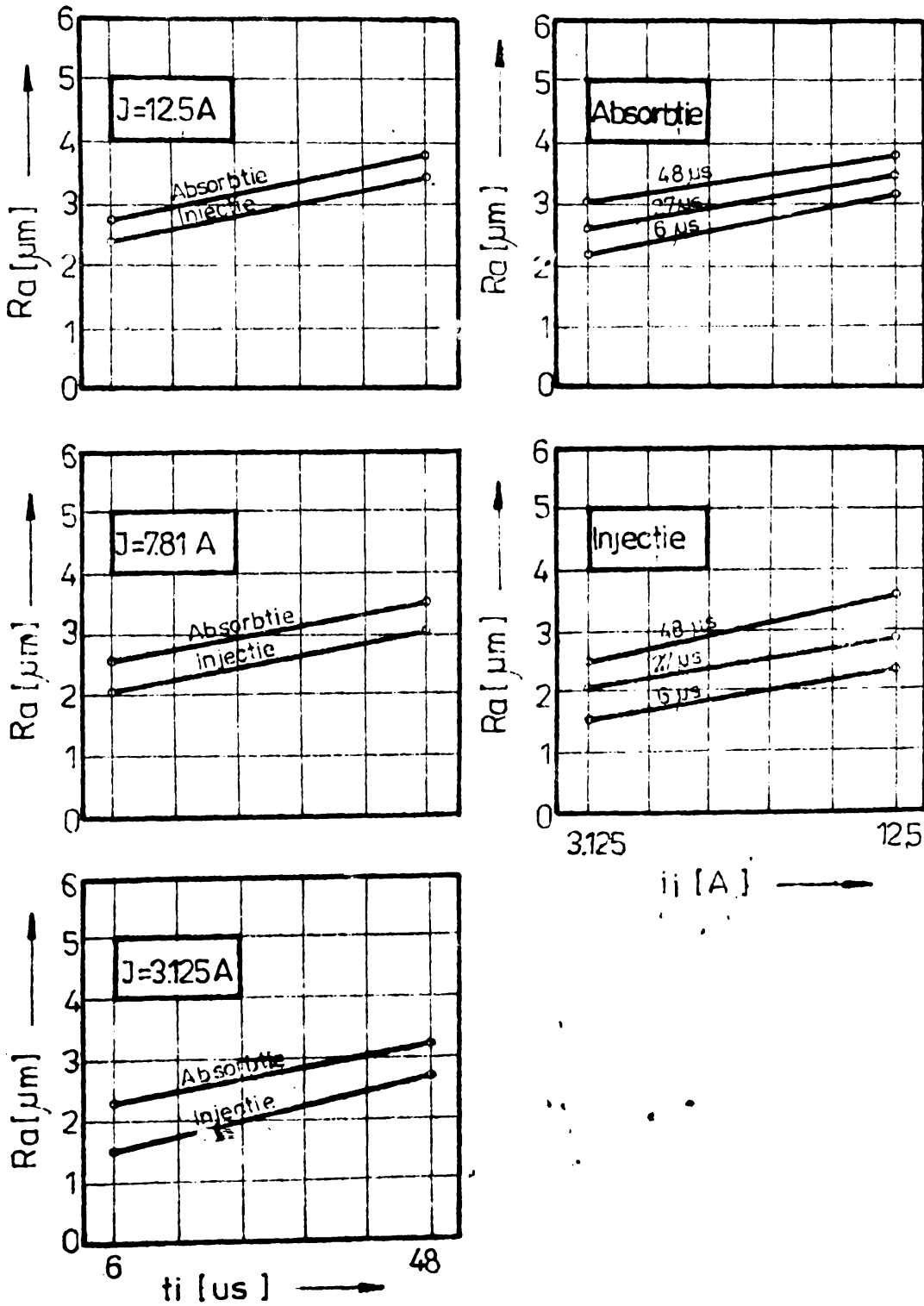


Fig 6:13 Variația rugozității în funcție de timpul de impuls și impulsul de curent.

Utilizând aceste reprezentări grafice pentru un caz de prelucrare dat și o anumită funcție de răspuns urmărită, tehnologul sau operatorul își poate alege un regim de lucru astfel ca tehnologia de prelucrare să fie optimă.

6.8. Aprecieri privind rezultatele obținute prin modelare matematică

Analizând graficele tehnologice de lucru (fig.6.2 ... fig.6.13), se pot trage concluzii privind prelucrarea optimă, pentru degroșare și finisare, a oțelurilor termostabile, cu referiri directe la oțelul V Cr W 85.

Pentru toate graficele trasate, electrodul este confecționat din cupru electrolitic, iar polaritatea este pozitivă.

În cazul prelucrării de degroșare (fig.6.2 ... fig.6.9) principala caracteristică tehnologică urmărită este productivitatea (Q_p).

Analizând fig.6.2, se observă că productivitatea prelucrării (Q_p) crește odată cu valoarea curentului și a timpului de impuls, micșorându-se cu creșterea presiunii lichidului dielectric. Valori maxime ale productivității se vor obține dacă curentul este maxim ($i_1 = 50$ A), timpi de impuls mari ($t_1 = 900$ μ s) și presiuni mici pentru lichidul dielectric ($p = 0,1$ bar). Această afirmație rămâne valabilă și în cazul când parametrul variabil este timpul de impuls (fig.6.3).

Urmărind debitul uzurii (Q_u) se constată că va avea valori maxime când se lucrează cu treapta superioară de curent ($i_1 = 50$ A), presiunea maximă a lichidului dielectric ($p = 0,3$ bar) și valori minime pentru timpul de impuls ($t_1 = 90$ μ s). Pentru tehnolog aceste indicații sînt importante fiindcă în practică trebuie evitați parametrii respectivi. Se vor obține uzuri minime la curenți mari, presiuni minime în lichidul dielectric și valori maxime ale timpului de impuls (fig.6.3 și fig.6.4). În concluzie, se observă că uzura electrodului este funcție de curentul de lucru, presiunea din lichidul dielectric și timpul de impuls (fig. 6.4).

Variația coeficientului de prelucrabilitate volumică (ϵ_p) este prezentată în fig.6.5 și fig.6.6. Din studiul acestor reprezentări reiese că timpul de impuls, curentul și presiunea lichidului dielectric sînt principalii parametri care influențează acest coeficient.

Valorile maxime se obțin lucrând cu curenți mari ($i_1 = 50$ A), presiuni mici ($p = 0,1$ bar), sau cu timpi de impuls mari ($t_1 = 900 \mu\text{s}$) (fig.6.5). Pentru valori minime coeficientul de prelucrabilitate volumică se va lucra cu presiuni mari în lichidul dielectric ($p = 0,3$ bar), trepte minime de curent ($i_1 = 25$ A; $i_1 = 37,5$ A) și valori minime ale timpului de impuls ($t_1 = 95 \mu\text{s}$).

Pentru regimul de degroșare rugozitatea suprafeței prelucrate (R_a) interesează sub aspectul informației necesare privind prelucrarea ulterioară de finisare.

Din reprezentările grafice întocmite (fig.6.6 și fig.6.7) se observă că valorile maxime pentru rugozitate se obțin dacă se lucrează cu valorile limitei superioare ale curentului, presiunii de lucru și timpului de impuls. Pentru valori minime ale rugozității vor fi instalate pe mașină valorile limitei inferioare ale aceluiași parametri.

Indicatorul tehnologic productivitate specifică (Q_{sp}) are importanță deosebită pentru tehnolog, deoarece valoarea ei este măsură a eficacității prelucrării, care se referă la consumul de energie și timpul de mașină.

Studiind graficele întocmite pentru acest indicator tehnologic (fig.6.8 și fig.6.9), se observă că valoarea maximă a productivității specifice se obține dacă se lucrează cu curenți mici ($i_1 = 25$ A), presiuni mari pentru lichidul dielectric ($p = 0,3$ bar) și timpi de impuls mari ($t_1 = 900 \mu\text{s}$).

Pentru faza de finisare (fig.6.10 ... fig.6.13) principalele caracteristici tehnologice urmărite sînt productivitatea și rugozitatea suprafeței prelucrate.

La toate încercările de finisare, electrodul a fost confecționat din cupru electrolitic, legat la polul pozitiv, iar lichidul a fost adus în zona de lucru prin absorbție sau prin injecție.

Urmărind indicele tehnologic productivitatea prelucrării (Q_p), se observă că valoarea maximă se obține lucrând cu limitele superioare ale curentului și timpului de impuls, iar lichidul dielectric în spațiul de lucru este adus prin absorbție. De remarcă că, în toate încercările efectuate pentru faza de finisare, productivitatea prelucrării s-a micșorat oînd lichidul dielectric a fost adus în spațiul de lucru prin injecție (fig.6.10).

Debitul uzurii (Q_z) pentru faza de finisare are mare importanță, mai ales în cazul unor cavități profilate - frecare în-

tîlnite în cazul tehnologiei matrițelor de turnat sub presiune -, cînd precizia acestora este direct influențată și de valoarea acestui parametru tehnologic.

Din graficele întocmite (fig.6.11) se constată că valoarea minimă a uzurii electrodului o vom obține dacă se lucrează cu un curent, $i_1 = 3,125$ A, timpul de impuls, $t_1 = 6\mu s$, iar lichidul dielectric va fi adus în spațiul de lucru prin absorbție.

Graficele determinate pentru indicele tehnologic, coeficient de uzură relativă volumică (\mathcal{V}) au scos în evidență faptul că valoarea minimă a acestui coeficient se obține pentru aceleași valori ale parametrilor care asigură valoarea minimă a debitului uzurii (fig.6.12).

Avînd în vedere că suprafața piesei prelucrate influențează în mod direct suprafața pieselor obținute prin turnarea sub presiune, indicatorul tehnologic rugozitatea suprafeței prelucrate (R_a) este foarte important pentru tehnolog la faza de finisare.

Studiind graficele întocmite pentru acest parametru (fig. 6.13), se constată că valori minime ale rugozității se obțin dacă se lucrează cu limitele inferioare ale curenților și timpului de impuls, iar lichidul dielectric este adus în spațiul de lucru prin injecție.

În concluzie se poate aprecia că rezultatele obținute și graficele executate sînt în concordanță cu aspectele teoretice ale prelucrării oțelurilor termostabile, cercetate, fundamentate și experimentate în capitolele precedente, constituind o documentație de bază pentru tehnolog, în stabilirea și alegerea parametrilor optimi ai procesului de prelucrare prin eroziune electrică a matrițelor de turnat sub presiune.

C A P I T O L U L 7

CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚIILE ORIGINALE ALE AUTORULUI

În urma studiului acestei lucrări se desprind următoarele concluzii generale:

1. Pentru realizarea oricărui tip de matriță folosită la turnarea sub presiune este necesară parcurgerea unui itinerar specific de proiectare, care ține cont de forțele ce apar în procesul de turnare, materialul care se toarnă, forma și dimensiunea semifabricatului turnat și numărul de semifabricate ce se toarnă simultan.
2. Prelucrarea prin eroziune electrică se poate aplica cu succes și în tehnologia matrițelor, unde se impune o intensificare a cercetărilor teoretice și experimentale în direcția generalizării proiectării matrițelor și a formei electrozilor cu ajutorul calculatorului, ceea ce va duce, în mod direct, la creșterea productivității, a preciziei de prelucrare și la reducerea prețului de cost.
3. Datorită creșterii prețurilor materiilor prime, materialelor, energiei, se cere o selectare riguroasă, fundamentată tehnic și economic, a unui număr relativ redus de tehnologii privind fabricarea electrozilor-șculă, funcție de materialele disponibile și tipurile de cavități ce vor fi prelucrate, astfel încât, prin consumuri specifice de energie, manoperă și materiale, să se obțină electrozi cu costuri minime.
4. Teza de doctorat a încercat să rezolve într-o viziune modernă problema tehnologiei matrițelor de turnat sub presiune, pornind de la cercetarea fundamentală a aspectelor complexe ale proceselor electroerozive, pînă la rezolvarea unor probleme practice de mare interes pentru producție (ghid de proiectare cu tipizarea elementelor matrițelor, proiectarea matrițelor cu ajutorul calculatorului, tehnologii optime pentru electrozi șculă, proiectarea unei familii de dispozitive etc.) în scopul optimizării tehnologiei de prelucrare pentru aceste matrițe. Acum, cînd rezultatele obținute au fost confirmate în timpul numeroaselor experimentări efectuate de către autor, pe o perioadă de aproape zece ani, se poate aprecia că acestora li s-a dat o interpretare unitară, avînd la bază tratarea sistemică a fenomenelor complexe, cum sînt și cele ale prelucrării prin eroziune electrică.

Principalele contribuții originale aduse în cadrul lucrării sînt următoarele:

A. În domeniul cercetării fundamentale

1. Realizarea unui studiu monografic privind stadiul actual al tehnologiilor folosite pentru prelucrarea matrițelor de turnat sub presiune, stabilindu-se domeniile și limitele de aplicare.

2. Definirea uzurii electrodului, a durabilității și rezistenței la eroziunea electrică a unui material electroconductor și indicarea condițiilor pentru încercarea la durabilitate electroerozivă.

3. Introducerea unei ordini sistemice în studiul factorilor și parametrilor, care intervin în procesul eroziunii electrice, grupîndu-i în mărimi de intrare aferente utilajului tehnologic și spațiului de lucru, pe de o parte și mărimi de ieșire, care caracterizează piesa de prelucrat și electrodul sculă, pe de altă parte.

4. Stabilirea unei ierarhizări a influenței factorilor și parametrilor de intrare reglabili, care determină relațiile de ieșire ale sistemului prin valorile caracteristicilor tehnologice urmărite, pentru cazul particular al prelucrării oțelurilor termostabile, utilizînd metoda bilanțului aleatoriu.

5. Elaborarea unui program de calcul, scris în limbaj BASIC, rulat pe un calculator AMIC, pentru aplicarea metodei bilanțului aleatoriu; rezultatele obținute în urma acestui calcul sînt date tabelar.

6. S-a realizat un studiu al tehnologiei de prelucrare prin eroziune electrică, bazat pe modelarea experimentală prin utilizarea statisticii matematice și a analizei regresionale. În acest sistem de lucru, valorile mai multor factori independenți au fost modificate simultan, iar efectele fiecăruia și cele ale interacțiunilor lor au fost determinate separat.

7. Realizarea unui program de calcul scris în limbaj BASIC, rulat pe calculatorul AMIC, pentru modelarea matematică a procesului tehnologic de prelucrare dimensională prin eroziune electrică a matrițelor de turnat sub presiune. În acest sens au fost obținute 135 de ecuații de regresie, pentru faza de degroșare și 48 ecuații de regresie, pentru faza de finisare. Cu aceste ecuații s-au determinat dreptele de regresie aferente cu care au

1
fost trasate graficele de interdependență. Pe baza acestor grafice s-au efectuat verificările experimentale ale modelului matematic, obținându-se precizii de 4 %.

8. Optimizarea parametrilor electro-tehnologici utilizați la prelucrarea oțelurilor termostabile, în vederea obținerii unei calități a suprafeței prescrise de către proiectant.

B. In domeniul cercetării aplicative

9. Realizarea unei sinteze asupra tehnologiei de fabricare a pieselor mici din aliaje de siluminiu, zamac și alamă, indicându-se pentru fiecare procedeu domeniul de aplicare, avantajele și dezavantajele acestuia.

10. Studiu asupra procedurii de turnare sub presiune, în care sînt evidențiate avantajele incontestabile ale utilizării acestui procedeu, în comparație cu alte procedee de turnare, la fabricarea pieselor din siluminiu, zamac și alama, în producția de serie mare și masă.

11. Realizarea unei tipicări ample pentru toate elementele matritelor de turnat sub presiune - cu ajutorul căreia se pot proiecta ușor și rapid diferite tipuri de matrite din elemente tipizate și modulate.

12. Proiectarea cu ajutorul calculatorului a matritelor de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru dispozitivul de blocare a cheii de locomotivă IE 6580 C.P. În acest sens s-a întocmit un program scris în limbaj FORTRAN, iar rularea programului s-a făcut pe un calculator CORAL 4030.

13. Studiul procesului de prelucrare prin eroziune electrică cu electrod masiv pentru fabricarea matritelor de turnat sub presiune și pregătirea acestei fabricații.

14. Studiul comparativ al procedurilor de fabricare a electrozilor pentru prelucrarea prin eroziune electrică, cu indicarea procedurilor optime ale acestora în tehnologia matritelor.

15. Ordonarea parametrilor reglabili ai procesului, după amplitudinea efectului produs asupra caracteristicilor tehnologice analizate pentru regimul de degroșare, cât și pentru cel de finisare, în cazul particular al oțelurilor termostabile. În acest mod s-a stabilit direct și concret, pentru tehnologii din producție, factorii cu influență principală și cei cu influență secundară, pentru fiecare caracteristică tehnologică urmărită.

16. Determinarea nivelurilor caracteristice ale parametrilor de reglare, care realizează minimizarea sau maximizarea func-

țiilor de răspuns urmărite, pentru prelucrarea prin eroziune electrică a oțelurilor termostabile, elemente de bază la proiectarea acestor tehnologii.

17. Experimentarea cu ajutorul modelelor matematice, deduse pe baza analizei de regresie și verificate prin analiza de corelație, a dependenței dintre funcția de răspuns analizată și variabilele independente cu influență principală, în cazul particular al prelucrării oțelurilor termostabile. Folosind modelele matematice elaborate, tehnologii vor trage concluziile necesare proiectării unui proces tehnologic optim.

18. Elaborarea unor principii de optimizare a prelucrării prin eroziune electrică a oțelurilor termostabile, sub forma unor relații matematice pentru determinarea valorilor funcției de răspuns și a unor drepte de regresie care delimitează zona de optim. Pentru regimul de degroșare și finisare sînt date graficele cu domeniile optime de prelucrare, cuprinzînd toate funcțiile de răspuns importante, utile în practica industrială la proiectarea proceselor tehnologice electroerozive.

C. In domeniul cercetării experimentale și al valorificării rezultatelor obținute

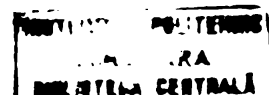
19. Realizarea și experimentarea unor rigle etalon privind determinarea rugozității cavităților matrițelor prelucrate prin eroziune electrică atât pe suprafețele laterale, cît și pe suprafețele frontale.

20. Stabilirea experimentală a regimului de prelucrare a oțelurilor termostabile prin eroziune electrică cu electrod masiv.

21. Proiectarea, realizarea și experimentarea unui echipament pentru galvanoplastia activată a cuprului, destinat fabricării electrozilor de dimensiuni mari, utilizați la fabricarea matrițelor prin eroziune electrică. Metoda este eficientă tehnic și economic deoarece asigură economii de 75 - 80 % la consumul specific de cupru.

22. Proiectarea, realizarea și experimentarea unei familii de dispozitive folosite la prelucrarea prin eroziune electrică a matrițelor de turnat sub presiune, care au constituit obiectul contractului de cercetare Nr.3554/1984-85, cu U.A.M.T.Oradea.

23. Proiectarea, realizarea și experimentarea unei matrițe de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru rotoarele



de blocare DACIA 1300. Contract de cercetare Nr.306/1986, cu U.A.M.T.Oradea.

24. Proiectarea, realizarea și experimentarea unei matrițe de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru dispozitivul de blocare a cheii de locomotivă IE 6580 C.P., Contract de cercetare Nr.306/A, 1987, cu U.A.M.T.Oradea.

25. Proiectarea, realizarea și experimentarea unei matrițe de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru indicatoarele tip ale autoturismului de teren ARO. Contract de cercetare Nr.595/1988, cu U.A.M.T.Oradea.

Prin această lucrare, fără a avea pretenția unei cuprinderi exhaustive a temei abordate, se consideră că s-au adus unele contribuții la elucidarea unor aspecte teoretice și, mai ales, practice privind prelucrarea prin eroziune electrică a matrițelor, rezultatele cercetărilor fiind experimentate și aplicate în câteva întreprinderi, pe baza eficienței economice obținute apreciindu-se necesitatea generalizării și în alte întreprinderi constructive de mașini, în scopul obținerii unor produse cu parametri constructivi, tehnologici și funcționali ridicați, competitive cu produsele similare pe plan mondial, la un preț de cost minim.

B I B L I O G R A F I E

1. x x x Programul directivă de cercetare științifică și de introducere a progresului tehnic în perioada 1981-1990 și direcțiile principale până în anul 2000. București, Editura Politică, 1979.
2. Ceaușescu, Nicolae. Raport la cel de-al XIII-lea Congres al Partidului Comunist Român. București, Editura Politică, 1984.
3. Achimescu, N. Particularități ale utilizării pseudoaliajului Cu 92-C8 ca material de electrod la prelucrarea prin eroziune electrică. In: Buletin științific, I.I.S Sibiu, vol.III, 1980.
4. Achimescu, N. Studiul procesului de generare al formelor spațiale la prelucrarea prin eroziune electrică-aspecte geometrice și substanțiale. Teză de doctorat, I.P.T V., Timișoara, 1983.
5. Achimescu, N. și Popa, H. Influența factorilor geometrici asupra utilizării electrodului la prelucrarea electroerozivă cu copierea formei, In: Buletin științific și tehnic, I.P.P.V., Timișoara, Nr.2, 1972.
6. Adler, Yu.P., Markova, E.V., Granovski, Yu. V. The design of experiments to find optimal conditions, Mir Publishers, Moscow, 1975.
7. Aftan, F.A. și Baranov, A.V. Utilizarea lichidului ITK3 pentru prelucrarea prin eroziune electrică a pieselor aparatului pentru combustibil. In: Dvigatellestranie, URSS, Nr.9, 1981.
8. Armenskii, E.V. ș.a. Sovremennii uroveni razvitiia elektroerozionnoi i elektroerozionnoi i elektrohimicheskoj obrabotki materialov za rubejom, in Elektronnaia abra-bitka materialov, Nr.2, Kisinev, 1971.
9. Astahov, I.V. ș.a. Elektroerozionnie kopirovalinie-prosivocinie stanki normalnoi tocinosti, in stanki i instrument, Nr.9, Moskva, 1977.
10. Avram, I. Stadiul actual al aplicării tehnologiilor neconvenționale în construcția de mașini, C.N.T.N., Timișoara, 1971.
11. Balley's, F. Istoropische Bearbeitungs, in Frtigung, Nr.3, 1979.

12. Baron, T. Calitatea și fiabilitatea produselor, București, Editura Didactică și Pedagogică, 1978.
13. Baron, T. Metode statistice pentru analiza și controlul calității produselor. București, E.D.P, 1979.
14. Baron, T. ș.a. Statistică pentru comerț și turism. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1981.
15. Barz, E. Technologische Grundlagen für die Optimierung des funkenerosiven Senken, in Industrie Anzeiger, Nr.88, 1978.
16. Beliavski, E.M. ș.a. Generator de impulsuri cu tiristoare. Brevet de invenție Nr.917986, URSS, 1982.
17. Bennet, C.A., Franklin, N.L. Statistical Analysis in chemistry an the chemical Industry John Wiley Sons, Inc. New-York; London-Sydney, 1967.
18. Beyer, O. ș.a. Stochastische Prozesse und Modelle B S B; B, G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig, 1978.
19. Bhattacharyya, A. ș.a. Optimization analysis of the performance of relaxation circuit of electro-discharge machining process. CIRP, Italia, Pisa, 1971.
20. Biess, G. ș.a. Optimale Prozesse und Systeme BSB; B, G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1980.
21. Boikov, A.F. Generator de impulsuri tiristorizat pentru tăierea de mare productivitate prin eroziune electrică. In: Elektronnaia obrabotka materialov, URSS, 96, Nr.2, 1981.
22. Bronstein, L.I. ș.a. Generator de impulsuri tiristorizat. Brevet de invenție Nr.722717, URSS, 1980.
23. Bucur, I. Tipizarea în construcția de mașini. București, Editura Tehnică, 1981.
24. Bucur, I. Tipizarea și unificarea, bază a specializării și cooperării în producția utilajelor de construcții. In: Standardizarea Română, Nr.12 din decembrie, 1973 și Nr.2 din februarie, 1974.
25. Bucur, I. Aplicarea principiilor unificării și agregatizării în domeniul unor utilaje terasiere și de transport. In: Standardizarea română Nr.4 din iulie 1973 și Nr.8 din august, 1973.
26. Buzdugan, Gh. Rezistența materialelor. București, Editura Tehnică, 1970.
27. Bühler, S. Buletin de informare. Turnarea sub presiune a aliajelor neferoase. R.F.G., 1979.

28. Ceaușescu, D. Utilizarea statisticii matematice în chimia analitică. București, Editura Tehnică, 1982.
29. Ceaușescu, D. Tratatul statistică a datelor chimico-analitice. București, Editura Tehnică, 1973.
30. Childere, B. Materiale frittate, putînd fi utilizate ca electrozi la prelucrări prin electroeroziune. Conferința firmei UGINE-CARBONE, București, 1979.
31. Chira, I. Sofroni, L., Brabie, V. Procedee speciale de turnare. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1980.
32. Ciucu, G., Craiu, V. Introducerea în teoria probabilităților și statistica matematică. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1971.
33. Coandă, V. Contribuții teoretice și experimentale la studiul distribuției fluxului de căldură în focarele generatoarelor de aburi. Teză de doctorat. I.I.V. Timișoara, 1981.
34. Conard, H. ș.a. Zur Optimierung des EIM - Prozesses ISEM 4, Bratislava, 1974.
35. Cosneanu, C., Vida, M. Turnarea în forme ceramice. București, Editura Tehnică, 1978.
36. Constantinescu, I. ș.a. Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice. București, Ed. Tehnică, 1980.
37. Crișan, I., Dobre, N. Automatizarea montajului în construcția de mașini. București, Editura Tehnică, 1979.
38. Crookal, J.R. Electro-discharge machining the present and future, în Eng. Dig., Nr.9, 1973.
39. Crookal, J.R. Heuvelman, C.J. Electro-discharge machining. The state of the art. CIRP, Nr.2, 1971.
40. Dimitriu, N. ș.a. Determinarea experimental - analitică a parametrilor tehnologici la mașinile de prelucrat prin eroziune electrică. In: Construcția de mașini, Nr.10, 1984.
41. Dini, J.W., Jonson, H.R. Separating Large Thin Electroformed Parts from Mandrels în Metal Finishing, Nr.9, 1970.
42. Domșa, S., Miron, Z. Indrumător pentru utilizarea fontelor, oțelurilor și aliajelor neferoase. București, Editura Tehnică, 1986.
43. Domșa, A., Domșa, S. Materiale metalice în construcția de mașini și instalații. Cluj-Napoca, Ed. Dacia, 1981.

44. Dragomir, E., Joazay, L. Model matematic privind ordonarea parametrilor de influență ai procesului de prelucrare prin eroziune electrică după amplitudinea efectului produs. In: CNTN, Sibiu, 1982.
45. Dragomir, E., ș.a. Analiza productivității prelucrării prin eroziune electrică a carburilor metalice de tip G 10 prin metoda regresiei. In: CNTN, Sibiu, 1982.
46. Dragomir, E., ș.a. Influența asupra productivității a parametrilor tehnologici ai prelucrării prin eroziune electrică a aliajelor dure sinterizate de tip G 60. In: A XXVII-a sesiune de comunicări științifice în cinstea zilei metalurgistului, București, 1984.
47. Drăghici, G. Incercări de prelucrare simultană a orificiilor multiple prin eroziune electrică. In: CNTN, Sibiu, 1982.
48. Drăghici, G. Program de calcul pentru stabilirea ponderii de influență a parametrilor la prelucrarea prin eroziune electrică. Lucrările primei conferințe „Tehnologii și echipamente noi în construcția de mașini”. Brașov, 7-8 noiembrie, 1986.
49. Dreucean, A., ș.a. Idichide de lucru pentru prelucrarea metalelor prin eroziune electrică, invenție R.S.A. Nr.54079, înregistrată 1968.
50. Drimer, D. Flexibilitate în gândire și acțiune pentru suplimentarea progresului tehnologic, în Era socialistă, Nr. 12, 1978.
51. Drimer, D. Asupra izvoarelor și resurselor științifice ale tehnologiilor neconvenționale, CNTN, 4, Timișoara, 1983.
52. Dumitru, I. Album de matrițe pentru turnarea sub presiune. București, Editat de I.C.P.T.C.M. prin OIJ-ICM, 1977.
53. Dumitru, I. Turnarea sub presiune a aliajelor neferoase. București, Editura Tehnică, 1966.
54. Dumitraș, C., ș.a. Stanțe și matrițe din elemente modulate. București, Editura Tehnică, 1980.
55. Dumitraș, C., Militaru, C. Soluții practice de realizare a stanțelor și matrițelor din elemente modulate. In: Construcția de mașini nr.10/1976.
56. Dumpe, V.E. Elektroerozionnaia obrabotka detalei, Kiev, Izd. Tehnika, 1975.
57. Eizner, B.A. Forme de mișcare orbitale a electrodului sculă. In: Elektroerionnaia obrabotka materialov, URSS, 1983.

58. Eizner, B.A. O ostîreh osnoevnih vidah orbitalnago dvijenüa elektroda - instrumenta. In: Elektronnaia obrabotka, materialov, URSS, nr.2, 1984.
59. Eizner, B.A. Posibilitățile tehnologice ale tăierii prin eroziune electrică cu doi electrozi filiformi. In: Elektronnaia obrabotka materialov, 77, Nr.1, 1981.
60. Emerson, C. EDM for high output, in Amer. Mach, Nr.24, 1972
61. Enache, St., ș.a. Proiectarea formei pieselor în construcția de mașini. București, Editura Tehnică, 1979.
62. Florea, V., ș.a. Procedeu de executare a electrozilor pentru mașinile de prelucrat prin eroziune electrică, invenție RSR, nr. 54946, înregistrată în 1971.
63. Florescu, I. Progrese în tehnologia procedeelor neconvenționale de prelucrare a metalelor. București, INID, 1978
64. Focsco, G. Tehnologia electrochimică. București, Editura tehnică, 1969.
65. Foigelman, G.A. Album de stanțe și matrite universale. București, Editura Tehnică, 1972.
66. Foteev, N.K. Fiziko - tehnologhiceskie cenovii processov elektroerozionnoi obrabotki rebeoih povernnostej tehnologiceskei esbasski. In: Elektronnaia obrabotka materialov, URSS, Nr.5, 1980.
67. Foolov, V.K. Spasobi Umenisenüa iznosa elektroda-instrumenta pri elektroiskorovoi obrabotke tokoprovodiatsih materialov, Elektronnaia obrabotka materialov, Kisineu, Nr.4, 1979.
68. Frommer, L - Lieby. Druckgiess - Technik Bd. I. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg, New-York, 1965.
69. Gavrilas, I., Marinescu, N.I. Prelucrarea prin electroeroziune și electrochimie abrazivă. București, Editura Tehnică, 1980.
70. Gavrilas, I., Oprean, C. Prelucrarea cavităților prin electroeroziune cu electrod orbital. CNTN 4. Timișoara, 1983.
71. Gădea, S., ș.a. Manualul inginerului metalurg, vol. II. București, Editura Tehnică, 1982.
72. Geru, N. Metalurgie fizică. București, E.D.P., 1961.
73. Geru, N. Materiale metalice. Structură, proprietăți, utilizări. București, Editura Tehnică, 1985.
74. Glavortshin, S.B. Experimentalnoe issledovanie mehanizma eva-

- 1
- kuații productov erozii i evo vliianie na proizvoditelnosti i tacinosti elektroerozionnoi obrabotki, avtoreferat, disertații, Moskva, 1969.
75. Glück, A. Metode matematice în industria chimică. București, Editura Tehnică, 1971.
 76. Gogoasă, I. Cercetări tehnologice privind posibilitățile de extindere a procedeeilor de prelucrare prin eroziune electrică în R.S.R., C.N.T.N.2. București, 1977.
 77. Gorokii, V.A. Tehnologhiceskii proțess i oboredovaniedelia elektroerozionnoi obrabotki kulacikovih valikov, în Elektrofiziceskie i elektrohimiceskie metodî obrabotki, nr.2, Moskva, 1973.
 78. Gough, P.J. Advances in EDM technology, în Metalurgia, Nr.5, 1979.
 79. Grigorieva, N.S. Elektrofizicesckie i elektrohimiceskie metodî obrabotki materialov în Stanki i instrument, Nr.6, Moskva, 1975.
 80. Grundstenikis, I.A. Laboratornîe roboti pe statisticescom modelirovanii na I.B.M, Riga, 1982.
 81. Grüde, W.D. Nutzung der Galvanoformung zum Herstellung von Spritz- und Pressformen für Plastbauteiles in Sozialisation. Elektrotech/Electron Nr.1, 1976.
 82. Göhler, N. Werkzeugelektrodenwerkstoffe, Feingerstetechnik Nr.2, 1970.
 83. Görny, Z. Turnarea metalelor și aliajelor neferoase (Traducere din limba polonă). București, Editura Tehnică, 1969.
 84. Guliaev, B.B., ș.a. Procedee speciale de turnare. București, Editura Tehnică, 1972.
 85. Hinde, J. Galvanoformen mit Nickel ist besser, în Produktion, nr.11, 1972.
 86. Iasko, V.S., ș.a., Electrode sculă pentru prelucrarea găurilor cu axă curbă. Brevet de invenție Nr 295843, URSS, 1981.
 87. Ienciu, M., ș.a. Elaborarea și turnarea aliajelor neferoase. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1982.
 88. Inoue, K. Dispozitiv de prelucrat prin electroeroziune cu ajutorul unui electrod sculă cu particule magnetice. Brevet de invenție Nr.56102429, Japonia, 1981.
 89. Inoue, K. Dispozitiv pentru prelucrarea prin electroeroziune în câmp magnetic. Brevet de invenție, nr.56-102431, Japonia, 1981.

90. Isarie, I. Cercetări privind prelucrarea prin eroziune electrică în condiții de suprapresiune. Teză de doctorat. Institutul Politehnic Timișoara, 1973.
91. Ivaskin, V. Dispozitiv pentru prelucrarea prin eroziune electrică a suprafețelor conice. Brevet de invenție, nr 854553, URSS, 1981.
92. Judin, S.B., ș.a. Turnarea centrifugă. București, Editura Tehnică, 1973.
93. Kate, D. Sistem pentru conducere program numeric la mașinile de prelucrare electroerozivă, în Oio Kikai Kogaku, Nr.5, 1974.
94. Kinoshita, N. Dezvoltarea prelucrării electroeroziive, în Kikai ghidziutan, nr.11, 1975.
95. Kiselev, M.S., Dosko, I.S. Influența oscilațiilor ultrasonice asupra microreliefului suprafeței prelucrate prin electroeroziune. In: Pribarostroenie, URSS, 1984.
96. Komuşin, S. V. și Stravitkii, B.I. Generator de impulsuri tranzistorizat. Brevet de invenție, Nr.673411, URSS, 1979.
97. Korenblum, M.V., Vinlik, V.A. Visokociastotnaia elektroerozionnaia obrabotka, în Stanki i instrument, nr.9, Moskva, 1977.
98. Korenblum, M.V., ș.a. Elektroerozionnaia obrabotka instrumentom iz metallokeramiceskoi kompozicii, în Stanki i instrument, nr.2, Moskva, 1972.
99. Kovalenko, V.S. Elektrofiziceskie i electrohimiceskie metode obrabotki materialov, Kiev Izd Viscia skola, 1975.
100. Krampitz, R., Geyman, D. Situația actuală și tendințele de dezvoltare în domeniul prelucrării materialelor prin eroziune electrică, Construcția de mașini, vol.I, 1976.
101. Krancesko, V.L. Pretizionnaia elektroerozionnaia obrabotka takoprevediașcih materialov v ũade. In: Elektronnaia obrabotka materialov, URSS, nr. 2, 1984.
102. Kraveț, A.T. Obrabotka na elektroerozionnik Kopirovalino procivocinik stankah, în Stanki i instrument nr.3, Moskva, 1977.
103. Krookal, J.R., Hoveiman, C.J. Elektro-discharge machining the state of the art., în CLRP Nr.2, 1971.
104. Kubota, M. Starea actuală a prelucrării dimensionale electrice, în Kikai no Lenkiu, nr.7, 1975.

105. Köning, W., ș.a. Material removal and energy distribution in electrical discharge machining, in CIRP, nr.1, 1975.
106. Köning, W., Jutzler, N.J. Technologie des funkenerosiven Senkens mit Graphit. Elektroden, in Industrie-Anzeiger, nr. 55, 1979.
107. Köning, W, ș.a. The Flow Fields in the Working gap with Elektro-Discharges-Machining, CIRP vol.25/1, 1977.
108. Köning, M., ș.a. Tehnologii de fabricare a electrozilor pentru electroeroziune în construcția de mașini, nr.2 - 3, 1977.
109. Kurr, R. Grundlagen der selbsttatigen Optimierung des funkenerosiven Senkens Dissertation. T H Aachen, 1972.
110. Lazarenko, B.R. și Lazarenko, N.I. Elektroiskrovaia obrabotka metalov v vode elektrolitah. In Elektronnaia obrabotka materialov, URSS, Nr.1, 1980.
111. Levinson, E.M. Sprovecinoe posobie po elektrotehnologii, Leningrad, Mașinostroenie, 1972.
112. Levinson, E.M. Elektrorazriadnaia obrabotka materialov, Leningrad, Mașinostroenie, 1971.
113. Lewinsky, D. Elektroeroziionsanlage mit numerischer Bahnsteuerung für cine zwischzywei Führungen gespannte Drahtelektrode. Brevet de invenție nr.2052178, R.R.Germania, 1978.
114. Livșiț, A.L. Naucimo - tenniceschie napravlenii a razvitiia electrofiziceskih i electrohimiceskih metodov razmernoi obrabotki, în ISEM 4, Bratislava, 1974.
115. Levșiț, A.L. Fiziceskaia modeli proțessa obiomnoi elektroerozionnoi obrabotki, în Stanki i instrument, nr.9, Moskva, 1977.
116. Livșiț, A.L. Gheneratori impulsiv, Moskva, Energhia, 1970.
117. Livșiț, A.L., ș.a. Elektroimpulsnaia obrabotka metallov, Moskva, Masinostroenie, 1967.
118. Livșiț, A.L. Metodika poiska novih proțessov formoobrazovaniia, în Vestnik mașinostroenia, Moskva, Nr.9, 1967.
119. Livshits, A.L. The mechanism of the electrical discharge machining process. In: Machine of Tooling, 38, Nr.9, 1978.
120. Loeffel, E. How to EDM DIES with on Elektroda, in Metal Stamp, nr.39, 1977.
121. Lubalin, I. Modern Casting, Nr.40, 1960.
122. Lubalin, I. Tehnical Paper (Firma Anvat Shaw) C.M. New-York.

123. Manițiu, C., ș.a. Rezultate ale cercetării privind aplicarea și extinderea tehnologiilor de prelucrare electroerozivă. In: Construcția de mașini, 33, Nr.4-5, 1981.
124. Măcaș, A. Dalacu, N. Tehnologia galvanoplastică. București, Editura Tehnică, 1974.
125. Marinescu, N.I., ș.a. Dispozitive pentru prelucrarea prin electroeroziune și electrochimie. Catalog I.P. București și I.M.Fină București, 1985.
126. Mihail, R. Introducere în strategia experimentării, cu aplicații în tehnologia chimică. București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1976.
127. Mihăilă, I. Proiectarea și realizarea unei familii de dispozitive pentru prelucrarea M.T.S.F. prin eroziune electrică. Contract de cercetare Nr.3554/1984-85, cu I.S.P.M.T.Oradea.
128. Mihăilă, I. Matriță de turnat sub presiune din elemente tipizate pentru roatarele de blocare DACIA 1300. Contract de cercetare Nr.306, 1986, cu I.S.P.M.T.Oradea.
129. Mihăilă, I. Matriță din elemente tipizate pentru turnarea sub presiune a cheilor de locomotivă Diesel. Contract de cercetare Nr.306/A, 1987, cu U.A.M.T.Oradea.
130. Mihăilă, I. Matriță din elemente tipizate pentru turnarea sub presiune a indicatoarelor tip pentru autoturismul de teren ARO. Contract de cercetare nr. 593/1988, cu U.A.M.T.Oradea.
131. Mihăilă, I. Tehnologia fabricării mașinilor. Oradea, Institutul de Invățământ Superior, 1983.
132. Mihăilă, I. Referat I. Institutul Politehnic „Traian Vuia” Timișoara, 1985.
133. Mihăilă, I. Referat II. Institutul Politehnic „Traian Vuia” Timișoara, 1985.
134. Mihăilă, I. Referat III. Institutul Politehnic „Traian Vuia” Timișoara, 1986.
135. Mihăilă, I. Eficiența economică a prelucrării prin eroziune electrică. Buletinul științific al I.I.S.Oradea, 1983-1984.
136. Mihăilă, I., Drăghici, G., Soșdeanu, D. Ordonarea influențelor parametrilor asupra indicilor tehnologici la prelucrarea de degroșare prin eroziune electrică a oțelului.

- lui V Cr W 85. Buletinul științific al I.S.Oradea, 1984-1986.
137. Mihăilă, I. Micromașină de prelucrat prin eroziune electrică. Buletinul științific al I.I.S.Oradea, 1978.
138. Mihăilă, I., Panțel, A. Realizări și tendințe în prelucrarea prin eroziune electrică a matrițelor la I.A.M.T.Oradea. Buletinul științific al I.I.S.Oradea, 1979.
139. Mihăilă, I., Panțel, A., Hreniuc, S. Tehnologia prelucrării prin eroziune electrică a părților active ale stăncelor pentru decupare de precizie. Buletinul științific al I.I.S.Oradea, 1980.
140. Mihăilă, I., Buidoș, T. Contribuții privind executarea electrozilor și stabilirii parametrilor optimi la prelucrarea prin eroziune electrică a matrițelor pentru turnat sub presiune. Buletinul științific al I.I.S.Oradea, 1980
141. Mihăilă, I. Metode de recondiționare și creșterea durabilității matrițelor. Buletinul științific al I.I.S.Oradea, 1981-1982.
142. Mihăilă, I. Contribuții privind obținerea prin galvanoplastică a electrozilor pentru prelucrări prin eroziune electrică. CNTN 4. Timișoara, 1983.
143. Mihăilă, I., Drăghici, G., Soșdeanu, D. Stabilirea corelației între productivitate și parametri procesului de degroșare prin eroziune electrică a oțelului VCrW85. Buletinul științific al I.S.Oradea, 1984-1986.
144. Mihăilă, I. Dispozitive pentru prelucrarea prin eroziune electrică a elementelor de matriță pentru turnat sub presiune. PUPR.Timișoara, 1986.
145. Mihăilă, I. Matrițe de turnat sub presiune din elemente tipizate realizate prin eroziune electrică. PUPR.Timișoara, 1986.
146. Mihăilă, I. Dispozitiv pentru prelucrarea filetelor prin eroziune electrică. Buletinul științific al I.I.S.Oradea, 1983-1984.
147. Mihăilă, I. Determinarea rugozității suprafețelor la prelucrările prin eroziune electrică. Buletinul științific al I.I.S. Oradea, 1981-1982.
148. Mihăilă, I., Drăghici, G., Soșdeanu, D. Ordonarea influenței parametrilor asupra indicilor tehnologici la prelucrarea de finisare prin eroziune electrică a oțelului VCrW85.

Buletinul științific al I.S.Oradea, 1986-1988.

149. Mihăilă, I., Drăghici, G., Soșdeanu, D. Stabilirea corelației dintre coeficientul de prelucrabilitate volumică și parametrii procesului la prelucrarea de degroșare prin eroziune electrică a oțelului VCrW85. Buletinul științific al I.S.Oradea, 1986-1988.
150. Mihoc, G., Firescu, D. Statistica matematică. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1966.
151. Mihoc, G., ș.a. Teoria probabilităților și statistica matematică. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1980.
152. Mihoc, Gh., Micu, N. Teoria probabilităților și statistica matematică. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1981.
153. Mihoc, Gh., ș.a. Metode de analiză statistică. București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1982.
154. Motoki, M. Tehnica actuală, a metodelor electrofizice și electrochimice, în Kikai ghidziutsu, nr.2, 1973.
155. Motoki, M., ș.a. Elektronik EDM Generator, ISEM, Viena, 1974.
156. Motoki, M., ș.a. Thyristorized EDM Generator. 24th General Assembly of CILP., 1974.
157. Mueller, P.H.ș.a. Tafelnder mathematischen statistik, VEB, Fachbuchverlag, Leipzig, 1973.
158. Müller, G., ș.a. Technologische planung Machinebau, VEB Verlag Technic. Berlin, 1981.
159. Namitokov, K.K. Electro-erozionnie isvlenia. Energhia.Moskva, 1978.
160. Nanu, A. Perspectivele tehnologiilor neconvenționale în industrie, CNTN 2. București, 1977.
161. Nanu, A. Tehnologii neconvenționale, prezent și perspectivă. CNTN 3, Sibiu, 1982.
162. Nanu, A. Realizări în domeniul tehnologiilor neconvenționale în R.S.R., CNTN 4, Timișoara, 1983.
163. Nanu, A. Tehnologia materialelor. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1983.
164. Nanu, A., ș.a. Manualul inginerului mecanic, vol.I., București, Editura Tehnică, 1972.
165. Nanu, A., ș.a. Criterii de optimizare a prelucrării prin eroziune electrică. CNTN, Timișoara, 1971.

166. Nanu, A., ș.a. Sistem de reglare automată la mașina de prelucrare prin electroeroziune ERO-1. CNTN4, Timișoara, 1983.
167. Nanu, A., Nanu, D., Prelucrarea dimensională prin eroziune electrică, în câmp magnetic. Timișoara, Ed. Facla, 1981,
168. Nanu, D. Prelucrarea prin eroziune electrică în câmp magnetic Teză de doctorat. Institutul Politehnic Cluj-Napoca, 1979
169. Nanu, D., ș.a. Posibilități de modificare a rugozității suprafețelor prelucrate prin eroziune electrică cu câmpuri magnetice exterioare. In: Buletinul științific al I.I.S. Sibiu, 1979.
170. Nanu, D., ș.a. Aspecte privind tehnologia de profilare prin eroziune electrică a aliajelor dure sinterizate, cu aplicații în prelucrarea frezelor pentru filete. In: Buletinul științific, I.I.S. Sibiu, 1980.
171. Nanu, D., ș.a. Dispozitiv pentru prelucrarea prin eroziune a suprafețelor profilate PUPR, Timișoara, 1981.
172. Nanu, A., ș.a. Stabilirea ordinii de influență a parametrilor asupra productivității prelucrării prin eroziune electrică a carburilor metalice de tip G 10. CNTN4, Timișoara, 1983.
173. Nanu, A., ș.a. Utilizarea lichidelor acționate cu sulf la prelucrarea prin eroziune electrică, CNTN, Timișoara, 1971.
174. Nanu, A., ș.a. Lichide de lucru active folosite la prelucrarea prin scînteii electrice. Brevet de invenție, 1970, Nr. 57002/14.06.1968.
175. Nichici, A. Tendințe actuale în modelarea proceselor de prelucrare prin eroziune electrică CNTN2, București, 1977.
176. Nichici, A., ș.a. Prelucrarea prin eroziune în construcția de mașini. Timișoara, Editura Facla, 1983.
177. Nichici, A., Achimescu, N. Aspecte ale influenței porozității electrozilor din cupru asupra indicatorilor tehnologici ai prelucrării prin eroziune electrică. In: Buletin științific, I.I.S. Sibiu, 1980.
178. Nichici, A. Fenomene fundamentale la prelucrarea cu scînteii electrice cu electrod oscilant. Teză de doctorat, Institutul Politehnic Timișoara, 1970.
179. Nichici, A. Probleme ale modelării sistemelor de prelucrare prin eroziune electrică, a II-a Conferință - Tehnologii noi în construcția de mașini, Galați, 1977.

- asupra caracteristicilor tehnico-economice ale prelucrării prin eroziune electrică cu copierea formei. Teză de doctorat I.P. „Traian Vuia” Timișoara, 1980.
196. Popa, H. Model matematic pentru procesul de uzare a electrodului la prelucrarea prin eroziune electrică cu copierea formei. Sesiunea de comunicări științifice, I.P.T.V. Timișoara, 1979.
197. Popa, H., ș.a. Metodica proiectării proceselor tehnologice de prelucrare dimensională prin eroziune electrică. Cursura postuniversitară. Tehnologii neconvenționale în prelucrarea metalelor. I.P. Timișoara, 1972.
198. Popilov, L.I. Osnova elektrotehnologii i novie eio reznovidnosti, Leningrad, Masinostroenie, 1971.
199. Popilov, L.I. Spravocinik po elektriceskim ulitrazvukovim metodam obrabotki materialov. Leningrad, Masinostroenie, 1971.
200. Popovici, I., Popovici, P. Cu privire la influența densității de curent și a profilului suprafețelor conjugate la prelucrarea prin eroziune electrică. CNTM, Sibiu, 1982.
201. Sabinovici, E.D., Penkov, P.N. Ekonomiceskaia ot unificatiata. In: Standartih i kacestvo, Nr.5, Sofia, 1977.
202. Rancu, N., Tövissi, L. Statistica matematică cu aplicații în producție. București, Editura Academiei R.S. România, 1963.
203. Rancu, N., Tövissi, L. Analiza statistico-matematică a calității producției industriale. București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1964.
204. Rădoi, I., ș.a. Electrochimie. Timișoara, Editura Facla, 1974.
205. Rhyner, H. La technologie, in Informations techniques Charmilles, Nr.11, Geneva, 1968.
206. Reimer, V. Nomaszos öntes. Budapest, Muzsaki Könyvkiado, 1978.
207. Rijk, I.M., Gradstein, I.M. Tabele de integrale, sume și produse. București, Editura Tehnică, 1955.
208. Roche, A., ș.a. Le dielectrique et les matériaux constituant l'electrode de la piess-en-usinage par electroerosion. ISEM 4, Bratislava, 1974.
209. Roman, I. Preocupări actuale și de perspectivă în domeniul tehnologiilor neconvenționale de prelucrare în construc-

210. Roman, I., ș.a. Tehnologii neconvenționale de prelucrare în construcția de mașini, CNTN 4, Timișoara, 1983.
211. Roman, I. Tehnologii neconvenționale în prezent și perspectiva dezvoltării lor în viitor, în Construcția de mașini, nr.2-3, 1977.
212. Roman, I., ș.a. Realizări și tendințe în construcția de mașini. In: Construcția de mașini, 36, Nr.9, 1984.
213. Roman, I. O nouă etapă în extinderea tehnologiilor neconvenționale în industria R.S.România. In: Construcția de mașini, 35, Nr.4-5, 1981.
214. Rotmirov, V.A., ș.a. Sisteme upravleniia uciastkom elektroerozionnih stankov na osnove seti malih EVM, în Stanki i instrument, Nr.9, Moskva, 1977.
215. Ruminski, L.Z, Prelucrarea matematică a datelor experimentale. București, Editura Tehnică, 1974.
216. Saito, N., Ishikava, N. Elektro-discharge machining techniques for weld making. Japan plastica AGE, 1972.
217. Saito, N. ș.a. Starea și perspectivele dezvoltării prelucrării electroerozive și electrochimice, în Kikai to kogu, Nr.2, 1975.
218. Saito, K., Oya, K. Mașinile electroerozive Diac, în Mitsubishi denki giho, Nr.10, 1971.
219. Sachs, L. Statistische Auswertungsmethoden Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, 1972.
220. Sacuiu, I., Zorlescu, D. Numere aleatoare, aplicații în economie, industrie și studiul fenomenelor naturale. București, Editura Academiei R.S.R., 1978.
221. Savii, Gh. Studiu asupra prelucrabilității fontelor nodulare prin procedee electroerozive. Teză de doctorat. Institutul Politehnic Timișoara, 1970.
222. Saropov, P.I. Utilizarea statisticii matematice în geologie. București, Editura Tehnică, 1968.
223. Schiedung, H. Impulsgeneratoren für funkenerosive Schneides mit Drahtelektrod. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule, Magdeburg, 26, 1982.
224. Schekulin, K. Automatisieren der Funkenerosion, în Technische Rundschau. Nr.41, 1979.
225. Schmidt, M.O. Tehnica tăierii cu fir prin eroziune electrică, ISEM, Viena, 1971.

226. Schumacher, B. Generatoare statice de impulsuri simple tranzistorizate pentru prelucrarea prin eroziune electrică. Seria construcții ISEM, Viena, 1971.
227. Schwabe, H.U. Nickel- und Nickel/Kobalt Galvaniformung aus dem Konzentrierten Sulfamat - Elektrolyten, in Industrie-Anzeiger, nr.34, 1973.
228. Seiffart, E., Mateuffel, K. Lineare Optimierung BSB F.G.Teubner Verlagsgese, Leipzig, 1974.
229. Semon, G. Usinage isotropique possibilités et utilisations, in Mach prod.Nr.212, 1979.
230. Semon, G. Guide pratique d'usinage par étincelage, Ateliers des Charmilles, Geneva, 1975.
231. Smakov, G.S. Ostrukturah obuslovlivainsch povsennulu elektroerozionnuu stoikosti materialov, in Elektronnaia obrabotka materialov, nr.9, 1975.
232. Sofroni, I. Elaborarea și turnarea aliajelor. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1975.
233. Sontea, S., ș.a. Metale și aliaje neferoase de turnătorie, Editura Scrisul Românesc, 1981.
234. Sosenko, A.B. Davlenie v mejelektrodaom zazore pri elektroerozionnoi obrabotke, in Stanki i instrument, nr.1, Moskva, 1976.
235. Stanek, I. Electromachining. development trends, ISEM 4, Bratislava, 1974.
236. Stavitkii, B.I., Bezruk, A.I. Vlianie velicin mejelektrodovo promejutka na efekt erozii i raspredelenie energii meжду anodom i katodom. in Elektronnaia obrabotka materialov, nr.5, Kisinen, 1969.
237. Stempel, G. Vergleichende Untersuchungen an gesinterten Verbundmetallen OIS. Elektrodenwerkstoffe für die Funkenerosion. In Simposion european de metalurgie des poudren, Grenoble, 1975.
238. Ștefănescu, C., Cazacu, I. Tehnologii de turnare. București, Editura Tehnică, 1973.
239. Ștefănescu, C., Cazacu, O. Tehnologii de executare a pieselor prin turnare. București, Editura Tehnică, 1981.
240. Ștefănescu, C., Ștefănescu, D.M. Indreptar pentru turnătorii. București, Editura Tehnică, 1972.

241. Tache, I., Brăgaru, A. Dispozitive pentru mașini-unelte. Proiectarea schemelor de orientare și fixare a semifabricatelor. București, Editura Tehnică, 1976.
242. Tache, V., ș.a. Elemente de proiectare a dispozitivelor pentru mașinile-unelte. București, Editura Tehnică, 1985.
243. Teodorescu, M., ș.a. Elemente de proiectare a stațelor și matrițelor. București, Editura Didactică și Pedagogică 1981.
244. Teodorescu, M., ș.a. Elemente de proiectare a stațelor și matrițelor. București, Editura Didactică și Pedagogică 1983.
245. Tiron, N. Prelucrarea statistică și informațională a datelor de măsurat. București, Editura Tehnică, 1976.
246. Tripsa, I., ș.a. Turnarea de precizie cu modele permanente și probleme tehnologice de care depinde realizarea pieselor de calitate. București, I.C.T.S.C., 1974.
247. Tövissi, L., Vodă, Gh. Metode statistice. Aplicații în producție. București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1982.
248. Vârcolacu, V., Bălescu, C. Mașini și utilaje în secțiile de turnătorie. București, Editura Didactică și Pedagogică 1981.
249. Volcenkova, R.A. Ob erozionnom riade elementov, în Elektronnaia obrabotka materialov, Nr.2, Kisineu, 1976.
250. Van Dijk, ș.a. Some results of physical researche în EDM, în ISEM 4, Bratislava, 1974.
251. Zacharias, P. Mathematisches Modell für die funkenerosive Trennboarbeitung. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule, Magdenburg, 26, 1982.
252. Zacharias, P., Zacharias, M. Beitrag zur Optimierung von Technologien in der Fertigung. In Messen, RFG, 27 Nr.4 1984.
253. Zigherman, A.S. O mehanizme elektriceskoi erozii, 1 VUZ, Fizika, Nr.1, 1963.
254. Zolotykh, B.N. Phänomenologische Theorie der funkerosiven Massbearbeitung. ISEM, 1970.
255. Zubac, V. Utilaje pentru turnătorii. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1982.
256. Weiler, G.G. Galvanoformung. Einsätze in Werkzeug und Formenbau, in Metalloberfläche, Nr.2, 1976.

257. Yule, G.V., Kendall, M.G. Introducere în teoria statisticii. București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1969.
258. x x x Metale și aliaje neferoase. Standarde și comentarii. București, Editura Tehnică, 1973.
259. x x x Incercările metalelor. Colecția STAS. București, Editura Tehnică, 1971.
260. x x x Cartea mașinii de turnat sub presiune GLPO 160/16-A₂
261. x x x Noutăți științifice și tehnice. București, I.C.D.T., 1972.
262. x x x Documentația firmei IONON-GMGH. RFG, 1970.
263. x x x Din experiența U.A.M.T.Oradea
264. x x x Metode noi în turnarea metalelor și aliajelor neferoase. București, IDT, 1962.
265. x x x The Shaw Proces. In Technical Paper. Avent Shaw, New-York.
266. x x x Dicționar cronologic al științei și tehnicii universale. București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1979.
267. x x x Einsatz der elektrisch abtragen den Bearbeitungsverfahren in der Fertigung. Industrie - Anzeiger, nr.95, 1974.
268. x x x Instrucțiuni de folosire pentru mașini de prelucrat prin electroeroziune EIER-01 GEP 50F, Electrotimiș, Timișoara, 1978.
269. x x x Electro-erosion, Milan Témvin d'ane evolution decisive, in Mach prod nr.242, 1979.
270. x x x AGIE Kunden - Schulung, Losano - Locarno, 1978.
271. x x x Charmilles. Gebrauchsanweisung für die Funkenerosionsmaschine, Technologie, Generatoren, Geneva, 1971.