

INSTITUTUL POLITEHNIC „TRAIAN VUIA” TIMIȘOARA

# TEZA DE DOCTORAT

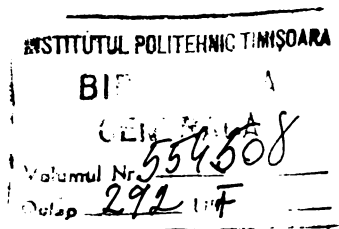
CONTRIBUȚII LA AUTOMATIZAREA  
PROCEDEULUI DE SUDARE MAG

Conducător științific:  
academician SALAGEAN TRAIAN

ing. MALAI A. DAN ALEXANDRU

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

1990





# CONTRIBUȚII LA AUTOMATIZAREA PROCEDEULUI DE SUDARE MAG

## CAPITOLUL I

### SUDAREA PRIN PROCEDEUL MAG

#### 1.1. Preliminarii

Progresul este un fenomen ireversibil, constituind un flux coerent și continuu. În contextul secolului XX, elementul definitor al progresului îl constituie automatizarea sub toate aspectele sale. Esența automatizării rămâne totuși domeniul producției.

Automatizarea în sensul cel mai larg reprezintă substituirea omului prin mașină, în toate aspectele sale manuale sau intelectuale.

Gradul de automatizare în producție, se definește în două moduri:

$$G_a = \frac{P_a}{P_t} \quad \text{sau} \quad G_a = \frac{N_{ma}}{N_t}$$

unde:

$G_a$  - gradul de automatizare al producției;

$P_a$  - producția obținută pe utilaje automatizate;

$N_{ma}$  - numărul de personal muncitor cu activitate pe mașini automatizate;

$N_t$  - numărul total de personal muncitor.

Automatizarea fiind un fenomen complex, este necesară o precizare a principiilor sale, cât și o determinare a momentului din care se poate vorbi de automatizare. În acest sens, James Bright propune o clasificare calitativă pe 15 nivele a progresului tehnologic. Această clasificare aduce lămuriri asupra momentului din care se poate vorbi despre automatizare. Datorită complexității fenomenului, nu se poate preciza un prag între mecanizare și automatizare. Primele probleme de automatizare apar începând cu nivelele 6, 7 și se impun începând cu nivelul 9.

O măsură a automatizării o reprezintă gradul de automatizare ( $G_a$ ) prezentat anterior, cât și indicele de automatizare ( $I_a$ ).

Obținerea indicelui de automatizare impune întocmirea unei liste de  $N$  parametri distincți pe care trebuie să-i posede o instalație automată ideală. Instalația căreia  $i$  se determină indicele de automatizare se confruntă cu lista de parametri întocmită și  $i$  se alocă un vector boolean:  $Z_1, Z_2, \dots, Z_i, \dots, Z_n$ , unde  $Z_i$  ia valoarea "1" sau "0" după cum instalația posedă sau nu caracteristica "i". În acest caz, indicele de automatizare se definește ca fiind:

$$I_a = \sum_{i=1}^N Z_i \cdot 2^{-i} \quad 0 \leq I_a \leq 1$$

Lista de parametri se întocmește în sens descrescător a importanței acestora. Prin intermediul indicelui de automatizare se poate determina nivelul de automatizare a unei instalații față de o instalație ideală.

Procesul de sudare, se înscrie la ora actuală în cadrul proceselor de producție manuale sau mecanizate. Primele încercări de automatizare, în cadrul proceselor de sudare, au apărut odată cu utilizarea tractoarelor de sudare și s-au impus cu utilizarea mașinilor de sudare specializate și a roboților de sudare. Sudarea automată cu ajutorul echipamentelor specializate și a roboților a pătruns în special în domeniul sudării prin presiune în puncte. În domeniul altor procedee de sudare, automatizarea procesului cu ajutorul utilajelor specializate sau a roboților, este relativ la început de drum. Acest fenomen se datorează particularităților și dificultăților care apar la sudarea cu arcul electric, față de sudarea prin presiune în puncte. Astfel, la sudarea cu arcul electric, în permanență trebuie menținută constantă distanța dintre capătul electrodului și piesă, pe cînd la sudarea în puncte se realizează o apăsare predeterminată indiferent de neuniformitățile materialului. La sudarea în puncte, electrozii sînt aduși pe piesă printr-un program prestabilit, pe cînd la sudarea cu arcul electric trebuie urmărit un traseu (rostul de sudare) care de cele mai multe ori se abate de la traiectoria prestabilită, fie din cauza imperfecțiunilor materialului sau a prelucrării, fie din cauza deformărilor în timpul procesului de sudare. Ca atare, automatizarea a pătruns relativ puțin în cadrul procedeelelor de sudare cu arcul electric.

Pe plan mondial, procedeul de sudare MAG începe să cîștige

teren din ce în ce mai mult, datorită unor avantaje de necontestat față de alte procedee, în anumite domenii de activitate. Având în vedere acest lucru, cât și începuturile automatizării în acest domeniu, teza de față se ocupă de procedeul de sudare MAG, aducând câteva contribuții la automatizarea acestui procedeu.

Necesitatea automatizării procedeului de sudare MAG apare în mai multe direcții. În primul rând apare necesitatea automatizării proiectării tehnologiei de sudare, calculul parametrilor de sudare și îndeosebi alegerea automată a rostului de sudare, în funcție de STAS și de cerințele impuse: grosime de material, compoziție chimică, clasă de calitate, complexitatea subansamblului, etc. De asemenea, automatizarea procesului de sudare MAG, impune realizarea unui sistem de urmărire automată a rostului, astfel conceput încât capul de sudare să se găsească în permanență în axa rostului, iar în cazul abaterilor dimensionale sau a deformațiilor, să se realizeze în mod automat reaxarea în rost. La un nivel mai înalt, automatizarea procesului de sudare cu arc impune și un control activ pe parcursul procesului. Acest control constă în preluarea informațiilor din procesul de sudare, pe parcursul desfășurării acestuia, compararea informațiilor cu un program prestabilit și conducerea procesului în sensul anulării abaterilor de la program. Acest control activ presupune o interfață de cuplare a procesului cu un calculator de conducere a acestuia. Deciziile de corectare a procesului pentru înscriere în program trebuie transmise unor elemente de execuție care, în conformitate cu comenzile primite, trebuie să execute modificarea procesului pentru înscriere în programul inițial.

Automatizarea procedeului de sudare MAG, impune și un studiu al arcului electric cu electrod fuzibil. În acest context se impune realizarea unui model matematic al arcului electric, în scopul precizării elementelor care determină stabilitatea arcului și corelarea acestora cu procesul.

Automatizarea procesului de sudare MAG, impune un control strict al avansului sârmei electrod. Din acest considerent este absolut necesară studierea dispozitivului de avans al sârmei, determinându-se modelul matematic și funcția de transfer al acestuia. Creșterea calității îmbinării sudate necesită optimizarea dispozitivului de avans a sârmei, în scopul creșterii gradului de stabilitate al întregului sistem.

Realizarea unei îmbinări sudate impune introducerea unei energii liniare în material. Pentru ca în urma sudării, duritatea maximă în ZIT să se mențină în limitele admise, este necesar ca această energie introdusă să fie ținută sub control. Introducerea de energie prin sudare are ca efect și creșterea granulației materialului, fenomen nedorit în cadrul oțelurilor cu granulație fină. Din aceste considerente este necesar să se studieze efectul energiei liniare introduse asupra durificării materialului și asupra tendinței de creștere a granulației, cât și modul de dirijare a acesteia pentru menținerea durității și granulației în limitele admise.

Elementele de automatizare ale procesului de sudare cu arcul electric, reprezintă câteva din problemele care se ridică în vederea automatizării procedurii de sudare MAG. Prin intermediul acestor elemente, procesul de sudare prin procedeul MAG, se situează la nivelul II, în concordanță cu clasificarea prezentată de James Bright.

Elementele de automatizare luate în discuție, nu reprezintă totalitatea problemelor existente în vederea automatizării procedurii MAG, ci constituie câțiva pași în acest scop.

Problemele ridicate fac obiectul prezentei teze de doctorat, fără a avea pretenția de epuizare a domeniului, cercetările rămânând deschise.

## 1.2. Procedeul și tehnologia de sudare MAG

Nivelul de automatizare a unui procedeu de sudare sau a unei instalații de sudare, este dictat de gradul de participare al sudorului. În cadrul procedurilor de sudare cu arcul electric se disting patru operații fundamentale:

- 01 - menținerea constantă a lungimii arcului;
- 02 - aducerea continuă a metalului în arcul electric, cu viteza  $V_e$ ;
- 03 - deplasarea arcului electric în lungul rostului, cu viteza  $V_g$ ;
- 04 - urmărirea și umplerea completă a rostului.

În funcție de gradul de participare al sudorului la efectuarea celor patru operații, procedeele de sudare cu arcul electric se grupează în patru categorii:

- $m_a$  - sudarea manuală (sudorul execută toate cele patru operații: 01 - 02 - 03 - 04);
- $m_s$  - sudarea semimecanizată (sudorul execută operațiile: 01 - 03 - 04, operația 02 executându-se mecanizat);
- $m_e$  - sudarea mecanizată (sudorul execută operația 04, operațiile: 01 - 02 - 03 executându-se mecanizat);
- $m_r$  - sudarea automată (toate cele patru operații; 01 - 02 - 03 - 04 se execută automat de către echipamentul de sudare specializat).

Procedeul de sudare MAG, în etapa actuală, se încadrează în categoria sudării semimecanizate ( $m_s$ ), constând în realizarea unei îmbinări sudate cu ajutorul arcului electric stabilit între materialul de bază și sîrma electrod, fuzibilă. Arcul electric pentru realizarea îmbinării, este protejat de către un gaz activ.

În contextul celor prezentate în paragraful l.l., indicele de automatizare al procedeului MAG, pentru etapa actuală de dezvoltare, este:  $I_a = 0,5$ .

Tehnologia de sudare MAG constă în determinarea parametrilor tehnologici primari, secundari și terțiari în așa fel încît să fie îndeplinite condițiile impuse prin caietul de sarcini a structurii sudate. Proiectarea unei tehnologii se bazează pe existența a trei corelații de bază, între parametri tehnologici:

$$\begin{aligned} I_S &= f(d_e) \\ U_a &= f(I_S) \\ A_D &= f(I_S) \end{aligned} \quad (1.1.)$$

Aceste corelații formează un sistem nedeterminat, de trei ecuații cu patru necunoscute. Rezolvarea acestui sistem impune alegerea unei necunoscute (secundare) ca parametru și determinarea celorlalte necunoscute în funcție de aceasta. Ca parametru se alege diametrul sîrmei, avînd în vedere faptul că acesta ia valori discrete, conform standardelor în vigoare.

Elaborarea unei tehnologii de sudare presupune parcurgerea următoarelor etape:

1. alegerea rostului de sudare în funcție de compoziția chimică a materialului de bază, grosimea componentelor și poziția de sudare;
2. calculul ariei rostului ( $A_r$ ) în funcție de forma acestuia;

3. calculul ariei cusăturii ( $A_c$ ), avînd în vedere supraînălțarea care apare și adaosul la rădăcină:

$$A_c = (1,1 \dots 1,4) \cdot A_r \quad [\text{mm}^2] \quad (1.2.)$$

4. stabilirea numărului de treceri ( $n_t$ ) pentru umplerea rostului, în funcție de aria cusăturii și de sensibilitatea la supraîncălzire a materialului de bază;
5. calculul ariei unei treceri:

$$A_t = \frac{A_c}{n_t} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.3.)$$

6. calculul aportului de material de adaos (sîrmă electrod) într-o trecere, pentru fiecare diametru posibil de sîrmă:

$$k_i = \frac{A_t}{\frac{\pi d_{ei}^2}{4}} \quad (1.4.)$$

7. calculul vitezei sîrmei electrod ( $V_e$ ), pentru fiecare diametru posibil de sîrmă:

- sudare sha:

$$V_{ei} = 127,8 - \frac{31,7}{d_{ei}} + \frac{135}{d_{ei}^2} \quad [\text{cm/min}] \quad (1.5.)$$

- sudare spa:

$$V_{ei} = 37 \cdot d_{ei}^2 - 402 \cdot d_{ei} + 1177,5 - \frac{368}{d_{ei}} + \frac{163,5}{d_{ei}^2} \quad [\text{cm/min}] \quad (1.6.)$$

8. calculul vitezei de sudare ( $V_s$ ) pentru fiecare pereche de valori ( $d_e$ ,  $k$ ):

$$V_{si} = \frac{V_{ei}}{k_i} \quad [\text{cm/min}] \quad (1.7.)$$

9. verificarea valorilor vitezelor de sudare determinate pentru încadrarea în limitele admise de procedeu - (20...200) [cm/min]:

$$V_{sm} \leq V_{sj} \leq V_{sM} \quad j < i \quad (1.8.)$$

10. calculul curentului de sudare ( $I_s$ ) pentru acele valori ale lui  $d_e$  pentru care este verificată relația (1.8.):

- sudare sha:

$$I_{sj} = 125,5 \cdot d_{ej} - 32,25 \quad [\text{A}] \quad (1.9.)$$



- sudare spa:

$$I_{Sj} = - 67 \cdot d_{ej}^2 + 370 \cdot d_{ej} - 78 \quad [A] \quad (1.10.)$$

11. calculul tensiunii arcului ( $U_a$ ), pentru valorile obținute cu relațiile (1.9.) și (1.10.):

- pentru  $75 A \leq I_S \leq 350 A$ :

$$U_{aj} = 0,06508 \cdot I_{Sj} + 12 \quad [V] \quad (1.11.)$$

- pentru  $350 A < I_S \leq 950 A$ :

$$U_{aj} = 0,050508 \cdot I_S + 13,34 \quad [V] \quad (1.12.)$$

12. calculul ratei depunerii ( $A_D$ ) pentru valorile obținute cu relațiile (1.9.) și (1.10.):

$$A_{Dj} = 0,3 \cdot 10^{-4} \cdot I_{Sj}^2 + 0,1 \cdot 10^{-2} \cdot I_{Sj} + 0,5 \quad [kg/h] \quad (1.13.)$$

13. calculul consumurilor specifice pentru acele valori ale lui  $d_e$  pentru care este verificată relația (1.8.):

- costul sudării ( $Z_1$ ):

- sudare sha:

$$Z_{1j} = (10,5 + \frac{d_{ej}^2 + 1,6 \cdot d_{ej} + 66}{0,4725 \cdot d_{ej}^2 - 0,15 \cdot d_{ej} + 0,5}) \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} \quad [lei/m.mm^2] \quad (1.14.)$$

- sudare spa:

$$Z_{1j} = (10,5 + \frac{0,2834 \cdot d_{ej}^4 - 3,13 \cdot d_{ej}^3 + 8,106 \cdot d_{ej}^2 + 2,5256 \cdot d_{ej} + 0,13467 \cdot d_{ej}^4 - 1,4874 \cdot d_{ej}^3 + 4,35356 \cdot d_{ej}^2 - 1,3615 \cdot d_{ej} + \frac{65,5}{+ 0,604}}{0,13467 \cdot d_{ej}^4 - 1,4874 \cdot d_{ej}^3 + 4,35356 \cdot d_{ej}^2 - 1,3615 \cdot d_{ej} + \frac{65,5}{+ 0,604}}) \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} \quad [lei/m.mm^2] \quad (1.15.)$$

- timpul efectiv de sudare ( $Z_2$ ):

- sudare sha:

$$Z_{2j} = \frac{1,274}{1,278 \cdot d_{ej}^2 - 0,317 \cdot d_{ej} + 1,35} \quad [min/m.mm^2] \quad (1.16.)$$

- sudare spa:

$$Z_{2j} = \frac{1,274}{0,37 \cdot d_{ej}^4 - 4,02 \cdot d_{ej}^3 + 11,775 \cdot d_{ej}^2 - 3,68 \cdot d_{ej} + 1,635} \quad \left[ \frac{\text{min/m.mm}^2}{\text{mm}^2} \right] \quad (1.17.)$$

- consumul de energie electrică ( $Z_3$ ):

- sudare sha:

$$Z_{3j} = \frac{1,274 (735,5 \cdot d_{ej}^2 + 1262 \cdot d_{ej} - 380,2)}{60 (1,278 \cdot d_{ej}^2 - 0,317 \cdot d_{ej} + 1,35)} \quad \left[ \frac{\text{Wh/m.mm}^2}{\text{mm}^2} \right] \quad (1.18.)$$

- sudare spa:

$$Z_{3j} = \frac{1,274 (226,7 \cdot d_{ej}^4 - 2504 \cdot d_{ej}^3 + 6540,7 \cdot d_{ej}^2 + 2020,5 \cdot d_{ej} - 733,3)}{60 (0,37 \cdot d_{ej}^4 - 4,02 \cdot d_{ej}^3 + 11,775 \cdot d_{ej}^2 - 3,68 \cdot d_{ej} + 1,635)} \quad \left[ \frac{\text{Wh/m.mm}^2}{\text{mm}^2} \right] \quad (1.19.)$$

Parcurgerea acestor etape are ca rezultat obținerea tehnologiilor de sudare definite prin parametri calculați cu relațiile (1.2.)...(1.19.). În cadrul acestor tehnologii, numărul de treceri ( $n_t$ ) este parametru independent, tehnologiile obținute fiind de forma:

$$T_j(n_t) = f(d_{ej}; V_{sj}; V_{ej}; I_{sj}; U_{aj}; A_{Dj}) \quad (1.20.)$$

Schimbarea numărului de treceri duce la obținerea unui alt set de tehnologii de forma celor prezentate în relația(1.20.).

Elaborarea tehnologiei de sudare prezentate, poate fi urmărită în figura 1.1.

Metodologia prezentată presupune alegerea numărului de treceri:  $n_t$  (punctul 4). În practică, este preferabil ca numărul de treceri să fie cât mai mic, dar tehnologia aleasă să fie optimă (minimă) din punct de vedere al consumurilor specifice și să respecte condițiile impuse de caietul de sarcini. Rezolvarea acestui deziderat impune optimizarea din punct de vedere a numărului de treceri.

Algoritmul de proiectare prezentat are ca rezultat obține-

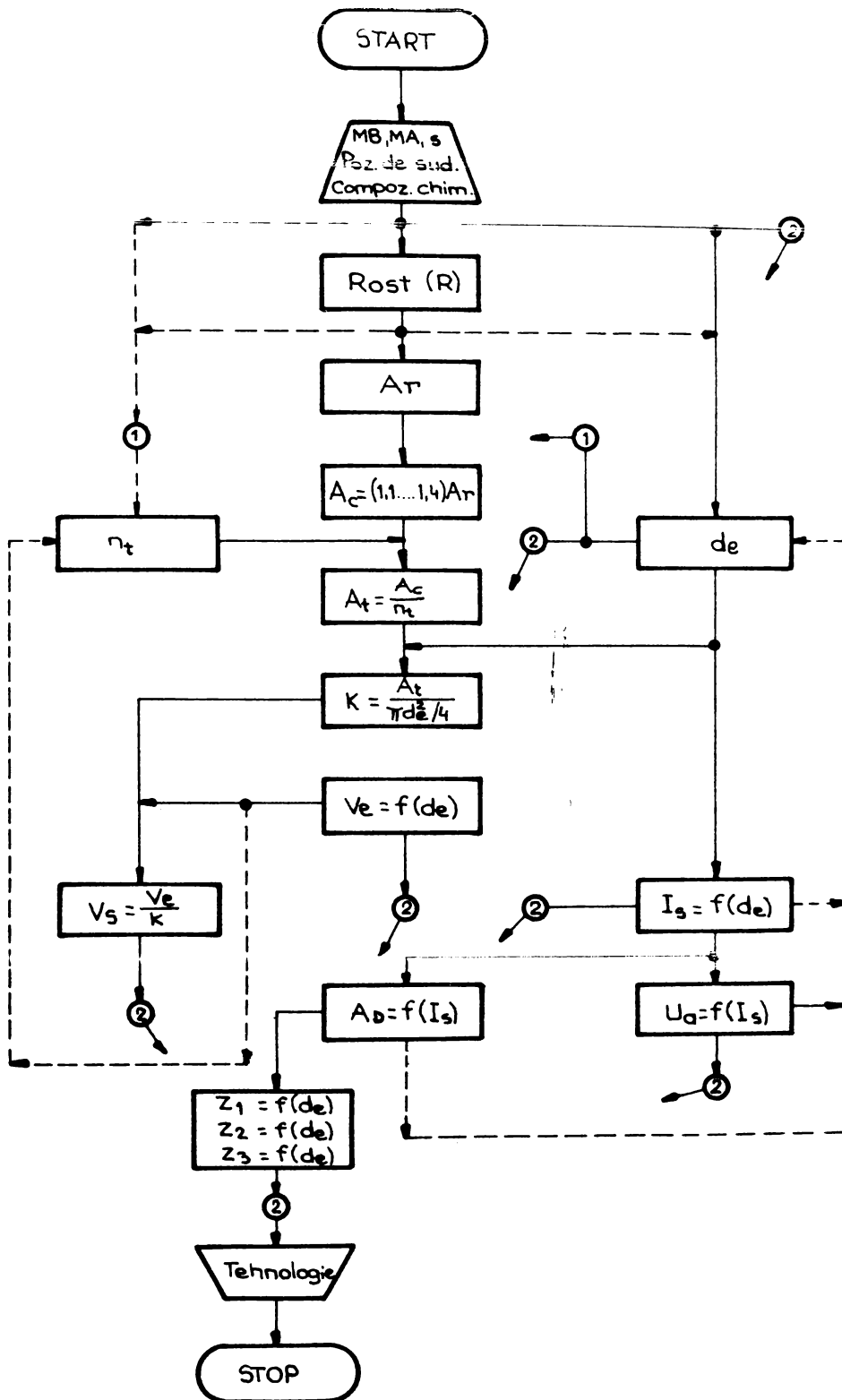


Fig.1.1. Algoritmul de calcul al tehnologiei de sudare MAG

rea tehnologiei optime din punct de vedere a unei funcții obiectiv. In cazul în care este necesar să se determine tehnologia optimă din punct de vedere a celor trei funcții obiectiv, simultan, se aplică metoda ELECTRE, de optimizare multicriterială.

### 1.3. Optimizarea tehnologiei de sudare MAG

Algoritmul de optimizare multicriterială, prin metoda ELECTRE, este următorul:

1. se întocmește o matrice cu variantele de tehnologii care se vor optimiza și criteriile luate în discuție. In matrice (tabelul 1.1.) se vor poziționa valorile funcțiilor obiectiv pentru vari-

Matricea variantelor tehnologice în funcție de criteriile (funcțiile obiectiv) alese

Tabelul 1.1.

VARIANTE FCT. TEHNOLO- GICE OBIECTIV CRITERII	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	---	T <sub>n</sub>
Z <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	---	a <sub>n</sub>
Z <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	---	b <sub>n</sub>
Z <sub>3</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	---	c <sub>n</sub>

antele analizate (Z<sub>1</sub>: a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, ..., a<sub>n</sub>; Z<sub>2</sub>: b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, ..., b<sub>n</sub>; Z<sub>3</sub>: c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, ..., c<sub>n</sub>).

2. se determină, pe linie, valorile minime și maxime pentru fiecare criteriu, alocându-se ponderea 1 variantei favorabile (în cazul de față pentru minim) și ponderea 0 variantei defavorabile (în cazul de față pentru maxim). Celorlalte variante li se alocă ponderi în intervalul [0; 1] în funcție de valoarea obiectivului față de cele două extreme:

- pentru Z<sub>1</sub>: a<sub>min</sub> = m<sub>1</sub>; a<sub>max</sub> = m<sub>2</sub>

$$a_i \sim n_i = \frac{m_2 - a_i}{m_2 - m_1} \in [0; 1] \quad (1.21.)$$

- pentru Z<sub>2</sub>: b<sub>min</sub> = p<sub>1</sub>; b<sub>max</sub> = p<sub>2</sub>

$$b_i \sim q_i = \frac{p_2 - b_i}{p_2 - p_1} \in [0; 1] \quad (1.22.)$$

- pentru  $Z_3$ :  $c_{\min} = 1_1$ ;  $c_{\max} = 1_2$

$$c_i \sim t_i = \frac{1_2 - c_i}{1_2 - 1_1} \in [0; 1] \quad (1.23.)$$

3. se întocmește matricea ponderilor determinate cu relațiile (1.21.)...(1.23.) (tabelul 1.2.);

Matricea ponderilor

Tabelul 1.2.

VARIANTE FCT. TEHNOLO- OBIECTIV GICE CRITERII	$T_1$	$T_2$	$T_3$	---	$T_n$
$Z_1$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	---	$n_n$
$Z_2$	$q_1$	$q_2$	$q_3$	---	$q_n$
$Z_3$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	---	$t_n$

4. se alocă coeficienți de importanță ( $K$ ) criteriilor luate în discuție, în funcție de importanța acordată acestora, de la caz la caz. Coeficienții de importanță se stabilesc de către decident, în funcție de necesități, respectînd condiția:

$$\sum_{j=1}^v K_j = 1 \quad (\text{în cazul de față } v = 3 \text{ criterii}) \quad (1.24.)$$

În cazul în care unui criteriu (funcție obiectiv)  $i$  se alocă coeficientul de importanță 1, se obține soluția optimă din punct de vedere al criteriului acreditat cu 1;

5. se formează matricea de importanță a tehnologiilor (tabelul 1.3.) prin înmulțirea ponderilor cu coeficienții de importanță:

$$K_{1i} = K_1 \cdot n_i; \quad K_{2i} = K_2 \cdot q_i; \quad K_{3i} = K_3 \cdot t_i \quad (1.25.)$$

6. se determină tehnologia optimă din punct de vedere a tuturor criteriilor (OPTIM - OPTIMORUM), ca fiind tehnologia (varianta) pentru care suma coeficienților (pe coloană), în tabe-

lul 1.3., este maximă:

$$f = \sum_{v=1}^n K_{vi} \Rightarrow \text{MAX} \quad (1.26.)$$

Matricea de importanță a tehnologiilor

Tabelul 1.3.

VARIANTE FCT OBJECTIV CRITERII	TEHNOLOGIE	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	---	T <sub>n</sub>
Z <sub>1</sub>		K <sub>11</sub>	K <sub>12</sub>	K <sub>13</sub>	---	K <sub>1n</sub>
Z <sub>2</sub>		K <sub>21</sub>	K <sub>22</sub>	K <sub>23</sub>	---	K <sub>2n</sub>
Z <sub>3</sub>		K <sub>31</sub>	K <sub>32</sub>	K <sub>33</sub>	---	K <sub>3n</sub>
$f_i = \sum_{v=1}^n K_{vi}$		f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	---	f <sub>n</sub>

Valorile funcției f, pentru fiecare tehnologie se poziționează în tabelul 1.3., pe ultima linie.

Algoritmul prezentat determină tehnologia optimă din punct de vedere a criteriilor Z<sub>i</sub> (i = 1, 2, 3), deci optim-optimorum. În cazul în care există mai multe variante de optim-optimorum (funcția f are mai multe maxime egale), acestea diferă prin numărul de treceri și prin diametrul sîrmei electrod. În această situație se va alege tehnologia cu cel mai mic număr de treceri în așa fel încît să se respecte condiția de supraîncălzire limită a materialului de bază.

Schema logică de proiectare și optimizare a tehnologiei MAG este prezentată în ANEXA 1.1. Programul de calcul în limbaj BASIC pentru calculatorul TIM - S, este prezentat în ANEXA 1.2.

#### 1.4. Cîmpul termic la sudarea MAG

Legea conducției termice determină modul de transfer a căldurii, din aproape în aproape, după direcția normalei la izotermă, conform relației:

$$dQ = -\lambda \nabla \cdot T \cdot ds \cdot dt = - \frac{\partial T}{\partial n} \cdot ds \cdot dt \quad (1.27.)$$

Analizând legea conducției termice pe unitatea de volum și scriind bilanțul termic, se obține ecuația conducției termice sau ecuația căldurii:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \Delta T + \frac{q_v}{c \Delta x} \quad (1.28.)$$

Rezolvarea ecuației căldurii data de relația (1.28.), are ca soluție fundamentală câmpul termic, care este de forma:

$$T(r, t) = \frac{Q}{c \Delta x (4\pi a t)^n} \cdot e^{-\frac{r^2}{4at} - bt} \quad (1.29.)$$

Câmpul termic dat de relația (1.29.), ia diferite forme particulare, în funcție de cinci criterii:

- I. - durata de acțiune a sursei:
  - sursă instantanee
  - sursă permanentă
- II. - mobilitatea sursei:
  - sursă fixă
  - sursă mobilă
- III. - puterea și viteza de deplasare a sursei:
  - sursă de putere și viteza redusă
  - sursă de mare putere și viteză
- IV. - zona de acțiune asupra corpului:
  - sursă internă
  - sursă de suprafață
- V. - tipul de sursă:
  - sursă punctiformă (trei direcții de propagare a căldurii - corp masiv)
  - sursă liniară (două direcții de propagare a căldurii - placă)
  - sursă plană (o direcție de propagare a căldurii - bară)

În concordanță cu criteriile prezentate, există patru tipuri de surse termice, în cadrul proceselor de sudare. Aceste surse generează patru tipuri de câmpuri termice, derivate din relația (1.29.):

- CT<sub>1</sub>: câmp termic general de sursă instantanee;
- CT<sub>2</sub>: câmp termic general de sursă permanentă, fixă;
- CT<sub>3</sub>: câmp termic generat de sursă permanentă, mobilă, de putere și viteză redusă;
- CT<sub>4</sub>: câmp termic generat de sursă permanentă, mobilă, de mare putere și viteză.

Fiecare din cele patru tipuri de câmp termic se diferențiază în funcție de criteriul V. În figura 1.2., este prezentat modul de obținere a formelor particulare ale câmpurilor termice, în funcție de criteriile prezentate.

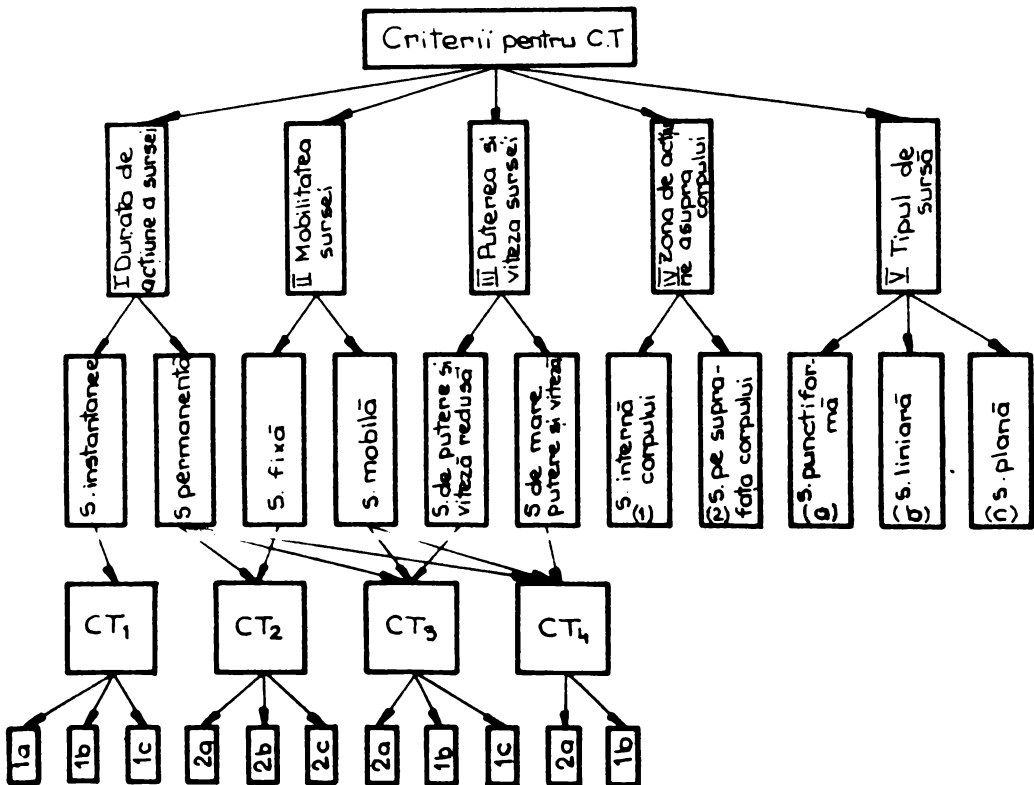


Fig.1.2. Definirea variantelor de câmp termic

Analiza de ansamblu a celor patru tipuri de câmpuri termice, prezentate în literatura de specialitate, relevă asemănarea ce există între câmpurile CT<sub>1</sub> și CT<sub>4</sub> respectiv între câmpurile CT<sub>2</sub> și CT<sub>3</sub>. Există deci posibilitatea unei scrieri condensate a câmpurilor ter-



mice ce se aseamăna:

a.  $CT_1 + CT_4$  :

$$T_n (r_{n-\varepsilon_v}; t) = \frac{\mu \cdot Q_{n-\varepsilon_v}}{c\delta \sqrt{(4nat)^{n-\varepsilon_v}}} \cdot e^{-\frac{r_n^2}{4at} - (3-n) \cdot \varepsilon_v \cdot bt} \quad (1.30.)$$

b.  $CT_2 + CT_3$  :

$$T_n (r_n; t) = \frac{\mu P_n \cdot e^{-\varepsilon_v \cdot \frac{vz}{2a}}}{c\delta \sqrt{(4na)^n}} \cdot \quad (1.31.)$$

$$\int_0^t \frac{1}{(t-t')^n} \cdot e^{-\frac{r_n^2}{4a(t-t')} - \varepsilon_v \cdot \left[ \left( \frac{v^2}{4a} + b \right) (t-t') + \frac{r_n^2}{4a(t-t')} \right]} dt$$

Relațiile (1.30.) și (1.31.) se particularizează în funcție de:

$$\mu = \begin{cases} 1 & \text{sursă termică internă corpului} \\ 2 & \text{sursă termică pe suprafața corpului} \end{cases} \quad (\text{criteriul IV})$$

$$\varepsilon_v = \begin{cases} 0 & \text{sursă termică fixă} \\ 1 & \text{sursă termică mobilă} \end{cases} \quad (\text{criteriul II})$$

$$n = \begin{cases} 3 & \text{propagare pe trei direcții (corp masiv)} \\ 2 & \text{propagare pe două direcții (placă)} \\ 1 & \text{propagare pe o direcție (bară)} \end{cases} \quad (\text{criteriul V})$$

Particularizările pentru definirea cîmpurilor termice sînt centralizate în tabelul 1.4. Cele patru tipuri de cîmpuri termice, cu particularizările corespunzătoare, sînt:

1.  $CT_1$ :  $\varepsilon_v = 0$ ;  $\mu = 1$  (pentru corpul semifinit:  $\mu = 2$ ):

$$T_n (r_n; t) = \frac{\mu \cdot Q_n}{c\delta \sqrt{(4nat)^n}} \cdot e^{-\frac{r_n^2}{4at}} \quad (1.32.)$$

Tabelul particularizărilor pentru defini-  
rea cimpurilor termice

Tabelul 1.4.

$\mu$	1		2	
poziție	interior corpului		pe suprafața corpului	
$P_n$	$P_1 = P_p = \frac{Q}{Sf}$	$P_2 = P_L = \frac{Q}{Sf}$	$P_3 = P = \frac{Q}{t}$	
$r_n$	$r_1 = x$	$r_2 = \sqrt{x^2 + y^2}$	$r_3 = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$	
$\begin{matrix} n \\ \epsilon_v \\ Q_n - \epsilon_v \end{matrix}$	1	2	3	
0	$Q_1 = Q_p = \frac{P}{v_d}$	$Q_2 = Q_L = \frac{P}{v}$	$Q_3 = Q = P \cdot t$	
1	-	$Q_1 = Q_p = \frac{P}{v_d}$	$Q_2 = Q_L = \frac{P}{v}$	

2. CT<sub>4</sub>:  $\epsilon_v = 1$ ;  $\mu = 1$  (pentru corpul semifinit:  $\mu = 2$ ):

$$T_n(r_{n-1}; t) = \frac{\mu \cdot Q_{n-1}}{c \delta^{\nu} \sqrt{(4\pi a t)^{n-1}}} \cdot e^{-\frac{r_{n-1}^2}{4at} - (3-n) \cdot bt} \quad (1.33.)$$

3. CT<sub>2</sub>:  $\epsilon_v = 0$ ;  $\mu = 1$ :

$$T_n(r_n; t) = \frac{P_n}{c \delta^{\nu} \sqrt{(4\pi a)^n}} \int_0^t \frac{1}{(t-t')^n} \cdot e^{-\frac{r_n^2}{4a(t-t')}} \cdot dt \quad (1.34.)$$

4. CT<sub>3</sub>:  $\epsilon_v = 1$ ;  $\mu = 1$  (pentru corpul semifinit:  $\mu = 2$ ):

$$T_n(r_n; t) = \frac{\mu P_n \cdot e^{-\frac{vx}{2a}}}{c \delta^{\nu} \sqrt{(4\pi a)^n}} \cdot \quad (1.35.)$$

$$\int_0^t \frac{1}{(t-t')^n} \cdot e^{-\frac{r_n^2}{4a(t-t')} - \left[ \left( \frac{v^2}{4a} + b \right) (t-t') + \frac{r_n^2}{4a(t-t')} \right]} \cdot dt$$

Particularizînd pe  $n$ , se obțin toate variantele de cîmp termic.

La procedeul de sudare MAG, cîmpul termic generat de sursă este de tipul  $CT_4$ , cu variantele 2a și 1b, și se determină cu relația (1.33.), particularizîndu-se în funcție de grosimea  $s$  a materialului, sub forma:

a. pentru sudarea unui corp masiv:

$$T_3(x, y; t) = \frac{P}{2\pi \lambda vt} \cdot e^{-\frac{x^2 + y^2}{4at}} \quad (1.36.)$$

b. pentru sudarea unei plăci:

$$T_2(x; t) = \frac{P}{2vs\sqrt{\pi c\delta\lambda t}} \cdot e^{-\frac{x^2}{4at} - \frac{2\alpha t}{c\delta s}} \quad (1.37.)$$

unde:

$P$  - puterea sursei;

$v$  - viteza de deplasare a sursei (viteza de sudare  $V_s$ );

$s$  - grosimea materialului;

$c$  - căldura specifică a materialului;

$\delta$  - masa specifică;

$\lambda$  - conductibilitatea termică;

$a$  - difuzibilitatea termică;

$\alpha$  - coeficientul de convecție termică;

$b$  - coeficientul de pierdere de căldură;

$x, y$  - direcțiile de propagare a căldurii;

Cîmpul termic se obține prin particularizarea relațiilor (1.36.) și (1.37.) în punctul considerat, obținîndu-se:

a. pentru sudarea unui corp masiv:

$$T(t) - T_0 = \frac{P}{2\pi \lambda vt} \cdot e^{-\frac{x_0^2 + y_0^2}{4at}} \quad (1.38.)$$

b. pentru sudarea unei plăci:

$$T(t) - T_0 = \frac{P}{2vs\sqrt{\pi c\delta\lambda t}} \cdot e^{-\frac{x_0^2}{4at} - \frac{2\alpha t}{c\delta s}} \quad (1.39.)$$

unde:

$T_0$  - temperatura inițială a materialului.

554508  
202

Parametri ciclului termic furnizează informații pentru cunoașterea din punct de vedere metalurgic a structurii obținute în JUS și în ZIT, în timpul și după procesul de sudare.

**Momentul atingerii temperaturii maxime** a unui punct, se obține din condiția de extrem a ecuației ciclului termic. Derivând relația (1.36.) și (1.39.) se obține momentul atingerii maximumului:

a. pentru un corp masiv:

$$t_0 = \frac{x_0^2 + y_0^2}{4a} \quad (1.40.)$$

b. pentru o placă:

$$t_0 = \frac{c\Delta^*s}{\delta\alpha} \left( \sqrt{1 + \frac{\delta\alpha x_0^2}{\lambda s}} - 1 \right) \quad (1.41.)$$

Temperatura maximă atinsă de un punct, se obține înlocuind relațiile (1.40.) în (1.38.), respectiv (1.41.) în (1.39):

a. pentru sudarea unui corp masiv:

$$T_M = T(t_0) = \frac{2P}{\pi ec \Delta^* v (x_0^2 + y_0^2)} + T_0 \quad (1.42.)$$

b. pentru sudarea unei plăci:

$$T_M = T(t_0) = \frac{P}{c\Delta^*vs\sqrt{\frac{\lambda s}{2\alpha}} \left( \sqrt{1 + \frac{\delta\alpha x_0^2}{\lambda s}} - 1 \right)} - \frac{x_0^2}{\frac{\lambda s}{2\alpha} \left( 1 + \frac{\delta\alpha x_0^2}{\lambda s} - 1 \right)} - \frac{1}{4} \left( \sqrt{1 + \frac{\delta\alpha x_0^2}{\lambda s}} - 1 \right) + T_0 \quad (1.43.)$$

Transformările metalurgice dintr-un material, decurg în timp, la anumite temperaturi. În funcție de tehnologia de sudare cât și de materialul de bază utilizat, este necesar să se cunoască timpul cât se menține materialul de bază peste o anumită temperatură. La temperaturi mai mari de  $T_m = 900^\circ\text{C}$ , se manifestă pregnant fenomenul de creștere a grăunților de austenită. Timpul de menținere ( $t_m$ ) se determină din ciclul termic, prin rezolvarea ecuației:  $T(t_m) = T_m$ . Această ecuație fiind transcendentă, se recurge la un artificiu,

prin determinarea raportului:

a. pentru corp masiv:

$$\frac{T_m - T_o}{T_m - T_o} = \frac{r_o^2}{4at} \cdot e^{1 - \frac{r_o^2}{4at}}; \quad r_o^2 = x_o^2 + y_o^2 \quad (1.44.)$$

b. pentru placă:

$$\frac{T_m - T_o}{T_m - T_o} = \sqrt{2 \cdot \frac{r_o^2}{4at}} \cdot e^{\frac{1}{2} - \frac{r_o^2}{4at}}; \quad r_o^2 = x_o^2 \quad (1.45.)$$

Utilizînd notațiile:

$$\frac{T_m - T_o}{T_m - T_o} = \sigma; \quad \frac{r_o^2}{4at} = \frac{1}{\sigma} \quad (1.46.)$$

relațiile (1.44.) și (1.45.) devin:

a. pentru corp masiv:

$$\sigma = \frac{1}{\sigma} \cdot e^{1 - \frac{1}{\sigma}} \quad (1.47.)$$

b. pentru placă:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{\sigma}} \cdot e^{\frac{1}{2} - \frac{1}{\sigma}} \quad (1.48.)$$

Rezolvarea ecuațiilor (1.47.) respectiv (1.48.) se face utilizînd nomograma din figure 1.3. Valoarea lui  $\sigma$  fiind cunoscută (rela-

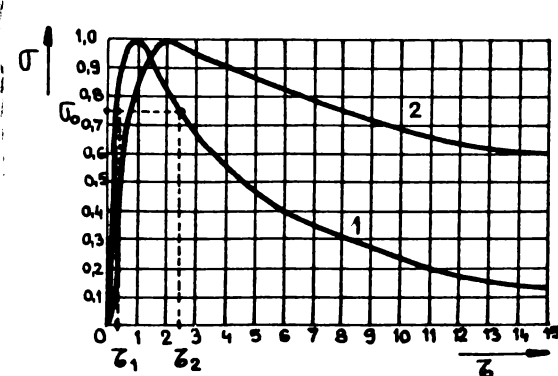


Fig.1.3. Nomogramă pentru rezolvarea ecuațiilor (1.39.) și (1.40.):  
1-corp masiv; 2-placă

ția (1.46.)), din nomogramă de determină valorile  $z_1$  și  $z_2$ , timpul de menținere ( $t_m$ ), fiind:

$$t_m = \frac{r_o^2}{4a} (z_2 - z_1) \quad (1.49.)$$

a. corp masiv:  $r_o^2 = x_o^2 + y_o^2$

b. placă:  $r_o^2 = x_o^2$

Viteza de răcire a materialului, de la  $800^\circ\text{C}$  la  $500^\circ\text{C}$ , are o importanță deosebită din punct de ve-

dere metalurgic. La răcirea materialului în acest interval de temperaturi, se produc transformări ale austenitei, transformări ce depind de viteza de răcire. Determinarea acestei viteze este dificilă, din acest considerent se preferă determinarea timpului de răcire de la 800°C la 500°C ( $t_{8/5}$ ). Viteza de răcire cât și timpul  $t_{8/5}$  nu depind de poziția punctului considerat, dacă  $T_M > 850^\circ\text{C}$ . Ținând cont de faptul că materialul se răcește, timpul  $t_{8/5}$  va fi:

$$t_{8/5} = t_5 - t_8 \quad [\text{sec}] \quad (1.50.)$$

Ecuația ciclului termic fiind transcendentă, pentru determinarea timpilor  $t_5$  și  $t_8$  se recurge la artificii precedent. Cu relația (1.46.) se determină valorile lui  $\zeta$  pentru limitele intervalului de temperatură:

$$\zeta_{500} = \frac{500 - T_0}{T_M - T_0} ; \quad \zeta_{800} = \frac{800 - T_0}{T_M - T_0} \quad (1.51.)$$

Cu nomograma din figura 1.3. se determină  $\zeta_2$  (al doilea punct de intersecție cu caracteristica):  $\zeta_{2/500}$  și  $\zeta_{2/800}$ . Timpul  $t_{8/5}$  se determină cu relația:

$$t_{8/5} = \frac{r_0^2}{4a} (\zeta_{2/500} - \zeta_{2/800}) \quad [\text{sec}] \quad (1.52.)$$

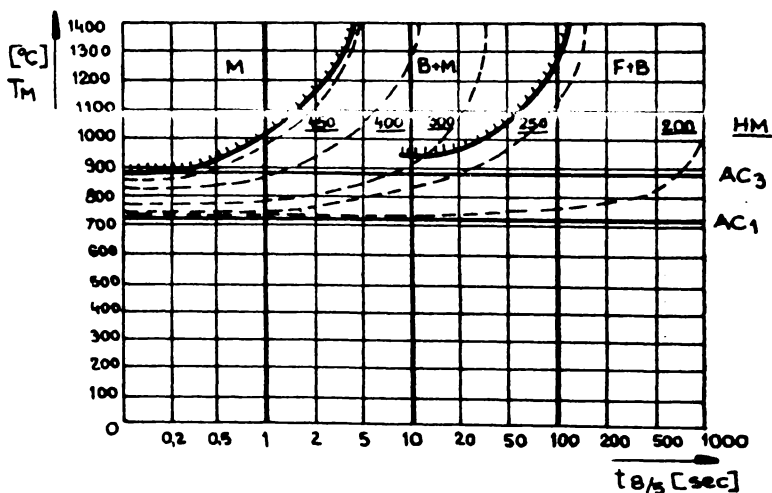


Fig. 1.4. Nomogramă pentru determinarea structurii și durității în ZIT: M - structură martensitică; B+M - structură bainito-martensitică; F+B - structură ferito-bainitică

Structura cît și duritatea în ZIT, la un regim de sudare dat, se determină în funcție de timpul de răcire  $t_{0/5}$  și de temperatura maximă  $T_M$ , cu ajutorul nomogramei din figura 1.4.

Separarea dintre corp masiv și placă este dictată de grosimea materialului. În acest context se poate determina o grosime critică ( $s_c$ ), care se calculează cu relația:

$$s_c = \sqrt{\frac{P}{2c \delta v} \left( \frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{300 - T_0} \right)} \quad [\text{mm}] \quad (1.53.)$$

Materialele cu  $s > s_c$  se comportă ca un corp masiv, iar cele cu  $s < s_c$  se comportă ca o placă.

## CAPITOLUL 2

### INFLUENȚA ENERGIEI LINIARE ASUPRA GRANULAȚIEI

#### 2.1. Dimensiunile grăunților în cazul oțelurilor cu granulație fină

Energia liniară introdusă în material, în cadrul procesului de sudare, influențează granulația oțelului în sensul creșterii acesteia. Fenomenul de creștere a granulației se manifestă în toate cazurile, fiind pregnant la oțelurile cu granulație fină, de tipul OCS, R, K - oțeluri des folosite. Utilizarea acestor tipuri de oțeluri este solicitată tocmai din considerentul granulației fine și este necesar ca această granulație să se mențină și în urma procesului de sudare.

Studierea efectului de creștere a granulației, în funcție de energia liniară introdusă în timpul procesului de sudare, s-a făcut prin simulare, pe probe din oțel cu granulație fină, de tipul OCS - 55b - 3K, pe simulatorul de cicluri termice, de tipul SMITWELD LJ 1402 (ISIM Timișoara). Epruvetele au fost simulate la temperaturile maxime de 900°C, 1200°C și 1350°C, deoarece în gama acestor temperaturi se manifestă pregnant creșterea granulației. Energiile liniare introduse de simulator au fost de 5 KJ/cm, 10 KJ/cm, 15 KJ/cm, 20 KJ/cm și 25 KJ/cm, deoarece aceasta este gama energiilor liniare introduse în material, în cadrul procedurii de sudare MAG. Investigațiile metalografice și microfotografice au fost făcute cu microscopul electronic, la o mărire 126 de ori și de 500 de ori. Prin aceste investigații s-a urmărit punerea în evidență a influenței temperaturii de vîrf și a energiei liniare asupra creșterii granulației structurale, a modificării morfologiei constituenților structurali și a unor posibile defecte în ZIT. În ANEXA 2.1. sînt prezentate fotografiile microstructurilor simulate, în dreptul fiecărei fotografii fiind menționate condițiile de simulare și de mărire.

Analiza fotografiilor din ANEXA 2.1., evidențiază următoarele:



- materialul de bază prezintă o structură fină, ferito-perlitică, dispusă în șiruri, specifică oțelurilor orelucrate prin laminare, la cald;
- temperatura de vîrf de  $900^{\circ}\text{C}$ , pentru diverse valori ale energiei liniare, nu provoacă o creștere semnificativă a diametrului grăuntelui și nici apariția unor defecte de natură macro sau microstructurală;
- structura microscopică a oțelului cercetat, pentru diverse energii liniare și temperatura maximă de  $900^{\circ}\text{C}$ , este ferito-troostitică, fenomen explicabil prin efectul de normalizare creat de ciclul termic introdus în aceste epruvete;
- temperatura de vîrf de  $1200^{\circ}\text{C}$ , pentru diverse valori ale energiei liniare, duce la o creștere a granulației structurale, fapt care provoacă o micșorare a tenacității, respectiv o ridicare a temperaturii de tranziție ductil-fragil;
- pentru energii liniare de pînă la  $5 \text{ KJ/cm}$  și temperaturi de vîrf de  $1200^{\circ}\text{C}$ , structura microscopică este ferito-troostito-bainitică, iar la valori mai mari ale energiei liniare se accentuează caracterul Widmannstätten al feritei și creșterea cantității de bainită în detrimentul troostitei;
- valorile scăzute ale energiei liniare ( $5 \text{ KJ/cm}$ ) conduc la o îngroșare a limitelor grăunților cristalini, ca urmare a menținerii unor particule de carburi nedizolvate în austenită și care micșorează stabilitatea acestora la transformare în cursul răcirii;
- ridicarea temperaturii maxime la  $1350^{\circ}\text{C}$ , provoacă creșterea pregnantă a granulației, în special la energii liniare mari, de (20...25)  $\text{KJ/cm}$ ;
- aceste cicluri termice conduc la degradarea limitelor dintre grăunți, în sensul că apar oxidări intergranulare și puncte de coroziune locală;
- structura microscopică este de tip Widmannstätten, pentru energii liniare de pînă la  $15 \text{ KJ/cm}$  și de tipul bainitei granulare pentru valori mai mari ale acesteia.

Diametrul convențional mediu al grăunților de austenită, s-a determinat conform STAS 5490-71, atât pentru mărirea de  $126\times$ , cît și pentru mărirea de  $500\times$ . Pentru aceasta s-au ales trei segmente de dreaptă, arbitrare, cu condiția de a intersecta minim zece grăunți la mărirea de  $100\times$ , iar suprafața totală

Determinarea diametrului convențional mediu  
al grăunților, pentru OCS - 55b - 3K

Tabelul 2.1.

Nr. Fote	Nr. Pb	EL [kV/cm]	Tmax [°C]	Mărire [x]	Lungime segmente (mm)			Σ Lef [mm]	Σ Lr [mm]	Nr. grăunți			Σ n	dc [μm]
					L1	L2	L3			n1	n2	n3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	MB	0	20	126	133	105	163	406	3,222	42	33	48	123	26,20
2	MB	0	20	500	141	144	129	414	0,828	12	13	8	33	25,10
3	1	5	900	126	145	131	98	374	2,968	42	40	30	112	26,50
4	2	5	1200	126	141	133	128	402	3,190	40	38	36	113	28,23
5	3	5	1350	126	146	145	149	440	3,492	36	35	42	113	30,90
6	1	5	900	500	146	105	97	348	0,696	11	8	8	27	25,78
7	2	5	1200	500	148	91	114	353	0,706	10	7	8	25	28,24
8	3	5	1350	500	142	158	151	451	0,902	9	10	9	28	32,21
9	4	10	900	126	135	120	120	376	2,976	43	34	33	110	27,05
10	5	10	1200	126	141	151	99	391	3,103	38	39	25	102	30,42
11	6	10	1350	126	145	141	105	391	3,103	36	34	24	34	33,01
12	4	10	900	500	103	101	97	301	0,602	7	8	7	22	27,36
13	5	10	1200	500	104	93	100	297	0,594	7	6	7	20	29,70
14	6	10	1350	500	78	90	91	259	0,518	4	5	6	15	34,53
15	7	15	900	126	91	112	100	303	2,405	28	29	28	85	28,29
16	8	15	1200	126	102	94	92	288	2,286	25	22	22	69	33,13
17	9	15	1350	126	110	90	96	296	2,349	24	21	22	67	35,06
18	7	15	900	500	139	141	164	464	0,928	11	10	12	33	28,12
19	8	15	1200	500	141	163	167	471	0,942	8	10	11	29	32,48
20	9	15	1350	500	140	162	150	452	0,904	7	10	8	25	36,16
21	10	20	900	126	135	100	105	340	2,698	33	26	28	87	31,01
22	11	20	1200	126	125	104	122	351	2,786	26	17	25	68	40,97
23	12	20	1350	126	141	134	90	365	2,827	24	23	20	67	43,24
24	10	20	900	500	125	91	106	322	0,644	8	6	6	22	29,27
25	11	20	1200	500	141	95	90	326	0,652	7	5	4	16	40,75
26	12	20	1350	500	141	113	90	344	0,688	6	5	4	15	46,87
27	13	25	900	126	107	91	94	292	2,317	25	22	22	69	33,58
28	14	25	1200	126	112	93	92	302	2,397	17	13	12	42	57,07
29	15	25	1350	126	141	113	90	344	2,730	19	13	10	42	66,00
30	13	25	900	500	91	113	89	295	0,590	6	7	5	18	32,78
31	14	25	1200	500	141	90	102	333	0,666	7	3	3	12	56,50
32	15	25	1350	500	141	102	167	410	0,820	4	4	3	12	68,33

examinată să cuprindă minim cincizeci grăunți la mărire de 100X. S-au numărat grăunții intersectați de cele trei drepte arbitrare și s-a determinat suma totală a grăunților intersectați ( $\sum n$ ) cât și suma totală reală a segmentelor de dreaptă ( $\sum L_r$ ). Valoarea pentru  $\sum L_r$  se obține raportînd suma efectivă (mărită) a segmentelor ( $\sum L_{ef}$ ) la ordinul de mărire (126X sau 500X). Diametrul convențional mediu este dat de relația:

$$d_c = \frac{\sum L_r}{\sum n} \quad (2.1.)$$

Rezultatele determinărilor pentru probele din ANEXA 2.1., sînt prezentate în tabelul 2.1. În coloana 9, este înscrisă suma efectivă a segmentelor ( $\sum L_{ef}$ ). Suma reală a segmentelor ( $\sum L_r$ ), din coloana 10, se obține raportînd coloana 9 la coloana 5 (ordinul de mărire). Diametrul convențional mediu ( $d_c$ ), din coloana 15, se obține raportînd coloana 10 la coloana 14, conform relației (2.1.).

Datele din tabelul 2.1. au fost grupate în două tabele, în funcție de ordinul de mărire: pentru mărire de 126X (tabelul 2.2.) și pentru mărire de 500X (tabelul 2.3.).

Diametrul convențional  $d_c$  [ $\mu\text{m}$ ] - la mărire de 126X  
Tabelul 2.2.

[KJ/cm] [°C] E <sub>L</sub> T <sub>max.</sub>	0	5	10	15	20	25
	900	26,20	26,50	27,05	28,29	31,01
1200	26,20	28,23	30,42	33,13	40,97	57,07
1350	26,20	30,90	33,01	35,06	43,24	65,00

Se observă că valorile diametrului convențional din cele două tabele, sînt foarte apropiate. Diferențele care apar se datorează unor erori de determinare, erori care sînt nesemnificative. Pentru o imagine mai completă, independent de ordinul de mărire s-a făcut media acestor valori, prezentată în tabelul 2.4. Se observă din acest tabel că diametrul convențional al grăunților crește cu mărirea energiei liniare. Această creș-

tere este din ce în ce mai pregnantă odată cu mărirea temperaturii maxime, în ZIT.

Diametrul convențional  $d_c$  [ $\mu\text{m}$ ] - la mărire de  $500\times$   
Tabelul 2.3.

$\begin{matrix} \text{[KJ/cm]} \\ \text{[}^\circ\text{C]} \\ \text{E}_L \\ \text{T}_{\text{max.}} \end{matrix}$	0	5	10	15	20	25
900	26,20	25,78	27,36	28,12	30,67	32,78
1200	26,20	28,24	29,70	32,48	40,75	55,50
1350	26,20	32,21	34,53	36,16	45,87	68,33

Diametrul convențional mediu  $d_c$  [ $\mu\text{m}$ ]  
Tabelul 2.4.

$\begin{matrix} \text{[KJ/cm]} \\ \text{[}^\circ\text{C]} \\ \text{E}_L \\ \text{T}_{\text{max.}} \end{matrix}$	0	5	10	15	20	25
900	25,645	26,140	27,205	28,205	30,840	33,180
1200	25,645	28,235	30,060	32,805	40,860	56,285
1350	25,645	31,555	33,770	35,610	44,555	66,665

La aceste probe au fost făcute și încercări de duritate Vickers (HV 5) conform STAS 492/1-85, în cadru ISIM Timișoara. Condițiile de încercare au fost conform STAS 6833-79, la  $-20^\circ\text{C}$ . Rezultatele încercărilor sînt trecute în tabelul 2.5. Asupra acestor valori a fost aplicat criteriul Chauvenet, de eliminare a valorilor anormale. Valorile anormale sînt marcate în tabelul 2.5. Prin tăiere, numărul de linii cu care a fost tăiată o valoare, reprezintă la a cîta iterație a fost eliminată valoarea respectivă. Cu valorile normale rămase s-a calculat valoarea medie a durității în ZIT, pentru fiecare probă, rezultatele fiind trecute în tabelul 2.6. Cu valorile durității pentru MB prezentate în tabelul 2.5., s-a calculat duritatea medie a MB, aceasta fiind de 189,96 HV. Analizînd tabelul 2.6. se observă că duritatea maximă în ZIT, scade odată cu creșterea energiei liniare introduse în

Incercări de duritate

Tabelul 2.5.

Nr. exp.	Probă (caracteristică)	Zonă	HV
1	2	3	4
1	Pb.1  EL = 5 kJ/cm Tmax = 900°C	ZIT	<del>423</del>
2			<del>429</del>
3			423
4			429
5			435
6			429
7			<del>266</del>
8			234
9			183
10			192
11		190	
1	Pb.2  EL = 5 kJ/cm Tmax = 1200°C	ZIT	<del>368</del>
2			368
3			371
4			376
5			362
6			<del>260</del>
7			228
8			182
9		199	
10		193	
1	Pb.3  EL = 5 kJ/cm Tmax = 1350°C	ZIT	246
2			246
3			244
4			<del>247</del>
5			<del>234</del>
6		190	
7		188	
8		190	
1	Pb.4  EL = 10 kJ/cm Tmax = 900°C	ZIT	401
2			412
3			418
4			401
5			349
6			268
7		246	
8		188	
9		192	
10		193	
1	Pb.5  EL = 10 kJ/cm Tmax = 1200°C	ZIT	371
2			382
3			388
4			371
5			319
6			238

Tab. 2.5. - cont.

1	2	3	4
7		MB	216
8			187
9			191
10			190
1	Pb.6.  EL = 10 kJ/cm Tmax = 1350°C	ZIT	234
2			232
3			241
4			234
5			239
6			<del>192</del>
7		193	
8		197	
9		195	
1	Pb.7.  EL = 15 kJ/cm Tmax = 900°C	ZIT	325
2			367
3			386
4			407
5			412
6			353
7			401
8			296
9		188	
10		183	
11		187	
1	Pb.8  EL = 15 kJ/cm Tmax = 1200°C	ZIT	293
2			310
3			329
4			317
5			283
6		<del>248</del>	
7		<del>212</del>	
8		185	
9		188	
10		190	
1	Pb.9.  EL = 15 kJ/cm Tmax = 1350°C	ZIT	233
2			241
3			236
4			232
5			225
6			227
7		188	
8		192	
9		193	
1	Pb.10	ZIT	214
2			249
3			251
4			268

Tab. 2.5. - cont.

1	2	3	4
5	$E_L = 20 \text{ kJ/cm}$ $T_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$	MB	274
6			244
7			239
8			201
9			212
10			214
1	$Pb. 11$ $E_L = 20 \text{ kJ/cm}$ $T_{\text{max}} = 1200^\circ\text{C}$	ZIT	246
2			260
3			280
4			268
5			310
6		299	
7		254	
8		MB	185
9			187
10			187
1	$Pb. 12$ $E_L = 20 \text{ kJ/cm}$ $T_{\text{max}} = 1350^\circ\text{C}$	ZIT	212
2			214
3			221
4			229
5			236
6		236	
7		185	
8		MB	199
9			201
10			251
1			254

Tab.2.5. - cont.

1	2	3	4
3	$Pb. 13$ $E_L = 25 \text{ kJ/cm}$ $T_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$	ZIT	249
4			<del>262</del>
5			246
6			<del>225</del>
7			190
8	MB	187	
9		182	
10		182	
1	$Pb. 14$ $E_L = 25 \text{ kJ/cm}$ $T_{\text{max}} = 1200^\circ\text{C}$	ZIT	236
2			232
3			232
4			229
5			227
6		<del>218</del>	
7		<del>206</del>	
8		MB	183
9			185
10			177
1	$Pb. 15$ $E_L = 25 \text{ kJ/cm}$ $T_{\text{max}} = 1350^\circ\text{C}$	ZIT	199
2			201
3			197
4			204
5			<del>218</del>
6		<del>218</del>	
7		MB	182
8			188
9			180

Valorile durității medii, în ZIT

Tabelul 2.6.

$\frac{[HRC]}{T_{\text{max}}}$ \ $\frac{[kJ/cm]}{E_L}$	5	10	15	20	25
900	429,00	356,43	368,38	252,71	250,00
1200	369,25	326,43	306,40	237,86	231,20
1350	245,33	236,00	233,33	224,67	200,25

material, pentru aceeași temperatură maximă. De asemenea, se observă o scădere a durității cu creșterea temperaturii maxime, pentru aceeași energie liniară introdusă.

## 2.2. Regresii pentru determinarea diametrului grăunților

Tabelul 2.4., relevă creșterea diametrului mediu al grăunțelului de austenită, în raport cu energia liniară introdusă în ZIT, avînd temperatura maximă ca parametru.

Necesitatea menținerii diametrului grăunțelului în anumite limite, pentru un oțel cu granulație fină, presupune controlarea energiei liniare introduse. Din acest considerent este necesar să se poată determina diametrul mediu al grăunțelului, în gama de energii liniare uzuale pentru procedeul de sudare MAG.

Determinarea formei de variație a diametrului de grăunte, se obține prin găsirea unor regresii care să coreleze diametrul grăunților cu energia liniară introdusă, în conformitate cu tabelul 2.4. Pentru aceasta, se consideră  $E_L$  ca variabilă independentă,  $d_c$  ca variabilă dependentă și  $T_{max}$  ca parametru. În conformitate cu datele existente, este posibil să se obțină regresii de grad maxim cinci, intensitatea corelației determinîndu-se în funcție de regresii obținute. Regresiile testate sînt:

$$d_{c1}(E_L) = a_1 \cdot E_L + a_0 \quad (2.2.)$$

$$d_{c2}(E_L) = a_2 \cdot E_L^2 + a_1 \cdot E_L + a_0 \quad (2.3.)$$

$$d_{c3}(E_L) = a_3 \cdot E_L^3 + a_2 \cdot E_L^2 + a_1 \cdot E_L + a_0 \quad (2.4.)$$

$$d_{c4}(E_L) = a_4 \cdot E_L^4 + a_3 \cdot E_L^3 + a_2 \cdot E_L^2 + a_1 \cdot E_L + a_0 \quad (2.5.)$$

$$d_{c5}(E_L) = a_5 \cdot E_L^5 + a_4 \cdot E_L^4 + a_3 \cdot E_L^3 + a_2 \cdot E_L^2 + a_1 \cdot E_L + a_0 \quad (2.6.)$$

Aceste regresii scrise compactat, se prezintă sub forma:

$$d_{ci}(E_L) = \sum_{i=0}^n a_i \cdot E_L^i \quad n = 1 \dots 5 \quad (2.7.)$$

Determinarea coeficienților  $a_i$ , se face prin "Metoda celor mai mici pătrate". Pentru aceasta se calculează pătratele erorilor fiecărui polinom, ca suma pătratelor diferențelor dintre valoarea polinomului pentru fiecare  $E_L$ , și  $d_c$  corespunzător. Pătratele acestor erori, scrise sub formă compactată sînt:

$$\varepsilon_u^2 = \sum_{j=1}^6 \left[ \sum_{i=0}^n a_i \cdot E_{Lj}^i \cdot d_{cj} \right]^2 \quad \begin{matrix} n = 1 \dots 5 \\ i = 0 \dots n \end{matrix} \quad (2.8.)$$

Condiția de minimizare, de eroare minimă se obține din condiția ca derivatele parțiale în raport cu coeficienții  $a_i$  să fie nule:

$$\frac{\partial \varepsilon_u^2}{\partial a_i} = 0 \quad \begin{matrix} n = 1 \dots 5 \\ i = 0 \dots n \end{matrix} \quad (2.9.)$$

Derivînd relațiile (2.8.) și aplicînd condițiile date de relațiile (2.9.), se obține:

$$\sum_{j=1}^6 (E_{Lj}^i \sum_{i=0}^n a_i \cdot E_{Lj}^i) = \sum_{j=1}^6 E_{Lj}^i \cdot d_{cj} \quad \begin{matrix} n = 1 \dots 5 \\ i = 0 \dots n \end{matrix} \quad (2.10.)$$

Explicitînd relațiile (2.10.), se obțin cinci sisteme corespunzătoare celor cinci regresii, sisteme necesare determinării coeficienților  $a_i$ :

$$(\delta_1) \begin{cases} s_2 \cdot a_1 + s_1 \cdot a_0 = B_1 \\ s_1 \cdot a_1 + s_0 \cdot a_0 = B_0 \end{cases} \quad (2.11.)$$

$$(\delta_2) \begin{cases} s_4 \cdot a_2 + s_3 \cdot a_1 + s_2 \cdot a_0 = B_2 \\ s_3 \cdot a_2 + s_2 \cdot a_1 + s_1 \cdot a_0 = B_1 \\ s_2 \cdot a_2 + s_1 \cdot a_1 + s_0 \cdot a_0 = B_0 \end{cases} \quad (2.12.)$$

$$(\delta_3) \begin{cases} s_6 \cdot a_3 + s_5 \cdot a_2 + s_4 \cdot a_1 + s_3 \cdot a_0 = B_3 \\ s_5 \cdot a_3 + s_4 \cdot a_2 + s_3 \cdot a_1 + s_2 \cdot a_0 = B_2 \\ s_4 \cdot a_3 + s_3 \cdot a_2 + s_2 \cdot a_1 + s_1 \cdot a_0 = B_1 \\ s_3 \cdot a_3 + s_2 \cdot a_2 + s_1 \cdot a_1 + s_0 \cdot a_0 = B_0 \end{cases} \quad (2.13.)$$

$$(\delta_4) \begin{cases} s_8 \cdot a_4 + s_7 \cdot a_3 + s_6 \cdot a_2 + s_5 \cdot a_1 + s_4 \cdot a_0 = B_4 \\ s_7 \cdot a_4 + s_6 \cdot a_3 + s_5 \cdot a_2 + s_4 \cdot a_1 + s_3 \cdot a_0 = B_3 \\ s_6 \cdot a_4 + s_5 \cdot a_3 + s_4 \cdot a_2 + s_3 \cdot a_1 + s_2 \cdot a_0 = B_2 \\ s_5 \cdot a_4 + s_4 \cdot a_3 + s_3 \cdot a_2 + s_2 \cdot a_1 + s_1 \cdot a_0 = B_1 \\ s_4 \cdot a_4 + s_3 \cdot a_3 + s_2 \cdot a_2 + s_1 \cdot a_1 + s_0 \cdot a_0 = B_0 \end{cases} \quad (2.14.)$$



$$(\delta_5) \left\{ \begin{array}{l}
 S_{10} \cdot a_5 + S_9 \cdot a_4 + S_8 \cdot a_3 + S_7 \cdot a_2 + S_6 \cdot a_1 + S_5 \cdot a_0 = B_5 \\
 S_9 \cdot a_5 + S_8 \cdot a_4 + S_7 \cdot a_3 + S_6 \cdot a_2 + S_5 \cdot a_1 + S_4 \cdot a_0 = B_4 \\
 S_8 \cdot a_5 + S_7 \cdot a_4 + S_6 \cdot a_3 + S_5 \cdot a_2 + S_4 \cdot a_1 + S_3 \cdot a_0 = B_3 \\
 S_7 \cdot a_5 + S_6 \cdot a_4 + S_5 \cdot a_3 + S_4 \cdot a_2 + S_3 \cdot a_1 + S_2 \cdot a_0 = B_2 \\
 S_6 \cdot a_5 + S_5 \cdot a_4 + S_4 \cdot a_3 + S_3 \cdot a_2 + S_2 \cdot a_1 + S_1 \cdot a_0 = B_1 \\
 S_5 \cdot a_5 + S_4 \cdot a_4 + S_3 \cdot a_3 + S_2 \cdot a_2 + S_1 \cdot a_1 + S_0 \cdot a_0 = B_0
 \end{array} \right. \quad (2.15.)$$

Pentru sistemele  $(\delta_1) \dots (\delta_5)$ , coeficienții și termenii liberi se obțin cu valorile din tabelul 2.4., prin intermediul relațiilor:

$$S_m = \sum_{j=1}^6 E_{Lj}^m \quad m = 0 \dots 10. \quad (2.16.)$$

$$B_k = \sum_{j=1}^6 E_{Lj}^k \cdot d_{cj} \quad k = 0 \dots 5 \quad (2.17.)$$

Pentru calcularea valorilor date de relațiile (2.16.) și (2.17.) a fost realizat un program în limbaj BASIC, prezentat în ANEXA 2.2. Rezultatele obținute în urma rulării programului, sînt prezentate în tabelul 2.7. și respectiv tabelul 2.8. Pentru rezolvarea sistemelor  $(\delta_1) \dots (\delta_5)$ , a fost realizat un program în limbaj BASIC, de rezolvare a sistemelor liniare prin metoda Gauss, program prezentat în ANEXA 2.3. În urma rulării programului, pentru rezolvarea celor cinci sisteme, cu coeficienții din tabelele (2.7.) și (2.8.) s-au obținut soluțiile care reprezintă valorile coeficienților din regresiile analizate și care sînt prezentate în tabelul 2.9.

În acest mod, au fost determinate cele cinci regresii care aproximează valorile prezentate în tabelul 2.4. Aceste regresii, pentru cele trei valori ale temperaturii maxime, sînt:

$$T_{\max} = 900^\circ \text{ C} :$$

$$d_{c1} (E_L) = 0,3 \cdot E_L + 24,77 \quad (2.18.)$$

$$d_{c2} (E_L) = 1,11 \cdot 10^{-2} \cdot E_L^2 + 2,47 \cdot 10^{-2} \cdot E_L + 25,69 \quad (2.19.)$$

Coefficienții din sistemele  
( $\delta_1$ )...( $\delta_5$ )

Tabelul 2.7.

$S_0$	6
$S_1$	75
$S_2$	1375
$S_3$	28125
$S_4$	611875
$S_5$	13828125
$S_6$	$3,2054688 \cdot 10^8$
$S_7$	$7,5644531 \cdot 10^9$
$S_8$	$1,8085117 \cdot 10^{11}$
$S_9$	$4,3661426 \cdot 10^{12}$
$S_{10}$	$1,0619409 \cdot 10^{14}$

$$d_{c3}(E_L) = 5,74 \cdot 10^{-5} \cdot E_L^3 + 8,98 \cdot 10^{-3} \cdot E_L^2 + 4,44 \cdot 10^{-2} \cdot E_L + 25,67 \quad (2.20.)$$

$$d_{c4}(E_L) = -4,32 \cdot 10^{-5} \cdot E_L^4 + 2,21 \cdot 10^{-3} \cdot E_L^3 - 2,42 \cdot 10^{-2} \cdot E_L^2 + 0,2 \cdot E_L + 25,62 \quad (2.21.)$$

$$d_{c5}(E_L) = -1,58 \cdot 10^{-5} \cdot E_L^5 + 9,44 \cdot 10^{-4} \cdot E_L^4 - 1,93 \cdot 10^{-2} \cdot E_L^3 + 0,16 \cdot E_L^2 - 0,35 \cdot E_L + 25,64 \quad (2.22.)$$

$$T_{max} = 1200^\circ C :$$

$$d_{c1}(E_L) = 1,11 \cdot E_L + 21,8 \quad (2.23.)$$

$$d_{c2}(E_L) = 6,36 \cdot 10^{-2} \cdot E_L^2 - 0,48 \cdot E_L + 27,11 \quad (2.24.)$$

Termenii liberi din sistemele ( $\delta_1$ )...( $\delta_5$ )

Tabelul 2.8.

$B$	900°C	1200°C	1350°C
$B_0$	171,215	213,89	237,8
$B_1$	2272,125	3158,175	3587,35
$B_2$	42793,625	62615,125	71665,75
$B_3$	890821,88	1350639,4	1555978,8
$B_4$	19611603	30502928	35329994
$B_5$	$4,469318 \cdot 10^8$	$7,0841573 \cdot 10^8$	$8,2411834 \cdot 10^8$

Valorile coeficienților regresior (2.2.)... (2.6.)

Tabelul 2.9.

$\frac{d_i}{T_{\max}}$	$a_5$	$a_4$	$a_3$	$a_2$	$a_1$	$a_0$
$d_1$	-	-	-	-	0,30157143	24,76619
900°C	-	-	-	-	1,1075429	21,804048
1200°C	-	-	-	-	1,4053714	22,066191
1350°C	-	-	-	-	0,024696456	25,689107
$d_2$	-	-	-	0,011074999	-0,48343931	27,107321
900°C	-	-	-	0,063639287	-0,52177146	28,49
1200°C	-	-	-	0,077085715	0,044360048	25,667578
1350°C	-	-	0,00005741989	0,00892205	0,88262942	25,611626
$d_3$	-	-	0,0039885218	-0,85930282	2,186265	25,524997
900°C	-	-	0,0079066757	-0,21941462	0,19846426	25,621352
1200°C	-	-	0,0022149502	-0,02421112	0,83799653	25,625014
1350°C	-	-	0,003363657	-0,076333976	1,8601848	25,622807
$d_4$	-	-	0,0033413823	-0,14930573	-0,350727	25,644418
900°C	-0,000015793449	0,00094367249	-0,019268016	0,16476379	0,37365201	25,644515
1200°C	-0,000013353493	0,0008468652	-0,014800378	0,083445654	1,3443255	25,644473
1350°C	-0,000014834968	0,00101824	-0,016883777	0,028199995		

Valorile diametrului de graunte: real ( $d_c$ ); din regresie ( $\hat{d}_c$ ) [ $\mu\text{m}$ ]  
 Tabelul 2.10.

$T_{\text{max.}}$	$\frac{[k\gamma/\text{mm}]}{\text{Regr.}} E_L$	0	5	10	15	20	25
900°C	$d_c$	25,645	26,140	27,205	28,205	30,840	33,180
	$\hat{d}_{c1}$	24,766	26,274	27,782	29,290	30,798	32,305
	$\hat{d}_{c2}$	25,689	26,089	27,044	28,551	30,613	33,228
	$\hat{d}_{c3}$	25,668	26,120	27,061	28,534	30,583	33,250
	$\hat{d}_{c4}$	25,621	26,258	26,968	28,442	30,722	33,204
	$\hat{d}_{c5}$	25,644	26,142	27,203	28,206	30,840	33,180
1200°C	$d_c$	25,645	28,235	30,060	32,805	40,860	56,285
	$\hat{d}_{c1}$	21,804	27,342	32,879	38,417	43,955	49,493
	$\hat{d}_{c2}$	27,107	26,281	28,637	34,175	42,894	54,796
	$\hat{d}_{c3}$	25,612	9,041	-47,504	-141,031	-268,549	-427,066
	$\hat{d}_{c4}$	25,625	28,335	29,860	33,005	40,760	56,305
	$\hat{d}_{c5}$	25,645	28,236	30,059	32,806	40,860	56,285
1350°C	$d_c$	25,645	31,555	33,770	35,610	44,555	66,665
	$\hat{d}_{c1}$	22,066	29,093	36,120	43,147	50,174	57,200
	$\hat{d}_{c2}$	28,490	27,808	30,981	38,008	48,889	63,624
	$\hat{d}_{c3}$	25,525	31,959	33,353	35,636	44,738	66,589
	$\hat{d}_{c4}$	25,623	31,666	33,549	35,831	44,444	66,687
	$\hat{d}_{c5}$	25,644	31,556	33,769	35,610	44,555	66,665

$$d_{c3}(E_L) = 3,99 \cdot 10^{-3} \cdot E_L^3 - 0,86 \cdot E_L^2 + 0,88 \cdot E_L + 25,61 \quad (2.25.)$$

$$d_{c4}(E_L) = 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot E_L^4 + 3,36 \cdot 10^{-3} \cdot E_L^3 - 7,63 \cdot 10^{-2} \cdot E_L^2 + 0,84 \cdot E_L + 25,63 \quad (2.26.)$$

$$d_{c5}(E_L) = -1,34 \cdot 10^{-5} \cdot E_L^5 + 8,47 \cdot 10^{-4} \cdot E_L^4 - 1,48 \cdot 10^{-2} \cdot E_L^3 + \\ + 8,34 \cdot 10^{-4} \cdot E_L^2 + 0,37 \cdot E_L + 25,64 \quad (2.27.)$$

$T_{\max} = 1350^\circ \text{C}$  :

$$d_{c1}(E_L) = 1,41 \cdot E_L + 22,07 \quad (2.28.)$$

$$d_{c2}(E_L) = 7,71 \cdot 10^{-2} \cdot E_L^2 - 0,52 \cdot E_L + 28,49 \quad (2.29.)$$

$$d_{c3}(E_L) = 7,91 \cdot 10^{-3} \cdot E_L^3 - 0,22 \cdot E_L^2 + 2,19 \cdot E_L + 25,52 \quad (2.30.)$$

$$d_{c4}(E_L) = 9,13 \cdot 10^{-5} \cdot E_L^4 + 3,34 \cdot 10^{-3} \cdot E_L^3 - 0,15 \cdot E_L^2 + \\ + 1,86 \cdot E_L + 25,62 \quad (2.31.)$$

$$d_{c5}(E_L) = -1,48 \cdot 10^{-5} \cdot E_L^5 + 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot E_L^4 - 1,68 \cdot 10^{-3} \cdot E_L^3 + \\ + 2,82 \cdot 10^{-2} \cdot E_L^2 + 1,34 \cdot E_L + 25,64 \quad (2.32.)$$

Regresiile astfel determinate, aproximează într-o măsură mai mare sau mai mică, fenomenul analizat, de creștere a diametrului grăunților de austenită, în funcție de energia liniară introdusă. Pentru a determina care din aceste regresii dau cea mai bună aproximație, cu eroarea cea mai mică, se calculează valorile diametrului grăunțului în funcție de energia liniară, cu regresiiile determinate ( $d_{ci} = f(E_L)$  - ANEXA 2.4.) și se compară cu valorile reale ale diametrului de grăunțe ( $d_c$ ). Aceste valori comparative, sînt prezentate în tabelul 2.10.

O informație asupra calității regresiei este dată și de valoarea coeficientului R de intensitate a corelației  $d_c - E_L$ . Cu cît acest coeficient este mai aproape de unitate, cu atît regresia aproximează mai bine fenomenul. Valorile coeficientului R, pentru regresiiile determinate, sînt prezentate în tabelul 2.11.

Analiza tabelelor 2.10. și 2.11. relevă faptul că pentru  $T_{\max} = 1200^\circ \text{C}$  regresia  $d_{c3}(E_L)$  este total eronată, obținîndu-se din regresie valori negative, iar coeficientul R este absurd. Pentru toate cele trei temperaturi maxime, regresia care dă eroarea minimă (practic nulă), în domeniul de valori luat în discuție, este regresia de gradul cinci:  $d_{c5}(E_L)$ .

În acest context, se trage concluzia că pentru energii liniare de pînă la 25 KJ/cm, diametrul mediu convențional al grăun-

untelui ( $d_c$  [ $\mu\text{m}$ ]), respectă următoarele legi de variație, în funcție de energia liniară ( $E_L$  [ $\text{KJ/cm}$ ]) introdusă în material, pentru anumite temperaturi maxime:

Valorile coeficientului R de intensitate a corelației  $d_c - E_L$

Tabelul 2.11.

$T_{\text{max}}$ Regr.	900°C	1200°C	1350°C
$d_{c_1}(E_L)$	0,95420545	0,8670548	0,87338913
$d_{c_2}(E_L)$	0,9960251	0,97890902	0,94892359
$d_{c_3}(E_L)$	0,99412417	37,580246 · i	0,99954107
$d_{c_4}(E_L)$	0,9917206	0,99961066	0,99971093
$d_{c_5}(E_L)$	0,99999417	0,99999988	0,99999993

$T_{\text{max}} = 900^\circ \text{C} :$

$$d_c = - 1,58 \cdot 10^{-5} \cdot E_L^5 + 9,44 \cdot 10^{-4} \cdot E_L^4 - 1,93 \cdot 10^{-2} \cdot E_L^3 + 0,16 \cdot E_L^2 - 0,35 \cdot E_L + 25,64 \quad (2.33.)$$

$T_{\text{max}} = 1200^\circ \text{C} :$

$$d_c = - 1,34 \cdot 10^{-5} \cdot E_L^5 + 8,47 \cdot 10^{-4} \cdot E_L^4 - 1,48 \cdot 10^{-2} \cdot E_L^3 + 8,34 \cdot 10^{-2} \cdot E_L^2 + 0,37 \cdot E_L + 25,64 \quad (2.34.)$$

$T_{\text{max}} = 1350^\circ \text{C} :$

$$d_c = - 1,48 \cdot 10^{-5} \cdot E_L^5 + 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot E_L^4 - 1,68 \cdot 10^{-3} \cdot E_L^3 + 2,82 \cdot 10^{-2} \cdot E_L^2 + 1,34 \cdot E_L + 25,64 \quad (2.35.)$$

### 2.3. Determinarea energiei liniare optime la sudarea prin procedeul MAG

Analiza efectuată în paragraful 2.2: relevă faptul că diametrul grăunților de austenită crește odată cu mărirea energiei liniare introduse în material. În cazul utilizării oțelurilor cu gra-

nulație fină este necesar ca această granulație să se mențină și în urma procesului de sudare. Ca atare este necesar să se găsească limitele în care trebuie menținută energia liniară pentru a se păstra granulația în domeniul acceptat. Prescripțiile STAS prevăd ca un oțel să se mențină în limitele granulației fine, să aibă un punctaj  $N = 6$  sau cu toleranță, un punctaj cuprins în domeniul  $N = 5,5 \dots 6,5$ . Pentru a determina care este domeniul de variație a diametrului grăuntelui în limita domeniului de punctaj și ulterior domeniul de variație a energiei liniare, este necesar să se determine regresia care stabilește o corelație:  $N = f(d_c)$ . Analizînd anexa din cadrul STAS 5490-71 B o2, au fost luate în discuție valorile cuprinse în domeniul de interes :  $N = 3 \dots 7$ . Ca atare, aproximarea se poate face cu o regresie de grad maxim patru. Regresiile testate sînt:

$$N_1(d_c) = a_1 \cdot d_c + a_0 \quad (2.36.)$$

$$N_2(d_c) = a_2 \cdot d_c^2 + a_1 \cdot d_c + a_0 \quad (2.37.)$$

$$N_3(d_c) = a_3 \cdot d_c^3 + a_2 \cdot d_c^2 + a_1 \cdot d_c + a_0 \quad (2.38.)$$

$$N_4(d_c) = a_4 \cdot d_c^4 + a_3 \cdot d_c^3 + a_2 \cdot d_c^2 + a_1 \cdot d_c + a_0 \quad (2.39.)$$

Determinarea coeficienților regresiiilor se face prin "Metoda celor mai mici pătrate" și condițiile de minimizare a erorilor, analog celor prezentate în paragraful 2.2. De această dată se obțin patru sisteme:  $(\delta_1) \dots (\delta_4)$  (relațiile (2.11.)... (2.14.)). Pentru determinarea coeficienților și a termenilor liberi din sisteme, se utilizează tabelul 2.12., extras din STAS-ul menționat.

Extras STAS 5490-71 B o2

Tabelul 2.12.

$d_c$ [mm]	111	78,8	55,3	39,1	26,7
N	3	4	5	6	7

Utilizînd programul din ANEXA 2.2. se obțin coeficienții și termenii liberi, care sînt prezentați în tabelul 2.13. și tabelul 2.14. Utilizînd programul de rezolvare a sistemelor liniare prin metoda GAUSS, prezentat în ANEXA 2.3., cu datele din tabelele 2.13. și 2.14., se obțin valorile coeficienților din regresiiile analizate, care sînt prezentate în tabelul 2.15. Au fost determinate astfel cele patru regresii care aproximează valorile prezentate

metoda GAUSS, prezentat în ANEXA 2.3., cu datele din tabelele 2.13. și 2.14., se obțin valorile coeficienților din regresiiile analizate, care sînt prezentate în tabelul 2.15. Au fost determinate astfel cele patru regresii care aproximează valorile prezentate

Coeficienții din sistemele  $(\delta_1) \dots (\delta_4)$

Tabelul 2.13.

$S_0$	5
$S_1$	310,9
$S_2$	23830,23
$S_3$	2104857,9
$S_4$	$2,0256157 \cdot 10^8$
$S_5$	$2,0511002 \cdot 10^{10}$
$S_6$	$2,1423673 \cdot 10^{12}$
$S_7$	$2,2821308 \cdot 10^{14}$
$S_8$	$2,462521 \cdot 10^{16}$

Termenii liberi din sistemele  $(\delta_1) \dots (\delta_4)$

Tabelul 2.14.

$B_0$	25
$B_1$	1346,2
$B_2$	91254,3
$B_3$	7397568,3
$B_4$	$6,7399032 \cdot 10^8$

Valorile coeficienților regresior (2.36.)... (2.39.)

Tabelul 2.15.

$a_i$ Regr.	$a_4$	$a_3$	$a_2$
$N_1$	-	-	-
$N_2$	-	-	0,00035656021
$N_3$	-	$-3,7455155 \cdot 10^{-6}$	0,001125958
$N_4$	$-7,0921582 \cdot 10^{-10}$	$-3,5587056 \cdot 10^{-6}$	0,0011088988

	$a_1$	$a_0$
	-0,046304653	7,8792233
	-0,095692712	9,2507504
	-0,14258047	10,076042
	-0,14194635	10,068007



în tabelul 2.12. Aceste regresii sînt:

$$N_1 (d_c) = - 4,63. 10^{-2}. d_c + 7,88 \quad (2.40.)$$

$$N_2 (d_c) = 3,57. 10^{-4}. d_c^2 - 9,57. 10^{-2}. d_c + 9,25 \quad (2.41.)$$

$$N_3 (d_c) = - 3,75. 10^{-6}. d_c^3 + 1,13. 10^{-3}. d_c^2 - 0,14. d_c + 10,08 \quad (2.42.)$$

$$N_4 (d_c) = - 7,09. 10^{-10}. d_c^4 - 3,56. 10^{-6}. d_c^3 + 1,11. 10^{-3}. d_c^2 - 0,14. d_c + 10,07 \quad (2.43.)$$

Pentru a determina care dintre cele patru regresii aproximează cel mai bine fenomenul, se compară valorile punctajului obținut din regresii ( $N = f (d_c) - \text{ANEXA 2.5.}$ ), cu punctajul real prezentat în STAS ( $N$ ). Aceste valori comparative, sînt prezentate în tabelul 2.16.

Valorile punctajului real ( $N$ ) și din regresie ( $\hat{N}$ )

Tabelul 2.16.

Regr. $d_c$	111	78,8	55,3
$N$	3	4	5
$\hat{N}_1$	2,7394068	4,2304166	5,318576
$\hat{N}_2$	3,0220777	3,9242439	5,0493766
$\hat{N}_3$	3,0000552	3,9995744	5,0012099
$\hat{N}_4$	3,0000442	3,9996414	5,0010325

39,1	26,7
6	7
6,0687114	6,6428891
6,0543182	6,9499832
5,9986278	7,0005349
5,9988158	7,0004649

Valorile coeficientului R de intensitate a corelației  $N - d_c$

Tabelul 2.17.

Regr.	R
$N_1(d_c)$	0,9760614
$N_2(d_c)$	0,99858734
$N_3(d_c)$	0,99999924
$N_4(d_c)$	0,99999972

O informație asupra calității regresiei este dată de coeficientul R de intensitate a corelației  $N - d_c$ . Pentru regresiile determinate valorile coeficientului R sînt prezentate în tabelul 2.17.

Analiza tabelelor 2.16. și 2.17., relevă faptul că regresia care dă eroarea minimă (practic nulă), în domeniul de valori luate în discuție, este regresia de gradul patru:  $N_4(d_c)$ .

În acest context, se trage concluzia că, în domeniul diametrului mediu al grăunților de  $d_c = (20 \dots 120) \mu\text{m}$ ,

punctajul N urmărește legea de variație:

$$N = - 7,09 \cdot 10^{-10} \cdot d_c^4 - 3,56 \cdot 10^{-6} \cdot d_c^3 + 1,11 \cdot 10^{-3} \cdot d_c^2 - 0,14 \cdot d_c + 10,07 \quad (2.44.)$$

Relația (2.44.), este reprezentată grafic în figura 2.1.

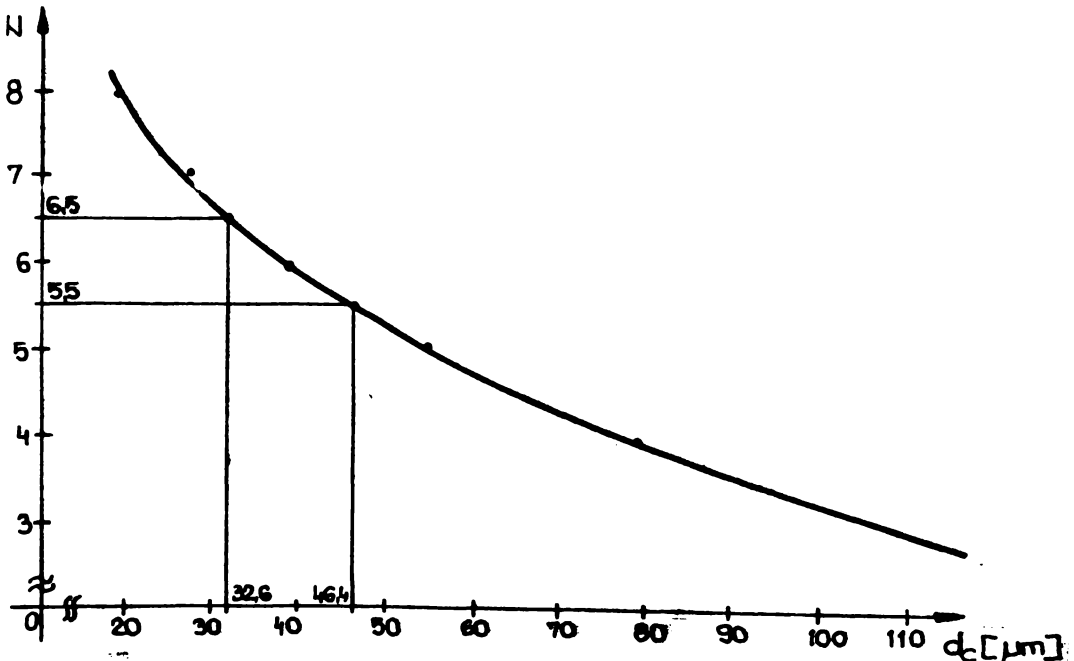


Fig.2.1. Graficul de variație  $N = f(d_c)$

Conform domeniului de punctaj, pentru menținerea granulației fine ( $N = 5,5 \dots 6,5$ ), din grafic se determină gama de valori a diametrului mediu convențional, ca fiind:  $d_c = (32,6 \dots 46,5) \mu\text{m}$ .

Graficele de variație a dimensiunilor grăunților de austenită, în funcție de energia liniară introdusă în material, date de relațiile (2.33.), (2.34.), și (2.35.), sînt prezentate în figura 2.2.

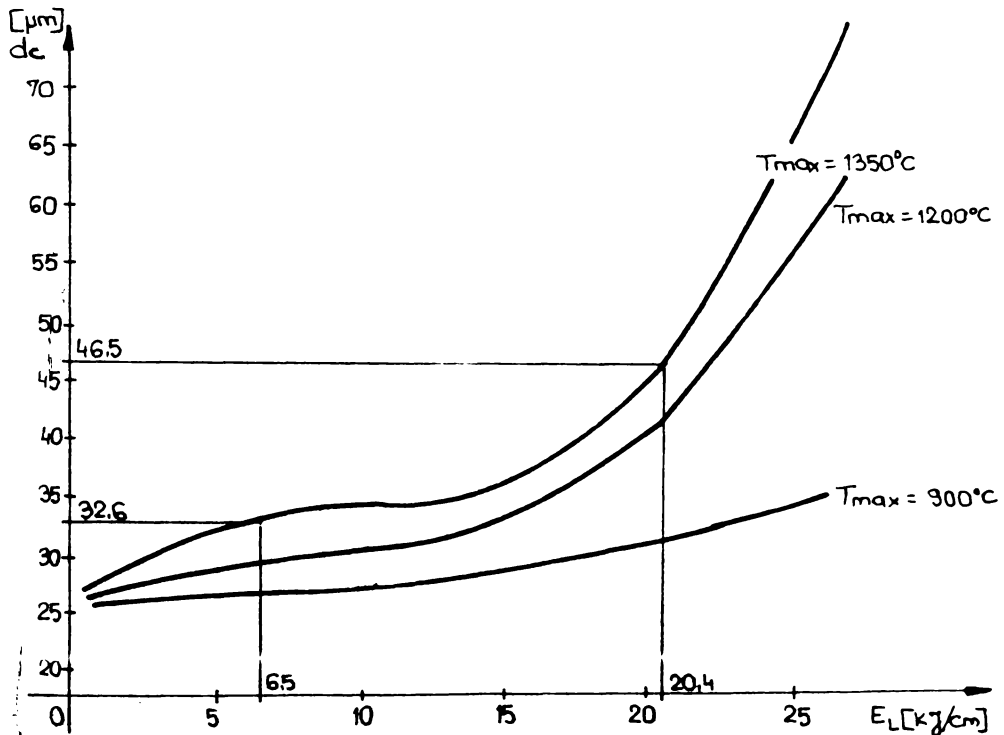


Fig.2.2. Graficul de variație  $d_c = f(E_L)$  în ZIT

În concluzie, pentru ca la un oțel cu granulație fină, să se mențină această granulație și în urma procesului de sudare prin procedeul MAG, este necesar ca energia liniară introdusă în material să fie menținută în limitele de (6...20)  $\text{kJ/cm}$ . În aceste condiții, diametrul grăunților de austenită se vor menține în gama (30...45)  $\mu\text{m}$ , punctajul corespunzător fiind 6 (5,5...6,5).

## CAPITOLUL 3

### CALCULUL AUTOMAT AL TEHNOLOGIILOR DE SUDARE PRIN PROCEDEUL MAG

#### 3.1. Necesitatea și principiul calculului automat

Metodologia de proiectare a tehnologiei MAG, prezentată în paragraful 1.2., se bazează pe determinarea tuturor variantelor posibile de tehnologii, pentru diametrele de sîrmă electrod existente. Tehnologia optimă se determină prin minimizarea funcțiilor obiectiv alese ( $Z_1, Z_2, Z_3$ ) și din cerința de a se suda cu un număr minim de straturi, în limitele permise de caietul de sarcini a structurii sudate. Prin această metodă de optimizare, tehnologiile optime pentru două rosturi diferite și același material, se deosebesc prin diametrul șirmei electrod. În conjunctura sudării MAG automate, cu ajutorul unui utilaj specializat (tractor) sau a unui robot de sudare, schimbarea rostului pe parcursul executării unui subansamblu, necesită schimbarea diametrului de sîrmă pentru a se putea suda cu tehnologia optimă.

Metodologia prezentată în paragraful 1.2., este utilă în-deosebi atunci cînd se proiectează tehnologia de sudare pentru un tip de rost sau pentru rosturi de tipuri și dimensiuni relativ apropiate. Utilitatea metodei se relevă și prin determinarea diametrului de sîrmă electrod care realizează optimizarea prin minimizarea funcțiilor obiectiv prezentate  $Z_1, Z_2, Z_3$  și a numărului de treceri  $n_t$ .

Automatizarea procedurii de sudare MAG, prin intermediul unui utilaj specializat (tractor) sau a unui robot de sudare, presupune ca întreg procesul să fie condus de către un calculator de proces. În acest context, calculatorului de proces i se furnizează date referitoare la materialul ce va fi sudat și la traiectoriile rosturilor. La schimbarea tipului de rost, calculatorul va determina o nouă tehnologie optimă. Această tehnologie va avea modificată viteza de sudare, care va fi asigurată de către instalația automatizată.

Cerințele de proiectare prezentate nu sînt satisfăcute în

totalitate de metodologia de proiectare dată în paragraful 1.2. Din acest considerent este necesară o nouă metodologie de proiectare automată a tehnologiei de sudare prin procedeul MAG.

Calculul automat, presupune proiectarea tehnologiei de sudare, ținând cont de mai mulți parametri și perturbații care apar. În acest context, pe lângă calculul laborios, apare și reluarea ciclică a unor calcule pentru determinarea tehnologiei optime. O astfel de metodă de proiectare se pretează a fi realizată prin intermediul calculatorului.

Pe plan mondial, din totalitatea structurilor sudate, 60% sînt realizate din oțeluri obișnuite (OL) sau din oțeluri cu granulație fină (OCS, R, K). Din acest considerent proiectarea tehnologiei MAG se referă doar la această gamă de oțeluri.

Principiul proiectării are la bază o metodă nouă, ce constă în determinarea parametrilor primari cu excepția vitezei de sudare, în funcție de o singură variabilă independentă, diametrul electrodului -  $d_e$ . Viteza de sudare se determină în așa fel încît duritatea maximă în ZIT să nu depășească  $350 \text{ HV}_{10}$ , limită ce se consideră ca fiind pragul de apariție a fisurilor. În cazul oțelurilor cu granulație fină, este luată în considerare și energia liniară introdusă în timpul procesului de sudare, energie care trebuie să fie cuprinsă în domeniul  $E_L = (6...20) \text{ KJ/cm}$ , pentru reducerea riscului de creștere a grăunților de austenită. Pentru aceste oțeluri, viteza de sudare este determinată în contextul încadrării energiei liniare în limitele admise, cît și a temperaturii stratului de suprafață, la sudarea multistrat.

Calculul automat al tehnologiei de sudare prin procedeul MAG, pornește de la principiul efectuării tuturor calculelor pentru determinarea tehnologiei optime și furnizarea proiectantului doar a datelor finale, necesare utilizării tehnologiei proiectate.

Principiul de calcul este de tip conversațional, permițînd proiectantului să intervină pe parcursul proiectării cu datele necesare.

### 3.2. Alegerea rostului de sudare

Proiectarea unei tehnologii de sudare, începând în primul rând alegerea rostului. Pentru aceasta este necesar să se cunoască tipul îmbinării sudate, grosimea materialului care va fi sudat, clasa de calitate impusă structurii cât și căile de acces pentru realizarea sudurii. Toate aceste date sînt necesare pentru determinarea formei și dimensiunile rostului de sudare.

În conformitate cu STAS-ul de rosturi în vigoare, pentru sudarea MAG există trei tipuri de suduri: sudare cap-la-cap, sudare de colț în L și sudare de colț în T. Pentru a putea fi identificate, s-a acordat un indice de cod pentru tipul de sudare ( i ), conform tabelului 3.1.

Indicii de cod pentru alegerea rostului de sudare

Tabelul 3.1.

Tip de sudare	CAP-LA-CAP COLT - L COLT - T	i = 1 i = 2 i = 3
Grosimea MB(s)	s ∈ [2;5] s ∈ (5;10] s ∈ (10;20] s ∈ (20;30] s ∈ (30;∞)	j = 1 j = 2 j = 3 j = 4 j = 5
Clasa de calitate	CL I (fină) CL II (mediu) CL III (grosolană) CL IV (grosolană) CL V (conf.doc)	K = 1 K = 2 K = 3 K = 4 K = 5
Acces de sudare	Unilateral Bilateral	l = 1 l = 2

Grosimea materialului definește tipul rostului care trebuie ales. În STAS se prevede că se pot suda prin procedeul MAG, materiale începînd de la grosimea de 2 mm, limita superioară nefiind impusă. Din aceasta rezultă domeniul larg de aplicabilitate al procedurii, putîndu-se utiliza la sudarea materialelor de orice grosime, mai mare de 2 mm. Tipurile de rosturi prevăzute de STAS sînt specifice anumitor grosimi de

material. Din acest considerent, s-a acordat un indice de cod pentru grosimea materialului ( j ), conform tabelului 3.1.

Clasa de calitate impusă pentru executarea unei îmbinări sudate, are importanță atît în alegerea tipului de rost și a prescripțiilor referitoare la executarea rădăcinii, cât și la duritatea maximă pe care o va avea ZIT-ul, după executarea sudurii. STAS-ul prevede cinci clase de calitate, pentru primele trei fiind impusă limita durității maxime în ZIT. Ultima clasă de calitate nu are

nici un fel de prescripție, sudura în aceasta clasă executându-se în conformitate cu documentația. Claselor de calitate, li s-au acordat de asemenea un indice de cod ( k ), conform tabelului 3.1.

STAS-ul de rosturi, prevede ca în anumite situații să se resudeze rădăcina. În acest caz, este necesar ca structura să permită acces bilateral în zona respectivă. În cazul în care structura nu are acces bilateral, trebuie ales alt tip de rost sau alte soluții pentru respectarea prescripțiilor STAS-ului. Din acest considerent s-a acordat un indice de cod ( l ), pentru numărul căilor de acces în zona de lucru, unilateral sau bilateral, conform tabelului 3.1.

Sudarea prin procedeul MAG, a tipurilor de oțeluri luate în discuție, necesită conform STAS-ului, șapte tipuri de rosturi, cărora li s-au acordat câte o cifră de cod de la 1 pînă la 7, (tabelul 3.2.). Sudarea în clasele de calitate I și II impune

Cifrele de cod pentru rosturi

Tabelul 3.2.

Rost	Simbol	Cod	Prescripții rădăcină	Simbol	Cod
Rost I	I	1	-		0
Rost V	V	2	complet pătrunsă	CP	1
Rost V redus	Vr	3	suport la rădăcină	SR	2
Rost jumătate V	1/2V	4	resudarea rădăcinii	rr	3
Rost jumătate V redus	1/2 Vr	5			
Rost x	x	6			
Rost K	k	7			

anumite prescripții speciale, referitoare la executarea rădăcinii, prescripții cărora li s-au acordat de asemenea câte o cifră de cod (tabelul 3.2.). În cazul în care nu există astfel de prescripții, cifra de cod acordată este 0. Cu ajutorul celor două cifre de cod prezentate în tabelul 3.2., se obține o codificare completă și biunivocă a tuturor rosturilor prevăzute în STAS, pentru cele trei tipuri de suduri, în cadrul procedurii de sudare MAG. Această codificare este prezentată în tabelul 3.3.

Variantele de rosturi de sudare pentru procedeul MAG, la sudarea oțelurilor obișnuite (OL) și cu granulație fină (OGS, R, K) sînt prezentate în tabelul 3.4. Acest tabel a fost întocmit în funcție de cele patru criterii de alegere a rosturilor: tip de

sudare, grosime de material, clasă de calitate și numărul căilor de acces la sudare.

Codurile pentru rosturi la sudarea MAG

Tabelul 3.3.

Rost	Variante			Cod
	CAP-LA-CAP	COLT-L	COLT-T	
I	I	LI	TI	10
	I <sub>cp</sub>	LI-cp	TI-cp	11
V	V	LV	-	20
	V-cp	-	-	21
	V-sr	LV-sr	-	22
	V-rr	LV-rr	-	23
V <sub>r</sub>	V <sub>r</sub> -sr	-	-	32
1/2V	1/2V	L 1/2V	T 1/2V	40
	-	L 1/2V-sr	T 1/2V-sr	42
	-	L 1/2V-rr	T 1/2V-rr	43
1/2V <sub>r</sub>	1/2V <sub>r</sub>	-	-	50
X	X	-	-	60
K	K	LK	TK	70

Alegerea rostului din STAS, se face cu ajutorul celor patru indici de cod, prezentați în tabelul 3.1., în următoarea ordine: tip de sudare ( i ) - grosime de material ( j ) - clasă de calitate ( k ) - acces de sudare ( l ). Prin alăturarea celor patru indici, se obține codul de alegere al rostului pentru tabelul 3.4. Fiecărui cod îi corespunde câte un tip de rost, în conformi-

tate cu tabelul 3.4., iar acestuia îi corespunde un cod al rostului, în conformitate cu tabelul 3.3. În felul acesta, în funcțiile de informații primare: tip de sudare - grosime de material - clasă de calitate - acces de sudare, se obțin informații referitoare la tipul de rost (prima cifră a codului) și la prescripțiile speciale referitoare la rădăcină (a doua cifră a codului), în conformitate cu prevederile din STAS. Corespondența dintre codul de alegere al rostului, tipul de rost și codul rostului, este prezentată în tabelul 3.5.

Perechile de coduri: cod de alegere - cod rost, furnizează informații complete asupra rostului, atât din punct de vedere al formei prin tipul rostului, cât și din punct de vedere al dimensiunilor prin grosimea materialului.

În cazul în care prin codul de alegere se precizează faptul să structura prezintă acces de sudare bilateral (AB), iar STAS-ul nu prevede rost pentru situația respectivă, codul rostului fiind " 00 ", alegerea rostului se face pentru situația precedentă, adică pentru aceiași indici de cod de alegere: i, j, k, cu excepția ultimului, pentru care se alege accesul unilateral (AU). Deci în



Tabelul 3.4.

Tip de sudare	Clasa de Grosimea calitate materialului (s)	I (fină)		II (mijlocie)		III (grosolană)		IV (grosolană)		V (-)	
		AU	AB	AU	AB	AU	AB	AU	AB	AU	AB
CAP-LA-CAP	5 ∈ [2 ... 5]	I-cp	-	I-cp	-	I	-	I	-	I	-
	5 ∈ (5 ... 10]	V <sub>sr</sub>	I	V <sub>cp</sub>	I	V	-	V	-	V	-
	5 ∈ (10 ... 20]	V <sub>sr</sub>   V <sub>rr</sub>		V	-	½V	-	½V	-	½V	-
	5 ∈ (20 ... 30]	V <sub>sr</sub>   X		V <sub>sr</sub>   X		½V   K		½V   K		½V <sub>r</sub>   K	
	5 ∈ (30 ... )	V <sub>sr</sub>   X		V <sub>sr</sub>   X		½V   K		½V   K		½V <sub>r</sub>   K	
COLT-L	5 ∈ [2 ... 5]	LI-cp	-	LI-cp	-	LI	-	LI	-	LI	-
	5 ∈ (5 ... 10]	L½V <sub>sr</sub>   L½V <sub>rr</sub>		L½V	-	LI	-	LI	-	LI	-
	5 ∈ (10 ... 20]	L½V <sub>sr</sub>   L½V <sub>rr</sub>		L½V	-	L½V	-	L½V	-	L½V	-
	5 ∈ (20 ... 30]	L½V <sub>sr</sub>   LK		L½V   LK		L½V   LK		L½V   LK		L½V   LK	
	5 ∈ (30 ... )	L½V <sub>sr</sub>   LK		L½V   LK		L½V   LK		L½V   LK		L½V   LK	
COLT-T	5 ∈ [2 ... 5]	TI-cp	-	TI-cp	-	TI	-	TI	-	TI	-
	5 ∈ (5 ... 10]	T½V <sub>sr</sub>   TI		T½V   TI		T½V   TI		T½V   TI		T½V   TI	
	5 ∈ (10 ... 20]	T½V <sub>sr</sub>   T½V <sub>rr</sub>		T½V	-	T½V	-	T½V	-	T½V	-
	5 ∈ (20 ... 30]	T½V <sub>sr</sub>   TK		T½V   TK		T½V   TK		T½V   TK		T½V   TK	
	5 ∈ (30 ... )	T½V <sub>sr</sub>   TK		T½V   TK		T½V   TK		T½V   TK		T½V   TK	

Cod de alegere i j k l	Tip de rost	Cod rost	Cod de alegere i j k l	Tip de rost	Cod rost	Cod de alegere i j k l	Tip de rost	Cod rost
1 1 1 1	I-cp	1 1	2 1 1 1	LI-cp	1 1	3 1 1 1	TI-cp	1 1
1 1 1 2	-	0 0	2 1 1 2	-	0 0	3 1 1 2	-	0 0
1 1 2 1	I-cp	1 1	2 1 2 1	LI-cp	1 1	3 1 2 1	TI-cp	1 1
1 1 2 2	-	0 0	2 1 2 2	-	0 0	3 1 2 2	-	0 0
1 1 3 1	I	1 0	2 1 3 1	LI	1 0	3 1 3 1	TI	1 0
1 1 3 2	-	0 0	2 1 3 2	-	0 0	3 1 3 2	-	0 0
1 1 4 1	I	1 0	2 1 4 1	LI	1 0	3 1 4 1	TI	1 0
1 1 4 2	-	0 0	2 1 4 2	-	0 0	3 1 4 2	-	0 0
1 1 5 1	I	1 0	2 1 5 1	LI	1 0	3 1 5 1	TI	1 0
1 1 5 2	-	0 0	2 1 5 2	-	0 0	3 1 5 2	-	0 0
1 2 1 1	V-sr	2 2	2 2 1 1	L $\frac{1}{2}$ V-sr	4 2	3 2 1 1	T $\frac{1}{2}$ V-sr	4 2
1 2 1 2	I	1 0	2 2 1 2	L $\frac{1}{2}$ V-rr	4 3	3 2 1 2	TI	1 0
1 2 2 1	V-cp	2 1	2 2 2 1	L $\frac{1}{2}$ V	4 0	3 2 2 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 2 2 2	I	1 0	2 2 2 2	-	0 0	3 2 2 2	TI	1 0
1 2 3 1	V	2 0	2 2 3 1	LI	1 0	3 2 3 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 2 3 2	-	0 0	2 2 3 2	-	0 0	3 2 3 2	TI	1 0
1 2 4 1	V	2 0	2 2 4 1	LI	1 0	3 2 4 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 2 4 2	-	0 0	2 2 4 2	-	0 0	3 2 4 2	TI	1 0
1 2 5 1	V	2 0	2 2 5 1	LI	1 0	3 2 5 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 2 5 2	-	0 0	2 2 5 2	-	0 0	3 2 5 2	TI	1 0
1 3 1 1	V-sr	2 2	2 3 1 1	LV-sr	2 2	3 3 1 1	T $\frac{1}{2}$ V-sr	4 2
1 3 1 2	V-rr	2 3	2 3 1 2	LV-rr	2 3	3 3 1 2	T $\frac{1}{2}$ V-rr	4 3
1 3 2 1	V	2 0	2 3 2 1	LV	2 0	3 3 2 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 3 2 2	-	0 0	2 3 2 2	-	0 0	3 3 2 2	-	0 0
1 3 3 1	$\frac{1}{2}$ V	4 0	2 3 3 1	L $\frac{1}{2}$ V	4 0	3 3 3 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 3 3 2	-	0 0	2 3 3 2	-	0 0	3 3 3 2	-	0 0
1 3 4 1	$\frac{1}{2}$ V	4 0	2 3 4 1	L $\frac{1}{2}$ V	4 0	3 3 4 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 3 4 2	-	0 0	2 3 4 2	-	0 0	3 3 4 2	-	0 0
1 3 5 1	$\frac{1}{2}$ V	4 0	2 3 5 1	L $\frac{1}{2}$ V	4 0	3 3 5 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 3 5 2	-	0 0	2 3 5 2	-	0 0	3 3 5 2	-	0 0
1 4 1 1	Vr-sr	3 2	2 4 1 1	LV-sr	2 2	3 4 1 1	T $\frac{1}{2}$ V-sr	4 2
1 4 1 2	X	6 0	2 4 1 2	LK	7 0	3 4 1 2	TK	7 0
1 4 2 1	Vr-sr	3 2	2 4 2 1	LV	2 0	3 4 2 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 4 2 2	X	6 0	2 4 2 2	LK	7 0	3 4 2 2	TK	7 0
1 4 3 1	$\frac{1}{2}$ V	4 0	2 4 3 1	L $\frac{1}{2}$ V	4 0	3 4 3 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 4 3 2	K	7 0	2 4 3 2	LK	7 0	3 4 3 2	TK	7 0
1 4 4 1	$\frac{1}{2}$ V	4 0	2 4 4 1	L $\frac{1}{2}$ V	4 0	3 4 4 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 4 4 2	K	7 0	2 4 4 2	LK	7 0	3 4 4 2	TK	7 0
1 4 5 1	$\frac{1}{2}$ Vr	5 0	2 4 5 1	L $\frac{1}{2}$ V	4 0	3 4 5 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 4 5 2	K	7 0	2 4 5 2	LK	7 0	3 4 5 2	TK	7 0
1 5 1 1	Vr-sr	3 2	2 5 1 1	LV-sr	2 2	3 5 1 1	T $\frac{1}{2}$ V-sr	4 2
1 5 1 2	X	6 0	2 5 1 2	LK	7 0	3 5 1 2	TK	7 0
1 5 2 1	Vr-sr	3 2	2 5 2 1	LV	2 0	3 5 2 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 5 2 2	X	6 0	2 5 2 2	LK	7 0	3 5 2 2	TK	7 0
1 5 3 1	$\frac{1}{2}$ V	4 0	2 5 3 1	L $\frac{1}{2}$ V	4 0	3 5 3 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 5 3 2	K	7 0	2 5 3 2	LK	7 0	3 5 3 2	TK	7 0
1 5 4 1	$\frac{1}{2}$ V	4 0	2 5 4 1	L $\frac{1}{2}$ V	4 0	3 5 4 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 5 4 2	K	7 0	2 5 4 2	LK	7 0	3 5 4 2	TK	7 0
1 5 5 1	$\frac{1}{2}$ Vr	5 0	2 5 5 1	L $\frac{1}{2}$ V	4 0	3 5 5 1	T $\frac{1}{2}$ V	4 0
1 6 5 2	K	7 0	2 5 5 2	LK	7 0	3 5 5 2	TK	7 0

situația corespondenței: " ijkl " - " 00 ", alegerea rostului  
face după codul de alegere: " ijkl-1 ".

### 3.3. Calculul durității maxime în ZIT

Procesul de sudare acționează asupra materialului prin energia introdusă, care trebuie să fie suficientă pentru a compensa pierderile prin conducție termică și radiații. Nivelul energetic al materialului, crește în zona de acțiune, determinând reacții fizice și chimice: dilatări, contracții, transformări structurale, absorbții de gaze, oxidări, reduceri, nitruri, faze intermetalice. Aceste fenomene apar în ZIT, a cărei zonă de extindere este relativ redusă, și produc o durificare a materialului. La ojele luate în discuție, se recomandă ca duritatea maximă (HM) în ZIT să nu depășească 350 HV<sub>10</sub>, limită ce separă domeniul durificării acceptabile, de cel excesiv. Duritatea maximă în ZIT, depinde atât de compoziția chimică a materialului, cât și de viteza cu care se răcește ZIT-ul, după sudare.

Literatura de specialitate prezintă peste 50 de metode și formule pentru determinarea durității maxime în ZIT. În documentele Institutului Internațional de Sudură - IIS / IIW, sînt analizate comparativ formulele și metodele de calcul, care dau rezultatele cele mai apropiate de realitate.

Analiza efectuată, are ca rezultat concluzia că, metoda notată BL - 70, pentru calculul durității maxime în ZIT, este cea recomandată de IIS / IIW, prezentînd cele mai mici abateri față de determinările experimentale.

Această metodă se bazează pe curba de variație a durității maxime în ZIT, curbă numită "logistic curve", prezentată în figura 3.1. Curba este reprezentată în plan semilogaritm, abscisa fiind la scară logaritmă iar ordonata la scară liniară. Din analiza curbei prezentate, se observă că forma de variație a durității maxime, depinde în primul rînd de timpul de răcire între 800°C și 500°C ( $t_{8/5}$ ) prin logaritmul său. Variația, de la valoarea maximă, cînd răcirea se face instantaneu ( $t_{8/5} \rightarrow 0$ ), pînă la valoarea minimă, cînd răcirea se face foarte lent ( $t_{8/5} \rightarrow \infty$ ), este dată de variația cantității de martensită din material:

K = A - B

(3.1.)

unde:

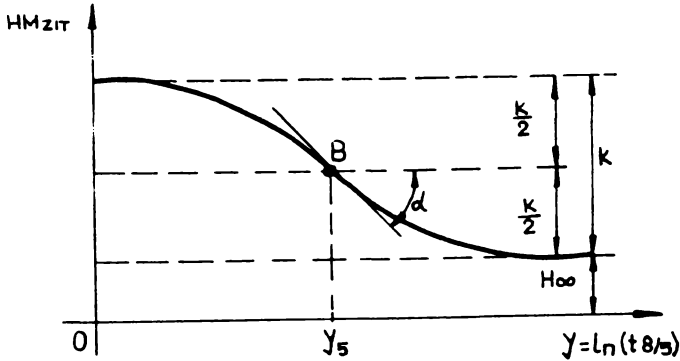


Fig.3.1. "Logistic curve" pentru determinarea durității maxime în ZIT prin metoda BL - 70

- A - duritatea la o răcire foarte rapidă și o structură 100% martensitică;
- B - duritatea la o răcire foarte lentă și o structură 0% martensitică.

Variația durității maxime, în funcție de timpul de răcire  $t_{3/5}$ , dată prin variația cantității de martensită, se calculează în funcție de compoziția chimică a materialului, cu relația:

$$K = 269 + 454 \cdot C - 36 \cdot Si - 79 \cdot Mn - 57 \cdot Cu + 12 \cdot Ni - 53 \cdot Cr - 122 \cdot Mo - 169 \cdot Nb - 7089 \cdot B \quad (3.2.)$$

Valoarea minimă a durității, la o răcire foarte lentă ( $t_{3/5} \rightarrow \infty$ ), notată  $H_{\infty}$  se calculează de asemenea în funcție de compoziția chimică a materialului, cu relația:

$$H_{\infty} = 207 + 304 \cdot C - K \quad (3.3.)$$

Panta curbei, în punctul de inflexiune B, se calculează cu relația:

$$m = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \frac{(\alpha \cdot K)}{K} \quad (3.4.)$$

din care se obține unghiul tangentei la curbă, în punctul de inflexiune:

$$\alpha = \frac{(\alpha \cdot K)}{K} \quad (3.5.)$$

Unghiul  $\alpha$  se calculează tot în funcție de compoziția chimică a materialului, prin intermediul relației:

$$(\alpha K) = 478 + 3364. C - 256. Si + 66. Ni - 408. Mo - \\ - 1321. V - 1599. Nb \quad (3.6.)$$

Abscisa punctului de inflexiune B, reprezintă logaritmul timpului de răcire  $t_{8/5}$ , când duritatea a scăzut cu 50%. Valoarea acestei abscise ( $Y_5$ ), se calculează în funcție de compoziția chimică a materialului cu relația:

$$Y_5 = - 0,085 + 2,07. C + 0,459. Mn + 0,655. Cu + 0,122. Ni + \\ + 0,222. Cr + 0,788. Mo + 30. B \quad (3.7.)$$

Abscisa curbei de variație a durității maxime în ZIT, depinde de variabila independentă timp de răcire  $t_{8/5}$ , și este:

$$Y = \ln ( t_{8/5} ) \quad (3.8.)$$

Variabila independentă  $t_{8/5}$  se determină în funcție de tehnologia de sudare a materialului ales. Această tehnologie implică energia liniară introdusă la sudare ( $E_L$ ) și temperatura de preîncălzire ( $T_{pr}$ ).

Energia liniară introdusă, pentru o tehnologie dată, se calculează cu relația:

$$E_L = 0,054 \cdot \frac{U_a \cdot I_S}{V_S} \quad [KJ/cm] \quad (3.9.)$$

În cadrul relației (3.9.), a fost implicat și randamentul procedurii de sudare MAG. Valorile care se introduc în calculul energiei liniare, pentru obținerea unităților de măsură precizate sînt:  $U_a$  [V];  $I_S$  [A];  $V_S$  [cm/min].

În acest context, variabila independentă timp de răcire  $t_{8/5}$  se calculează cu relația:

$$t_{8/5} = \frac{0,9 \cdot \delta}{(600 - T_{pr})^\delta} \cdot E_L^{\alpha + \beta} \cdot T_{pr} \quad [sec] \quad (3.10.)$$

Valorile coeficienților  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\delta$ , necesare pentru calculul timpului  $t_{8/5}$ , cu relația (3.10.), sînt date în tabelul 3.6., în funcție de grosimea materialului sudat.

Duritatea maximă în ZIT, pentru un material cu compoziția chimică cunoscută și o tehnologie calculată, se determină cu aju-

torul relațiilor (3.2.)...(3.10.), prin intermediul relației:

$$HM = H_{\infty} + \frac{K}{1 + e^{\alpha(l - l_5)}} [HV_{10}] \quad (3.11.)$$

Coefficienții pentru calculul timpului  $t_{0/5}$

Tabelul 3.6.

$S$ [mm]	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
[2...20)	0,94	+ 0,00070	993	1,220
[20...25)	1,61	- 0,00068	966·10 <sup>5</sup>	3,300
[25...30)	1,15	+ 0,00111	1,31	0,274
[30...40)	0,97	+ 0,00103	3,51	0,345
[40... )	0,96	- 0,00004	63,500	1,870

Relația (3.11.) dă duritatea maximă în ZIT prin cantitatea de creștere a durității față de valoarea minimă la o concentrație de 0% martensită.

Cantitatea de creștere a durității, este dată de variația timpului  $t_{8/5}$  față de momentul în care duritatea a scăzut cu 50%, la o concentrație de 100% martensită ( $Y - Y_5$ ).

Calcululele prezentate pentru determinarea durității maxime în ZIT, sînt valabile pentru oțeluri nealiat sau slab aliate. În cazul în care la un oțel scade concentrația de C și Mn sub valorile: C = (0,10...0,17)% și Mn = (0,65...1,10)%, valorile durității maxime calculate sînt mai mari decît datele experimentale. Același fenomen se petrece și în cazul în care oțelul a fost normalizat. În aceste situații, relațiile prezentate rămîn valabile prin aplicarea unei corecții de modificare a valorii abscisei punctului de scădere a durității cu 50%, de la valoarea  $Y_5$  la valoarea  $Y_5'$  care se calculează cu relația:

$$Y_5' = Y_5 + 0,22 \cdot (Mn - 1,5) \quad (3.12.)$$

Valorile scăzute pentru C și Mn se introduc în relația (3.7.), iar cu această relație se calculează noua abscisă  $Y_5'$  (relația (3.12.)). Determinarea durității maxime se face cu relația (3.11.), în care în locul valorii  $Y_5$  se introduce valoarea  $Y_5'$ , astfel calculată.

Metoda de determinare a durității maxime în ZIT (BL - 70) are avantajul că ține cont în calcule de toți factorii care influențează duritatea: regimul de sudare, energia liniară introdusă, temperatura de preîncălzire, timpul de răcire între 800°C și 500°C

și compoziția chimică a materialului. Alte metode prezentate în literatura de specialitate, țin cont doar de o parte din acești factori. Din aceste considerente, metoda prezentată (BL - 70) se pare că este la ora actuală cea mai completă și cu erorile cele mai mici, față de datele experimentale.

#### 3.4. Determinarea timpului interstrat

Temperatura de preîncălzire ( $T_{pr}$ ) cât și energia liniară ( $E_L$ ) introdusă în timpul procesului de sudare, influențează duritatea maximă în ZIT cât și granulația materialului. Acest fenomen este pregnant la oțelurile cu granulație fină, la care este necesar să se mențină aproximativ granulația inițială a materialului și după procesul de sudare. Cu alte cuvinte, în timpul procesului de sudare, să nu se depășească o anumită limită a nivelului energetic al materialului. Această limită este controlată inițial prin energia liniară introdusă și indirect prin duritatea maximă în ZIT.

La sudarea în mai multe straturi, a oțelurilor cu granulație fină, există riscul ca la sudarea stratului următor, temperatura stratului precedent să nu fi scăzut suficient și să se depășească limita nivelului energetic al materialului. Într-o astfel de situație, stratul următor se va depune atunci când temperatura stratului precedent a ajuns la valoarea temperaturii de preîncălzire (eventual cu circa  $50^{\circ}\text{C}$  mai mare), valoare ce se consideră normală pentru sudare și care a fost determinată prin tehnologie calculată.

Determinarea timpului interstrat ( $t_{is}$ ), impune determinarea în prealabil a timpului necesar utilajului automat să sudeze stratul precedent și să se întoarcă, cu o viteză mai mare (viteza de mers în gol -  $V_0$ ), pentru sudarea stratului următor. Acest timp de utilaj ( $t_u$ ) se calculează cu relația:

$$t_u = l_c \left( \frac{6}{V_{su}} + \frac{1}{V_0} \right) \quad [\text{sec}] \quad (3.13.)$$

unde:

$l_c$  - lungimea cusăturii stratului precedent [mm];

$V_{su}$  - viteza de sudare la umplerea stratului precedent [cm/min];

$V_0$  - viteza de mers în gol a utilajului [mm/sec] ; la sudarea cu tractorul TU - 1000:  $V_0 = 30$  mm/sec, iar la sudarea cu un robot de sudare:  $V_0 = 500$  mm/sec.

La întoarcerea în poziția inițială, pentru sudarea stratului următor, deci după  $t_u$  secunde, se determină temperatura stratului precedent, utilizînd relația (1.37.). În această relație, puterea sursei de sudare MAG, este dată de relația:

$$P = \frac{E_L}{V_s} \quad (3.14.)$$

Înlocuind relațiile (3.9.) și (3.14.) în relația (1.37.) se obține relația pentru determinarea variației în timp a temperaturii stratului depus ( $T_{str}$ ):

$$T_{str}(t) = \frac{0,054 \cdot U_a \cdot I_s}{2sV_s \sqrt{\pi c \gamma \lambda t}} \cdot e^{-\frac{x_0^2}{4at} - \frac{2\alpha t}{c \gamma s}} \quad (3.15.)$$

Pentru gama de oțeluri luate în discuție, constantele de material au valorile:

$$\begin{aligned} c &= 0,146 \text{ Kcal/kg.}^\circ\text{C} \\ \gamma &= 7,85 \text{ gr/cm}^3 \\ \lambda &= 45 \text{ Kcal/m.h.}^\circ\text{C} \\ a &= 0,039 \text{ m}^2/\text{h} \\ \alpha &= 20,2 \text{ Kcal/m}^2\text{.h.}^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (3.16.)$$

Mărimea  $x_0$ , reprezintă distanța de la centrul sursei de energie, pînă la ZIT, și se determină cu relația:

$$x_0 = 1 + \sqrt{\frac{A_u}{\pi \cdot n_t}} \quad [\text{mm}] \quad (3.17.)$$

unde:

$A_u$  - aria de umplere a rostului [mm<sup>2</sup>]  
 $n_t$  - numărul de treceri necesar umplerii rostului

Înlocuind relațiile (3.16.) și (3.17.) în relația (3.15.), se obține forma de variație în timp a temperaturii materialului depus:



$$T_{str}(t) = \frac{90,126 \cdot U_a \cdot I_S}{s \cdot V_S \cdot \sqrt{t}} \cdot e^{-\frac{(1 + \sqrt{\frac{A_u}{\pi \cdot n_t}})^2}{43,555 \cdot t}} - \frac{0,014 \cdot t}{s} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.18.)$$

În relația (3.18.), mărimile de calcul se introduc în:  $U_a [V]$ ;  $I_S [A]$ ;  $s [mm]$ ;  $V_S [cm/min]$ ;  $t [sec]$ ;  $A_u [mm^2]$ .

Determinarea momentului de timp cînd se poate depune stratul următor, cu alte cuvinte determinarea momentului în care temperatura stratului depus anterior a scăzut pînă în jurul valorii temperaturii de preîncălzire, se face rezolvînd inecuația:

$$T_{pr} \leq T_{str}(t) < T_{pr} + 50 \quad (3.19.)$$

Inecuația (3.19.) fiind transcendentă, se recurge la determinarea soluției prin aproximări succesive:

- se determină temperatura stratului depus anterior, după întoarcerea utilajului, adică după scurgerea timpului de utilaj ( $t_u$ ):  $T_{str}(t_u)$ ;

- se verifică dacă această valoare se încadrează în limitele precizate:

$$T_{pr} \leq T_{str}(t_u) < T_{pr} + 50 \quad (3.20.)$$

- dacă relația (3.20.) este verificată, se poate începe sudarea stratului următor, în caz contrar, se mărește timpul cu  $\Delta t$  (de exemplu 60 sec) și se reface verificarea:

$$T_{pr} \leq T_{str}(t_u + \Delta t) < T_{pr} + 50 \quad (3.21.)$$

- calculele se reiau ciclic, mărind timpul cu  $\Delta t$ , pînă la încadrarea în inegalitatea:

$$T_{pr} \leq T_{str}(t_u + n \cdot \Delta t) < T_{pr} + 50 \quad (3.22.)$$

În momentul în care relația (3.22.) este satisfăcută, după  $n$  cicluri, se poate începe sudarea stratului următor.

Timpul interstrat se determină cu relația:

$$t_{is} = \frac{n \cdot \Delta t}{60} \quad [\text{min}] \quad (3.23.)$$

## CAPITOLUL 4

### PROIECTAREA TEHNOLOGIEI MAG ASISTATA DE CALCULATOR

#### 4.1. Relații de calcul a tehnologiei MAG

Etapele de elaborare a unei tehnologii de sudare, pentru procedeul MAG, au fost prezentate în paragraful 1.2. Calculul tehnologiei se face utilizând relațiile (1.2.)...(1.20.).

În calculul unei tehnologii, executate de către tehnolog, pe lângă informațiile preluate din STAS referitoare la rosturi și materiale (de bază și de adaos) și relațiile de calcul utilizate, mai intervine și experiența tehnologului pentru anumite determinări sau alegeri și rotunjiri aparent normale.

Proiectarea asistată de calculator, nu beneficiază de așa numita experiență a tehnologului. Toate acțiunile calculatorului, trebuie precizate a priori, prin program. De asemenea, trebuie definite cu foarte multă atenție, toate elementele și toți parametri care intervin, pentru a nu apărea pericolul unor confuzii, calculatorul neștiind să analizeze o informație "din context". Definirea unor mărimi de calcul trebuie făcută univoc, iar intervalele în care mărimile pot lua valori, trebuie să fie clar definite. Dacă tehnologul va alege o mărime, într-un anumit domeniu, în funcție de contextul problemei, calculatorul o va lua la îndeplinire, în funcție de limitele și restricțiile care i s-au impus.

Elaborarea unei tehnologii prin intermediul calculatorului, presupune deci modificarea într-o oarecare măsură a relațiilor prezentate în paragraful 1.2., pentru a respecta condițiile prezentate anterior.

În cadrul calculului tehnologiei de sudare asistată de calculator, alegerea rostului se face în conformitate cu cele prezentate în paragraful 3.2. Odată stabilit codul de alegere al rostului, în funcție de: tipul de sudare, grosimea materialului, clasa de calitate și căile de acces la sudare, se determină codul rostului (tipul de rost și prescripțiile referitoare la executarea rădăcinii), prin intermediul tabelelor 3.1. ... 3.5. Cele cinci tabele sînt furnizate a priori, calculatorului, prin program.

Aria rostului se calculează în funcție de tipul de rost ales

și în funcție de grosimea materialului. Pentru tipurile de rosturi care intră în discuție, la sudarea MAG a ovelurilor analizate, se utilizează tabelul 4.1., unde sînt prezentate formulele de calcul a ariei rosturilor.

Formulele de calcul a ariei rostului

Tabelul 4.1.

Rost	$A_r$ [mm <sup>2</sup> ]
I	$s(j+1)$
V	$s + (s-2)^2 \cdot \text{tg} \frac{5\pi}{36}$
$V_r$	$25 + \text{tg} \frac{\pi}{6} + (s+6)(s-10) \cdot \text{tg} \frac{\pi}{15}$
$\frac{1}{2}V$	$25 + \frac{(s-1)^2}{2} \cdot \text{tg} \frac{2\pi}{9}$
$\frac{1}{2}V_r$	$25 + 7(s - \frac{1}{2}) \cdot \text{tg} \frac{2\pi}{9} + \frac{(s-9)^2}{2} \cdot \text{tg} \frac{\pi}{9}$
X	$25 + \frac{(s-5)^2}{2} \cdot \text{tg} \frac{\pi}{9}$
K	$25 + \frac{(s-3)^2}{4} \cdot \text{tg} \frac{2\pi}{9}$

Aria cusăturii se calculează cu relația (1.2.). Coeficientul de multiplicare a ariei rostului, ține cont de procentul pe care îl reprezintă această arie, din aria finală a cusăturii, în funcție de supraînălțare și de adaosul la rădăcină. Acest procent este invers proporțional cu grosimea s a materialului, respectiv cu indicele de cod

j al grosimii materialului. La o grosime de material redusă, supraînălțarea și adaosul la rădăcină vor reprezenta circa 40% din aria cusăturii. În acest context, aria cusăturii se calculează cu relația:

$$A_c = (1,5 - 0,08 \cdot j) \cdot A_r \quad [\text{mm}^2] \quad (4.1.)$$

Stabilirea diametrului electrodului ( $d_e$ ) poate fi făcută a priori, prin intermediul calculatorului, pentru optimizarea funcțiilor obiectiv prezentate în paragraful 1.2., cu ajutorul programului de calcul prezentat în ANEXA 1.2. În cazul în care rosturile unui subansamblu prezintă o mare varietate, se alege diametrul de electrod optim, care să îndeplinească condițiile impuse. Diametrul electrodului ( $d_e$ ) fiind stabilit, nu se mai poate vorbi de o optimizare din acest punct de vedere. În acest context se va optimiza tehnologia, din punct de vedere al numărului minim de treceri.

Parametri primari ai tehnologiei de sudare MAG, se calculează conform literaturii de specialitate, în funcție de diame-

trul electrodului ( $d_e$ ), stabilit anterior.

Curentul de sudare ( $I_s$ ) se va rotunji după calcul, cu rata de cincî unitați (ultima cifra va fi zero sau cincî), deoarece eroarea unei astfel de rotunjiri este nesemnificativă, iar valori exacte nu pot fi prescrise pe sursa de sudare. Curentul de sudare se calculează cu relația:

$$I_s = \left[ \frac{-67 \cdot d_e^2 + 370 \cdot d_e - 78}{5} + 0,5 \right] \cdot 5 \quad [A] \quad (4.2.)$$

Parantezele drepte din cadrul formulei de calcul, au semnificația de parte întreagă a mărimii cuprinse între ele. Pentru calculul curentului de sudare s-a utilizat formula corespunzătoare sudării spa, deoarece pentru oțelurile analizate nu se utilizează sha.

Tensiunea arcului ( $U_a$ ) se calculează în funcție de curentul de sudare ( $I_s$ ) determinat anterior, ca parte întreagă a valorii determinate în capitolul 1, din considerentele prezentate, permițînd o rotunjire de  $\pm 1$  V. În acest caz, rata de rotunjire este de 0,5 unitați. Relația de calcul a tensiunii arcului este:

$$U_a = [13,84 + 0,050508 \cdot I_s] \quad [V] \quad (4.3.)$$

Viteza de avans a electrodului ( $V_e$ ) se calculează în funcție de diametrul  $d_e$  al electrodului, ales anterior, iar valoarea determinată se rotunjește la a doua zecimală. Relația de calcul a vitezei electrodului este:

$$V_e = \left[ (37 \cdot d_e^2 - 402 \cdot d_e + 1177,7 - \frac{368}{d_e} + \frac{163,5}{d_e^2}) \cdot 100 \right] : 100 \quad \left[ \frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] \quad (4.4.)$$

Calculul consumurilor specifice se face pentru un metru liniar de cusătură, la o secțiune de un milimetru pătrat. În determinările consumurilor reale, se va ține cont de lungimea totală a cusăturii cît și de aria rostului umplută prin sudare. Relațiile de calcul, ale consumurilor specifice, în funcție de diametrul electrodului, sînt:

$$\begin{aligned} \lambda_1 = & (10,5 + \frac{0,2834 \cdot d_e^4 - 3,13 \cdot d_e^3 + 8,186 \cdot d_e^2 + 2,5256 \cdot d_e +}{0,13467 \cdot d_e^4 + 1,4874 \cdot d_e^3 + 4,35356 \cdot d_e^2 - 1,3616 \cdot d_e +} \\ & + \frac{65,5}{+ 0,604}) \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} \quad [lei/m.mm^2] \quad (4.5.) \end{aligned}$$

$$Z_2 = \frac{1,274}{0,37 \cdot d_e^4 - 4,02 \cdot d_e^3 + 11,775 \cdot d_e^2 - 3,68 \cdot d_e + 1,635} \left[ \frac{\text{min}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} \right] \quad (4.6.)$$

$$Z_3 = \frac{1,274 (226,7 \cdot d_e^4 - 2504 \cdot d_e^3 + 6548,7 \cdot d_e^2 + 2020,5 \cdot d_e - 60 (0,37 \cdot d_e^4 - 4,02 \cdot d_e^3 + 11,775 \cdot d_e^2 - 3,68 \cdot d_e + 1,635))}{- 733,3)} \left[ \frac{\text{Wh}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} \right] \quad (4.7.)$$

Tehnologia de sudare presupune proiectarea unei tehnologii pentru realizarea rădăcinii, și a unei tehnologii pentru umplerea rostului rămas după realizarea stratului de rădăcină. Parametri primari determinați anterior sînt în conformitate cu cele prezentate în paragraful 3.1. Completarea tehnologiei se face prin calculul vitezei de sudare ( $V_s$ ). Principiul de calcul al vitezei de sudare, se bazează pe faptul că materialul de adaos adus în arc, va fi egal cu materialul depus, adică produsul dintre viteza electrodului și secțiunea sa să fie egal cu produsul dintre viteza de sudare și aria trecerii.

Calculul vitezei de sudare prezintă cîteva particularități, atît în cazul oșelurilor obișnuite (OL), cît și în cazul oșelurilor cu granulație fină (OCS, R, K). În cazul oșelurilor obișnuite, la sudarea unui material cu rost I, umplerea rostului se face într-un strat sau în două straturi, în funcție de grosimea materialului. În conformitate cu prevederile STAS-ului, la un material cu grosime  $s \in [2...5]$  mm, se va utiliza rost I, iar umplerea rostului se va face într-o singură trecere. În cazul unui material cu grosime  $s \in (5...10]$  mm, se va utiliza rost I, iar umplerea rostului se va face în două treceri, cu specificația că cele două treceri trebuie depuse de o parte și de cealaltă a materialului. În acest caz, aria unei treceri va fi jumătate din aria cusăturii ( $A_c$ ). Valoarea calculată pentru viteza de sudare a rădăcinii se rotunjește la a doua zecimală. Relația de calcul, în acest caz este:

$$V_{sr} \Big|_{\text{Rost I}} = \left[ j \cdot \frac{\frac{d_e^2}{4} \cdot V_e}{A_c} : 100 \right] : 100 \quad [\text{cm/min}] \quad (4.8.)$$

La sudarea oștelor obișnuite (OL), de grosimi mari, la care în STAS sînt prevăzute alte tipuri de rosturi decât rost I, aria trecerii de rădăcină ( $A_{tr}$ ), se admite à priori, conform literaturii de specialitate. Cuantificarea ariei trecerii de rădăcină, în funcție de grosimea materialului, pentru oștelurile obișnuite, este prezentată în tabelul 4.2.

Aria trecerii de rădăcină la OL

Tabelul 4.2.

Rost	$A_{tr} [mm^2]$
V	10
$V_r$	14
$\frac{1}{2}V$	12
$\frac{1}{2}V_r$	16
X	20
K	18

Viteza de sudare a rădăcinii, pentru rosturi diferite de rost I, se calculează conform celor prezentate anterior, rotunjirea făcîndu-se la a doua zecimală. Relația de calcul a vitezei de sudare, în acest caz, este:

$$V_{sr} |_{Rost \neq I} = \left[ \frac{\frac{d_e^2}{4} \cdot V_e}{A_{tr}} \cdot 100 \right] : 100 \quad [cm/min] \quad (4.9.)$$

Consumurile, la realizarea stratului de rădăcină, se calculează în funcție de consumurile specifice date de relațiile (4.5.)...(4.7.). Calculul consumurilor pentru stratul de rădăcină se face cu relațiile:

$$z_{1r} = \left[ \frac{z_1' \cdot \frac{d_e^2}{4} \cdot V_e \cdot l_c}{10 \cdot V_{sr}} + 0,5 \right] : 100 \quad [lei/tr] \quad (4.10.)$$

$$z_{2r} = \left[ \frac{z_2' \cdot \frac{d_e^2}{4} \cdot V_e \cdot l_c}{10 \cdot V_{sr}} + 0,5 \right] : 100 \quad [min/tr] \quad (4.11.)$$

$$z_{3r} = \left[ \frac{z_3' \cdot \frac{d_e^2}{4} \cdot V_e \cdot l_c}{10 \cdot V_{sr}} + 0,5 \right] : 100 \quad [Wh/tr] \quad (4.12.)$$

În relațiile (4.10.)...(4.12.),  $l_c$  reprezintă lungimea stratului de rădăcină și se introduce în milimetri. Rotunjirile în calcule se fac la a doua zecimală.

Realizarea cusăturii se face prin umplerea rostului. Aria de umplere a rostului, după realizarea stratului de răscoală, se calculează la oțelurile obișnuite (OL) cu relația:

$$A_u = A_c - A_{tr} \quad [\text{mm}^2] \quad (4.13.)$$

Numărul de treceri ( $n_t$ ) în care se realizează umplerea rostului, depinde de aria de umplere ( $A_u$ ) și de vitezele de sudare, minimă și maximă, posibile pentru procedeul MAG. În cazul sudării automatizate prin procedeul MAG, viteza de sudare minimă este:  $V_{sm} = 20 \text{ cm/min}$ , iar viteza de sudare maximă este:  $V_{sM} = 200 \text{ cm/min}$ . Numărul de treceri, minim și maxim, pentru umplerea rostului, se determină cu relațiile:

$$n_{tm} = \left[ \frac{A_u}{\frac{d_e^2}{4} \cdot V_e} \cdot V_{sm} \right] + 1 \quad (4.14.)$$

$$n_{tM} = \left[ \frac{A_u}{\frac{d_e^2}{4} \cdot V_e} \cdot V_{sM} \right] \quad (4.15.)$$

Umplerea rostului se realizează într-un număr de treceri, cuprins între valoarea minimă și maximă:

$$n_t \in [n_{tm}; n_{tM}] \quad (4.16.)$$

Viteza de sudare pentru umplerea rostului ( $V_{su}$ ), se determină în funcție de numărul de treceri, cu relația:

$$V_{su} = \left[ \frac{n_t}{\frac{A_u}{\frac{d_e^2}{4} \cdot V_e}} \cdot 100 \right] : 100 \quad [\text{cm/min}] \quad (4.17.)$$

În relația (4.17.), rotunjirile se fac la a doua zecimală. Cu viteza de sudare la umplere ( $V_{su}$ ) determinată cu relația (4.17.), se determină duritatea maximă în ZIT (HM), pentru straturile de umplere, cu ajutorul relațiilor (3.2.)...(3.11.), prin metoda prezentată în paragraful 3.3.

Numărul de treceri necesar umplerii rostului, în condiția relației (4.16.), trebuie astfel ales încât viteza de sudare la umplere, calculată cu relația (4.17.) să determine o duritate maximă în ZII, care să respecte condiția:

$$H_{II} \leq 350 HV_{10} \quad (4.18.)$$

Există o gamă de valori a lui  $n_t$ , pentru care condiția (4.18.) este satisfăcută. Din această gamă, se alege valoarea minimă, deci umplerea rostului se va face cu un număr minim de treceri.

Consumurile la realizarea unei treceri de umplere, se calculează în funcție de consumurile specifice. Relațiile de calcul sînt:

$$Z_{1u} = \left[ \frac{Z_1 \cdot \frac{d_e^2}{4} \cdot V_e \cdot l_c}{10 \cdot V_{su}} + 0,5 \right] : 100 \quad [\text{lei/tr}] \quad (4.19.)$$

$$Z_{2u} = \left[ \frac{Z_2 \cdot \frac{d_e^2}{4} \cdot V_e \cdot l_c}{10 \cdot V_{su}} + 0,5 \right] : 100 \quad [\text{min/tr}] \quad (4.20.)$$

$$Z_{3u} = \left[ \frac{Z_3 \cdot \frac{d_e^2}{4} \cdot V_e \cdot l_c}{10 \cdot V_{su}} + 0,5 \right] : 100 \quad [\text{Wh/tr}] \quad (4.21.)$$

Consumurile pentru întreaga cusătură sudată, se calculează în funcție de consumurile pentru realizarea stratului de rădăcină și a straturilor de umplere, cu relațiile:

$$Z_{1c} = Z_{1r} + n_t \cdot Z_{1u} \quad [\text{lei/CUS}] \quad (4.22.)$$

$$Z_{2c} = Z_{2r} + n_t \cdot Z_{2u} \quad [\text{min/CUS}] \quad (4.23.)$$

$$Z_{3c} = Z_{3r} + n_t \cdot Z_{3u} \quad [\text{Wh/CUS}] \quad (4.24.)$$

Prin intermediul relațiilor prezentate, se calculează tehnologia de sudare, prin procedeul MAG, pentru oțeluri obișnuite (OL).



Această metodă de calcul a tehnologiei de sudare, ține cont de duritatea maximă în ZIT și realizează o optimizare din punct de vedere al numărului de treceri, pentru umplerea rostului. Tehnologia optimă va avea numărul minim de treceri, în condiția ca duritatea maximă în ZIT, să nu depășească pragul admis (condiția (4.18.)).

Tehnologia de sudare prin procedeul MAG, a oțelurilor cu granulație fină (OCS, R, K) se determină în principiu prin metoda prezentată, având câteva particularități. Aceste particularități rezidă din condiția de limitare a energiei liniare introduse în timpul procesului de sudare, pentru a menține granulația oțelului în limitele admise.

Particularitățile, pentru această gamă de oțeluri, apar la determinarea vitezei de sudare, deoarece prin intermediul acestei viteze se dirijează: energia introdusă în cusătura sudată ( $E_L$ ), timpul de răcire  $t_{8/5}$  și prin acestea duritatea maximă în ZIT.

Viteza de sudare a rădăcinii se determină ca fiind cea mai mare viteză posibilă astfel încât duritatea maximă în ZIT să respecte condiția (4.18.). Pentru aceasta se determină a cîta parte  $p$ , din aria cusăturii, o reprezintă aria trecerii de rădăcină, în condiția dată. Ca atare, se pornește de la  $p = n_{tm}$ , adică aria rădăcinii reprezintă partea  $p$  din aria cusăturii:

$$A_{tr} = \frac{A_c}{p} = \frac{A_c}{n_{tm}} \quad [\text{mm}^2] \quad (4.25.)$$

Viteza de sudare a rădăcinii este dată de relația:

$$V_{sr} = \left[ \frac{\sqrt{d_e^2}}{4} \cdot v_e \right] : 100 \quad [\text{cm/min}] \quad (4.26.)$$

Cu valoarea astfel determinată se calculează duritatea maximă, și se verifică condiția (4.18.). Mărind ciclic cu cîte o unitate valoarea părții  $p$ , se determină viteza de sudare a rădăcinii, în condițiile date. Creșterea părții  $p$ , se face pînă la valoarea sa maximă:  $p = n_{tm}$ . Viteza de sudare a rădăcinii, va fi cea mai mare viteză de sudare, astfel determinată, pentru respectarea condițiilor impuse. Cu valoarea determinată, se verifică dacă energia liniară introdusă în material, în timpul procesului de sudare

(relația (3.9.)), se încadrează în limitele:  $E_L \in (6...20)$  KJ/cm. Dacă această condiție nu este îndeplinită, se alege situația precedentă, adică o viteză de sudare mai mică, pentru o parte  $p$  mai mică cu o unitate ( $p - 1$ ).

Tehnologia de sudare pentru rost I, la oțeluri cu granulație fină, este determinată după calculul consumurilor, cu relațiile (4.5.)...(4.7.) și (4.10.)...(4.12.).

Aria de umplere, în cazul celorlalte tipuri de rosturi, se determină ca fiind partea rămasă din aria cusăturii, după realizarea stratului de rădăcină, respectiv de ( $p - 1$ ) ori aria acestui strat și se calculează cu relația:

$$A_u = A_c - \frac{\bar{n}_u^2}{4} \cdot \frac{V_e}{v_{sr}} = \frac{p - 1}{p} \cdot A_c \quad \left[ \text{mm}^2 \right] \quad (4.27.)$$

Determinarea vitezei de sudare pentru umplerea rostului, se face analog cu cele prezentate în cazul oțelurilor obișnuite, pentru un număr minim de treceri. Condiția suplimentară care se impune este ca energia liniară, pentru viteza de sudare determinată, să se încadreze în limitele:  $E_L \in (6...20)$  KJ/cm. Dacă această condiție nu este respectată, se mărește numărul de treceri cu câte o unitate pînă la încadrarea în limitele prescrise.

Consumurile se determină analog, cu relațiile (4.5.)...(4.7.) și (4.19.)...(4.24.).

Granulația oțelurilor de tipul OCS. R. K. nu trebuie să se modifice în urma procesului de sudare. Din acest considerent este necesar un control permanent a energiei liniare introduse, cît și a temperaturii stratului depus anterior, la sudarea multistrat. Ca urmare, se determină timpul interstrat ( $t_{is}$ ) cu relațiile (3.13.)...(3.23.), prezentate în paragraful 3.4.

Tehnologia de sudare se consideră calculată, atunci cînd sînt furnizate toate datele necesare executării unei îmbinări sudate. O tehnologie de sudare este constituită din trei părți, prezentate în tabelul 4.3.: Tehnologia generală (tabelul 4.3. (1)), tehnologia stratului de rădăcină (tabelul 4.3. (2)), tehnologia de umplere (tabelul 4.3. (3)).

#### 4.2. Schema logică și algoritmul de calcul

Principiul de calcul a unei tehnologii de sudare MAG, relațiile și tabelele necesare, au fost prezentate în capitolul 3.

Constituența tehnologiei de sudare MAG

Tabelul 4.3.

T.Generală (1)	T.Rădăcină(2)	T.Umplere(3)
Tip sudare	$I_s =$	$I_s =$
Grosime MB.	$U_a =$	$U_a =$
Lungime CUS	$V_e =$	$V_e =$
Clasă calitate	$V_{sr} =$	$V_{sr} =$
Diametru el.	$T_{pr} =$	$T_{pr} =$
Acces sudare	$Z_{1r} =$	$n_t =$
Sudare (părți)	$Z_{2r} =$	$Z_{1u} =$
Granulație MB.	$Z_{3r} =$	$Z_{2u} =$
Rost		$Z_{3u} =$
		$Z_{1c} =$
		$Z_{2c} =$
		$Z_{3c} =$

Prin intermediul acestora se calculează o tehnologie pentru oțeluri obișnuite (OL) sau pentru oțeluri cu granulație fină (OCS, R, K). Schema logică de calcul este prezentată în figura 4.1.

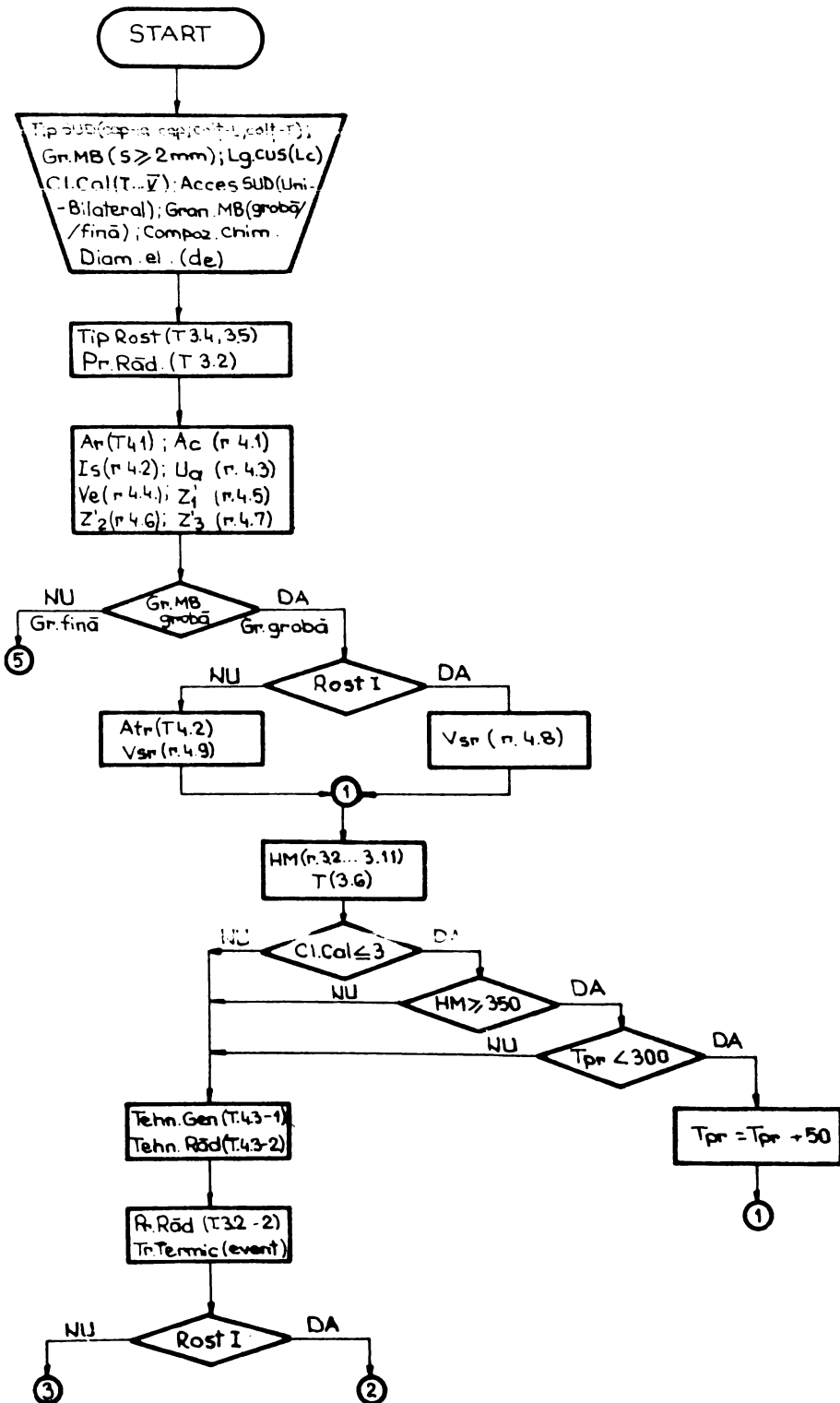
Datele inițiale de proiectare, se furnizează ca date de intrare, prin intermediul indicilor de cod care au fost prezentați în paragraful 3.2.:

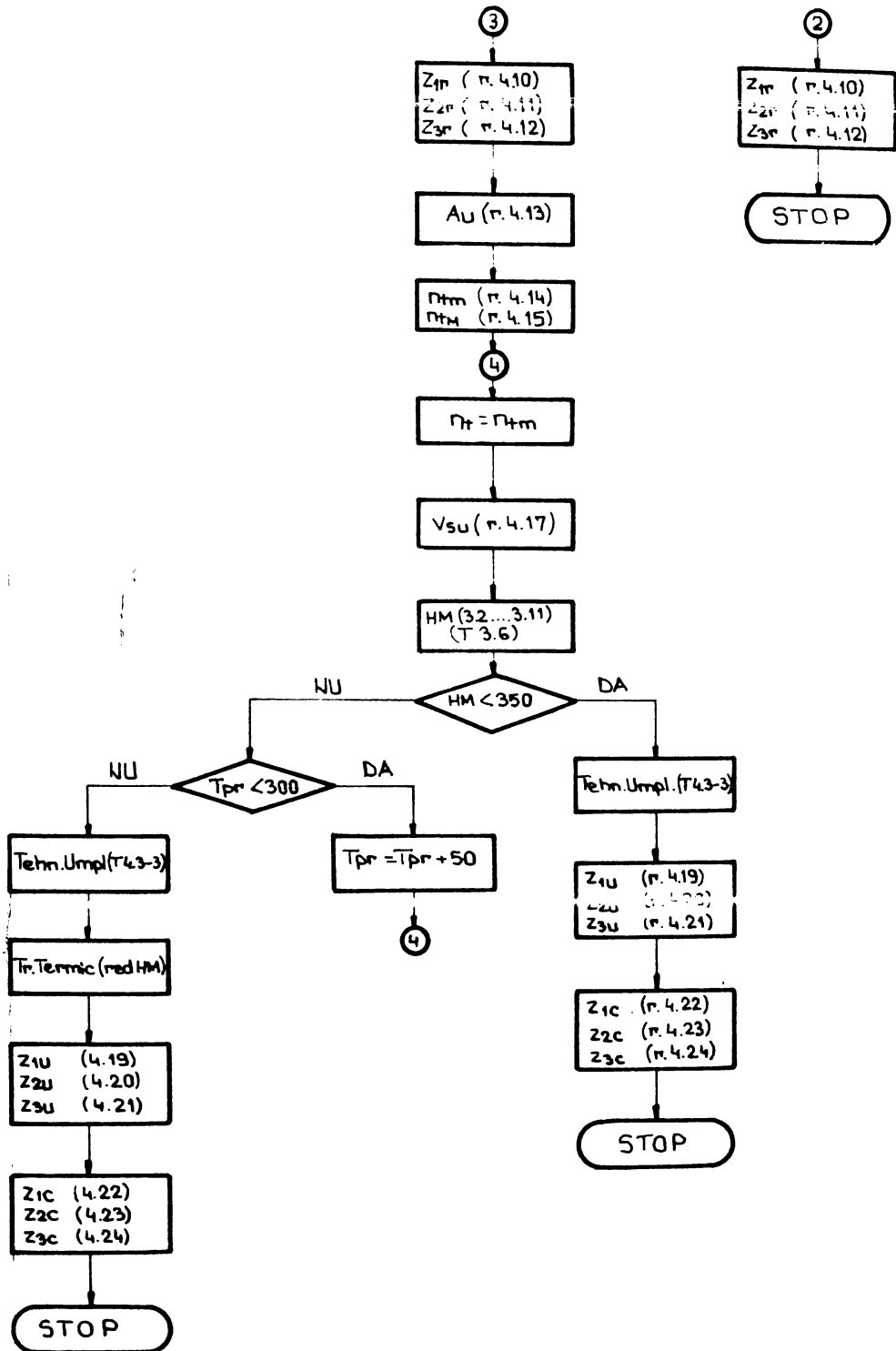
- tipul de sudare: cap-la-cap, colț-L, colț-T;
- grosimea MB:  $s \geq 2$  mm;
- lungimea cusăturii:  $l_c$ ;
- clasa de calitate a sudurii: cl. I...cl.V ;
- cale de acces la sudare. unilatera/bilatera ;
- granulația MB: grobă/fină ;
- compoziția chimică a MB ;
- diametrul electrodului:  $d_e$  .

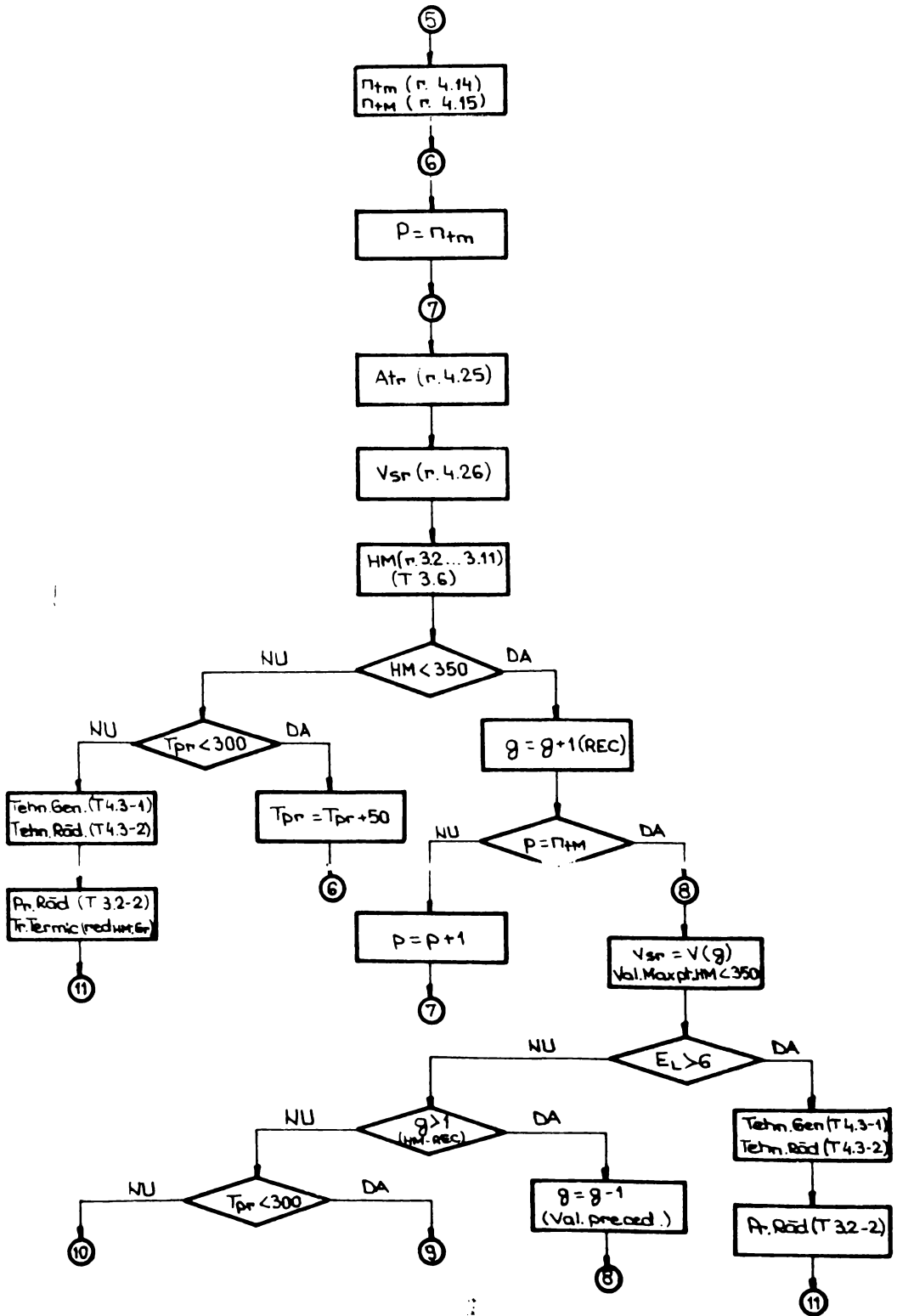
Alegerea rostului se face automat, conform metodei prezentate în paragraful 3.2. Informațiile necesare alegerii rostului (tabelul 3.4. ... 3.6.) sînt introduse a priori, prin program.

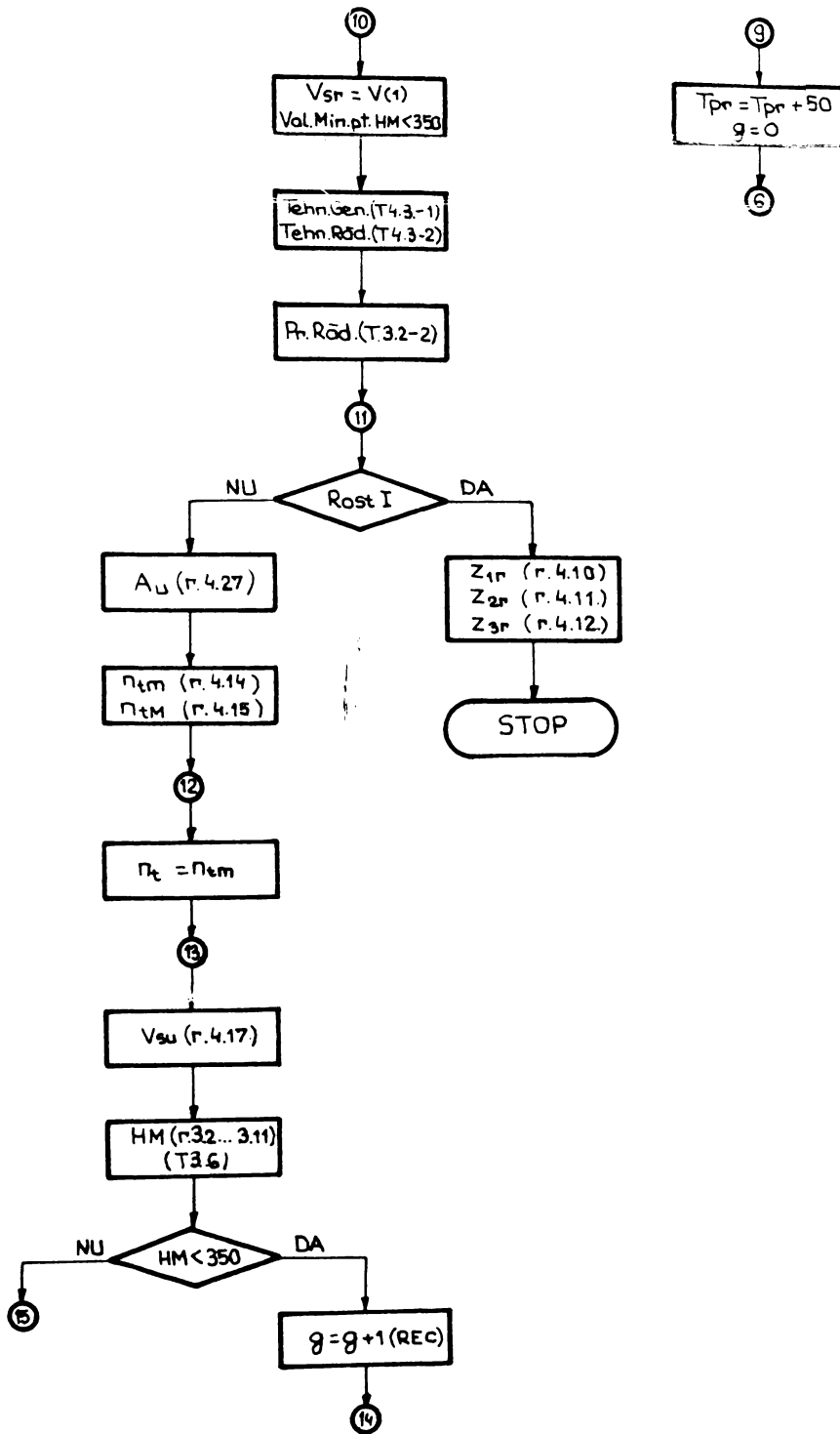
Parametri primari, se calculează conform relațiilor prezentate:

- aria rădăcinii:  $A_r$  (tabelul 4.1.);
- aria cusăturii:  $A_c$  (relația (4.1.));
- curentul de sudare:  $I_s$  (relația (4.2.));
- tensiunea arcului:  $U_a$  (relația (4.3.));









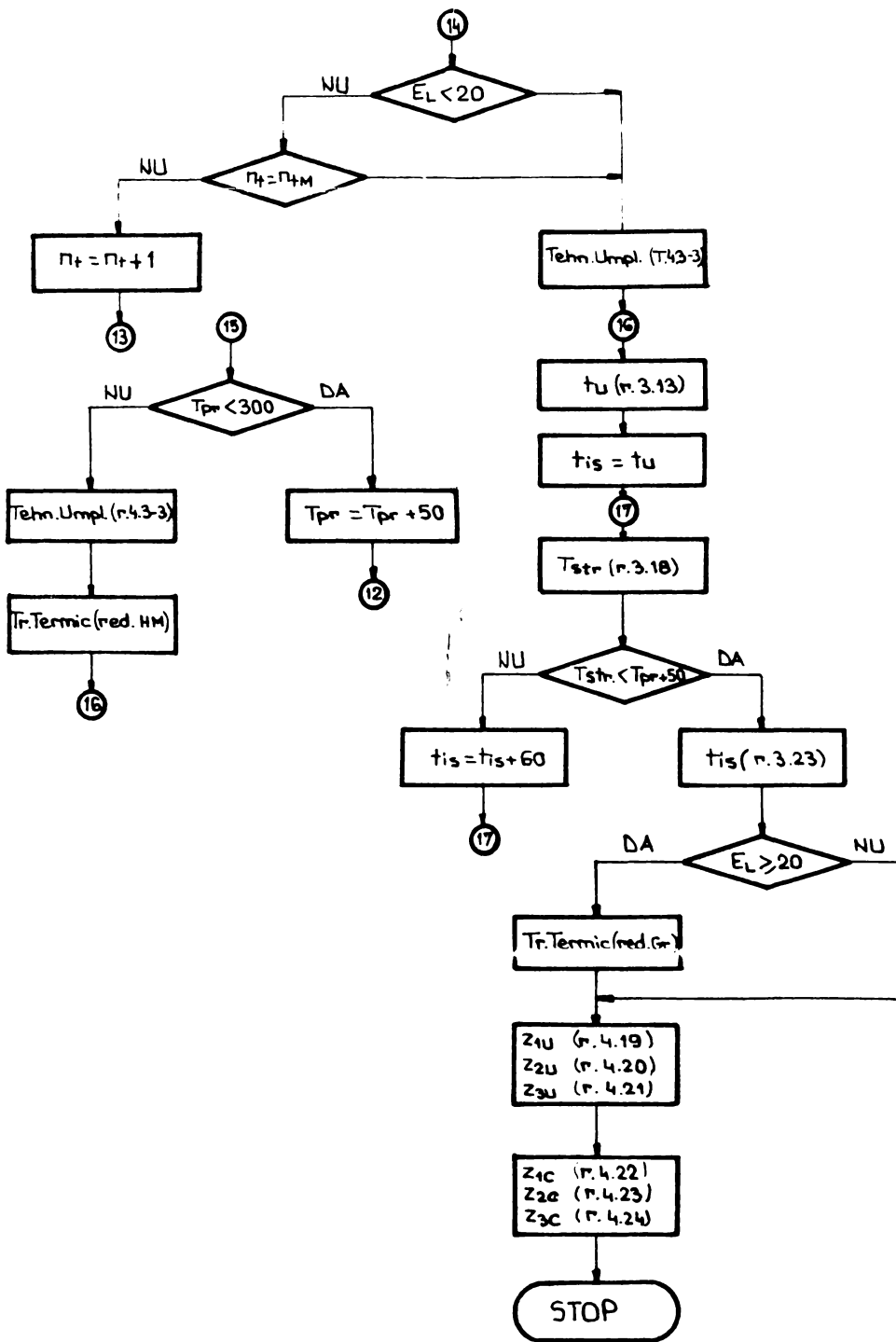


Fig.4.1. Schema logică de calcul, a tehnologiei MAG, cu ajutorul calculatorului TIM-S



- viteza electrodului:  $V_0$  (relația (4.4.));
- consumurile specifice:  $Z_1, Z_2, Z_3$  (relațiile (4.5.)... (4.7.)).

În cazul în care materialul este un oțel obișnuit, de tip OL, se decide conform SFA5-ului, dacă grosimea materialului necesită rost I, sau nu. Dacă rostul de sudare este de tip I, se calculează viteza de sudare (relația (4.6.)); în caz contrar, se alocă o arie a trecerii de rădăcină:  $A_{tr}$  (tabelul 4.2.) și se calculează viteza de sudare a rădăcinii:  $V_{br}$  (relația (4.9.)). Cu viteza de sudare determinată, se calculează duritatea maximă în ZIT (relațiile (3.2.)... (3.11.) și tabelul 3.6.). Dacă clasa de calitate este mai mică sau egală cu III, sau duritatea maximă în ZIT este mai mică decât  $350 HV_{10}$ , sau materialul nu mai suportă preîncălzire, se tipărește tehnologia generală și a rădăcinii (tabelul 4.3. (1) și (2)), prescripțiile pentru stratul de rădăcină (tabelul 3.2.) și eventual se solicită tratament termic. Dacă duritatea maximă în ZIT depășește valoarea limită de  $350 HV_{10}$ , iar materialul suportă preîncălzire suplimentară, se mărește temperatura de preîncălzire cu  $50^{\circ} C$  și se reia ciclic calculul durității maxime până la încadrarea sub valoarea limită. Dacă nu se obține această încadrare, se solicită prin program, tratament termic. Se calculează consumurile pentru stratul de rădăcină, iar dacă rostul este de tip I, calculul tehnologiei este terminat. În caz contrar, se determină aria de umplere a rostului:  $A_u$  (relația (4.13.)), cît și numărul minim și maxim de treceri:  $n_{tm}$  și  $n_{Tm}$  (relațiile (4.14.) și (4.15.)). Pentru valoarea minimă a numărului de treceri, se calculează viteza de sudare la umplere (relația (4.17.)) și duritatea maximă în ZIT (relațiile (3.2.)... (3.11.) și tabelul 3.6.). Dacă duritatea este mai mică decât valoarea limită impusă, de  $350 HV_{10}$ , se tipărește tehnologia de umplere (tabelul 4.3. (3)) și consumurile pentru umplere (relațiile (4.19.)... (4.21.)) cît și pentru întreaga cusătură (relațiile (4.22.)... (4.24.)), calculul tehnologiei fiind terminat. În cazul în care duritatea maximă depășește limita impusă, iar materialul suportă preîncălzire suplimentară, se mărește temperatura de preîncălzire cu  $50^{\circ} C$  și se reia ciclic calculul vitezei de sudare și a durității maxime, până la încadrarea sub valoarea limită. Dacă nu se obține această încadrare, se solicită prin program, tratament termic.

În cazul în care materialul este un oțel cu granulație

fină, de tipul OCS, R, K, se calculează numărul minim și maxim de treceri, cu aceeași relație. Se determină a cota parte  $p$ , din aria cusăturii, o reprezintă aria rădăcinii, pornindu-se de la numărul minim de straturi. Se calculează pentru rădăcină: aria trecerii  $A_{tr}$  (relația (4.25.)), viteza de sudare (relația (4.26.)) și duritatea maximă (relațiile (3.2.)...(3.11.) și tabelul 3.6.). Dacă duritatea maximă este mai mare de  $350 HV_{10}$ , iar materialul suportă preîncălzire suplimentară, se mărește temperatura de preîncălzire cu  $50^{\circ}C$  și calculul se reia ciclic pînă la încadrarea durității sub limita impusă. În cazul în care nu se obține această încadrare, se tipărește tehnologia generală și a rădăcinii (tabelul 4.3. (1) și (2)), prescripțiile asupra rădăcinii (tabelul 3.2.) și se solicită tratament termic pentru reducerea durității și a granulației. Dacă rostul este de tip I, se calculează consumurile pentru rădăcină, cu relațiile prezentate, tehnologia fiind calculată. În cazul în care duritatea maximă este mai mică decît  $350 HV_{10}$ , valorile calculate ( $A_{tr}$ ,  $V_{sr}$ ,  $H_{m}$ ), se înregistrează (RECORDUL) și se mărește cu o unitate partea  $p$  din aria cusăturii alocată rădăcinii; calculul se reia ciclic de la aria trecerii de rădăcină, pînă cînd  $p$  atinge valoarea maximă posibilă  $n_{tm}$ . Viteza de sudare a rădăcinii, va fi ultima valoare înregistrată, adică valoarea maximă pentru care duritatea maximă este sub valoarea limită impusă. Cu valoarea vitezei de sudare astfel determinată, se verifică dacă energia liniară introdusă în cusătură, se încadrează în limitele impuse ( $E_L > 6 KJ/cm$ ). În cazul în care se respectă condiția impusă, se tipărește tehnologia generală și a rădăcinii, prescripțiile pentru rădăcină, conform tabelelor prezentate; iar dacă rostul este de tip I, se calculează consumurile pentru rădăcină, tehnologia fiind astfel terminată. Dacă nu este respectată condiția impusă asupra energiei liniare, se alege viteza precedentă înregistrată, a vitezei de sudare a rădăcinii și calculul se reia ciclic de la verificarea condiției pentru energia liniară, pînă la încadrarea în limita impusă. În cazul în care nu se obține această încadrare nici pentru cea mai mică viteză de sudare înregistrată, iar materialul suportă o preîncălzire suplimentară, se mărește temperatura de preîncălzire cu  $50^{\circ}C$ , se anulează toate valorile înregistrate și calculul se reia ciclic de la determinarea lui  $p$ . În cazul în care materialul nu

mai suportă o preîncălzire suplimentară, se alege viteza de sudare a rădăcinii ca fiind prima valoare înregistrată, adică valoarea minimă pentru care durezza maximă este mai mică decât  $350 \text{ HV}_{10}$ . Se determină tehnologia generală și a rădăcinii cît și prescripțiile asupra rădăcinii, conform tabelelor prezentate, iar pentru un rost de tip I se calculează consumurile pentru rădăcină tehnologia fiind terminată. Dacă rostul nu este de tip I, se determină aria de umplere a rostului  $A_u$  (relația (4.27.)) cît și numărul minim și maxim de treceri, pentru umplerea rostului (relațiile (4.14.) și (4.15.)). Pentru numărul minim de treceri, se calculează viteza de sudare la umplere (relația (4.17.)) și durezza maximă în  $\Delta IT$  (relațiile (3.2.)... (3.11.) și tabelul 3.6.). În cazul în care durezza este mai mare decât  $350 \text{ HV}_{10}$ , iar materialul suportă o preîncălzire suplimentară, se mărește temperatura de preîncălzire cu  $50^\circ \text{C}$  și calculul se reia ciclic pentru numărul minim de treceri. Dacă materialul nu mai suportă o preîncălzire suplimentară, se stabilește tehnologia de umplere pentru valorile calculate și se solicită tratament termic pentru reducerea durezzații. În cazul în care durezza maximă este sub valoarea limită impusă, se înregistrează valoarea vitezei de sudare de umplere (RECORDMET) și se verifică pentru valoarea înregistrată încadrarea energiei liniare introduse în cusătură, în limitele impuse ( $E_L < 20 \text{ KJ/cm}$ ). Dacă această condiție nu este respectată, se mărește numărul de treceri cu o unitate, iar calculul se reia ciclic de la determinarea vitezei de sudare la umplere, pînă la încadrarea în limitele impuse. În cazul în care condiția impusă pentru energia liniară este respectată, sau această condiție nu este respectată dar numărul de treceri a atins valoarea maximă, se stabilește tehnologia de umplere cu ultima valoare calculată, pentru viteza de sudare la umplere. În continuare se calculează timpul de utilaj  $t_u$  (relația (3.13.)) necesar sudării unui strat și întoarcerii utilajului. Se admite ca timpul interstrat  $t_{is}$  să fie egal cu timpul de utilaj ( $t_{is} = t_u$ ). În această situație se calculează temperatura stratului depus  $T_{str}$  (relația (3.18.)) după întoarcerea utilajului. Dacă această temperatură depășește valoarea temperaturii de preîncălzire cu mai mult de  $50^\circ \text{C}$ , se mărește valoarea timpului interstrat cu  $\Delta t$  ( $t_{is} + \Delta t \sim t_{is} + 60$ ) și calculul se reia ciclic prin determinări succesive a temperaturii stratului depus. La încadra-

rea în limitele impuse a temperaturii  $T_{str}$ , se calculează timpul interstrat  $t_{is}$  (relația (3.23.)). În cazul în care energia liniară depășește valoarea limită de 20 KJ/cm, se recomandă prin program tratament termic pentru reducerea granulației. Se determină consumurile pentru umplere și pentru cusătură (relațiile (4.19.)...(4.21.) și (4.22.)...(4.24.)), cu aceasta programul fiind terminat.

Programul de calcul în limbaj BASIC pentru calculatorul TIM-3, de calcul a tehnologiei de sudare MAG, este prezentat în ANEXA 4.1.

Programul care a fost prezentat și discutat pe baza schemei logice, are avantajul obținerii unei tehnologii de sudare, care ține cont de compoziția chimică a materialului, în determinarea durității maxime în ZIT și de energia liniară introdusă, în menținerea granulației fine a materialului. Tehnologia calculată este optimizată din punct de vedere al numărului de treceri, fiind determinată pentru numărul minim de treceri care respectă condițiile impuse. Calculele pentru determinarea parametrilor tehnologiei, se execută ciclic, cu scopul obținerii celor mai apropiate valori care să respecte simultan toate condițiile impuse. În cazul în care, nu este posibilă încadrarea în aceste limite, programul furnizează varianta optimă (cea mai apropiată sau cea care respectă cele mai multe condiții) precizând necesitatea tratamentului termic după sudare, pentru reducerea durității sau a granulației.

#### 4.3. Tehnologii optime pentru procedeul de sudare MAG

Relațiile și metoda de calcul a unei tehnologii de sudare prin procedeul MAG, prezentate în paragrafele 4.1. și 4.2., furnizează o tehnologie optimă prin algoritmul conceput. Această optimizare este realizată din mai multe puncte de vedere, bazându-se pe multiple criterii:

- minimizarea consumului de energie, timp, și preț de cost;
- minimizarea numărului de treceri pentru umplerea rostului de sudare;
- alegerea optimă a rostului, pentru un consum minim de material, în condițiile impuse;

Date inițiale pentru tehnologii de referință, optime, la procedeul de sudare MAG

Tabelul 4.4.

Car. Tehn.	Tip de sudare	Gr. MB [mm]	Lg. cus [mm]	Clasă Cal.	Acces U/B	Granulație MB	Diam. el. [mm]
1	CAP-CAP	5	200	1	AU	grobă	1,0
2	CAP-CAP	5	200	1	AB	grobă	1,0
3	CAP-CAP	10	200	1	AU	grobă	1,2
4	CAP-CAP	15	200	1	AB	grobă	1,2
5	CAP-CAP	15	200	4	AB	grobă	1,2
6	CAP-CAP	25	200	2	AB	grobă	1,6
7	CAP-CAP	25	200	3	AB	grobă	1,6
8	CAP-CAP	35	200	5	AB	grobă	1,6
9	CAP-CAP	5	200	1	AU	fină	1,0
10	CAP-CAP	5	200	1	AB	fină	1,0
11	CAP-CAP	10	200	1	AU	fină	1,2
12	CAP-CAP	15	200	1	AB	fină	1,2
13	CAP-CAP	15	200	4	AB	fină	1,2
14	CAP-CAP	25	200	2	AB	fină	1,6
15	CAP-CAP	25	200	3	AB	fină	1,6
16	CAP-CAP	35	200	5	AB	fină	1,6
17	COLT-L	5	200	1	AU	grobă	1,0
18	COLT-L	10	200	1	AB	grobă	1,2
19	COLT-L	15	200	2	AB	grobă	1,2
20	COLT-L	30	200	4	AB	grobă	1,6
21	COLT-L	5	200	1	AU	fină	1,0
22	COLT-L	10	200	1	AB	fină	1,2
23	COLT-L	15	200	2	AB	fină	1,2
24	COLT-L	33	200	4	AB	fină	1,6
25	COLT-T	10	200	2	AB	grobă	1,2
26	COLT-T	15	200	1	AU	grobă	1,2
27	COLT-T	30	200	5	AB	grobă	1,6
28	COLT-T	10	200	2	AB	fină	1,2
29	COLT-T	15	200	1	AU	fină	1,2
30	COLT-T	30	200	5	AB	fină	1,6

Compoziția chimică a MB utilizat

Tabelul 4.5.

Compoz. chim.	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	B
OL 372 (Gr. grobă)	0,22	0,07	0,85	0	0	0	0	0	0	0
OCS 55b (Gr. fină)	0,22	0,4	1,4	0	0,5	0	0	0,1	0,05	0

- optimiza-  
rea vitezei de  
sudare în așa  
fel încât duri-  
tatea în ZIT  
să nu depășească  
350 HV<sub>10</sub>;  
- optimiza-  
rea energiei li-  
niare introduse  
în material ast-  
fel încât granu-  
lația să se men-  
țină în limite-  
le impuse;  
- optimiza-  
rea tehnologiei  
pentru tempera-  
tura de preîn-  
călzire minimă  
(eventual nulă);  
- proiecta-  
rea unei tehnolo-  
gii cu parame-  
tri primari și  
secundari depen-  
denți de o sin-  
gură variabilă  
independentă -  
diametrul elec-  
trodului;

- contro-  
lul energiei  
liniare și a  
duriității maxi-  
me prin contro-  
lul temperaturii  
stratului depus  
anterior.

Metoda prezentată, respectă condițiile impuse, furnizînd o tehnologie optimă din punct de vedere a criteriilor enunțate. Cum s-a precizat, metoda este limitată la calculul tehnologiilor de sudare a oțelurilor obișnuite (OL) și a oțelurilor cu granulație fină (OCS, R, K), care au o răspîndire mai mare în producția sudată.

Ca exemplificare a metodei de calcul, au fost determinate 30 de tehnologii de referință. În tabelul 4.4., sînt prezentate datele inițiale care trebuiesc furnizate calculatorului pentru determinarea celor 30 de tehnologii. Aceste date au fost alese astfel încît să fie acoperite toate variantele luate în discuție. În tabelul 4.5. este prezentată compoziția chimică a oțelurilor alese. Tehnologiile optime determinate cu ajutorul programului din ANEXA 4.1., sînt prezentate în ANEXA 4.2.

7 CAPITOLUL 5

OPTIMIZAREA DISPOZITIVULUI DE AVANS A SIRMELI  
PENTRU PROCEDEUL DE SUDARE MAG

5.1. Stabilitatea arcului electric cu electrod fuzibil

Procedeul de sudare cu electrod fuzibil, presupune topirea electrodului și avansul acestuia (figura 5.1.).

Viteza de variație a lungimii arcului este dată de diferența dintre viteza de topire ( $V_t$ ) și viteza de avans a electrodului ( $V_e$ ), prin relația:

$$\frac{dl_a}{dt} = v = V_t - V_e \quad (5.1.)$$

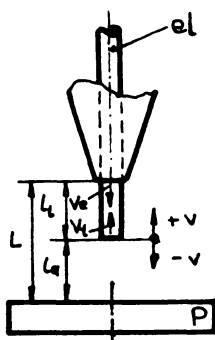


Fig.5.1. Procesul de sudare cu electrod fuzibil

Viteza de topire a electrodului are trei componente:

- componentă dependentă de curentul de sudare:  $V_{ti}$ ;
- componentă dependentă de tensiunea arcului:  $V_{tu}$ ;
- componentă dependentă de lungimea liberă:  $V_{t1}$ .

Cele trei componente sînt legate printr-o relație de forma:

$$V_t = V_{ti} - V_{tu} - V_{t1} \quad (5.2.)$$

În relația (5.2.), componentele vitezei de topire sînt:

$$V_{ti} = K_i \cdot I_s \quad ; \quad V_{tu} = K_u \cdot U_a \quad ; \quad V_{t1} = \frac{dl_1}{dt} \quad (5.3.)$$

unde:

$K_i, K_u$  - coeficienții de influență a vitezei de topire de către curentul de sudare și respectiv tensiunea arcului

Lungimea liberă a electrodului, fiind constantă ( $l_1 = ct.$ ) și pre-determinată tehnologic, componenta  $V_{t1}$  a vitezei de topire, devine nulă:

$$\text{pentru } l_1 = ct. \quad V_{t1} = \frac{dl_1}{dt} = 0 \quad (5.4.)$$

Înlocuind relațiile (5.2.), (5.3.) și (5.4.) în (5.1.), se obține:

$$\frac{dl_a}{dt} = K_1 \cdot I_S - K_U \cdot U_a - V_e \quad (5.5.)$$

Lungimea arcului se menține constantă în timp, datorită fenomenului de autoreglare a arcului electric. Acest fenomen se manifestă singular, doar în cazul în care viteza electrodului este constantă ( $V_e = ct.$ ). Accelerația de variație a lungimii arcului, se obține prin derivarea relației (5.5.), rezultând:

$$\frac{d^2 l_a}{dt^2} = K_1 \cdot \frac{dI_S}{dt} - K_U \cdot \frac{dU_a}{dt} \quad (5.6.)$$

Variația tensiunii arcului, se manifestă prin două componente:

- componentă dependentă de lungimea arcului:  $U_{a1}$ ;
- componentă dependentă de curentul de sudare:  $U_{ai}$ .

$$\begin{aligned} \frac{dU_a}{dt} &= \frac{dU_{a1}}{dt} + \frac{dU_{ai}}{dt} = \frac{\partial U_{a1}}{\partial l_a} \cdot \frac{dl_a}{dt} + \frac{\partial U_{ai}}{\partial I_S} \cdot \frac{dI_S}{dt} \\ &= E_c \cdot \frac{dl_a}{dt} + tg \alpha_a \cdot \frac{dI_S}{dt} \end{aligned} \quad (5.7.)$$

unde:

$$\frac{\partial U_{a1}}{\partial l_a} = E_c \quad - \text{intensitatea cîmpului electric, în arc} \quad (5.8.)$$

$$\frac{\partial U_{ai}}{\partial I_S} = tg \alpha_a \quad - \text{rezistența dinamică a arcului electric} \quad (5.9.)$$

Variația lungimii arcului, generează și variații ale



curentului de sudare, de forma:

$$\frac{dI_s}{dt} = - \frac{E_c}{K_s} \cdot \frac{dl_a}{dt} \quad (5.10.)$$

unde:

$$K_s = \operatorname{tg} \alpha_a - \operatorname{tg} \alpha_s - \text{coeficientul de stabilitate statică} \quad (5.11.)$$

Inlocuind relațiile (5.7.) și (5.10.) în (5.6.) se obține:

$$\frac{d^2 l_a}{dt^2} = - \frac{1}{T_{AU}} \cdot \frac{dl_a}{dt} \quad (5.12.)$$

unde:

$$T_{AU} = \frac{K_s}{E_c (K_i - K_u \cdot \operatorname{tg} \alpha_s)} - \text{constanta de autoreglare a arcului electric} \quad (5.13.)$$

Prin integrarea relației (5.12.), se obține:

$$\ln \left( \frac{dl_a}{dt} \right) = - \frac{1}{T_{AU}} \cdot t + C_1 \quad (5.14.)$$

Constanta de integrare  $C_1$ , se determină din condiții inițiale: în momentul inițial ( $t = 0$ ), panta de variație a lungimii arcului, este:

$$\text{pentru } t = 0: \frac{dl_a}{dt} = \mp \frac{\Delta l_{a_0}}{T_{AU}} \rightarrow C_1 = \ln \left( \mp \frac{\Delta l_{a_0}}{T_{AU}} \right) \quad (5.15.)$$

Inlocuind relația (5.15.) în (5.14.) se obține panta de variație a lungimii arcului:

$$\frac{dl_a}{dt} = \mp \frac{\Delta l_{a_0}}{T_{AU}} \cdot e^{-\frac{t}{T_{AU}}} \quad (5.16.)$$

Prin integrarea relației (5.16.) rezultă:

$$l_a = l_{a_0} \pm \Delta l_{a_0} \cdot e^{-\frac{t}{T_{AU}}} + C_2 \quad (5.17.)$$

Constanta de integrare  $C_2$ , se determină din condiții inițiale: în momentul inițial ( $t = 0$ ), lungimea arcului  $l_a$ , înregistrează o variație sub formă de salt, de  $\pm \Delta l_{a_0}$ , față de valoarea stabilizată de  $l_{a_0}$ :

pentru  $t = 0$ :  $l_a = l_{a_0} \pm \Delta l_{a_0} \rightarrow C_2 = l_{a_0} \quad (5.18.)$

Înlocuind relația (5.18.) în (5.17.) se obține forma de variație în timp a lungimii arcului, pentru electrod fuzibil, în cazul în care viteza electrodului se menține constantă:

$$l_a(t) = l_{a_0} \pm \Delta l_{a_0} \cdot e^{-\frac{t}{T_{AU}}} \quad (5.19.)$$

Reprezentarea grafică a relației (5.19.) este dată în figura 5.2. La o variație a lungimii arcului, sub formă de salt, va-

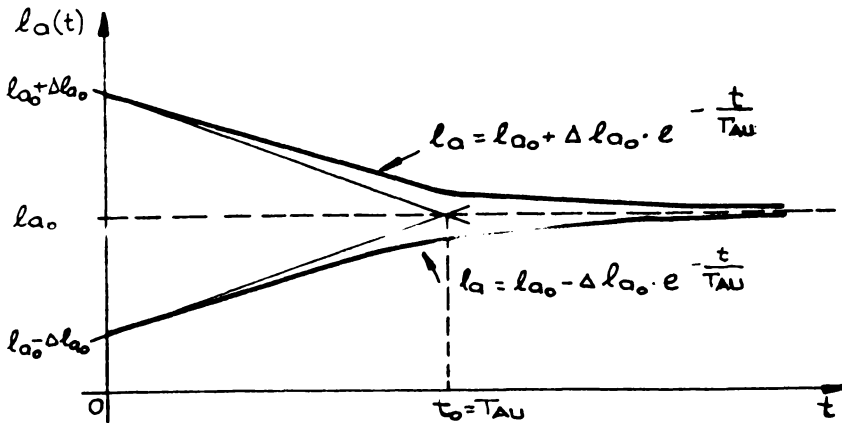


Fig.5.2. Forma de variație în timp a lungimii arcului pentru electrod fuzibil

loarea acestuia se modifică de la  $l_{a_0}$  la  $l_{a_0} \pm \Delta l_{a_0}$ , după care tinde la valoarea staționară dinaintea variației, conform figurii 5.2., după o lege de forma celei prezentate în relația (5.19.). Timpul de stabilizare este direct proporțional cu constanta de autoreglare ( $T_{AU}$ ) și cu constanta de stabilitate statică ( $K_g$ ). Stabilizarea rapidă a

sistemului, se obține prin reducerea celor două constante, ceea ce se obține prin utilizarea unei surse caracterizată printr-o impedanță mai rigidă. Constanta de autoreglare se determină ca fiind momentul de timp în care, tangentele în origine la forma de variație, ating valoarea staționară ( $t_0 = T_{AU}$  - figura 5.2.).

### 5.2. Modelul matematic și funcția de transfer a arcului electric cu electrod fuzibil

Funcția de transfer relevă comportarea arcului electric, în regim dinamic. În acest caz, lungimea liberă a electrodului, influențează viteza de topire printr-o componentă:  $V_{t1} \neq 0$ . Viteza electrodului ( $V_e$ ) reprezintă viteza reală a electrodului ( $V_{eR}$ ), și se obține din viteza tehnologică ( $V_{eT}$ ), dată de tehnologie și din perturbațiile vitezei electrodului ( $\tilde{V}_e$ ). Aceste perturbații intervin aleator, sub formă de salt:

$$V_e = V_{eR} = V_{eT} \pm \tilde{V}_e \quad (5.20.)$$

Dependența lungimii arcului de viteza electrodului, în transformata Laplace, devine:

$$l_a = \frac{1}{s} \cdot V = \frac{1}{s} (V_t - V_e) \quad (5.21.)$$

Componenta vitezei de topire:  $V_{t1}$ , în transformata Laplace, devine:

$$V_{t1} = s \cdot l_1 \quad (5.22.)$$

Modelul matematic al relațiilor (5.2.), (5.3.), (5.20.), (5.21.) și (5.22.) este prezentat în figura 5.3.

Variația tensiunii arcului, prin componentele sale, este dată de relația (5.7.). Prin integrarea acestei relații, se obține:

$$U_a = E_c \cdot l_a + tg \alpha_a \cdot I_s + C_3 \quad (5.23.)$$

Constanta de integrare  $C_3$ , se determină din condiții la limită: în momentul realizării scurtcircuitului, lungimea și tensiunea arcului electric, sînt nule ( $l_a = 0$ ;  $U_a = 0$ ), iar curentul de sudare ia valoarea curentului de scurtcircuit ( $I_K$ ):

pentru  $I_a = 0 : U_a = 0, I_s = I_A$

$$\rightarrow U_j = - \operatorname{tg} \alpha_a \cdot I_A = \frac{\operatorname{tg} \alpha_a}{\operatorname{tg} \alpha_s} \cdot U_o \quad (5.24.)$$

Inlocuind relația (5.24.) în (5.23.), se obține:

$$U_a = E_c \cdot I_a + \operatorname{tg} \alpha_a \cdot I_s + \frac{\operatorname{tg} \alpha_a}{\operatorname{tg} \alpha_s} \cdot U_o \quad (5.25.)$$

Modelul matematic al relației (5.25.) este prezentat în figura 5.4.

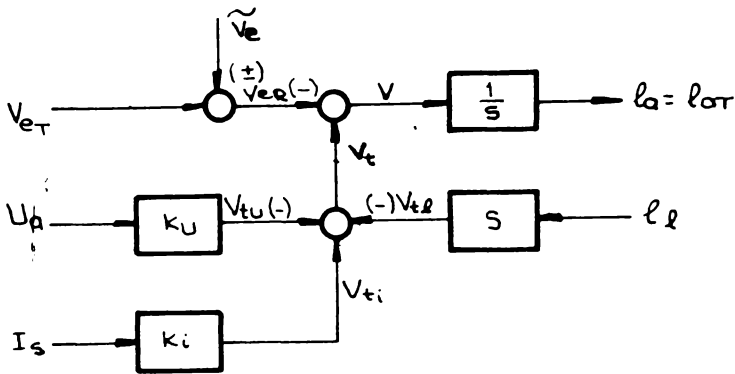


Fig.5.3. Modelul matematic al relațiilor (5.2.), (5.3.), (5.20.), (5.21.) și (5.22.)

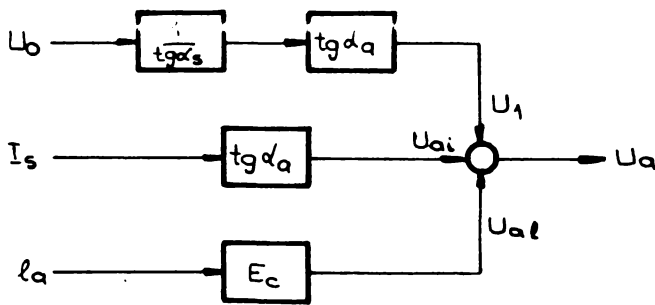


Fig.5.4. Modelul matematic al relației (5.25.)

Variația curentului de sudare, generată de variația lungimii arcului, este dată de relația (5.10.). Prin integrarea acestei relații, se obține:

$$I_S = - \frac{E_c}{K_S} \cdot l_a + C_4 \quad (5.26.)$$

Constanta de integrare  $C_4$ , se determină din condiții la limită: în momentul realizării scurtcircuitului, lungimea arcului este nulă, iar curentul de sudare ia valoarea curentului de scurtcircuit:

pentru  $l_a = 0$  :  $I_S = I_K \longrightarrow C_4 = I_K = - \frac{U_o}{\text{tg} \alpha_s} \quad (5.27.)$

Inlocuind relația (5.27.) în (5.26.), se obține:

$$I_S = - \frac{E_c}{K_S} \cdot l_a - \frac{U_o}{\text{tg} \alpha_s} \quad (5.28.)$$

Modelul matematic al relației (5.28.) este prezentat în figura 5.5.

Lungimea arcului ( $l_a$ ), reprezintă lungimea reală a arcului electric ( $l_{aR}$ ), și se obține din lungimea tehnologică a arcului ( $l_{aT}$ ) dată de tehnologie, și din perturbațiile lungimii arcului ( $\tilde{l}_a$ ). Aceste perturbații intervin aleator, sub formă de salt:

$$l_a = l_{aR} = l_{aT} \pm \tilde{l}_a \quad (5.29.)$$

Modelul matematic al relației (5.29.) este prezentat în figura 5.6.

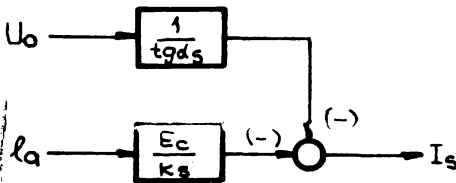


Fig.5.5. Modelul matematic al relației (5.28.)

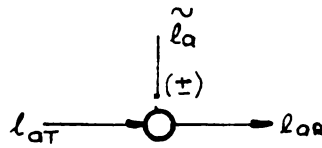


Fig.5.6. Modelul matematic al relației (5.29.)

Tensiunea reală a arcului electric ( $U_{aR}$ ), se obține din valoarea tensiunii arcului, dată de relația (5.25.) și din perturbațiile tensiunii arcului ( $\tilde{U}_a$ ). Aceste perturbații intervin aleator, sub formă de salt:

$$U_{aR} = U_a \pm \tilde{U}_a \quad (5.30.)$$

Perturbațiile tensiunii rețelei ( $\tilde{U}_r$ ) duc la modificarea caracteristicii sursei și ca urmare la modificarea poziției punctului de funcționare, rezultând din aceasta perturbații ale tensiunii ar-

cului ( $\widetilde{U}_a$ ). Perturbațiile tensiunii rețelei, generează modificări ale tensiunii arcului, prin coeficientul de influență  $K_{Ur}$ :

$$\widetilde{U}_a = K_{Ur} \cdot \widetilde{U}_r \quad (5.31.)$$

Modelul matematic al relațiilor (5.30.) și (5.31.) este prezentat în figura 5.7.

Perturbațiile tensiunii rețelei ( $\widetilde{U}_r$ ) provoacă modificări ale tensiunii de alimentare a motorului de avans a electrodului și prin aceasta rezultând modificări ale vitezei electrodului. Aceste perturbații ( $\widetilde{V}_e$ ) sînt generate de modificările tensiunii rețelei, prin coeficientul de influență  $K_{Ur}$ :

$$\widetilde{V}_e = K_{Ur} \cdot \widetilde{U}_r \quad (5.32.)$$

Modelul matematic al relației (5.32.) este prezentat în figura 5.8.

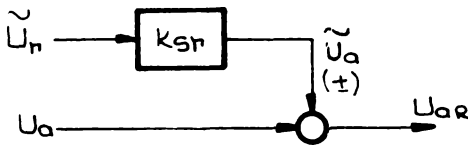


Fig. 5.7. modelul matematic al relațiilor (5.30.), (5.31.)



Fig. 5.8. Modelul matematic al relației (5.32.)

Interconectînd modelele matematice prezentate în figurile 5.3., 5.4., 5.5., 5.6., 5.7. și 5.8., se obține modelul matematic al arcului electric cu electrod fuzibil, prezentat în figura 5.9. Din acest model matematic, pe baza algebrei modelelor, se determină funcția de transfer a arcului electric cu electrod fuzibil, care este de forma:

$$l_{ar} = - \frac{T_{AU}}{1 + sT_{AU}} \cdot \frac{K_i}{\operatorname{tg} \alpha_s} \cdot U_0 - \frac{T_{AU}}{1 + sT_{AU}} \cdot V_e + \frac{sT_{AU}}{1 + sT_{AU}} \cdot l_1 \pm \frac{T_{AU}}{1 + sT_{AU}} (K_{Ur} + K_u \cdot K_{Sr}) \cdot \widetilde{U}_r \pm \frac{sT_{AU}}{1 + sT_{AU}} \cdot \widetilde{l}_a \quad (5.33.)$$

Constanta de autoreglare  $T_{AU}$ , poate fi adusă la forma:

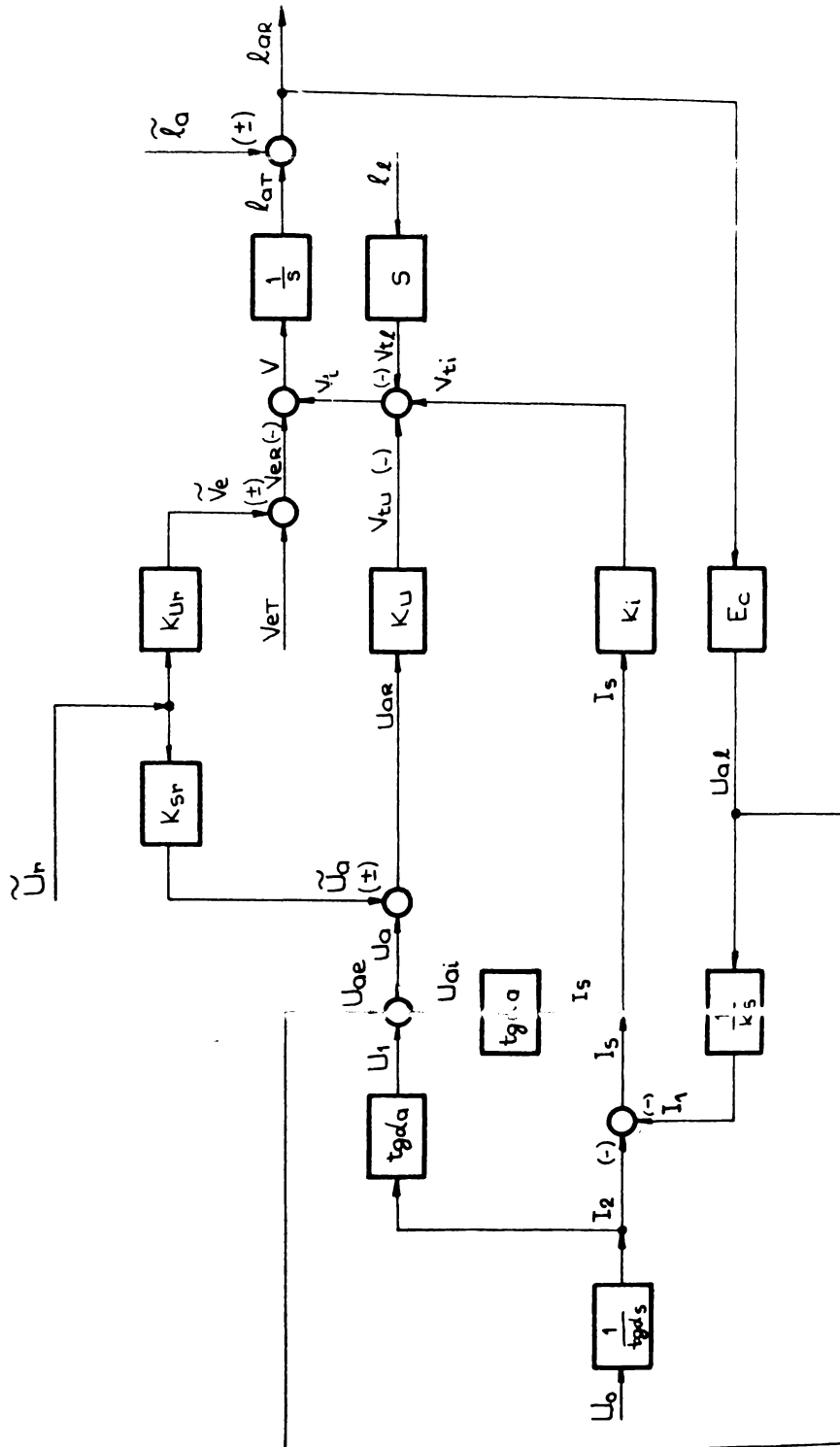


Fig. 5.9. Modelul matematic al arcului electric cu electrod fuzibil

$$T_{AU} = \frac{K_S}{E_C (K_i - K_u \cdot \operatorname{tg} \alpha_s)} = K_{AE} \cdot \frac{K_S}{E_1 \cdot E_C} \quad (5.34.)$$

unde:

$$K_{AE} = \frac{K_i}{K_i - K_u \cdot \operatorname{tg} \alpha_s} \quad \text{-- constanta arcului electric} \\ \text{(mărime adimensională)} \quad (5.35.)$$

Această constantă a arcului electric ( $K_{AE}$ ), ce a fost introdusă, leagă caracteristica sursei, prin  $\operatorname{tg} \alpha_s$ , de caracteristica arcului și punctul de funcționare, prin  $K_i$  și  $K_u$ . Modelul matematic restrîns, dat de relația (5.33.), este prezentat în figura 5.10.

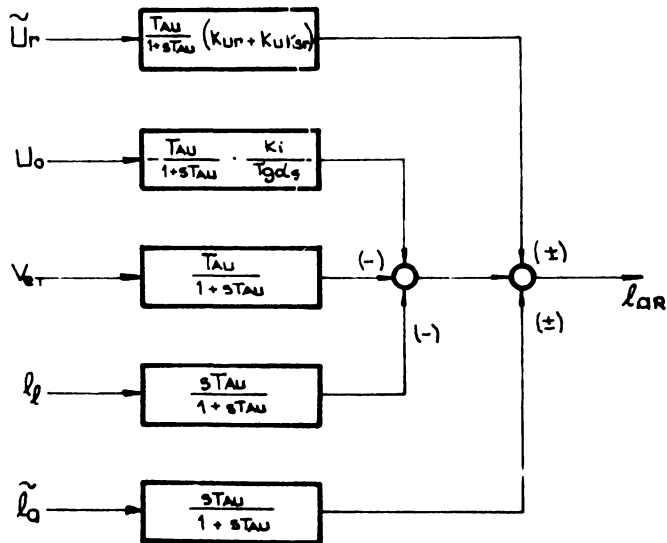


Fig.5.10. Modelul matematic restrîns, al arcului electric cu electrod fuzibil

În cazul în care nu există perturbații ( $\tilde{U}_r = 0$ ,  $\tilde{I}_a = 0$ ), funcția de transfer dată de relația (5.33.), devine:

$$I_{ar} = I_{aT} = - \frac{T_{AU}}{1 + sT_{AU}} \cdot \frac{K_i}{\operatorname{tg} \alpha_s} \cdot U_0 - \frac{T_{AU}}{1 + sT_{AU}} \cdot V_{eT} - \\ - \frac{sT_{AU}}{1 + sT_{AU}} \cdot I_l \quad (5.36.)$$



În regim stabilizat (pentru  $t \rightarrow \infty$ , respectiv  $s = 0$ ), relația (5.33.) devine:

$$l_{aR} = l_{aT} = - T_{AU} \cdot \frac{K_i}{\operatorname{tg} \alpha_s} \cdot U_0 - T_{AU} \cdot V_{eT} \pm T_{AU} (K_{UR} + K_u \cdot K_{JR}) \cdot \tilde{U}_r \quad (5.37.)$$

În această situație se observă că perturbațiile lungimii arcului ( $\tilde{l}_a$ ) și influența lungimii libere ( $l_1$ ), dispar. Dacă nu există nici perturbații ale tensiunii rețelei ( $\tilde{U}_r = 0$ ), iar regimul este stabilizat, funcția de transfer a arcului electric, cu electrod ruzibil, devine:

$$l_{aR} = l_{aT} = l_a = - T_{AU} \cdot \frac{K_i}{\operatorname{tg} \alpha_s} \cdot U_0 - T_{AU} \cdot V_{eT} = T_{AU} (K_i \cdot I_K - V_{eT}) \quad (5.38.)$$

Relația (5.38.) relevă faptul că, în regim stabilizat și fără perturbații, lungimea arcului se fixează prin caracteristica sursei ( $U_0$  și  $\operatorname{tg} \alpha_s$ ) și se reglează prin viteza de avans a electrodului ( $V_{eT}$ ).

Funcția de transfer descrisă de relația (5.33.) este reprezentarea în regim dinamic, pentru  $t > 0$ , a variației lungimii arcului, în momentul imediat următor modificărilor oricărei mărimi de intrare. Din relația (5.33.) se relevă faptul că lungimea reală a arcului electric, scade dacă, independent viteza electrodului tehnologică ( $V_{eT}$ ) sau reală ( $V_{eR}$ ) crește, lungimea liberă ( $l_1$ ) crește, sau tensiunea de mers în gol a sursei ( $U_0$ ) scade. Perturbațiile tensiunii rețelei ( $\tilde{U}_r$ ) sau a lungimii arcului ( $\tilde{l}_a$ ), influențează aleator, sub formă de salt, lungimea reală a arcului electric.

În regim stabilizat, analizînd relația (5.37.), se relevă faptul că lungimea reală a arcului electric scade cu creșterea vitezei electrodului sau cu scăderea tensiunii de mers în gol a sursei. Perturbațiile rețelei, influențează aleator lungimea reală a arcului. Celelalte mărimi de intrare ( $\tilde{l}_a$  și  $l_1$ ) nu influențează lungimea arcului în regim stabilizat, eliminîndu-se din formulele respective.

Relația de definiție a tensiunii reale a arcului electric, se determină din modelul matematic prezentat în figura 2.9. și este dată de relația:

$$U_{aR} = - \operatorname{tg} \alpha_s \cdot \frac{E_c}{K_s} (l_{aT} \pm \tilde{l}_a) \pm K_{Sr} \cdot \tilde{U}_r \quad (5.39.)$$

În absența perturbațiilor, relația (5.39.), devine:

$$U_{ad} = - \operatorname{tg} \alpha_s \cdot \frac{E_c}{K_s} \cdot l_a \quad (5.40.)$$

Literatura de specialitate, prezintă pentru determinarea tensiunii arcului, relația:

$$U'_a = E_c \cdot l_a \quad (5.41.)$$

Înlocuind valoarea constantei de stabilitate statică:  $K_s = \operatorname{tg} \alpha_a - \operatorname{tg} \alpha_s$ , în relația (5.40.), aceasta devine:

$$U_{aR} = \frac{1}{1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha_a}{\operatorname{tg} \alpha_s}} \cdot E_c \cdot l_a \quad (5.42.)$$

În punctul stabil de funcționare, este respectată condiția ca sursa de sudare să aibă caracteristica mai abruptă decât caracteristica arcului. În acest caz pantele celor două caracteristici vor respecta relația:

$$0 > \alpha_a > \alpha_s \quad (5.43.)$$

Din relația (5.43.), aplicând tangenta, se deduce că:

$$0 < \frac{\operatorname{tg} \alpha_a}{\operatorname{tg} \alpha_s} < 1 \quad (5.44.)$$

În contextul relației (5.44.), analizând comparativ relațiile (5.41.) și (5.42.), se deduce că:

$$U_{aR} > U'_a \quad (5.45.)$$

Deci, valoarea tensiunii arcului, este cea dată de relația (5.40.) sau (5.42.), fiind mai mare decât cea utilizată la ora actuală în literatura de specialitate (relația (5.41.)), lucru confirmat și în practică. Valorile calculate cu relația (5.40.) sînt

sînt apropiate de cele calculate cu formulele empirice (Ayrton, Hrenov, Braun, Seferian), avînd însă avantajul unei caze teoretice.

Prin înlocuirea relației (5.33.) în (5.23.) și (5.40.), se obține:

$$U_{aR} = - \operatorname{tg} \alpha_s \cdot T_{AU} \cdot \frac{E_c}{K_s} \left[ - \frac{K_i}{\operatorname{tg} \alpha_s} \cdot U_0 - V_{eT} \pm \right. \\ \left. \pm (K_{Ur} + K_u \cdot K_{Sr}) \cdot \tilde{U}_r \right] \quad (5.46.)$$

$$I_s = - T_{AU} \cdot \frac{E_c}{K_s} \left[ - \frac{K_i}{\operatorname{tg} \alpha_s} \cdot U_0 - V_{eT} \pm \right. \\ \left. \pm (K_{Ur} + K_u \cdot K_{Sr}) \cdot \tilde{U}_r \right] - \frac{U_0}{\operatorname{tg} \alpha_s} \quad (5.47.)$$

În cazul în care nu există perturbații relațiile (5.46.) și (5.47.) devin:

$$U_{aR} = - \operatorname{tg} \alpha_s \cdot T_{AU} \cdot \frac{E_c}{K_s} (K_i \cdot I_K - V_{eT}) \quad (5.48.)$$

$$I_s = - T_{AU} \cdot \frac{E_c}{K_s} (K_i \cdot I_K - V_{eT}) - \frac{U_0}{\operatorname{tg} \alpha_s} \quad (5.49.)$$

Constanta arcului electric, care a fost introdusă,  $K_{AE}$  (relația (5.35.)), are valori cuprinse în intervalul:  $K_{AE} \in [0; 1]$  ( $K_{AE} = 0$  pentru caracteristică brusc coborîtoare și  $K_{AE} = 1$  pentru caracteristică rigidă).

Relațiile care definesc arcul electric pentru electrod fuzibil, pot fi scrise cu ajutorul constantei  $K_{AE}$ , și se prezintă sub forma:

$$T_{AU} = K_{AE} \cdot \frac{K_s}{K_i \cdot E_c} \quad (5.50.)$$

$$I_a = K_{AE} \cdot \frac{K_s}{K_i \cdot E_c} (K_i \cdot I_K - V_{eT}) \quad (5.51.)$$

$$U_{AR} = K_{AE} \cdot \frac{U_0}{K_i \cdot I_K} (K_i \cdot I_K - V_{eT}) \quad (5.52.)$$

$$I_S = K_{AE} \cdot \frac{1}{K_i} \left( \frac{1 - K_{AE}}{K_{AE}} \cdot K_i \cdot I_K + V_{eT} \right) \quad (5.53.)$$

$$K_{AE} = \frac{K_i}{K_i - K_u \cdot \text{tg} \alpha_s} \quad (5.54.)$$

5.3. Dispozitivul de avans al sîrmei electrod pentru  
procedeul de sudare MAG

5.3.1. Dispozitivul de avans al sîrmei pentru  
sistem cu viteza constantă

Schema de principiu a Dispozitivului de Avans a Sîrmei (DAS) pentru Sistemul cu Viteza Constantă (SVC), este prezentată în figura 5.11. Motorul M de avans a sîrmei, este alimentat de la sursa S

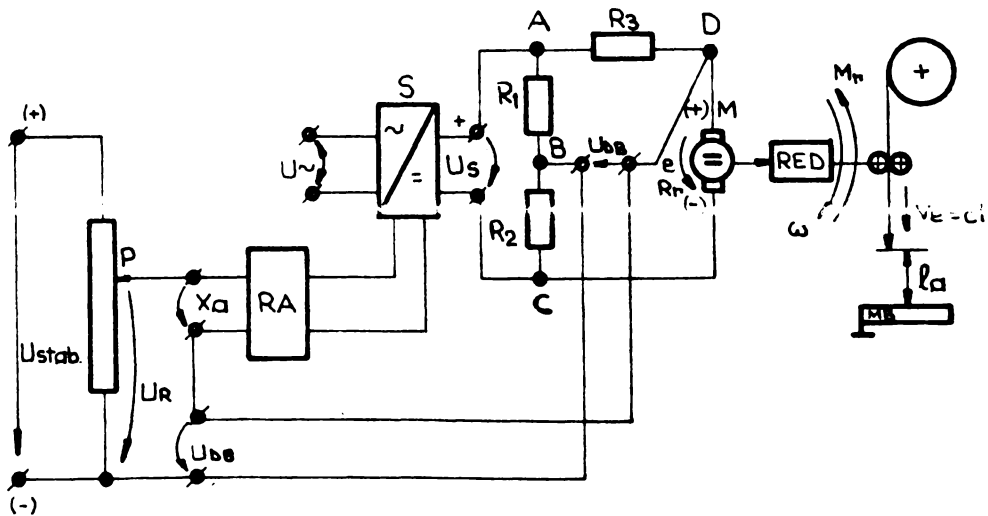


Fig.5.11. Dispozitivul de Avans a Sîrmei pentru Sistem cu Viteza Constantă (DAS - SVC)

(redresor comandat) cu tensiunea  $U_s$ , prin intermediul unei punți tahometrice. Puntea fiind echilibrată, tensiunea diagonală  $U_{DB}$

este proporțională cu viteza unghiulară  $\omega$ , a motorului, deci cu viteza  $V_g$ , a electrodului. Fixarea vitezei  $V_e$  a electrodului, se face de la potențiometrul P, mărimea de comandă a sursei  $X_a$  fiind:  $X_a = U_R - U_{DB}$ . La creșterea momentului rezistent  $M_r$ , scade viteza unghiulară  $\omega$ , deci scade tensiunea diagonală  $U_{DB}$ , a punții. Ca atare, mărimea de comandă  $X_a$  crește, ducând la mărirea tensiunii de alimentare  $U_g$  și a vitezei unghiulare  $\omega$ . Mărirea vitezei unghiulare duce la creșterea tensiunii  $U_{DB}$ , pînă la obținerea valorii prescrise a turației inițiale a motorului. Comanda redresorului S, se face prin intermediul unui regulator automat RA, care are rolul de a controla mărimea de comandă.

În conformitate cu schema de principiu, se realizează modelul matematic al DAS pentru SVC. Se consideră că RA este de tip proporțional, cu funcția de transfer  $K_o$ , iar sursa comandată are funcția de transfer unitară. Modelul matematic este prezentat în figura 5.12.

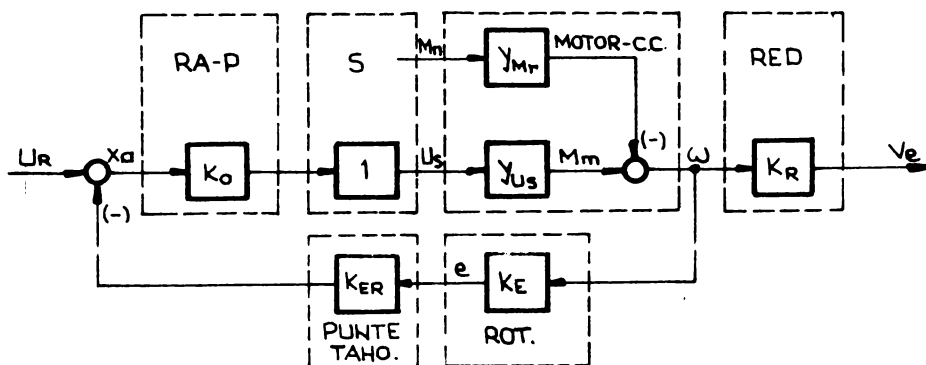


Fig.5.12. Modelul matematic al DAS pentru SVC

Funcțiile de transfer ale elementelor componente, sînt:

- regulator automat de tip proporțional (RA-P) :

$$Y_{RA} = K_o \quad (5.55.)$$

- sursă de alimentare a motorului (S) :

$$Y_S = 1 \quad (5.56.)$$

- motor de curent continuu (Mcc) :

$$Y_{U_s} = \frac{1}{K_E (1 + sT_m + s^2 T_m T_r)} \quad (5.57.)$$

$$Y_{M_r} = \frac{1 + sT_r}{K_1 K_M K_E (1 + sT_m + s^2 T_m T_r)} \quad (5.58.)$$

- rotor al Mcc (ROT) :

$$Y_E = K_E \quad (5.59.)$$

- reductor al Mcc (RED) :

$$Y_R = K_R \quad (5.60.)$$

- punte tahometrică (PTH) :

$$Y_{ER} = K_{ER} \quad (5.61.)$$

Din modelul matematic prezentat, se obține funcția de transfer a Dispozitivului de Avans a Sîrmei pentru Sistem cu Viteza Constantă:

$$V_e = \frac{K_O K_R}{K_E (1 + sT_m + s^2 T_m T_r + K_O K_{ER})} \cdot U_R - \frac{K_R (1 + sT_r)}{K_1 K_M K_E (1 + sT_m + s^2 T_m T_r + K_O K_{ER})} \cdot M_r \quad (5.62.)$$

În regim stabilizat, pentru  $t \rightarrow \infty$  ( $s \rightarrow 0$ ), se obține:

$$V_e = \frac{K_O K_R}{K_E (1 + K_O K_{ER})} \cdot U_R - \frac{K_R}{K_1 K_M K_E (1 + K_O K_{ER})} \cdot M_r \quad (5.63.)$$

Relația (5.62.), relevă comportarea sistemului în regim dinamic, iar relația (5.63.) relevă comportarea în regim stabilizat. În ambele situații, se observă că influența momentului rezistent  $M_r$ , asupra vitezei electrodului, este negativă. Dacă regulatorul RA ar avea o amplificare foarte mare:  $K_O \rightarrow \infty$ , funcția de transfer devine:

$$V_e = \frac{K_R}{K_E K_{ER}} \cdot U_R = ct. \quad (5.64.)$$



Motorul M de avans a sîrmei, este alimentat de la sursa S (reuresor comandat), cu tensiunea  $U_S$ . Fixarea vitezei electrodului  $V_e$  se face de la potențiometrul P, stabilindu-se o mărime de comandă:  $X_a = U_R - U_R$ . În regim stabilizat, viteza electrodului este egală cu viteza de topire și ca atare, lungimea și tensiunea arcului se mențin constante. Tensiunea de reacție  $U_R$ , este preluată din tensiunea arcului, prin intermediul unui element de reacție (divizor rezistiv) și este adusă la intrare pentru controlul mărimii de comandă prin RA. La creșterea momentului rezistent  $M_R$ , scade viteza  $V_e$  a electrodului, ceea ce duce la creșterea lungimii și tensiunii arcului. Ca atare crește tensiunea de reacție cît și mărimea de comandă  $X_a$ . Ca urmare a modului de conectare, crește tensiunea de alimentare a motorului  $U_S$ , ceea ce duce la mărirea vitezei  $V_e$  și restabilirea echilibrului:  $V_t = V_e$ .

În conformitate cu schema de principiu se realizează modelul matematic al DAS pentru SVD, prezentat în figura 5.14.

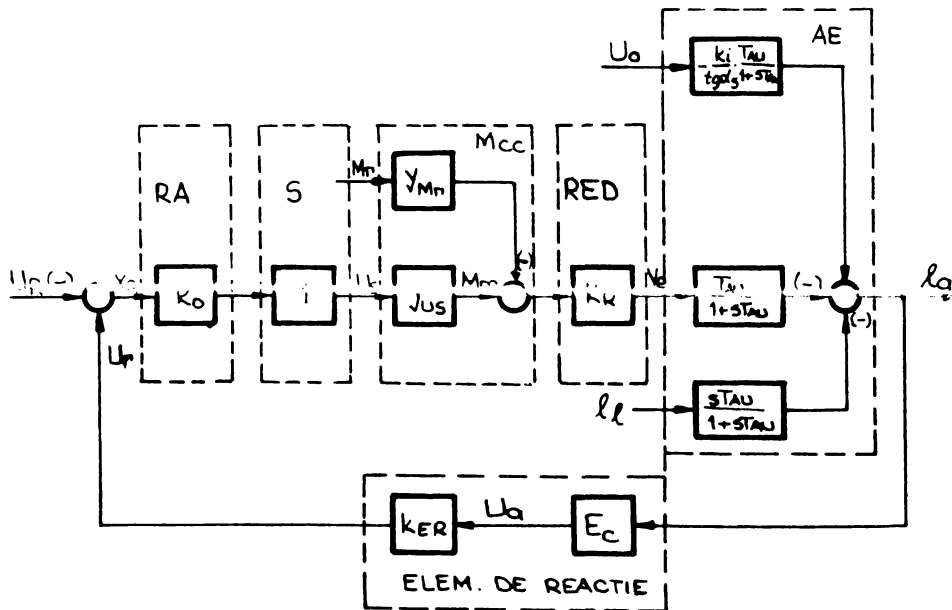


Fig.5.14. Modelul matematic al DAS pentru SVD

Funcțiile de transfer ale elementelor componente sînt aceleași cu cele prezentate la DAS pentru SVC. Din acest model matematic se



obține funcția de transfer a DAS pentru SVD:

$$\begin{aligned}
 l_a = & \frac{K_o K_R T_{AU}}{K_E [(1 + sT_{AU})(1 + sT_m + s^2 T_m T_R) + K_o K_{ST}]} \cdot U_R + \\
 & + \frac{K_R T_{AU} (1 + sT_R)}{K_1 K_m K_E [(1 + sT_{AU})(1 + sT_m + s^2 T_m T_R) + K_o K_{ST}]} \cdot M_R - \\
 & - \frac{K_i T_{AU} (1 + sT_m + s^2 T_m T_R)}{\operatorname{tg} \alpha_s [(1 + sT_{AU})(1 + sT_m + s^2 T_m T_R) + K_o K_{ST}]} \cdot U_o - \\
 & - \frac{s K_E T_{AU} (1 + sT_m + s^2 T_m T_R)}{(1 + sT_{AU})(1 + sT_m + s^2 T_m T_R) + K_o K_{ST}} \cdot l_1 \quad (5.66)
 \end{aligned}$$

unde:

$$K_{ST} = \frac{K_R K_{ER} E_c T_{AU}}{K_E} - \text{factorul de amplificare al sistemului în buclă deschisă} \quad (5.67)$$

În regim stabilizat, pentru  $t \rightarrow \infty$  ( $s \rightarrow 0$ ), se obține:

$$\begin{aligned}
 l_a = & \frac{K_o K_R T_{AU}}{K_E (1 + K_o K_{ST})} \cdot U_R + \frac{K_R T_{AU}}{K_1 K_m K_E (1 + K_o K_{ST})} \cdot M_R - \\
 & - \frac{K_i T_{AU}}{\operatorname{tg} \alpha_s (1 + K_o K_{ST})} \cdot U_o \quad (5.68)
 \end{aligned}$$

În regim dinamic (relația (5.66.)) lungimea arcului  $l_a$  este influențată de momentul rezistent  $M_R$  și de lungimea liberă  $l_1$ . În regim stabilizat influența lungimii libere dispăre, dar se menține influența momentului rezistent. Cele două mărimi perturbatoare dispar din relația de definire a lungimii arcului în cazul în care factorul de amplificare al regulatorului tinde la infinit. În acest caz se obține:

$$l_a = \frac{K_R T_{AU}}{K_E K_{ST}} \cdot U_R = \frac{1}{K_{ER} E_c} \cdot U_R = \text{ct.} \quad (5.69.)$$

Intr-o astfel de situație, sistemul ar deveni instabil. Analog cazului DAS pentru SVC, se poate determina factorul de amplificare

minim al regulatorului automat, pentru a se reduce la maxim influența rîgilor perturbatoare, respectiv pentru a se obține variația permisă a lungimii arcului  $\Delta l_{ap}$ :

$$K_o \min = \frac{1}{K_{ST}} \left( \frac{K_A^T A U}{K_L K_E} \cdot \frac{\Delta I_{ra}}{\Delta l_{ap}} - 1 \right) \quad (5.70.)$$

#### 5.4. Stabilitatea și optimizarea DAS

Stabilitatea unui sistem (dispozitiv) constă în posibilitatea acestuia de a reveni la situația inițială, după apariția unei perturbații. Unul din criteriile utilizate pentru studiul stabilității, este criteriul Nyquist.

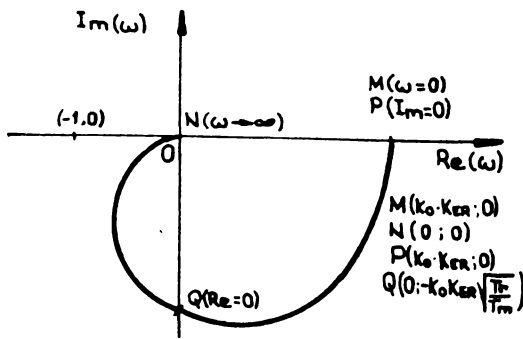
Funcția de transfer a circuitului deschis, în cazul DAS pentru SVC este:

$$Y_o(s) = \frac{K_o K_{ER}}{1 + sT_m + s^2 T_m T_r} \quad (5.71.)$$

În planul complex ( $s = j\omega$ ), funcția de transfer devine:

$$Y_o(\omega) = \frac{K_o K_{ER} (1 - \omega^2 T_m T_r)}{(1 - \omega^2 T_m T_r)^2 + \omega^2 T_m^2} - j \cdot \frac{\omega T_m K_o K_{ER}}{(1 - \omega^2 T_m T_r)^2 + \omega^2 T_m^2} \quad (5.72.)$$

Hodograful relației (5.72.), este prezentat în figura 5.15. Se observă că hodograful



nu înconjoară punctul critic  $(-1; 0)$ , deci DAS pentru SVC este întotdeauna stabil. În acest caz, rezultă că nu este necesară introducerea unui regulator automat în cadrul dispozitivului. Un eventual regulator de tip proporțional (RA-P),

Fig.5.15. Hodograful funcției de transfer a circuitului deschis a DAS - SVC

introdus în dispozitiv, duce la creșterea rezervei de stabilitate a dispozitivului de avans a sîmsei. Avantajul DAS pentru SVD constă în faptul că este în permanență stabil, iar dezavantajul rezultă din faptul că este relativ lent în reluarea stării inițiale de echilibru.

Funcția de transfer a circuitului deschis, în cazul DAS pentru SVD, este:

$$Y_0(s) = \frac{K_0 K_{ST}}{(1 + sT_{AU})(1 + sT_m + s^2 T_m T_R)} \quad (5.73.)$$

În planul complex ( $s = j\omega$ ), funcția de transfer devine:

$$Y_0(\omega) = \frac{K_0 K_{ST} [1 - \omega^2 T_m (T_{AU} + T_R)]}{(1 + \omega^2 T_{AU}^2) [(1 - \omega^2 T_m T_R)^2 + \omega^2 T_m^2]} - j \cdot \frac{\omega K_0 K_{ST} (T_m + T_{AU} - \omega^2 T_{AU} T_m T_R)}{(1 + \omega^2 T_{AU}^2) [(1 - \omega^2 T_m T_R)^2 + \omega^2 T_m^2]} \quad (5.74.)$$

Hodograful relației (5.74.) este prezentat în figura 5.16., unde

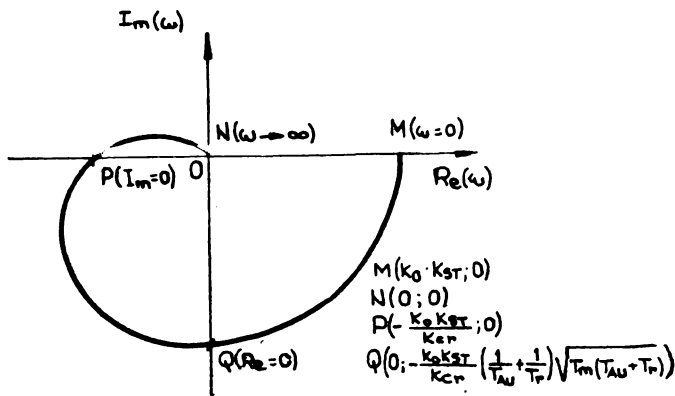


Fig.5.16. Hodograful funcției de transfer a circuitului deschis a DAS - SVD

$K_{cr}$  este factorul de amplificare critic al sistemului și este dat de relația:

$$K_{cr} = \frac{T_m}{T_R} + \frac{T_m}{T_{AU}} + \frac{T_{AU}}{T_R} \quad (5.75.)$$

Stabilitatea sistemului depinde de poziția punctului P, pe axa Re ( $\omega$ ), față de punctul critic. Sistemul, în acest caz, va fi stabil, dacă punctul de intersecție P se va găsi în dreapta punctului critic. Deci pentru stabilitatea sistemului, factorul de amplificare al regulatorului va respecta condiția:

$$K_0 < \frac{K_{cr}}{K_{ST}} \quad (5.76.)$$

În cazul în care, condiția dată de relația (5.76.) este satisfăcută, DAS pentru SVC este stabil, fiind cu atât mai stabil cu cât punctul P de intersecție cu axa reală, este mai aproape de originea axelor. Rezerva de stabilitate a modului, pentru această situație este:

$$c = 1 - \frac{K_0 K_{ST}}{K_{cr}} \quad (5.77.)$$

Dezavantajul acestui dispozitiv de avans, reiese din faptul că stabilitatea lui este dată de valorile factorilor de amplificare ale elementelor care intră în compunerea sa. Deci pentru stabilitate, sistemul trebuie "acordat", prin intermediul unui RA, a cărui amplificare va îndeplini condițiile date de relațiile (5.70.) și (5.76.).

Avantajul dispozitivului de avans constă în faptul că este foarte rapid, atunci când este acordat, adică la apariția unei perturbații, își revine rapid starea de echilibru inițială. Un astfel de dispozitiv de avans se utilizează atunci când DAS pentru SVC este prea lent, în raport cu cerințele impuse, respectiv pentru viteze mari de sudare.

Din relațiile (5.70.) și (5.76.) se obține condiția amplificării regulatorului automat, care fi de tip proporțional (RA - P), pentru optimizarea dispozitivului de avans:

$$\frac{1}{K_{ST}} \cdot \left( \frac{K_{RTAU}}{K_1 K_R} \cdot \frac{\Delta I_{ra}}{\Delta I_{ap}} - 1 \right) < K_0 < \frac{K_{cr}}{K_{ST}} \quad (5.78.)$$

Particularizînd în cazul dispozitivului de avans a sîrmei electrod pentru sistemul cu viteza dependentă de tensiunea arcului, din relația (5.78.) se obține domeniul amplificării regulatorului pentru RA - P, domeniu în care acesta trebuie acordat

în vederea unei funcționări stabile. Pentru valorile medii ale coeficienților care intervin în relația (5.78.), se obține:

$$27,83 < K_0 < 277,1 \quad (5.79.)$$

Cu un regulator automat a cărui amplificare este cuprinsă în domeniul de valori dat de relația (5.79.), dispozitivul de avans a sîrmei pentru un sistem cu viteza dependentă de tensiunea arcului, devine stabil, menținînd viteza electrodului la valoarea care a fost prescrisă inițial. O amplificare a regulatorului, mai mică decît valoarea limită inferioară, ar duce la imposibilitatea încadrării în variația permisă a lungimii arcului ( $\Delta l_{ap}$ ), în condițiile variației admise a curentului rotoric ( $\Delta I_{ra}$ ). O amplificare a regulatorului, mai mare decît valoarea limită superioară, ar duce la instabilitatea sistemului, hodograful circuitului deschis depășind punctul critic. Prin introducerea unui regulator automat, acordat, în gama valorilor date de relația (5.79.), se obține un control activ al sîrmei electrod pe tot parcursul desfășurării procesului de sudare.

## CAPITOLUL 6

### URMĂRIREA AUTOMATĂ A ROSTULUI DE SUDARE

#### 6.1. Principiul urmăririi automate a rostului

Ideea sistemelor de urmărire automată, a apărut ca o formă evoluată a sistemelor de copiere. Intre cele două tipuri de sisteme, există o deosebire principială. Sistemul de copiere, este condus în zona de lucru și furnizează comenzi unidirecționale, în buclă deschisă, neavînd posibilitatea de a se autoregla în raport cu piesa, în cazul unor perturbații. Sistemul de urmărire automată, lucrează în tot spațiul pentru care a fost conceput, informațiile și comenzile fiind bidirecționale, în buclă închisă, avînd posibilitatea de a se autoregla în raport cu piesa, în funcție de perturbațiile apărute. Raportat la complexitatea sistemului de urmărire automată, acesta are teoretic, posibilități nelimitate.

Din studiul literaturii de specialitate referitor la sistemele de urmărire automată, se constată că există o mare eterogenitate în ceea ce privește principiile utilizate cît și modul de realizare. S-ar putea spune că nu există încă o variantă general acceptată. Tipurile utilizate de diverse firme, au fost create pentru o aplicație concretă, fiind concepute atît în funcție de unitatea cu care conlucrează, cît și în funcție de sistemul de prelucrare a informațiilor și de comandă. În general, nici din literatura științifică și nici din literatura tehnică a diferitelor firme, nu rezultă informații suficiente privind realizarea sistemelor de urmărire și performanțele acestora. În consecință, datele necesare unei analize comparative asupra sistemelor de urmărire automată, sînt insuficiente. Literatura de specialitate nu semnalează efectuarea unor determinări experimentale comparative.

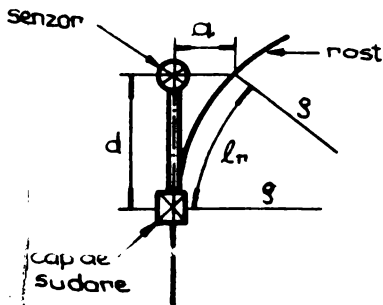
Sistemele de urmărire automată, din cadrul procesului de sudare, pot fi concepute pe două direcții de acțiune: pentru urmărirea rostului de sudare și pentru urmărirea procesului de sudare. În primul caz, sistemul de urmărire preia informații referitoare la geometria și traiectoria rostului, și în conformitate

cu abaterile acestor informații față de un program à priori stabilit, se autocorectează pentru încadrarea în program. În al doilea caz, sistemul de urmărire preia informații referitoare la desfășurarea procesului de sudare propriu-zis (curent, tensiune, viteză de sudare și de electrod, lungimea arcului, etc.) și se autocorectează în conformitate cu informațiile primite, pentru reducerea abaterilor față de tehnologia prestabilită.

Teza de față abordează sistemele de urmărire de primul tip, în acest caz urmărirea rostului de sudare efectuându-se prin intermediul unui senzor. Un astfel de senzor, se poziționează în fața capului de sudare, preia informații referitoare la geometria și traiectoria rostului, și se autocentrează în axa rostului în conformitate cu informațiile culese.

Necesitatea unui astfel de senzor, a apărut datorită faptului că rostul de sudare se abate în multe cazuri de la o traiectorie rectilinie. În cazul în care, într-o zonă, rostul de sudare are o curbură (figura 6.1.), senzorul va transmite informații

de reacție a capului de sudare. Poziționarea senzorului se face în fața capului de sudare, la o distanță  $d$  de acesta. Abaterea din rost  $a$ , raportată la lungimea rostului  $l_r$ , dă eroarea față de traiectoria rectilinie  $\epsilon$ , pentru curbura  $\rho$ , a rostului, conform relației:



$$\epsilon = \frac{a}{l_r} = \frac{100 (\rho - \sqrt{\rho^2 - d^2})}{\pi \rho \cdot \arcsin(\frac{d}{\rho})} \quad (6.1.)$$

Fig.6.1. Abaterea rostului de la o traiectorie rectilinie

Reprezentarea grafică a variației erorii  $\epsilon$ , în funcție de curbura  $\rho$ ,

dată de relația (6.1.), este prezentată în figura 6.2. Se observă că eroarea scade cu apropierea senzorului de capul de sudare, apropiere care este limitată de căldura degajată de arc electric. De asemenea, eroarea scade cu creșterea razei de curbură a rostului. Din aceste considerente, senzorul pentru urmărirea rostului, va trebui să comande reacția capului de sudare, în permanență, pe tot parcursul executării cusăturii, anulând eroarea  $\epsilon$ .

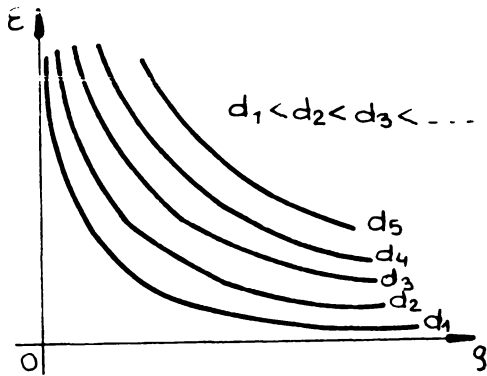


Fig.6.2. Eroarea de poziționare

În cazul ideal, este de dorit ca electrozudul, deci capul de sudare să fie poziționat permanent în axa rostului. Literatura de specialitate precizează că sînt admise abateri din axa rostului, a capului de sudare, abateri ce depind atît de procedeul de sudare cît și de materialul utilizat. Pentru procedeul de sudare MAG, abaterile admise ale

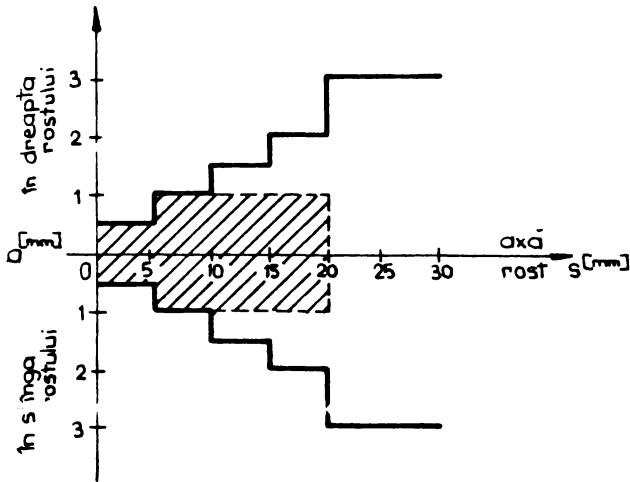


Fig.6.3. Abaterrea admisă din axa rostului, la procedeul de sudare MAG

capului de sudare se determină din diagrama prezentată în figura 6.3. Zona hășurată reprezintă abaterea admisă, în cazul sudării componentelor cu grosimi de pînă la 20 mm, sudate dintr-o singură parte. Deci, în cazul sudării MAG, dintr-o singură parte, abaterea din axa

rostului poate fi de pînă la 1 mm, iar la sudarea din ambele părți, de pînă la 3 mm. În felul acesta se reduc pretențiile referitoare la precizia de poziționare a capului de sudare în axa rostului.

Urmărirea automată a rostului, se realizează deci prin atașarea unui senzor de rost, înaintea capului de sudare, cu scopul de urmărirea traiectoriei rostului, reaxarea permanentă a capului de sudare cît și eliminarea abaterilor apărute. Prin aceasta se obține o creștere a calității îmbinării sudate.



## 6.2. Senzor pentru urmărirea rostului

### 6.2.1. Caracteristici generale impuse senzorului

În concordanță cu cele prezentate în paragraful 6.1., pentru urmărirea automată a rostului, se alege un senzor de tip inductiv, proporțional - analogic, fiind liniar pe domeniul de lucru. Urmărirea se face în mod direct, prin palparea flancurilor rostului. Senzorul a fost ales de tip inductiv deoarece are cea mai mare fiabilitate. Pentru a elimina perturbațiile și interferențele date de frecvența rețelei (50 Hz), senzorul va trebui să lucreze la o frecvență:  $f_s = 30 \text{ KHz}$ .

Senzorul urmărește rostul de sudare, avînd la bază principiul conversiei unei deplasări într-un semnal electric. Conceput cu posibilitatea de urmărire a rostului pe două direcții (în plan vertical și în plan orizontal), senzorul trebuie să realizeze o separare totală a informațiilor pe cele două direcții și în felul acesta comenzile de corecție să fie total independente.

În plan vertical (în lungul rostului), senzorul va avea posibilitatea de a sesiza denivelările apărute la baza rostului, denivelări luate în considerare față de un nivel de referință ales inițial. Denivelările din rost, luate în considerare ca o deplasare pe verticală, sînt convertite de către senzor, pe principiul inductiv, într-un semnal electric, prin intermediul a două înfășurări ale unei bobine legate în semipunte Wheatstone. Orice denivelare apărută în rost, privită ca o abatere pe verticală de la nivelul de referință, se transmite capului de sudare, sub forma unui semnal electric, pentru modificarea nivelului acestuia în direcția denivelării apărute. În acest mod se menține constantă lungimea arcului electric.

Simultan cu urmărirea rostului în plan vertical, senzorul va avea posibilitatea de a urmări rostul de sudare și în plan orizontal (transversal pe rost). În acest mod sînt sesizate abaterile rostului de la o direcție rectilinie, luată ca referință. Analog urmării în plan vertical, abaterile de la o traiectorie rectilinie vor fi sesizate de către senzor, și convertite pe principiul inductiv, într-un semnal electric, tot prin intermediul unei semipunți Wheatstone, de inductivități. Orice curbură a rostului, privită ca o abatere pe orizontală față de o traiectorie rectilinie

luată ca referință, se transmite capului de sudare sub forma unui semnal electric, pentru modificarea poziției acestuia, în direcția curburii rostului. În acest mod se menține în permanență capul de sudare în axa rostului.

### 6.2.2. Principiul de funcționare al senzorului

Cerințele impuse unui senzor de urmărire automată a rostului, care au fost prezentate în paragraful 6.2.1., sînt îndeplinite de senzorul a cărui schemă de principiu este prezentată în figura 6.4. Poziția de referință, este poziția în care palpatorul P se găsește în rost, la baza acestuia, avînd direcție normală în raport cu rostul și în axa de simetrie a senzorului, iar corpul 2 se găsește în poziție mediană (la mijlocul cursei) față de corpul 1. În această situație, palpatorul P, în partea sa superioară, este în contact cu corpul 1, datorită arcului  $A_1$ . Tija  $T_1$ , din prelungirea corpului 1, are în extremitatea sa superioară, un miez de ferită. Extremitatea superioară a tijei, împreună cu miezul de ferită se găsesc în interiorul unei bobine cu două înfășurări  $B_1$  și  $B_2$ , identice ca bobinaj și ca număr de spire ( $CuEm - \varnothing 0,2$  mm; 7000 spire - fiecare bobină). În poziția de referință a palpatorului, miezul de ferită din extremitatea tijei  $T_1$  are poziție mediană în bobină, între cele două înfășurări. Datorită înfășurărilor identice și a poziției mediane a feritei, cele două înfășurări  $B_1$  și  $B_2$  au inductivități identice, în poziția de referință. În această poziție, tija  $T_2$  din prelungirea corpului 2, se găsește în interiorul altei bobine identice cu prima ( $B_3$  și  $B_4$  identice cu  $B_1$  și  $B_2$ ). În extremitatea superioară a tijei  $T_2$  se găsește de asemenea un miez de ferită, care ocupă în poziția de referință tot o poziție mediană între cele două înfășurări  $B_3$  și  $B_4$ . În felul acesta și cele două înfășurări de la bobina superioară ( $B_3$  și  $B_4$ ) au inductivități identice. Arcul  $A_2$  acționează asupra corpului 2 și prin intermediul buței 4, care are în O punct de articulație cu palpatorul P, îl menține pe acesta permanent în contact cu baza rostului. Înfășurările  $B_1$  și  $B_2$  ale bobinei inferioare, pe de o parte, și înfășurările  $B_3$  și  $B_4$  ale bobinei superioare, pe de altă parte, sînt legate formînd fiecare bobină cîte o punte Wheatstone de inductivități. În poziția de echilibru, cele două punți sînt reglate în situația punte echilibrată, respectiv semnalele de pe diagonala de ieșire să fie nule.

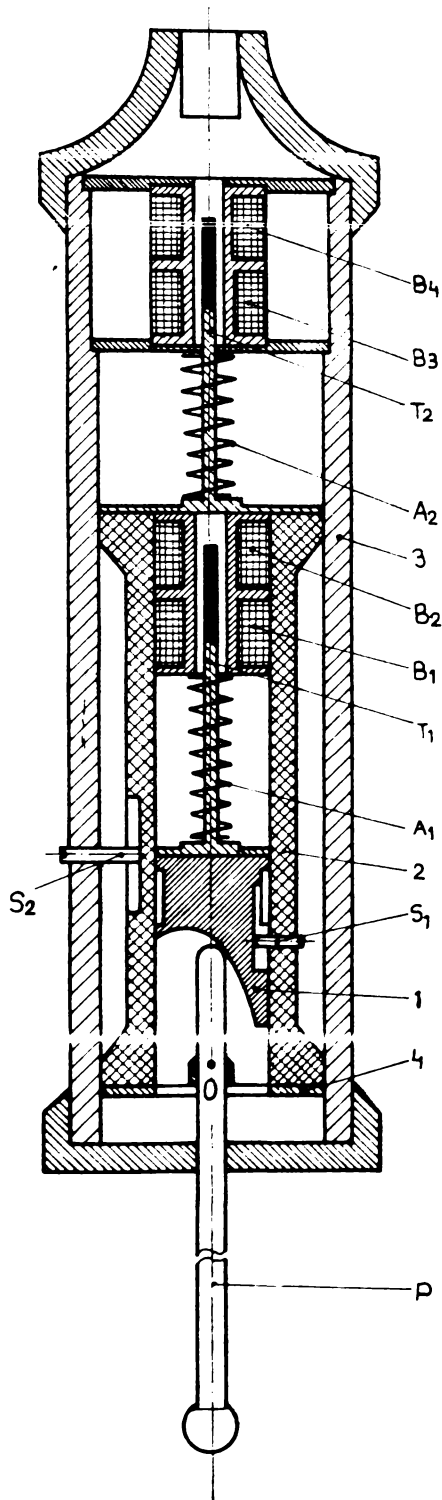


Fig.6.4. Senzor pentru urmărirea rostului  
(schemă de principiu)

Analiza funcționării senzorului începe din poziția de echilibru, în condițiile precizate mai sus. Dacă în rost apare o denivelare de tipul unei scăderi de nivel, palpatorul P va urmări denivelarea, coborînd împreună cu corpul 2, care glisează în interiorul corpului 3. Coborîrea ansamblului este asigurată de către arcul  $A_2$ . În această situație va coborî și miezul de ferită în interiorul bobinei superioare, inductivitatea înfășurării  $B_3$  crescînd în defavoarea inductivității înfășurării  $B_4$ . Modificarea celor două inductivități duce la dezechilibrarea punții Wheatstone și furnizarea unui semnal proporțional cu dezechilibrul, deci cu denivelarea. Dacă în rost apare o denivelare de tipul unei creșteri de nivel, fenomenul este analog, semnalul de dezechilibru al punții fiind de semn contrar situației precedente. Deci, la ieșirea punții Wheatstone se obține un semnal proporțional cu denivelarea din rost atît ca mărime cît și ca sens.

Fenomenul se produce într-o oarecare măsură în mod analog și pentru cazul în care apare o abatere a rostului de la o traiectorie rectilinie, deci în cazul în care apare o curbură a rostului. Palpatorul sprijinindu-se în permanență pe un flanc al rostului, la o abatere de la rectiliniaritate se produce rotirea palpatorului în jurul punctului O, punct fix față de corpul 2, prin intermediul bucșei 4. Palpatorul se găsește în permanență în contact cu corpul 1 datorită arcului  $A_1$ . La apariția unei abateri a rostului de la rectiliniaritate, palpatorul P care este în contact cu un flanc al rostului, se va roti în jurul punctului O și ca urmare corpul 1 va urca sau va coborî în interiorul corpului 2. miezul de ferită din extremitatea tijei  $T_1$  își va modifica poziția mediană din interiorul bobinei inferioare, iar inductivitatea unei bobine va crește în defavoarea celeilalte ( $B_1 - B_2$ ). Ca urmare, puntea Wheatstone, se va dezechilibra, furnizînd la ieșire un semnal în concordanță (ca polaritate) cu rotirea palpatorului, deci cu abaterea rostului. Pentru ca semnalul obținut să fie proporțional cu abaterea rostului de la rectiliniaritate, este necesar ca corpul 1, care este o camă, să fie prelucrat adecvat, pentru a transforma mișcarea de rotație a palpatorului într-o mișcare proporțională de translație, pe verticală. Pentru ca în timpul funcționării, corpul 1 să nu se rotească în interiorul corpului 2, primul a fost prevăzut cu un canal de pană, care datorită știftului  $S_1$  îi blochează rotirea. În mod analog,

știftul  $S_2$  introdus în canalul de pană din corpul 2, blochează rotația acestuia în interiorul corpului 3.

Izolarea magnetică a celor două bobine, una față de cealaltă, cât și a acestora de câmpul electromagnetic exterior, s-a obținut prin executarea corpului 3 din oțel inox, amagnetic, cu proprietăți de ecranare: 2MoNiCr175.

### 6.2.3. Determinarea formei optime a canei

Corpul 1, care este o cană, trebuie să transforme mișcarea de rotație a palpatorului (tachet) într-o mișcare de translație, pe verticală, a miezului de ferită. Condiția care se impune este ca deplasarea pe verticală a miezului de ferită, să fie proporțională cu deplasarea pe orizontală a extremității din rost, a palpatorului. Cu alte cuvinte, la deplasări egale pe orizontală a extremității din rost a palpatorului, să se obțină deplasări egale pe verticală, a miezului de ferită, în interiorul bobinei inferioare. În figura 6.5. este prezentată simbolic mișcarea palpatorului P,

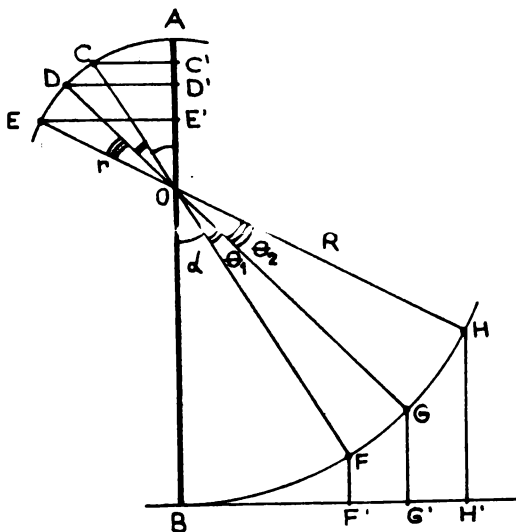


Fig.6.5. Mișcarea palpatorului P, în rost

în rost. Palpatorul se rotește în jurul punctului O, având brațele de lungimi  $r$  respectiv  $R$ . Extremitatea inferioară a palpatorului, punctul B, ia succesiv pozițiile F, G, H, astfel încât proiecțiile pe orizontala a arcelor FG și GH să fie egale:  $F'G' = G'H'$ . Unghiurile de rotire vor fi diferite:  $\theta_1 \neq \theta_2$ . În această situație, extremitatea superioară a palpatorului, punctul A, ia succesiv pozițiile C, D, E. Proiecția pe verticală a arcelor CD și DE, vor fi segmentele  $C'D'$  respectiv  $D'E'$ . Problema care se ridică este de a analiza

cum se modifică proiecția pe verticală a extremității superioare a palpatorului atunci când extremitatea inferioară se rotește cu can-

tități egale pe orizontală:  $F'G' = G'H'$ .

În conformitate cu figura 6.5. se determină relația între unghiurile de rotire ale palpatorului, în condiția impusă:

$$\begin{aligned} F'G' &= BG' - BF' = R \sin(\alpha + \theta_1) - R \sin \alpha = \\ &= 2R \sin \frac{\theta_1}{2} \cdot \cos\left(\alpha + \frac{\theta_1}{2}\right) \quad (6.2.) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G'H' &= BH' - BG' = R \sin(\alpha + \theta_1 + \theta_2) - R \sin(\alpha + \theta_1) = \\ &= 2R \sin \frac{\theta_2}{2} \cdot \cos\left(\alpha + \theta_1 + \frac{\theta_2}{2}\right) \quad (6.3.) \end{aligned}$$

Din condiția de proiecții egale pe orizontală, se obține:

$$\begin{aligned} \frac{\sin \frac{\theta_1}{2}}{\sin \frac{\theta_2}{2}} &= \frac{\cos\left(\alpha + \theta_1 + \frac{\theta_2}{2}\right)}{\cos\left(\alpha + \frac{\theta_1}{2}\right)} \quad (6.4.) \end{aligned}$$

Proiecția pe verticala a extremității superioare a palpatorului, va determina segmentele:

$$\begin{aligned} C'D' &= OC' - OD' = r \cos \alpha - r \cos(\alpha + \theta_1) = \\ &= 2r \sin \frac{\theta_1}{2} \cdot \sin\left(\alpha + \frac{\theta_1}{2}\right) \quad (6.5.) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D'E' &= OD' - OE' = r \cos(\alpha + \theta_1) - r \cos(\alpha + \theta_1 + \theta_2) = \\ &= 2r \sin \frac{\theta_2}{2} \cdot \sin\left(\alpha + \theta_1 + \frac{\theta_2}{2}\right) \quad (6.6.) \end{aligned}$$

Comparând segmentele  $C'D'$  cu  $D'E'$  și folosind relația (6.4.), se obține:

$$\frac{C'D'}{D'E'} = \frac{2r \sin \frac{\theta_1}{2} \cdot \sin\left(\alpha + \frac{\theta_1}{2}\right)}{2r \sin \frac{\theta_2}{2} \cdot \sin\left(\alpha + \theta_1 + \frac{\theta_2}{2}\right)} = \frac{\sin \frac{\theta_1}{2}}{\sin \frac{\theta_2}{2}} \cdot \frac{\sin\left(\alpha + \frac{\theta_1}{2}\right)}{\sin\left(\alpha + \theta_1 + \frac{\theta_2}{2}\right)} =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\cos(\alpha + \theta_1 + \frac{\theta_2}{2})}{\cos(\alpha + \frac{\theta_1}{2})} \cdot \frac{\sin(\alpha + \frac{\theta_1}{2})}{\sin(\alpha + \theta_1 + \frac{\theta_2}{2})} = \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \frac{\theta_1}{2})}{\operatorname{tg}(\alpha + \theta_1 + \frac{\theta_2}{2})} = \\
 &= \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \frac{\theta_1}{2})}{\operatorname{tg}(\alpha + \frac{\theta_1}{2} + \frac{\theta_1 + \theta_2}{2})} < 1 \qquad (6.7.)
 \end{aligned}$$

Din relația (6.7.) rezultă că  $C'D' < D'E'$ , deci proiecția pe verticală a extremității superioare a palpatorului, se mișcă cu cantități neegale. Avînd în vedere faptul că pe extremitatea superioară a palpatorului se sprijină corpul 1, va trebui ca acesta să fie realizat după un profil astfel determinat încît să se compenseze inegalitatea segmentelor de pe verticală, care a fost determinată. În acest context, extremitatea superioară a corpului 1, a camei, deci și miezul de ferită, se va deplasa pe o dreaptă arbitrar înclinată, deplasarea fiind executată cu cantități constante. Soluția se determină prin calcul analitic, pornind de la ecuațiile curbelor ce definesc cama și mișcarea ei. În figura 6.6. se prezintă modul de generare a camei și ecuațiile necesare determinării ecuației profilului ei. Aceste ecuații sînt:

- curba după care trebuie frezat corpul 1, și care se va determina prin calcul, este  $f(x)$ ;
- extremitatea superioară a tijei palpatoarei, mișcă pe un cerc cu centrul în origine, de rază  $r$ , și de ecuație:  $f_1(x) = \sqrt{r^2 - x^2}$ ;
- extremitatea superioară a corpului 1 (a camei) reprezintă o dreaptă, paralelă cu abscisa, de ecuație:  $f_2(x) = k$ ;
- extremitatea superioară a corpului 1, se deplasează după o dreaptă înclinată arbitrar de ecuație:  $f_3(x) = ax + b$ .

Tija palpatoare este în contact permanent cu corpul 1, deci punctul mobil  $M(x, y)$ , care generează curba  $f(x)$ , se va găsi și pe tijă, deci și pe curba  $f_3(x)$ . Condiția de generare a curbei  $f(x)$  este ca pentru puncte echidistante pe abscisă, distanța între dreapta  $f_3(x)$  și cercul  $f_1(x)$  să fie egală cu distanța dintre dreapta  $f_2(x)$  și curba  $f(x)$ , ceea ce reprezintă carnea camei:

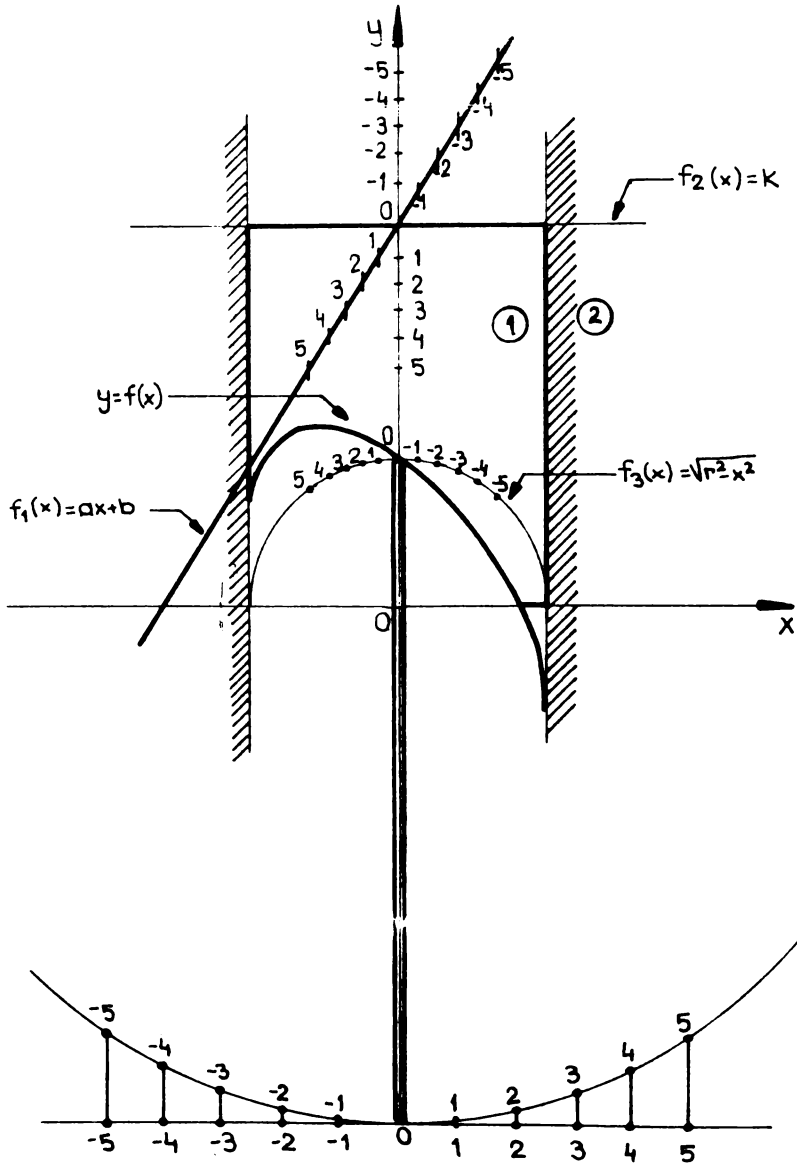


Fig.6.6. Ecuațiile curbelor de definire și modul de generare a camei

$$f_2(x) - f(x) = f_3(x) - f_1(x) \quad (6.8.)$$

Inlocuind în relația(6.6.), ecuațiile de generare a camei, se obține:



$$k - y = ax + b - \sqrt{r^2 - x^2} \quad (6.9.)$$

După efectuarea calculelor și ordonare se obține ecuația implicită a curbei, sub forma:

$$(a^2+1)x^2 + 2axy + y^2 + 2a(b-k)x + 2(b-k)y + (b-k)^2 - r^2 = 0 \quad (6.10.)$$

Analizei curbei se face prin studiul determinantului atașat:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a^2+1 & a & a(b-k) \\ a & 1 & b-k \\ a(b-k) & b-k & (b-k)^2 - r^2 \end{vmatrix} = -r^2 \neq 0 \quad (6.11.)$$

Determinantul atașat fiind nenul, ecuația dată de relația (6.10.) este o conică. Tipul de conică se determină prin intermediul unui alt determinant:

$$\delta = \begin{vmatrix} a^2+1 & a \\ a & 1 \end{vmatrix} = 1 > 0 \quad (6.12.)$$

Determinantul  $\delta$  fiind pozitiv, conica este o elipsă. Centrul de simetrie al elipsei  $(x_0, y_0)$  se determină prin rezolvarea unui sistem:

$$\begin{cases} (a^2+1) \cdot x_0 + a \cdot y_0 = -a(b-k) \\ a \cdot x_0 + y_0 = -(b-k) \end{cases} \quad (6.13.)$$

Din rezolvarea sistemului (6.13.) se obține soluția:  $x_0=0$ ;  $y_0=k-b$ , centrul de simetrie al elipsei fiind:  $O(0, k-b)$ . Unghiul de rotație al elipsei este:  $\alpha = 1/2 \cdot \arctg(2/a)$ . Ecuația explicită a elipsei, este:

$$f(x) = k - ax - b + \sqrt{r^2 - x^2} \quad (6.14.)$$

La o deplasare în rost, a extremității interioare a palpatonului, cu cantitatea  $d$ , se obține o deplasare pe verticală a camei, cu cantitatea  $h$ , calculabilă prin relația:

$$h = b - k + \frac{r}{R} ad \quad (6.15.)$$

Din considerente geometrice, centrul de simetrie al elipsei se va situa în originea axelor de coordonate (figura 6.6.) ceea ce nu afectează funcționarea. În acest caz se obține:  $k = b$ . Ecuația de prelucrare a camei, devine:

$$f(x) = -ax + \sqrt{r^2 - x^2} \quad (6.16.)$$

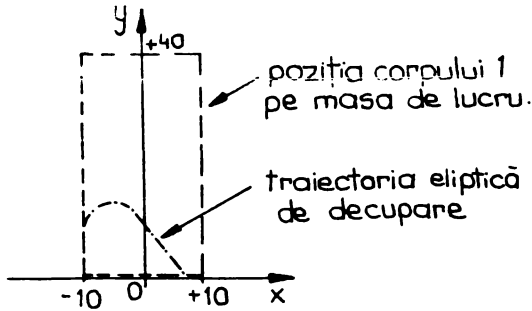


Fig.6.7. Poziționarea corpului 1 pe masa de lucru a mașinii ELEROFIL 01

Deplasarea pe verticală a camei, în acest caz este:

$$h = - 0,07 \cdot d \quad (6.18.)$$

Prelucrarea camei s-a executat pe o mașină de prelucrare prin electroeroziune, cu fir, de tip ELEROFIL 01, poziționarea pe masa mașinii fiind conform figurii 6.7. Programul de determinare a traiectoriei eliptice, îl stabilește utilajul pe baza relației (6.17.)

#### 6.2.4. Caracteristici tehnice principale ale senzorului de rost

Denivelările care apar în rost, sînt urmărite de către senzor prin intermediul tijei palpatoare ca P. Orice mișcare pe verticală a tijei, se transmite prin intermediul corpului 2, miezului de ferită din interiorul bobinei superioare dezechilibrînd puntea de inductivități. Semnalul de dezechilibru acționează asupra unui motor de curent continuu pentru modificarea poziției capului de sudare în sensul urmăririi denivelărilor, deci în sensul reducerii semnalului de dezechilibru. Motorul va acționa pînă în momentul de reechilibrare a punții. Din punct de vedere constructiv s-a asigurat pentru corpul 2 o cursă pe verticală de  $\pm 6$  mm, față de poziția mediană. Deplasarea miezului de ferită fiind identică cu deplasarea tijei palpatoare, deci cu denivelările din rost, cursa asigurată este suficientă pentru denivelările curente apărute în rost. Senzorul are posibilitatea de a urmări și denivelări mai mari de

Determinarea valorilor optime pentru prelucrarea camei, s-a făcut prin optimizare cu reprezentare prin intermediul calculatorului TIK-S. Programul este prezentat în ANEXA 6.1. În urma optimizării s-a obținut funcția după care trebuie frezată cama, aceasta fiind:

$$f(x) = - 0,7 \cdot x + \sqrt{100 - x^2} \quad (6.17.)$$

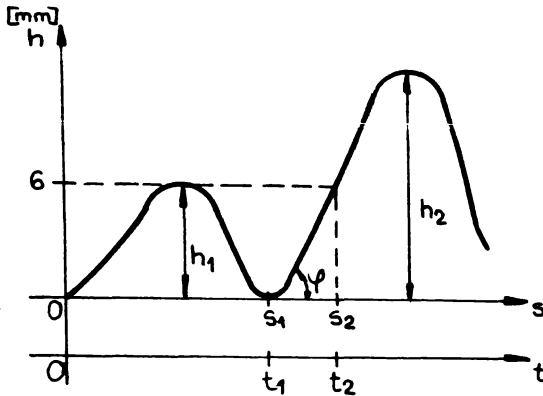


Fig. 6.8. Panta maximă  $\varphi$ , a denivelării sesizate de senzor

rul, a parcurs spațiul  $\Delta s_0 = s_2 - s_1$ , cu viteza de sudare  $V_s$ .

Durata de timp  $\Delta t_0$ , pentru atingerea valorii de 6 mm, depinde de panta  $\varphi$  a denivelării și de viteza de deplasare  $V_s$ :

$$\Delta t_0 = \frac{6}{V_s \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (6.19.)$$

Pe această durată de timp, este necesar să se angreneze sistemul mecanic de ridicare a capului de sudare și a senzorului. Deci:

$$\Delta t_0 \geq \Delta t_1 + \Delta t_2 \quad (6.20.)$$

unde:

$\Delta t_1$  - timpul de transmitere a semnalului la motor;

$\Delta t_2$  - timpul de cuplare a motorului;

Din relațiile (6.19.) și (6.20.) se determină panta maximă pe care o poate avea denivelarea pentru ca sistemul să funcționeze:

$$\varphi \leq \operatorname{arctg} \frac{6}{V_s \cdot (\Delta t_1 + \Delta t_2)} \quad (6.21.)$$

Știind că:  $\Delta t_1 \ll \Delta t_2$ , relația (6.21.) devine:

$$\varphi < \operatorname{arctg} \frac{6}{V_s \cdot \Delta t_2} \quad (6.22.)$$

După angrenarea sistemului mecanic, pe parcursul deplasării senzo-

± 6 mm, restricția care apare într-o astfel de situație se referă la panta de variație a denivelării. În figura 6.8., sînt prezentate două denivelări:  $h_1 \leq 6$  mm și  $h_2 > 6$  mm. În situația celei de a doua denivelări, din momentul  $t_1$ , pînă cînd tija a urcat cu 6 mm (momentul  $t_2$ ), deci în perioada de timp  $\Delta t_0 = t_2 - t_1$ , capul de sudare și senzo-

rului cu viteza  $V_s$ , se obține ridicarea tijei cu  $\Delta h$ , în durata de timp  $\Delta t$ :

$$\Delta t = \frac{\Delta h}{V_s \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (6.23.)$$

Simultan se realizează ridicarea sensorului cu  $\Delta h$  și viteza de ridicare  $V_r$ , în timpul  $\Delta t_r$ :

$$\Delta t_r = \frac{\Delta h}{V_r} \quad (6.24.)$$

Pentru ca pe parcursul funcționării să nu se atingă cursa maximă admisă a sensorului, este necesar ca ridicarea să fie mai rapidă:  $\Delta t_r < \Delta t$ . Din relațiile (6.23.) și (6.24.) se obține viteza de ridicare necesară:

$$V_r > V_s \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (6.25.)$$

În cadrul procedurii de sudare MAG și pentru un timp de cuplare a motorului:  $\Delta t_2 = 0,2$  sec, din relația (6.22.) se obține unghiul de pantă maxim a denivelării pentru ca sensorul să se încadreze în regimul de lucru pentru care a fost proiectat. Unghiul maxim este:

$$\varphi_{\max} = 31,5^\circ \quad (6.26.)$$

Abaterile rostului de la o traiectorie rectilinie, sînt urmărite de către senzor tot prin intermediul tijei palpatoare P, care se sprijină în permanență pe un flanc al rostului. Orice rotire a tijei, în jurul punctului O, se transmite prin intermediul corpului I, miezului de ferită din interiorul bobinei inferioare, dezechilibrînd puntea de inductivități. Semnalul de dezechilibru acționează asupra unui motor de curent continuu, pentru modificarea poziției capului de sudare în sensul de urmărire a abaterii rostului, deci în sensul de reducere a semnalului de dezechilibru. Constructiv, s-a asigurat ca miezul de ferită să aibă o cursă tot de  $\pm 6$  mm, în interiorul bobinei inferioare. Această cursă se obține la o rotire a palpatorului cu  $\pm 65,5^\circ$ . Constructiv s-a asigurat pentru palpator o rotire de  $\pm 30^\circ$ , rotire ce este suficientă pentru situațiile curente de urmărire a rostului. În acest caz cursa palpatorului se transmite într-o mișcare pe verticală de  $\pm 3,5$  mm. Din dimensionarea tijei palpatoare, la o rotire de  $30^\circ$ , extremitatea inferioară a palpatorului se deplasează pe orizontală cu 20 mm față de poziția

verticală (mediană). Din considerentul de a exista un contact permanent cu flancul rostului, raza de curbura locală trebuie să fie:  $\varrho > 50$  mm. La deplasarea senzorului cu viteza de sudare  $V_s$ , pe un rost de curbură  $\varrho$ , tija palpatoare se rotește cu  $30^\circ$  după timpul  $\Delta t_0$ :

$$\Delta t_0 = \frac{10 \cdot \sqrt{\varrho - 25}}{V_s} \quad (6.27.)$$

Din considerentele prezentate anterior (relațiile (6.20.) și (6.27)) se determină raza de curbură minimă:

$$\varrho_{\min} = 25 + \left[ \frac{V_s \cdot (\Delta t_1 + \Delta t_2)}{10} \right]^2 \quad (6.28.)$$

Condiția (6.28.) este îndeplinită din necesitatea palpării permanente a rostului ( $\varrho > 50$  mm).

După angrenarea sistemului mecanic, pe parcursul deplasării senzorului cu viteza  $V_s$ , se obține o abatere a palpatorului cu  $\Delta a$ , în durata de timp  $\Delta t$ :

$$\Delta t = \frac{\sqrt{\Delta a (2\varrho - \Delta a)}}{V_s} \quad (6.29.)$$

În conformitate cu abaterea  $\Delta a$ , miezul de ferită își modifică poziția cu  $\Delta h = 0,07 \cdot \Delta a$ . Simultan se realizează modificarea poziției senzorului cu  $\Delta h$ , cu viteza de poziționare:  $V_p$ , în timpul  $\Delta t_p$ :

$$\Delta t_p = \frac{0,07 \cdot \Delta a}{V_p} \quad (6.30.)$$

Pentru ca pe parcursul funcționării, să nu se atingă cursa maximă, este necesar ca poziționarea să fie mai rapidă:  $\Delta t_p < \Delta t$ . Din relațiile (6.29.) și (6.30.) se obține viteza de poziționare necesară:

$$V_p > V_s \cdot \frac{0,07 \cdot \sqrt{\Delta a}}{\sqrt{2\varrho - \Delta a}} \quad (6.31.)$$

Condiția dată de relația (6.31.) este îndeplinită în cazul procesului de sudare MAG.

### 6.3. Determinarea performanțelor senzorului

#### 6.3.1. Performanțe în plan vertical

Performanțele se determină prin cuplarea senzorului la un modul IEMI, pentru completarea punții de inductivități formată din înfășurările bobinelor din senzor. Determinarea performanțelor s-a făcut prin măsurarea semnalului de dezechilibru a punții, pentru diferite poziții ale miezului de ferită, respectiv pentru diferite denivelări  $h$  în rost. Măsurările s-au repetat de nouă ori pentru a se putea acorda o încredere mai mare experimentului. Rezultatele măsurătorilor au fost trecute în tabelul 6.1. În coloana 1 este trecută denivelarea  $h$ , din milimetru în milimetru, față de poziția mediană a miezului de ferită, luată ca nivel de referință. Semnul minus semnifică o scădere de nivel în rost, adică o coborîre a palpatorului. În coloanele 2...10 sînt trecute valorile tensiunii de ieșire corespunzătoare denivelărilor apărute, pentru cele nouă măsurători. Pentru fiecare valoare a denivelării, în parte, deci pentru cele 13 linii din tabel, s-a aplicat criteriul Chauvenet, de eliminare a valorilor anormale apărute. Valorile anormale au fost eliminate prin tăiere cu o linie pentru cele apărute la prima iterație și cu două linii pentru cele apărute la a doua iterație. În coloana 11 sînt trecute mediile valorilor rămase, iar în coloana 12 sînt trecute valorile sensibilității senzorului pentru fiecare denivelare. Sensibilitatea medie a senzorului, în plan vertical este:

$$\overline{Sb}|_h = 1,5319495 \quad [V/mm] \quad (6.32.)$$

Se observă că sensibilitatea senzorului pe verticală este foarte bună, obținîndu-se la ieșire o tensiune de 1,5 V pentru fiecare milimetru de denivelare.

Caracteristica de transfer pe verticală pentru senzor este  $U = f(h)$ . Analizînd coloanele 1 - 11, se presupune că această caracteristică ar fi liniară. În figura 6.9., sînt reprezentate punctele caracteristicii de transfer obținute din măsurători. Regresia liniară care aproximează aceste puncte, este trasată în figura 6.9. și are expresia:

$$Y = 1,5248524. X - 0,16351954 \quad (6.33.)$$



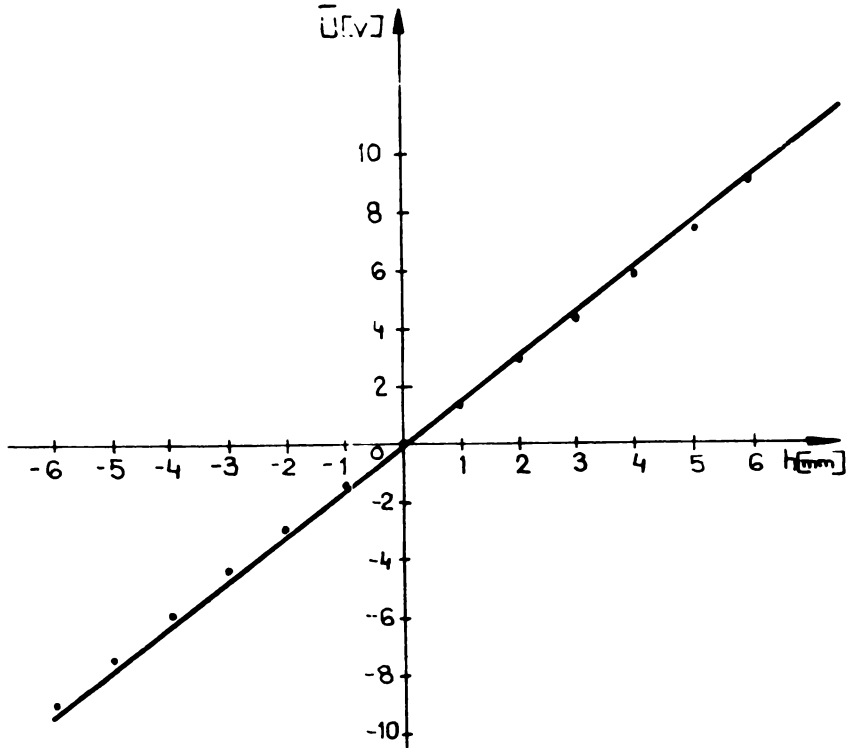


Fig.6.9. Funcția de transfer a senzorului, în plan vertical  
 Coeficientul de corelare al regresiei dată de relația (6.33.) are valoarea:

$$R = 0,99992857 \quad (6.34.)$$

Din coeficientul de corelare, care diferă foarte puțin de unitate și din poziționarea punctelor față de dreapta de regresie, se observă că relația (6.33.) aproximează foarte bine fenomenul. În tabelul 6.1. în coloana 13 sînt trecute valorile obținute din dreapta de regresie liniară, care a fost determinată. Se observă că aceste valori diferă foarte puțin de cele măsurate, deci aproximarea este foarte bună.

Funcția de transfer sau caracteristica senzorului în plan vertical este dată de relația:

$$U = 1,52 \cdot h - 0,16 \quad (6.35.)$$

Din relația (6.35.) se explicitează denivelarea  $h$ , apărută în rost, pentru o tensiune măsurată la ieșire:

$$h = 0,66 \cdot U + 0,1 \quad (6.36.)$$

Cu relația (6.36.), se poate determina denivelarea apărută în rost, pentru valoarea tensiunii măsurată la ieșire.



### 6.3.2. Performanțe în plan orizontal

Performanțele senzorului, în plan orizontal, se determină în mod analog cu cele în plan vertical, pentru diferite abateri a, din rost, sau pentru diferite abateri ale rostului de la rectilinearitate. Au fost măsurate tensiunile de ieșire de dezecilibru a punții pentru abateri din rost, din cinci în cinci milimetri, rezultatele măsurătorilor fiind trecute în tabelul 6.2. Măsurătorile au fost repetate de nouă ori iar rezultatele au fost prelucrate statistic, prin criteriul Chauvenet. Valorile anormale au fost eliminate prin tăiere analog măsurătorilor anterioare, numărul liniilor de tăiere fiind egal cu numărul iterației de eliminare a valorii respective. Abaterile din rost, în plan orizontal au fost făcute în domeniul (- 50... + 50) mm. Sensibilitatea medie a senzorului în plan orizontal este:

$$\overline{Sb}|_a = 0,3002(7) \quad [V/mm] \quad (6.27.)$$

Se observă că sensibilitatea este foarte bună, obținându-se la ieșire o tensiune de 0,3 V pentru fiecare milimetru de abatere pe orizontală din axa rostului. Nivelul semnalului de ieșire pe orizontală este compatibil cu cel de pe verticală. Componenta tabelului 6.2. și semnificația coloanelor este aceeași cu a tabelului 6.1.

Caracteristica de transfer pe orizontală, pentru senzor este  $U = f(a)$ . În figura 6.10., sînt reprezentate punctele caracteristicii de transfer obținute din măsurători. Regresia liniară care aproximează aceste puncte este trasată în figura 6.10. și are expresia:

$$Y = 0,2905568. X - 0,1633758 \quad (6.38.)$$

Coeficientul de corelare al regresiei dată de relația(6.38.) are valoarea:

$$R = 0,99961769 \quad (6.39.)$$

Coeficientul de corelare care diferă foarte puțin de unitate cît și poziția punctelor față de dreapta de regresie, relevă faptul că relația (6.38.), aproximează foarte bine fenomenul. În tabelul 6.2.

Masuratori in plan orizontal

tabelui 0.2.

Nr. crt.	Q [mm]	U <sub>i</sub> [v]										U <sub>i</sub> [v]	S <sub>b</sub> [v/mm]	U <sub>i</sub> [v]	U <sub>i</sub> [v]
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X				
1	-50	-14,50	-14,25	-14,28	-14,38	-14,35	-14,38	-14,30	-14,40	-14,35(4)	0,2870(8)	-14,66			
2	-45	-13,20	-13,55	-13,42	-13,20	-13,42	-13,20	-13,20	-13,42	-13,31(2)	0,2958271	-13,21			
3	-40	-11,50	-11,80	-11,80	-11,80	-11,80	-11,80	-11,80	-11,80	-11,80	0,2995	-11,76			
4	-35	-10,53	-10,53	-10,53	-10,53	-10,21	-10,21	-10,53	-10,53	-10,45(8)	0,2988253	-10,31			
5	-30	-8,35	-8,35	-8,35	-8,35	-8,35	-8,25	-8,35	-8,35	-8,35	0,278(3)	-8,86			
6	-25	-7,34	-7,44	-7,53	-7,53	-7,44	-7,44	-7,53	-7,53	-7,49	0,29916	-7,41			
7	-20	-6,06	-6,16	-6,35	-6,25	-6,16	-6,16	-6,16	-6,16	-6,14625	0,3073125	-5,96			
8	-15	-4,89	-4,80	-4,80	-4,80	-4,89	-4,70	-4,80	-4,80	-4,81	0,320(6)	-4,51			
9	-10	-3,44	-3,44	-3,44	-3,35	-3,44	-3,35	-3,44	-3,44	-3,4175	0,34175	-3,06			
10	-5	-2,10	-2,20	-2,20	-2,01	-2,10	-2,10	-2,10	-2,20	-2,1157143	0,4231428	-1,61			
11	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-0,16			
12	5	1,43	1,24	1,24	1,15	1,15	1,43	1,43	1,53	1,34(7)	0,269(5)	1,29			
13	10	2,87	2,97	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,97	2,885714	0,2898571	2,74			
14	15	4,41	4,51	4,32	4,22	4,60	4,51	4,51	4,32	4,41(3)	0,294(2)	4,19			
15	20	5,96	5,87	5,87	5,77	5,96	5,87	5,96	5,77	5,8(6)	0,29(3)	5,67			
16	25	7,24	7,15	7,05	7,05	7,34	7,34	7,24	7,15	7,17(8)	0,2871(5)	7,09			
17	30	8,35	8,25	8,16	8,16	8,35	8,16	8,25	8,16	8,24(3)	0,274(7)	8,54			
18	35	9,98	9,98	9,98	9,98	9,98	9,98	9,98	9,98	9,98	0,2851428	9,99			
19	40	11,44	11,54	11,44	11,44	11,54	11,44	11,44	11,44	11,46(2)	0,286(5)	11,47			
20	45	12,90	12,90	12,87	12,95	13,00	12,95	13,00	12,85	12,93(5)	0,2874567	12,89			
21	50	14,50	14,50	14,75	14,40	14,30	14,60	14,50	14,65	14,49(7)	0,2899(5)	14,34			

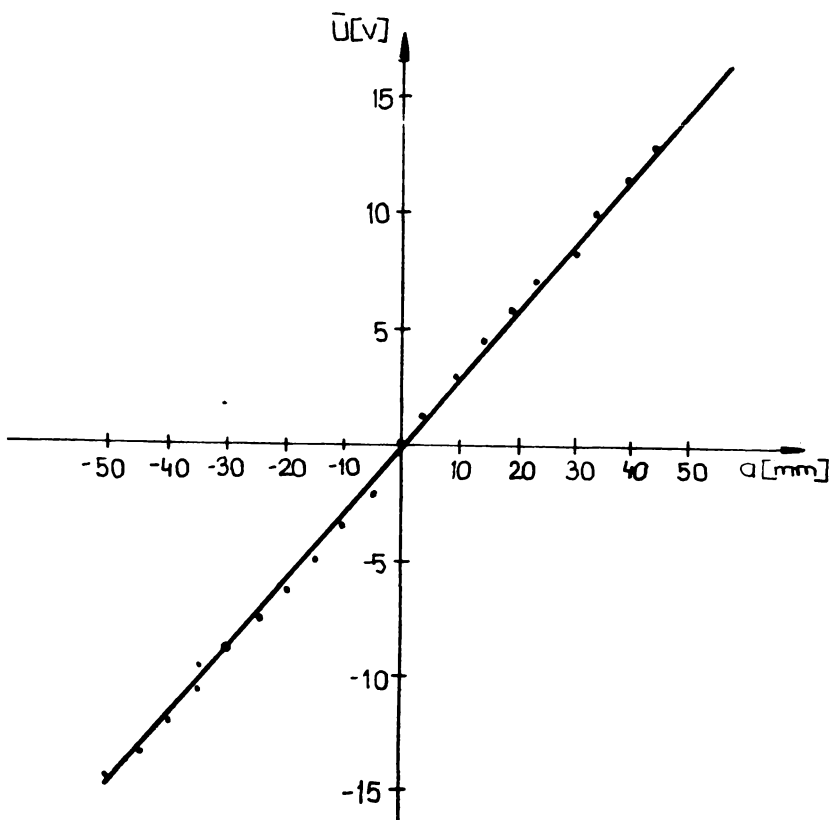


Fig.6.10. Funcția de transfer a senzorului, în plan orizontal  
în coloana 13 sînt trecute valorile obținute din dreapta de regresie.  
Se observă că aceste valori diferă foarte puțin de măsurători, deci  
aproximarea este foarte bună.

Funcția de transfer sau caracteristica senzorului este,  
în plan orizontal, de forma:

$$U = 0,29 \cdot a - 0,16 \quad (6.40.)$$

Din relația (6.40.), se explicitază abaterea a, din rost, pentru  
o tensiune măsurată la ieșire:

$$a = 3,45 \cdot U + 0,55 \quad (6.41.)$$

Cu relația (6.41.), se poate determina abaterea capului de sudare  
din rost pentru valoarea tensiunii măsurată la ieșire.

## CAPITOLUL 7

### Automatizarea procedeului de sudare MAG

#### 7.1. Principiul automatizării

Automatizarea presupune reducerea la maxim posibil a intervenției umane în cadrul unui proces și conducerea acestuia prin intermediul unui calculator. Prin aceasta se reduce factorul subiectiv în luarea deciziilor, crește precizia de execuție a operațiilor, crește viteza de lucru și totodată și productivitatea. De asemenea, în cazul automatizării unui proces, crește sensibilitatea instalației conduse, în special în cazurile limită.

Automatizarea procedeului de sudare MAG, presupune atașarea echipamentului de sudare corespunzător acestui procedeu, fie unui tractor de sudare, de exemplu de tipul TU - 1000, fie unui robot industrial, care în această situație devine robot Industrial de Sudare (RIS). Utilizarea în cadrul procesului de sudare a unui RIS, prezintă o serie de avantaje, dintre care cele mai importante care pot fi amintite sînt:

- zonă mare de acțiune, atât plană cît și spațială, în funcție de tipul constructiv al robotului;
- timp redus de poziționare;
- manevrabilitate mărită a capului de sudare în zona de lucru;
- posibilități extinse de poziționare a capului de sudare în raport cu piesa;
- suprapunerea timpului de arc, cu cel auxiliar;
- creșterea calității îmbinării sudate;
- reducerea cheltuielilor de remaniere;
- creșterea productivității cu 100%;
- reducerea factorului subiectiv;
- creșterea duratei active de lucru la 100%.

În cazul utilizării unui robot, cu scopul automatizării procedeului de sudare MAG, capul de sudare va fi poziționat în dispozitivul de prehensiune al robotului și va fi purtat de acesta în lungul rostului de sudare. Într-o astfel de situație, viteza de sudare va fi

asigurată de către robot. Tamburul cu sîrmă electrod se va poziționa pe brațul robotului, iar sursa de sudare și butelia de  $CO_2$ , în proximitatea acestuia, în așa fel încît să poată fi acoperit tot spațiul de lucru al robotului. Dispozitivul de avans al sîrmei se va poziționa de asemenea pe brațul robotului. Cablul de alimentare cu energie electrică, conducta cu gaz de protecție și sîrma electrod, sînt susținute de o consolă, pentru manevrabilitate și sînt aduse în zona de lucru a capului de sudare.

Intregul ansamblu, robot de sudare, echipament auxiliar corespunzător procedurii MAG, și piesa supusă sudării formează o celulă de sudare robotizată.

## 7.2. Instalație robotizată pentru procedurii de sudare MAG

Roboții industriali, utilizați în cadrul proceselor de sudare, au cîteva particularități. Astfel, dispozitivul de prehenșiune este special conceput pentru cuplarea cu capul de sudare. Datorită faptului că, în timpul procesului de sudare, capul de sudare trebuie deplasat în lungul rostului cu viteze relativ mici, dispozitivele de ghidare ale robotului au la bază scheme cinematice realizate doar cu cuple cinematice de rotație, întrucît cuplele de translație, realizate cu zona de contact cu frecare de alunecare, prezintă fenomenul de "stick - slip". Mecanismul generator de traiectorie la acest tip de roboți, va avea trei grade de mobilitate, iar mecanismul de orientare, va avea două sau trei grade de mobilitate.

Automatizarea, respectiv robotizarea procedurii de sudare MAG, constă în atașarea la un robot de sudare a echipamentului necesar procedurii MAG. În plus, este necesară dotarea ansamblului cu un senzor de urmărire a rostului de sudare și cu un calculator pentru producerea procesului. În figura 7.1., este prezentată schema de amplasare și interconectare a instalației robotizate în cadrul unei celule de sudare. Pe brațul B al robotului, este amplasat capul de sudare CS și dispozitivul optimizat de avans al sîrmei DAS. Alimentarea cu sîrmă electrod se face de la un tambur T amplasat pe robotul industrial de sudare RIS sau pe brațul acestuia. Sursa de sudare SS și butelia cu gaz de protecție

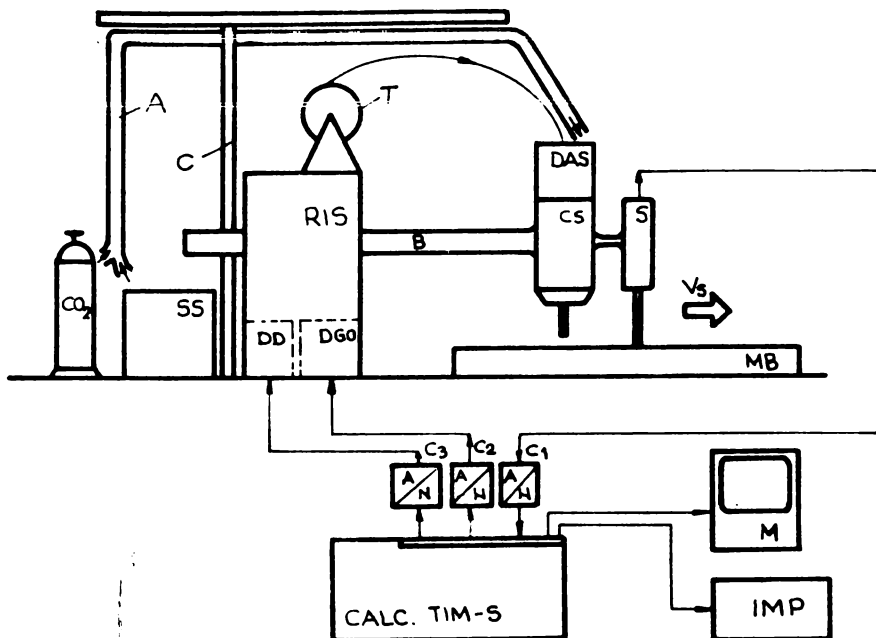


Fig.7.1. Schema de amplasare și interconectare a instalației robotizate pentru procedeul de sudare MAG în cadrul unei celule de fabricație robotizate: RIS - robot industrial de sudare; B - braț robot; DD - dispozitiv de deplasare; DGO - dispozitiv de ghidare și orientare; C - consolă; A - cablul de alimentare cu energie și gaz de protecție; SS - sursă de sudare; DAS - dispozitiv de avans al sârmei; CS - cap de sudare; S - senzor; C1...C3 - convertor analog-numeric și numeric-analogic;  $V_s$  - viteza de sudare; MB - material de bază; CALC - calculator; IMP - imprimantă; M - monitor

$CO_2$  sînt amplasate în spatele robotului, legătura cu capul de sudare realizîndu-se prin intermediul unui cablu de alimentare A susținut de o consolă C. În fața capului de sudare, în direcția de sudare, se găsește poziționat un senzor S pentru urmărirea rostului de sudare. Acest senzor este cuplat rigid cu capul de sudare. Semnalul furnizat de senzor este introdus într-un calculator CALC, prin intermediul unui convertor analog numeric C1. Calculatorul este interconectat cu dispozitivul de deplasare DD al robotului prin intermediul unui convertor numeric analogic C3. Semnalul furnizat de calculator este transmis dispozitivului de ghidare și orientare DGO, din cadrul robotului, prin intermediul unui convertor numeric analogic C2. Calculatorul este cuplat cu un monitor M pentru vizualizarea datelor introduse și a corectitudinii lor și cu o imprimantă IMP

pentru extragerea pe listing a datelor necesare tehnologiei proiectate prin intermediul calculatorului.

Procesul de sudare robotizat decurge în felul următor: se introduc datele de proiectare de la tastatura calculatorului, în funcție de solicitările acestuia prin intermediul monitorului, urmărindu-se simultan ordinea și corectitudinea introducerii lor. Programul de proiectare, care a fost introdus à priori în calculator (ANEXA 4.2.) este într-un limbaj conversațional, limbaj prin care operatorul transmite datele calculatorului, pe parcursul desfășurării proiectării, avînd posibilitatea de corectare a eventualelor erori de introducere a datelor. După ce toate datele au fost introduse, calculatorul determină tehnologia de sudare MAG, furnizînd rezultatele - parametri tehnologici - operatorului, prin intermediul imprimantei, pentru reglarea echipamentului de sudare. În conformitate cu tehnologia proiectată și listată, se stabilește curentul de sudare și tensiunea arcului de la sursă, cît și debitul de gaz de protecție de la butelia de gaz CO<sub>2</sub>. Se poziționează capul de sudare și palpatorul sensorului în rost, se amorsează arcul și se pornește procesul și robotul. Calculatorul va furniza dispozitivului de deplasare din cadrul robotului, prin intermediul convertorului numeric-analogic C3, un semnal corespunzător vitezei de sudare determinate. În concordanță cu acest semnal, robotul va deplasa capul de sudare în lungul rostului. În cazul în care, apar abateri ale capului de sudare din axa rostului (stînga - dreapta), sau față de nivelul de referință ales inițial prin poziționarea în rost (sus - jos), sensorul fiind cuplat rigid cu capul de sudare, sesizează abaterile și le transmite calculatorului prin intermediul unui convertor analog-numeric C1. În funcție de mărimea abaterii, pe orizontală sau pe verticală, calculatorul transmite dispozitivului de ghidare și orientare DGO, al robotului, un semnal proporțional cu abaterea, ca amplitudine și ca semn (ca direcție), prin intermediul unui convertor numeric-analogic C2. Ca urmare, robotul modifică poziția capului de sudare, deci și a sensorului, în funcție de semnalul primit. În consecință sensorul se va deplasa și/sau roți în direcție contrară abaterii apărute, iar semnalul de abatere furnizat de el va începe să scadă ca amplitudine. Prin intermediul calculatorului și a celor două convertoare C1 și C2, va începe să scadă și semnalul furnizat dispozitivului de ghidare și orientare. Reorientarea sen-

zorului în rost se consideră terminată, în momentul în care acesta nu mai furnizează nici un semnal de abatere. În momentul respectiv atât senzorul cât și capul de sudare se găsesc în rost, în axa rostului la nivelul de referință, în poziția inițială. Dacă în timpul reorientării capului de sudare și al senzorului, se depășește poziția corectă, senzorul va furniza un semnal de semn contrar celui precedent și sensul mișcării se inversează. În ANSXA 7.1., este prezentat programul de achiziție a datelor în calculator și de furnizare a rezultatelor către robot.

La schimbarea rostului de sudare, parametri tehnologici primari rămân nemodificați schimbându-se doar viteza de sudare. Ca atare, robotul se orientează pe direcția noului rost, prin programul său, procesul de sudare reluându-se, cu noua viteză de sudare transmisă de calculator. În acest fel, timpul auxiliar de reglare a parametrilor tehnologici, pentru un nou rost (o nouă tehnologie), se reduce la zero.

Alimentarea postului de lucru, cu piese în vederea sudării și evacuarea celor sudate, se execută automat prin intermediul unei benzi transportoare. Tactul benzii se fixează inițial, în funcție de complexitatea piesei și de timpul necesar sudării unei piese.

În conformitate cu cele prezentate în capitolul 1, paragraful 1.1., pentru determinarea indicelui de automatizare al instalației de sudare robotizată, prin procedeul MAG, se întocmește o listă de parametri pe care ar trebui să-i posede instalația robotizată. Acești parametri, în ordinea importanței, cu vectorul boolean  $Z$  alocat și cu valoarea acestui vector pentru instalația prezentată, sînt:

- $Z_1$  : urmărirea automată a rostului de sudare, prin intermediul senzorilor de rost -  $Z_1 = 1$ ;
- $Z_2$  : preluarea semnalelor de abatere, de la senzor, și compararea în calculator cu valorile de referință -  $Z_2 = 1$ ;
- $Z_3$  : transmiterea către dispozitivul de orientare al robotului, a semnalelor de corecție, de către calculator -  $Z_3 = 1$ ;
- $Z_4$  : dirijarea robotului, în lungul rostului, cu viteza de sudare  $V_s$  -  $Z_4 = 1$ ;



- $Z_5$  : poziționarea inițială a capului de sudare, în poziție de așteptare -  $Z_5 = 0$ ;
- $Z_6$  : prescrierea automată, conform tehnologiei, a curentului de sudare și a tensiunii arcului la echipamentul atașat -  $Z_6 = 0$ ;
- $Z_7$  : prescrierea automată, conform tehnologiei, a vitezei electrodului, la dispozitivul de avans -  $Z_7 = 0$ ;
- $Z_8$  : prescrierea automată, conform tehnologiei, a debitului de gaz de protecție de la butelia de  $CO_2$  -  $Z_8 = 0$ ;
- $Z_9$  : controlul activ, în timpul sudării, a curentului de sudare și a tensiunii arcului -  $Z_9 = 0$ ;
- $Z_{10}$  : controlul activ, în timpul sudării, a vitezei de sudare -  $Z_{10} = 0$ ;
- $Z_{11}$  : control activ, în timpul sudării, a vitezei electrodului -  $Z_{11} = 1$ ;
- $Z_{12}$  : control activ, în timpul sudării, a debitului de gaz de protecție -  $Z_{12} = 0$ ;
- $Z_{13}$  : calculul automat și optimizarea tehnologiei de sudare -  $Z_{13} = 1$ ;
- $Z_{14}$  : limbaj de proiectare, conversațional pentru intervenție operativă pe parcursul proiectării tehnologiei de sudare -  $Z_{14} = 1$ ;
- $Z_{15}$  : alimentarea automată, conform tehnologiei, cu sîrmă electrod cu diametru corespunzător tehnologiei optime -  $Z_{15} = 0$ ;
- $Z_{16}$  : alimentarea automată a zonei de lucru, cu piese în vederea sudării -  $Z_{16} = 1$ ;
- $Z_{17}$  : evacuarea din zona de lucru a subansamblelor sudate -  $Z_{17} = 1$ ;
- $Z_{18}$  : furnizarea tehnologiei proiectate, pe monitor și pe imprimantă pentru facilitarea utilizării acesteia de către operator -  $Z_{18} = 1$ .

În contextul parametrilor prezentați, indicele de automatizare este:

$$I_a = \frac{1}{2^1} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \frac{1}{2^4} + \frac{0}{2^5} + \frac{0}{2^6} + \frac{0}{2^7} + \frac{0}{2^8} + \frac{0}{2^9} +$$

$$\left( \frac{0}{2^{10}} + \frac{1}{2^{11}} + \frac{0}{2^{12}} + \frac{1}{2^{13}} + \frac{1}{2^{14}} + \frac{0}{2^{15}} + \frac{1}{2^{16}} + \frac{1}{2^{17}} + \frac{1}{2^{18}} \right)$$

$$I_a = 0,93819809$$

Lista de parametri prezentată, nu are pretenția de a epuiza toate valențele automatizării instalației robotizate luate în discuție și ca atare această listă poate fi completată. Ordinea importanței acestor parametri, poate fi de asemenea modificată. În orice caz, în situația prezentată, instalația robotizată de sudare, prin procedeul MAG, are un indice ridicat de automatizare. Acest indice se apropie foarte mult de unitate și deci acoperă foarte bine domeniul automatizării.

În concluzie, în urma automatizării procedurii de sudare MAG, indicele de automatizare înregistrează o creștere de la 0,500 la 0,938.

## CAPITOLUL 8

### CONSIDERAȚII FINALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

Procedeeul de sudare MAG, are la ora actuală o răspândire relativ redusă. Acest fenomen, se explică datorită faptului că procedeul de sudare MAG, este un procedeu manual sau semimecanizat, eventual mecanizat. Ca aplicabilitate, procedeul are o gamă extinsă, acoperind aproape orice grosime de material și într-un domeniu foarte larg a materialelor de bază. În foarte multe domenii, procedeul de sudare MAG are aplicabilitate mult mai mare decât alte procedee. Din aceste considerente a apărut necesitatea automatizării acestui procedeu.

Prezenta lucrare cuprinde sinteza rezultatelor cercetărilor teoretice și experimentale, întreprinse de autor, pe o perioadă de mai bine de șapte ani, în domeniul automatizării, al proiectării și conducerii pe calculator și nu în ultimul rând al senzorilor de urmărire a rostului de sudare.

Din cele expuse în cadrul lucrării de față, se evidențiază următoarele considerații finale asupra automatizării procedeeului de sudare MAG:

1. calculul unei tehnologii de sudare impune și optimizarea acesteia după anumite criterii (preț de cost, consum de energie, timp de sudare). În acest context, a fost întocmit un program în limbaj BASIC (ANEXA 1.2.) de optimizare multicriterială prin metoda "ELECTRE", după cele trei criterii de optimizare prezentate mai sus. Ca rezultat al optimizării, se obține diametrul electrozudului pentru care tehnologia este optimă din punct de vedere al criteriilor analizate;

2. câmpul termic furnizează informații asupra modului de variație a temperaturii, în cusătura sudată și în zona influențată termic. Ca atare, a fost determinat câmpul termic la procedeul de sudare MAG (relația (1.26.)), stabilindu-se timpul de răcire  $t_{8/5}$ , pentru determinarea granulației în ZIT;

3. la oțelurile cu granulație fină, apare tendința de creștere a granulației în urma procesului de sudare. Pentru determinarea acestei tendințe de creștere a fost stabilit diametrul me-

diu convențional al grăunților de austenită (tabelul 2.4.), prin studiul metalografic al materialului sudat și prin studii privind diferite energii liniare și temperaturi maxime (ANEXA 2.1.);

4. în urma determinării diametrului mediu convențional al grăunților, s-au calculat regresiile care aproximează cel mai bine fenomenul de creștere al grăunților în limitele de energie liniară luată în discuție (relațiile (2.33.)...(2.35.) și figura 2.2.). Pentru determinarea regresiilor au fost întocmite programe de calcul de determinare a coeficienților sistemelor (ANEXA 2.2.) și pentru rezolvarea sistemelor liniare prin metoda Gauss (ANEXA 2.3.). Regresiile determinate, relevă clar tendința de creștere a grăunților, odată cu mărirea temperaturii maxime;

5. la probele simulate au fost făcute încercări de duritate Vickers (tabelul 2.6.). Analizînd rezultatele obținute se observă că duritatea maximă în ZIT scade odată cu creșterea energiei liniare introduse în material pentru aceeași temperatură maximă. Se observă de asemenea, o scădere a durității cu creșterea temperaturii maxime, pentru aceeași energie liniară introdusă;

6. menținerea granulației fine și în urma procesului de sudare, corespunde cu menținerea diametrului mediu convențional al grăunților, în domeniul (30...45)  $\mu\text{m}$ . Pentru stabilirea acestui domeniu, s-a determinat regresia de dependență a punctajului de diametrul grăunților (relația (2.44.) și figura 2.1.). În concordanță cu domeniul diametrului mediu convențional și cu tendința de creștere a granulației, s-a determinat gama energiei liniare, necesare menținerii unei granulații fine în ZIT, această limită cuprinsă în domeniul (6...20)  $\text{KJ/cm}$ ;

7. automatizarea procedurii de sudare MAG impune și automatizarea proiectării tehnologiei de sudare. Ca o primă etapă în acest sens, a fost stabilită o metodă de codificare a rosturilor STAS recomandate pentru acest procedeu și a fost întocmit un algoritm de determinare a rostului necesar, în funcție de tipul sudării, grosimea de material, clasa de calitate și numărul căilor de acces, la sudare (tabelele 3.1. ... 3.5.);

8. energia liniară introdusă în material, viteza de răcire a acestuia după sudare, compoziția chimică, sînt cîteva elemente determinate în durificarea ZIT-ului. Pentru menținerea durității

sub limita admisă, este necesar ca elementele care o definesc să fie ținute sub control. În acest sens se impune ca duritatea să se determine din faza de proiectare, jonglând asupra vitezei de sudare și a temperaturii de preîncălzire pentru limitarea durității. Din analiza metodelor de determinare a durității, prezentate în documentele IIS / IIW, a fost aleasă metoda "BL - 70" (relațiile (3.2.)... (3.11.)), care prezintă cele mai mici abateri față de determinările experimentale;

9. în cazul sudării în mai multe straturi, apare riscul durificării ZIT-ului, datorită faptului că temperatura stratului precedent nu a ajuns la valoarea temperaturii de preîncălzire. Din acest considerent a apărut necesitatea determinării timpului interstrat, pentru straturile următoare (relația (3.23.)), prin intermediul temperaturii stratului precedent (relația (3.18.)), dat de ciclul termic și a timpului de utilaj (relația (3.13.));

10. automatizarea determinării unei tehnologii, constă în proiectarea asistată de calculator, a acesteia. În acest scop, relațiile de proiectare au fost transformate corespunzător, efectuându-se unele cuantificări necesare calculelor ciclice (relațiile (4.1.)... (4.24.)). A fost realizat un program de calcul în limbaj BASIC, pe calculatorul TIM-S (figura 4.1. și ANEXA 4.1.);

11. programul de proiectare cu ajutorul calculatorului, a fost astfel conceput încât să realizeze o optimizare a tehnologiei din punct de vedere a durității maxime în ZIT. În acest sens, calculul tehnologiei se face printr-un ciclu de iterații pentru încaadrarea în limitele energiei liniare, jonglându-se cu viteza de sudare. Metoda de proiectare pornește de la principiul determinării tehnologiei de sudare, cu temperatura de preîncălzire minimă sau chiar nulă. Fixarea unei temperaturi de preîncălzire se face doar atunci când apare imposibilitatea încadrării în limitele durității maxime în ZIT;

12. pe baza programului conceput, au fost proiectate 30 de tehnologii de referință (ANEXA 4.2.), care acoperă toate variantele luate în discuție;

13. în cazul procedurii de sudare MAG, electrodul fiind fușibil, apar perturbații ale lungimii arcului în timpul procesului de sudare. În acest context, a fost studiată forma de variație în timp a lungimii arcului, la apariția unei perturbații sub formă

le salt (relația (5.11.) și figura 5.8.). Se observă că sistemul este stabil, revenind la valoarea staționară, într-un timp scurt, ce depinde de constanta de autoreglare,

14. arcul electric reprezintă elementul de bază al formării îmbinării sudate. În acest context au fost studiate toate elementele care definesc arcul electric cu electrod fuzibil, realizându-se modelul matematic al acestuia (figura 5.9.) și funcția sa de transfer (relația (5.33.));

15. studiul efectuat asupra arcului electric cu electrod fuzibil, a dus la determinarea unei constante a arcului (relația (5.35.)), constantă care definește arcul electric, legând caracteristica sursei de caracteristica arcului, în punctul stabil de funcționare. Această constantă a arcului electric, cu electrod fuzibil, apare în toate relațiile care definesc arcul (relațiile (5.50.)... (5.53.));

16. analiza arcului electric a relevat faptul că tensiunea arcului nu este strict proporțională cu lungimea arcului, prin intensitatea cîmpului din arc (relația (5.41.)), fiind mai mare (relația (5.40.)). Valorile obținute cu această relație sînt apropiate de cele calculate cu alte formule, empirice (Ayrton, Hrenov, Braun, Jeferian), avînd avantajul unei baze teoretice;

17. analiza unui procedeu de sudare cu electrod fuzibil, impune și o analiză amănunțită a dispozitivului de avans a sîrmei electrod. În acest sens a fost analizat dispozitivul de avans pentru sistem cu viteză constantă și cu viteză dependentă de tensiunea arcului, au fost realizate modelele matematice ale celor două tipuri de dispozitive (figurile 5.12. și 5.14.) și s-au determinat funcțiile de transfer a acestora (relațiile (5.61.) și (5.65.)). A fost efectuat un studiu asupra stabilității dispozitivului de avans a sîrmei, stabilindu-se faptul că în cazul dispozitivului cu viteză constantă, acesta este întotdeauna stabil, un eventual regulator ar mări rezerva de stabilitate, iar în cazul dispozitivului cu viteza funcției de tensiunea arcului, este necesară introducerea unui regulator pentru optimizarea dispozitivului, regulator a cărui funcție de transfer a fost determinată;

18. automatizarea procedurii de sudare MAG, impune și urmărirea automată a rostului de sudare. Aceasta se impune în cazul robotizării procedurii și datorită abaterilor dimensionale și de

poziționare a materialelor care se vor suda. În acest context a fost conceput un senzor de urmărire a rostului, de tip tactil, cu conversia inductivă a semnalului. Acest senzor are posibilitatea de a sesiza abateri ale capului de sudare, în plan orizontal, din axa rostului și în plan vertical în axa rostului. În modul cum a fost conceput, senzorul are posibilitatea de urmărire spațială a rostului, conectarea sa fiind de minimizare în permanență a semnalului de eroare. Experimentările executate cu acest senzor au relevat o sensibilitate foarte bună, atât în plan orizontal cât și în plan vertical, caracteristicile pe cele două direcții fiind liniare (figurile 6.9. și 6.10.). Din măsurătorile efectuate, au fost determinate funcțiile de transfer ale senzorului, pe cele două direcții (relațiile (6.35.) și (6.40.)), cât și funcțiile de determinare a abaterilor pe cele două direcții, în funcție de semnalul obținut (relațiile (6.36.) și (6.41.));

19. senzorul proiectat și realizat, are posibilitatea de urmărire spațială a rostului de sudare: în plan vertical prin controlarea pantei de creștere a denivelării (relația (6.22.)) și a vitezei de ridicare (relația (6.25.)), cât și în plan orizontal prin curbura minimă a rostului (relația (6.28.)) și a vitezei de poziționare (relația (6.31.)). Senzorul proiectat are caracteristici liniare atât în plan orizontal cât și în plan vertical (figurile 6.9. și 6.10.), iar prin regresiile determinate se poate cunoaște în orice moment, denivelarea (relația (6.36.)) și abaterea (relația (6.41.)), în funcție de tensiunea furnizată de senzor.

20. atingerea performanțelor prezentate, cu ajutorul acestui senzor, a fost posibilă datorită optimizării camei, care intră în construcția sa. Această camă are rolul de a transforma o mișcare de rotație cu proiecții egale pe orizontală, într-o mișcare de translație cu proiecții egale pe verticală. Optimizarea formei camei a fost obținută prin intermediul unui program conceput în limbaj BASIC pe calculatorul TIM-3 (ANEXA 6.1.);

21. automatizarea procedurii de sudare MAG, implică anexarea echipamentului de sudare la un robot. În această situație semnalul furnizat de senzor, va comanda dispozitivul de ghidare și orientare al robotului, prin intermediul unui calculator. Preluarea și extragerea datelor de către calculator, se face prin intermediul a două convertoare analog-numeric și numeric-analogic

și al unui program de interfațare (vezi 7.1.). Calculatorul, după tastarea datelor inițiale, furnizează tehnologia calculată, unei imprimante, iar după fixarea parametrilor tehnologici pe echipament și pornirea procesului robotul este comandat pentru viteza de sudare, de către calculator. La aceeași piesă, la schimbarea rostului, sârma electrod rămânând aceeași, parametri tehnologici nu se schimbă, cu excepția vitezei de sudare, comandată de calculator și executată de robot. Prin aceasta timpul auxiliar de reglare a parametrilor tehnologici se reduce la zero.

Concluziile desprinse din prezenta teză, relevă faptul că, prin contribuțiile aduse, procedeul MAG devine un procedeu de sudare automat. Această automatizare a procesului, se face în mai multe direcții. În primul rând se realizează automatizarea proiectării tehnologiei de sudare. Această proiectare este astfel concepută încât în urma procesului de sudare duritatea ZIT-ului să fie redusă (sub  $350 \text{ HV}_{10}$ ), iar temperatura de preîncălzire necesară sudurii, să aibă valoarea minimă posibil, eventual nulă. În proiectare s-a ținut cont de dirijarea energiei liniare introduse în material, în scopul menținerii granulației fine a acestuia. Tehnologia astfel proiectată este optimă din punct de vedere a prețului de cost, a timpului de sudare și a consumului energetic.

În al doilea rând se realizează optimizarea dispozitivului de avans al sârmei, în scopul menținerii vitezei de avans a sârmei la valoarea programată, obținându-se în acest fel un control riguros al curentului de sudare și a tensiunii arcului. Pentru realizarea unei automatizări în această direcție, au fost întocmite modelele matematice ale dispozitivului de avans și ale arcului electric, iar din interdependența acestora s-a obținut condiția de optimizare a sistemului de avans automatizat.

În al treilea rând se realizează o automatizare a urmăririi rostului de sudare. Datorită abaterilor dimensionale și de poziționare a materialelor supuse sudurii, urmărirea automată a rostului are o importanță deosebită. În acest scop, a fost conceput un senzor de urmărire, care preia informațiile de abatere a rostului pe două direcții (vertical și orizontal, dirijând orientarea în rost a capului de sudare, prin intermediul unui program pe calculator. Comenzile de reorientare a capului de sudare, sînt furnizate unui robot care are rolul de a dirija capul de sudare în lungul rostului.



Tehnologia proiectată a fost concepută în contextul unei tehnologii robotizate; la modificarea rostului de sudare, parametri tehnologici rămân nemodificați, cu excepția vitezei de sudare, care este asigurată de către robot. Inscrierea îmbinării sudate, în parametri de calitate impuși, se obține prin modificarea adecvată a vitezei de sudare, în conformitate cu programul conceput.

Contribuțiile originale care rezultă din teza de față pot fi grupate în contribuții teoretice și practice.

#### CONTRIBUȚII ORIGINALE TEORETICE

1. Condensarea formulelor de calcul a cîmpului termic, a tuturor procedeelelor de sudare, rezultînd patru formule, care prin particularizarea parametrilor introduși furnizează formula de calcul necesară (relațiile (1.32.)...(1.35.)).

2. Aplicația optimizării multicriteriale, prin metoda "ELECTRE", la proiectarea tehnologiei de sudare MAG, rezultînd tehnologia optimă după diametrul electrodului și a numărului minim de straturi, în funcție de importanța criteriilor de optimizare, furnizată de către proiectant.

3. Determinarea formulei de calcul a diametrului mediu convențional, a găruntelui de austenită, în funcție de energia liniară introdusă, avînd ca parametri temperatura maximă (relațiile (2.33.)...(2.35.)), în gama energiilor liniare utilizate la procedeul de sudare MAG.

4. Determinarea formulei de calcul a punctajului acordat grăunților, în funcție de diametrul mediu convențional al acestora (relația (2.44.)), pentru gama de diametre de grăunte apărute la utilizarea energiei specifice procedului MAG.

5. Stabilirea unei metode de calcul a durității maxime în ZIT, înaintea procesului de sudare, metodă care ține cont de compoziția chimică a materialului, temperatura de preîncălzire, energia liniară introdusă și timpul de răcire  $t_{0,5}$  (relațiile (3.2.)...(3.11.)).

6. Determinarea formulei de calcul a variației în timp a temperaturii stratului depus (relația (3.18.)), pentru procedeul de sudare MAG.

7. Stabilirea metodei de determinare a timpului interstrat, la sudarea MAG (relațiile (3.19.)...(3.23.)), pentru limita-

rea nivelului energetic al materialului.

8. Elaborarea unei metode de calcul și optimizare a tehnologiei de sudare MAG, în funcție de duritatea maximă în  $410^{\circ}\text{C}$ , prin limitarea acesteia sub valoarea admisă. Tehnologia optimă rezultată din alegerea adecvată a vitezei de sudare, pentru înscrierea în limitele impuse, va avea temperatura de preîncălzire minimă, eventual nulă (paragraful 4.2.).

9. Elaborarea relațiilor de calcul a tehnologiei MAG pentru utilizarea calculului automat (relațiile (4.1.)...(4.47.)).

10. Determinarea formei de variație în timp a lungimii arcului (relația (5.19.) și figura 5.2.), la apariția unei perturbații sub formă de salt, cât și determinarea timpului de stabilizare.

11. Determinarea modelului matematic și a funcției de transfer, a arcului electric cu electrod fuzibil (relația (5.33.) și figura 5.3.).

12. Determinarea constantei arcului electric (relația (5.35.)), ca element care leagă caracteristica sursei de cea a arcului și de caracteristica de funcționare stabilă, în punctul de funcționare.

13. Fundamentarea teoretică a modului de reglare a lungimii arcului, rezultată din funcția de transfer a acestuia, în regim dinamic (relația (5.33.)) și în regim stabilizat (relația (5.37)).

14. Determinarea formulei de calcul a tensiunii arcului, în funcție de poziția punctului de funcționare pe caracteristica sursei, a arcului și cea de funcționare stabilă (relația (5.40.) respectiv (5.42.)).

15. Determinarea modelului matematic a funcției de transfer, a dispozitivului de avans a sîrmei pentru sistem cu viteză constantă (figura 5.12. și relația (5.62.)) și pentru sistem cu viteză dependentă de tensiune a arcului (figura 5.14. și relația (5.65.)).

16. Determinarea analitică a ecuației profilului camei de transformare a mișcării pe orizontală cu cantități egale, în mișcare pe verticală cu cantități egale (relația (6.16.)).

## CONTRIBUȚII ORIGINALE TEHNICO-APLICATIVE

1. Realizarea unui program de optimizare multicriterială după diametrul electrodului și a numărului minim de straturi (ANEKA 1.2.).

2. Determinarea graficului de variație a diametrului grăunțelui de austenită, în funcție de energia liniară introdusă și de temperatura maximă, în domeniul de valori specifice procedului de sudare MAG (figura 2.2.) cât și a variației durității maxime în ZIT, în funcție de aceiași parametri.

3. Determinarea relațiilor de calcul a diametrului mediu convențional al grăunților de austenită, în gama valorilor energiei liniare specifice procedului de sudare MAG (relațiile (2.33.)... (2.35.)).

4. Determinarea energiei liniare optime pentru procedeul MAG, în scopul menținerii granulației fine a oțelurilor (figurile 2.1. și 2.2.).

5. Intocmirea unui algoritm și realizarea unui program de alegere automată a rostului de sudare conform STAS, în funcție de tipul de sudare, grosimea materialului, clasa de calitate și accesul în zona de sudare, (ANEKA 4.1.).

6. Realizarea unui program de calcul a durității maxime în ZIT (ANEKA 4.1.).

7. Realizarea unui program de calcul automat și de optimizare, a tehnologiei MAG (ANEKA 4.1.), program ce ajută cel puțin la proiectarea unei tehnologii se face în: 30 secunde - introducerea datelor de proiectare și 20...70 secunde - calculul propriu-zis al tehnologiei, dependent de numărul de iterații necesar proiectării.

8. Determinarea stabilității dispozitivului de avans și optimizarea acestuia, prin studiul hodografului funcție de transfer, cu ajutorul criteriului Nyquist (figurile 5.15. și 5.16. și relațiile (5.76.)...(5.79.)).

9. Realizarea unui program de optimizare a profilului camei senzorului (ANEKA 6.1.).

10. Realizarea profilului camei senzorului prin eroziune pe un utilaj de tipul ELEROFIL 01, cât și realizarea senzorului în ansamblu.

Considerațiile finale și concluziile prezentate succint, au rezultat din informațiile reduse existente în literatura de specialitate și în special din cercetările teoretice și experimentale efectuate de către autor.

Prezenta teză de doctorat nu are pretenția de a fi epuizat problema automatizării procedurii de sudare MAG, intitulându-se ca atare "CONTRIBUȚII LA AUTOMATIZAREA PROCEDURELUI DE SUDARE MAG", în schimb a deschis drum unei noi direcții de cercetare, activitatea ulterioară putînd fi dirijată în special în domeniul adaptării robotului pentru sudare, direcție mai puțin aprofundată de autor.

În urma aplicării rezultatelor prezentei teze de doctorat, se obține o creștere a indicelui de automatizare a procedurii de sudare MAG de la valoarea  $I_a = 0,500$  în etapa actuală, la valoarea  $I_a = 0,938$ .

Prin conținutul tezei, se consideră că s-a adus o modestă contribuție la proiectarea tehnologiei de sudare asistată de calculator, la studiul arcului electric și a dispozitivului de avans a sirnei prin modelele matematice concepute cît și la sistemele de urmărire automată pe bază de senzori, ale rostului de sudare.

BIBLIOGRAFIE

1. ANDRASIU M. - Metode de decizii multicriteriale, ET - București, 1986
2. ARATA Y., INONE K. - Automatic control of arc Welding technology - Japan Welding Association - Osaka ,1975
3. BABUTIA I., DRAGOMIR T. - Conducerea automată a proceselor, Ed. Facla - Timișoara, 1985
4. BABUTIA I., PETRUESCU M. - Automatizari electronice în construcția de mașini, Ed. Facla, Timișoara, 1983
5. BEATIE R.J. - Utilizarea senzorilor optici în aplicațiile sudării cu mai multe straturi, Welding Journal, Nr.11/1988
6. BORANGIU T., DOBRESCU R., - Automate programabile, Ed. Academiei București, 1986
7. BOTAȘ N.V.-ș.a. - Mașini electrice și acționări, EDP, București, 1979
8. BUDA C. - Elemente de reglaj și automatizare, EDP, București, 1975
9. BÜCKNER G. - Experițe și dezvoltări în continuare, pentru sudare MIG/MAG, ZIS - Mitteilungen, Nr.11/1988
10. CARTIS I. - Tratamente termice, Ed.Facla, Timișoara, 1982
11. CARTIS I., MIȚULEA I. - Tratamente termice, Ed.Facla, Timișoara, 1984
12. CARY R.H. - Modern Welding technology , New Jersey, Prentice-hall, 1977
13. CALIN S., DUMITRACHE I. - Automatizări electronice, EDP, București, 1982
14. CALIN S., DUMITRACHE I. - Regulate automate, EDP, București, 1985
15. CENȚEA O., MICLOSI V. - Mașini și aparate pentru sudarea electrică, ET, București, 1967
16. CERNYSJEV V.P. - Traductoare ale parametrilor energetici ai procesului de sudare, avtomaticeskaia svarka, Nr.10/1988
17. CHAKRAVANTI I.M. - Handbook of Methods of Applied Statistics, University of North Carolina, 1972
18. CHESA I. - ș.a. - Mărci și produse din oțel, ET, București, 1989
19. COJOCARU G., KOVACS FR. - Roboți în acțiune, Ed.Facla, Timișoara, 1986

20. CONDOROVICI I.E. - Tratatul termic al oțelului și a fontei, ET, București, 1953
21. CULLEA C.P. - Un sistem de sudare robotizat adaptiv cu senzori tactili pentru sârma de sudare, Welding Journal, Nr.11/1988
22. DE PRUNEE D. - Sudarea asistată de calculator și cuplarea acesteia cu sistemele de urmărire a îmbinării, Sudage et techniques connexes, Nr.1/2 - 1988
23. DITTMANN B. - Einsatz der ZIM - Industrie - Roboten - Schweiss Technik, Nr. 5/1983
24. DODESCU GH, ș.a.-Limbajul BASIC și aplicații, EDP, București, 1970
25. DULAMITA T., FLORIAN E. - Tratamente termice și termochimice, EDP, București, 1982
26. DUSOVOTSKI S.V. - Optimizarea tehnologiilor de sudare - Avtomatizatskaja svarka, Nr.12/1980
27. SCHIA I., LUPESCU I., - Tehnica sudării prin topire a metalelor și aliajelor, ET, București, 1983
28. FABER W. - Despre studiul tehnicii senzorilor pentru sudarea cu arcul electric, ZIS - Mitteilungen, Nr.11/1988
29. FERRATI M. - Manipulatori și roboți industriali de sudare - Le Nouvel automatisme - Nr.24/1981
30. FRANK G. - Calculul temperaturii de preîncălzire la sudare, Schweissen Schneiden, Nr. 4/1988
31. GARLASU ȘT., ș.a. - Electronică și automatizări industriale, EDP, București, 1982
32. GELFAND I.M., SILOV E.E. - Funcții generalizate, Ed.St. și Enciclopedică, București, 1983
33. GHITLEVICI A.D., ETINGOFF L.A. - Mecanizarea și automatizarea producției sudate, ET, București, 1974
34. GOJINETCHI N., REINER A. - Proiectarea și construcția dispozitivelor, Lito IPIași, 1970
35. GOLDBERG F., KARLEN R. - Seam Tracking and height seasing an industrie system for arc welding, Metal Construction, Nr.12/1980
36. GULIAEV A.P. - Metalurgie fizică, ET, București, 1954
37. HALLIDAY D. - Fizica, EDP, București, 1975
38. HARASAWA H., HART P.H.M. - A Preliminary Evaluation of a Effect of Restraint on HAZ cold cracking of Butt Welds in Three C-Mn Steels, TWI, Rep, 40/1977/M

39. HARUYOSHI SUZUKI - A New Formula for Estimating HAZ Maximum Hardness in Weld Steel, Doc IIS / IIW, IX - 1418 - 86
40. HENTEA T. - Automatizări discrete industriale, Lito IPTimișoara, 1987
41. HIRSCHMANN F. - Seam following by optical means, Welding and Metal Fabrication, Nr.12/1979
42. IACOB C. - Matematici clasice și moderne, ET, București, 1984
43. ICELAND W.F. - Seam follower with arc scanning, US-Patent
44. IFRIM A., NOTINGHER P., - Materiale electrotehnice, EDP, București, 1979
45. IONESCU G., IONESCU V. - Automatica de la A la Z, EDP, București, 1987
46. IONESCU G., POPESCU ST. - Aparatură pentru automatizări, EDP, București, 1977
47. ITO Y., BESSYO K. - Cracking Parameter of High Strength Steels Related to Heat - Affected - Zone Cracking, Doc IIS / IIW, IX - 576 - 68
48. JOHNSTON A.R. - Tehnologia senzorilor tactili și de proximitate, Machine Moderne, Nr.635/1982
49. KECS W. - Elemente de matematici cu aplicații în tehnică, ET, București, 1983
50. KOVACS FR., COJOCARU G. - Manipulatoare roboți și aplicațiile lor industriale. Ed. Facla, Timișoara, 1982
51. KOVACS FR., MALAI D., ș.a. - Celulă de fabricație flexibilă pentru sudarea robotizată a subansamblelor tip jgheab de la IUM - Satu Mare, Al VII-lea Simpozion Național de Roboți Industriali, Cluj, nov., 1988
52. KOVACS FR., MALAI D., ș.a. - Celulă de fabricație flexibilă pentru sudarea unor componente ale gării de vagon, Al VI-lea Simpozion Național de Roboți Industriali, Brașov, 1986
53. LINDBERG B.O. - Utilizarea roboților la sudarea cu arc electric Welding and Metal Fabrication, Nr.7/1988
54. LODÉ W. - Program de calculator pentru sudarea țevilor, Schweissen Schneiden, Nr.9/1988
55. LORENZ K., DIEREN C. - C - Equivalent for Evaluation of Weldability of Large - Diameter Pipe Steels, Doc IIS / IIW, IX - B - 11 - 82
56. MAYEZ AL MOUHAMED - Comanda rapidă implementată pe microprocesor pentru manipulator MA-23, Le Nouvel Automatisme, Nr.27/1982

57. MALAI D. - Senzori utilizați în cadrul roboților industriali, Rev. Știință și Tehnică, Nr.12/1980
58. MALAI D. - Contribuții la construcția unor tipuri de senzori utilizați la RI, I Simpozion Național de RI, IPB - oct -1981
59. MALAI D. - Studiul caracteristicii externe a transformatorului TASM-300, Ses. de Comunicări Șt. a ȘD, U.Galați,1981
60. MALAI D. - Sistem senzorial pentru urmărirea rostului la sudarea de colț cu RI de sudare, Al III-lea Simpozion Național de RI, IPB - oct.-1983
61. MALAI D. - Senzor pentru sudarea cu RI a unui rost cu deschidere variabilă, Al V-lea Simpozion Național de RI, București, oct.,1985
62. MALAI D. - Construcții sudate realizate prin procedeul MAG, Simpozionul de structuri sudate și sudarea în construcții, IPTimișoara, nov.,1986
63. MALAI D. - Proiectarea pe calculator a tehnologiilor de sudare, Simpozionul de structuri sudate și sudarea în construcții, IPTimișoara, nov.,1986
64. MALAI D. - Modelul matematic al arcului electric cu electrod nefuzibil, B.O. - IPTVTimișoara, Nr.40/1990
65. MALAI D. - Modelul matematic al arcului electric cu electrod fuzibil, B.O. - IPTVTimișoara, Nr.40/1990
66. MICLOSI V., ANDREESCU P. - Echipamente pentru s. iare, EDP, București, 1984
67. MICLOSI V., POPESCU M. - Indrumător pentru alegerea oțelurilor, ET, București, 1966
68. MICLOSI V., SCOROBETIU L.,ș.a. - Bazele proceselor de sudare, EDP, București, 1982
69. MICLOSI C., ș.a. - Sudarea metalelor, ET, București, 1965
70. MIHOȘ D., ș.a. - Teoria și elementele sistemelor de reglare automată, EDP, București, 1980
71. MIHOȘ GH. - Tratat de statistică matematică, Ed.Academiei, 1977
72. MITELBA I., BUDAU V. - Studiul Metalelor - îndreptar tehnic, Ed.Facla, Timișoara, 1987
73. NAKANISHI M., KONIZO Y., - HAZ Hmax in Boron Containing Low Carbon Steels, Doc IIS / IIW, IX - 1349 - 85
74. NANU A. - Tehnologia materialelor, EDP, București, 1972

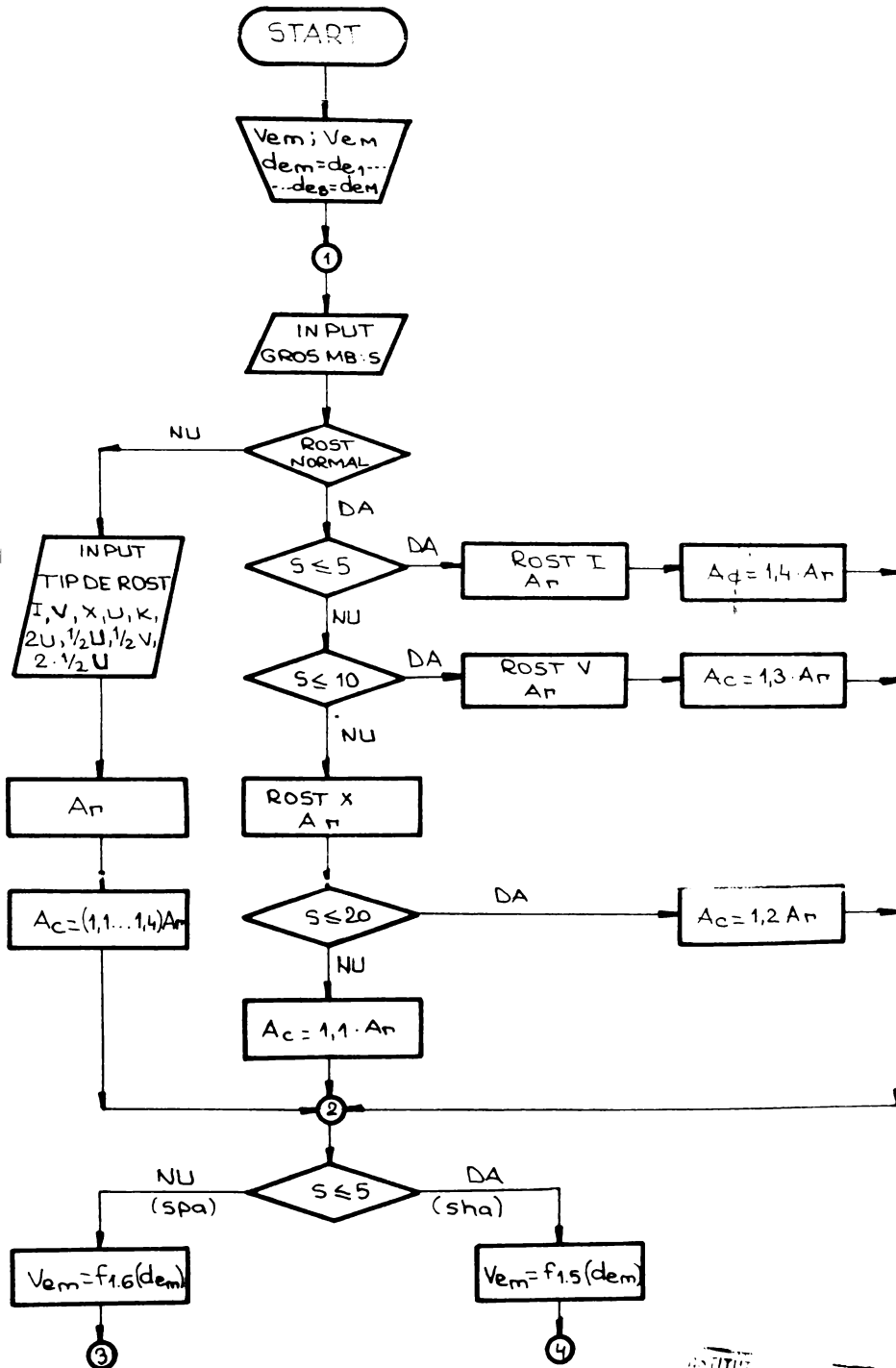


75. NICOLESCU L.J., STOKA L. - Matematici pentru ingineri, ET, București, 1969
76. MORRISH J. - Aplicarea microprocesoarelor la sudare, Metal Construction, vol. 19/1967
77. PALACHI N. - Memorator de măsuri electrice, Ed.Dacia, Cluj, 1973
78. RAJON B.S. - Tehnologia svarki metalov i splavov plavleniem, mașinostroenie, Moscova, 1975
79. POPESCU V. - Instruire programată în calculatoare numerice, ET, București, 1975
80. POPOVICI VL., ș.a. - Ghidul lucrărilor de sudare, tăiere, li-pire, Scrisul românesc Craiova, 1964
81. POPOVICI VL., IVANCIU A. - Utilajul sudării electrice, EDP, București, 1968
82. RĂNESCU A. - Totul despre calculatorul personal, EDP, București, 1985
83. PROTOPOPESCU H. - Metalografie și tratamente termice, EDP, București, 1983
84. RIKALIN N.N. - Berechnung der wärmevorgenge, Berlin, 1957
85. RIKALIN N.N. - Rasceti teplovîh protessov pri svarke, Moscova, 1951
86. RUKSISKI L.Z. - Prelucrarea matematică a datelor experimentale, ET, București, 1974
87. RUSHNER CH.F. - Method and apparatus for electric arc and analogous welding under precision control, Brevet SUA
88. SĂLĂGEAN TR. - Folosirea în tehnologia sudării a "Carbonului echivalent" al oțelurilor, SID 61 - 1969
89. SĂLĂGEAN TR. - Nomograme pentru calculul cîmpului termic la sudarea prin topire, Academia RPR, 1959
90. SĂLĂGEAN TR. - Optimizarea proceselor de sudare, Lito IPTi-mișoara, 1984
91. SĂLĂGEAN TR. - Statistica aplicată în cercetarea științifică, OID - 1973
92. SĂLĂGEAN TR. - Sudarea cu arcul electric, Ed.Pacla, Timișoara, 1977
93. SĂLĂGEAN TR. - Tehnologia procedeelor de sudare cu arc, ET, București, 1985
94. SĂLĂGEAN TR. - Tehnologia sudării metalelor, ET, București, 1986

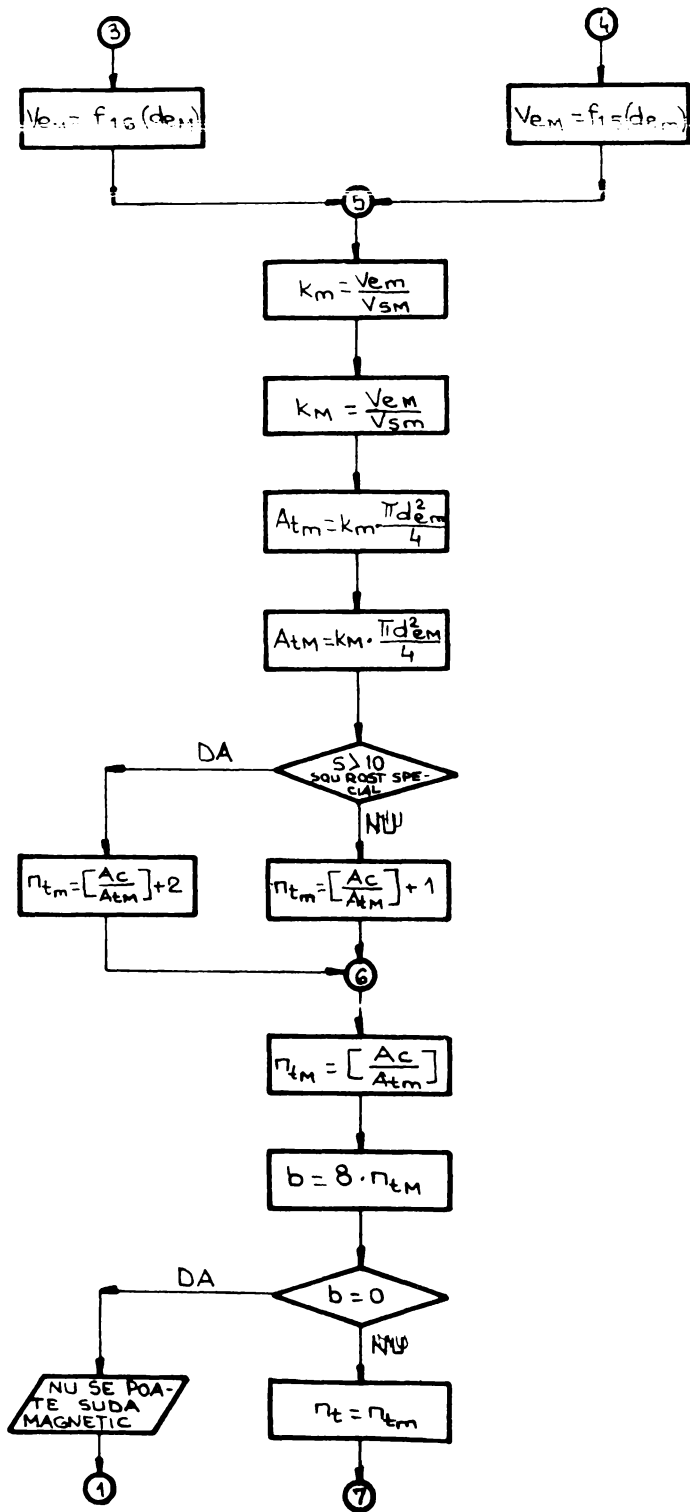
95. SABAȘEAN TR., MĂLĂI D. - Aplicații statistice în domeniul construcțiilor de mașini, OI D - 190/
96. SABAȘEAN TR., MĂLĂI D. - Optimizarea sudării cu arcul electric, ET, București, 1980
97. SCOROBETIU L. - Bazele proceselor de sudare, Lito, U-Brașov, 1957
98. ȘEFERLIAN D. - Metalurgie de la sudare, Dunod, Paris, 1960
99. ȘIMĂ V., VARGA A. - Practica optimizării asistate de calculator, ET, București, 1986
100. ȘUDNIK V.A. - Utilizarea calculatoarelor și a modelelor matematice la sudare, Avtomaticheskaja svarka, Nr.12./1988
101. SUZUAI H. - Carbon Equivalent and Maximum Hardness and Cracking in Welding Steels, Doc IIS / IIW, IX - 1306 - 84
102. SUZUAI H., SOGO Y., IWAMAGA K. - New HT 50 Steels for Marine and Offshore Constructions with Superior Weldability, Doc IIS /IIW, IX - 1314/84
103. SĂBĂC I.G.H. - Matematici speciale, EDP, București, 1981
104. TAȘCHE V., ș.a. - Construcția și exploatarea dispozitivelor, EDP, București, 1982
105. TALOI D. - Optimizarea proceselor tehnologice, Ed.Academiei, București, 1987
106. TIBA D. - Dispozitiv pentru conducerea exactă a electrodului în lungul rostului la sudarea automată cu arcul electric, Brevet Japonia
107. TIHOANOV A.N. - Théorèmes d'unicité par l'équation de la chaleur, Paris, 1980
108. TIMCENCO V.A. - Ustoistvo dlia avtomaticheskovo upravlenia sverkoj vestroikimi golovkami tehnologiæskih svovna tubah, Avtomaticheskaja svarka, Nr.7/1978
109. TODORAN I. - Tratatul matematică a datelor experimentale, Ed.Academiei, București, 1976
110. TOKARCİK M. - Despre problematica perfecționării senzorilor de poziție la sudarea cu arcul electric, Welding News, Nr. 3/1980
111. TRUSCULESCU M. - Studiul Metalelor, EDP, București, 1977
112. TRUSCULESCU M. - Tratamente termice, îndrumător de laborator, Lito IPTimișoara, 1978

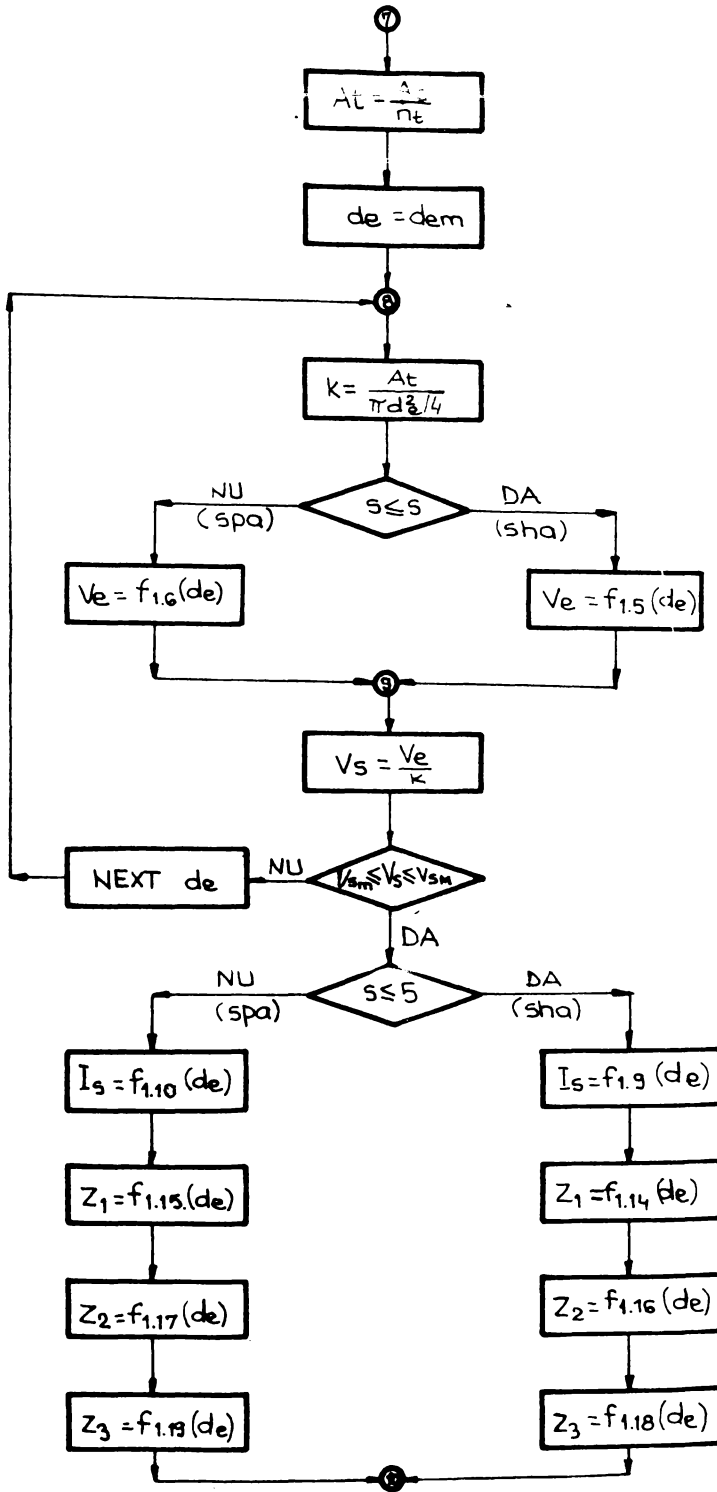
113. TVERTKO A.I. - Osnovî raionalnovo proektirovania obornovanâia dlia avtomaticheskoi i mehanizirovannoi electricheskoi svarki i naplavki, Kiev, 1968
114. UNGUREANU ST. - Sensibilitatea sistemelor dinamice, ET, Bucureşti, 1986
115. VADUVA I. - Modele de simulare cu calculatorul, ET, Bucureşti, 1977
116. VLADIMIROV V.S. - Ecuațiile fizicii matematice, Ed.șt. și Enciclopedică, București, 1960
117. WINSTON P. - Inteligența artificială, ET, București, 1982
118. WORTING A.J. - Prelucrarea datelor experimentale, ET, București, 1969
119. ZENZIN U.N. - Parametru generalizat al ciclului termic la sudare, Avtomaticheskaja svarka, Nr.10/1988
120. ZETU D. - mașini-unelte automate, EDP, București, 1976
121. x x x - Joint tracking unit, AG - GMB - ESAB
122. x x x - Influence des traitements thermiques après soudage sur les propriétés mécaniques des aciers non alliés, Aphor Paris, 1980
123. x x x - Welding handbook New-York, Aw 5 1976
124. x x x - Böhler Welding Guide - Vienna, 1986
125. x x x - Automatisches Schweissnahtfugenabtesrgerät hat sich bewährt - Ind. Anz. Nr.32/1975
126. x x x - Optimizarea proceselor de sudare în CO<sub>2</sub> - Avtomaticheskaja svarka, Nr.22/1979
127. x x x - Lightweight component system welding machines, ESAB - England
128. x x x - ESAB - Welding handbook, Göteborg Sweden, 1987
129. x x x - Weld Seam control E 4000, Messer - Griesheim
130. x x x - Sudarea metalelor - culegere de standarde comentate, OID - 1982
131. x x x - Atlas de forme și dimensiuni ale rosturilor pentru sudare, OID - 1983
132. x x x - Aspecte economice ale tehnologiei sudării, OID - 1986
133. x x x - Metode de optimizare pentru sisteme tehnologice cu aplicații în tehnica sudării, OID - 1986
134. x x x - Roboți industriali de sudare și vopsire la Regie Renault, Machine Moderne, Nr.86a/1985

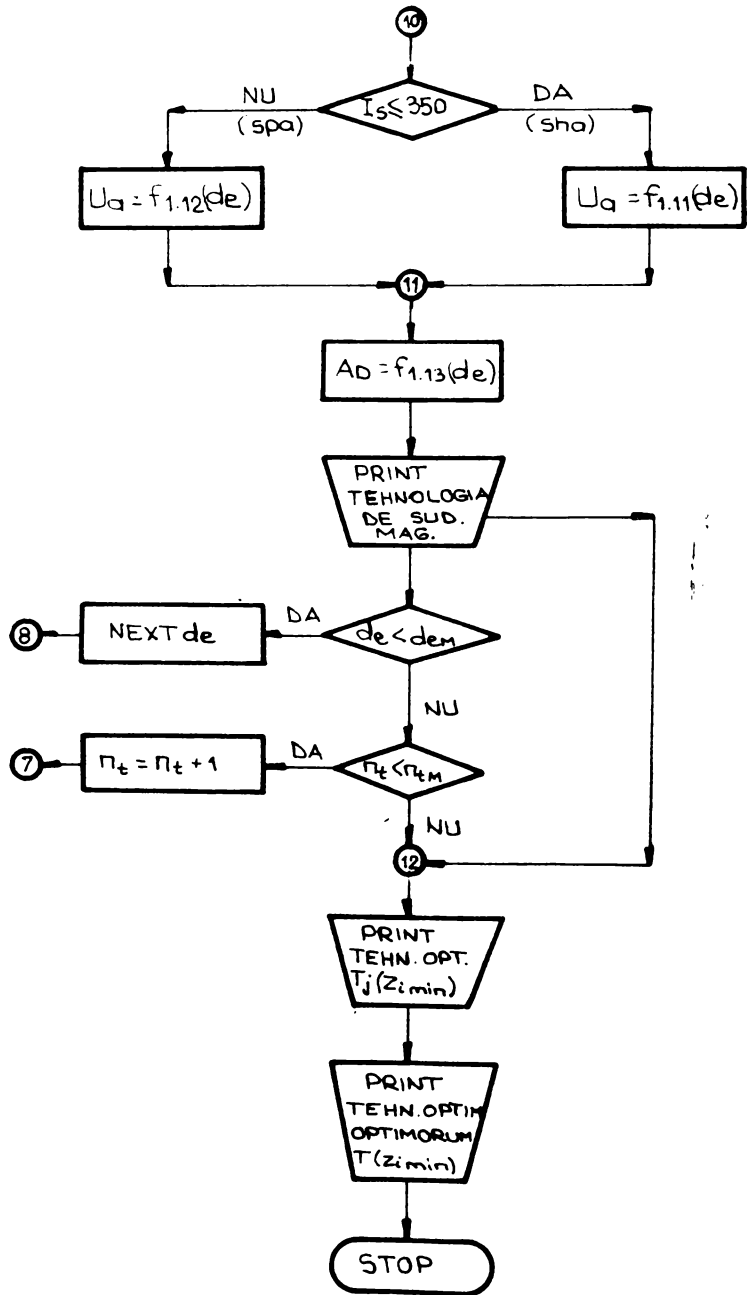
135. x x x - The Physics of Welding, Pergamon Press, 1984
136. x x x - DDR - Schweistchnik auf der Fachmesse Schweißen und Schneiden, Schweiss Technik, Nr. 5/1985
137. x x x - Sensorstenerung in der Praxis bewährt, Schweiss Technik, Nr. 3/1986
138. x x x - Banc de probă cu senzori pentru senzorii roboților de sudare, Schweiss Technik, Nr. 3/1988
139. x x x - Memoratorul inginerului electrician - Siemens, ET, București, 1972
140. x x x - Basic programming - ZX Spectrum Sinclair - Sinclair Research Limited - England, 1985
141. x x x - Sudarea oțelurilor de construcții, ET, București, 1959
142. x x x - Entwicklungsstand optischer Messsysteme , ZIS - Mitteilungen, Nr.12/1975
143. x x x - STAS 5500 - 74 B p2, Metalografie - defecte
144. x x x - STAS 6623 - 70, Încercările metalelor, încercări de duritate Vickers, cu sarcini mici



INSTITUTUL  
TEHNIC  
BUCURESTI









```

1 BORDER 4: PAPER 4: INK 0: PONE 23609.150
2 REM CALCULUL SI OPTIMIZAREA TEHNOLOGIILOR DE SUDARE PRIN PROC
CEDEUL MIG/MAG
5 REM DAN MALAI 1986
10 PRINT TAB 6;"CALCULUL SI OPTIMIZAREA";TAB 6;"TEHNOLOGIILOR
DE SUDARE";TAB 6;"PRIN PROCEDUREL MIG/MAG"; PRINT "TAB 10; REFERA
TUL NR.2"; PRINT "TAB 7;"CONDUCATOR STIINTIFIC"; PRINT "TAB 6;"A
cademician TR.SALAGEAN"; PRINT "TAB 10;"DOCTORAND"; PRINT "TAB 1
0;"Asist. Ing. D.MALAI"
15 PRINT "*****"
19 GO SUB 4500
20 REM
21 VI=VsmIn      V2=VsmAx      s =GROSIME      d =de
S =ve          D =Us          V3=VemIn      V4=VemAx
A =AB          A3=At          A1=Ac          A2=Ac
X1=Kmin        A2=Kmax        A4=Atmin      A5=Atmax
g =debit gaz   N =Nt          C =Is          U =Ua
d(1)=demIn     d(8)=demAx     N1=Ntmin      N2=Ntmax
30 REM
40 Y=Z2=timpuL efectiv de sudare      Z=Z3=consumul de energie
60 DIM X(50,8): DIM Y(50,8): DIM Z(50,8): DIM A(50,8): DIM S(5
0,8): DIM D(50,8): DIM C(50,8): DIM U(50,8): DIM A(50,8): DIM T(
50,8)
70 FOR I=1 TO 50
80 FOR J=1 TO 8
90 LET T(I,J)=1
100 NEXT J
110 NEXT I
115 PRINT ""
120 LET V1=20: PRINT "VsmIn=";V1;"cm/min": PRINT "": LET C1=200:
PRINT "VsmAx=";V2;"cm/min"
125 PRINT ""
128 DIM d(8)
130 FOR J=1 TO 8
140 READ d(J): PRINT "de=";d(J);"mm",
144 NEXT J
146 DATA 0.8,1.0,1.2,1.6,2.0,2.4,3.2,4.0
148 PRINT "
150 INPUT "CARE ESTE GROSIMEA MATERIALULUI DE BAZA?";s
151 LET C1=0: LET C2=0
152 INPUT "ESTE NECESAR ROST NORMAL (N)
SPECIAL (S)?";R$
156 IF R$="S" OR R$="s" THEN INPUT "CE TIP DE ROST ESTE NECESA
I,U,X,Y,U,R,1/2U,1/2U,2U,2
1/2U?"C$: GO TO 610
160 IF s<=5 THEN LET A2=s^2/4: LET A1=1.4*A2: LET g=10: GO TO
190
170 IF s<=10 THEN LET A2=(s-2)^2*3^(1/2)/3+s^2/10: LET A1=1.3*
A2: LET g=15: GO TO 190
180 LET A2=(s-5)^2*3^(1/2)/6+s^2/15: LET g=20: IF s<=20 THEN L
ET A1=1.2*A2: GO TO 190
185 LET A1=1.1*A2
190 IF s<=5 THEN LET V3=127.8-31.7/d(1)+135/d(1)^2: LET V4=127
.8-31.7/d(8)+135/d(8)^2: GO TO 220
200 LET V3=37*d(1)^2-402*d(1)+1177.5-368/d(1)+163.5/d(1)^2: LET
V4=37*d(8)^2-402*d(8)+1177.5-368/d(8)+163.5/d(8)^2
220 LET K1=V3/V2: LET K2=V4/V1: LET A4=K1*PI*d(1)^2/4: LET A5=K
2*PI*d(8)^2/4

```

```
155 IF s>10 OR R$="S" OR P$="s" THEN LET N1=INT (A1/A5)+2: GO
TO 270
160 LET N1=INT (A1/A5)+1
170 LET N2=INT (A1/A4)
172 PRINT '
173 LET B=2*N2: IF B=0 THEN PRINT "NU SE POATE SUCEA MIGRAREA":
GO TO 150
174 PRINT
175 INPUT "DORITI SA SE PREZINTEA TEHNOLOGIILE? (D/N)",A$
180 FOR N=N1 TO N2
190 LET A3=A1/N
300 LET I=N-N1+1
310 FOR J=1 TO B
315 LET C1=C1+1: IF C1>400 THEN PRINT "MEMORIE INSUFICIENTA"
"SE OPTIMIZEAZA ";C2;" TEHNOLOGIILE": GO TO 524
320 LET K(I,J)=(4*A3)/(PI*d(J)^2)
330 IF s<=5 THEN LET S(I,J)=INT ((127.8-31.7/d(J)+135/d(J)^2)*
100)/100: GO TO 350
340 LET S(I,J)=INT ((37*d(J)^2-402*d(J)+1177.5-368/d(J)+163.5/d
(J)^2)*100)/100
350 LET D=INT ((S(I,J)/K(I,J))*100)/100
360 IF (V1<=D) AND (D<=V2) THEN GO TO 390
370 LET T(I,J)=0: LET K(I,J)=0: LET S(I,J)=0: LET D=0: GO TO 52
0
390 IF s<=5 THEN LET c=INT (125.5*d(J)-32.25): LET X(I,J)=INT
((10.5+(d(J)^2+1.6*d(J)+36)/(0.4725*d(J)^2-0.15*d(J)+0.5))*7.85*
10^(-3)*A1*100)/100: LET Y(I,J)=INT (1.274/(1.278*d(J)^2-0.317*d
(J)+1.35)*A1*100)/100: LET Z(I,J)=INT ((1.274*(795.5*d(J)^2+1262
*d(J)-380.2))/(60*(1.278*d(J)^2-0.317*d(J)+1.35))*A1*100)/100: G
O TO 407
400 LET c=INT (-67*d(J)^2+370*d(J)-78): LET X(I,J)=INT ((10.5+(
0.2834*d(J)^4-3.13*d(J)^3+8.186*d(J)^2+2.5256*d(J)+65.5)/(0.1346
7*d(J)^4-1.4874*d(J)^3+4.35356*d(J)^2-1.3615*d(J)+0.604))*7.85*1
0^(-3)*A1*100)/100: LET Y(I,J)=INT (1.274/(0.37*d(J)^4-4.02*d(J)
^3+11.775*d(J)^2-3.68*d(J)+1.635)*A1*100)/100: LET Z(I,J)=INT ((
1.274*(226.7*d(J)^4+2504*d(J)^3+6548.7*d(J)^2+2020.5*d(J)-733.3)
)/(60*(0.37*d(J)^4-4.02*d(J)^3+11.775*d(J)^2-3.68*d(J)+1.635))*A
1*100)/100
407 LET e=INT (c/10)*10: LET f=c-e: IF f<=2 THEN LET C(I,J)=e:
GO TO 410
408 IF f<=7 THEN LET C(I,J)=e+5: GO TO 410
409 LET C(I,J)=e+10
410 IF C(I,J)<=350 THEN LET U(I,J)=INT (6.508*10^(-2)*C(I,J)+1
2)+1: GO TO 430
420 LET U(I,J)=INT (0.050508*C(I,J)+13.34)-1
430 LET A(I,J)=INT ((0.3*10^(-4)*C(I,J)^2+0.1*10^(-2)*C(I,J)+0.
5)*100)/100
435 LET C2=C2+1
440 IF d(J)*T(I,J)=0 THEN GO TO 520
445 IF A$="D" OR A$="d" THEN GO SUB 450
446 GO TO 520
450 PRINT "TEHNOLOGIA NR.";B*(I-1)+J
460 PRINT "Is=";C(I,J); " A", "Ua=";U(I,J); " V", "Va=";D;" cm/min"
, "de=";d(J); " mm", "Ve=";S(I,J); " cm/min", "Nt=";N, "e=";s;" mm", "Nt
min=";N1, "AD=";A(I,J); " Kg/h", "Ntmax=";N2, "DG=";s;" l/min", "n=";
b;" tehn.", "Z1=";X(I,J); " le;/m", "Z2=";Y(I,J); " min/m"
462 IF Z(I,J)>1000 THEN LET Z4=INT (Z(I,J)/10)/100: PRINT "Z3=
";Z4;" kWh/m": GO TO 465
464 PRINT "Z3=";Z(I,J); " Wh/m"
```

```
470 PRINT "ROSTUL ESTE DE FORMA:"
480 PRINT "*****"
502 IF R#="S" OR R#="s" THEN GO TO 1010
505 IF #K=5 THEN GO TO 1320
506 IF #K=10 THEN GO TO 1350
507 GO TO 1380
510 PRINT "*****"
518 RETURN
520 NEXT J
521 IF N#N2 THEN GO TO 545
522 NEXT N
530 PRINT "*****"
545 GO SUB 4500
550 PRINT "****"
560 GO SUB 5000
561 IF A#="N" OR A#="n" THEN GO TO 3000
562 PRINT "ACESTEA AD FOST TEHNOLOGIILE" "POSSIBILE IN CONDITI
ILE DATE!"
565 PRINT "****"
567 IF A#="D" OR A#="d" THEN GO TO 570
568 GO SUB 5000
570 GO TO 3000
610 IF C#="I" OR C#="i" THEN LET A1=1.4*(s^2/4): LET g=10: GO
TO 190
620 IF C#="V" OR C#="v" THEN LET A1=1.3*((s-2)^2*3^(1/2))/3+s^2
/10): LET g=15: GO TO 190
630 IF C#="1/2V" OR C#="1/2v" THEN LET A1=1.3*((s-2)^2*3^(1/2)
/6+s^2/10): LET g=15: GO TO 190
640 IF C#="X" OR C#="x" THEN LET A1=1.2*((s-5)^2*3^(1/2))/6+s^2
/15): LET g=20: GO TO 190
650 IF C#="Y" OR C#="y" THEN LET A1=1.2*(s^2*3^(1/2))/12+s^2/15
): LET g=15: GO TO 190
660 IF C#="U" OR C#="u" THEN LET A1=1.1*(s^2*7/25+s^2*PI/50+s^
2/20): LET g=20: GO TO 190
670 IF C#="K" OR C#="k" THEN LET A1=1.1*(s^2*121/576+s^2/10):
LET g=20: GO TO 190
680 IF C#="2U" OR C#="2u" THEN LET A1=1.1*(s^2*7/50+s^2*PI/100
+s^2/40): LET g=20: GO TO 190
690 IF C#="1/2U" OR C#="1/2u" THEN LET A1=1.1*(s^2*7/50+s^2*PI
/100+s^2/20): LET g=20: GO TO 190
700 IF C#="2*1/2U" OR C#="2*1/2u" THEN LET A1=1.1*(s^2*7/100+s
2*PI/200+s^2/40): LET g=20: GO TO 190
1010 IF C#="I" OR C#="i" THEN GO TO 1320
1020 IF C#="V" OR C#="v" THEN GO TO 1350
1030 IF C#="X" OR C#="x" THEN GO TO 1380
1040 IF C#="1/2V" OR C#="1/2v" THEN GO TO 1110
1050 IF C#="Y" OR C#="y" THEN GO TO 1140
1060 IF C#="U" OR C#="u" THEN GO TO 1170
1070 IF C#="K" OR C#="k" THEN GO TO 1200
1080 IF C#="2U" OR C#="2u" THEN GO TO 1230
1090 IF C#="1/2U" OR C#="1/2u" THEN GO TO 1260
1100 IF C#="2*1/2U" OR C#="2*1/2u" THEN GO TO 1290
1110 PRINT AT 13,10,"ROST 1/2V"
1120 PLOT 75,40: DRAW 58,0: DRAW 0,20: DRAW -58,0: DRAW 5,-5: DR
AW -10,-10: DRAW 5,-5: PLOT 195,40: DRAW -58,0: DRAW 0,4: DRAW 1
2,16: DRAW 46,0: DRAW 5,-5: DRAW -10,-10: DRAW 5,-5
1130 GO TO 510
1140 PRINT AT 13,10,"ROST Y"
1150 PLOT 75,40: DRAW 58,0: DRAW 0,10: DRAW -8,10:
```

```

DRAW -50,0: D
RAW 5,-5: DRAW -10,-10: DRAW 5,-5: PLOT 195,40: DRAW -58,0: DRAW
0,10: DRAW 8,10: DRAW 50,0: DRAW 5,-5: DRAW -10,-10: DRAW 5,-5
1160 GO TO 510
1170 PRINT AT 13,10: "ROST U"
1180 PLOT 75,40: DRAW 58,0: DRAW 0,4: DRAW -4,4,-PI/2: DRAW 0,12
: DRAW -54,0: DRAW 5,-5: DRAW -10,-10: DRAW 5,-5: PLOT 195,40: D
RAW -58,0: DRAW 0,4: DRAW 4,4,PI/2: DRAW 0,12: DRAW 54,0: DRAW 5
,-5: DRAW -10,-10: DRAW 5,-5
1190 GO TO 510
1200 PRINT AT 13,10: "ROST K"
1210 PLOT 75,40: DRAW 58,0: DRAW 0,20: DRAW -58,0: DRAW 5,-5: DR
AW -10,-10: DRAW 5,-5: PLOT 195,40: DRAW -50,0: DRAW -8,8: DRAW
0,4: DRAW 8,8: DRAW 50,0: DRAW 5,-5: DRAW -10,-10: DRAW 5,-5
1220 GO TO 510
1230 PRINT AT 13,10: "ROST 2U"
1240 PLOT 75,40: DRAW 54,0: DRAW 0,4: DRAW 4,4,-PI/2: DRAW 0,4:
DRAW -4,4,-PI/2: DRAW 0,4: DRAW -54,0: DRAW 5,-5: DRAW -10,-10:
DRAW 5,-5: PLOT 195,40: DRAW -54,0: DRAW 0,4: DRAW -4,4,PI/2: DR
AW 0,4: DRAW 4,4,PI/2: DRAW 0,4: DRAW 54,0: DRAW 5,-5: DRAW -10,
-10: DRAW 5,-5
1250 GO TO 510
1260 PRINT AT 13,10: "ROST 1/2U"
1270 PLOT 75,40: DRAW 58,0: DRAW 0,20: DRAW -58,0: DRAW 5,-5: DR
AW -10,-10: DRAW 5,-5: PLOT 195,40: DRAW -58,0: DRAW 0,4: DRAW 4
,4,PI/2: DRAW 0,12: DRAW 54,0: DRAW 5,-5: DRAW -10,-10: DRAW 5,-
5
1280 GO TO 510
1290 PRINT AT 13,10: "ROST 2*1/2U"
1300 PLOT 75,40: DRAW 58,0: DRAW 0,20: DRAW -58,0: DRAW 5,-5: DR
AW -10,-10: DRAW 5,-5: PLOT 195,40: DRAW -54,0: DRAW 0,4: DRAW -
4,4,PI/2: DRAW 0,4: DRAW 4,4,PI/2: DRAW 0,4: DRAW 54,0: DRAW 5,-
5: DRAW -10,-10: DRAW 5,-5
1310 GO TO 510
1320 PRINT AT 13,10: "ROST I"
1330 PLOT 75,40: DRAW 58,0: DRAW 0,20: DRAW -58,0: DRAW 5,-5: DR
AW -10,-10: DRAW 5,-5: PLOT 195,40: DRAW -58,0: DRAW 0,20: DRAW
58,0: DRAW 5,-5: DRAW -10,-10: DRAW 5,-5
1340 GO TO 510
1350 PRINT AT 13,10: "ROST U"
1360 PLOT 75,40: DRAW 58,0: DRAW 0,4: DRAW -13,16: DRAW -45,0: D
RAW 5,-5: DRAW -10,-10: DRAW 5,-5: PLOT 195,40: DRAW -58,0: DRAW
0,4: DRAW 13,16: DRAW 45,0: DRAW 5,-5: DRAW -10,-10: DRAW 5,-5
1370 GO TO 510
1380 PRINT AT 13,10: "ROST X"
1390 PLOT 75,40: DRAW 50,0: DRAW 8,8: DRAW 0,4: DRAW -8,8: DRAW
-50,0: DRAW 5,-5: DRAW -10,-10: DRAW 5,-5: PLOT 195,40: DRAW -50
,0: DRAW -8,8: DRAW 0,4: DRAW 8,8: DRAW 50,0: DRAW 5,-5: DRAW -1
0,-10: DRAW 5,-5
1400 GO TO 510
3000 PRINT "TEHNOLOGIILE OPTIME SINT:"
3010 LET m1=10^38: LET m2=0
3020 DIM Q(40,2): DIM R(40,2)
3040 LET Q(1,1)=1: LET Q(1,2)=1: LET R(1,1)=1: LET R(1,2)=1: LET
k1=1: LET k2=1
3050 FOR I=1 TO 40
3060 FOR J=1 TO 8
3070 LET n=X(I,J)
3080 IF n(m1 AND n(>0 THEN LET m1=n: LET k1=1: LET Q(k1,1)=I, L
```

```
ET Q(K1,2)=J: LET K1=K1+1: GO TO 3160
3090 IF n=m1 THEN LET Q(K1,1)=I: LET Q(K1,2)=J: LET K1=K1+1
3160 IF n>m2 THEN LET m2=n: LET K2=1: LET R(K2,1)=I: LET R(K2,2
)=J: LET K2=K2+1: GO TO 3240
3170 IF n=m2 THEN LET R(K2,1)=I: LET R(K2,2)=J: LET K2=K2+1
3240 NEXT J
3250 NEXT I
3255 PRINT '
3260 FOR I=1 TO K1-1
3280 PRINT "Tehn.nr." ; 8*(Q(I,1)-1)+Q(I,2) ; " : Z1min=" ; m1 ; " let/m"

3290 NEXT I
3410 LET p1=10^38: LET p2=0
3420 DIM E(40,2): DIM F(40,2)
3440 LET E(1,1)=1: LET E(1,2)=1: LET F(1,1)=1: LET F(1,2)=1: LET
p1=1: LET p2=1
3450 FOR I=1 TO 40
3460 FOR J=1 TO 6
3470 LET q=Y(I,J)
3480 IF q<p1 AND q<>0 THEN LET p1=q: LET p1=1: LET E(p1,1)=I: L
ET E(p1,2)=J: LET p1=p1+1: GO TO 3560
3490 IF q=p1 THEN LET E(p1,1)=I: LET E(p1,2)=J: LET p1=p1+1
3560 IF q>p2 THEN LET p2=q: LET p2=1: LET F(p2,1)=I: LET F(p2,2
)=J: LET p2=p2+1: GO TO 3640
3570 IF q=p2 THEN LET F(p2,1)=I: LET F(p2,2)=J: LET p2=p2+1
3640 NEXT J
3650 NEXT I
3655 PRINT '
3660 FOR I=1 TO p1-1
3680 PRINT "Tehn.nr." ; 8*(E(I,1)-1)+E(I,2) ; " : Z2min=" ; p1 ; " min/m"

3690 NEXT I
3810 LET l1=10^38: LET l2=0
3820 DIM G(40,2): DIM H(40,2)
3840 LET G(1,1)=1: LET G(1,2)=1: LET H(1,1)=1: LET H(1,2)=1: LET
u1=1: LET u2=1
3850 FOR I=1 TO 40
3860 FOR J=1 TO 8
3870 LET t=Z(I,J)
3880 IF t<l1 AND t<>0 THEN LET l1=t: LET u1=1: LET G(u1,1)=I: L
ET G(u1,2)=J: LET u1=u1+1: GO TO 3960
3890 IF t=l1 THEN LET G(u1,1)=I: LET G(u1,2)=J: LET u1=u1+1
3960 IF t>l2 THEN LET l2=t: LET u2=1: LET H(u2,1)=I: LET H(u2,2
)=J: LET u2=u2+1: GO TO 4040
3970 IF t=l2 THEN LET H(u2,1)=I: LET H(u2,2)=J: LET u2=u2+1
4040 NEXT J
4050 NEXT I
4055 PRINT '
4060 FOR I=1 TO u1-1
4080 PRINT "Tehn.nr." ; 8*(G(I,1)-1)+G(I,2) ; " : Z3min=" ; l1 ; " Wh/m"
4090 NEXT I
4100 GO SUB 5000
4110 GO TO 5100
4500 REM $imbel sudare MIG/MAG
4510 PLOT 70,0: DRAW 70,0: DRAW 0,3: DRAW -70,0: DRAW 0,-3
4550 CIRCLE 91,11,1: CIRCLE 129,11,1: CIRCLE 87,23,1: CIRCLE 124
,24,1: CIRCLE 99,29,1: CIRCLE 111,29,1
4600 PLOT 111,29: DRAW 4,8: PLOT 119,35: DRAW -8,4: DRAW 0,5: DR
```

```

AW 11,-6: DRAW -3,-3: PLOT 111,44: DRAW 3,6: DRAW 12,-6: DRAW -3
-6: PLOT 117,48: DRAW 19,8,-PI/2: PLOT 122,48: DRAW 14.6,-PI/2:
PLOT 13,8: DRAW 8,8: PLOT 105,8: DRAW 0,1: PLOT 100,8: DRAW 1
0,0,-PI: PLOT 95,8: DRAW -10,3: DRAW 12,3: DRAW -7,7: DRAW 7,-2:
DRAW -5,10: DRAW 10,-10: DRAW 3,10: DRAW 3,-10: DRAW 10,10: DRA
W -5,-10: DRAW 7,2: DRAW -5,-8: DRAW 10,-2: DRAW -10,-3
4860 RETURN
5000 PRINT
5001 INPUT "DORITI SA REVEDETI O ANUMITA" "TEHNOLOGIE? (D/N)",B$

5002 IF B$="N" OR B$="n" THEN GO TO 5070
5021 PRINT "*****SINT APLICABILE "IC2;" TEHNOLOGII",
"PINA LA TEHNOLOGIA NR."ID1-1: INPUT "CARE TEHNOLOGIE" "DORITI S
A O REVEDETI?".T
5022 IF T=0 THEN PRINT "Tehnologia nr."IT;" nu exista": GO TO
5020
5025 IF T=0 THEN GO TO 5070
5030 LET V=INT (T/8)+1: LET W=T-8*INT (T/8)
5040 IF W=0 THEN LET I=V-1: LET J=8: GO TO 5052
5050 LET I=: LET J=W
5052 IF X(I,J)=0 THEN PRINT "Tehnologia nr."IT;" nu este aplica
bila": GO TO 5020
5055 LET N=I+N1-1
5056 LET D=INT ((S(I,J)/X(I,J))*100)/100
5060 GO SUB 450
5065 GO TO 5003
5070 RETURN
5100 REM Metoda ELECTRE (Optim-optimum)
5110 DIM V(40,2)
5120 LET a1=0: LET a=1: LET V(1,1)=1: LET V(1,2)=1
5121 PRINT
5122 PRINT "CARE ESTE IMPORTANTA CRITERIILOR (k1+k2+k3=
1)
-costul (Z1):k1=": INPUT I1: PRINT AT 21,17;I1
5126 PRINT "-durata (Z2):k2=": INPUT I2: PRINT AT 21,17;I2
5127 PRINT "-energia (Z3):k3=": INPUT I3: PRINT AT 21,17;I3
5128 PRINT
5129 LET h=I1+I2+I3: IF h(>)1 THEN PRINT "k1+k2+k3(>)1": GO TO 51
21
5130 FOR I=1 TO 40
5140 FOR J=1 TO 8
5150 IF X(I,J)=0 THEN GO TO 5190
5155 IF m1=m2 THEN LET x=1: LET y=1: LET z=1: LET o=x+y+z: GO T
O 5170
5160 LET x=I1*(m2-X(I,J))/(m2-m1): LET y=I2*(p2-Y(I,J))/(p2-p1):
LET z=I3*(l2-Z(I,J))/(l2-l1): LET o=x+y+z
5170 IF o>01 THEN LET a1=0: LET a=1: LET V(a,1)=I: LET V(a,2)=J
: LET a=a+1: GO TO 5190
5180 IF o=01 THEN LET V(a,1)=I: LET V(a,2)=J: LET a=a+1
5190 NEXT J
5200 NEXT I
5202 PRINT ""
5210 FOR I=1 TO a-1
5215 LET I1=V(I,1): LET J1=V(I,2)
5219 PRINT ""Metoda 'ELECTRE' -multicriterial"
5230 PRINT ""Tehn.nr."I8*(V(I,1)-I)+V(I,2);" este OPTIM-OPTIM
ORUM"
5250 PRINT ""Z1opt="X(I1,J1);" lei/m"
5260 PRINT ""Z2opt="Y(I1,J1);" min/m"
5270 IF Z(I1,J1)>1000 THEN LET Z5=INT (Z(I1,J1)/10)/100: PRINT

```

```
"Z3opt=":25; KWB/M: GO TO 5272
5271 PRINT "Z3opt=":Z311.01:" KWB/M
5275 PRINT "****"
5280 NEXT I
5285 PRINT
5290 GO SUB 5300
5301 INPUT "DORITI ALTI COEFICIENTI DE IMPORTANTA A CRIT
ERII LOR? (D/N)":D6
5302 IF D6="D" OR D6="d" THEN GO TO 5121
5310 PRINT "*****AT 17,15,mas.ing. DAN MALAI"
5320 PLOT 181,20: DRAW -4,-10
5330 PLOT 177,10: PLOT 178,11: PLOT 179,11: PLOT 180,11: PLOT 18
1,10: PLOT 182,10: PLOT 183,9: PLOT 184,9: PLOT 185,8: PLOT 186,
7: PLOT 187,7: PLOT 187,8: PLOT 188,7: PLOT 185,10: PLOT 184,11:
PLOT 183,12: PLOT 182,12: PLOT 181,12: PLOT 180,13: PLOT 179,14
: PLOT 178,15: PLOT 177,15: PLOT 176,15: PLOT 175,16: PLOT 174,1
6: PLOT 173,16: PLOT 172,16: PLOT 171,17: PLOT 172,17: PLOT 173,
17: PLOT 174,17: PLOT 175,17: PLOT 176,17: PLOT 177,17
5340 PLOT 178,17: PLOT 179,18: PLOT 180,18: PLOT 181,19: PLOT 18
2,20: PLOT 183,20: PLOT 184,21: PLOT 185,21: PLOT 186,22: PLOT 1
86,23: PLOT 186,24: PLOT 186,25: PLOT 186,26: PLOT 186,27: PLOT
185,28: PLOT 184,27
5350 PLOT 184,27: DRAW 2,-15
5360 PLOT 186,12: DRAW 2,14
5370 PLOT 188,26: DRAW 0,-17
5380 PLOT 189,9: PLOT 189,8: PLOT 190,9: PLOT 191,10: PLOT 191,1
1: PLOT 192,11: PLOT 193,12: PLOT 194,12: PLOT 195,12: PLOT 196,
11: PLOT 197,11: PLOT 198,10: PLOT 199,10: PLOT 199,11: PLOT 198
,12: PLOT 197,13: PLOT 196,14: PLOT 195,14: PLOT 194,14: PLOT 19
3,13
5390 PLOT 193,12: PLOT 193,11: PLOT 193,10: PLOT 194,9: PLOT 195
,8: PLOT 196,8: PLOT 197,9: PLOT 198,10: PLOT 199,9: PLOT 200,8:
PLOT 201,8: PLOT 202,8: PLOT 203,9: PLOT 204,10: PLOT 205,11: P
LOT 206,12: PLOT 206,13: PLOT 207,14: PLOT 207,15: PLOT 208,16:
PLOT 208,17: PLOT 207,18: PLOT 207,19: PLOT 206,20 : PLOT 206,21
: PLOT 205,22
5400 PLOT 205,22: DRAW 0,-14
5410 PLOT 205,8: PLOT 206,8: PLOT 207,8: PLOT 208,8: PLOT 209,9:
PLOT 210,9: PLOT 211,10: PLOT 212,10: PLOT 213,11: PLOT 214,10:
PLOT 215,10: PLOT 216,9: PLOT 217,9: PLOT 218,8: PLOT 219,8: PL
OT 220,7
5420 PLOT 220,7: DRAW 10,3
5430 PLOT 213,15: PLOT 225,5
5440 PLOT 170,3: DRAW 60,0
5450 PLOT 230,2: DRAW -60,0
5460 STOP
```





Microstructuri, simulate pe probe din oțel  
cu granulație fină (OCS - 55b - 3k), pe  
simulatorul de cicluri termice SMITWELD  
LS 14o2

Condiții  
de  
simulare

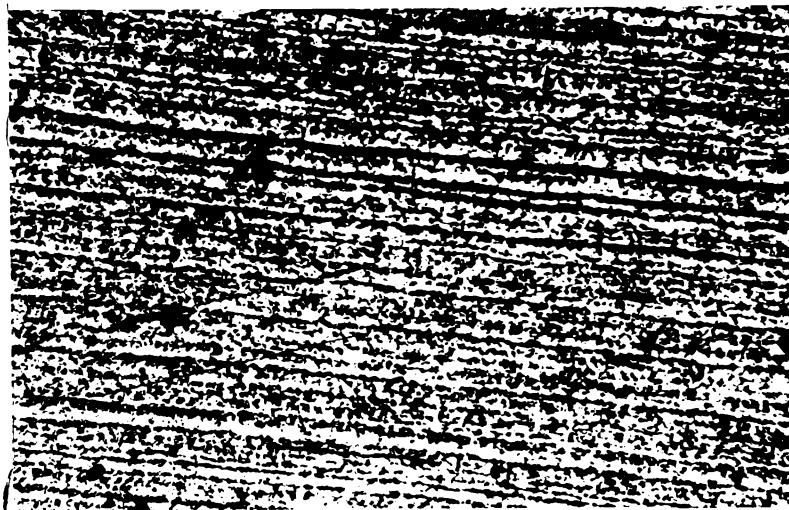


Foto 1

MB

$E_L = 0 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 20^\circ\text{C}$

$N = 126\lambda$



Foto 2

MB

$E_L = 0 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 20^\circ\text{C}$

$N = 500\lambda$

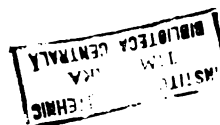


Foto 3

Pb. 1

$E_L = 5 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$

$M = 126X$

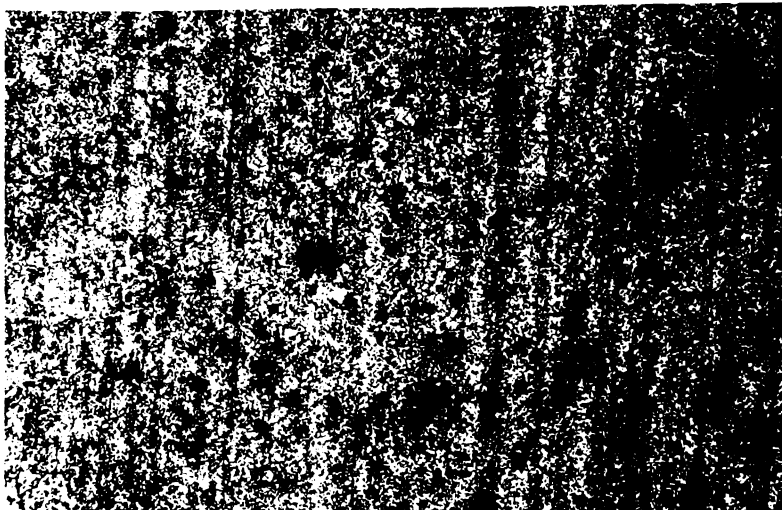


Foto 4

Pb. 2

$E_L = 5 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1200^\circ\text{C}$

$M = 126X$

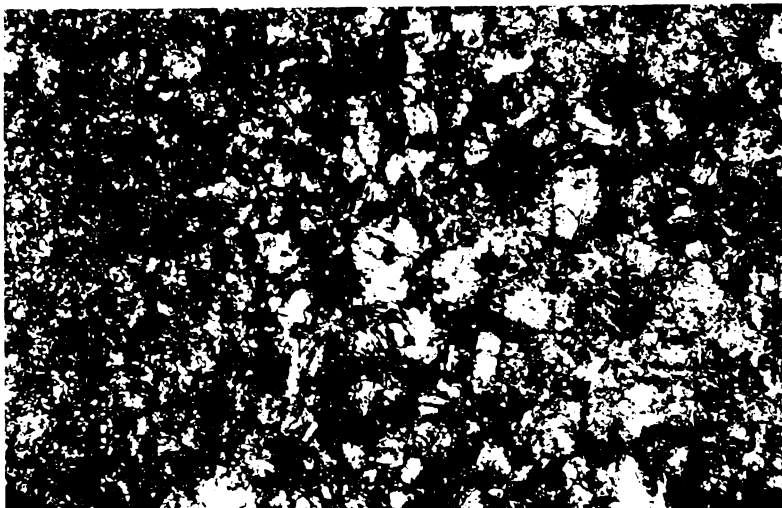


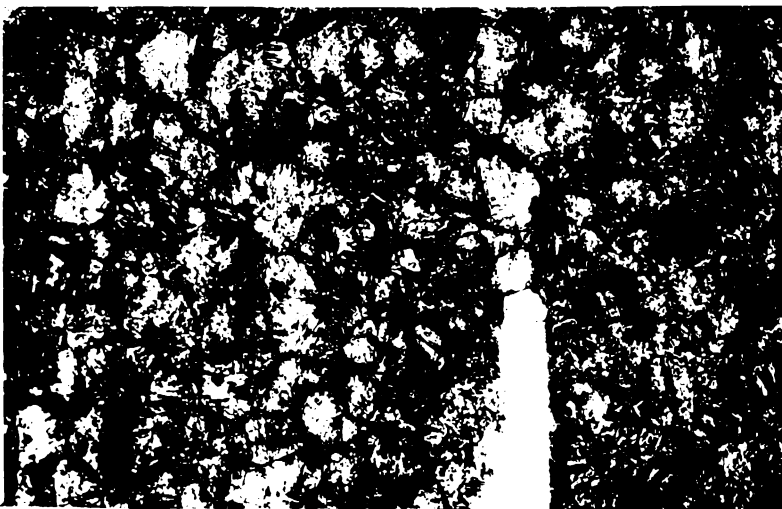
Foto 5

Pb. 3

$E_L = 5 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1350^\circ\text{C}$

$M = 126X$



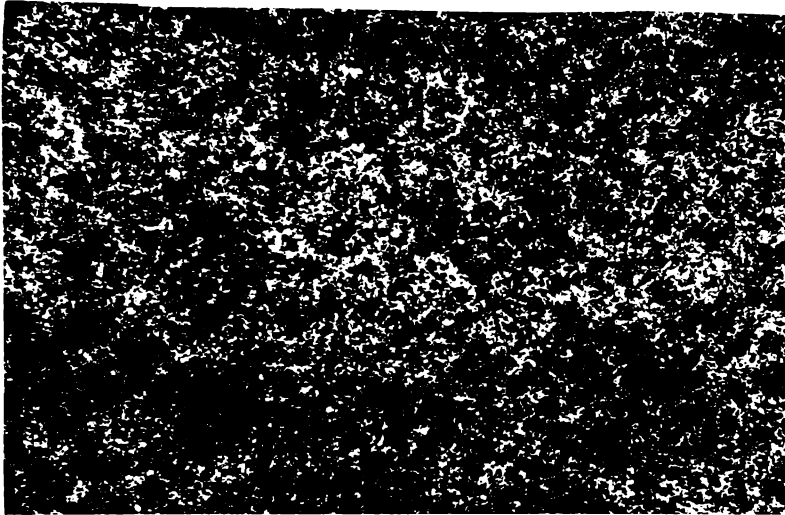


Foto 6

Pb. 1

$E_L = 5 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$

$M = 500X$

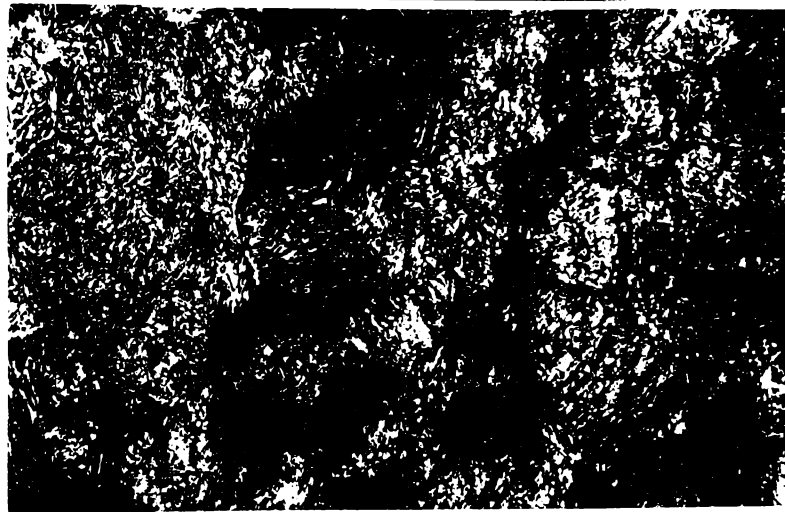


Foto 7

Pb. 2

$E_L = 5 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1200^\circ\text{C}$

$M = 500X$



Foto 8

Pb. 3

$E_L = 5 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1350^\circ\text{C}$

$M = 500X$

Foto 9

Pb. 4

$E_L = 10 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$

$n = 126X$

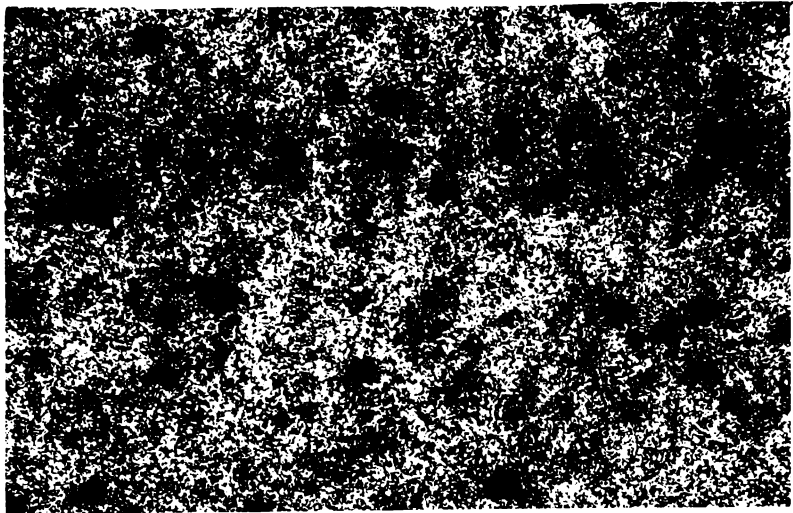


Foto 10

Pb. 5

$E_L = 10 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1200^\circ\text{C}$

$n = 126X$



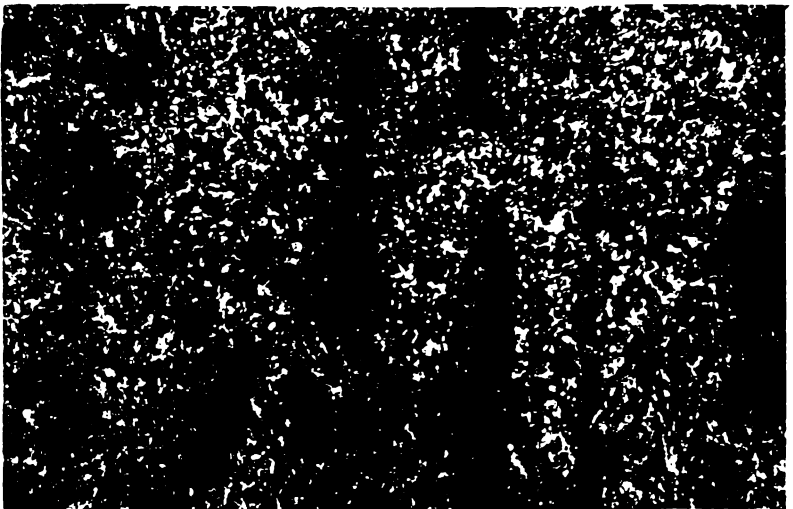
Foto 11

Pb. 6

$E_L = 10 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1350^\circ\text{C}$

$n = 126X$



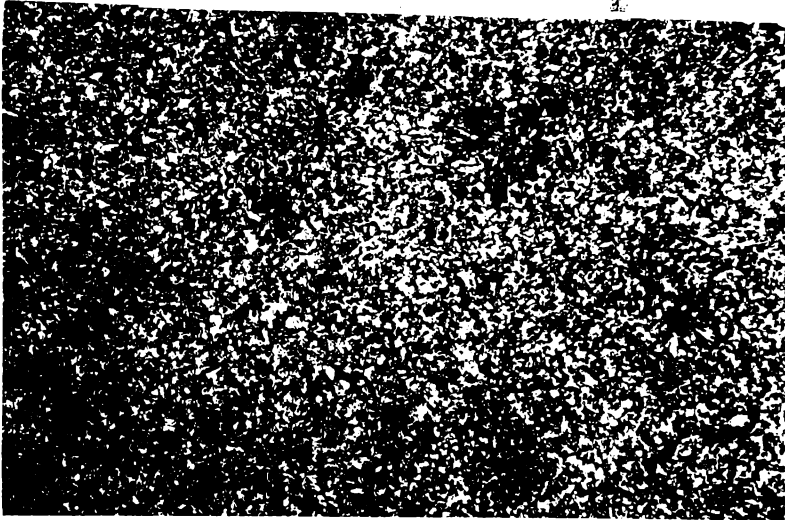


Foto 12

Pb. 4

$E_L = 10 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$

$M = 500X$

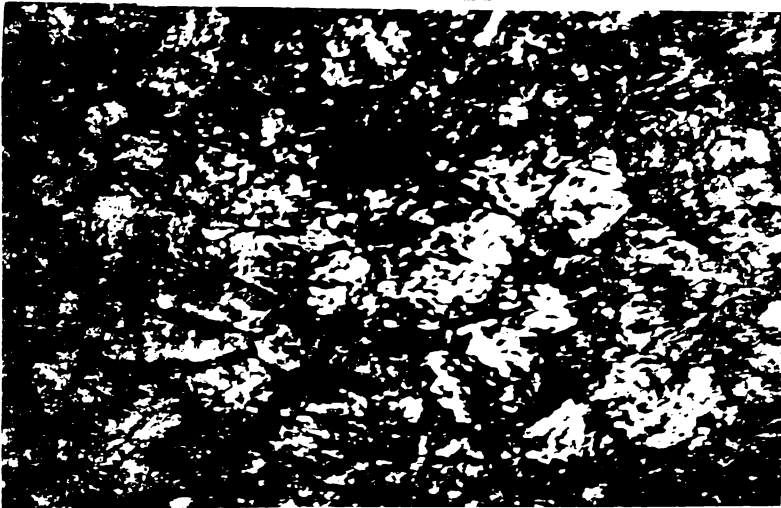


Foto 13

Pb. 5

$E_L = 10 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1200^\circ\text{C}$

$M = 500X$

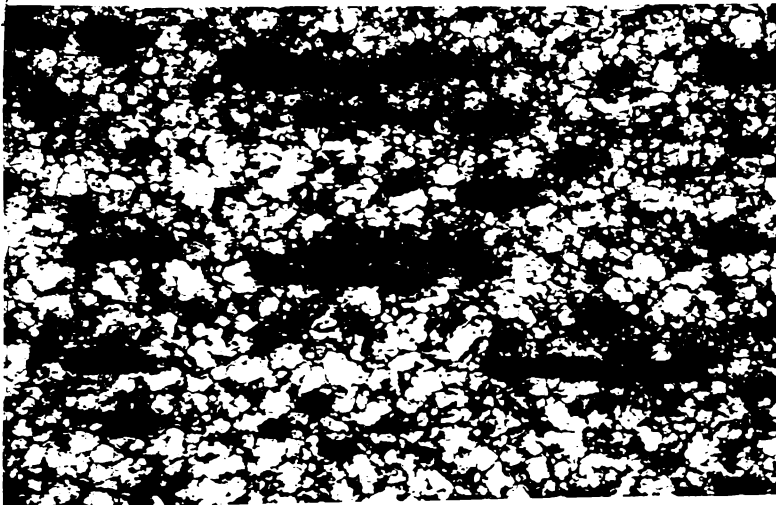


Foto 14

Pb. 6

$E_L = 10 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1350^\circ\text{C}$

$M = 500X$

Foto 15

Pb. 7

$E_L = 15 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$

$M = 126X$

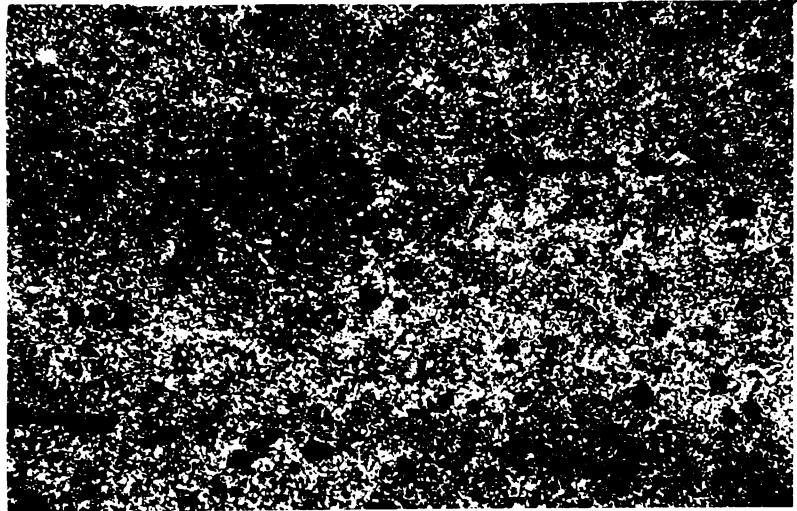


Foto 16

Pb. 8

$E_L = 15 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1200^\circ\text{C}$

$M = 126X$

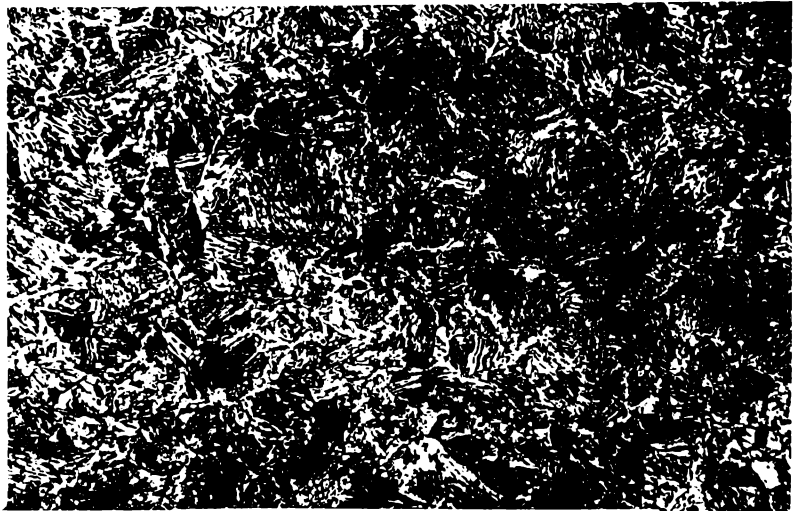


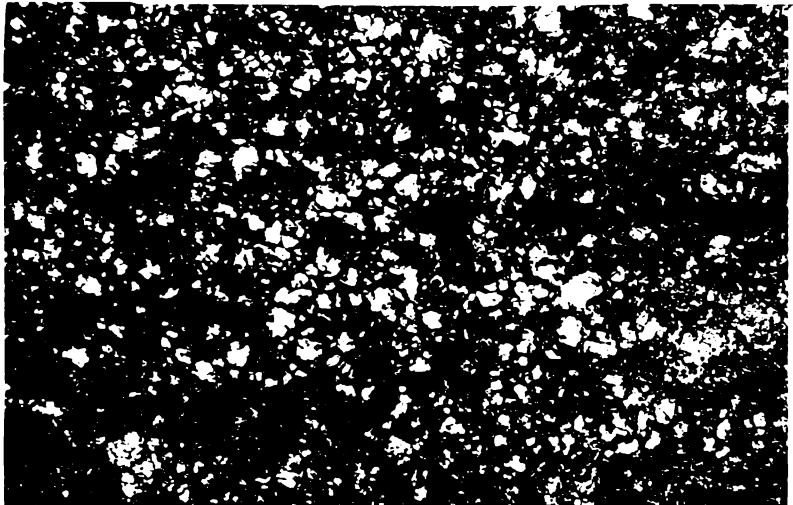
Foto 17

Pb. 9

$E_L = 15 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1350^\circ\text{C}$

$M = 126X$



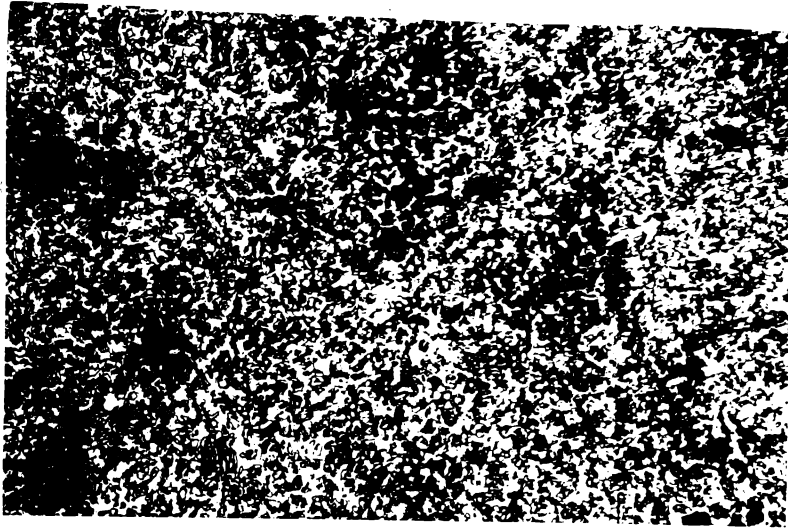


Foto 18

Pb. 7

$E_L = 15 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$

$M = 500X$



Foto 19

Pb. 8

$E_L = 15 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1200^\circ\text{C}$

$M = 500X$

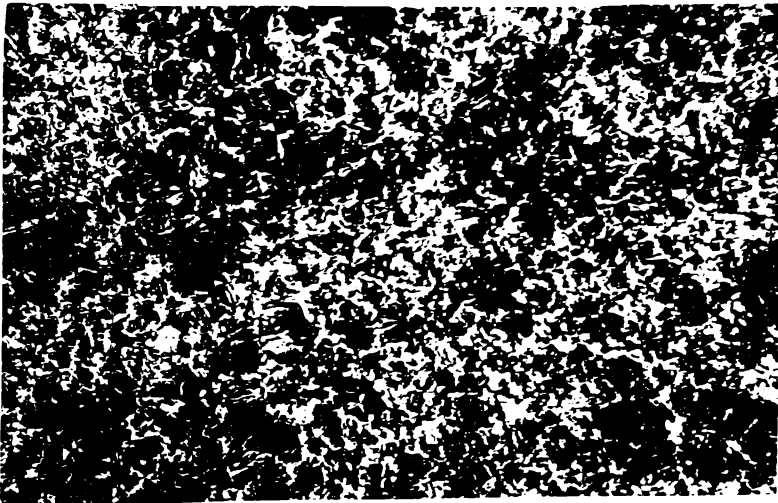


Foto 20

Pb. 9

$E_L = 15 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1350^\circ\text{C}$

$M = 500X$

Foto 21

Pb. 10

$E_L = 20 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$

$M = 126X$

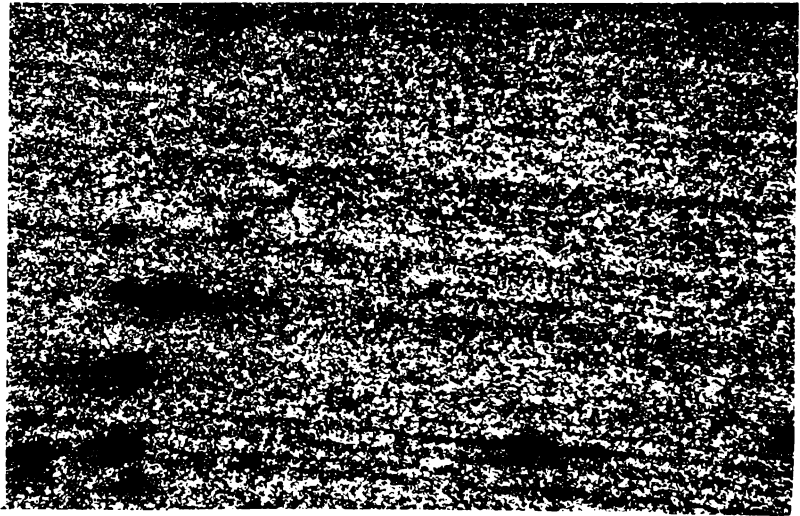


Foto 22

Pb. 11

$E_L = 20 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1200^\circ\text{C}$

$M = 126X$

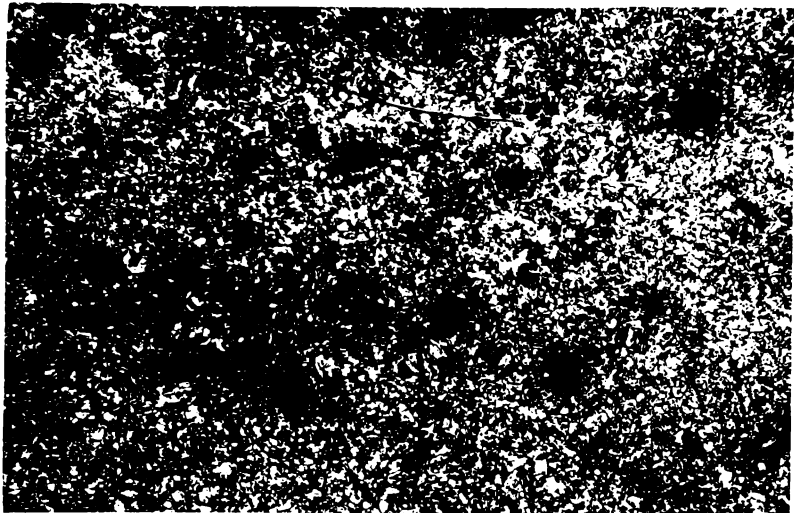


Foto 23

Pb. 12

$E_L = 20 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1350^\circ\text{C}$

$M = 126X$





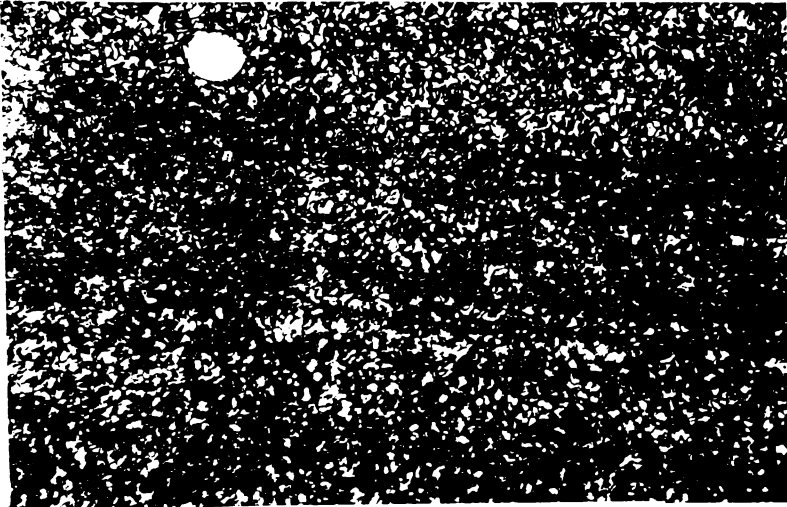


Foto 24

Pb. 10

$E_L = 20 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$

$M = 500X$

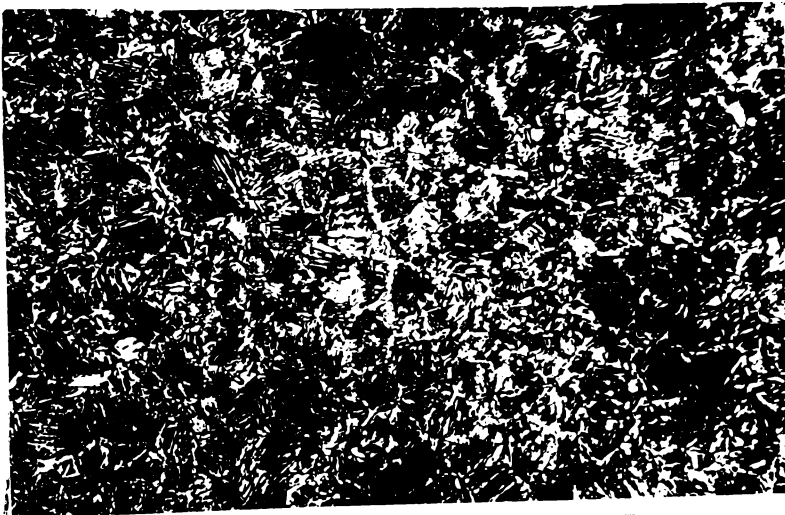


Foto 25

Pb. 11

$E_L = 20 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1200^\circ\text{C}$

$M = 500X$



Foto 26

Pb. 12

$E_L = 20 \text{ KJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1350^\circ\text{C}$

$M = 500X$

Foto 27

Pb. 13

$E_L = 25 \text{ KJ/cm}$

$T_{\max} = 900^\circ\text{C}$

$M = 126X$



Foto 28

Pb. 14

$E_L = 25 \text{ KJ/cm}$

$T_{\max} = 1200^\circ\text{C}$

$M = 126X$

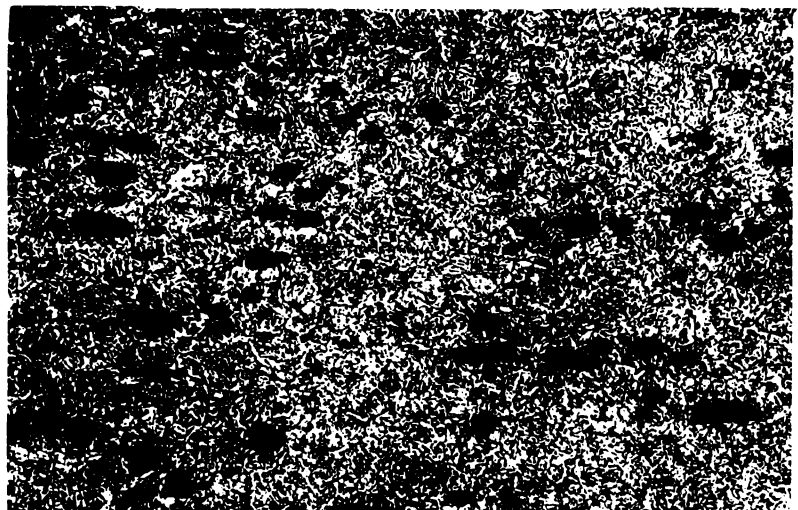


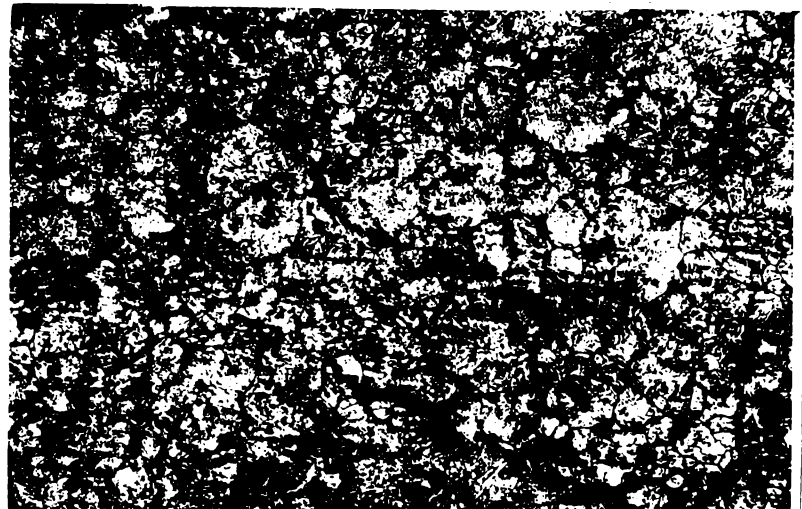
Foto 29

Pb. 15

$E_L = 25 \text{ KJ/cm}$

$T_{\max} = 1350^\circ\text{C}$

$M = 126X$



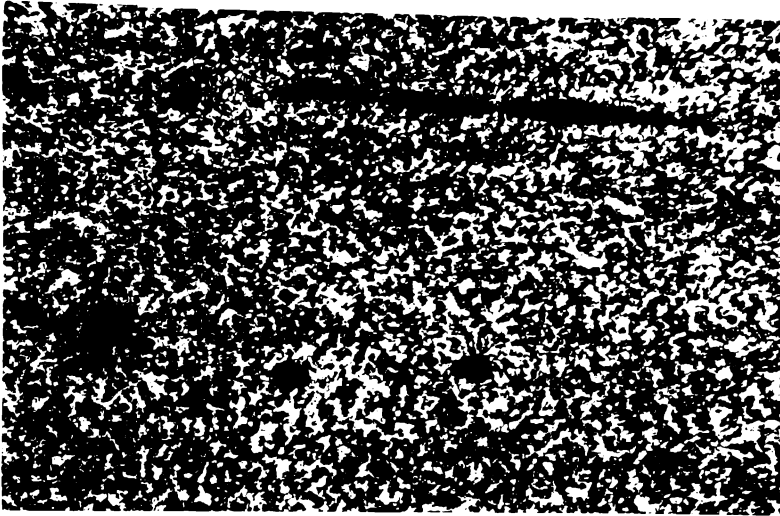


Foto 30

Pb. 13

$E_L = 25 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$

$m = 500\times$



Foto 31

Pb. 14

$E_L = 25 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1000^\circ\text{C}$

$m = 500\times$



Foto 32

Pb. 15

$E_L = 25 \text{ kJ/cm}$

$T_{\text{max}} = 1000^\circ\text{C}$

$m = 500\times$



ANEXA 2.2.

```
1 BORDER 4: PAPER 4: INK 0: PORE 23509.150
2 REM SUNE REGRESII
3 REM BAN MALAI 1999
10 DIM X(6): DIM Y(6)
20 DATA 0,5,10,15,20,25
30 FOR I=1 TO 6: READ X(I): NEXT I
40 DATA 25.645,28.235,30.060,32.805,40.860,56.235
50 FOR J=1 TO 6: READ Y(J): NEXT J
60 FOR J=0 TO 10: LET S(J)=0
70 FOR I=1 TO 6: LET S(J)=S(J)+X(I)**J: NEXT I: PRINT "S";J;"=";S(J)

80 NEXT J
90 FOR K=0 TO 5: LET BK=0
100 FOR I=1 TO 6: LET BK=BK+X(I)**(K+1): NEXT I: PRINT "B";K;"=";BK
110 NEXT K
120 STOP
```

```

10 REM SISTEME LINIARE                GAUSS
20 REM DAN MALAI 1988
30 BEEP 1,-1: BEEP 1,1: BEEP 1,1: BEEP 1,1: PRINT AT 8,
1: "RESOLVARE SISTEMULUI DE N ECUATII" TAB 5: "LINIARE (METODA GAUSS
1: " TAB 4: " Dan Malai 1988"
40 INPUT "DIRE SOLUTII ARE SISTEMULUI ? (DA/N), DA 1: IF DA
= 1 THEN GO TO 60: BEEP 1,-10: BEEP 1,1,5
51 DIM a(n,n): DIM b(n)
52 PRINT AT 10,8: "COEFICIENTII: A(1,1)"; FOR i=1 TO n:
FOR j=1 TO n: PRINT AT 10,24+i*(j-1): "A(1,24+i*(j-1))"; PRINT 1
0,24+j: INPUT a(i,j): NEXT j: NEXT
54 PRINT AT 10,8: "TERMENII LIBERI: B"; FOR i=1 TO n: PR
INT AT 10,25+i: "B(1,25+i)"; INPUT b(i): NEXT i
50 DIM x(n): DIM y(n): FOR i=1 TO n: LET x(i)=1: NEXT i
90 CLS: PRINT "INVERSE 1: COEFICIENTII:"; BEEP 1,-5: FOR i
=1 TO n: FOR j=1 TO n: PRINT "A(1,24+i*(j-1)) = "; a(i,j): BEEP 1,005
,30: NEXT j: NEXT i
95 INPUT "CORECT? (DA/N)"; t: IF t="NO" OR t="" THEN CLS: G
O TO 52
100 PRINT "": PRINT "INVERSE 1: TERMENII LIBERI:"; BEEP 1,5,0:
FOR i=1 TO n: PRINT "B(1,25+i) = "; b(i): BEEP 1,005,30: NEXT
105 INPUT "CORECT? (DA/N)"; t: IF t="NO" OR t="" THEN CLS: G
O TO 54
110 BEEP 1,1,0: GO SUB 170: BEEP 1,1,10: GO SUB 470: BEEP 1,1,20:
GO SUB 540: BEEP 1,5,-10
120 PRINT "": PRINT "INVERSE 1: SOLUTIA SISTEMULUI:"; BEEP 1
,5,5: FOR i=1 TO n: PRINT TAB 10: "X(1)"; i = i*(k-1): BEEP 1,01,50: N
EXT i
140 FOR i=1 TO 10: BEEP 1,05,0: NEXT i: STOP
170 REM TRANSFORMARE
180 LET k=n
190 LET rmax=ABS a(k,k)
200 LET i1=k: LET i2=k
210 FOR j=1 TO k: FOR l=1 TO k
220 LET aux=ABS a(i,j)
230 IF rmax<aux THEN GO TO 260
240 LET rmax=aux
250 LET i1=j: LET i2=l
260 NEXT j
270 NEXT l
280 FOR i=1 TO n
290 LET aux=a(i,i2)
300 LET a(i,i2)=a(i,i1): LET a(i,i1)=aux
310 NEXT i
320 LET aux=y(i2): LET y(i2)=y(i1): LET y(i1)=aux
330 FOR j=1 TO k: LET aux=a(i1,j)
340 LET a(i1,j)=a(k,j): LET a(k,j)=aux
350 NEXT j
360 IF a(k,k)=0 THEN PRINT "INVERSE 1: SISTEM NEDETERMINAT":
BEEP 1,-30: STOP
370 LET aux=b(i1): LET b(i1)=b(k): LET b(k)=aux: LET k1=k-1
380 FOR i=1 TO k1: LET b(i)=b(i)-b(k)*a(i,k)/a(k,k)
390 FOR j=1 TO k
400 LET a(i,j)=a(i,j)-a(i,k)*a(k,j)/a(k,k)
410 NEXT j
420 NEXT i
430 LET k=k-1
440 IF k>1 THEN GO TO 190

```

```
450 IF a(1,1)=0 THEN PRINT "INVERSE 1: "SISTEM NEDETERMINAT":  
BEEP 1,-30: STOP  
460 RETURN  
470 REM RESOLVARE  
480 LET x(1)=b(1)/a(1,1)  
490 FOR i=2 TO n: LET x(i)=b(i)  
500 LET k=i-1  
510 FOR j=1 TO k: LET x(i)=x(i)-a(i,j)*x(j): NEXT j  
520 LET x(i)=x(i)/a(i,i): NEXT i  
530 RETURN  
540 REM ORDONARE  
550 LET m=n-1  
560 LET j=0  
570 FOR k=1 TO m  
580 IF y(k)=y(k+1) THEN GO TO 600  
590 LET aux=y(k): LET y(k)=y(k+1): LET y(k+1)=aux: LET aux=x(k  
k): LET x(k)=x(k+1): LET x(k+1)=aux: LET j=j+1  
600 NEXT k  
610 IF j=1 THEN GO TO 560  
620 RETURN
```

```
1 BORDER 4: PAPER 4: INK 0: POKE 23609,150
2 FOR VALORI REGRESII DO=FIELD.
3 FOR DAN MALAI 1989
10 DEF FN Y(X)=-.000015793449*X^3+.00094327249*X^4-.019268018*
X^3+.004763379*X^2-.350727*X+25.244418
12 DEF FN U(X)=-.000013353493*X^3+.0008448652*X^4-.014600378*X
^3+.002448654*X^2+.373652014*X+25.244418
14 DEF FN V(X)=-.000014834952*X^3+.00101824*X^4-.01683777*X^3+
.02819395*X^2+.13443285*X+25.244418
18 PRINT "VALORI DIN REGRESII": PRINT
20 FOR I=0 TO 25 STEP 5: PRINT "900 gr.C", "dc("s1s")=";FN Y(I)
: NEXT I
25 PRINT : FOR I=0 TO 25 STEP 5: PRINT "1200 gr.C", "dc("s1s")="
;FN U(I): NEXT I
30 PRINT : FOR I=0 TO 25 STEP 5: PRINT "1350 gr.C", "dc("s1s")="
;FN V(I): NEXT I
33 END
```



```
10 BORDER 4: PAPER 4: INK 0: POKE 23609,150
20 DEF VALORI REGRESII N4(DEL)
30 DEF D(4) N(4) (1,2)
40 DEF FN Y(X)=-.048304653*X+7.8792233
50 DEF FN U(X)=.00035536021*X^2-.093592712*X+9.2507904
60 DEF FN V(X)=-3.7465155E-6*X^3+.001125956*X^2-.14258047*X+10
.0760421
70 DEF FN Z(X)=-7.0921592E-10*X^4-3.5587036E-6*X^3-.0011088998
*X^2-.1494635*X+10.068007
80 DIM D(4)
90 DATA 111,76.8,85.3,39.1,26.7
100 FOR I=1 TO 5: READ D(I): NEXT I
110 PRINT "VALORI DIN REGRESII: PRINT
120 FOR I=1 TO 5: LET X=D(I): PRINT "N1("X")=";FN Y(X): NEXT
I
130 PRINT
140 FOR I=1 TO 5: LET X=D(I): PRINT "N2("X")=";FN U(X): NEXT
I
150 PRINT
160 FOR I=1 TO 5: LET X=D(I): PRINT "N3("X")=";FN V(X): NEXT
I
170 PRINT
180 FOR I=1 TO 5: LET X=D(I): PRINT "N4("X")=";FN Z(X): NEXT
I
190 STOP
```

```

1 BORDER 4: PAPER 4: INK 0: PONE 23609,150: CLS
2 REM  CALCULUL TEHNOLOGIEI MAG - Program MAG-TEH - 1990
  E PEW - DAN MALAI - 15.03.1990
10 INPUT "TIP SUDARE" "Cap-cap/Colt-L/Colt-T - (1/2/3):";i: IF
(i=1)+(i=2)+(i=3)=0 THEN GO TO 10
15 LET a=1: GO SUB 135
20 INPUT "GROSIME MB" "s=(2 ... ) mm ";s: IF s<2 THEN GO TO
20
25 LET a=2: GO SUB 135
30 INPUT "LUNGIMEA CUSATURII (mm):";l:
32 LET a=3: GO SUB 135
35 LET j=(s>2)+(s>5)+(s>10)+(s>20)+(s>30)
40 INPUT "CLASA DE CALITATE" "Cl. I ... V - (1/2/3/4/5):";k: I
F (k=1)+(k=2)+(k=3)+(k=4)+(k=5)=0 THEN GO TO 40
45 LET a=4: GO SUB 135
50 INPUT "ACCES SUDARE" "Unilateral/Bilateral - (1/2):";l: IF
(l=1)+(l=2)=0 THEN GO TO 50
52 LET a=5: GO SUB 135
53 LET lo=1: IF a$(i,j,k,l)="" THEN LET lo=1
55 LET R=VAL a$(i,j,k,lo,1): LET Ro=VAL a$(i,j,k,lo,2)
60 INPUT "GRANULATIE MB" "GROBA/FINA - (1/2):";m: IF (m=1)+(m=
2)=0 THEN GO TO 60
65 LET a=6: GO SUB 135
70 INPUT "COMPOZITIA CHIMICA A MB" "C (X)=";C,"Si (X)=";Si,"Mn (
X)=";Mn,"Cu (X)=";Cu,"Ni (X)=";Ni,"Cr (X)=";Cr,"Mo (X)=";Mo,"V (X)="
;V,"Nb (X)=";Nb,"B (X)=";B
72 LET a=7: GO SUB 135
75 LET K1=269+454*C-36*Si-79*Mn-57*Cu-12*Ni-53*Cr-122*Mo-169*M
b-7089*B: LET K2=478+3364*C-256*Si+66*Mn-408*Mo-1321*V-1559*Mb:
LET K3=K2/K1: LET H0=287+884*C-K1: LET K5=-.085+2.07*C+.459*Mn+.
655*Cu+.122*Mn+.222*Cr+.788*Mo+30*B
80 INPUT "DIAMETRU ELECTROD" "1,0 / 1,2 / 1,6 ";d: IF (d=1)+(
d=1.2)+(d=1.6)=0 THEN GO TO 80
82 LET a=8: GO SUB 135
85 DIM Z(3,2): GO SUB 140+R: LET Ac=(1.5-.08*j)*R
90 LET t=0: LET g=0: LET go=0: LET gu=0: LET To=0: LET rd=1: L
ET Is=INT ((-67*d^2+370*d-78)/5+.5)*5: LET Ua=INT (13.84+.050508
*Ia): LET Va=INT ((37*d^2-402*d+1177.5-368/d+163.5/d^2)*100)/100
: LET so=1+(s>20)+(s>25)+(s>30)+(s>40)
100 LET Z1=(10.5+(.2834*d^4-3.13*d^3+8.184*d^2+2.5256*d+65.5)/(
.13467*d^4-1.4874*d^3+4.35356*d^2-1.3616*d+.604))*0.0785: LET Z2
=1.274/(.37*d^4-4.02*d^3+11.775*d^2-3.68*d+1.635): LET Z3=.02123
3333*(226.7*d^4-2504*d^3+6548.7*d^2+2020.5*d-733.3)/(.37*d^4-4.0
2*d^3+11.775*d^2-3.68*d+1.635)
110 IF m=1 THEN GO SUB 150
120 IF m=2 THEN GO SUB 200
125 LPRINT "CONSUM / CUBATURA" "Z1=";Z(1,1)+N*Z(1,2); " lei/CUS
" "Z2=";Z(2,1)+N*Z(2,2); " min/CUS" "Z3=";Z(3,1)+N*Z(3,2); " Wh/CU
S"
130 LPRINT "-----": CLS : GO TO 10
135 INPUT "O.K.? (D/N)";c: IF c="N" OR c="n" THEN GO TO 10+
a
137 RETURN
141 LET Ar=(lo+1)*s: RETURN
142 LET Ar=(s+(s-2)^2*TAN (5*PI/36)): RETURN
143 LET Ar=(2*s+64*TAN (PI/6)+(s+6)*(s-10)*TAN (PI/15)): RETURN
144 LET Ar=(2*s+(s-1)^2/2*TAN (2*PI/9)): RETURN
148 LET A=(2*s+7*(s-5.5)*TAN (2*PI/9)+(s-9)^2/2*TAN (PI/9)): RE

```

```
TURN
146 LET Ac=(2*s+(s-5)^2/2*TAN (PI/9)): RETURN
147 LET Ac=10*s+(s-3)^2/4: RETURN
150 IF R=1 THEN LET Vs=INT (J*PI*d^2*Vs/4/Ac*100)/100: GO TO 1
155 LET Vs=INT (PI*d^2*Vs/4/b(R-1)*100)/100
160 GO SUB 350: IF K=3 AND H>=350 AND To<300 THEN LET To=To+5
0: GO TO 160
170 GO SUB 360: GO SUB 400: IF R>0 THEN GO SUB 440
175 IF H>=350 THEN GO SUB 355
180 IF R=1 THEN GO TO 130
190 LET To=0: LET Au=Ac-b(R-1): GO SUB 300: GO SUB 410: LPRINT
"Nt=";N; " tracer": IF H>=350 THEN GO SUB 355
195 RETURN
200 LET Au=Ac: GO SUB 300
205 IF g=1 THEN GO TO 240
210 LET Vs=v(g): IF .054*Ia*Ua/Vs>6 THEN LET K4=K(g): LET H=H(
g): GO TO 240
220 IF g>1 THEN LET g=g-1: GO TO 210
230 IF To<300 THEN LET To=To+50: LET g=0: GO SUB 310: GO TO 21
0
235 LET Vs=v(1): LET K4=K(1): LET H=H(1)
240 GO SUB 360: GO SUB 400: IF R>0 THEN GO SUB 440
245 IF H>=350 THEN GO SUB 355
250 IF To>=300 THEN GO SUB 357
260 IF R=1 THEN GO TO 130
270 LET g=0: LET To=0: LET Au=Ac-PI*d^2/4/Vs: LET gu=1: GO SUB
300
280 GO SUB 410: LPRINT "Nt=";N; " tracer": GO SUB 450: IF .054*
Ia*Ua/Vs>20 THEN GO SUB 357: RETURN
290 RETURN
300 LET ct=4*Au/PI/d^2/Vs: LET Nt1=INT (ct*20)+1: LET Nt2=INT (
ct*200): LET gt=Nt2-Nt1+1: DIM N(gt): DIM v(gt): DIM K(gt): DIM
H(gt)
310 FOR t=1 TO gt: LET N=Nt1+t-1: LET Vs=INT (N/ct*100)/100: GO
SUB 350
320 IF H<350 THEN LET g=g+1: LET N(t)=N: LET v(t)=Vs: LET K(t)
=K4: LET H(t)=H: IF m=1 THEN RETURN
322 IF g=0 AND To<300 THEN LET To=To+50: GO TO 310
325 IF g=0 THEN LET g=1: RETURN
327 IF gu=1 AND .054*Ia*Ua/Vs<20 THEN RETURN
330 NEXT t
340 RETURN
350 LET K4=LN (.9*c(so,3)/(600-To)^c(so,4)*(.054*Ia*Ua/Vs)^c(s
o,1)+c(so,2)*To): LET H=H0+K1/(1+EXP (K3*(K4-K5))): RETURN
355 LPRINT "T.T. - Reducere HM": RETURN
357 LPRINT "T.T. - Reducere Granulatie": RETURN
360 LPRINT "TEHNOLOGIE MAG""TIP SUDARE: "; IF i=1 THEN LPR
INT "Cap-cap"
363 IF i=2 THEN LPRINT "Colt-L"
365 IF i=3 THEN LPRINT "Colt-T"
370 LPRINT "GROSIME MB: ";j;" mm""LUNGIME CUS: ";lc;" mm""CLA
SA CALITATE: ";k""DIAMETRU ELECTROD: ";d;" mm""ACCES SUDARE: ";
: IF i=1 THEN LPRINT "Unilateral"
375 IF i=2 THEN LPRINT "Bilateral"
380 LPRINT "SUDARE (part): ";jlo
385 LPRINT "GRANULATIE MB: ";: IF m=1 THEN LPRINT "GROBA".
390 IF m=2 THEN LPRINT "FINA"
391 LPRINT "ROST ";: IF R=1 THEN LPRINT "I": RETURN
```

```
392 IF R=2 THEN LPRINT "U": RETURN
393 IF R=3 THEN LPRINT "U redus": RETURN
394 IF R=4 THEN LPRINT "1/2 U": RETURN
395 IF R=5 THEN LPRINT "1/2 U redus": RETURN
396 IF R=6 THEN LPRINT "X": RETURN
397 IF R=7 THEN LPRINT "N": RETURN
400 LPRINT "TEHNOLOGIE RADACINA"
405 LET Isr=INT ((.9*Is)/5+.5)*5: LPRINT "Is=";Isr;" A"Ua=";I
NT (13.84+.050508*Isr);" V"Ue=";Ue;" cm/min"
410 IF nd=2 THEN LPRINT "TEHNOLOGIE UMLERE"
420 IF nd=2 THEN LPRINT "Is=";Isr;" A"Ua=";Ua;" V"Ue=";Ue;"
cm/min"
425 LET e=(Vs)=20)+(Vs)=50)+(Vs)=100): LET Dp=5*(e+1)
430 LPRINT "Vs=";Vs;" cm/min" "Dp=";Dp;" 1/min" "tS/S=";EXP (64
" sec" "HM=";H;" HV10" "E1=";.054*Is*Ua/Vs;" KJ/cm" "Tpe=";To;"
gr.C": LET At=PI*nd^2*Ue/4/Vs: LET X1=INT (Z1*At*lc/10+.5)/100: L
ET X2=INT (Z2*At*lc/10+.5)/100: LET X3=INT (Z3*At*lc/10+.5)/100:
LPRINT "Z1=";X1;" le/tr" "Z2=";X2;" min/tr" "Z3=";X3;" Wh/tr"
LET Z(1,nd)=X1: LET Z(2,nd)=X2: LET Z(3,nd)=X3: LET nd=2: RETUR
N
440 IF Ro=1 THEN LPRINT "Radacina complet patrinsa": RETURN
442 IF Ro=2 THEN LPRINT "Suport la radacina": RETURN
445 IF Ro=3 THEN LPRINT "Resudarea radacinii (cu tehn. rad.)":
RETURN
450 LET t1=INT (lc*(6/Vs+.002)): LET t1=t1
455 LET T=96.126*Ua*Is/Vs/s/SQR t1*EXP (-(1+SQR (AU/PI/N))^2/43
.333/t1-.014*ti/s): IF T=(To+50 THEN LPRINT "Time interstrat=";
(t1-t1)/60;" min": RETURN
460 LET t1=t1+60: GO TO 455
```

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 5 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1 mm  
ACCES SUDARE: Unilateral  
SUDARE (parti) :1  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST 1

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=205 A  
Ua=24 V  
Ve=608 cm/min  
Vs=33.62 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=2.8867601 sec  
HM=251.4412 HV10  
E1=9.0348007 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.96 lei/tr  
Z2=0.6 min/tr  
Z3=55.14 Wh/tr  
Radacina complet patrinsa

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 5 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (parti) :1  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST 1

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=205 A  
Ua=24 V  
Ve=608 cm/min  
Vs=33.62 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=2.8867601 sec  
HM=251.4412 HV10  
E1=9.0348007 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.96 lei/tr  
Z2=0.6 min/tr  
Z3=55.14 Wh/tr  
Radacina complet patrinsa

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 10 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Unilateral  
SUDARE (parti) :1  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST U

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=245 A  
Ua=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=62.79 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=2.0475956 sec  
HM=345.00799 HV10  
E1=6.2694697 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.57 lei/tr  
Z2=0.32 min/tr  
Z3=38.59 Wh/tr  
Suport la radacina

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=270 A  
Ua=27 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=28.94 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=4.2408472 sec  
HM=200.34264 HV10  
E1=13.602626 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.23 lei/tr  
Z2=0.69 min/tr  
Z3=83.72 Wh/tr  
Nt=2 treceri

CONSUM / CUSATURA

Z1=3.03 lei/CUS  
Z2=1.7 min/CUS  
Z3=206.03 Wh/CUS

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 15 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (parti) :2  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST U

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=245 A  
Ua=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=62.79 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=2.0475956 sec  
HM=345.00799 HV10  
E1=6.2694697 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.57 lei/tr  
Z2=0.32 min/tr  
Z3=38.59 Wh/tr  
Resudarea radacinii (cu tehn. rad.)

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=270 A  
Ua=27 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=23.21 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=5.2182708 sec  
HM=190.41329 HV10  
E1=16.960793 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.53 lei/tr  
Z2=0.86 min/tr  
Z3=104.39 Wh/tr  
Nt=4 treceri

CONSUM / CUSATURA

Z1=6.69 lei/CUS  
Z2=3.76 min/CUS  
Z3=456.15 Wh/CUS

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 15 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 4  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (parti) :1  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST 1/2 V

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=245 A  
Ua=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=52.33 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=2.4301638 sec  
HM=294.45813 HV10  
E1=7.5226448 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.68 lei/tr  
Z2=0.38 min/tr  
Z3=46.3 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=270 A  
Ua=27 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=24.26 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=5.0056894 sec  
HM=191.84438 HV10  
E1=16.226711 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.47 lei/tr  
Z2=0.82 min/tr  
Z3=99.87 Wh/tr  
Nt=5 treceri

CONSUM / CUSATURA

Z1=8.03 lei/CUS  
Z2=4.48 min/CUS  
Z3=545.65 Wh/CUS

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 25 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 2  
DIAMETRU ELECTROD: 1.6 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (parti) :2  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST X

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=305 A  
Ua=29 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=46.53 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=3.6385377 sec  
HM=214.05003 HV10  
E1=12.232108 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.9 lei/tr  
Z2=0.43 min/tr  
Z3=75.22 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=340 A  
Ua=31 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=22.35 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=8.4557227 sec  
HM=183.47285 HV10  
E1=25.465772 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.88 lei/tr  
Z2=0.9 min/tr  
Z3=156.59 Wh/tr  
Nt=3 treceri

CONSUM / CUSATURA

Z1=6.54 lei/CUS  
Z2=3.13 min/CUS  
Z3=544.99 Wh/CUS

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 25 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 3  
DIAMETRU ELECTROD: 1.6 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (parti) :2  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST K

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=305 A  
Ua=29 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=51.7 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=3.2233374 sec  
HM=230.71785 HV10  
E1=11.008897 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.81 lei/tr  
Z2=0.39 min/tr  
Z3=67.7 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=340 A  
Ua=31 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=20.25 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=9.4717692 sec  
HM=183.03416 HV10  
E1=28.106667 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=2.07 lei/tr  
Z2=0.99 min/tr  
Z3=172.83 Wh/tr  
Nt=4 treceri

CONSUM / CUSATURA

Z1=9.09 lei/CUS  
Z2=4.35 min/CUS  
Z3=759.02 Wh/CUS

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 35 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 5  
DIAMETRU ELECTROD: 1.6 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (parti) :2  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST K

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=305 A  
Ua=29 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=51.7 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=3.5610573 sec  
HM=216.58705 HV10  
E1=11.008897 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.81 lei/tr  
Z2=0.39 min/tr  
Z3=67.7 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=340 A  
Ua=31 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=21.85 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=8.2110158 sec  
HM=183.62254 HV10  
E1=26.048513 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.92 lei/tr  
Z2=0.92 min/tr  
Z3=160.18 Wh/tr  
Nt=8 treceri

CONSUM / CUSATURA

Z1=16.17 lei/CUS  
Z2=7.75 min/CUS  
Z3=1349.14 Wh/CUS

-----



TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 5 mm  
LUNGIME BUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1 mm  
ACCES SUDARE: Unilateral  
SUDARE (part): 11  
GRANULATIE MB: FINA  
RUST 1

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=205 A  
Ua=24 V  
Ve=608 cm/min  
Us=33.62 cm/min  
Dg=10 l/min  
tB/S=3.4671281 sec  
HM=328.54749 HV10  
E1=9.0348007 KJ/cm  
Tpr=50 gr.C  
Z1=0.96 le/tr  
Z2=0.6 mn/tr  
Z3=55.14 Wh/tr  
Radacina complet patrinsa

---

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 5 mm  
LUNGIME BUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (part): 11  
GRANULATIE MB: FINA  
RUST 1

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=205 A  
Ua=24 V  
Ve=608 cm/min  
Us=33.62 cm/min  
Dg=10 l/min  
tB/S=3.4671281 sec  
HM=328.54749 HV10  
E1=9.0348007 KJ/cm  
Tpr=50 gr.C  
Z1=0.96 le/tr  
Z2=0.6 mn/tr  
Z3=55.14 Wh/tr  
Radacina complet patrinsa

---

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 10 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: unilateral  
SUDARE (parti): 1  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST V

TEHNOLOGIE RADACINA

Ia=245 A  
Ua=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=35.28 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=3.5203391 sec  
HM=325.40338 HV10  
E1=11.158163 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.01 lei/tr  
Z2=0.57 min/tr  
Z3=49.68 Wh/tr  
Suport la radacina

TEHNOLOGIE UMLERE

Ia=270 A  
Ua=27 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=23.53 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=5.1515347 sec  
HM=272.71629 HV10  
E1=16.730132 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.51 lei/tr  
Z2=0.85 min/tr  
Z3=102.97 Wh/tr  
Nt=2 treceri  
Timp interstrat=10 min

CONSUM / CUSATURA

Z1=4.03 lei/CUS  
Z2=2.27 min/CUS  
Z3=274.62 Wh/CUS

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-ccc  
GROSIME MB: 15 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (parti): 2  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST V

TEHNOLOGIE RADACINA

Ia=245 A  
Ua=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=37.19 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=3.3501221 sec  
HM=335.84838 HV10  
E1=10.585104 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.96 lei/tr  
Z2=0.54 min/tr  
Z3=65.15 Wh/tr  
Resudarea radacini: (cu tehn. rad.)

TEHNOLOGIE UMLERE

Ia=270 A  
Ua=27 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=21.25 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=5.6694881 sec  
HM=266.43519 HV10  
E1=18.525176 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.68 lei/tr  
Z2=0.94 min/tr  
Z3=114.02 Wh/tr  
Nt=4 treceri  
Timp interstrat=10 min

CONSUM / CUSATURA

Z1=7.68 lei/CUS  
Z2=4.3 min/CUS  
Z3=521.23 Wh/CUS

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 15 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 4  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (parti): 1  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST 1/2 V

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=245 A  
Ua=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=35.52 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=3.4979747 sec  
HM=326.71099 HV10  
E1=11.08277 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1 lei/tr  
Z2=0.56 min/tr  
Z3=68.21 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=270 A  
Ua=27 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=22.2 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=5.4411343 sec  
HM=268.87679 HV10  
E1=17.732432 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.6 lei/tr  
Z2=0.9 min/tr  
Z3=109.14 Wh/tr  
Nt=5 treceri  
Time interstrat=9 min

CONSUM / CUSATURA

Z1=9 lei/CUS  
Z2=5.06 min/CUS  
Z3=613.91 Wh/CUS

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cap  
GROSIME MB: 25 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 2  
DIAMETRU ELECTROD: 1.6 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (parti): 2  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST X

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=305 A  
Ua=29 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=51.38 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=3.2464347 sec  
HM=342.82156 HV10  
E1=11.077462 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.82 lei/tr  
Z2=0.39 min/tr  
Z3=68.12 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=340 A  
Ua=31 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=32.12 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=5.572217 sec  
HM=267.41989 HV10  
E1=17.719801 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.31 lei/tr  
Z2=0.62 min/tr  
Z3=108.96 Wh/tr  
Nt=5 treceri  
Time interstrat=7 min

CONSUM / CUSATURA

Z1=7.37 lei/CUS  
Z2=3.49 min/CUS  
Z3=612.92 Wh/CUS

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cop  
GROSIME MB: 25 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 3  
DIAMETRU ELECTROD: 1.6 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (part): 12  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST X

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=305 A  
Ua=29 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=50.73 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=3.2943163 sec  
HM=339.55693 HV10  
E1=11.219397 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.83 lei/tr  
Z2=0.39 min/tr  
Z3=68.99 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMPLERE

Is=340 A  
Ua=31 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=32.29 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=5.5384933 sec  
HM=267.77988 HV10  
E1=17.62651 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.3 lei/tr  
Z2=0.62 min/tr  
Z3=108.39 Wh/tr  
Nt=7 treceri  
Time interstrat=7 min

CONSUM / CUSATURA

Z1=9.93 lei/CUS  
Z2=4.73 min/CUS  
Z3=827.72 Wh/CUS

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Cap-cop  
GROSIME MB: 35 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 5  
DIAMETRU ELECTROD: 1.6 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (part): 12  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST X

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=305 A  
Ua=29 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=57.09 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=3.2344582 sec  
HM=343.65235 HV10  
E1=9.9695218 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.74 lei/tr  
Z2=0.35 min/tr  
Z3=61.3 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMPLERE

Is=340 A  
Ua=31 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=28.55 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=6.3347117 sec  
HM=261.40067 HV10  
E1=19.935552 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.47 lei/tr  
Z2=0.7 min/tr  
Z3=122.59 Wh/tr  
Nt=11 treceri  
Time interstrat=5 min

CONSUM / CUSATURA

Z1=16.91 lei/CUS  
Z2=8.05 min/CUS  
Z3=1409.79 Wh/CUS

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-L  
GROSIME MB: 5 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1 mm  
ACCES SUDARE: Unilateral  
SUDARE (partii) : 1  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST I

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=205 A  
Us=24 V  
Ve=608 cm/min  
Vs=33.62 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=2.2967601 sec  
HM=251.4412 HV10  
E1=9.0343007 KJ/cm  
Tpn=0 gr.C  
Z1=0.96 lei/tr  
Z2=0.6 min/tr  
Z3=55.14 Wh/tr  
Radacina complet patrusea

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-L  
GROSIME MB: 10 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (partii) : 2  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST 1/2 I

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=245 A  
Us=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=52.33 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=2.4301638 sec  
HM=294.45813 HV10  
E1=7.5226448 KJ/cm  
Tpn=0 gr.C  
Z1=0.68 lei/tr  
Z2=0.38 min/tr  
Z3=46.3 Wh/tr  
Resudarea radacini (cu tehn. rad.)

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=270 A  
Us=27 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=20.81 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=5.7920985 sec  
HM=187.71598 HV10  
E1=18.916867 KJ/cm  
Tpn=0 gr.C  
Z1=1.71 lei/tr  
Z2=0.96 min/tr  
Z3=116.43 Wh/tr  
Nt=2 treceri

CONSUM / CUSATURA

Z1=4.1 lei/CUS  
Z2=2.3 min/CUS  
Z3=279.16 Wh/CUS

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-L  
GRESIME MB: 15 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 2  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (part): 1  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST V

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=245 A  
Ua=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=62.79 cm/min  
Dg=15 1/min  
t8/5=2.0475956 sec  
HM=345.00799 HV10  
E1=5.2694697 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.57 lei/tr  
Z2=0.32 min/tr  
Z3=38.59 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=270 A  
Ua=27 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=23.21 cm/min  
Dg=10 1/min  
t8/5=5.2182708 sec  
HM=190.41329 HV10  
E1=16.960793 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.53 lei/tr  
Z2=0.86 min/tr  
Z3=104.39 Wh/tr  
Nt=4 treceri

CONSUM / CUSATURA

Z1=6.69 lei/CUS  
Z2=3.76 min/CUS  
Z3=456.15 Wh/CUS

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-L  
GRESIME MB: 30 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 4  
DIAMETRU ELECTROD: 1.6 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (part): 2  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST K

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=305 A  
Ua=29 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=51.7 cm/min  
Dg=15 1/min  
t8/5=3.5610573 sec  
HM=216.58705 HV10  
E1=11.008897 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.81 lei/tr  
Z2=0.39 min/tr  
Z3=67.7 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=340 A  
Ua=31 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=20.84 cm/min  
Dg=10 1/min  
t8/5=8.5967441 sec  
HM=183.39593 HV10  
E1=27.310941 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=2.01 lei/tr  
Z2=0.96 min/tr  
Z3=167.94 Wh/tr  
Nt=6 treceri

CONSUM / CUSATURA

Z1=12.87 lei/CUS  
Z2=6.15 min/CUS  
Z3=1075.34 Wh/CUS

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-L  
GROSIME MB: 5 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1 mm  
ACCES SUDARE: Unilateral  
SUDARE (part): 1  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST I

TEHNOLOGIE RADACINA :

Is=205 A  
Ua=24 V  
Ve=608 cm/min  
Vs=33.62 cm/min  
Dg=10 l/min  
t<sub>8/5</sub>=3.4671281 sec  
HM=328.54749 HV10  
E1=9.0346007 KJ/cm  
Tpr=50 gr.C  
Z1=0.96 lei/tr  
Z2=0.6 min/tr  
Z3=55.14 Wh/tr  
Radacina complet patrunda

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-L  
GROSIME MB: 10 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (part): 2  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST 1/2 V

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=245 A  
Ua=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=34.72 cm/min  
Dg=10 l/min  
t<sub>8/5</sub>=3.5736853 sec  
HM=322.366 HV10  
E1=11.338134 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.03 lei/tr  
Z2=0.58 min/tr  
Z3=69.79 Wh/tr  
Resudarea radacini: 1 cu tehn. rad.

TEHNOLOGIE UMPLERE

Is=270 A  
Ua=27 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=26.05 cm/min  
Dg=10 l/min  
t<sub>8/5</sub>=4.6816827 sec  
HM=281.3486 HV10  
E1=15.111708 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.37 lei/tr  
Z2=0.77 min/tr  
Z3=93.01 Wh/tr  
Nt=3 treceri  
Timp interstrat=9 min

CONSUM / CUSATURA

Z1=5.14 lei/CUS  
Z2=2.89 min/CUS  
Z3=348.82 Wh/CUS

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-L  
GRESIME MB: 15 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 2  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (part): 11  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST V

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=245 A  
Ua=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=37.19 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=3.3501221 sec  
HM=335.26939 HV10  
E1=10.585104 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.96 lei/tr  
Z2=0.54 min/tr  
Z3=65.15 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMPLERE

Is=270 A  
Ua=27 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=21.25 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=5.6694681 sec  
HM=266.43519 HV10  
E1=18.525176 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.68 lei/tr  
Z2=0.94 min/tr  
Z3=114.02 Wh/tr  
Nt=4 treceri  
Time interstrat=10 min

CONSUM / CUSATURA

Z1=7.68 lei/CUS  
Z2=4.3 min/CUS  
Z3=521.23 Wh/CUS

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-L  
GRESIME MB: 30 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 4  
DIAMETRU ELECTROD: 1.6 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (part): 12  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST K

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=305 A  
Ua=29 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=58.6 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=3.1535618 sec  
HM=349.40819 HV10  
E1=9.712628 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.72 lei/tr  
Z2=0.34 min/tr  
Z3=59.72 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMPLERE

Is=340 A  
Ua=31 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=29.3 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=6.177364 sec  
HM=262.36855 HV10  
E1=19.425256 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.43 lei/tr  
Z2=0.68 min/tr  
Z3=119.45 Wh/tr  
Nt=9 treceri  
Time interstrat=6 min

CONSUM / CUSATURA

Z1=13.59 lei/CUS  
Z2=6.46 min/CUS  
Z3=1134.77 Wh/CUS

-----



TEHNOLOGIE MAG

P SUDARE: Colt-T  
GROSIME MB: 10 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 2  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (part): 2  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST 1

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=245 A  
Ua=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=31.24 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=3.9466888 sec  
HM=205.90563 MJ/0  
E1=12.601152 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.14 lei/tr  
Z2=0.64 min/tr  
Z3=77.56 Wh/tr

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-T  
GROSIME MB: 15 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Unilateral  
SUDARE (part): 1  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST 1/2 V

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=245 A  
Ua=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=52.33 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=2.4301638 sec  
HM=294.43813 MJ/0  
E1=7.5226448 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.68 lei/tr  
Z2=0.38 min/tr  
Z3=46.3 Wh/tr  
Suport la radacina

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=270 A  
Ua=27 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=24.26 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=5.0056894 sec  
HM=191.84438 MJ/0  
E1=16.226711 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.47 lei/tr  
Z2=0.82 min/tr  
Z3=99.87 Wh/tr  
Nt=5 treceri

CONSUM / CUSATURA

Z1=8.03 lei/CUS  
Z2=4.48 min/CUS  
Z3=545.65 Wh/CUS

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-T  
GROSIME MB: 30 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 5  
DIAMETRU ELECTROD: 1.6 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (parti): 2  
GRANULATIE MB: GROBA  
ROST K

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=305 A  
Us=29 V  
Vs=462.88 cm/min  
Vc=51.7 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=3.5610573 sec  
HM=216.56705 HV10  
E1=11.008897 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.81 le/tr  
Z2=0.39 min/tr  
Z3=67.7 wh/tr

TEHNOLOGIE UMPLERE

Is=340 A  
Us=31 V  
Vs=462.88 cm/min  
Vc=20.84 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=9.5967441 sec  
HM=193.39593 HV10  
E1=27.310941 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=2.01 le/tr  
Z2=0.96 min/tr  
Z3=167.94 wh/tr  
Nt=6 treceri

CONSUM / CUSATURA

Z1=12.87 le/CUS  
Z2=6.15 min/CUS  
Z3=1075.34 wh/CUS

---

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-T  
GROSIME MB: 10 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 2  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (parti): 2  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST J

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=245 A  
Us=26 V  
Vs=555.25 cm/min  
Vc=31.24 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=3.9466988 sec  
HM=304.23463 HV10  
E1=12.601152 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.14 le/tr  
Z2=0.64 min/tr  
Z3=77.56 wh/tr

---

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-T  
GROSIME MB: 15 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 1  
DIAMETRU ELECTROD: 1.2 mm  
ACCES SUDARE: Unilateral  
SUDARE (part): 11  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST 1/2 V

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=245 A  
Ua=26 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=35.52 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=3.4979747 sec  
HM=326.71099 HV10  
E1=11.08277 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1 lei/tr  
Z2=0.56 min/tr  
Z3=68.21 Wh/tr  
Suport la radacina

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=270 A  
Ua=27 V  
Ve=555.25 cm/min  
Vs=22.2 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=5.4411343 sec  
HM=268.87679 HV10  
E1=17.732432 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.6 lei/tr  
Z2=0.9 min/tr  
Z3=109.14 Wh/tr  
Nt=5 treceri  
Timp interstrat=9 min

CONSUM / CUSATURA

Z1=9 lei/CUS  
Z2=5.06 min/CUS  
Z3=613.91 Wh/CUS

-----

TEHNOLOGIE MAG

TIP SUDARE: Colt-T  
GROSIME MB: 30 mm  
LUNGIME CUS: 200 mm  
CLASA CALITATE: 5  
DIAMETRU ELECTROD: 1.6 mm  
ACCES SUDARE: Bilateral  
SUDARE (part): 12  
GRANULATIE MB: FINA  
ROST K

TEHNOLOGIE RADACINA

Is=305 A  
Ua=29 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=58.6 cm/min  
Dg=15 l/min  
t8/5=3.1535818 sec  
HM=349.40819 HV10  
E1=9.712628 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=0.72 lei/tr  
Z2=0.34 min/tr  
Z3=59.72 Wh/tr

TEHNOLOGIE UMLERE

Is=340 A  
Ua=31 V  
Ve=462.88 cm/min  
Vs=29.3 cm/min  
Dg=10 l/min  
t8/5=6.177364 sec  
HM=262.36855 HV10  
E1=19.425256 KJ/cm  
Tpr=0 gr.C  
Z1=1.43 lei/tr  
Z2=0.68 min/tr  
Z3=119.45 Wh/tr  
Nt=9 treceri  
Timp interstrat=6 min

CONSUM / CUSATURA

Z1=13.59 lei/CUS  
Z2=6.46 min/CUS  
Z3=1134.77 Wh/CUS

-----



```
1 BORDER 4: PAPER 4: INK 0: POME 23609.150: CLS
2 REM OPTIMIZARE CAMA - Program CAMA
3 REM - DAN MARIU 1989
4
10 INPUT "a=";a, "b=";b, "k=";k, "c=";c
15 PLOT 0,47: DRAW 255,0
20 PLOT 127,0: DRAW 0,175
30 LET e=40
35 PRINT "a=";a;"b=";b;"k=";k;"c=";c;"alfa=";INT (10*(90/PI)*A
IN 12 6)
40 LET s1="3.1*(k-a*x-b+SQR (n^2-(ABS x)^2))"
50 FOR f=96 TO 158
60 LET x=(f-127)*s/128: LET y=VAL s1
70 IF ABS y>127 THEN STOP
80 LET old x=INT (x+.5)
90 PLOT f,y+47: DRAW 1,y-old y
100 NEXT f
110 PLOT 126,3.1*(k-b)+47: DRAW 2,0
120 LET s2="3.1*(k-a*x-b-SQR (n^2-(ABS x)^2))"
130 FOR f=158 TO 96 STEP -10
140 LET x=(f-127)*s/128: LET y=VAL s2
150 IF ABS y>127 THEN STOP
160 LET old x=INT (x+.5)
170 PLOT f,y+47: DRAW -1,y-old y
180 NEXT f
190 LET u=3.1*(k-a*(-155/16)-b+SQR (n^2-(ABS -155/16)^2))
200 LET v=3.1*(k-a*(155/16)-b+SQR (n^2-(ABS 155/16)^2))
210 PLOT 96,u+47: DRAW 0,3.1*k-u: DRAW 64,0: DRAW 0,-3.1*k+v
```

```
1 CLEAR 30999: POKE 23607,150: BORDER 4: PAPER 4: INK 0: CLS
2 REM PROGRAM DE ACHIZITII - APRIL - 1990
3 REM DAN KALAI
10 PRINT AT 10.7: FLASH 1: STOP ACHIZITIE *: FOR i=1 TO 10: B
EEP 1,10: POKE 100: NEXT
15 INPUT "NR.SEMNALE ACHIZITIE: "ind
20 INPUT "Te="Te
22 INPUT "ADRESA MEMO. DISPONIBILA: "addr
23 CLS: PRINT AT 10.7: FLASH 1: START ACHIZITIE *: BEEP 1,10
: LOAD "ESAC" CODE adr
25 LET temp=INT ((3.5E6*Te-184*nd-141)/26)
27 IF temp=0 THEN LET temp=1
30 POKE adr+277,0
35 LET n=INT (temp/256): LET l=temp-256*n
40 POKE adr+275,1: POKE adr+276,n
45 PRINT AT 10.0: FLASH 1: APASATI CRUCE TASTA - PORNIREA
ACHIZITIEI
50 POKE 0
55 CLS: PRINT AT 15.10: FLASH 1: START *
60 LET ind=adr+278: LET n=INT (ind/256): LET l=ind-256*n: POKE
50000,1: POKE 50001,n: RANDOMIZE USR (adr+211)
65 LET nd=INT ((65000-ind)*nd/2+.5): LET da=Te*nd
66 READ a,b,c,d,e,f,g,h: DATA 0,2,4,6,8,10,12,14
70 CLS: PRINT "NR.SANT.CANAL: "nd" DURATA ACHIZITIEI: "da
*1000: "tsec
72 INPUT "SEMNALE DE SE REPREZINTA (max 8)a,b,c,d,e,f,g,h----"i
88
73 LET st=2047/80: INPUT "DOMENIU"TAB 10;"-10,10 V (1)"TAB 1
0;"-5,5 V (2)"TAB 10;"-2,2 V (5)"TAB 10;"-1,1 V (10)"TAB 10;"
-.5,.5 V (20)"TAB 10:"OPTIUNE: "iv
74 LET st=st*v
75 INPUT "INTERVAL DE REPREZ.GRAFIC to="t0:" tf="tf
77 IF tf<t0 THEN GO TO 75
80 LET ne=INT (.5*(tf-t0)*nd/da/224)
82 LET n0=INT (t0/Te): LET nf=n0+ne*224
83 LET t0=n0*Te: LET tf=nf*Te
85 CLS: PLOT 31,88: DRAW 224,0: GO TO 1000
90 FOR i=-31 TO 256 STEP 16: PLOT i,90: DRAW 0,-5: NEXT i
91 LET a1=n0*nd*2
92 IF t0=0 THEN LET a1=2*nd*ne
93 LET c1=a1: LET c2=a1+14*32*ne*nd
95 PRINT AT 21,4:"t0="t0,AT 21,18:"tf="tf
97 LET k1=13: LET p1=16: LET p1=31
98 FOR k=0 TO k1
99 GO SUB 1100: LET a1=a1+32*ne*nd: LET p1=p1+p1: NEXT k
100 INPUT "R,L,H,S,C,A"jag
105 IF ag="r" OR ag="R" THEN GO TO 1200
110 IF ag="l" OR ag="L" THEN GO TO 1300
115 IF ag="s" OR ag="S" THEN INPUT "NUME FISIER: "jns: SAVE ns
SCREENS: VERIFY "SCREENS
120 IF ag="h" OR ag="H" THEN INPUT "NUMAR EXEML.: "jnre: RANDO
MIZE USR (adr+161): FOR i=1 TO nre: COPY: NEXT i
122 IF ag="a" OR ag="A" THEN INPUT "NR.SEMNALE ACHIZITIE: "jnd
,"Te="jTe: RESTORE: CLS: GO TO 25
125 IF ag("<"c" AND ag("<"C" THEN GO TO 100
130 GO TO 70
1000 PRINT AT 20,0;"-10/V,AT 1,0;"10/V: PLOT 31,8: DRAW 0,160: FOR
i=0 TO 4: PLOT 31,8+i*40: DRAW -7,0: NEXT i: FOR i=8 TO 168 STE
```

```
9 8: PLOT 31,1: DRAW -3,0: NEXT I
1005 RETURN
1090 FOR J=1 TO LEN S3
1095 LET GO=VAL S3(J)
1107 LET adr1=md+10+d1-ne*2*nd
1108 LET x=PEEK adr1+256*PEEK (adr1+1): IF xv/2047 THEN LET xv
=-(65536-x)/st: GO TO 1110
1109 LET x=x/st
1110 FOR I=1 TO 16: LET adr1=adr1+n*nd*2
1115 LET x=PEEK adr1+256*PEEK (adr1+1)
1120 IF xv/2047 THEN LET x=-(65536-x)/st: GO TO 1130
1125 LET x=x/st
1130 PLOT INVERSE 1: OVER 1:(p1+(i-1).88+xv): DRAW 1,x-xv
1135 LET x=x
1140 NEXT I
1140 NEXT J
1150 RETURN
1210 LET t0=t0-32*n*Te: LET tf=tf-32*n*Te
1205 IF t0>da THEN PRINT @: FLASH 1:"CAPAT DREAPTA": PAUSE 200
: GO TO 100
1207 IF ABS t0<Te THEN LET t0=0
1210 IF t0<0 THEN PRINT @: FLASH 1:"CAPAT STINGA": PAUSE 200:
GO TO 100
1215 FOR I=0 TO 20: PRINT AT 1,0:"  ": NEXT I
1220 FOR I=1 TO 4: RANDOMIZE USR (adr+76): NEXT I: RANDOMIZE USR
(adr+180)
1225 PRINT AT 21,0:"
1230 PRINT AT 21,4:"t0=";t0;" tf=";tf
1235 LET p1=31: LET a1=c1-64*n*ne: LET c1=a1: LET c2=c2-64*n*ne
*
1240 GO SUB 1000
1245 PLOT 32,98: DRAW 32,0: PLOT 48,90: DRAW 0,-5: PLOT 64,90: D
RAW 0,-5
1250 LET k1=1: GO TO 98
1300 LET t0=t0+32*n*Te: LET tf=tf+32*n*Te
1305 IF tf>da THEN PRINT @: FLASH 1:"CAPAT DREAPTA": PAUSE 200
: GO TO 100
1310 IF t0<0 THEN PRINT @: FLASH 1:"CAPAT STINGA": PAUSE 200:
GO TO 100
1320 FOR I=1 TO 4: RANDOMIZE USR adr: NEXT I: RANDOMIZE USR (adr
+190)
1322 FOR I=0 TO 20: PRINT AT 1,0:"  ": NEXT I
1325 PRINT AT 21,0:"
1330 PRINT AT 21,4:"t0=";t0;" tf=";tf
1335 LET p1=223: LET a1=c2+64*n*ne
1340 GO SUB 1000
1345 PLOT 223,88: DRAW 32,0: PLOT 237,90: DRAW 0,-5: PLOT 255,90
: DRAW 0,-5
1350 LET k1=1: GO TO 98
2000 OUT 6,0: PRINT IN 4,IN 5: GO TO 2000
```





SUPRINS

1.	SUDAREA PRIN PROCEDEUL MAG. . . . .	1
1.1.	Preliminarii. . . . .	1
1.2.	Procedeul și tehnologia de sudare MAG. . . . .	4
1.3.	Optimizarea tehnologiei de sudare MAG. . . . .	10
1.4.	Cîmpul termic la sudarea MAG. . . . .	12
2.	INFLUENȚA ENERGIEI LINIARE ASUPRA GRANULAȚIEI. . . . .	22
2.1.	Dimensiunile grăunților în cazul oțelurilor cu granulație fină. . . . .	22
2.2.	Regresii pentru determinarea diametrului grăunților. . . . .	29
2.3.	Determinarea energiei liniare optime la sudarea prin procedeul MAG. . . . .	36
3.	CALCULUL AUTOMAT AL TEHNOLOGIEI DE SUDARE PRIN PROCEDEUL MAG. . . . .	42
3.1.	Necesitatea și principiul calculului automat. . . . .	42
3.2.	Alegerea rostului de sudare. . . . .	44
3.3.	Calculul durității maxime în ZIT. . . . .	49
3.4.	Determinarea timpului interstrat. . . . .	53
4.	PROIECTAREA TEHNOLOGIEI MAG ASISTATA DE CALCULATOR. . . . .	56
4.1.	Relații de calcul a tehnologiei MAG. . . . .	56
4.2.	Schema logică și algoritmul de calcul. . . . .	65
4.3.	Tehnologii optime pentru procedeul de sudare MAG. . . . .	74
5.	OPTIMIZAREA DISPOZITIVULUI DE AVANS A SÎRMEI PENTRU PROCEDEUL DE SUDARE MAG. . . . .	77
5.1.	Stabilitatea arcului electric cu electrod fuzibil. . . . .	77
5.2.	Modelul matematic și funcția de transfer a arcului electric cu electrod fuzibil. . . . .	81
5.3.	Dispozitivul de avans al sîrmei electrod pentru procedeul de sudare MAG. . . . .	90
5.3.1.	Dispozitivul de avans al sîrmei pentru sistem cu viteză constantă. . . . .	90
5.3.2.	Dispozitiv de avans al sîrmei pentru sistem cu viteză dependentă de tensiunea arcului. . . . .	93
5.4.	Stabilitatea și optimizarea DAS. . . . .	96

6. URMĂRIREA AUTOMATĂ A ROSTULUI DE SUDARE. . . . .	100
6.1. Principiul urmării automate a rostului. . . . .	100
6.2. Senzor pentru urmărirea rostului. . . . .	103
6.2.1. Caracteristici generale impuse senzorului. . .	103
6.2.2. Principiul de funcționare al senzorului. . .	104
6.2.3. Determinarea formei optime a canei. . . . .	107
6.2.4. Caracteristici tehnice principale ale senzorului de rost. . . . .	112
6.3. Determinarea performanțelor senzorului . . . . .	116
6.3.1. Performanțe în plan vertical . . . . .	116
6.3.2. Performanțe în plan orizontal. . . . .	119
7. AUTOMATIZAREA PROCEDURII DE SUDARE MAG. . . . .	122
7.1. Principiul automatizării. . . . .	122
7.2. Instalație robotizată pentru procedeul de sudare MAG . . . . .	123
8. CONSIDERAȚII FINALE ȘI CONTRIBUTII ORIGINALE. . . . .	129
BIBLIOGRAFIE. . . . .	139
ANEXA 1.1. . . . .	147
ANEXA 1.2. . . . .	151
ANEXA 2.1. . . . .	159
ANEXA 2.2. . . . .	171
ANEXA 2.3. . . . .	172
ANEXA 2.4. . . . .	174
ANEXA 2.5. . . . .	175
ANEXA 3.1. . . . .	176
ANEXA 4.2. . . . .	179
ANEXA 6.1. . . . .	195
ANEXA 7.1. . . . .	196