

MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI ȘI ȘTIINȚEI
INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA"
TIMIȘOARA

ing. Anghel Tăroată

CONTRIBUȚII LA CONDUCEREA
PROCESULUI TEHNOLOGIC DE SUDARE
CU FASCICUL DE ELECTRONI

- TEZA DE DOCTORAT -

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific

Prof.dr.doc.gt.ing. AUREL NANU

- 1990 -

| | |
|---------------------------------|-----------|
| INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA | |
| BIBLIOTECA | |
| CENTRALĂ | |
| Volume Nr. | 556 335 |
| Dulap | 357 II. c |

C U P R I N S

| | pag. |
|--|------|
| <u>INTRODUCERE</u> | |
| Cap.1 <u>ABORDAREA PROCESULUI TEHNOLOGIC DE SUDARE CU FASCICUL DE ELECTRONI IN CONCEPTIA INGINERIEI SISTEMELOR</u> | |
| 1.1. Fundamente și concepte în ingineria sistemelor | 3 |
| 1.2. Analiza în concepție sistemică a procesului de sudare cu F.E. | 7 |
| 1.3. Posibilități de conducere optimală a procesului tehnologic de sudare cu F.E. utilizând principiile și concepțiile ingineriei sistemelor | 13 |
| 1.4. Optimizarea tehnico-economică a procesului tehnologic de sudare cu F.E. | 20 |
| 1.5. Sistemul informatic pentru procesul tehnologic de sudare cu F.E. | 27 |
| Cap.2 <u>ANALIZA ENERGETICO-INFORMATIONALA A FENOMENELOR CE AU LOC IN SPATIUL DE LUCRU</u> | |
| 2.1. Studiul formării cavității și cordonului de sudură ... | 35 |
| 2.2. Studiul pe bază de bilanț energetic a interacțiunii fascicul de electroni-material | 40 |
| 2.3. Studiul relației dintre energia fasciculului de electroni și geometria cusăturii ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, | 46 |
| 2.4. Metodele utilizate pentru studiul cusăturii sudate.... | 52 |
| 2.5. Rezultate, concluzii, direcții de aplicare a analizei energetico-informaționale a fenomenelor ce au loc în spațiul de lucru | 56 |
| Cap.3 <u>SISTEM DE ACHIZITIE A DATELOR PENTRU STUDIUL FENOMENELOR CE AU LOC IN SPATIUL DE LUCRU</u> | |
| 3.1. Noțiuni teoretice referitoare la sistemele de achiziției de date | 59 |
| 3.2. Descrierea sistemului de achiziție de date schema bloc | 60 |
| 3.3. Blocul de multiplexare | 62 |
| 3.4. Circuitul de eșantionare și memorare | 65 |
| 3.5. Convertorul analog numeric | 66 |
| 3.6. Interfațe cu microcalculatorul | 67 |
| 3.7. Programe pentru achiziția datelor | 70 |
| 3.8. Program de testare a sistemului de achiziție de date.. | 74 |

| | | |
|--------|--|-----|
| Cap. 4 | <u>CONTROLUL SUDARII CU FASCICUL DE ELECTRONI PRIN CONTROLUL REGIMULUI TERMIC SI DISTRIBUTIEI DE TEMPERATURA</u> | |
| 4.1. | Analiza distribuției de temperatură în timpul su- dării cu fascicul de electroni pornind de la ecua- ția căldurii | 76 |
| 4.2. | Condițiile limită și posibilitățile de aplicabili- tate a ecuației căldurii pentru cazuri concrete de sudare cu fascicul de electroni | 79 |
| 4.3. | Metode numerice de rezolvare a cîmpului termic | 82 |
| 4.4. | Studiul distribuției temperaturilor într-o piesă sudată cu fascicul de electroni utilizînd cîteva metode reprezentative | 87 |
| 4.5. | Studiul cîmpului termic folosind o modelare cu element finit | 93 |
| 4.6. | Conducerea optimală a procesului tehnologic de su- dare cu fascicul de electroni a oțelurilor prin controlul regimului termic | 103 |
| Cap. 5 | <u>CONDUCEREA PROCESULUI DE SUDARE CU FASCICUL DE ELECTRONI PENTRU INSTALATII DE MICA PUTERE. INSTA- LATIA EBWM 35.4 ITIM CLUJ NAPOCA</u> | |
| 5.1. | Problematika și posibilitățile de conducere a pro- cesului de sudare cu F.E. | 107 |
| 5.2. | Prezentarea instalației de sudat și prelucrare cu F.E. - EBW, M 35.4 ITIM Cluj Napoca | 109 |
| 5.3. | Sistemul de comandă și control | 114 |
| 5.4. | Conducerea procesului de sudare cu F.E. cu ajutorul calculatorului electronic | 120 |
| Cap. 6 | <u>CONDUCEREA PROCESULUI DE SUDARE CU FASCICUL DE ELECTRONI PENTRU INSTALATII DE PUTERE MARE, INSTA- LATIA DE SUDARE CU I.S.I.M. TIMISOARA</u> | |
| 6.1. | Problematika generală a conducerii automate a ins- talațiilor de sudare cu F.E. de mare complexitate și capacitate | 127 |
| 6.2. | Scheme de principii pentru conducerea procesului tehnologic de sudare cu F.E. pe instalații com- plexe | 128 |
| 6.3. | Sistem de conducere, comandă și control pentru instalația de sudare cu F.E. ISIM Timișoara | 131 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 6.4. | Metodă de conducere pe o traiectorie oarecare implementabilă pe instalații de sudare cu F.W. | 138 |
| Cap. 7 | <u>SOFTWARE TIMP REAL PENTRU CONDUCEREA PROCESULUI TEHNOLOGIC DE SUDARE IN INSTALATII CU FASCICUL DE ELECTRONI</u> | |
| 7.1. | Caracteristicile sistemului timp real | 146 |
| 7.2. | Software de bază timp-real | 153 |
| 7.3. | Software de aplicație pentru conducerea procesului tehnologic de sudare cu fascicul de electroni | 164 |
| 7.4. | Software timp real pentru sisteme multimicroprocesor | 168 |
| Cap. 8 | <u>CONCLUZII, CONTRIBUTII ORIGINALE, VALOARE APLICATIVA SI DIRECTII DE DEZVOLTARE ULTERIOARA</u> | |
| 8.1. | Concluzii | 188 |
| 8.2. | Concluzii originale | 189 |
| 8.3. | Valoare aplicativă și direcții de dezvoltare ulterioară | 190 |
| | BIBLIOGRAFIA | 192 |
| | ANEXE | 200 |

P R E F A T A

Lucrarea de față se înscrie în preocupările actuale de extindere a automatizării complexe și tehnicii de calcul, în toate sectoarele de activitate, precum și în majoritatea domeniilor de cercetare științifică și inginerie tehnologică.

Ea reprezintă continuarea activității depuse de autor în domeniul tehnologiilor neconvenționale, începută în 1975 la Întreprinderea Oțelul Roșu, la fabricația de filiere pe maginile de prelucrat prin electroeroziune Charmilles, Brosimat, Eler Ol, respectiv de rectificat cu scule diamantate profitând din plin de cunoștințele, experiența și competența domnului doctor inginer Erwin Orszari. Aici, deși stagiar autorul a luat în primire, o tehnologie de vârf, implementată la scară industrială de Școala Timișoreană de Tehnologii Neconvenționale, condusă de domnul profesor doctor docent șt.ing. Aurel Nanu. La venirea în Institutul politehnic Timișoara autorul s-a alăturat din 1980 celor ce urmau calea cercetărilor și experimentărilor în tehnologiile neconvenționale, participând la toate manifestările științifice desfășurate de Catedra de Tehnologii Materialelor în acest domeniu.

În cadrul lucrării, autorul a abordat atât aspectele teoretice care definesc sistemul proces tehnologic de sudare cu fascicul de electroni, cât și aspectele practice legate, concepția proiectarea și implementarea unor structuri de conducere a acestor procese.

În perioada elaborării tezei am beneficiat de îndrumarea competentă, atentă și exigentă a conducătorului științific, prof. dr.doc.șt.ing. Aurel Nanu care cu înțelegere și răbdare mi-a jalonat și supervizat activitatea. Pentru sfaturile și observațiile primite ; pentru sprijinul profesional și moral pe toată durata elaborării lucrării, îmi exprim întreaga stimă și considerație față de persoana Domniei Sale, împreună cu cele mai respectuoase mulțumiri.

Pentru sprijinul îndelungat și constant, profesional și moral, pentru încurajările susținute, aduc vii mulțumiri domnilor dr.ing.Eugen Tătar, dr.ing.Zeno Fircea și dr.ing.Dorin Debeleanu. În același timp mulțumesc colectivului de cercetători de la ITIM Cluj Napoca și ISIM Timișoara pentru sollicitudinea cu care m-au tratat în cei cinci ani de elaborare a tezei.

Mulțumesc în mod deosebit prietenilor mei Adrian Bot, Voicu Groza și Vladimir Crețu și Valer Stoian pentru eforturile deosebite care le-au făcut să mă ajute atât pe tărâm profesional, științific și moral în același timp.

Tin să mulțumesc prietenilor mei Mihaela și Romulus Pascu pentru ajutorul bibliografic, profesional și științific, pentru discuțiile fructuoase purtate precum și pentru sprijinul moral pe care mi l-au acordat în perioada elaborării tezei.

Datorez de asemenea mulțumiri colegilor din catedră de Management precum și colegilor din catedra de Tehnologia Materialelor, din Facultatea de Mecanică a Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, de al căror sprijin real am beneficiat în realizarea acestei lucrări.

Mulțumesc în final, tuturor aceluia care m-au sprijinit să-mi finalizez în bune condițiuni teza, pentru înțelegerea și îndemnurile constante cu care m-au încurajat.

Autorul.

I N T R O D U C E R E

Dezvoltarea și aplicarea în industria mondială, la o scară fără precedent în ultimii ani, justifică interesul crescând al științei și tehnicii, a cercetării la noi în țară pentru domeniul tehnologiilor cu fascicul de electroni. Cu toate că, sau mai precis mai ales că, în raport cu procedeele convenționale aplicarea lor în contextul industriei românești este nesemnificativă, perspectiva dezvoltării rapide este foarte promițătoare, în special în contextul dezvoltării producției flexibile și utilizării raționale și eficiente a energiei.

Deterită interacțiunilor ce au loc în timpul sudării cu fascicule, rezultă o serie de particularități și de avantaje ale acestui procedeu:

- sudura și zona influențată termic (ZIT) sînt înguste chiar și la piese sudate de grosime mare, coeficientul de suprafețe (raportul între înălțimea și lățimea sudării) ajungînd la 50:1 ;
- forma rostului este I, indiferent de grosimea pieselor;
- deformațiile termice și tensiunile remanente sînt reduse;
- energia liniară este mult inferioară celei din cazul procedeelelor convenționale; pierderea de energie prin conducție, care duce la încălzirea piesei, este mult redusă;
- viteza de sudare ridicată;

În majoritatea aplicațiilor, sudarea cu fascicule se efectuează fără material de adaos. Hidrodinamica băii joacă un rol important în aspectul și calitatea îmbinării.

Comanda și conducerea procesului se face atît pe partea de cîmp electric cît și de cîmp magnetic. Prin modificarea diametrului fascicului în punctul de impact cu piesa (de la 100 μ m la 1 mm, funcție de putere), deci a densității de energie, este posibil să se controleze cu precizie distribuția energiei transmise piesei, corespunzător condițiilor de sudare impuse.

Automatizarea procedeelelor este necesară, principiul constructiv al echipamentelor excluzînd o comandă manuală. În echipamentele moderne se utilizează din ce în ce mai mult comanda și controlul cu calculatoare de proces, care asigură comanda tuturor funcțiilor, ca de exemplu: funcționarea secvențională și logică a procesului de sudare, poziționarea pieselor de sudat, funcționarea conform condițiilor impuse de tehnologie (controlul activ

al parametrilor, comenzi auxiliare funcție de linia de producție, etc.).

O problemă importantă, care a stat și stă în calea răspîndirii echipamentelor de sudare cu fascicule, este prețul de cost ridicat pe unitatea de putere, față de echipamentele convenționale. Este important însă de subliniat că puterea singură nu este suficientă pentru a caracteriza o sursă de căldură pentru sudare. Trebuie luată în considerare o serie de alți factori: densitatea de energie, randamentul energetic total, productivitatea în cazul producției de serie, posibilitatea sudării cu un alt procedeu, prețul de cost al sudării unei piese, îmbunătățirea calității și caracteristicilor piesei, îmbunătățirea condițiilor de muncă, etc. Pentru a analiza, sintetiza și răspunde la aceste probleme, procesul tehnologic de sudare cu PE va trebui abordat sistemic și apoi particularizat pe aplicații concrete.

În acest context general, prezenta lucrare își propune să abordeze domeniul procesului tehnologic de sudare cu fascicul de electroni pornind de la o abordare în concepția ingineriei sistemelor folosind tehnicile și metodele specifice de analiză și sinteză, modelare, prelucrare, simulare, atât în faza de concepție, proiectare implementare cât și în faza operațională. Autorul propune față de metodologiile și metodele clasice de analiză și investigare, metode și modele noi, care să permită aplicarea tehnicii de calcul atât în faza de analiză, cercetare, investigare, proiectare, cât și în faza de implementare, funcționare și întreținerea sistemului proces tehnologic.

Astfel se propune și realizarea și implementarea sistemelor de calcul timp real pentru conducerea procesului tehnologic pe configurații mono sau multimicroprocesor.

CAPITOLUL 1

ABORDAREA PROCESULUI TEHNOLOGIC DE SUDARE CU FASCICUL DE ELECTRONI IN CONCEPTIA INGINERIEI SISTEMELOR

1.1. Fundamente și concepte în ingineria sistemelor

1.1.1. Definierea noțiunii de sistem

Noțiunea de sistem este o noțiune abstractă, care a fost aplicată unor diverse domenii de activitate, lînd de fiecare dată, aspecte particulare funcție de specificul domeniului. Sistemul va reprezenta o mulțime S de entități, cu o anumită structură S , între care există o continuă interacțiune, ce se conduce după principii specifice, făcînd ca ansamblul în general să aibă tendința optimizării activității lui.

Referindu-ne la sistemele tehnologice în special, teoreticienii domeniului (Kau, Hall, Warfried, etc) prezintă ingineria sistemelor, ca un proces secvențial al definirii, evaluării, proiectării, planificării, realizării și dezvoltării sistemului, utilizînd noțiuni și tehnici de analiză și abordare sistemică, integrare sistemică, analiza siguranței, întreținerii și securității sistemelor, analiză operațională etc. Ca un concept unitar, ingineria sistemelor ar fi: "conducerea inginerescă, direcționare control, și efort tehnic aplicat unui sistem total în scopul de a realiza și întreține integritatea tehnică a unui sistem specific, corelat cu proiectarea configurației, siguranței și performanței!"

În concluzie ingineria sistemelor se referă în special la proiectarea optimă și la managementul sistemelor (fig.1.1) de tip om mașină de largă varietate.

În contextul lucrării de față prin mașină se va înțelege orice complex tehnologic fie el mașină în sine, instalație, sau echipament, pînă la sisteme de echipamente industriale, celule flexibile, sisteme de fabricație, sisteme de producție.

Practic ingineria sistemelor caută să optimizeze proiectarea funcțională și structurală, astfel ca sistemul să devină "optim" din punct de vedere cost-eficiență, de-a lungul perioadei acestuia de funcționare.

Din experiență se poate afirma că faza de proiectare reprezintă un proces iterativ, iar faza operațională este un proces

ciclic în sine (fig.1.2). În faza de realizare se trece la execuția fizică și aplicarea în operă a proiectului sistemului. În mod evident apar reacții inverse atât în etapa de realizare cât și în etapa operațională către etapa de proiectare (determinând realizarea în final de mașini, echipamente, instalații, sisteme tehnologice cu performanță și eficiență cât mai ridicată.

Managementul sistemului, se diferențează clar față de managementul ingineriei sistemelor; în perioada de existență a sistemului acesta trebuie orientat spre realizarea integrală a obiectivului lui de funcționare.

Astăzi se consideră că se pot identifica trei dimensiuni de bază în ingineria sistemelor:

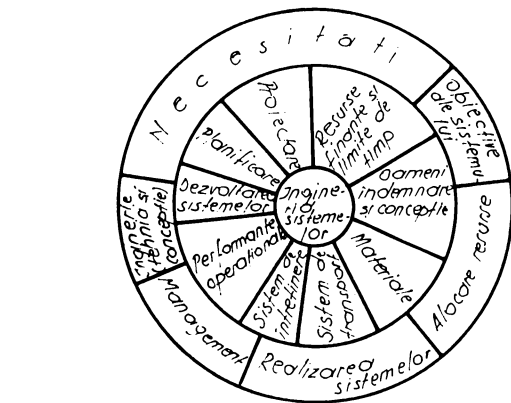


Fig.1.1 Conceptul de bază al ingineriei sistemelor

a) dimensiunea cunoștințelor ce se referă la caracterul interdisciplinar al ingineriei sistemelor (cunoștințe de specialitate din diverse domenii);

- b) dimensiunea timp, evidențiind etapele de funcționare ale sistemului;
- c) dimensiunea "logică", ce prezintă etapele logice de proiectare și evaluare.

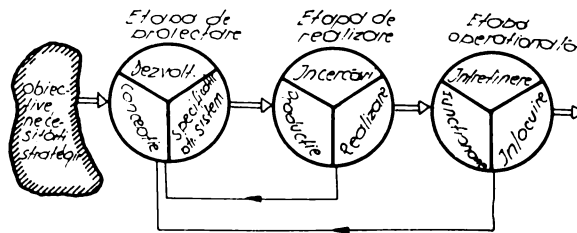


Fig.1.2 Etapele ingineriei sistemelor

Ca o sinteză a definițiilor date de M.I. Pherson, Klir, Lee, Mesaroviici, Wymore, ș.a., un sistem S este reprezentat prin setul:

$$S = \{N, G, F, A, X, PO, Y, T\} \quad (1.1)$$

unde: N este setul obiectelor din mediul înconjurător, $G : N \rightarrow F$ reprezintă corespondența biunivocă a stărilor mediului înconjurător în intrările sistemului; F este setul funcțiilor de intrare pentru sistem; X spațiul stărilor sistemului $A : F \rightarrow X$ funcție de tranziție a stărilor sistemului; $PO : F \otimes X \rightarrow Y$ procesul operațional al sistemului; Y setul posibil al funcțiilor de ieșire ale sistemului; T parametru temporal. Procesul operațional al sistemului este definit de relația fundamentală: $PO : F \otimes Q \rightarrow X$, unde Q reprezintă conexiunile biunivoce dintre proces și rezultatul decompoziției $B : F \otimes X \rightarrow Q$, unde B este o funcție a conexiunilor transversale a stărilor sistemului.

Se apreciază că dinamica procesului de comunicare între analistul de sistem, manager și beneficiar, în studiul de analiză sistemică, există trei categorii de elemente care interacționează și anume: cuvintele, relațiile și expresiile matematice, reprezentarea grafică a rezultatelor (indicând conexiunile logice, secvențe și relațiile între variabilele problemei).

În concluzie, putem spune că noțiunea de sistem, trebuie să se bazeze pe următoarele elemente considerate ca fiind caracteristice:

- conexiunea elementelor interne ale sistemului este mai puternică decât legăturile sistemului cu mediul;
- orice sistem, indiferent de complexitatea sa este un subsistem al unui sistem mai cuprinzător;
- unitatea și complexitatea unui sistem presupune o anumită ordine în așezarea și funcționarea elementelor sale;
- orice sistem este caracterizat printr-o anumită structură, aceasta putând fi privită ca atare, adică sub formă exactă de reunire a tuturor subsistemelor până la cele mai mici elemente componente, sau poate fi privită prin urmărirea diferitelor structuri caracteristice.

- orice sistem poate avea o mulțime de bucle de reacție care se închid pe anumite porțiuni de proces, pe anumite porțiuni de sistem sau chiar la nivelul întregului sistem.

Cunoașterea relațiilor între elementele componente ale sistemului condiționează cunoașterea sistemului.

Ca descompunere în subsisteme menționăm că un sistem total este format dintr-un sistem de coordonare și control și subsistemele de aprovizionare, transport, întreținere și operațional. Pe de altă parte orice sistem total, funcțional apare ierarhic format din sistemul decizional, informațional și operațional, iar din punct de vedere structural ca sistem tehnic, tehnologic, organizatoric, economic și de personal.

1.1.2. Dinamica sistemelor

Dinamica sistemelor este, un ansamblu de metode și tehnici de analiză a sistemelor complexe multi variabile, bazate pe explicitația interacțiunilor între diferitele părți componente subsisteme ale acestora. În concepția prezentată are câteva trăsături esențiale:

- constituie un mod de reprezentare spațio-temporală a sistemelor, în sensul că permite analiza evoluției acestora atât din punct de vedere spațial cât și dinamic;

- este o metodă de analiză a structurii unui sistem, bazat pe conceptul cibernetic de buclă închisă, de interacțiune între variabilele interne, pe de o parte și între sistem și mediul înconjurător pe de altă parte;

- relațiile între variabile fiind explicitate, dinamica sistemelor permite elaborarea unei strategii de dezvoltare a sistemului, analizând efectele modificării structurii acestuia. Variabilele de interacțiune fiind atât de natură materială cât și informațională, există interesul de a acționa mai întâi asupra acestora din urmă, pentru a modifica cu minim de efort structura și dinamica sistemului;

- permite reprezentarea intuitivă a sistemelor studiate și prin aceasta face posibilă participarea specialiștilor din alte domenii (matematica, fizica, termodinamică, economie etc), la elaborarea și utilizarea modelelor corespunzătoare, la înțelegerea și aprofundarea problemelor puse;

-- implică descompunerea unui sistem complex în mai multe subsisteme în interacțiune și luarea în considerare a efectelor acțiunii unui subsistem asupra celorlalte.

1.1.3. Principiile sistemelor

Pentru abordarea cât mai corectă și exactă a sistemelor s-au statuat următoarele principii de bază aplicabile la F.F.:

Principiul 1 al coordonabilității (M. Mesarovic 1970), conducerea (reglarea) ierarhizat descentralizată a sistemelor compuse din mai multe subsisteme interconectate, poate fi aproape tot atât de bună ca și conducerea (reglarea) centralizată, cu condiția să existe un sistem coordonator. Acest principiu pornește de la concluzia, care de altfel decurge din experiență, că o conducere (reglare) centralizată a unui sistem chiar dacă este posibilă nu este avantajoasă, din cauza complexității datorită multitudinii de bucle de reacție (feed-back), neliniarităților și a altor factori. Pe de altă parte nici conducerea descentralizată nu este o soluție din cauza tendinței inerte, proprii subsistemelor, de a rezolva propriile lor probleme fără a ține seama de cerințele celorlalte subsisteme. Apar așadar la nivel local situații conflictuale care reclamă existența unui sistem coordonator.

Principiul al 2-lea: al incompatibilității (L.A. Zadeh 1973).

Pe măsură ce complexitatea sistemului crește posibilitatea de a descrie comportarea sa, cu ajutorul unui model riguros scade pînă la un nivel dincolo de care precizia și relevanța sa exclud reciproc.

Acest principiu are importanță în ceea ce privește modelarea sistemelor complexe. Modelarea matematică duce la modele de dimensiuni mari. Inșă oricît de mari ar fi aceste modele ele nu pot surprinde toate interacțiunile între elementele sistemului și între acestea și exosistem. Tendința de a elabora modele cu grad de precizie din ce în ce mai mare, dar și mai complexe, se lovește nu numai de imposibilitatea rezolvării problemelor ci și de impedimentul relevanței acestora. Apare așadar ca naturală reducerea taliei modelelor de mari dimensiuni pînă la asigurarea unui raport precizie relevantă corect.

Principiul al 3-lea de optimalitate în interacțiune (F. Stănculescu 1981).



Dacă un sistem mare, compus din mai multe subsisteme interconectate și un sistem coordonator este optimal, atunci fiecare subsistem este optimal în interacțiune și invers, dacă un subsistem al unui sistem mare nu este optimal în interacțiune, sistemul mare în ansamblu nu este optimal.

Conceptul de optimalitate în interacțiune desemnează acea stare a unui subsistem care, deși se abate de la optimul ideal (pe care subsistemul l-ar putea atinge dacă ar fi izolat) asigură optimul global al sistemului mare în ansamblu. De asemenea, clar că neoptimalitatea în interacțiune a unui subsistem atrage după sine prin intermediul interacțiunilor și pe aceea a celorlalte subsisteme și în final neoptimalitatea sistemului mare în ansamblu.

Principiul al 4-lea de incertitudine (F. Stănciulescu 1981).

Intr-un sistem mare, compus din mai multe subsisteme interconectate, starea X_i , a subsistemului i și interacțiunea sa V_i cu celelalte subsisteme pot fi simultan determinate numai pînă la un anumit grad de acuratețe.

De fapt esența principiului de incertitudine decurge din interacțiunea subsistemelor unui sistem mare între ele, cît și între acestea și mediul exterior, (exasistem) și cu cît această interacțiune este mai puternică, cu atît incertitudinea este mai mare. În felul acesta incertitudinea este tratată ca o componentă structurală a sistemului mare, care permite acestuia să se adapteze la schimbările mediului exterior. O structură deterministă a unui sistem mare ar asigura adaptarea optimă a sa la condiții date, dar ar face imposibilă adaptarea la condiții schimbate de mediu.

1.2. Analiza în concepția sistemică a procesului de sudare cu F.F.

Ca orice sistem total, procesul de sudare cu fascicul de electroni poate fi analizat pe subsisteme (tehnic, tehnologic, organizatoric, economic, personal) căutînd să evidențiem aplicarea tehnicilor specifice ingineriei sistemelor.

1.2.1. Subsistemul tehnic (instalația de sudare [3])

O instalație cu fascicul de electroni se compune din următoarele subsisteme cum se prezintă figura 1.4.

- subsistem tun electronic
- subsistem înaltă tensiune
- subsistem instalația de vidare
- subsistem incintă și dispozitive de manipulare a nasei
- subsistem alimentare și instalații auxiliare
- subsistem comandă și control.

Cum rezultă din principiile ingineriei sistemelor fiecare subsistem, este la rândul său un sistem format din mai multe subsisteme, care va putea fi optimizat în cele trei etape de proiectare realizare și etapa operațională.

1.2.2. Sistemul tun electronic

Tunul electronic ca sistem la rândul său se divide în subsistemele:

- subsistem electrostatic
- subsistem electromagnetic
- subsistem fascicul de electroni.

Urmind analiza sistemică la rândul lor, fiecare din aceste subsisteme pot fi analizate ca sisteme, care desigur în primul rând ridică probleme în proiectare, sinteza tunurilor electronice fiind dezvoltată în institute de cercetări specializate.

Preluăm în analiză partea electrostatică a tunului privită ca sistem, evidențiind subsistemele lui componente, problematica proiectării, realizării și dezvoltării, respectiv interacțiunile dintre subsisteme.

După cum este prezentat în fig.1.5 partea electrostatică a tunului cuprinde anodul, catodul, electrodul de comandă (Wehnelt) și fasciculul de electroni format din trajecto-

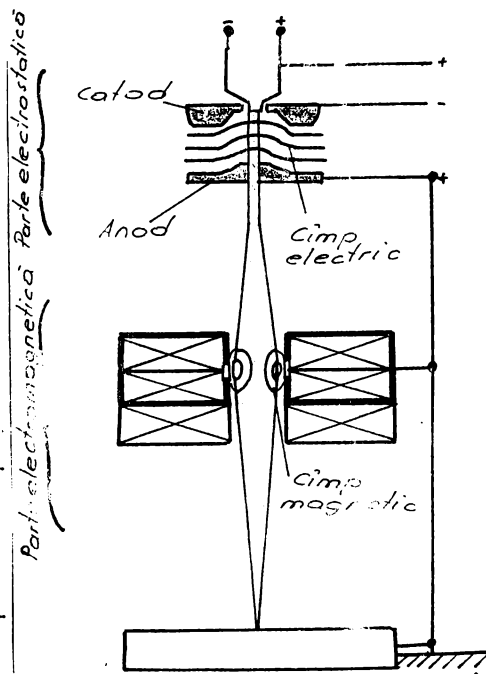


Fig.1.3 Tun electronic

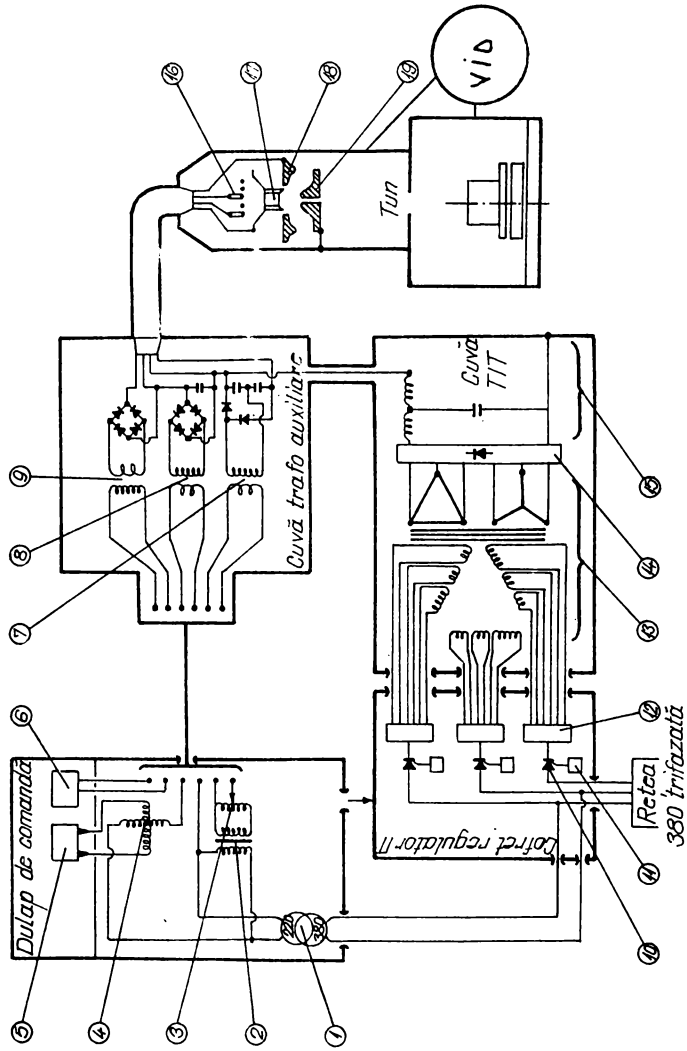


Fig.1.4 Sistemul tehnic (instalatiya de sudare cu T.T.T.)

rile elementare ale electronilor.

Din punct de vedere constructiv la rîndul său, fiecare sub-ansamblu constituie un sistem separat. Cum se remarcă în fîgura 1.6 de exemplu, catodul "Back bombardment" este la rîndul său un tun electronic separat care reușește să încălzească catodul de tip buto din tantal.

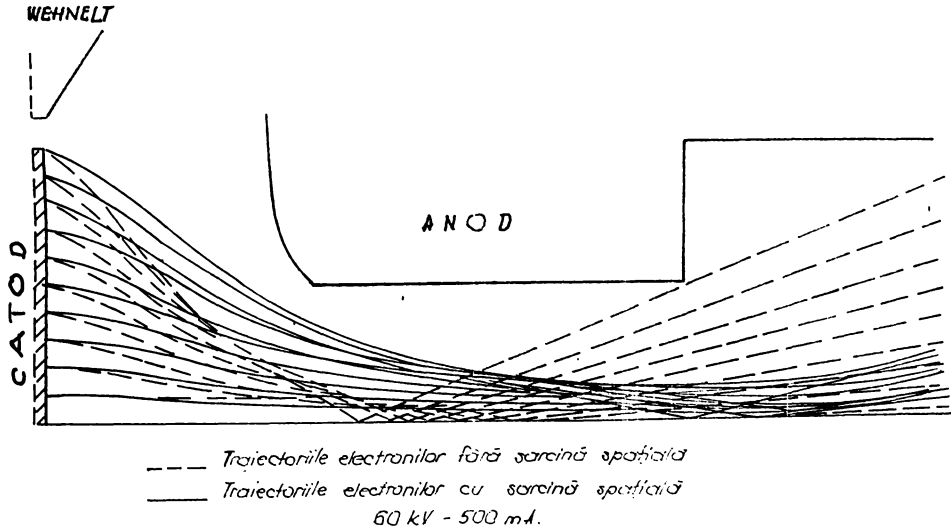


Fig.1.5 Sistemul electrostatic

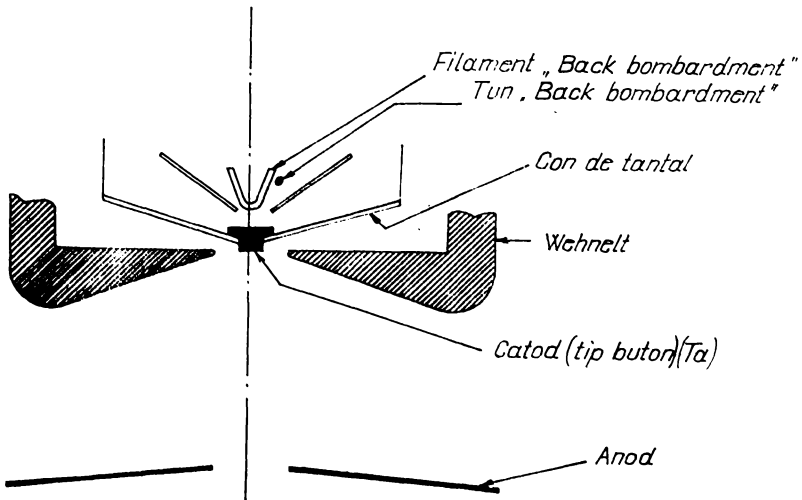


Fig.1.6 Sistemul catod "Back bombardment"

Acest tun va avea un propriu sistem de încălzire, alimentare, comandă care va conduce după legi proprii acest tun, ce guvernează funcționarea optimă a tunului în ansamblul său.

1.2.3 Etapa de proiectare sistematică

În faza de proiectare a tunului un prim studiu de calcul se face privind geometria elementelor componente, căutându-se soluții constructive optime. (fig.1.7).

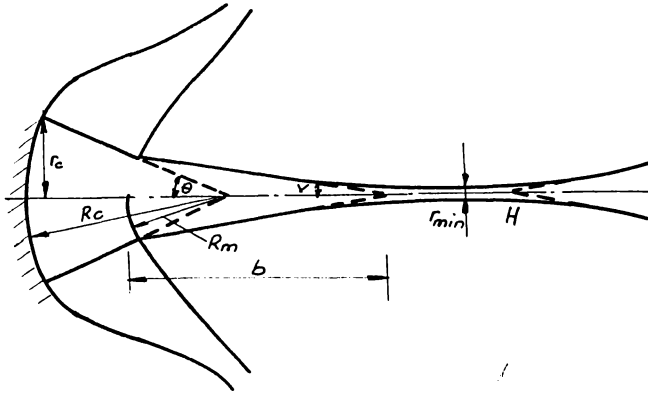


Fig.1.7 Geometria tunului

Cum am văzut analiza, modelarea și sinteza constituie instrumente de lucru ale ingineriei sistemelor, rezultatele acestora contribuind după parcurgerea mai multor pași imperativ la stabilirea variantei optime (fig.1.8).

1.2.4. Etapa de realizare

Realizarea practică a diverselor soluții constructive se va face și funcție de aplicația concretă, de procesul tehnologic ce urmează a fi implementat în producție, de cerințele implicate de produs pe criteriul cost eficiență.

În exploatare în etapa operațională fiecare subsistem va trebui să corespundă cerințelor de calitate impuse procesului tehnologic și pentru sistemul electrostatic al tunului se impune clasă bună de izolație la înaltă tensiune, fiabilitate și mentenanță cât mai bună, precum și o productivitate mare.

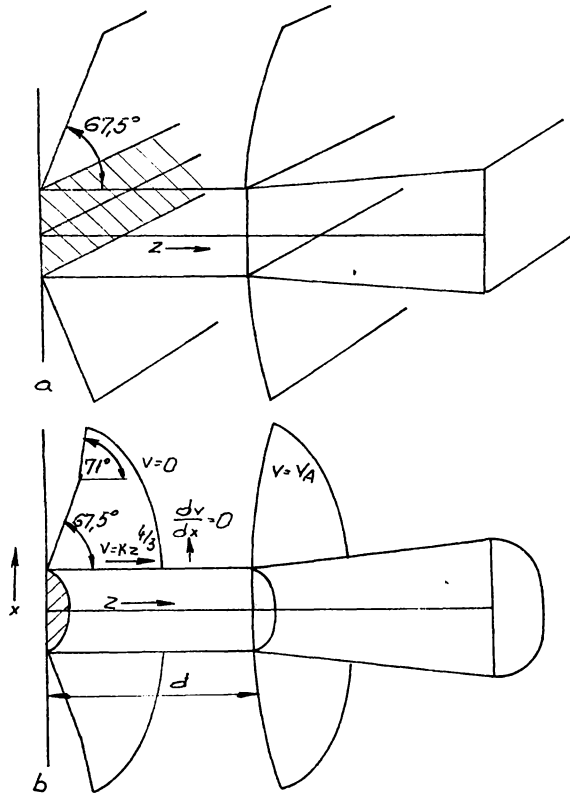


Fig.1.8 Modelarea fascicului de electroni folosind geometrie plan paralelă (a) sau cilindrică (b)

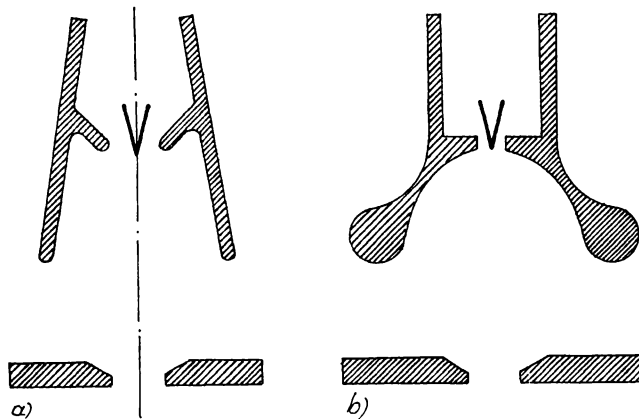


Fig.1.9 Soluții constructive de electrozi

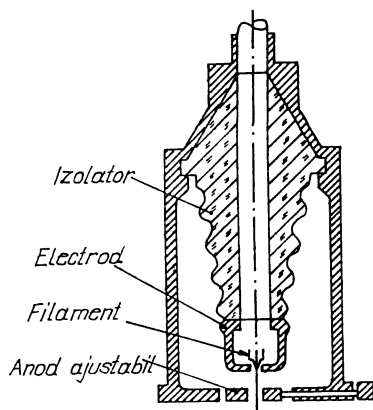


Fig.1.10 Soluția constructivă funcțională a sistemului electrostatic

1.2.5. Etapa operațională

Desigur optimul sistemului (conform principiului interacțiunii) se poate obține atât prin proiectare optimală a fiecărui subansamblu cât și mai ales a sistemului pe tot ansamblul, luându-se în considerare optimizarea interacțiunii între subsisteme (optimal global).

Studiul influenței potențialului electrodului de comandă asupra funcționării tunului se poate observa în figurile 1.11 și 1.12. În figura 1.11a se observă că electrodul de comandă nu este polarizat, tunul se comportă ca un tub de tip diodă ca și cum Wehneltul nici nu ar exista. Pe măsură ce se negativează potențialul pe Wehnelt (fig.1.11b, 1.11c) dioda începe să-și "închidă" emisia pe catod, astfel realizându-se și "blocarea" tunului.

Influența polarizării electrodului de comandă asupra traiectoriei electrozilor este reprezentată și în figura 1.12.

Prin exemplele prezentate, ca o concluzie evidentă, rezultă că aplicarea principiilor ingineriei sistemelor vor putea servi la optimizarea procesului tehnologic privit ca sistem. Desigur, această abordare va servi în toate cele trei etape (proiectare, realizare, operațională) mai ales când dorim să utilizăm tehnica de calcul. Actualmente tehnica de calcul ne va folosi atât în faza de proiectare (proiectare asistată figura 1.13) cât și în faza operațională, în conducerea optimală a procesului cu ajutorul calculatoarelor de proces.

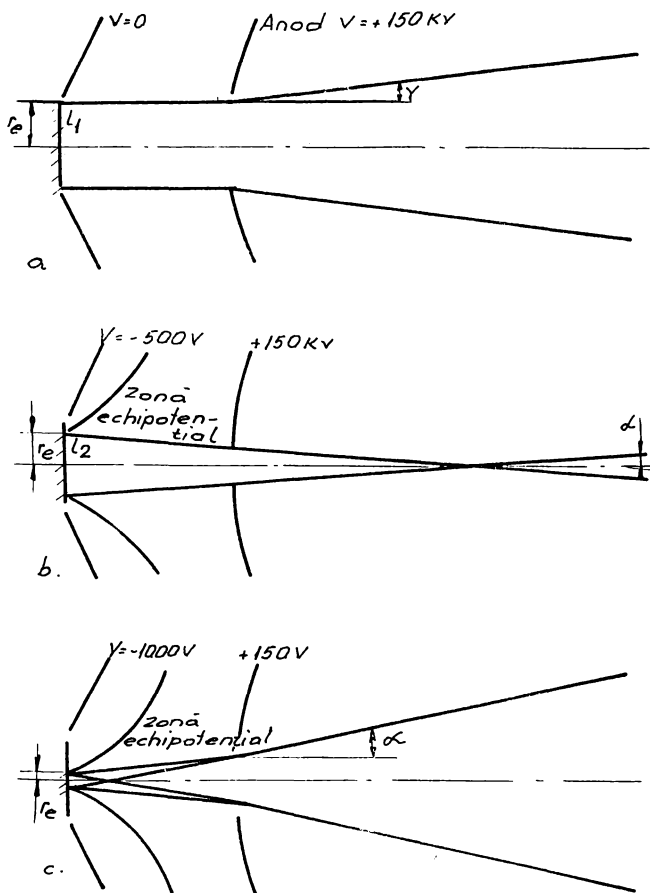


Fig.1.11 Influența negativizării Wehneltului asupra "închiderii" emisieii catodice

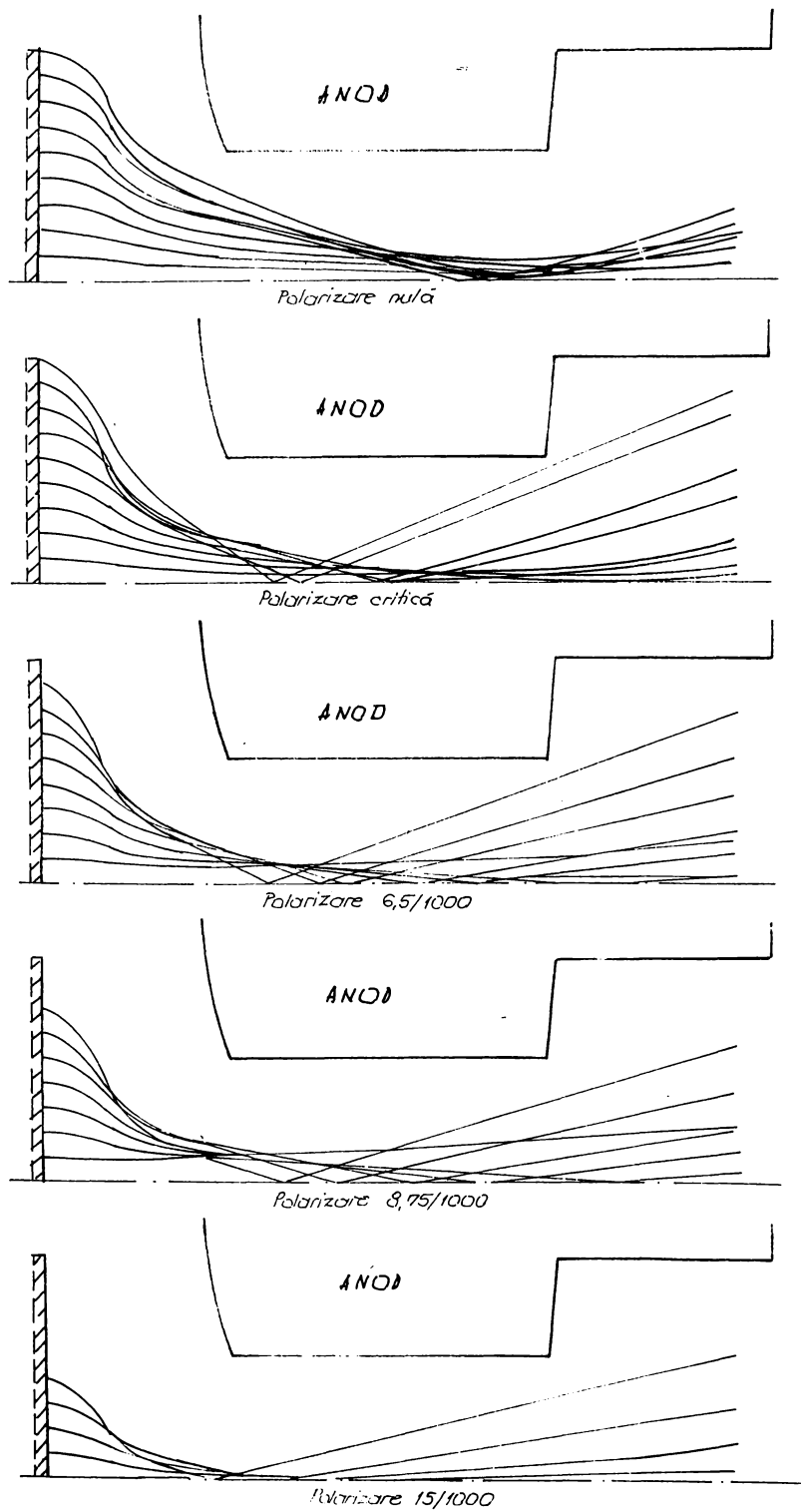


Fig.1.12 Influența polarizării Wehneltului asupra traiectoriei electronilor

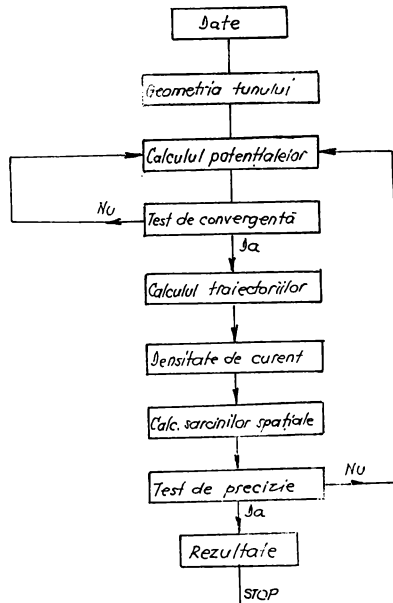


Fig.1.13 Ordinograma de calcul a tunului cu F.E.

1.3. Posibilități de conducere optimă a procesului tehnologic de sudare cu F.E. utilizând principiile și concepțiile ingineriei sistemelor

1.3.1. Abordarea sistemică a procesului de conducere, coordonare și control

După cum am prezentat în paragraful anterior, utilizând metodele și tehnicile de analiză proprii ingineriei sistemelor, procesul luat ca sistem va fi divizat pe subsisteme și se va avansa pînă la sistemul de nivelul cel mai scăzut, de bază, care practic este indivizibil, constituind element de sistem fizic (reper). Pe partea tehnologică analiza trebuie făcută pînă la nivel de operație. Apoi utilizînd sinteza și analiza interacțiunilor între subsisteme se poate trece la stabilirea unor strategii de conducere, și control pentru fiecare subsistem și apoi conducerea, coordonarea și controlul sistemului proces tehnologic privit ca sistem total. În cadrul sistemului total, sistemul operațional (so) va fi diferențiat de procesul operațional (sudarea cu F.E.) și sistemul de control al acestuia. Sistemul de întreținere are misiunea

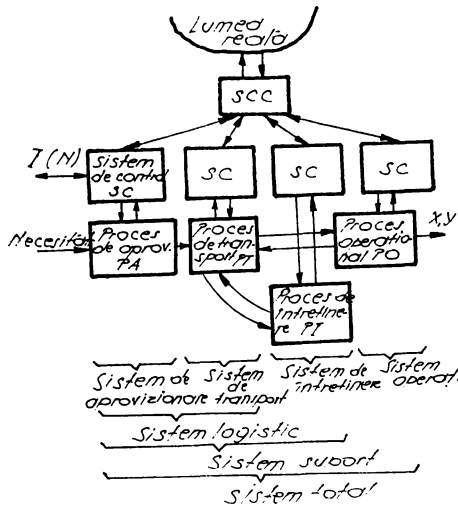


Fig.1.14 Conducerea unui sistem total

și este astfel proiectat de a ține în stare de funcțiune sistemul fizic considerat, acesta din urmă operînd la un nivel acceptabil din punct de vedere al eficienței lui. Sistemul de transport (ST) asigură manipularea resurselor, materialelor, echipamentelor, echipamentelor care au trecut prin sistemul de întreținere în vederea distribuției lor către sistemul total. Sistemul de aprovizionare (SA) este proiectat

pentru a evalua nivelul necesar al resurselor, procurarea și alocarea lor, necesare funcționării fără întrerupere a întregului sistem sau a unor părți din acesta. La nivelul superior, sistemul de control și coordonare, cu scopul de a armoniza funcționarea globală a sistemului total controlînd fiecare sistem în parte, prin intermediul sistemelor proprii de control (SC).

Realizarea practică a oricărui proces tehnologic presupune pe lîngă existența condițiilor materiale necesare executării acestuia (instalații tehnologice, materie primă, energie etc) și desfășurarea unei activități de control, reglare și conducere a procesului.

Necesitatea unei astfel de activități este impusă de faptul că, în general, desfășurarea proceselor tehnologice în concordanță cu prescripțiile și scopul pentru care au fost concepute, implică o coordonare și o corelare a diverselor operații fizice asupra unor elemente ale instalației tehnologice în condițiile existenței unor factori perturbatori și interacțiunea cu alte procese.

1.3.2. Considerații generale

Prin definiție conducerea reprezentînd o succesiune de acțiuni premeditate asupra unor elemente ale unui proces, în concordanță

cu particularitățile și scopul pentru care a fost elaborat procesul vom asista la două genuri de acțiuni:

- prelucrarea informației referitoare la proces în vederea determinării deciziilor și acțiunii de conducere a acestuia, avînd la bază o anumită strategie

- organizarea executării și realizarea acțiunilor de conducere adoptate care se materializează sub forma unui flux de comenzi asupra procesului avînd ca efect dirijarea acestuia.

În ultimă instanță toate acțiunile de conducere din cadrul unui sistem trebuie astfel organizate încît să conducă la optimizarea parametrilor de funcționare ai sistemului după una sau mai multe funcții obiectiv (conducere optimală). Conducerea se poate realiza sub modalități foarte variate și este cu atît mai complexă cu cît procesul este mai amplu, mai rapid și are mai multe posibilități de desfășurare.

Sistemul de control (SC) va fi constituit dintr-o unitate de decizie (UD), procesul informațional asociat (PI), precum și din procesul de implementare (IM) utilizînd definițiile, conceptele și comentariile anterioare, sistemul de control în cadrul ingineriei sistemelor este perturbat prin:

$$SC : (N \otimes X \rightarrow \phi) \rightarrow D \rightarrow M \Rightarrow f(PI, UD, IM) \quad (1.2)$$

$$\text{sau prescurtat: } SC : N \otimes X \xrightarrow{G} M^* \quad (1.3)$$

în care: ϕ este fluxul informațional, D setul deciziilor admisibile, M setul rezultatelor posibile, M^* setul optimal de control al sistemului, G funcția de performanță.

Funcție de tipul de control putem exprima funcția de performanță în următoarele condiții:

a) control continuu pentru sistem (pentru optimizare se utilizează tehnici din teoria controlului optimal)

$$G(t) = \max_{m(t)} \int_{t_i}^{t_f} g(x, n, y, m, t) dt \quad (1.4)$$

b) control deseret (se utilizează programarea dinamică, alte tehnici iterative)

$$G(r) = \max_{m(r)} \{ G_{\max(r-1)} + g(r)(x, n, u, m, r) \} \quad (1.5)$$

c) proiectarea optimă

$$G = \max_x \left\{ E(x, n, u, m, t) \mid L(x, m, t) \right\} \quad (1.6)$$

unde E reprezintă eficiența sistemului, iar L costul acestuia (figura 1.14).

Un rol important în proiectarea sistemelor îl joacă și organizarea acestora. Recunoașterea și evaluarea structurilor simple, vor fi punctul de plecare în analiză, ca apoi prin sinteză să treacă la proiectarea sistemului complex, a liniilor de producție tehnologică, la conducerea proceselor industriale prin rețele de calculatoare. Evaluarea strategiilor de cooperare între sisteme, în vederea alegerii din lanțul de hotărâri și decizii a variantei optime, constituie cheia pentru realizarea obiectivelor cu efecte maxime și eforturi minime.

Funcția obiectiv pentru întregul sistem tehnologic va fi:

$$G_{ST} = f(G_{\text{system planificare}}, G_{SO}, G_{\text{system suport}}) \quad (1.7)$$

Valoarea optimă se exprimă prin funcționale:

$$G_{ST} = \min_{M_{IS}} \int_{t_0}^{t_j} G_{SP}(X_{SP}, M_{IS}, K) dt + \max_{M_{SO} M_{\text{sis. suport}}} \left\{ E \mid L(X_{SO}, S_{\text{sis. suport}}, M_{SO}, M_{\text{sis. suport}}, K, U) (t_j - t_e) \right\} \quad (1.8)$$

unde G_{SP} va fi funcția de performanță a sistemului de planificare, X_{SP} stările acestui sistem, M_{IS} modelul rezultatelor din ingineria sistemelor. Cel de al doilea termen al funcționalei se referă la măsura de tip cost-eficiență.

Modelul de mai sus ține seama de faptul că sistemele reale operează în medie cu perturbații naturale și artificiale (ex.: greșeli de manevrare și conducere a instalației), incertitudinea în realizarea schemei de montaj, operare și exploatare a instalațiilor complexe, interacțiunea cu mediul ambiant, riscul și perturbările la întreruperi și nivel calitativ scăzut. Se pot impune restricții suplimentare de tip cost sau timp, ca de exemplu:

$$\sum_j r_j \leq T_c; \quad \sum L_{ij}(r_j) \leq L_{\max} \quad (1.8)$$

unde r_j reprezintă timpul pentru care un sistem se poate afla în starea j iar $L_{ij}(r_j)$ costul unei tranziții între două stări ale sistemului. Parametrii de restricții t_c și L_{\max} reprezintă momentul

de date în funcțiune a instalației și respectiv limita superioară a cantităților de resurse disponibile pentru realizarea acesteia.

La proiectarea sistemelor totale trebuie să se aibe în vedere faptul că întâi se realizează proiectarea părților componente, ale acestuia, urmînd ca ulterior să se treacă la "optimizarea" asamblării și funcționării plecînd de la criteriile de decizie și utilitate prestabilite.

Din marea varietate a acestor modalități și forme urmează să se aleagă cea conducere care se dovedește a fi cea mai potrivită condițiilor, particularităților și exigențelor procesului condus, recurgînd la metodele și tehnicile specifice ingineriei sistemelor.

1.3.3. Optimizarea conducerii sudării cu F.E.

În sudarea cu fascicul de electroni intervin următorii parametri de sudare:

- a. Tensiunea de accelerare U .
- b. Curentul fasciculului de electroni, I_p .
- c. viteza de sudare, v_s .
- d. Curentul de focalizare, I_f .
- e. Distanța focală, d_f .
- f. Diametrul fasciculului, d .
- g. Distanța de tir (distanța dintre partea inferioară a tunului electronic și piesa de sudat), d_t .
- h. Presiunea în camera tunului, P .
- i. Presiunea în camera de sudare, P_s .
- j. Poziția focarului față de suprafața piesei
- k. Date privind oscilarea fasciculului (forma oscilațiilor, direcția de oscilare, amplitudinea și frecvența oscilațiilor).
- l. Date privind deflexia fasciculului pentru sudare (direcție, unghi, de deflexie).
- m. Date privind funcționarea în regim de impulsuri (durata impulsului, durata pauzei, forma impulsului).
- n. Date privind sudarea circulară (poziția începutului sudării, durată de creștere, slop-in, respectiv scădere, slop-cut, a curentului de sudare, porțiunea de suprapunere a cusăturilor).
- o. Date privind sudarea cu material de ados (natura materialului, dimensiunile sale, viteza de introducere a sa în cusătură).
- p. Tratamentul termic înainte de sudare.

556335
352 e

r. Tratamentul termic după sudare.

s. Deschiderea rostului (la sudarea cu fascicul de electroni se lucrează numai cu rosturi neprelucrate).

Acești parametrii depind de materialul de bază și de geometria pieselor, respectiv îmbinării sudate. Incercînd o clasificare, parametrii tehnologici independenți de geometria pieselor (IT-G) sînt cei de la punctele: a, b, c, g, j, l, m, n, s, iar parametrii tehnologici dependenți de materialul de bază (PT-MB) cei de la punctele i, k, o, p, r, t. In ceea ce privește parametrii de la punctele d, e, f, ei depind atît de MB cît și de G. Parametrul h (presiunea în tun) este determinat, în primul rînd de caracteristicile tunului de electroni, practic, nevariînd în timpul sudării.

Materialul de bază ce se sudează cu fascicul de electroni intervine prin următoarele caracteristici: compoziție chimică, mod de elaborare, constantele de material, temperatura de topire, respectiv de fierbere (la presiunea de 10^{-4} torr), căldura specifică, densitatea, căldura latentă de topire și vaporizare, conductibilitatea termică, difuzivitatea, presiunea de vapori. Pentru a putea conduce procesul de sudare cu fascicul de electroni astfel ca să se poată alătura o îmbinare de o geometrie și calitate dorită este necesar să se decodizeze influența fiecărui factor ce intervine la sudate.

Pe baza calculărilor teoretice și a rezultatelor investigațiilor experimentale se poate face o optimizare a parametrilor principali de sudare, care apoi să fie preluați în sistemul de reglare sau conducere de proces.

1.2.4. Sisteme de calcul timp real pentru conducerea sudării cu F.E.

Sistemul de calcul (fig.1.15) este interfazat direct cu procesul tehnologic prin intermediul unor convertoare de semnal care permit sistemului de calcul să măsoare anumite mărimi din procesul tehnologic și să impună anumite comenzi asupra procesului. Informațiile de stare despre proces sînt introduse în sistem prin exploatarea ciclică a instrumentelor (traductoarelor) de măsurat datele preluate sînt transformate, verificate validate de programe adecvate (bloc 1) apoi sînt interpretate și pe baza unor algoritmi adecvați (bloc 3) se determină ce comenzi (bloc 4) trebuie aplicate

procesului pentru a determina desfășurarea acestuia după strategia stabilită. Atât culegerea datelor de intrare cât și efectuarea calculelor pentru determinarea acțiunilor de comandă au loc cu o anumită periodicitate, sau la anumite momente de timp, în care scop un asemenea sistem dispune de un ceas de timp real, capabil de a determina executarea unor anumite programe la anumite momente de timp (executând întreruperea altor programe mai puțin urgente) și de a informa la cerere informații despre timp.

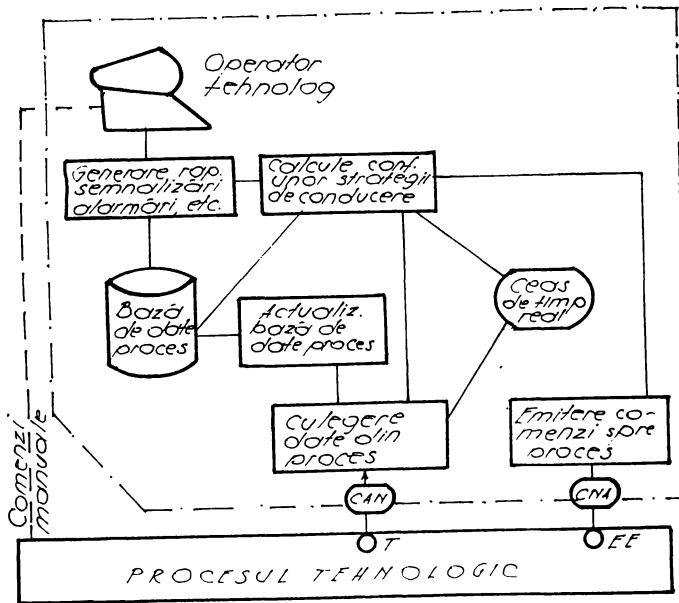


Fig.1.15 Schema de principiu de conducere a procesului tehnologic cu sistem de calcul TI

Pentru urmărirea istoricului desfășurării procesului, precum și a strategiei sistemul asigură păstrarea și actualizarea unei baze de date (bloc 7) precum și programe dialog cu operatorul tehnologic (bloc 5) care permit acestuia să consulte datele, eventual să simuleze efectul unor eventuale comenzi și în funcție de aceasta să se efectueze unele modificări în programele sistemului.

Din cele prezentate anterior rezultă că apar probleme specii -

face referitoare la:

- echipamentele de calcul; interfețe de cuplare la proces, terminale specializate sisteme de întreruperi ceas de timp real structuri centralizate sau distribuite, structuri cu fiabilitate sporită,

- programele folosite: sisteme de operare în timp real, limbaje de programare a aplicațiilor în timp real, metode și tehnici pentru programarea (ingineria programării) aplicațiilor în timp real,

- proiectarea și implementarea aplicațiilor în timp real. Cu cât sistemele sînt mai complicate costul este corespunzător mai ridicat dar și productivitatea, complexitatea și calitatea produselor crește, devenind în final la eficiențe scontate.

1.4. Optimizarea tehnico-economică a procesului tehnologic de sudare cu F. E.

1.4.1. Problematika generală a optimizării sistemelor de tip proces tehnologic

În cazul sistemului proces tehnologic (PT) se pun întrebările?

- care sînt variantele posibile de PT?
- care sînt criteriile de selectare a variantei optime?
- cum se poate adapta practic varianta optimă?

căroror analistul de sistem le va formula răspunsul în condițiile următoarelor restricții de bază:

- posibilitățile existente de realizare concretă a PT;
- încadrarea între punctul de vedere optimist și pesimist ce survine în desfășurarea procesului, eventual stabilirea gradului de incertitudine (probabilitate) și risc.

Optimizarea ansamblului proces tehnologic va trebui să răspundă unor funcții economice obiective. Pe baza teoriei unităților în procesul decizional, se vor produce funcțiile obiectiv, soluția aleasă va prezenta un maxim global, valabil în condițiile de spațiu și timp limitate.

Așa cum s-a arătat, alegerea unei soluții optimale de proiectare a sistemelor necesită considerarea unui set complet de parametri, mărimi ca: eficiența sistemului, utilitate, valoare, parametri tehnologici de calitate etc. Într-un model simplificat

de analiză se pot restrânge în mărimi de tip: cost-eficiență. Așadar eficiența unui sistem se poate defini ca măsura în care acesta performează la parametrii de proiect, sau îndeplinește, corespunzător obiectivele pentru care a fost construit.

Să considerăm că la realizarea unui sistem concurează un număr k de tipuri de resurse, eficiența sistemului este de formă $e(r_1, r_2, \dots, r_k)$, iar costul este $c(r_1, r_2, \dots, r_k)$ unde r_i reprezintă cantitatea de resurse de tip i utilizate la realizarea sistemului.

Se pot defini următoarele trei probleme:

- a) Max $e(r_1, r_2, \dots, r_k)$ cu setul de resurse și $c(r_1, r_2, \dots, r_k) \leq C$
 $0 \leq r_i \leq R_i \quad 1 \leq i \leq k$ unde R_i este cantitatea maximă de resurse de tip i , iar C cost limită pentru sistem
- b) Min $c(r_1, r_2, \dots, r_k)$ cu setul de restricții $e(r_1, r_2, \dots, r_k) \geq E$,
 $0 \leq r_i \leq R_i \quad 1 \leq i \leq k$ unde E este un nivel mediu pentru eficiența sistemului.
- c) Max $\frac{e(r_1, r_2, \dots, r_k)}{c(r_1, r_2, \dots, r_k)}$ cu setul de restricții
 $0 \leq r_i \leq R_i \quad 1 \leq i \leq k$

Rezultatul procesului de optimizare este un vector k -dimensional (r_1, r_2, \dots, r_k) care satisface unul din criteriile formulate mai sus (fig.1.16).

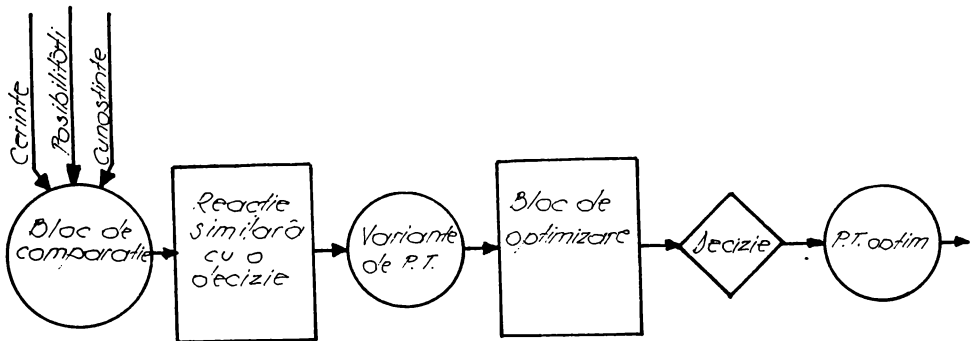


Fig.1.16 Optimizarea procesului tehnologic

În cazul sistemelor tehnologice implementate pe sisteme tehnice complexe de tip serie paralel, cu k componente, cu probabilitatea de defectare p_i a fiecărei componente și costul corespunzător

c_i , funcția de eficiență este dată de funcția de siguranță a sistemului exprimată sub forma:

$$e(r_1, r_2, \dots, r_k) = \prod_{i=1}^k [1 - (1 - P_i)^{r_i}] \quad (1.9)$$

iar criteriul de cost este dat de relația:

$$c(r_1, r_2, \dots, r_k) = \sum_i c_i r_i \quad (1.10)$$

Așadar, eficiența unui sistem este un scalar, și evident cu cât valoarea acestuia este mai mare, eficiența sistemului este mai ridicată. Adesea modelele de tip cost-eficiență depind de timp fiind studiate în concepția dinamicii ingineriei sistemelor, într-un proces multicriterial de decizie.

1.4.2. Procesele de decizie

Pentru cazul proceselor tehnologice în care deciziile se iau în condiții de incertitudine, a alege o decizie d_i , v_i dintr-un set posibil de alternative D , astfel ca utilitatea $v_i \in V$ a rezultatului lui să fie maximă, când distribuția probalistică este dată de $P = \{u_j\}$. Relația analitică a procesului de decizie (fig.1.17) este:

$$\langle u | d_i, m_i, P \{u_j\} \rangle = \max_i \sum_j u_{ij} P \{u_j\} \quad (1.11)$$

unde $\langle \cdot | \cdot \rangle$ reprezintă valoarea așteptată a utilității pentru procesul de decizie. Procesul de decizie acționînd în condiții de incertitudine și risc va depinde de estimarea realității, de pregătirea, atitudinea și poziția decidentului față de sistemul investigat.

Unitatea de decizie pentru un proces de decizie este reprezentată de setul:

$$UD = \{ D, \phi, M, U, G \} \quad (1.12)$$

unde D este setul deciziilor admisibile pentru sistem, ϕ setul informațiilor de intrare în sistem, M setul rezultatelor posibile, U setul criteriilor de utilitate definind utilitatea pentru fiecare rezultat, G funcția de performanță pentru sistem.

$$UD : \phi \otimes D \rightarrow M \quad (1.13)$$

$$G : \phi \otimes M \rightarrow U \quad (1.14)$$

Selectarea unei acțiuni de decizie d_i este guvernată de:

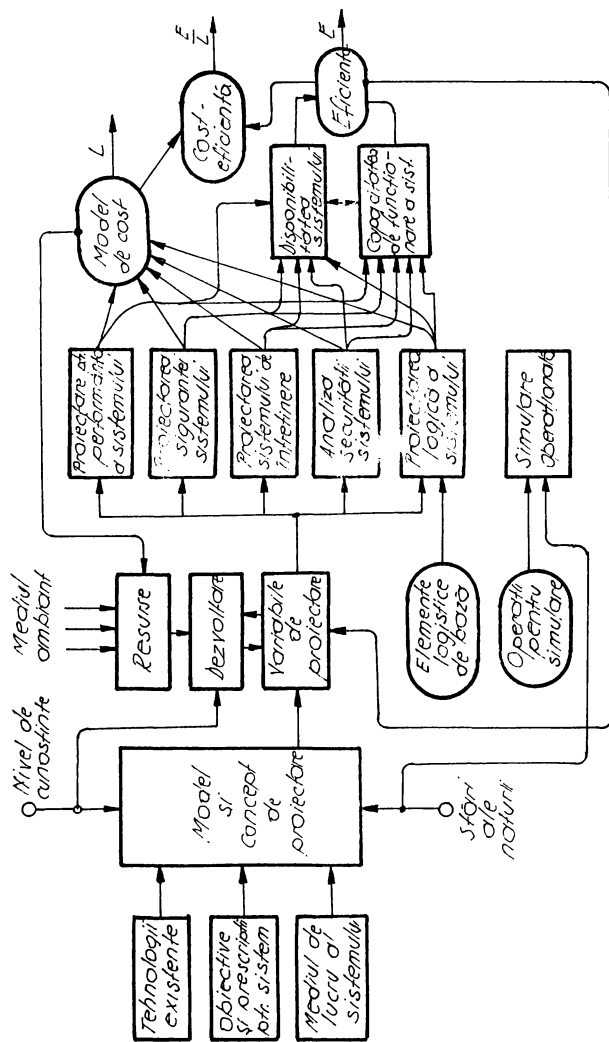


Fig.1.17 Procesul de decizie pentru procese tehnologice

$$g(d_i, m_i, \phi) \geq g(d_i, m_i, \phi) \quad i \neq j \quad (1.15)$$

O politică D pentru un sistem de decizie, este dată de selectarea deciziilor individuale pentru fiecare input informațional posibil astfel ca: $D = \{ (d_{ij}, i_j) \}$, unde $d_{ij} \in D, i_j$.

Procesul informațional va fi o componentă importantă în procesul de management, control și de proiectare a sistemelor complexe. Decidentul are nevoie de o cantitate bogată de informații în vederea evaluării strategiilor lui de conducere, de elaborare a modelelor de decizie, calitative și cantitative. Procesul informațional (PI) este constituit din analizorul de date (AD) și distribuitorul de informații (DI). Analizorul de date (AD) obține și prelucrează datele sau informația H preluată din mediul de lucru pentru necesitățile unui model de decizie (analitic sau calitativ).

$$PI : H(H) \otimes H(X, Y) \rightarrow \phi \quad (1.16)$$

$$DI : \phi \rightarrow \{ \phi_i \} \quad I \quad (1.17)$$

Practic unitatea de decizie va servi sistemul de control, sistemului de coordonare și control, iar pentru sisteme de conducere timp real, vor fi implementate în structurile hardware și software.

1.4.3. Optimizarea procesului tehnologic de sudare cu F.E. cu utilizarea tehnicii de calcul

Pentru optimizarea procesului tehnologic de sudare cu F.E. s-au elaborat programe pe calculator, utilizând tehnicile și metodele teoriei deciziei și utilităților din ingineria sistemelor.

Componentele sistemului proces tehnologic și întreținerea acestor componente sînt bine evidențiate prin matricea spațiului stărilor (fig.1.18).

Studiul sistemelor proces tehnologic necesită introducerea criteriilor de selectare a variației optime de proces tehnologic, fapt ce se traduce prin adoptarea unei matrice a coeficienților de utilizare asociată matricei a_{ij} și notată sintetic K_{ij} .

Se face remarcă acceptării discuției despre calitatea unui proces tehnologic, numai dacă se specifică funcția optimizată și este puțin probabil ca un același proces tehnologic să poată optimiza în valoare absolută toate funcțiile obiective.

Este însă posibil ca pe baza teoriei unităților să se pondereze funcțiile obiectiv și să se aleagă o soluție care deși nu

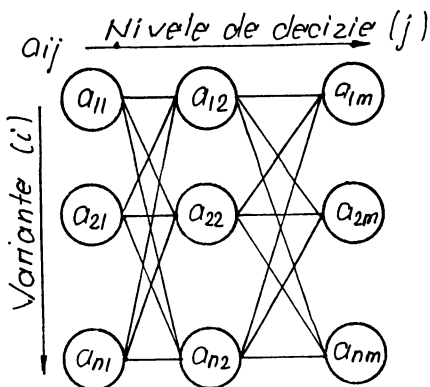


Fig. 1.18 Interacțiunea componentelor

reprezintă optimul nici unei soluții, să reprezinte totuși un optim global valabil în condiții de spațiu și timp limitate.

Cu foarte puține excepții deciziile tehnologice se încadrează în clasa deciziilor multidimensionale (multicriteriale), multidimensionalitatea caracterizând starea de decizie cu luarea în considerare a mai mul-

tor criterii simultane. Fiind vorba de un proces complex de decizie se vor compara și clasifica elementele unei mulțimi de variante $M_i = (M_1, M_2, \dots, M_n)$ ținând seama de n puncte de vedere (criterii) $X_i = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ în scopul găsirii unei submulțimi omogene de elemente precum și a stabili o ierarhizare a acestora. Fiecărui criteriu $X_j = (j=1, n)$ i se va asocia un coeficient de importanță C_j astfel că:

$$\sum_{j=1}^n C_j = 1 \quad (1.18)$$

Prin coeficientul de importanță, decidentul tehnologic accentuează importanța anumitor criterii în procesul de decizie.

Analiza unui element M_i , din punct de vedere X_j duce la un rezultat b_{ij} , care poate fi o valoare numerică, o notă atribuită elementului M_i sau pur și simplu o apreciere calitativă (rău, bun, foarte bun, etc).

Fiecărui element b_{ij} i se poate asocia o notă de apreciere a_i care poate fi normalizată la o anumită scară.

Elementele și criteriile împreună cu rezultatele se transpun într-un tablou (fig. 1.19).

Se poate calcula coeficientul de coordonanță

$$c(M_i, M_n) = \frac{\sum_{i=conc} k_j}{n \sum_{j=1} k_j} \quad (1.19)$$

j = concordant pentru criteriile la care $a_{ij} \geq a_{nj}$ și coeficientul de discordanță

0, dacă $a_{hj} < a_{gj}$, $j=1, n$

| | | | | |
|----------|----------|----------|-------|----------|
| | X_1 | X_2 | | X_m |
| M_1 | a_{11} | a_{12} | | a_{1m} |
| M_2 | a_{21} | a_{22} | | a_{2m} |
| \vdots | \vdots | \vdots | | \vdots |
| M_n | a_{n1} | a_{n2} | | a_{nm} |

$d(M_g, M_h)$

$$\frac{1}{d} \max \{ a_{hj} - a_{gj} \}$$

unde d reprezintă ecartul maxim între valorile stărilor (diferența maximă dintre valorile a_{ij} ale coloanei j).

În mulțimea M se introduce o relație de surclasare definită astfel: o strategie M_i surclasează o strategie M_k dacă $c(M_i, M_k) = p$ și $d(M_i, M_k) = q$, unde p și q sînt

Fig.1.19 Tabloul rezultatelor și atributelor

valori de prag alese de decident și cuprinse între 0 și 1, p apropiată de 1, iar q apropiată de 0.

Procesul tehnologic de sudare cu F.E. se caracterizează prin faptul că prelucrarea materialului depinde atât de unele termici (F.E.) cât și de material (oțeluri speciale în cazul nostru), dar mai ales de interacțiunea dinamică a elementelor din sistemele tehnice și tehnologice sînt esențiale pentru stabilirea unei variante optime.

Pentru procesul tehnologic ne stabilim pe următoarele criterii de selectare:

- calitatea cusăturii sudurii
- productivitatea procesului
- viteza de sudare
- consum specific (energie liniară)
- uzura catodului.

Primele trei criterii implică un maxim iar următoarele două un minim pentru optimalitate.

De asemenea pe parcursul desfășurării procesului tehnologic dorind să optimizăm pe unele criterii vom înrăutăți performanțele pe alte criterii.

Pentru calcul vom stabili coeficienți de importanță C_i pentru fiecare criteriu, astfel că $C_i = 100$. Pentru stabilirea variantei optime vom parcurge banca de date care conține fișele tehnologice pentru diferitele regimuri de lucru pe diferite clase de oțeluri speciale.

Fiecare linie din tabele constituie un regim de lucru aplicabil prelucrării dorite.

Pentru determinarea notelor de apreciere, căutăm valorile minime și maxime de pe fiecare coloană, luând în considerare toate tabelele rămase, apoi pentru fiecare parametru X_i $i=1,5$, determinăm notele de apreciere N_i astfel:

$$N_i = \frac{X_i - X_{i \min}}{X_{i \max} - X_{i \min}} \cdot 100 \quad \text{pentru parametrii la care ne interesează valori cât mai mari.}$$

$$N_i = \frac{X_{i \max} - X_i}{X_{i \max} - X_{i \min}} \cdot 100 \quad \text{pentru parametrii la care ne interesează valori cât mai mici.}$$

Cu aceasta, funcția obiectiv pentru determinarea regimului de lucru optim are forma:

$$F = \sum_{i=1}^5 C_i N_i X_i$$

Valorile parametrilor tehnologici de pe linia pentru care F are valoare maximă, caracterizează regimul de lucru optim, de unde putem deci extrage parametrii de lucru optimi pentru prelucrarea dorită.

1.5. Sistemul informatic pentru procesul tehnologic de sudare cu F.E.

1.5.1. Considerații generale privind sistemul informatic realizat

Pentru a putea înregistra, stoca, ordona, prelucra și apoi regăsi informațiile culese în timp, pentru diferitele încercări, probe de sudare cu F.E. pentru diversitatea de oțeluri speciale, s-a căutat realizarea unor programe simple, care să fie rulabile pe echipamente cât de cât uzuale; dar care să permită și operarea cu un suport magnetic, în acces direct. Considerînd că în acest moment microcalculatoarele de tipul MS 100, T.F.P., Junior, Teletrom, sînt cele mai accesibile s-au realizat programe în DBASE, rulate pe echipamentele enumerate. Limbajul DBASE este avantajos pentru întreținerea și gestionarea unei baze de date de mărime medie, avînd unele limitări pentru echipamentele de care dispunem. Avatajele pe care le are însă față de alte limbaje, au determinat alegerea lui, încercînd prin concepția și realizarea programelor, să minimalizăm dezavantajele.

Ca dezavantaje majore : pot fi deschise maxim două fișiere la un moment dat, posibilități grafice reduse, reindexări obligatorii pentru anumite ramuri de actualizări de date.

Ce avantaje: structură ușoară pentru descifrare cu posibilități rapide de modificare, comenzi simple dar puternice permit accesul direct în intimitatea structurilor de date, minim de cunoștințe pentru mînuirea programelor și pentru obținerea de informații suplimentare, compatibilitate sigură pe diferite echipamente.

5.1.2. Fișierele și structura datelor utilizate

Din considerentele enumerate anterior s-au utilizat în sistem două fișiere principale:

- fișierul de materiale numit MATERIAL
- fișierul de informații privind procesul propriuzis de sudare cu parametrii de proces denumit BA2A DATE.

Structura aleasă pentru fișierul MATERIAL s-a considerat util să fie de forma:

TABEL 1.1. Fișierul MATERIAL

| Nr. cîmp | NUME CîMP SIMBOLIC | EXPLICIT | Tip | Lungime | Obs. |
|----------|--------------------|--------------------------|-----|---------|------|
| 1 | COD MAT | codul materialului | C | 9 | |
| 2 | DEI MAT | denumire material | C | 20 | |
| 3 | STAS | STAS-ul materialului | C | 10 | |
| 4 | FORMA | forma materialului | C | 10 | |
| 5 | DIMENSIUNE | dimensiunea materialului | C | 10 | |
| 6 | OBS. | observații la material | C | 20 | |

S-a constatat că ne satisfac aceste cîmpuri pentru a descrie materialul folosit din clasa oțelurilor speciale luată în studiu. Referitor la codul materialului, menționăm că cele 9 caractere (cifre) au următoarea semnificație:

- primele trei cifre codifică grupa de material utilizată
- următoarele două reprezintă codificat forma
- ultimele patru, aliniate la dreapta specifică dimensiunea.

Pentru fișierul BA2A DATE s-a ales o structură mai bogată pentru că reprezintă fișierul de bază, cu informațiile obținute în cadrul experiențelor. S-a realizat o stocare relativ mare de informații cu privire la procesul tehnologic de sudare cu F.E., pentru

a putea satisface ulterior, o serie de cerințe suplimentare ale beneficiarului (tehnologie, optimizări, etc).

Structura aleasă este de forma:

TABEL 1.2 Fișier BAZA DATE

| Nr. câmp | NUME SIMBOLIC | CIMP EXPLICIT | tip | lung. | Obs. |
|----------|---------------|--|-----|-------------|------|
| 1 | MAT 1 | Cod material 1 pentru sudare | C | 9 | |
| 2 | MAT 2 | Cod material 2 pentru sudare | C | 9 | |
| 3 | DIM 1 | Dimensiunea materialului 1 | N | 4 (mm) | |
| 4 | DIM 2 | Dimensiunea materialului 2 | N | 4 (mm) | |
| 5 | MAT | Denumire material de bază | C | 12 | |
| 6 | DES P | Denumire piesă | C | 12 | |
| 7 | COM | Numărul comenzii de sudare | C | 10 | |
| 8 | TRISUD | Tipul sudurii (cap la cap,...) | C | 12 | |
| 9 | POZ | Poziția de sudare (orizontală) | C | 12 | |
| 10 | PERM | Lătrunderea sudurii | | 2 (mm) | |
| 11 | INT:TRAC | Numărul de treceri | C | 2 | |
| 12 | UA | Tensiunea anodică | N | 4 (KV) | |
| 13 | IS | Curent de sudură | N | 4 (mA) | |
| 14 | I | Puterea fascicului | N | 0.2 (KW) | |
| 15 | VS | Viteză de sudare | N | 2.2 (m/min) | |
| 16 | IICC | Curentul de focalizare | N | 4 (div) | |
| 17 | EL | Energia liniară | N | 4 (KJ/m) | |
| 18 | DT | Distanța de tir | N | 4 (mm) | |
| 19 | D | Deflexia | N | 4 | |
| 20 | TTIN | Tratamentul termic înainte de sudură | C | 10 | |
| 21 | TTDP | Tratament termic după sudare | C | 10 | |
| 22 | PUA | Tensiunea anodică pentru prindere provizorie | N | 4 (KV) | |
| 23 | PIS | Curent de sudare pentru prindere provizorie | N | 4 (mA) | |
| 24 | I.IFCC | Curent focalizare pentru prindere provizorie | N | 4 (div) | |
| 25 | PVS | Viteză de sudare prindere provizorie | N | 2.2 (m/min) | |
| 26 | AD | Adâncimea sudurii | N | 4 (mm) | |
| 27 | DATA | Data efectuării sudurii | N | 6 | |

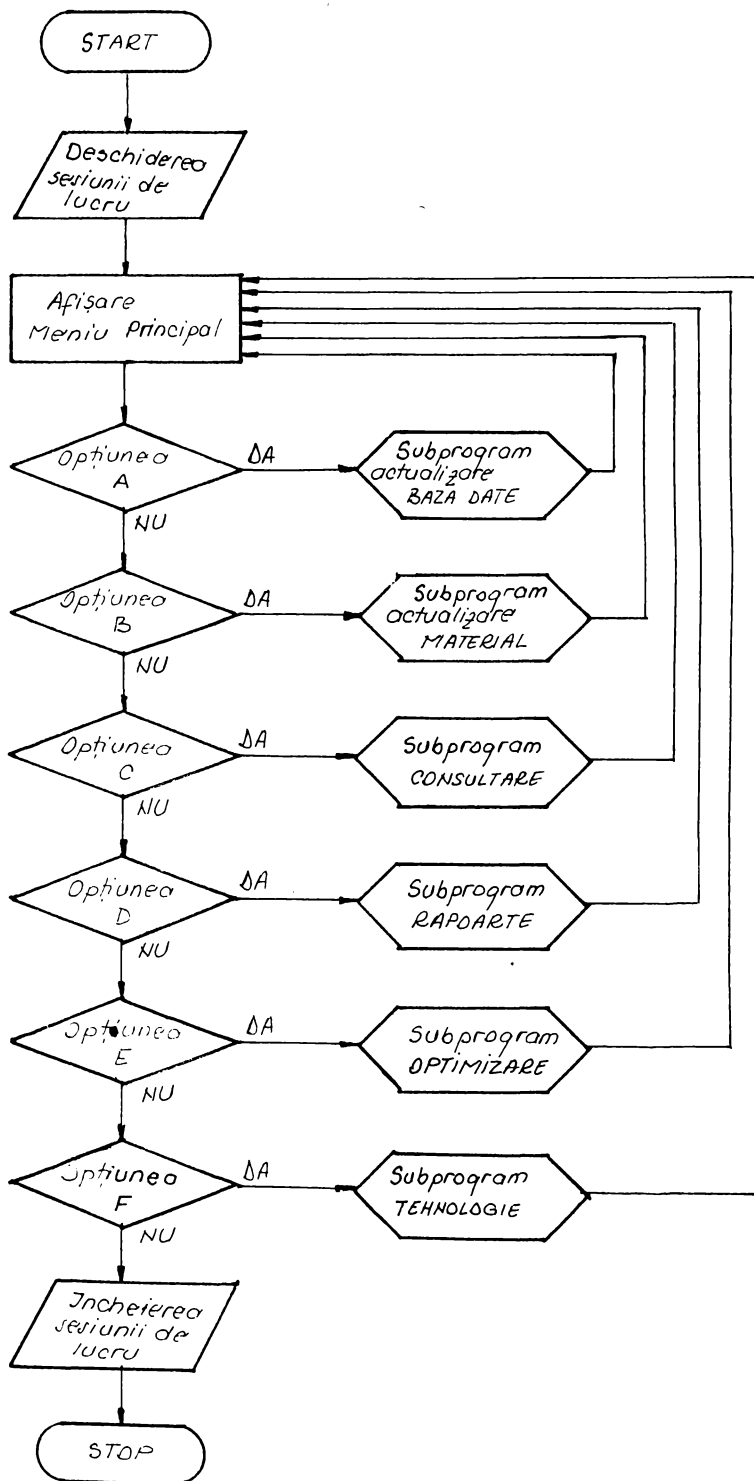


Fig.1.20 Organigrama ansamblului de programe

1.5.3.1. Programul principal

Se lansează programul principal în mod automat la încălcarea limbajului DBASE. Cu această ocazie pe monitorul terminalului apare meniul principal cu simbolurile specifice. În funcție de opțiunea aleasă, programul principal lansează subprogramul specific ramurii alese.

1.5.3.2. Ramura de Actualizare bază de date

Apelând la această ramură se dorește o actualizare a informațiilor din fasciculul BAZA DATE.

Din meniul principal se trece în submeniul acestui subprogram unde sînt trecute opțiunile : Actualizare; Modificare; Stergere; Reîntoarcere în meniul principal. Pe ramura de Actualizare se pot face adăugări de date cu privire la sudurile noi încercate.

Opțiunea de modificare permite reactualizarea unor informații deja existente în bază, iar ramura de ștergere asigură distrugerea informațiilor greșit introduse sau depășite ca și conținut. La aceste ultime două opțiuni cheia de acces la informații o reprezintă codurile celor două materiale sudate.

1.5.3.3. Actualizarea fișier - materiale

Tot pe baza unui submeniu, se dă probabilitatea adăugării, modificării sau ștergerii informațiilor cu privire la materialele experimentate la sudură. Este de dorit ca la fiecare încercare de sudură cu un nou material să se treacă în acest fișier toate informațiile pe care le deținem cu privire la componente, stasul, forma și dimensiunea acestora.

1.5.3.4. Consultare bază de date

Este una din ramurile cele mai ample și ne permite la apariția submeniului, să optăm pentru una din următoarele variante:

- Consultare materiale și date după 1 cod (adică vrem să vedem un material cu cine și în ce condiții a mai fost sudat).

- Consultare materiale sudate după 2 coduri. (Sîntem dotori să cunoaștem dacă un material anume, a mai fost sudat cu un alt material precizat).

- Consultare materiale sudate după formă.

- Consultare fișier de materiale.

Toate informațiile selectate se pot obține la terminal sau la imprimata atașată sistemului. Exemple sînt furnizate în anexa lucrării.

1.5.3.5. Listare fișiere

Această ramură ne permite imprimarea tuturor informațiilor de care dispunem în sistem în forma și ordinea pe care o dorim. Sînt cîteva rapoarte fixe pe care le oferim spre imprimare, dar dacă utilizatorul nu este satisfăcut, prin comenzi simple se pot obține toate situațiile ce pot rezulta din informațiile immagazinate. În anexă sînt rezultatele cîtorva asemenea editări.

1.5.3.6. Numura de calcul sudură

Corespunzător blocurilor din figura 1.21, în program sînt utilizate următoarele proceduri:

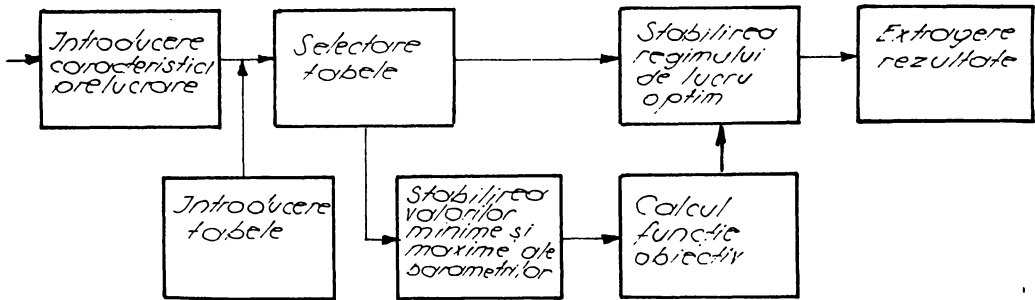


Fig.1.21 Schema calculului regimului optim

- pentru introducerea caracteristicilor prelucrării:
 - citeste date
- pentru introducerea tabelelor:
 - citeste capt
 - citeste tab
- pentru selectarea tabelelor în funcție de caracteristicile piesei:
 - selectare
- pentru determinarea valorilor extreme ale parametrilor de optimizare:
 - minmax

- pentru stabilirea regimului optim:
 - selectează, care apelează la rândul ei procedurile de calcul a funcției obiectiv și de determinare a maximumului funcției de optim.
 - fobiectiv
 - intabrez
- pentru extragerea rezultatelor:
 - tipărește.

1.5.3.7. Ramură de tehnologie

În colaborare cu ISIM - Timișoara s-a căzut de acord pentru întocmirea cu ajutorul echipamentelor de calcul de care dispunem, a fișei tehnologice de sudare cu fascicul de electroni. Avantajul întocmirii automate constă în faptul că având toate informațiile pe suport magnetic, întocmirea unei fișe, pentru orice încercare efectuată depinde doar de viteza de listare la imprimantă.

1.5.4. Concluzii

Procesul tehnologic de sudare cu F.E. făcând parte din clasa sistemelor tehnologice este susceptibil de a fi abordat în concepția ingineriei sistemelor. După parcurgerea etapelor de analiză și modelare prin utilizarea tehnicii de calcul, se va reuși ca din multitudinea de variante să alegem varianta optimă atât din punct de vedere al calității sudurii, cât și al procesului tehnologic în sine. În final se obține P.E. optim, deci eficiență maximă.

Programul prezentat reprezintă o bază de plecare pentru aplicarea la scară industrială a alegerii variantei tehnologice de sudare cu F.E. în cadrul proiectării tehnologice în cazul unei producții de serie.

Se obține astfel scurtare a procesului de decizie și o eficiență maximă atât la consumatori materiali, cât și la manoperă și consumuri energetice.

Sistemul informatic descris, este funcțional, programele sursă fiind anexate lucrării. Ca resurse, în plus față de cele prezentate la început se cere existența unei unități de disc floppy de 8 sau 5 $\frac{1}{4}$ inch.

De măsură ce se va aduce echipamente mai puternice, mai performante, dotate cu width eter, ne-am propus să extindem sistemul nostru informatic și asupra altor aspecte legate de mînuirea informațiilor la sudarea cu fascicul de electroni.

Acest sistem informatic Off line este utilizat și în conducerea procesului de sudare, cînd utilizăm un sistem de operare TM pe sistemul multimicroprocesor.

De asemeni sistemul se poate asambla într-un sistem informatic integrat, care pe lîngă pregătirea tehnologică să cuprindă și pregătirea tehnică;(alegerea sau proiectarea utilajului, instalației, liniei tehnologice de sudare cu F.E.) pregătirea material organizatorică.

Desigur sistemul informatic prezentat este perfectibil constituind un instrument de corectare și o bază de plecare, cînd se va trece la aplicarea pe scară largă industrială, a sudării cu F.E.

CAPITOLUL 2

ANALIZA ENERGETICO-INFORMACIONALA A FENOMENELOR CE AU LOC IN STATIUL DE LUCRU

2.1. Studiul formării cavității și cordonului de sudură

În cazul interacțiunii fasciculului de electroni cu materialul piesei de prelucrat se petrec o serie de fenomene din care o mare parte nu au fost elucidate încă complet. Cercetările actuale, în multe cazuri, au dus la concluzii care au infirmat teoriile anterior formulate, fenomenele fiind încă în studiu.

Penetrarea teoretică a unui electron accelerat la o tensiune V , într-un metal, nu permite explicarea marilor adâncimi de pătrundere ale sudurilor obținute. Formulele dezvoltate plecând de la fizica solidului care dau penetrația teoretică în metalele uzuale prevăd profunzimi de câteva zeci de microni dacă tensiunea de accelerare este de ordinul a 100 KV. Ori noi știm din experiență că au fost pătrunse profunzimi de zeci de mm cu fascicule de electroni, accelerate cu aceste tensiuni. Deci se impune a se căuta alte modele față de cele care au fost propuse de către specialiști pentru a explica marile penetrații obținute în sudarea cu fascicul de electroni. Aceste modele presupun formarea unei cavități în metal sub acțiunea fasciculului de electroni. Mecanismul formării cavității nu este încă elucidat în întregime căci parametrii care intervin în formarea cavității sînt numeroși.

După majoritatea părerilor, dacă un fascicul de electroni puternic focalizat este dirijat spre un metal, pot fi observate următoarele efecte:

1. Energia cinetică a electronilor neafectați de ionizare și ciocnirile cu gazul rezidual, provoacă fuziunea metalului pe o zonă corespunzătoare lărgirii fasciculului.

2. Metalul topit se vaporizează, presiunea de vapori este foarte ridicată pe suprafața bombardată.

3. În centrul zonei topite în care electronii sînt mai densi, interacțiunea fasciculului, a ionilor și moleculelor, al vaporilor metalici formează plasma. Această plasmă concentrează fasciculul de electroni în mod progresiv, ținînd cont de gradientul de presiune al vaporilor.

4. Presiunea din ce în ce mai ridicată a vaporilor metalici împinge metalul topit către periferia fasciculului și formează un "canal" (crater) tapetat cu metal topit.

5. Metalul topit este dirijat înspre înapoi prin mișcarea de sudare spre singurul loc posibil de ieșire, orificiul superior, eliberînd astfel pasajul coltanului de plasmă.

6. Electronii fasciculului care contribuie la formarea coloanei de plasmă sînt puțin cîte puțin difuzați în lungul profunzimii de penetrare și pierd în mod progresiv din energia lor.

7. În fundul canalului energia prea scăzută a electronilor nu mai asigură formarea plasmăi, penetrația se stabilizează.

Aceste concepte sînt preluate în principal din modelele capilare (cavității) propuse de Steigerwald, Crawford și Schwrz.

După Steigerwald modelul penetrației și formarea cavității este prezentat în fig.2.1.

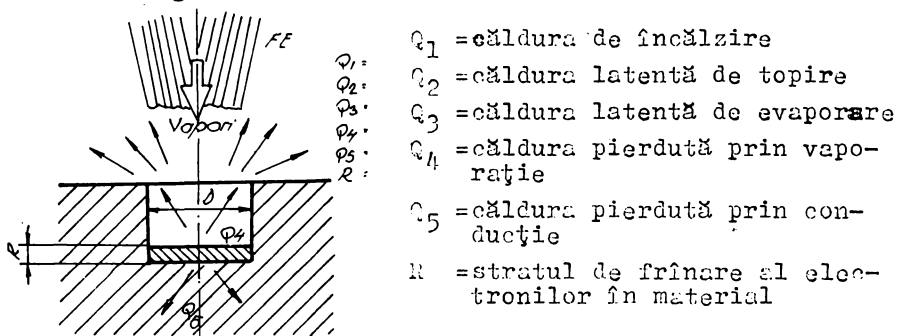


Fig.2.1. Formarea cavității după Steigerwald.

Crawford pune accent pe presiunile ce apar în cavitate (fig. 2.2.).

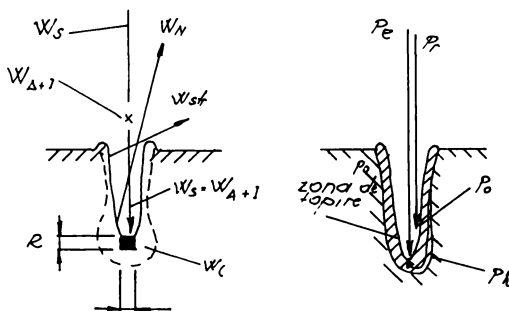


Fig.2.2. Forțele de reacțiune și formarea cavității (model Crawford).

Practic presiunea electronilor din fasciculul de electroni și presiunea de reacție a particulelor retrodifuzate se va opune presiunii hidrostactice împingând metalul topit spre pereții cavității și apoi înspre orificiul de sus al capilarei formate.

După H. Schwarz procesul de penetrare prezentat în fig.2.3. are următoarea desfășurare:

Fasciculul de electroni penetrează suprafața de material pe adâncimea de pătrundere cu un mic efect asupra crustei, care este practic transparentă pentru electronii de mare viteză.

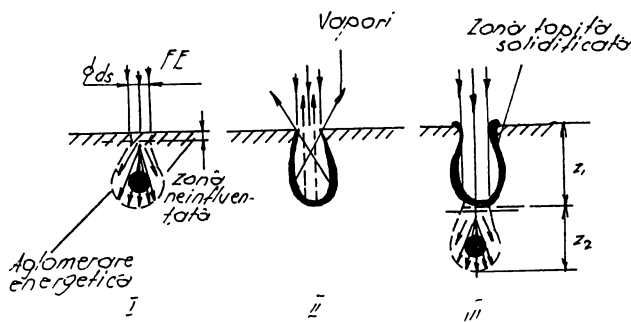


Fig.2.3 Procesul în timp cu transport de metal sub incidența F. L. (după H.Schwarz).

Electronii în partea inferioară a crustei sînt stopați și se ciocnesc creînd un volum încălzit de forma unei pere. In urma pătrunderii de electroni și ciocnirilor cu vapori de metal topit se crează o acumulare de energie care prin suprapresiunea pe care o crează face să se rupă crusta și să împrăstie în afară materialul vaporizat. Ca rezultat al rupturii se formează în jurul orificiului un dig circular care nu permite întoarcerea înapoi a cumului de material evaporat. Acțiunea și reacțiunea forțelor rezultate din acest curent de vapori crează o propulsie sub formă de jet care contribuie la adîncirea penetrării. Cu descreșterea densității de vapori, ciocnirea electronilor este mai mică și ionii vaporilor contribuie la refocalizarea fasciculului pe fundul cavității formate, procesul repetîndu-se identic pe distanța Z_2 .

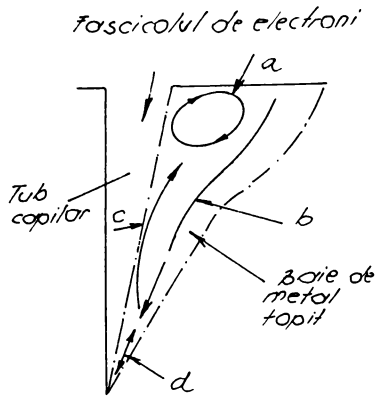


Fig.2.4 Mecanismul sudării cu fascicul de electroni

Se știe că în timpul sudării fasciculul creează un tub capilar, topind materialul. Datorită concentrației mari de putere o parte din material se vaporizează, creându-se plasma, formarea cordului de sudură datorându-se solidificării materialului topit ce a fost împins în spatele tubului capilar. Prin interacțiunea sa cu materialul, fasciculul de electroni își

schimbă așa cum s-a arătat caracteristicile proprii, fapt datorat probabil acțiunii mediului plasmogen din interiorul tubului capilar care are ca efect o concentrare a fasciculului în lungul traiectoriei sale căldura transmițându-se pe pereții tubului (fig.2.5).

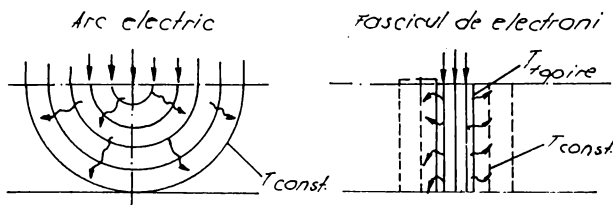


Fig.2.5 Transmiterea și influența energiei F.E. la sudare

Forma tubului capilar variază în lățime, închizându-se și deschizându-se periodic (fenomenul de "spiking") lucru ce se explică în felul următor:

a) Fasciculul creează o gaură în metal prin evaporări succesive ale fundului găurii (fig.2.6.a)

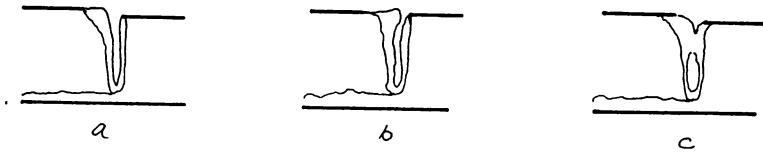


Fig.2.6. Modelul formării cavității

b) Datorită greutateii, turbulențelor, tensiunilor superficia-
le se formează din timp în timp grăunți pe marginea cavității care
în final obturează cavitatea (fig.2.6.b și c). Acest proces se des-
fășoară și se rederulează în timp. Studiul fenomenului s-a putut
observa cu ajutorul razelor X înregistrând variația adâncimii tubu-
lui capilar în timp și funcție de frecvență (fig.2.7).

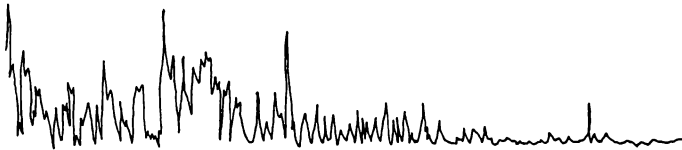


Fig.2.7 Spectrul fundului cordonului

Ca tehnică se utilizează o instalație experimentală după
principiul din fig.2.8.

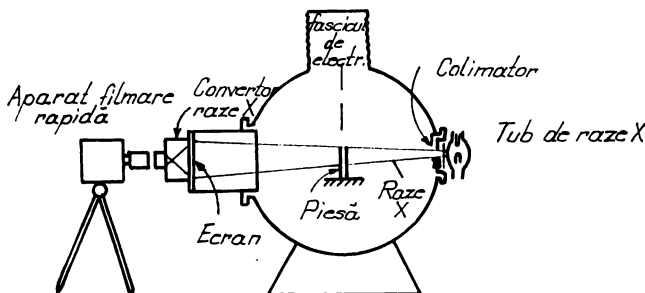


Fig.2.8 Instalația experimentală pentru analiza comportării
dinamice a tubului capilar

Este sigur că mecanismul dinamicii cordonului de sudură și a
"spikingului" nu se explică complet prin nici o teorie, având de
fapt de a face cu mai multe fenomene aleatoare în timpul interac-
țiunii F.E. și material. De asemenea fenomenele se interferează

de la problema traiectoriei electronilor, focalizarea și fizica plasmei.

2.2. Studiul pe bază de bilanț energetic al interacțiunii fascicul de electroni - material

Formarea cavității nu poate fi explicată și definită, cel puțin pînă în prezent decât folosind atât metode de studiu propriu fasciculului de electroni și materialului din piesa de prelucrat cît și metode electroenergetice de cercetare și investigare.

Studiul geometriei cavității (cel mai aproape de o interpretare exactă) este cel pornind de la densitatea de putere. Densitatea de putere critică are o valoare constantă și depinde de proprietățile termofizice ale materialului care se audează.

O primă fază a studiului energetic al formării cavității pleacă de la analiza modului de distribuție a energiei P.E. în masa de material (fig.2.9).

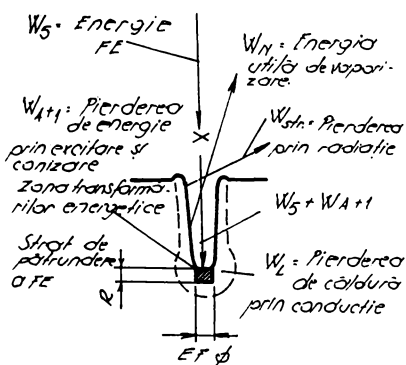


Fig.2.9 Distribuția energiei P.E. în masa materialului

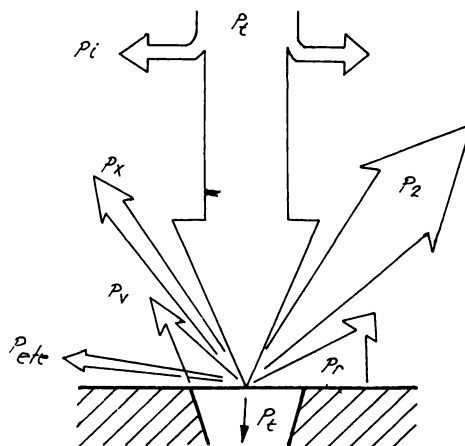


Fig.2.10 Evidența pierderilor de putere

- P_F = puterea fasciculului
- P_I = puterea de ionizare
- P_X = puterea razei X
- P_S = puterea emisiei secundare
- P_V = puterea de vaporizare
- P_{ete} = putere de emisie termoelectrică
- P_R = puterea metalului răspîndit în părți
- P_t = puterea electronilor ce pătrund în metal

Ca bilanț al puterilor plecând de la puterea totală a fascicului (P_f) se pot evidenția toate pierderile de putere pentru un eventual calcul al randamentului procesului (fig.2.10).

În afara energiei absorbite de metal, celelalte forme de energie preluate de particulele emise sînt considerate ca pierderi.

Se poate defini astfel randamentul instalațiilor de prelucrare cu fascicul de electroni.

$$\eta = \frac{P_t}{I_e V_a} \quad (2.1)$$

I_e = curentul de emisie al catodului

V_a = tensiunea de accelerare

sau

$$\eta = \frac{P_t + P_r + P_v + P_{top}}{P_a + P_{ai} + P_{i1} + P_{i2} + P_s + P_t + P_r + P_v + P_{etc} + P_{top}} \quad (2.2)$$

P_{top} este puterea latentă de topire

Electronii reemisi sînt de două tipuri:

- cei care nu fac parte din fasciculul incident: electroni termici, a căror energie este cîtiva eV, datorati temperaturii piesei bombardate și electronii secundari a căror energie poate atinge cîtiva zeci de eV;

- cei care făceau parte din fasciculul incident și care după o serie de ciocniri elastice și neelastice cu atomii constituenți ai materiei, reușesc să iasă din nou cu un spectru de energie al cărui maxim atinge 70% din energia unui electron incident. Aceștia sînt electronii retrodifuzati pe care-i vom prezenta mai amănunțit în continuare (fig.2.11).

O parte din electroni sînt reflectati elastic la ciocnirea cu nucleele atomice ($W_1 = W_0$), ieșirea preferențială a acestora fiind pe direcția unghiului de reflexie α (repartiția unghiulară a reflexiei $\cos \alpha$ în plan și $\sin 2\alpha$ spațial).

Pentru fasciculele primare accelerate între 2 keV și 16 keV retrodifuzia este proporțională cu energia primară, iar în cazul tensiunilor de la 16 keV este independentă de viteză, depinzînd de numărul atomic Z al substanței bombardate.

Studiul procentului de electroni retrodifuzati ne dă măsura pierderilor ocazionate de sudarea cu fascicul de electroni. De exemplu pentru o viteză de sudare de 40 cm/min se indică în fig. 2.12 în curbă.

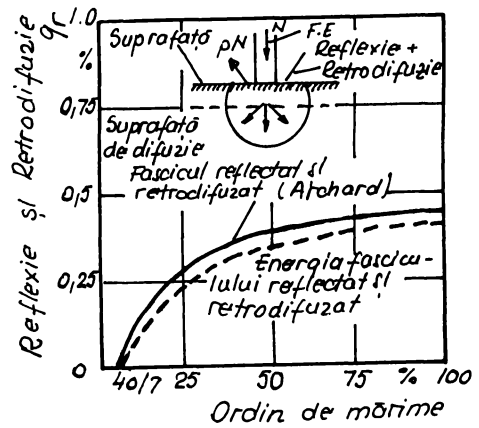
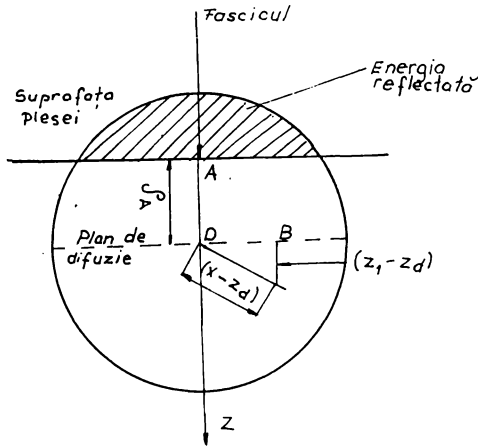


Fig.2.11 Reflexia și retrodifuziunea electronilor (Archard)

$$\eta = \frac{I_{pierderi}}{I_{primar}} = f(V_a)$$

De asemenea se pune în evidență (fig.2.13) influența grilei asupra energiei electronilor retrodifuzăți.

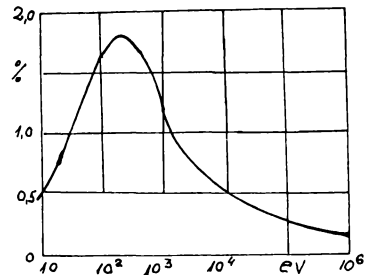
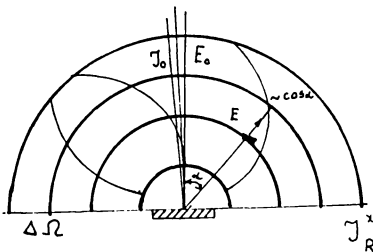


Fig.2.12 Dependența $\eta = f(V_a)$

Fig.2.13 Energia $1D = f(U_0)$

Datorită valorii importante a acestei retroemisii (energie mare pusă în joc ce poate duce la încălziri puternice) este necesar a se cunoaște repartiția spațială a electronilor retrodifuzăți (fig.2.14). De asemenea cunoașterea repartiției spațiale a electronilor retrodifuzăți dă posibilitatea studierii ecranelor de protecție necesare, precum și datele necesare pentru calculul formei elementelor componente ale părții de înaltă tensiune, precum și controlul focalizării fasciculului.

Electronii ce reușesc să pătrundă în material urmează o

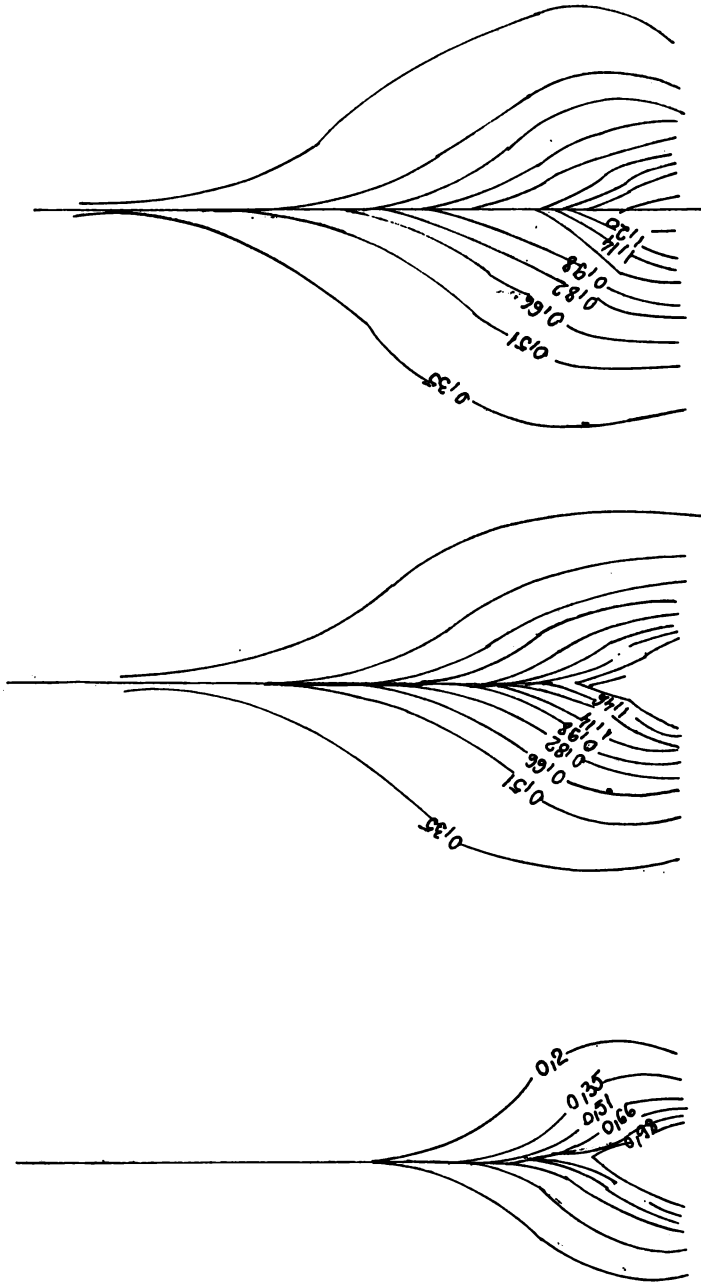
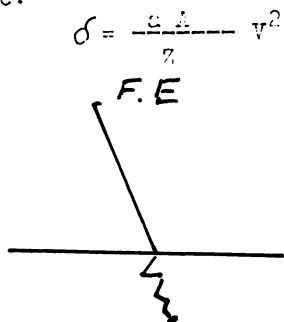


Fig.2.14 Spectrul de retrodifuziune

traieCTORIE ca în fig.2.15, pătrunzând în material pe o adâncime de pătrundere:



$$\delta = \frac{a \cdot A}{Z} \sqrt{V} \quad (2.4)$$

- δ = adâncimea de pătrundere
- a = constantă
- A = masa atomică a elementului
- Z = numărul atomic
- V = tensiunea de accelerare
- ρ = densitatea materialului

Fig.2.15 TraieCTORIE electronului

Studiul pătrunderii fascicului de electroni în material se face cum am menționat anterior pe un model propus de Richard.

În practică, diagnoza fascicului de electroni, folosit la sudare se efectuează fie prin determinarea repartiției spațiale a puterii sale, fie prin analiza urmei zonei topite. Analiza repartiției puterii F.E. se realizează prin metoda fantei sau metoda plăcii. Metoda fantei constă în crearea unei deplasări relative între F.E. și o cursă Faraday, acoperită și prevăzută în partea superioară cu o fantă de lățimea mică, și înregistrarea variației de curent respective (fig.2.16). Deplasarea relativă dintre F.E. și sistemul de captare a acestuia se realizează prin deflexia fascicului cu o viteză mare (cca. 150 m/s) ceea ce permite analiza unor fascicule de putere mare fără a distruge prin solicitare termică fanta. Repartiția puterii fascicului se obține prin prelucrarea semnalului cules.

O variantă a acestei metode utilizează pentru prelucrarea fascicului un disc din material greu fuzibil (Wolfram) prevăzut în centru cu un orificiu de dimensiuni reduse (\varnothing 0,1 mm). În cazul metodei plăcii, cursa Faraday este acoperită cu o placă din material refractar (Wolfram) și se înregistrează și prelucrează semnalul cules la diferite poziții ale plăcii (fig.2.17).

Cele două metode permit evaluarea precisă a caracteristicilor F.E. dar necesită o aparatură complicată și costisitoare, fiind în același timp și greu de adaptat la instalațiile de sudare industriale. Totodată aceste metode nu țin seama de modificarea caracteristicilor F.E. la sudare prin interacțiune cu baia topită.

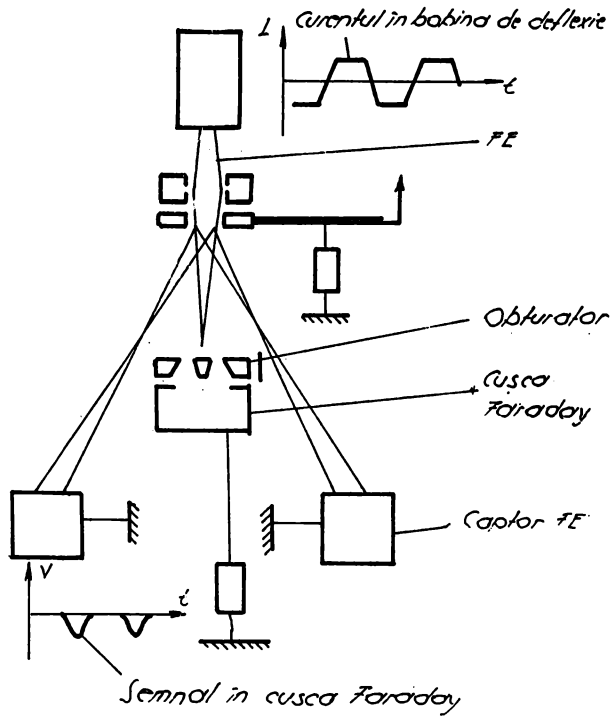


Fig.2.16 Principiul fantei

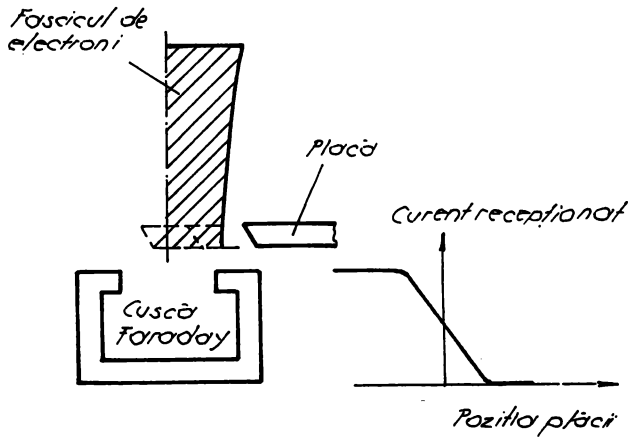


Fig.2.17 Principiul plăcii

Metodele de analiză globală utilizând urma lăsată de fasciculul de electroni pe o piesă având o configurație dată permit determinarea diametrului fasciculului și a poziției focarului. O placă de grosime redusă prevăzută cu caneluri, realizată de preferință din oțel inoxidabil, este deplasată relativ față de F.E. și se examinează apoi dimensiunea urmei zonei topite lăstate pe placă (fig. 2.18).

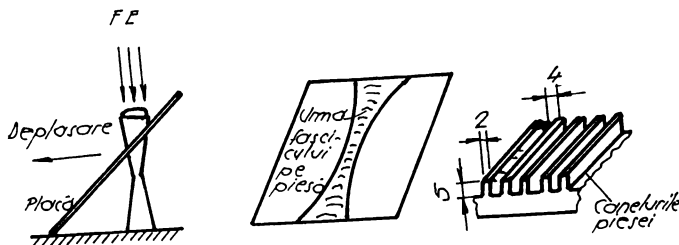


Fig.2.18 Principiul metodei de analiză a urmei de F.E.

Această urmă prezintă o îngustare corespunzătoare diametrului fasciculului în același timp învelitoarea urmei respective, după efectuarea corecției impuse de înclinarea plăcii, reprezintă divergența fasciculului.

Metoda de analiză globală descrisă anterior este foarte simplă și nu necesită aparatură experimentală complicată. Ea nu permite însă determinarea repartiției puterii F.E. În același timp precizia metodei este discutabilă, având în vedere incertitudinea corelației dintre parametrii efectivi ai fasciculului și mărimile geometrice determinate pe piesa de probă. Un program al comisiei IV al Institutului Internațional de Sudură (I.S.W.) are ca obiectiv clarificarea acestor probleme.

Studiul interacțiunii F.E. piesă de sudat, a modului specific de transfer al energiei F.E. asupra piesei conduce la posibilitatea determinării și a geometriei sudurii respectiv optimizarea acesteia.

2.3. Studiul relației dintre energia fasciculului de electroni și geometria cusăturii

Fornind din Cross-Overul electrostatic pînă în material, fasciculul parcurgînd lentilele magnetice va forma practic o imagine a Cross-Overului pe piesă (fig.2.19).

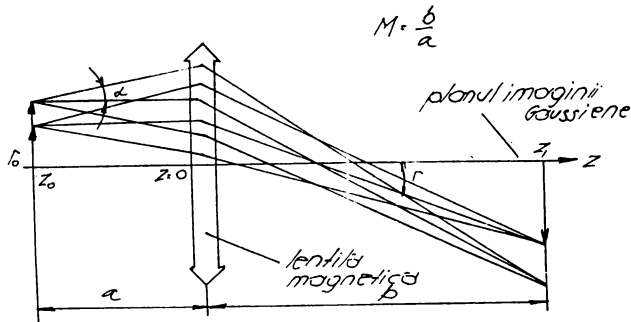


Fig. 2.19 Formarea imaginii într-un sistem electro-optic

Luându-se un fascicul de electroni ideal monocromatic, o distribuție Maxwelliană a puterii de emisie și o distribuție normală a densității de curent în cross-over putem găsi densitatea de putere într-un plan $Z = ct$:

$$W(r, z) = \frac{W_0}{\pi \xi} \exp\left(-\frac{r^2}{R^2 R_c^2}\right) \int_0^{\xi} \left[\exp\left(-\frac{z^2}{r_c^2}\right) \int_0^{2\pi} \exp\left(-\frac{S r_c \cos \psi}{R r_c^2}\right) d\psi \right] S dS \quad (2.5)$$

unde:

$$\xi = \alpha a(1-z/b)$$

$$R = (Mz)^{z/b-1}$$

W_0 = densitatea de putere de vîrf în axa cross-overului

α = semiunghiul F.E.

a, b = distanța obiect imagine

M = mărirea

W_{cr} = densitatea de putere critică

După substituirea $W(r, z) = W_{cr}$ ecuația descrie suprafața zonei active a fascicului de electroni (fig. 2.15).

De-a lungul axei fascicului distribuția densității de putere (2.5) devine:

$$W(0, z) = \frac{W_0 R_c^2}{\xi} \left[1 - \exp\left(-\frac{\xi^2}{R^2 R_c^2}\right) \right] \quad (2.6)$$

Vîrfurile densității de putere pe axă în regiunea imaginii, nu este necesar să corespundă cu planul imaginii Gaussiene (fig. 2.21). Dacă se micșorează raportul α/r_c acest vîrf se va mișca în jurul punctului focal (fig. 2.22).

Zona activă variază în timpul pătrunderii F.E. în piesa de lucru (Fig. 2.23) datorită:

- influenței orificiului de pătrundere al cavității
- ecranării periodice a F.E. de către metalul topit
- interacțiunii F.E. cu plasma
- reflectării electronilor pe pereții cavității

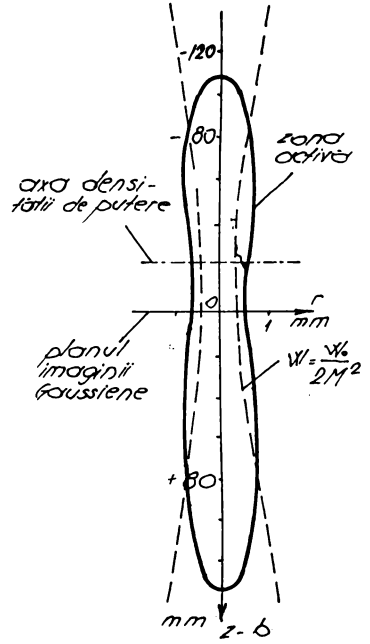


Fig.2.20 Zona activă a F.E.

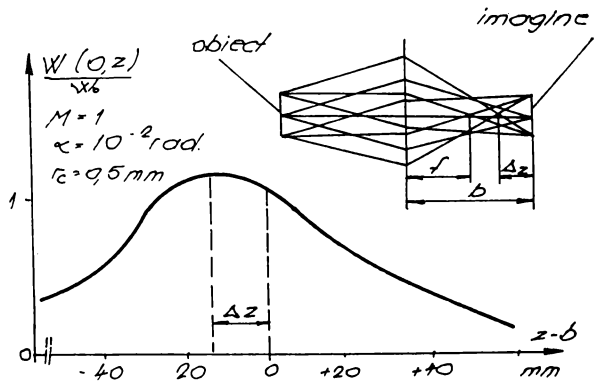


Fig.2.21 Distribuția densității de putere de-a lungul axei F.E.

Geometria cavității, în condițiile echilibrului termodinamic și neglijând în primă aproximație conducția se poate calcula luând în considerare că viteza de deplasare a metalului topit este, proporțională cu densitatea de putere a F.E.

$$V_p = kw \tag{2.7}$$

unde k - o constantă de material.

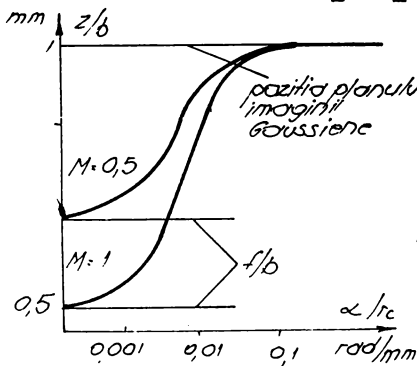


Fig. 2.22 Poziția axei vârfului densității de putere funcție de α/r_c

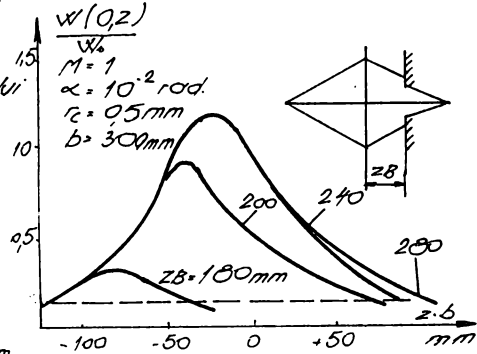


Fig. 2.23 Distribuția densității de putere în lungul axei F.E. în prezența orificiului de pătrundere

Corespunzător densității de putere critică vom avea viteza critică

$$v_{cr} = kW_{cr} \quad (2.8)$$

Fasciculul de electroni va găuri materialul cu o viteză depinzînd de distribuția spațială a densității de putere. Adîncimea de pătrundere se realizează doar în limitele zonei active. Geometria cavității s-a analizat în coordonate cartesiene de F.E. (fig. 2.16, fig. 2.24, fig. 2.25).

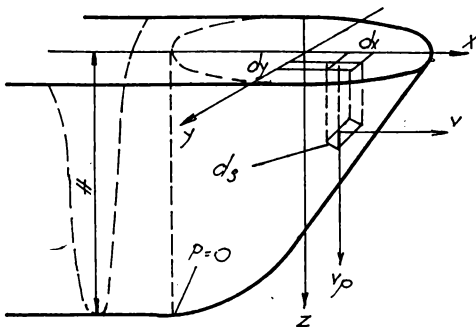


Fig. 2.24 Geometria cavității

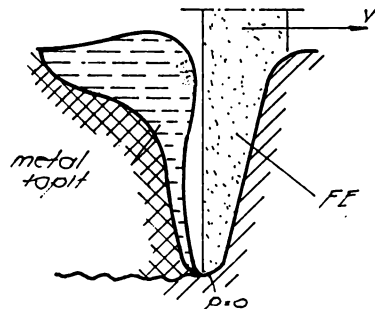


Fig. 2.25 Formarea topiturii

În condiții de echilibru putem scrie:

$$W(x,y,z) = W_{cr} + W_v \quad (2.9)$$

$$W_{cr} = W_{cr} \cdot ds \quad - \text{putere critică}$$

$$W_v = V / K \cdot ds \quad yz \quad - \text{puterea necesară a mișcării în unitatea}$$

de timp materialul de volum $V = v \cdot s_{yz}$

V - viteza de sudare

$$d_s = \sqrt{1 + p^2 + q^2} \Delta_x \Delta_y$$

$$d_{sxy} = \Delta_x \Delta_y$$

$$d_{syz} = \Delta_x \Delta_y$$

$$= \text{-----} ; \quad = \text{-----}$$

$z = f(x, y)$ funcția ce descrie de la suprafață a cavității. In aceste condiții se poate scrie:

$$1 + p^2 + q^2 - (p - G_p)^2 = 0 \quad (2.10)$$

unde $F(x, y, z) = V_p / V_{cr} = W / W_{cr}$ funcție de distribuția spațială a densității de putere a F.E.

$$G = V / V_{cr} \quad - \text{factor depinzînd de viteza de sudare.}$$

Soluția acestei ecuații diferențiale cu derivate parțiale de ordinul întâi permite evaluarea geometriei cavității.

În general aceste ecuații pot fi rezolvate prin metode numerice admitînd că F'_x, F'_y, F'_z sînt aproximativ constante pe anumite intervale.

Ne interesează întîi profilul frontului cavității, putînd astfel calcula adîncimea de pătrundere. In acest caz $q = 0$ și ecuația (2.10) devine

$$p = \frac{-FG + \sqrt{F^2 + G^2 - 1}}{\sqrt{1 - G^2}} \quad (2.11)$$

și în condiții staționare cînd $V = 0$ și $G = 0$

$$p = \sqrt{F^2 - 1} \quad (2.12)$$

Știînd distribuția densității de putere a F.E. ca și limitele zonei active și viteza de sudare se poate calcula profilul pereților cavității.

Adîncimea maximă a cavității se determină pentru punctul în care profilul cavității intersectează suprafața limită a zonei active ($p = 0$).

Profilul transversal se poate afla unind punctele de $p = 0$ din planul y .

Pentru a obține o adâncime mare a cavității pentru un anumit set de parametri ai F.E. este necesar a se obține planul imaginii Gaussiene sub suprafața piesei de prelucrat (fig.2.26).

Scăderea vitezei va duce la creșterea adâncimii de pătrundere în anumite condiții de focalizare (fig.2.27). De asemenea mișcarea metalului topit are influență asupra geometriei cavității de lucru ce implică găsirea unei viteze și poziții optime a spotului F.E. (fig.2.28).

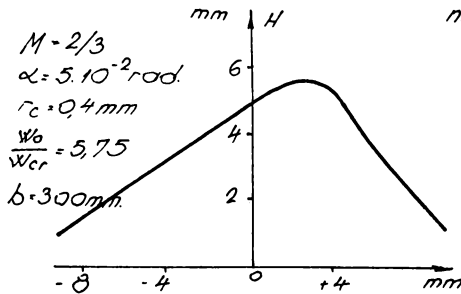


Fig.2.26 Adâncimea sudurii în funcție de poziția imaginii

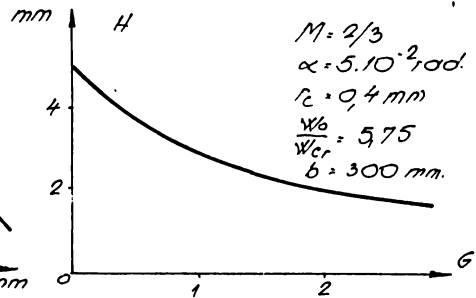


Fig.2.27 Adâncimea sudurii în funcție de viteză

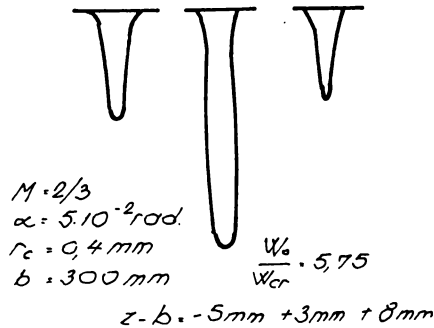


Fig.2.28 Profilul transversal al cavității

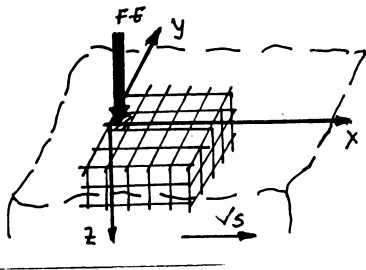
2.4. Modele utilizate pentru determinarea geometriei cusăturii sudate

Gradientii mari de temperatură nu permit stabilirea experimentală a câmpului termic. Multe modele tratează problema sudării sub punctul de topire și în regim evasistaționar.

În aceste condiții s-a propus un model care pornind de la caracteristicile de material ca:

- evoluția câmpului termic în regim tranzistoriu până la regimul evasistaționar;
- adâncimea sudurii și alțura izotermei de topire. În principiu metoda constă în depunerea unei energii într-un punct oarecare al piesei și urmărirea scurgerii sau transformării acestei energii pe și în jurul acestui punct.

Pentru aceasta se utilizează o rețea tridimensională localizată în jurul punctului (punctul fiind unul din elementele de volum ale rețelei) care este legată de F.E. (fig.2.29). În calcul se tratează zona topită (ZT) și zona influențată termic (ZIT). Pentru ZIT transferul de căldură de la nivelul fiecărui element se calculează după ecuațiile clasice.



Pentru ZT din studiul fenomenologic preliminar făcut la paragraful anterior rezultă că va trebuie să ținem seama în modelare de toate fazele.

Fig.2.29 Rețeaua atașată F.E.

| Solid (S) | Lichid (L) | Vapori | Plasmă |
|-----------------|-----------------|--------|--------|
| căldură latentă | căldură latentă | | |

În ZIT transmisia fluxului de căldură de la un element la altul (ținând cont de dimensiunile reduse ale elementelor) poate fi calculată pornind de la legea de formă :

$$W_t = \lambda \frac{S}{e} \Delta T \quad (2.13)$$

și încălzirea unui element cu o lege de forma:

$$T = Q/MC_p \text{ (cu } \lambda = f(T) \text{ și } C_p = F(T))$$

unde

λ = coeficientul de conductibilității termice

S = suprafața de schimb

e = distanța între elemente

ΔT = diferența de temperatură între 2 elemente

Q = cantitatea de căldură primită

M = masa unui element

C_p = căldura specifică pentru starea solidă sau lichidă,

În ZIT, cavitatea formată de fascicul fiind semitransparentă pentru electroni, trebuie să presupunem existența vaporilor a căror supraîncălzire se neglijează, diferența de energie (DE) între cantitatea furnizată și cantitatea utilizată fiind raportată direct elementelor vecine considerate.

Deasupra temperaturii de topire se introduc ipoteze legi, care țin cont de schimbările de fază amintite anterior:

- Schimburile termice facilitate de mișcarea materiei în faza lichidă, a condus la utilizarea legii "conducției forțate" de forma:

$$K \lambda \frac{S}{e} \Delta T \text{ cu } 1 \leq k \leq 2 \text{ (ipoteza } H_1) \quad (2.15)$$

sau din cauza "amestecărilor" se ajunge la omogenizarea temperaturilor a două elemente vecine (ipoteza H_2). Apoi se presupun trei cazuri a repartiției surplusului de energie DE.

H_3 = report total sub fascicul

H_4 = report pe elementele vecine din același strat și stratul inferior elementului considerat

H_5 = report sub fasciculul și în jurul fasciculului pentru straturile superficiale

Diferitele modele studiate sînt reprezentate în tabelul următor:

Tabelul 2.1 Modelele de studiu a geometriei cusăturii

| MODEL | IPOTEZE DE CALCUL | | | | Repartizarea energiei DE |
|------------------------|-------------------|------------|------------|------------|---|
| | S-L | S-V | L-L | L-V | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Conducție | H 1 k=1 | H 1 k=1 | H 1 k=1 | H 1 | DE pe elementul inferior (H 3) |
| Dinamic | H 1 k=2 | H 1 k=2 | H 2 | H 2 | DE pe elementul inferior (H 3) |
| Semidinamic | H 1 k=2 | H 1 k=2 | H 1 k=2 | H 1 k=2 | DE pe elementul inferior (H 4) |
| Cu repartitia energiei | H 1 k=2 | H 1 k=2 | H 1 k=2 | H 1 k=2 | DE pe elementul inferior și vecin (H 5) |

Modelul bazat în întregime pe schimbul de căldură prin conducție cu surplus de energie DE, sub fascicul nu ne dă capul cuiului de sudură și arată că schimburile de căldură în cavitate, plecând de la ipotezele formulate sînt prea slabe. Pătrunderea obținută, prea mare este datorată unui raport prea mare de DF sub fascicul.

Modelul dinamic în care s-a ținut cont în ZT, de schimburile importante prin "brasajul" băii ca și de energie sub fascicul ajunge aproximativ la aceleași concluzii.

Modelul semidinamic pentru care s-a utilizat în ZT legile conductei forțate și un raport de energie egal repartizat pe elementele vecine nu descrie cuiul și exagerează capul cusăturii.

Ultimul model cu repartizarea energiei realizat după rezultatele modelelor precedente și ținînd cont de un raport de DF sub și în jurul fasciculului descrie corect izotermele de topire arătînd de asemenea că transporturile de energie ar putea fi considerate ca superpoziționarea a două tipuri de transferuri independente. O parte a energiei fasciculului ar fi distribuită în cavitate urmînd fenomenele și legile proprii cavității și o parte la suprafață. Această din urmă energie nu ar afecta decît straturile superficiale ale piesei și ar fi variabil în funcție de volumul plasmă situat la suprafață.

S-a constatat că în timpul operației de sudare capul cuiului de sudare se retrage încet pe măsură ce F.E. traversează în întregime piesa și în același timp volumul de plasmă se diminuează. Această cantitate de plasmă este ea însăși o funcție a caracteris-

ticilor geometriei tunului, a tensiunii de accelerare și ale materialului. Deci orice modelare va trebui să țină seama de legile repartiției energiei proprii fiecărei mașini cu F.E.

Rezultatele modelelor sînt date sintetic și grafic în fig. 2.30.

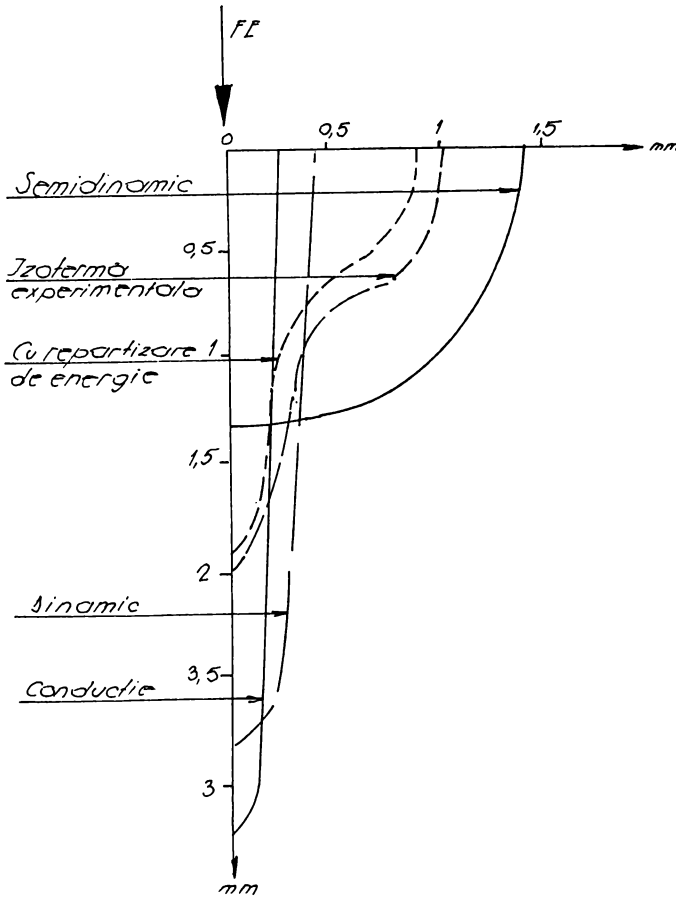


Fig.2.30 Forma cusăturii conform modelălor studiate

Pentru utilizarea acestor modele, desigur se cere o cunoaștere experiențială și verificări pentru diferite materiale. Ele se pot adapta rapid la diferite calități de oțel și forme de asamblare.

Modelele pot fi utilizate și la studiul formării "cuiului de cusătură" în structurile sudate și la influența focalizării și defocalizării fasciculului și oscilării lui.

2.5. Rezultate, concluzii, direcții de aplicare a analizei energeticoinformaționale a fenomenelor ce au loc în spațiul de lucru

S-a căutat să se prelucereze cât mai fidel rezultatele modelelor analizei energeticoinformaționale a fenomenelor din spațiul de lucru, elucidarea acestora fiind esențială în stăpânirea procesului tehnologic privit ca sistem. Experimentările făcute pe instalația de 60 kW (60kV, 1 A, cea mai puternică existentă în România) pe o gamă largă de oțeluri speciale de diverse sortotipodimensiuni au reușit să convingă autorul asupra rezultatelor cercetărilor teoretice.

Din analiza sudurilor prezentate în foto 1 și 2, comparându-le cu rezultatele modelării teoretice, prezentate în fig.2.28 și fig.2.30, se vede că modelul matematic a fost corect ales și condițiile limită și coeficienții corelați corespunzător. Dimensional, sudurile obținute se încadrează perfect cu profilul modelului (foto 1 cu fig.2.28b și foto 2 a,b cu fig.2.28 c,a).

Din punctul de vedere al izotermelor, modelate și redată în fig.2.30, "cuiul" sudurii obținut în foto 1 și mai ales cele prezentate în foto 2 a,b,c, arată că modelarea, nu a reușit să prindă exact suprafața "cuiului" cusăturii sudate, ceea ce a determinat autorul să revină asupra modelării regimurilor termice și a controlului acestora.

S-a tras concluzia evidentă, că influența energiei fasciculului asupra formei și calității cusăturii sudate, este de primă importanță. Practic, controlul energiei fasciculului, este determinant în controlul și conducerea optimă a procesului tehnologic de sudare cu fascicul de electroni.

S-a pus în evidență de asemeni, rolul deosebit de important al focalizării fasciculului, care reușește să aibă un coeficient de importanță egal cu cel al energiei fasciculului, cum rezultă din concluziile trase, analizând rezultatele obținute, comparativ model-experiment (foto 1 și 2, fig.2.28 a,b,c).

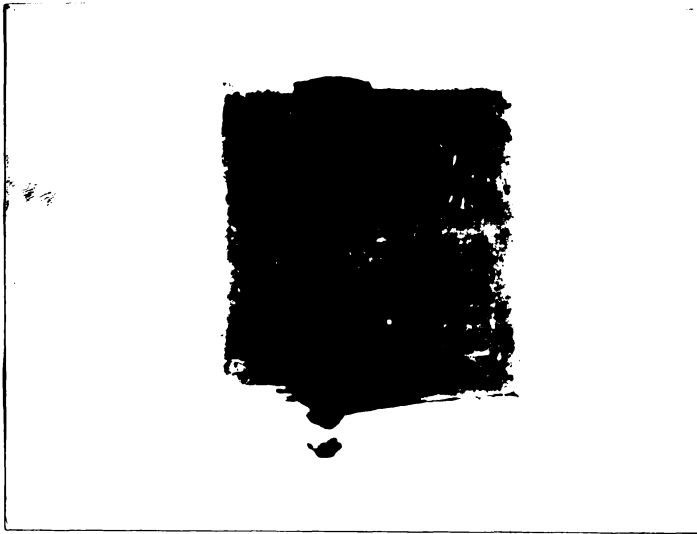


Foto 2.1 Proba 1 RUL 1 Macroscopic forma cusăturii

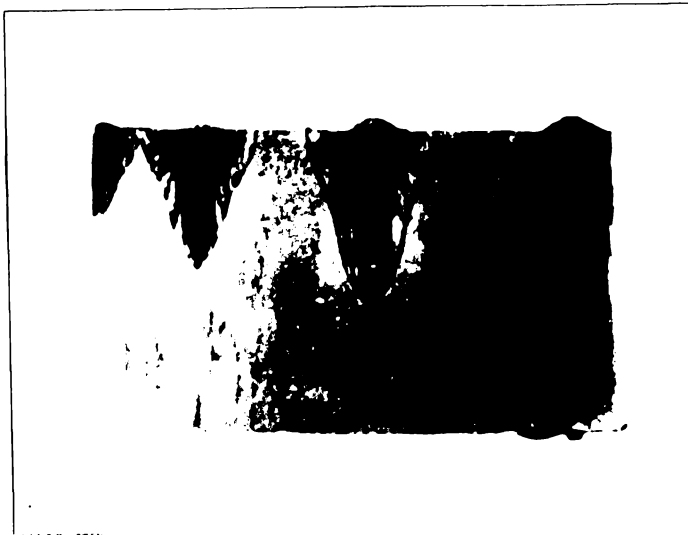


Foto 2.2. Proba 2 13CrMo44 Macroscopic forma cusăturii

INSTITUTUL POLITEHNIC
FIAȘA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

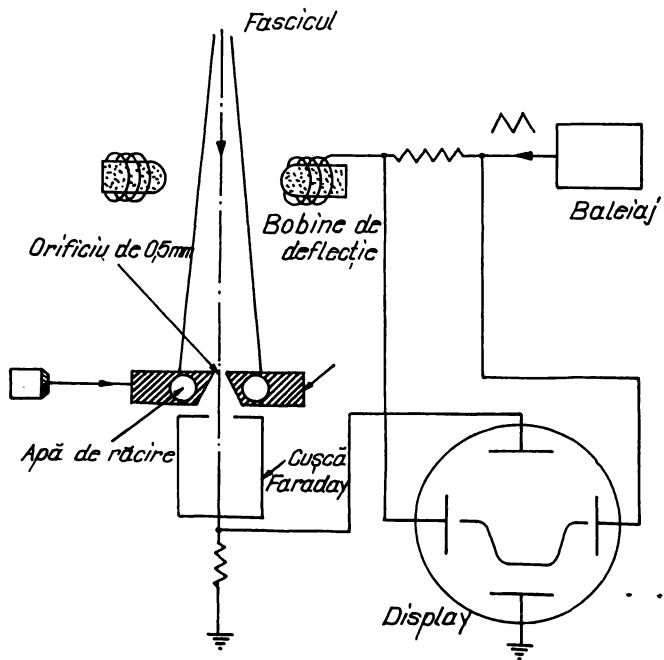
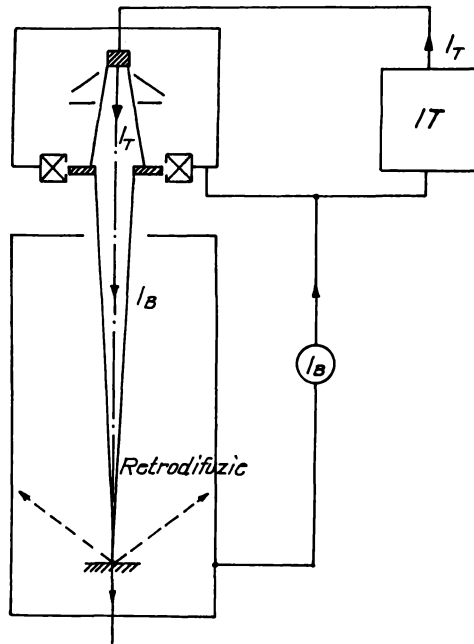


Fig.2.31 Principiul conducerii și controlului cu ajutorul electronilor retrodifuzați și pătrunși

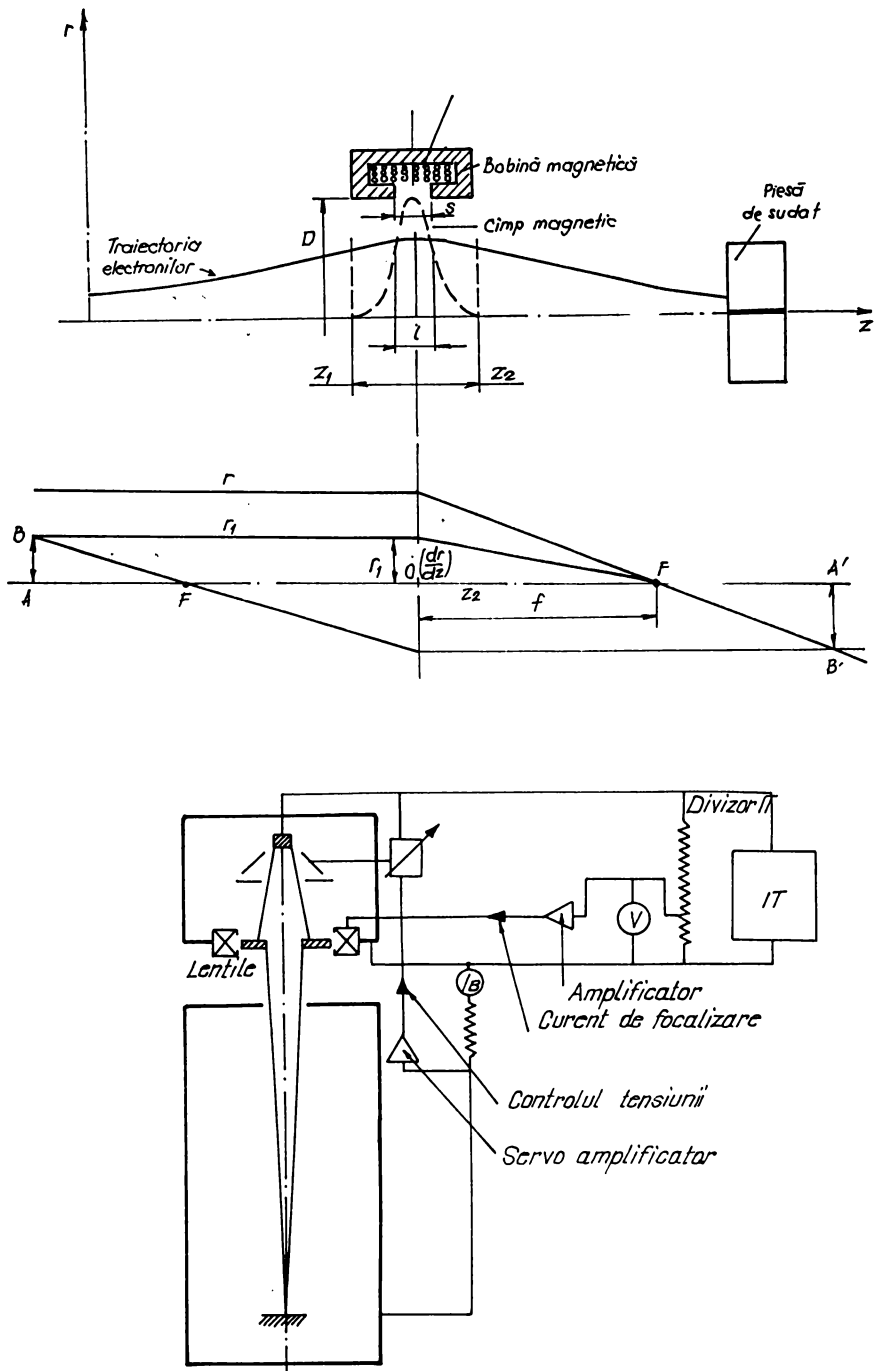


Fig. 2.32 Principiul conducerii și controlului focalizării

- În concluzie pentru o conducere optimă a procesului tehnologic de sudare cu fascicul de electroni, va trebui să se controleze pe instalațiile cu fascicul de electroni: puterea (prin curentul fasciculului și tensiunea înaltă) și focalizarea.

- Împreună cu cercetătorii de la ITIM-Cluj-Napoca și ISIM Timișoara, s-au studiat câteva aplicații practice de conducere și control, al procesului de sudare cu fascicul de electroni, folosind principiul fantei și electronilor retrodifuzăți (fig.2.31) la diferite energii și diverse mărci de oțeluri speciale.

- Tot în colaborare cu cercetătorii de la ITIM Cluj-Napoca și ISIM Timișoara, s-a reușit conceperea unei scheme de control și reglare a focalizării, proiectând corespunzător sistemul de oglinzi magnetice (fig.2.327).

Pe cele două figuri (2.31 și 2.32) s-a căutat să se sintetizeze concluziile și soluțiile adoptate. Se vede din fig. 2.31a, că informațiile culese din proces, din camera de lucru, prin intermediul electronilor retrădifuzăți, care dau practic variația curentului de sudare (I_p), vor produce reacții atât de partea de înaltă tensiune (IT), cât și în emisia catodică (I_m) și în focalizare, fiind în legătură cu bobinele de focalizare. Pornind tot de la curentul fasciculului, semnalul cules într-un captor de electroni (cușcă Faraday) (fig.2.31g) va fi prelucrat pe display și se va acționa și în sistemul de deflexie. Aceste informații pot fi preluate atât din electronii retrădifuzăți, cât și de la electronii culeși din curentul de pătrundere, sub cusătura sudată.

În fig.2.32b s-a prezentat schematic cum informațiile culese din spațiul de lucru (electroni retrădifuzăți, curentul de pătrundere) prelucrate dau un semnal (IT), care va interveni în lanțul de interacțiuni la sistemul de înaltă tensiune (IT), la curentul de focalizare și sistemul de lentile magnetice, la electrodul de comandă (Wehnelt) și la emisia catodică.

Din cele prezentate în capitol și mai ales în paragraful 2.3, se vede că intervenția în sistemul de lentile magnetice, poate avea rol de "strângere" a fasciculului, dar și rol de reglare pe axa Z (intervenția în sistemul de deplasare fig.2.32 a). Pentru fiecare instalație în parte, trebuie să se ridice caracteristicile bobinelor magnetice și apoi urmărite în proces, în interacțiune

cu câmpurile magnetice și electrice, inclusiv cele remanente în piesa de sudat.

Pentru experimentările făcute, și mai ales pentru sistemele de conducere și control, ce se doresc a fi realizate pentru echiparea instalațiilor de sudare cu fascicul de electroni ITIM și ISIM s-a impus realizarea unui sistem de achiziții de date, pentru prelucrarea semnalelor preluate de la captorii de electroni.

- S-a impus studierea posibilității echipării instalațiilor de sudare cu fascicul de electroni, cu sisteme de calcul care să prelucreze în timp real informațiile culese din proces și nu doar fotografiieri cu sisteme optice sau raze X.

- Rezultatele studiului comparativ al modelelor matematice, a impus concluzia că fenomenele ce au loc în spațiul de lucru, solicită o discretizare, atât în timp cât și în spațiu, și atestă pe deplin principiile ingineriei sistemelor, privind coordonabilitatea, incompatibilitatea, optimalitatea și incertitudinea în interacțiunea pentru sistemele tehnologice de sudare cu fascicul de electroni.

- Fundamentările teoretice, cât și perfecționările experimentale, au implicații directe atât în proiectarea echipamentelor de sudare cu fascicul de electroni, cât și în tehnologiile de sudare.

Realizarea în concepție sistemică, a bazelor de date și stabilirea interacțiunilor între fenomene și subsisteme, au dus la optimizarea globală, a sistemului procesului tehnologic de sudare cu fascicul de electroni.

În cazul oțelurilor speciale, această analiză are deosebită importanță, atât din punct de vedere al aplicațiilor, cât și a implicațiilor materialului, în construcția sudată concretă, optimizarea făcându-se atât off-line (după modelul prezentat la cap.1), cât și on-line, prin conducere optimă, cu sisteme de conducere timp real multiprocesor.

CAPITOLUL 3

SISTEM DE ACHIZIȚIE A DATELOR PENTRU STUDIUL FENOMENELOR CE AU LUCRĂ ÎN SPAȚIUL DE LUCRU

3.1. Noțiuni teoretice referitoare la sistemele de achiziție a datelor (SAD)

Traductoarele ca de altfel majoritatea surselor de informație furnizează semnale electrice (curent sau tensiune) ce urmează a fi măsurate sau supuse unui proces de prelucrare. Aceste semnale sînt de tip analogic, adică sînt mărimi care pot fi reprezentate printr-o funcție de timp continuă. Funcțiile pot lua orice valori cuprinse în domeniul lor de variație. Semnalele se pot prelucra, interpreta sau memora sub formă analogică, acest lucru făcîndu-se de obicei cu introducerea unor erori considerabile.

În cazul în care avem de prelucrat un număr mare de semnale, prelucrarea lor devine practic imposibilă, fără a face apel la mijloace numerice de calcul, caz în care aceste semnale trebuie convertite din forma analogică într-o formă numerică.

Spre deosebire de o mărime analogică a cărei valori se pot găsi în orice punct din domeniul de variație, mărimea numerică (digitală) posedă numai o variație în trepte.

Întreg domeniul de variație este împărțit într-un număr fixat de cuante (număr finit de trepte elementare) de mărime determinată de rezoluția sistemului: diferența între cele mai apropiate valori numerice nu poate fi făcută mai mică decît această treaptă elementară, ceea ce face ca în principal reprezentarea informației sub formă numerică să fie legată de introducerea unei "erori de cuantificare".

Odată transformate în formă numerică, datele pot fi prelucrate matematic, analizate sau folosite pentru funcții de control mult mai precis, rapid, flexibil decît sub formă analogică. În plus, dacă după achiziția lor e nevoie de un volum mare de prelucrare, forma numerică prezintă din nou avantaj, deoarece posibilitatea de acumulare a unor erori prin manipulări succesive este extrem de mică.

De asemenea, forma numerică prezintă avantaj în cazul păstrării datelor pentru durate mari, prin stocarea lor în memorii nevolatile de mare capacitate.

Există o serie întreagă de CAN, începînd cu cele mai lente destinate conversiei semnalelor statice de bandă foarte joasă, ajungînd pînă la sisteme de conversie ultra rapide, folosite la conversia semnalelor de bandă foarte largă.

La conversia analog numerică a semnalelor cu variație continuă, aceste semnale sînt transformate în trenuri de impulsuri modulate în amplitudine, fiecare impuls avînd amplitudinea egală cu valoarea semnalului inițial. Necesitatea acestei operațiuni rezultă din faptul că fiecare măsurare operează asupra unui eșantion al semnalului, timpul de conversie fiind finit, neputînd face măsurători succesive decît după un anumit interval de timp. Alt motiv: se pot eșantiona și folosi semnale provenite de la un proces și se lasă apoi liber calculatorul pentru alte operațiuni.

Problema fundamentală care se pune la eșantionare este cît de des trebuie eșantionat semnalul pentru a nu se pierde informația continuă. Problema este rezolvată cu teorema lui Nyquist care precizează că un semnal analog se poate reconstitui numeric dacă este eșantionat cu frecvența Nyquist care este dată de formula:

$$f_{Ny} = 2 \cdot f_{max}$$

unde f_{max} este frecvența maximă a semnalului analog.

În sistemele cu CAN cu eșantionare pentru fiecare eșantion se obține un singur nivel, determinat de codul numeric atribuit eșantionului. De asemenea valoarea unică obținută în urma conversiei ar putea lăsa impresia că reprezintă valoarea unei eșantionări ideale, ceea ce ar fi eronat. În orice caz, pentru a păstra precizia dorită la eșantionare, este necesar ca timpul de eșantionare să nu fie prea lung. Deoarece timpul de conversie nu poate fi redus oricît, acest deziderat se poate asigura prin folosirea înaintea CAN a unui circuit de eșantionare și reținere ("sample and hold"), a cărui funcție este aceea de a se deschide pe o durată foarte scurtă,

3.2. Descrierea sistemului de achiziție de date. Schema bloc

Schema bloc a sistemului de achiziție de date este cea din figura 3.1.

Componentele schemei bloc sînt:

- blocul de multiplexare
- circuitul de eşantionare şi numărare
- convertorul analog numeric
- interfaţa cu microcalculatorul
- microcalculatorul

Blocul de multiplexare este format dintr-un multiplexor analogic şi un registru de adrese al multiplexorului. Prin intermediul registrului de adrese al multiplexorului se realizează selectarea unui canal din cele 16 de la intrarea multiplexorului analogic. Registrul de adrese al multiplexorului este conectat la biţii inferiori ai magistralei de date: $BD_0 - BD_3$, încălcarea în el făcându-se cu ajutorul semnalului CS_{MUX} , generat de interfaţa cu microcalculatorul.

Circuitul de eşantionare şi memorare are rolul de a eşantiona semnalul selectat de blocul de multiplexare: u la momente de timp bine precizate, de a-l reprezenta exact şi de a-l memora o perioadă de timp necesară convertorului analog numeric să facă conversia. Urmărirea semnalului de la intrare şi memorarea lui sînt comandate de semnalele $HOLD_T$ şi \overline{HOLD}_T generate de convertorul analog numeric.

Convertorul analog numeric generează pentru tensiunea memorată de circuitul de eşantionare şi reţinere un număr pe 12 biţi:

$N_0 - N_{11}$ reprezentat în complement de 2. Sfîrşitul unei conversii este semnalizat interfeţei cu microcalculatorul prin semnalul \overline{S}_0 , care în funcţie de acesta va genera semnalul \overline{INT} către microprocesor. Interfaţa cu microcalculatorul generează pentru convertorul analog numeric semnalele: CD_0 - tact pentru convertorul analog numeric, $START_{CAN}$ - semnal ce indică începutul unei achiziţii, semnalul $RESET$ - ce aduce la 0 logic un bistabil din cadrul convertorului analog - numeric şi semnalul \overline{BHOLD}_{LOG} ce aduce la 0 logic un bistabil şi un registru de deplasare din cadrul convertorului analog numeric.

Interfaţa cu microcalculatorul realizează conectarea convertorului analog numeric la calculator. Ea este legată cu calculatorul printr-o magistrală de date bidirecţională de 8 sau 16 biţi; $BD_0 - BD_7$, respectiv $BD_0 - BD_{15}$ în funcţie de tipul microcalculatorului, o magistrală de adrese de 16 biţi: $BA_{D_0} - BA_{D_{15}}$ şi o magistrală de comenzi, ce conţine comenzile: \overline{RD} , \overline{WR} , \overline{BIO}_{CA} , \overline{SISR}_{CA} .

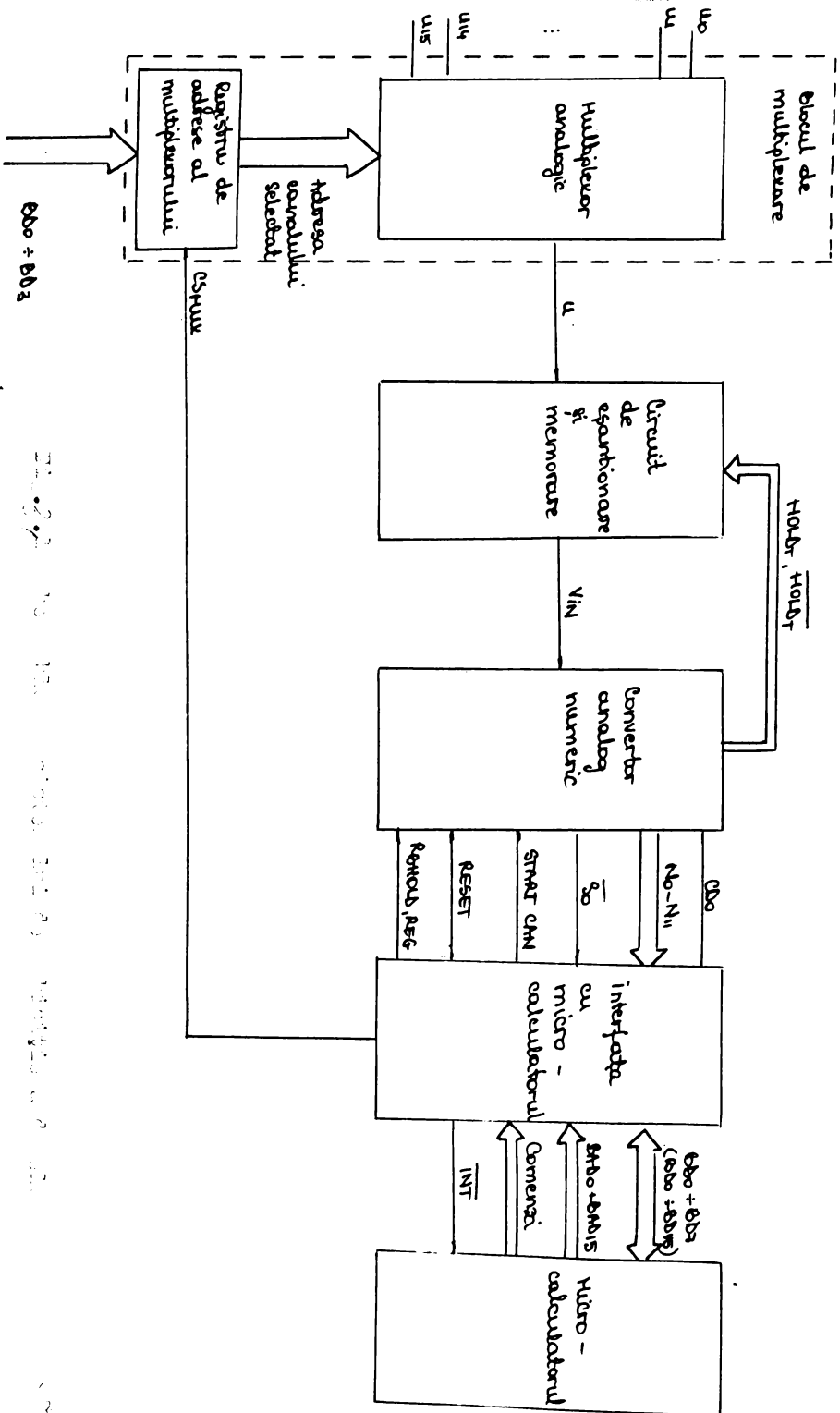


Fig. 2.10. Schema de principiu a unui convertor analog numeric cu multiplexor și circuit de expansiune și memorare.

Sistemul de achiziție de date a fost interfațat la microcalculatoarele TIM-S, TELEROM și IBM PC. El se poate interfața la orice calculator ce își poate genera singur vectorul de întrerupere ca urmare a primirii semnalului \overline{INT} de la sistemul de achiziție de date, prin care se informează microcalculatorul că o achiziție este gata și se poate prelua.

În cazul microcalculatorului TIM-S PLUS semnalul \overline{INT} de la sistemul de achiziții de date se leagă la pinul \overline{INT} de la cupla microcalculatorului, cerând o întrerupere și la pinul IRO, legarea la IRO generând vectorul de întrerupere.

În cazul microcalculatorului TELEROM semnalul \overline{INT} de la sistemul de achiziție de date se leagă la pinul CK3, care este intrare de tact la numărătorul 3 al circuitului CTC, programat astfel încât la activarea semnalului \overline{INT} să genereze întrerupere la Z80. Vectorul de întrerupere este generat de circuitul CTC.

În cazul microcalculatorului IBM PC semnalul \overline{INT} de la sistemul de achiziție de date se leagă la un pin de cerere la întrerupere a circuitului 8259A (controler de întreruperi). Acesta generează pe baza acestei cereri de întrerupere a sistemului de achiziție de date o cerere de întrerupere de către microprocesor. De asemenea tot 8259A generează și vectorul de întrerupere.

3.3. Blocul de multiplexare

În procesul de măsurare a mărimilor situate la distanță față de punctul unde se găsește unitatea centrală de prelucrare a datelor, apare necesitatea transmiterii informației de măsurare prin canale de comunicație. Utilizarea rațională a acestora a condus la necesitatea transmiterii simultane a mai multor mărimi prin același canal. Procesul de combinare a semnalelor pentru a le transporta simultan poartă denumirea de multiplexare, operația inversă fiind demultiplexarea.

În măsurarea numerică, procesul de multiplexare poate fi:

- înaintea conversiei analog numerice, în care caz vorbim de o multiplexare analogică;

- după conversia analog numerică, în care caz vorbim de o multiplexare numerică.

Prima metodă necesită separarea căilor în timp, sau conversia

se face pe fiecare cale în parte, ceea ce necesită câte un convertor analog numeric pe fiecare cale. Metoda este scumpă, dar prin faptul că conversia se face paralel pe toate căile, poate fi mai rapidă. Este o metodă puțin utilizată.

A doua metodă a căpătat o dezvoltare largă datorită construcției modulare avantajoase și a tehnicii de integrare pe scară largă, astfel încît în tehnica modernă de măsurare, multiplexarea semnalelor analogice, cu scopul măsurării lor, se face prin accesul fiecărei mărimi la intrarea convertorului analog numeric în interval de timp t , după care i se interzice accesul pe o durată egală cu $(n-1)t$, unde n este numărul mărimilor ce se multiplexează.

Procesul de multiplexare are nevoie de sisteme de comunicație care să deschidă, respectiv să închidă accesul unei mărimi spre o anumită direcție. Acest procedeu se realizează prin n comutatoare care conduc, la un moment dat, numai una din cele n intrări spre o ieșire unică.

Dispozitivele create pentru multiplexarea semnalelor analogice se pot utiliza tot atît de ușor și pentru semnale numerice.

Tehnica actuală pune la dispoziție multiplexoare capabile să comute 4, 8, 16 canale spre o singură ieșire, cu posibilitatea extinderii gradului de multiplexare, a mărimii numărului semnalelor multiplexate.

Combi-națiunile posibile ale biților de adresă vor permite selec-tarea la un moment dat numai unuia din mărimile analogice de intrare spre a fi trecută la borna de ieșire.

Blocul de multiplexare, prezentat în fig. 3,2 este format din multiplexorul analogic cu 16 canale MMC 4o67 și din registrul de adrese al multiplexorului: MMC 4o54.

Circuitul integrat MMC 4o67 este un multiplexor/demultiplexor analogic și conține comutatoare analogice controlate digital, care prezintă o rezistență în stare ON de valoare coborîtă, curent rezidual în starea OFF mic și decodare internă a adresei. În plus, rezistența în starea ON a comutatoarelor este relativ constantă pe toată plașa valorilor semnalului de intrare.

Circuitul MMC 4o67 este un multiplexor cu 16 canale și are 4 intrări de control A, B, C, D și o intrare de inhibare (INHIBIT), aranjate astfel încît o combinație a intrărilor să selecteze un canal. Un nivel 1 logic pe intrarea INHIBIT blochează toate canalele.

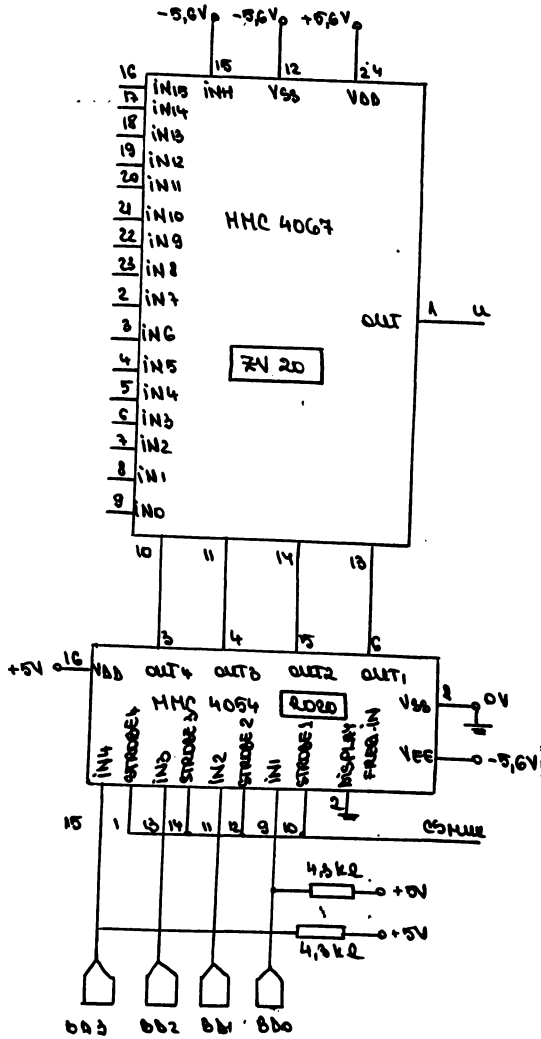


Fig.3.2 Blocul de multiplexare

Circuitul MMC 4054 se poate utiliza la "conversia SUS" sau "conversia JOS" a nivelului logic. De exemplu, semnalul de intrare care variază (V_{DD} la V_{SS}) între +5V și 0V poate fi convertit într-un semnal de ieșire care variază (V_{DD} la V_{EE}) între +5V și -5V.

Funcția de deplasare de nivel permite utilizarea de semnale cu game de variație diferite la intrare și ieșire. Astfel, semnalul de intrare este cuprins în gama V_{SS} la V_{DD} , în timp ce semnalul de ieșire este la plaja V_{EE} la V_{DD} . Astfel intrarea și ieșirea pot varia independent una de alta într-o plajă de 3 ... 18 V. V_{SS} și V_{EE} se pot lega împreună când nu se dorește o deplasare de nivel.

Datele sînt transferate la ieșire aplicînd 1 logic la intrarea STROBE. Un nivel 0 logic pe STROBE "zăvorăște" intrarea de date și ieșirea de comandă.

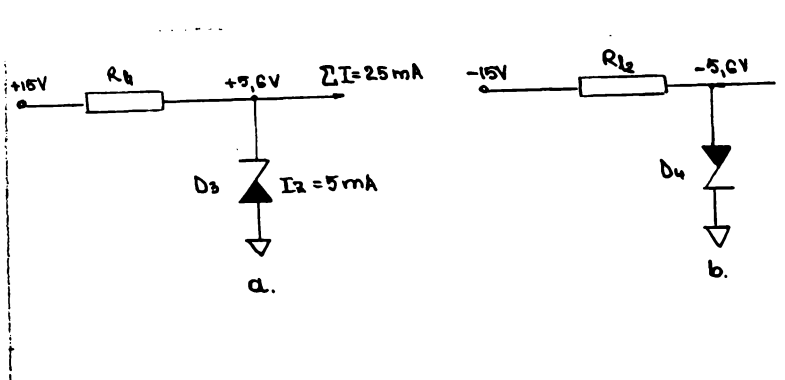


Fig.33.3 Montaj de obținere tensiuni $\pm 5,5V$

Tensiunile de +15V și -15V le-am obținut cu ajutorul circuitului H825 care avînd la intrare tensiuni la +5V furnizează la ieșire tensiunile de -15V și +15V. Borna de 0V a acestui circuit am folosit-o pentru masă analogică.

Stabilirea canalului selectat se face printr-o instrucțiune de scriere la portul pe care îl reprezintă registrul de adrese al multiplexorului, activîndu-se semnalul CS_{MUX} , ceea ce permite să se înscrie în registru informația de pe liniile BD_3 - BD_0 .

3.4. Circuitul de eșantionare și memorare

Curentul rezidual foarte mic (aprox. 10pA) și rezistență foarte mare în starea blocat permit folosirea cu succes a comutatoarelor analogice MLC 4016 sau MNC 4066 în aplicații de tip eșantionare și memorare (sample hold). În fig.3.4 este prezentată schema de principiu pentru un circuit de eșantionare și

memorare în configurația neînversoare; porțile G_1 și G_2 sînt acționate în contratimp.

În perioada de eșantionare poarta G_2 conduce și condensatorul C se încarcă la valoarea tensiunii de intrare. În perioada de memorare poarta G_2 este blocată, G_1 se deschide asigurînd reacția pentru amplificatorul AO_1 .

Acest tip de circuit prezintă o impedanță mare de intrare. Acționarea în contratimp a porților G_1 și G_2 se face de către semnalele \overline{HOLD}_1 și $HOLD_1$ ce provin de la convertorul analog numeric.

Circuitul integrat MMC 4066 conține 4 comutatoare bilaterale concepute pentru transmisia sau multiplexarea semnalelor analogice sau digitale. Circuitul este pin la pin compatibil cu circuitul MMC 4016 dar în comparație cu aceasta asigură o rezistență ON mult mai mică. În plus, rezistența în starea ON a comutatorului este relativ constantă pe toată plașa semnalului de intrare.

Amplificatoarele operaționale trebuie astfel alese încît să aibe curentul de polarizare la intrare cît mai mic și să fie cît mai rapide. Propunem utilizarea circuitului ROB201A. Din motive de disponibilitate am adoptat circuitul ROB101.

3.5. Convertorul analog numeric

Convertorul analog numeric sintetizat este de tipul cu aproximații succesive. El este format din următoarele părți: bloc convertor numeric analogic, bloc comparator și registru de aproximații succesive (bloc generare numere). Schema electrică a convertorului analog numeric este dată în planșa 1 din anexă.

Intrarea în schema de conversie analog numerică se face în tensiune: V_{IN} iar ieșirea este reprezentată prin cei 12 biți ai registrului de aproximații succesive.

Convertorul numeric analogic folosit este circuitul K594MA1, convertor pe 12 biți de mare precizie. El este compatibil cu circuitul AD562, (fig.3.5). Tensiunea de referință a convertorului numeric analogic a fost realizată cu ajutorul circuitelor: stabilizator de tensiune A723 și amplificator operațional AO007.

Schema bloc include un circuit pentru producerea tensiunii de referință stabilizate și compensată termic, un amplificator de eroare de tip diferențial, un element de reglare cu tranzistoarele T_{14} și T_{15} , un tranzistor de protecție și o diodă stabiliza-

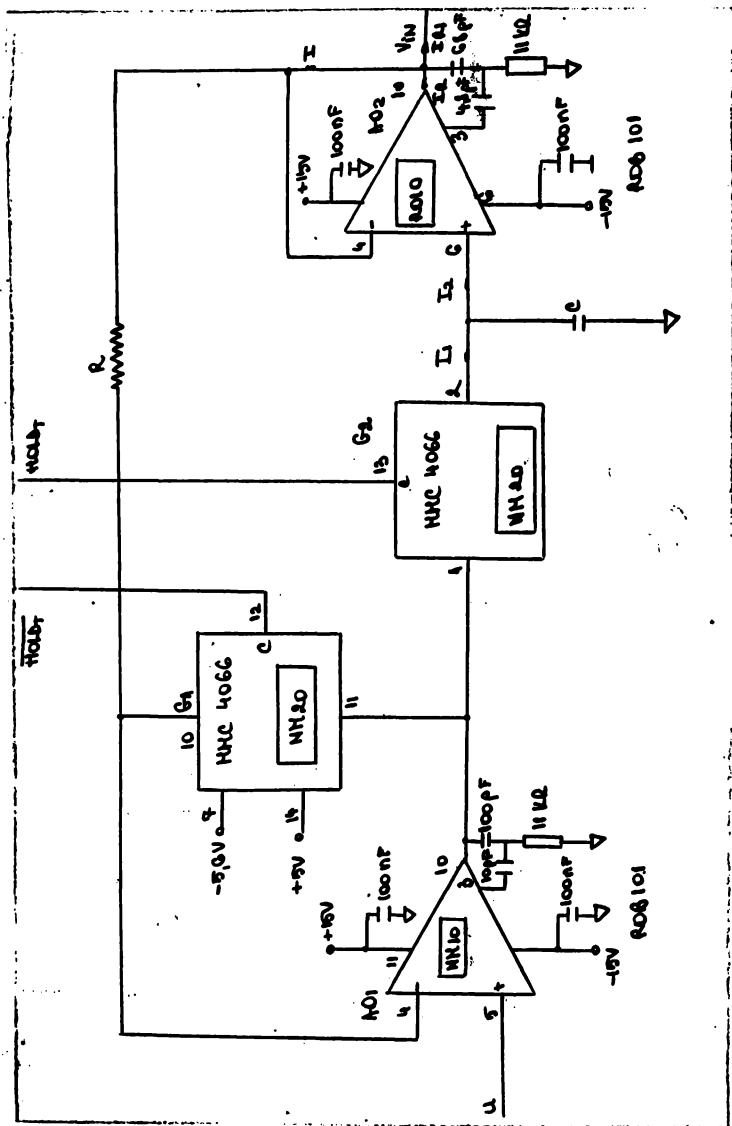


Fig.3.4 Schema circuitului de eşantionare și memorare

toare de 6,5V. Tensiunea de referință este necesară pentru a realiza la intrarea amplificatorului o comparație între aceasta și o parte din tensiunea de sarcină în scopul stabilizării celei de a doua. Amplificatorul de eroare amplifică variația tensiunii pe sarcină (față de valoarea prescrisă cu ajutorul tensiunii de referință) și comandă elementul de reglare serie, pentru ca acesta să preia variațiile tensiunii alimentare.

3.6. Interfața și microcalculatorul

Interfața cu microcalculatorul trebuie să îndeplinească următoarele sarcini:

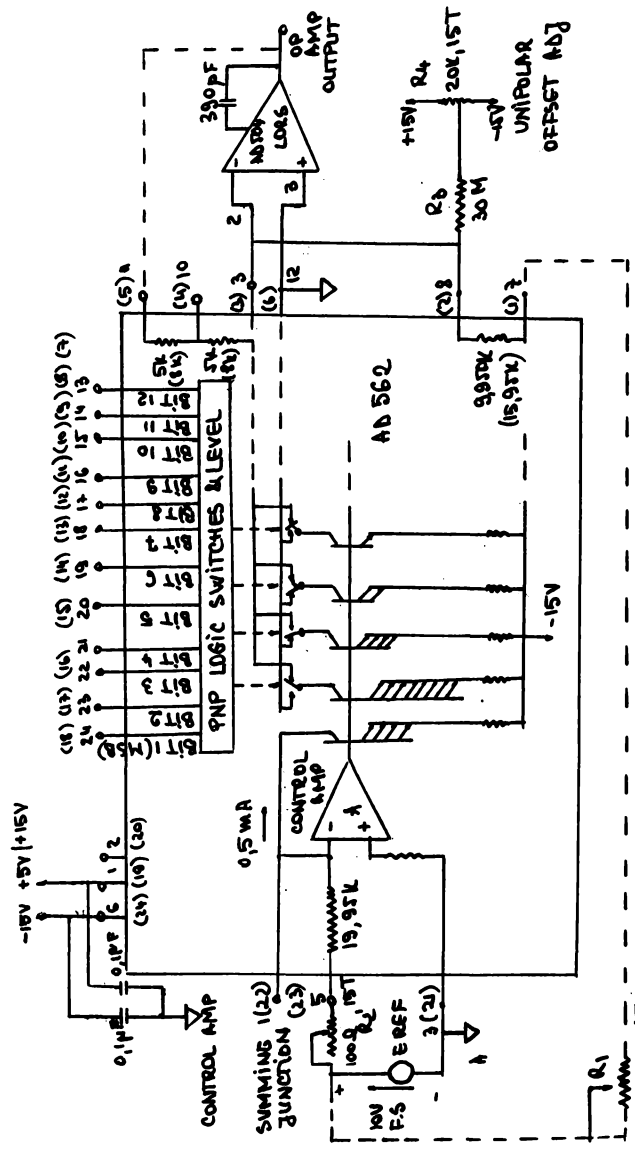
- generarea tactului CD_0 pentru convertorul analog numeric
- decodificarea adreselor
- generarea semnalelor $START$ și $DATA$, de declanșare a fiecărei conversii și a semnalului ST , de pornire, oprire a achiziției de date
- generarea semnalului $RESET$ și $BUSOLD, RD$
- generarea semnalului de întrerupere către microcalculator, utilizând semnalul $\overline{S_0}$
- sinteza interfeței cu magistrale de date a microprocesorului, pentru citirea numărului ce reprezintă conversia analog numerică a semnalului de la intrare.

Pentru generarea tactului CD_0 convertorul analog numeric utilizăm un circuit numărător MMC 4024.

Circuitul integrat MMC4024 este un numărător binar asincron (cu transport succesiv) de 7 biți. Toate etajele numărătorului sînt circuite bistabile master-slave de tip T.

Numărătorul incrementează pe frontul negativ (transiție negativă) al fiecărui impuls de intrare. Nivelul 1 logic al intrării $RESET$ aduce toate ieșirile numărătorului în 0 logic. Circuitul trigger Schmitt de la intrare permite lucrul cu impulsuri ale căror fronturi sînt lent variabile.

Pentru decodificarea adreselor folosind un circuit MMC4028 ca în fig.3.6. Circuitul integrat MMC4028 este un decodor din epdul zecimal codificat binar (BCD) în codul zecimal sau din codul binar în codul octal. Are de asemenea etaje buffer la cele 4



BIPOLAR OFFSET NO. 1

A = ANALOG GROUND

Fig.3.5 Converterul analog numeric

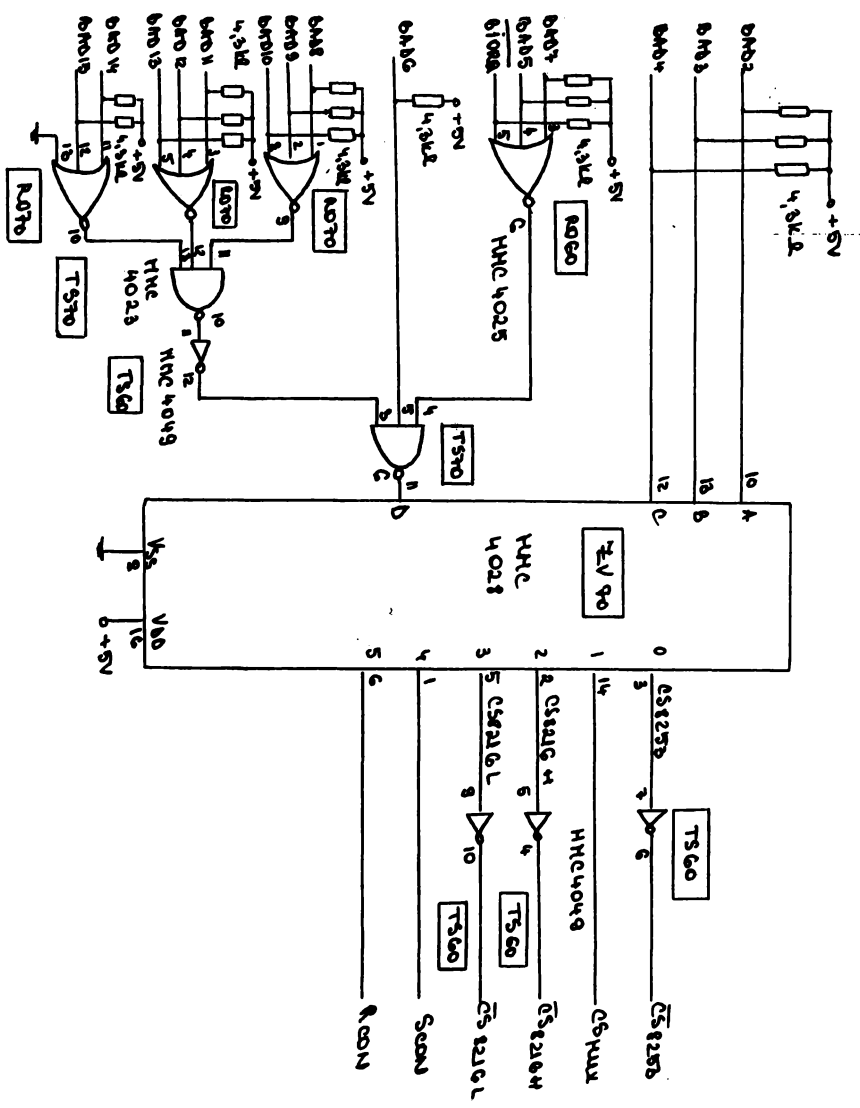


Fig. 3.6 Circuit pentru decodificarea adresei

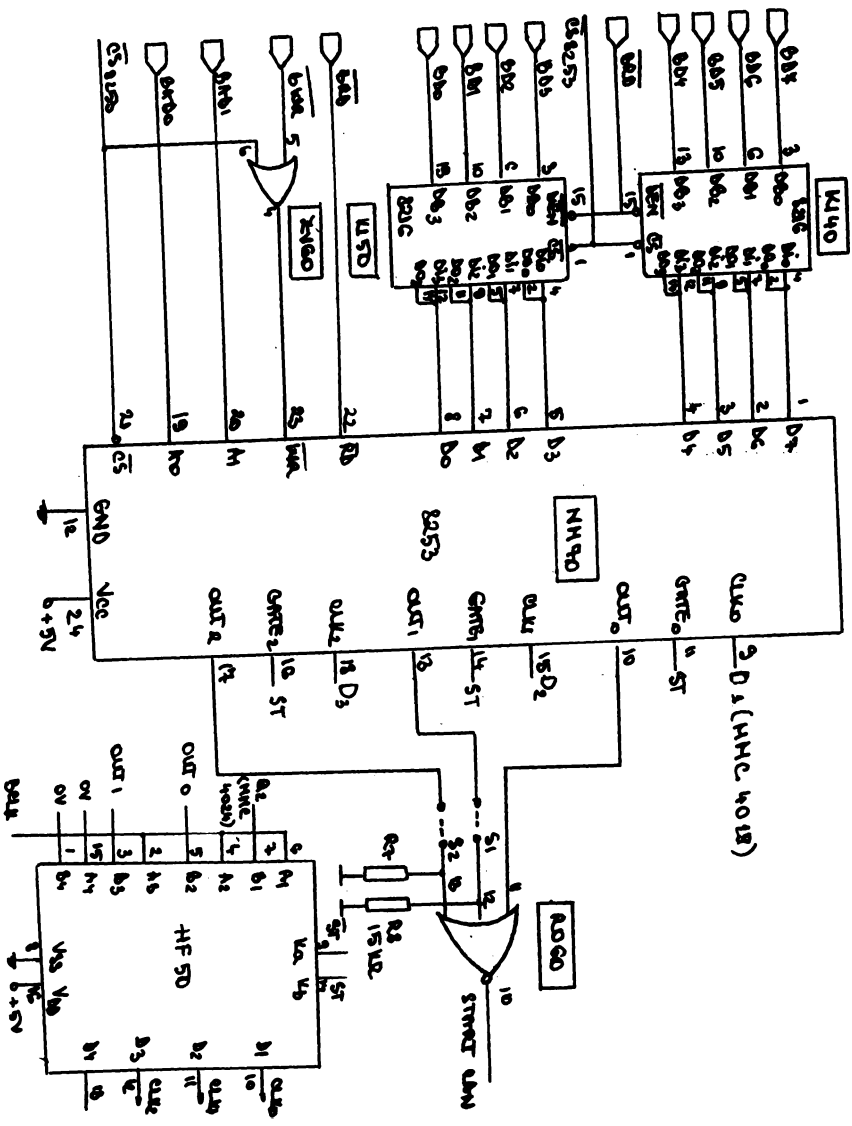


Fig.3.7 Generarea semnalului START - CMM

intrări (A, B, C, D) și 10 ieșiri (0 ... 9) și o logică de decodificare cu porți. La aplicarea unui cod BCD pe cele 4 intrări se obține un semnal logic numai la una din cele 10 ieșiri, celelalte ieșiri fiind în C logic.

Generarea semnalului START CAN se face cu ajutorul unui circuit 8253 ca în fig.3.7. El este folosit în această aplicație în modul 2 de lucru. Pentru generarea semnalului START CAN se programează în modul 2 de lucru 1, 2 sau toate cele 3 contoare ale lui 8253 în funcție de frecvența de eșantionare dorită. Pentru a obține o durată a unei conversii mai mare (frecvența de eșantionare mai mică) canalele lui 8253 sînt legate în serie. Dacă nu sînt folosite, contoarele 1 și 2 trebuie deconectate de la intrările porții S.U.-LU prin intermediul switch-urilor S1 și S2.

Pentru interfățarea liniilor de date ale lui 8253 la liniile de date ale microcalculatorului folosim două circuite 8216, care sînt niște buffere de magistrală bidirecționale.

Pentru pornirea și oprirea achiziției s-a folosit un bistabil de tip D:COM, a cărui ieșire s-a legat la întreruperea CAN a controlerului C. O instrucție de ieșire la portul 0050H va pune pe 1 bistabilul și va lansa achiziția. O instrucție de ieșire la portul 0054H sau activitatea semnalului SKSREBLET va opri achiziția.

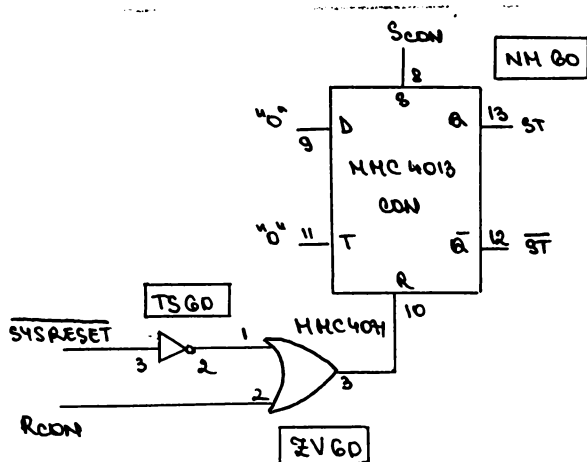


Fig.3.8 Circuitul de pornire oprire al achiziției

Semnalele \overline{RESET} și $R_{HOLD,REG}$ se generează conform ecuațiilor:

$$\overline{RESET} = \overline{SYSRESET}$$

$$R_{HOLD,REG} = \overline{START_CAN} + \overline{SYSRESET}$$

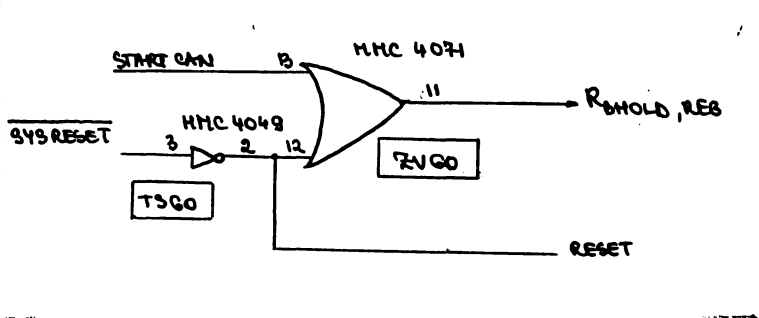


Fig.3.9 Generarea semnalelor \overline{RESET} , $R_{HOLD,REG}$.

Generarea semnalului de întrerupere către microcalculator se face conform schemei din fig. 3.10.

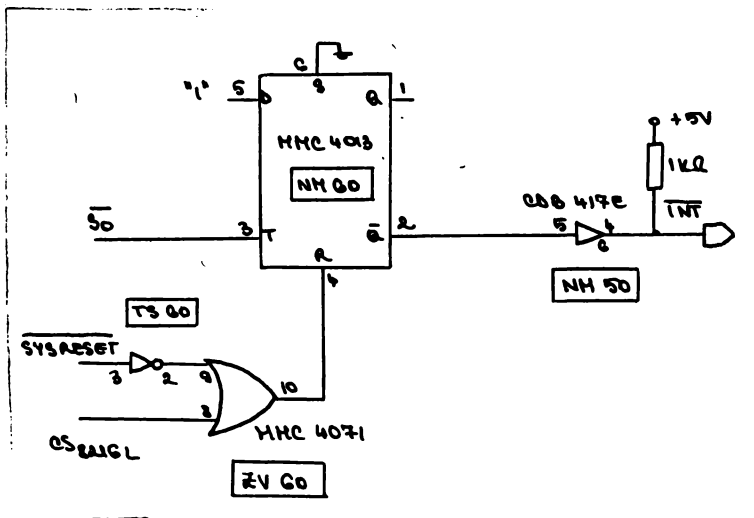


Fig.3.10 Generarea semnalului de întrerupere către microcalculator

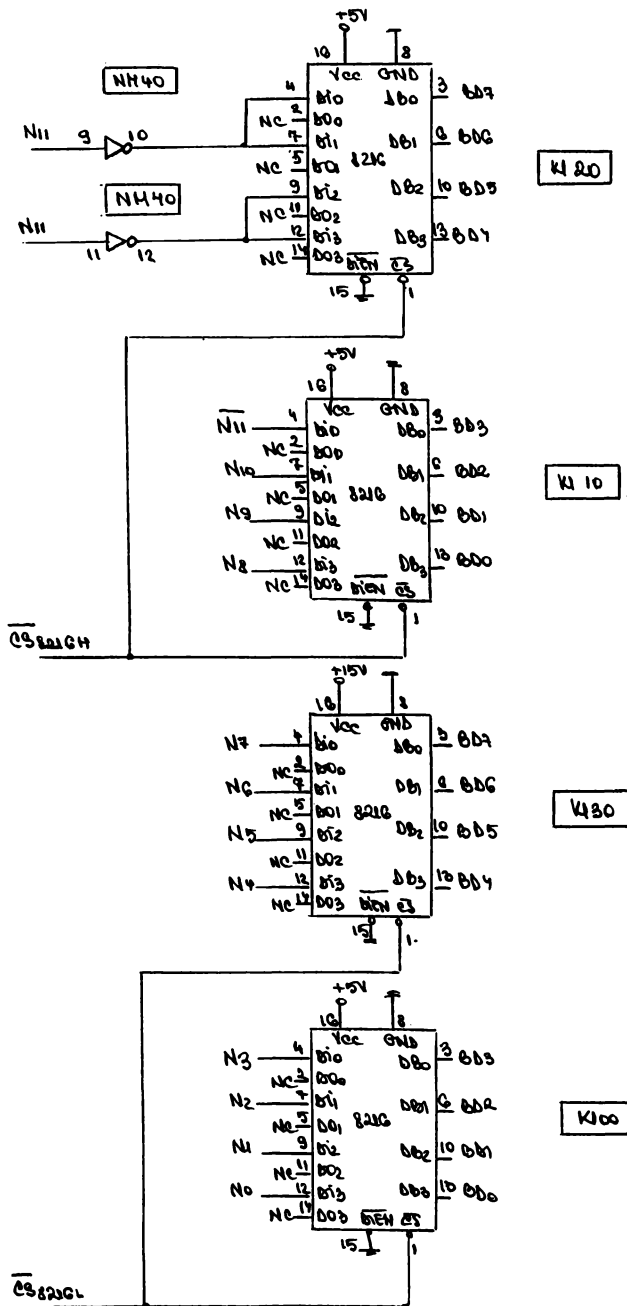


Fig. 3.11 Cuplarea interfeței cu magistrala de date

Terminarea unei conversii se face cu frontul ridicător al semnalului \bar{S}_0 . Acesta determină poziționarea pe 1 logic a unui bistabil de tip D. Aducerea acestuia la 0 logic se face în rutina de tratarea întreruperii, la citirea părții mai puțin semnificative a numărului ce reprezintă conversia analog numerică a semnalului de la intrare, sau la activitatea semnalului \overline{STRATA} . Ieșirea \bar{Q} a acestui bistabil comandă o poartă cu colector în gol CDB4017E, la ieșirea căreia se obține semnalul \overline{INT} de întrerupere către microcalculator.

Pentru cuplarea interfeței cu magistrala de date a microcalculatorului, pentru citirea numărului ce reprezintă conversia analog numerică a semnalului de la intrare, se folosesc 4 circuite 8216, ca în fig.3.11.

3.7. Programe pentru achiziția datelor

Pentru ca utilizatorul să realizeze diverse programe de achiziție și prelucrare a datelor, am realizat două rutine BIOS, dintre care una pregătește achiziția, iar cealaltă o lansează. De asemenea am realizat și rutina de tratare a întreruperilor ce provin de la sistemul de achiziție de date. Toate aceste rutine sînt prezentate în anexa A.

Rutina de pregătire a achiziției are codul COD1 pe care utilizatorul trebuie să îl introducă în registrul C înainte de apelarea subrutinei. De asemenea în registrul DE trebuie să transmită adresa tablei de date inițiale (ADRTEB). Incepînd de la această adresă utilizatorul trebuie să pună niște date necesare pentru realizarea achiziției și anume: constantele de încărcare ale contoarelor circuitului 8253, constanta ce reprezintă numărul de achiziții cerute, adresa inițială de la care s depun în memorie numerele achiziționate și apoi numerele canalelor selectate: OC_{II} - canalul 0, canalul 1 - OC_{II} , ..., OC_{II} - canalul 16. Ultima locație care trebuie să o completeze utilizatorul este pentru a indica sfîrșitul listei canalelor selectate, și valoarea ei este FF_{II} .

În rutina de pregătire a achiziției mai înainte se dezactivează întreruperile mascabile, apoi se precizează ADRTEB în IX, iar în IY se formează adresa primei locații în care se află numărul de canalului selectat. Această adresă se salvează și în memorie la adresa ADRIC, de unde va fi luată atunci cînd s-a achiziționat de la ultimul canal prevăzut în listă.

ADR TAB

| | | |
|-------|---|--|
| 0 | L | Constanta de încălzire |
| 1 | H | a contorului 0 : K0 |
| 2 | L | Constanta de încălzire |
| 3 | H | a contorului 1 : K1 |
| 4 | L | Constanta de încălzire |
| 5 | H | a contorului 2 : K2 |
| ----- | | |
| 6 | L | Constanta ce reprezintă |
| 7 | H | numărul de achiziții cerute |
| 8 | L | Adresa de depunere în memorie a |
| 9 | H | numerelor achiziționate |
| ----- | | |
| 10 | | Locații pentru a indica numerele |
| 11 | | canalelor selectate. Ultima locație |
| 12 | | e pentru indicator de sfârșit de listă |
| | . | canale selectate pentru achiziții |
| | . | successive, ce are valoarea PE_H |
| | . | |
| | . | |

și urmează să se achiziționeze din nou de la primul canal din listă.

Apoi se invalidează ieșirea lui 8253, deoarece bistabilul ce controlează intrarea de autorizare a ieșirii lui 8253 este acționat pe intrările asincrone ca urmare a unor instrucțiuni de ieșire (aducerea la "0" logic se poate face și prin acționarea butonului de RESET) și la pornire poate fi în orice stare.

În continuare se inițializează registrul I₁ al lui 800, lucrându-se în modul 2 de întrerupere. Apoi se completează tabelul vectorilor de întrerupere cu adresa subrutinei de tratare a întreruperilor S₁T.

Urmează programarea lui 8253. Mai întâi se trimite cuvântul de comandă. Apoi se testează dacă constanta de încălzire a canalului 0 nu este 0. Dacă este 0 se încarcă registrul A cu valoarea $2E_{II}$ care îi va indica utilizatorului la ieșirea din subrutina BDC3 că nu a dat corect această constantă. Dacă nu este 0, atunci se transmite contorului 0, mai întâi partea mai puțin semnificativă, apoi partea mai semnificativă. Analog se procedează cu constantele de încălzire ale contoarelor 1 și 2, cu excepția că, dacă aceste constante sînt 0 înseamnă că frecvența de eșantionare dorită nu a necesitat utilizarea contorului (contoarelor) respective, dar nu este eroare și se sare la sfîrșitul secvenței de programare a lui 8253.

Apoi se testează dacă numărul de achiziții cerute nu este nul. În caz că e nul se introduce în registrul B $2E_{II}$, care îi va indica utilizatorului la ieșirea din subrutina că nu a indicat corect această constantă, după care se revine în programul utilizatorului.

În continuare se corectează dacă nu cumva în lista care indică numerelor canalelor selectate nu a fost trecut nici un canal. Pentru aceasta se face un SI logic între numărul conținut de prima locație din listă cu constanta $2C_{II}$, (pentru a reprezenta un număr de canal, acesta trebuie să fie cuprins între $0C_{II}$ și $0E_{II}$, deci trebuie să aibă primii patru biți pe 0). După operația de SI logic un conținut diferit de 0 indică o eroare de neselectare a nici unui canal. În acest caz, în registrul C se introduce valoarea $2E_{II}$ ce va indica la ieșirea din subrutină acest tip de eroare. În continuare se selectează primul canal trecut în listă pentru a pregăti prima achiziție și se pregătește adresa pentru canalul următor.

Apelarea subrutinei se face astfel:

LD C, COD1:

LD DL, ADDR1D

CALL 5

La ieșirea din subrutină se verifică dacă nu cumva s-au făcut una din erorile menționate mai sus, comparând conținutul registrelor A, B, C, cu DL.

Rutina de tratare a întreruperii de la sistemul de achiziție a datelor se află în memorie la adresa SERV. La început se salvează registrele în stivă.

Apoi se face schimbarea canalului pentru următoarea achiziție. Se compară numărul canalului cu FP_H . Dacă în urma comparației rezultă că la locația citită a fost înscris FP_H înseamnă că s-a ajuns la ultimul canal selectat. În acest caz se formează adresa pentru citirea numărului canalului selectat primul și printr-o instrucțiune de ieșire se selectează acest canal, după care se pregătește adresa pentru a citi numărul canalului următor.

În continuare se citește de la sistemul de achiziție de date octetul mai semnificativ al numărului ce reprezintă conversia semnalului de la intrare și se depune în memorie la adresa conținută de locațiile 8 și 9 ale tabelului aflat la adresa ADDR1B. La fiecare depunere în memorie această adresă se actualizează prin incrementare cu 1. După aceea, analog, se citește octetul mai puțin semnificativ și se depune în memorie.

Apoi se actualizează numărul de achiziții ce mai trebuie făcute, aflat în tabelul de la adresa ADDR1D, prin decrementare 1.

În continuare se testează sfârșitul achiziției, prin compararea numărului de achiziții ce mai trebuie făcute cu 0. În caz că s-a făcut numărul de achiziții prevăzut de utilizator se oprește achiziția prin blocarea ieșirii lui 8253, printr-o instrucțiune de ieșire. Apoi se refac registrele. După aceea se autorizează întreruperile născabile.

A doua rutină DD15 este pentru startul achiziției și are codul COD2 pe care utilizatorul trebuie să îl introducă în registrul C înainte de apelarea subrutinei.

Printr-o instrucțiune de ieșire se pune pe "1" logic un bistabil ce autorizează ieșirea circuitului 8253, fiind legat la intrarea CALL a contorului C. Apoi se autorizează întreruperile.

La ieșirea din această rutină sistemul de achiziție a datelor a început să achiziționeze. Procesul se va opri după achiziționarea ultimului octet, după cum am arătat la prezentarea rutinei de tratare a întreruperii. Prin consultarea locațiilor de memorie de la adresele 6 și 7 relativ la adresa ADRTAB, utilizatorul poate afla în orice moment numărul de achiziții ce mai sînt de făcut. De asemenea, prin consultarea locațiilor de memorie de la adresele 8 și 9 utilizatorul poate afla adresa la care se va depune următoarea achiziție.

Apelarea rutinei de pornire a achiziției se face astfel:

LD C, CGB2

CALL 5

Pentru ca utilizatorul să realizeze diverse programe de achiziție și prelucrare a datelor pentru microcalculatorul TELECOM s-au realizat două rutine BDCS și rutina de tratare a întreruperilor identice cu cele prezentate la microcalculatorul TIM-S PLUS, cu singura excepție că în rutina de pregătire a achiziției s-a intercalat înainte de programarea circuitului 8253 o secvență de instrucțiuni pentru programarea canalului 3 al circuitului CTC Z80 identică cu cea folosită în programul pentru testarea sistemului de achiziție de date (vezi anexa C).

3.8. Program de testare a sistemului de achiziție de date

Programul de testare a sistemului de achiziție de date s-a realizat cu ajutorul plăcii de unitate centrală M80 UC (HMDS) și a unui DAP 1001. Programul de testare stabilește inițial modul 2 de întrerupere al microprocesorului Z80. Apoi se invalidează registrul I al lui Z80 și se completează tabelul vectorilor de întrerupere cu adrese de tratare a întreruperilor: INTV.

În continuare se programează canalul 3 de la CTC în modul următor. Se încarcă canalul 3 cu constanta 01H și se validează întreruperile, astfel încât fiecare front activ al semnalului INT, conectat la intrarea INT₃ a conectorului de interfețe a plăcii M80 UC, ce reprezintă intrarea de CLK/TLS a canalului 3 să decreteze constanta "1" înscrisă în acest canal, ajungându-se la "0" și ducînd astfel la activarea cererii de întrerupere către microprocesorul Z80. Vectorul de întrerupere va fi generat de către CTC Z80. datorită inversoarelor de la intrarea circuitului CTC Z80 frontul activ : negativ al semnalului INT se transformă în

front pozitiv, astfel că în cuvântul de comandă al circuitului 8250 Z80, bitul 4 trebuie să fie pus pe "1".

Urmează apoi programarea circuitului 8253 și validarea ieșirii circuitului 8253 după care se autorizează întreruperile mascabile. Apoi se intră într-o buclă infinită. Ieșirea din program se face acționând butonul de RESET, care ne aduce în monitor și dezautorizează ieșirea lui 8253.

În cadrul rutinei de tratare a întreruperii se salvează mai întâi registrele, apoi se citește în registrul HL numărul ce reprezintă conversia analog-numerică a mărimii de la intrare. În continuare se introduce în registrul B constanta 01H, specificând canalul consolă, pregătind astfel apelarea subrutinei MMHLBL, care tipărește valoarea din registrul HL la canalul specificat de registrul B. Apoi se refac registrele și se autorizează întreruperile mascabile. Programul de testare îl dăm în anexa B.

Pentru realizarea testării tensiunea de intrare în sistemul de achiziție de date este modificată cu ajutorul unui potențiomtru. Tensiunea astfel obținută este măsurată cu un voltmetru numeric. Executându-se programul de testare, pe ecranul DAF-ului vor apărea numere reprezentând conversiile analog numerice ale tensiunii de la intrarea sistemului de achiziție de date. Modificând tensiunea de intrare cu anumite valori și analizând numerele de pe ecran se pot trage concluzii privind buna funcționare și precizie a sistemului de achiziție de date.

CAPITOLUL 4
CONDICIILE SUDĂRII CU FASCICUL DE ELECTRONI PENTRU CĂLDURII
REZISTENȚIA TERMICĂ ȘI DIFERENȚIALE DE TEMPERATURĂ

4.1. Analiza distribuției de temperatură în timpul sudării
cu fascicul de electroni pornind de la ecuația căldurii

Studiul câmpului termic, la sudarea cu fascicul de electroni, este dificil, deoarece zonele care intervin în acest proces, sînt reduse dimensional, în geometrie diversificată, astfel că o metodologie clasică nu există. Majoritatea metodelor de studiu abordate, se bazează pe simulare, tratîndu-se termic probele, de dimensiuni astfel alese, încît să se obțină structuri asemănătoare sau identice cu cele ce apar într-o îmbinare sudată.

În practică, problema se pune în două feluri: sau se dau anumite condiții de realizat (de exemplu, se cere ca o anumită porțiune de material, să fie adusă la temperatura T , într-un interval de timp t) și se cercă caracteristicile pe care trebuie să le îndeplinească fasciculul de electroni, sau pentru un fascicul de electroni dat, se cere să i se cunoască posibilitățile (de exemplu pînă la ce adîncime se poate topi un oțel în timpul t).

Intr-o primă aproximație, așa cum s-a văzut și în capitolul precedent, legătura între fasciculul de electroni și efectul său termic, este dată de ecuația căldurii, care leagă fluxul de energie absorbit de temperatura obținută în mediu. Ca finalitate, se dorește a se releva acele aspecte, privind rezolvarea ecuației căldurii, în cazul concret al prelucrării cu fascicul de electroni care pot duce la estimări numerice ce pot preciza fenomenele și distribuția de temperatură scontată.

În calcul trebuie să se țină seama, că fasciculele de electroni utilizate pentru sudare, la diametre de 0,1 - 1 mm au o putere specifică de $10^6 - 10^8$ W/cm² (de circa 1000 de ori mai mare decît cea corespunzătoare cu arcul electric). Distribuția finală de energie, are loc însă suficient de rapid ca să nu ne apropiem de limita de timp, în care ecuația căldurii își pierde valabilitatea.

Evoluția temporală, a distribuției temperaturii, la sudarea cu fascicul de electroni, este legată de apariția fluxurilor de căldură de la regiunile mai calde, la regiunile mai reci. Cele

trei mecanisme care fac posibil transferul de căldură sînt: conducția, în care căldura se propagă direct prin mediu, convecția, în care propagarea căldurii are loc odată cu mișcarea unor porțiuni de mediu și radiația, în care căldura va trebui să fie privită ca o formă de propagare a energiei electromagnetice.

În preluorările termice realizate cu fascicul de electroni efectele termice sînt legate de conducție, chiar la schimbările de fază în cazul apariției peliculei lichide, datorită timpului relativ scurt de încălzire și a dimensiunilor geometrice relativ mici, conductibilitatea prin convecție este ne semnificativă. La temperaturi foarte ridicate, oventual tensiuni mari, pierderile prin radiație pot fi semnificative, de ele ținîndu-se seama sub forma unor condiții suplimentare de suprafață.

Sub aspect fizic ecuația căldurii pleacă de la considerențul că orice corp încălzit neuniform se caracterizează în fiecare punct al său printr-o temperatură $T(x,y,z)$. Conform legii lui Fourier căldura care trece în direcție n , printr-o suprafață A , normală pentru n în unitatea de timp este:

$$q = -\frac{dq}{dt} = -kA \frac{dT}{dn} \quad (4.1)$$

unde dT/dn este modulul gradientului de temperatură, iar k conductibilitatea termică.

Cum energia în unitatea de timp înseamnă putere, iar aceasta împărțită la aria dă densitatea de putere, k va fi densitatea de putere ce străbate materialul datorită unui gradient de temperatură egal cu unitatea. În cazul cel mai general k depinde de punct (cazul unui corp neomogen) de direcție (corp anizotrop) și de temperatură (cazul neliniar). Cu excepția unor referiri speciale, se vor considera doar corpuri omogene și izotrope, rămînînd de interes doar $k=k(T)$.

Pentru majoritatea materialelor în cadrul aceleiași stări de agregare, variația lui k cu temperatura este destul de lentă menținîndu-se la același ordin de mărime. De exemplu la fier:

$$k(273^\circ K) = 59,3 \text{ W/mk} \quad \text{iar} \quad k(1073,15^\circ K) = 29,1 \text{ W/mk}$$

În mod obișnuit se folosește o valoare medie

$$k = \frac{\int_{T_1}^{T_2} k(T) dT}{T_2 - T_1} \quad (4.2)$$

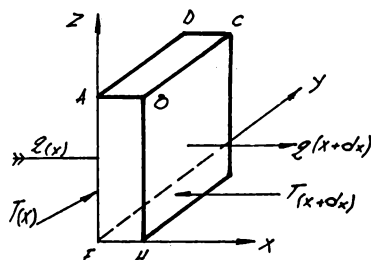
Gradientul de temperatură va fi considerat ca o compunere a gradientilor de temperatură după toate direcțiile și prin urmare, fluxul de căldură total va fi rezultanta fluxurilor pe cele trei direcții. Ca model vom folosi paralelogramul din fig.4.1.

Conform legii lui Fourier fluxul de căldură ce străbate suprafața

ADEF după x este

$$dq_x = -k dy dz \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4.3)$$

Fluxul ce străbate suprafața BCHG se va obține printr-o dezvoltare în serie



$$dq(x+dx) = dq_x + \frac{\partial}{\partial x}(dq_x) dx + \dots \quad (4.4)$$

Atunci acumularea de căldură în unitatea de timp:

Fig.4.1 Element de volum pentru deducerea ecuației căldurii

$$dq_x - dq(x+dx) = -\frac{\partial}{\partial x}(dq_x) dx = -\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx dy dz \quad (4.5)$$

În mod analog se vor obține cantitățile de căldură acumulate în timp pe y și z.

Dacă în unitatea de timp și spațiu este generată o cantitate de căldură $S(x, y, z, t)$, atunci căldura generată în volumul considerat va fi $S(x, y, z, t) dx, dy, dz$. Căldura acumulată și cea generată duc la creșterea energiei interne a corpului, variația energiei interne avînd forma $C dx dy dz \frac{\partial T}{\partial t}$, unde C este capacitatea calorică a unității de masă și densitatea.

Folosind legea conservării energiei se poate scrie:

$$C \rho \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + S \quad (4.6)$$

sau mai general:

$$C \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + S \quad (4.7)$$

Dacă conductibilitatea termică k se poate considera constantă atunci:

$$C \rho \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + S(x, y, z, t) \quad (4.8)$$

ecuație neomogenă ce se poate scrie sub forma:

$$-\frac{1}{K} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 T + \frac{S}{K} \quad (4.9)$$

unde $K = k / (C \rho)$ este difuzivitatea mediului (m^2/s). Din relația (4.3) se obține succesiv:

$$T = -k \Delta y \Delta z \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta t$$

de unde rezultă în cazul când acțiunea termică se face numai din interior

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \nabla^2 T \quad (4.10)$$

iar în cazul unei probleme liniare la plasamentul

$\nabla^2 T$ devine $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$ și ecuația devine:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (4.11)$$

practic toate metodele vor porni de la această ecuație a transmiterii căldurii cu aplicarea diferitelor condiții limită în cazuri concrete și situații diferite funcție de aplicație.

4.2. Condițiile limită și posibilitățile de aplicabilitate a ecuației căldurii pentru cazuri concrete de sudare cu fascicul de electroni

O soluție bine precizată, unică se poate obține din ecuația căldurii numai indicând condiția inițială, adică distribuția temperaturii la momentul inițial $t = 0$ în întreg volumul corpului.

$$T(x, y, z, 0) = f(x, y, z) \quad (4.12)$$

și condițiile limită.

Există mai multe modalități de precizare a condițiilor limită, fiecare modelând o anumită situație fizică și anume:

1. Pe suprafața corpului (frontieră) este precizată valoarea pe care o ia în fiecare moment temperatura pentru întreg domeniul de timp în care se rezolvă ecuația. Pe o bară, învelită adiabatic, de secțiune A , frontiera este formată de cele două capete, iar pentru un capăt la $x = 0$, va trebui specificat

$$T(0, t) = f(t) \quad (4.13)$$

Pentru celălalt capăt $x = l$ trebuie dată de asemenea o condiție de formă (4.13) sau una din cele date în continuare.

2. Pe frontieră este dată valoarea derivatei spațiale a temperaturii:

$$\frac{\partial T(0,t)}{\partial x} = F(t) \quad (4.14)$$

Comparând (4.14) cu ecuația (4.1) se observă că semnificația lui F trebuie să fie $-q/Kl$, deci această ecuație exprimă cazul în care se dă fluxul de putere $q = -\frac{\partial T}{\partial x}$ ce satisface pe suprafață relația:

$$\frac{\partial T(0,t)}{\partial x} = \frac{\varphi(0,t)}{k} \quad (4.15)$$

3. Pe frontieră este dată o relație liniară între derivată și funcție:

$$-\frac{\partial T(0,t)}{\partial x} = aT(0,t) + b(t) \quad (4.16)$$

Din punct de vedere fizic, ecuația (4.16) corespunde unui schimb de căldură dat de legea lui Newton, conform căreia fluxul de putere pe suprafața corpului este proporțional cu diferența între temperatura a mediului ambiant și temperatura pe suprafață $T(0,t)$ adică:

$$\varphi = h [T(0,t) - \theta] \quad (4.17)$$

de unde

$$-\frac{\partial T}{\partial x} = -\frac{h}{k} [T(0,t) - \theta] \quad (4.18)$$

coeficientul de transfer $h = \frac{h}{k}(\gamma)$ este o mărime experimentală într-o primă aproximație constantă care poate fi funcție de T sau θ . Se poate observa că în cazul transferului radiativ se poate aplica de asemenea o condiție de tip.3, cu $h \sim T^3$ (în cazul T nu mult diferit de θ). De fapt în cazul cel mai general:

$$-\frac{\partial T}{\partial x} = f(T(0,t), (0,t)) \quad (4.19)$$

unde în cazul radiativ

$$f = \frac{\sigma \epsilon}{k} (T^4(0,t) - \theta^4(0,t)) \quad 4.20$$

în care $\sqrt{\quad}$ este constanta lui Boltzmann iar $\mathcal{E}(\lambda)$ exprimă emisivitatea suprafeței.

În cazul mediului neomogen în care avem puncte de discontinuitate (de exemplu în locul unde sînt alăturate două materiale diferite, soluția se caută în intervale de continuitate, folosindu-se ecuația căldurii, iar la frontieră se impun soluțiilor condiții de racordare. De obicei, se cere continuitatea temperaturii și a fluxului termic:

$$T(X_{i-0}, t) - T(X_{i+0}, t) \quad (4.21)$$
$$k(X_{i-0}) \frac{\partial T(X_{i-0}, t)}{\partial x} = k(X_{i+0}) \frac{\partial T(X_{i+0}, t)}{\partial x}$$

Mai există situații în care condițiile limită sînt împinse la infinit (de ex. încălzirea unei bare sau unei plăci infinite sau semi-infinite) și în acest caz se demonstrează că existența soluțiilor este asigurată.

Ecuația căldurii prezentată în paragraful anterior, va descrie corect distribuția de temperatură numai dacă : a) timpul de iradiere este foarte scurt (în caz contrar ecuația căldurii trebuie înlocuită cu ecuația telegrafistilor, care ține seama de viteza finită de propagare a căldurii); b) spațiul pentru care se aplică nu este foarte mic; c) nu au loc fenomene care să altereze valabilitatea ecuației căldurii.

Practic semnificația acestor limitări este următoarea:

- a) Durata fenomenului studiat nu trebuie să fie mai scurtă de $(10^{-10}) \mu s$, caz în care căldura nu mai are timp să intre în material, ea fiind absorbită de încălzirea plasmei create.
- b) Conductibilitatea termică mediază anumite mărimi de tipul drumului liber mijlociu al electronilor și de aceea nu are rost să studiem distribuția de temperatură în corpuri sau regiuni mai mici de câțiva microni.
- c) Dacă încălzirea este urmată de alte fenomene ca: topire, evaporare, excitări, disocieri, ionizări, în general orice schimbare de fază, atunci ecuația căldurii nu poate aproxima ea singură, corect, fenomenul. Deoarece la prelucrarea cu fascicul de electroni ne interesează topirea (la sudură) și vaporizarea (la perforare) sau o schimbare de fază (la durificare) în paragrafele următoare se vor aduce completările necesare pentru a obține modelele

care să descrie corect și fidel fenomenele fizice.

Determinarea corectă a distribuției de temperatură într-un caz particular concret este condiționată de o serie de parametri. În primul rând intervine descrierea geometrică a domeniului, în principiu ecuația căldurii putând fi scrisă și rezolvată pentru orice formă de corp; apoi descrierea spațio-temporală a fascicului; al treilea parametru se referă la caracterizarea materialului prin componentele k , ρ și c , care la rândul lor pot fi funcții de punct și de temperatură; sînt de asemenea foarte importante stabilirea condițiilor termice inițiale; și caracterizarea interacției corpului studiat cu compuşii învecinați, adică toate celelalte condiții de frontieră, în afara regiunii bombardate cu P. I.

Am recapitulat și sistematizat toate aceste etape și parametri pentru a arăta că un rezultat corect se poate obține doar în cazul unei modelări corecte, pe care o oferă cel puțin virtual ecuația căldurii. În realitate avem de ales între două posibilități: sau aproximăm situația concretă în așa fel încît să o aducem la o formă pentru care soluția ecuației este cunoscută și se exprimă analitic, sau trebuie să apelăm la aproximații numerice care pot modela mai bine (teoretic oricît de bine) situația reală.

Fiecare din aceste posibilități are avantajele și dezavantajele ei; metoda analitică este în general mai ușor de estimat și dă ordinul de mărime, o primă aproximație a efectului termic pe care îl putem conta.

Metodele numerice necesită accesul la calculatoare mai mult sau mai puțin puternice (ca viteze de lucru și extensie a memoriei) în schimb aproximează mult mai bine situația reală.

4.3. Metode numerice de rezolvare a câmpului termic

4.3.1. Metoda diferențelor finite

Pentru rezolvarea câmpului termic plan prin metoda diferențelor finite ecuația diferențelor se pune sub formă:

$$\lambda \frac{\Delta^2 T_x}{\Delta x^2} + \frac{\Delta^2 T_y}{\Delta y^2} = 0 \quad (4.23)$$

în care :

$$\Delta^2 T_x = T_{x,x+\Delta x,y} - 2T_{x,y} + T_{x,y-\Delta x,y} \quad (4.24)$$

$$\Delta^2 T_y = T_{x,y+\Delta y} - 2T_{x,y} + T_{x,y-\Delta y} \quad (4.25)$$

Inlocuind în ecuația 4.23 și rezolvând în raport cu $T_{x,y}$ se obține:

$$T_{x,y} = \frac{\Delta^2 y (T_{x+\Delta x,y} + T_{x-\Delta x,y}) + \Delta^2 x (T_{x,y+\Delta y} + T_{x,y-\Delta y})}{2(\Delta^2 x + \Delta^2 y)} \quad (4.26)$$

Pentru o rețea ortogonală pătratică $\Delta x = \Delta y = \Delta$, temperatura într-un nod al rețelei de coordonate x,y este media aritmetică a temperaturilor nodurilor vecine; pe baza conservării fluxului termic

$$T_{x,y} = \frac{T_{x+\Delta x,y} + T_{x-\Delta x,y} + T_{x,y+\Delta y} + T_{x,y-\Delta y}}{4} \quad (4.27)$$

Transcrise în diferențe finite condițiile de limită sînt:

- condiții de speța I

$$T_{i,e} = c_t \quad (4.28)$$

- temperatura interioară și exterioară constantă

- condiții de limită de speța II

$$q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta y} = 0 \quad (4.29)$$

- condiții de limită de speța III

$$d_1 (T_i - T_{si}) = \frac{T_{si} - T_2}{\Delta y} \quad (4.30)$$

$$\lambda \frac{T_4 - T_{se}}{\Delta y} = \alpha_2 (T_{se} - T_e)$$

- Condiții de limită în speța IV

$$\lambda \frac{T_1 - T_2}{\Delta y} = \lambda_2 \cdot \frac{T_2 - T_3}{\Delta y} \quad (4.32)$$

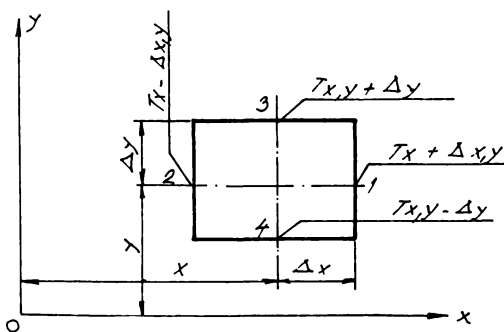


Fig.4.2 rețeaua de puncte pentru metoda diferențelor finite

La structuri neomogene, valoarea temperaturii într-un nod "n" al rețelei de calcul se exprimă în funcție de temperaturile nodurilor vecine și de penetrabilitățile termice ale zonelor aferente axelor rețelei de calcul, în sistemul de ecuații algebrice liniare:

$$T_n = \frac{\sum_j \Delta_{n-j} T_j}{\sum_j \Delta_{n-j}} \quad (4.33)$$

în care: T_j este temperatura nodului vecin j ,

Δ_{n-j} permeabilitatea termică a zonei aferente axei $n - j$

Procedeul de calcul presupune parcurgerea următoarelor etape:

- Incadrarea piesei de prelucrat într-o rețea rectangulară la intersecțiile căreia se găsesco nodurile ale căror temperaturi urmează să fie calculate,
- se evaluează rezistențele la permeabilitatea termică corespunzătoare zonelor aferente rețelei de calcul, se exprimă temperaturile în nodurile rețelei utilizând relația (4.33) formînd un sistem de ecuații algebrice liniare,
- se impune condiții la limită și rezolvă sistemul de ecuații rezultînd temperaturile în noduri.

4.3.2. Metoda elementelor finite

Ecuația diferențială care exprimă echilibrul energetic în transferul termic conductiv în cazul unui corp solid cu proprietăți ortotropice în regim, staționar și în lipsa unei surse termice este:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = 0 \quad (4.34)$$

Funcționala potențialului asociată ecuației (4.34) este:

$$\Pi = -\frac{1}{2} \int_V \left[\lambda_x \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \lambda_y \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \lambda_z \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right] dv \quad (4.35)$$

Introducînd condițiile limită enunțate în paragraful anterior rezultă:

$$\Pi = \int_V -\frac{1}{2} \mathbb{F}_G^T \lambda T_G dv + \int_S -\frac{1}{2} \alpha (T - T_\infty)^T (T - T_n) ds \quad (4.36)$$

în care reprezintă matricea caracteristicilor termice:

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_x & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_y & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_z \end{bmatrix} \quad (4.37)$$

$T_{\vec{e}}$ reprezintă vectorul gradientilor câmpului variabil de temperaturi:

$$T_{\vec{e}}^T = \left[\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z} \right] \quad (4.38)$$

este coeficientul de convecție, T matricea temperaturilor corpului, iar T_m matricea temperaturilor mediului.

În expresia (4.36) funcția necunoscută $T(x,y,z)$ poate fi definită prin intermediul unor funcții de interpretare

$$T = NT_e \quad (4.39)$$

în care N este vectorul funcțiilor de formă. Pentru elementul triunghiular acesta va fi:

$$N = (n_i, n_j, n_k) \quad (4.40)$$

T_e este vectorul temperaturilor din nodurile elementului finit. În fiecare nod se consideră o singură variabilă "temperatură":

$$T = (T_i, T_j, T_k) \quad (4.41)$$

Efectuînd substituțiile în (4.35) aceasta devine:

$$\mathcal{H} = \frac{1}{2} T_e^T \int_V B^T \lambda B dv T_e + \int_S \frac{1}{2} \alpha (NT_e - T_m)^T [NT_e - T_m] ds \quad (4.42)$$

Pe baza calculului variațional din (4.42) se obține ecuația elementului finit în transferul staționar de căldură:

$$K_e T_e = F \quad (4.43)$$

în care

$$K_e = \int_V B^T \lambda B dv + \int_S \alpha N^T N ds \quad (4.44)$$

este matricea caracteristicelor termice iar:

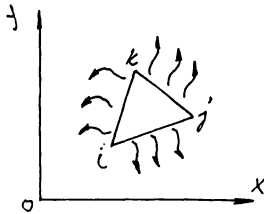
$$F = \int_S h N^T T_m ds \quad (4.45)$$

constituie vectorul fluxului termic.

Pentru elementul finit triunghiular cu notațiile din matricea B va fi:

$$B = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} b_i & b_j & b_k \\ c_i & c_j & c_k \end{bmatrix} \quad (4.46)$$

în care A este suprafața triunghiului iar b și c :



$$\begin{aligned} b_i &= y_i - y_k \\ b_j &= y_i - y_k \\ b_k &= y_i - y_j \\ c_i &= x_k - x_j \\ c_j &= x_i - x_k \\ c_k &= x_j - x_i \end{aligned}$$

Fig.4.3 Element finit triunghiular

Primul termen din 4.44 va deveni acum

$$\int_V B^T \lambda B dv = \int_{\Sigma} \frac{1}{4} \begin{bmatrix} b_i & c_i \\ b_j & c_j \\ b_k & c_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda x & 0 \\ 0 & \lambda y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_i & b_j & b_k \\ c_i & c_j & c_k \end{bmatrix} \quad (4.47)$$

Presupunând că elementul are grosime unitară volumul dv este dA cu integrala pe toată suprafața. Toți termenii de sub semnul integralei sînt cunoscuți astfel că se poate scrie:

$$\int_V B^T \lambda B dv = B^T \lambda B \int dA = \lambda B^T B \quad (4.48)$$

Evaluînd produsul matricial

$$k_e = \frac{\lambda x}{4} \begin{bmatrix} b_i b_i & b_i b_j & b_i b_k \\ b_j b_i & b_j b_j & b_j b_k \\ b_k b_i & b_k b_j & b_k b_k \end{bmatrix} + \frac{\lambda y}{4} \begin{bmatrix} c_i c_i & c_i c_j & c_i c_k \\ c_j c_i & c_j c_j & c_j c_k \\ c_k c_i & c_k c_j & c_k c_k \end{bmatrix} \quad (4.49)$$

Cea de a doua integrală este o integrală de suprafață în care substituind funcțiile de formă N și efectuînd operațiile rezultă:

$$\int_S \alpha N^T N ds = \alpha \int_S \begin{bmatrix} N_i N_i & N_i N_j & N_i N_k \\ N_j N_i & N_j N_j & N_j N_k \\ N_k N_i & N_k N_j & N_k N_k \end{bmatrix} \quad (4.50)$$

Pentru suprafața corespunzătoare laturii i și j a elementului și pentru o grosime unitară, integrala va fi:

$$\alpha \int_L N^T N dL = \frac{\alpha L_{ij}}{6} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.51)$$

Pentru latura cu nodurile j, k :

$$\int_L K^T dL = \frac{\alpha_{Ljk}}{6} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (4.52)$$

iar pentru nodurile k,i:

$$\int_L K^T dL = \frac{\alpha_{Lki}}{6} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (4.53)$$

În această expresie L_{ij} , L_{ik} și L_{ki} reprezintă limitele laturilor elementului finit.

Procedeul de calcul pentru metoda elementelor finite propune parcurgerea următoarelor etape:

- discretizarea structurii într-o rețea de elemente finite legate între ele în nodurile comune
- evaluarea matricii caracteristicilor termice pentru fiecare element finit
- asamblarea matricii globale a caracteristicilor termice ale materialului
- evaluarea fluxurilor termice aplicate
- rezolvarea sistemului de ecuații de tipul (4.43) în vederea obținerii valorilor temperaturilor în nodurile rețelei de discretizare.

4.4. Studiul distribuției temperaturilor într-o piesă sudată cu fascicul de electroni utilizând câteva metode reprezentative

4.4.1. Definirea sistemului fizic studiat și a condițiilor de sudare cu F.E.

Studiul diferitelor procese tehnologice executate în fascicul de electroni ne permite să concluzionăm că propagarea căldurii în materie se supune unor legi diferite la diferite energii specifice în fascicul. Dacă $i_e < 10 \text{ Kw/cm}^2$ atunci propagarea căldurii se supune legilor termoconductibilității. Se va ține seama însă în condiția limită de legile degajării căldurii în materie care influențează asupra izotermelor în zona cea mai apropiată de locul căderii fasciculului în material.

La energii specifice $E_f > 10^{10} \text{ eV/cm}^2$ asupra distribuției căldurii în interiorul materiei își manifestă influența eforturile mecanice care acționează la suprafața materialului în locul în care cade fasciculul.

Pentru calculul propagării căldurii, în materialul supus bombardamentului cu fascicul de electroni s-a propus din metodele și diferitele modele de calcul, metodele ROSLITANL, SPESH, TRADANT și HAWKINS.

Un prim exemplu cazul sudării plăcilor plane din materiale omogene și izotrope. În fig. 4.4 se precizează măsurimile geometrice ale sistemului fizic considerat.

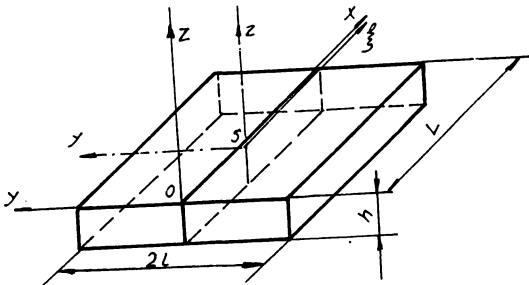


Fig. 4.4 Plan de situație

Se dau K conductibilitatea termică, densitatea, C căldura superficială. Acțiunea tunului de electroni este reprezentată prin acțiunea unei surse constante liniare ρ , urmărind grosimea plăcii. Se presupune că

nu este schimb de căldură cu exteriorul și în acest caz temperatura T a unui punct al zonei afectate termic la un moment t satisface ecuația conducției:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] = \rho(T) C(T) \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.5A)$$

4.4.2. Modelul lui ROSLITANL

a) Caracteristicile materialului K , C sînt constante și independente de temperatură. Se ia:

$$\lambda = \frac{\rho C}{2K} = ct$$

Plăcile sînt presupuse de lungime și lățime infinite și vom alege un reper legat de sursă ρ , ξ , y și o stare staționară stabilită în acest reper.

Condiții la limită, ținînd cont de ipoteza și T_0 este temperatura inițială și ρ distanța punctului (ξ, y) de sursă ($\rho^2 = \xi^2 + y^2$), condițiile de limită se traduc prin:

a) sursele mare efect la infinit:

$$T \rightarrow T \quad \text{c\u00e2nd } \rho \rightarrow \infty \quad (4.55)$$

b) debitul sursei este constant \u015fi independent de Z:

$$\frac{\partial T}{\partial \rho} = - \frac{Q}{4\pi \rho K} \quad \text{c\u00e2nd } \rho \rightarrow 0 \quad (4.56)$$

Si orice punct (y, ζ) temperatura este dat\u0103 de solu\u021bia ecua\u021biei (4.54):

$$T = t_0 + \frac{Q}{2\pi K} K_0(\lambda \sqrt{\rho}) e^{-\lambda \sqrt{\zeta}} \quad (4.57)$$

K_0 = func\u021bia Bessel modificat\u0103 de spe\u021c\u0103 a doua \u015fi ordinul 0

4.4.3. Modelul lui GROSSI, TRABANT \u015fi HAWKINS

Pentru acest model caracteristicile material nu s\u00e2nt presupuse constante, independente de temperatur\u0103. Dar se admite constanta raportului

$$= \frac{(\rho \cdot C)(T)}{2K(T)} = \frac{(\rho C)(T_0)}{2K(T_0)} = ct \quad (4.58)$$

Apoi se presupune:

$$\rho C(T) = (\rho C)(T_0) \frac{\partial \theta}{\partial T} \quad K(T) = K(T_0) \frac{\partial \theta}{\partial T} \quad \text{cu } \theta = \theta(T) \quad (4.59)$$

Varia\u021bia produsului (ρC) \u015fi $K(T)$ presupun\u00e2ndu-se liniare se ob\u021bine:

$$\rho C(T) = \theta(T_0) + \frac{Q}{2\pi K} K_0(\lambda \sqrt{\rho}) e^{-\lambda \sqrt{\zeta}} \quad (4.60)$$

sau

$$(T - T_0) + \frac{M}{2} (T^2 - T_0^2) = \frac{Q}{2\pi K} K_0(\lambda \sqrt{\rho}) e^{-\lambda \sqrt{\zeta}} \quad (4.61)$$

$$\text{cu } \frac{\partial \theta}{\partial T} = 1 + MT$$

4.4.4. Studiul comparativ al modelelor clasice cu cele numerice

O aten\u021bie deosebit\u0103 trebuie acordat\u0103 ipotezei (a) a lui ROSANTALLI. Astfel, temperatura de echilibru nu poate fi considerat\u0103

egală cu T_0 în majoritatea proceselor industriale. De exemplu pentru o placă ($L = 200 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$) pentru diverse grosimi:

Tabelul 4.1 Temperatura de echilibru pentru diverse grosimi

| Grosimea mm | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Temperatura de echilibru ($^{\circ}\text{C}$) | 127 | 200 | 275 | 302 | 320 |

De asemenea e necesar pentru fiecare punct a se distinge faza de încălzire și cea de răcire, astfel modelele pentru răcire sînt date de:

$$t = T_E + \frac{T_M - T_E}{T_M - T_0} \frac{Q}{2\pi k} K_0(\lambda\sqrt{t}) e^{-\lambda\sqrt{t}} \quad (4.62)$$

iar modelul lui GROSH, TRABANT și HAWKINS modificat:

$$\theta(T) = \theta(T_E) + \frac{\theta(T_M) - \theta(T_E)}{\theta(T_M) - \theta(T_0)} \frac{Q}{2\pi k} K_0(\lambda\sqrt{t}) e^{-\lambda\sqrt{t}} \quad (4.63)$$

$$\text{cu } T_E = T_0 + \frac{Q}{\rho c v L}$$

Utilizarea metodelor numerice permit a lua în considerare variațiile lui k și (ρc) funcția de temperatură și nu se limitează la cazul unei stări staționare.

Se propune un calcul cu ajutorul diferențelor finite pornind de la mărimile obținute prin analiza dimensională:

$$X^* = \frac{x}{L}, \quad y^* = \frac{y}{L}, \quad z^* = \frac{z}{L}, \quad t^* = \frac{vt}{L}$$

$$T^* = \frac{Tk(T_0)}{Q}, \quad k^* = \frac{k(T)}{k(T_0)}$$

$$(\rho c)^* = \frac{(\rho c)(T)}{(\rho c)(T_0)}, \quad \beta^* = \frac{(\rho c)(T_0)vL}{k(T_0)}$$

Ecuatia conducției termice devine:

$$\frac{\partial}{\partial x^*} \left[k^* \frac{\partial T^*}{\partial x^*} \right] + \frac{\partial}{\partial y^*} \left[k^* \frac{\partial T^*}{\partial y^*} \right] = (\rho c)^* / \beta^* \frac{\partial T^*}{\partial t^*} \quad (4.66)$$

O rețea legată de piesă, variind după y permite a avea un carcoaj fin lângă sursă, limitîndu-se timpul de calcul. Este de nădat imposibilitatea efectuării calculului temperaturilor în dreptul sursei, k, ρ, c fiind necunoscute la temperaturi superioare punctului de fuziune.

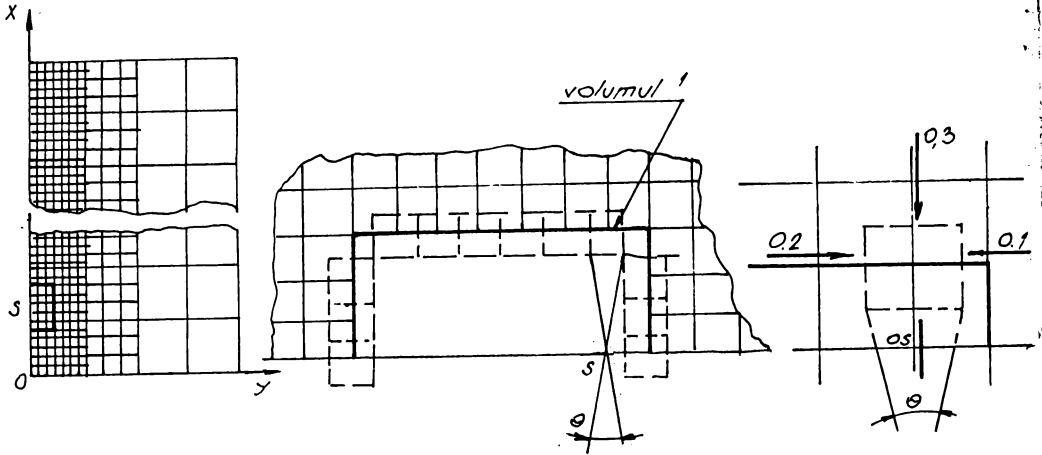


Fig.4.5 Rețeaua cu volume elementare; a) condițiile limită pentru sursă; b) bilanțul termic al volumului 1 (c)

Aplicarea dezvoltării lui TAYLOR dă derivata în raport cu X:

$$\left(\frac{\partial}{\partial x^{**}} \left(k \frac{\partial T}{\partial x^{**}} \right)\right)^n = \frac{(k_{(I+1,J)}^{**} + k_{(I,J)}^{**}) (T_{(I+1,I)}^{**} - T_{(I+1,I)}^{**})}{2 (\Delta x^{**})^2} - \frac{(k_{(I,J)}^{**} + k_{(I-1,J)}^{**}) (T_{(I,J)}^{**} - T_{(I-1,J)}^{**})}{2 (\Delta x^{**})^2} + \theta (\Delta x^{**})^2 \quad (4.65)$$

și în aceeași manieră se obține derivata în y, iar cea în t are formă:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t^{**}}\right)^n_{(I,I)} = \frac{3T_{(I,J)}^{**} - 4T_{(I,J)}^{**} + T_{(I,J)}^{**}}{2 \Delta t^{**}} + \theta (\Delta t^{**})^2 \quad (4.66)$$

unde Δx^{**} , Δy^{**} , Δt^{**} sînt pașii rețelei. Ca și condiții la limită se presupune că nu este schimb cu exteriorul și aportul de căldură este modelat prin acțiunea unei surse, deplasându-se în salturi în nodurile rețelei.

$$Q_s = Q t \frac{\theta}{2}$$

$$Q_i = k_i S_i \Delta t \frac{\partial T}{\partial v_i} \quad i = 1, 2, 3$$

Bilanțul energetic se produce prin

$$\sum Q_i + Q_s = \rho C \Delta x \Delta y \Delta T$$

De unde:

$$\Delta T_{(I,J)}^{**} = \left(\sum_i k_i S_i \frac{T}{x^{**}} + \frac{\theta}{2\rho C} \right) \frac{\Delta t^{**}}{(\rho C)^{**} \Delta x^{**} \Delta y^{**}} \quad (4.67)$$

Forma generală a expresiilor stabilite mai sus permite obținerea unui sistem linear, care va fi rezolvat printr-o metodă numerică.

$$A \cdot (T^*)^T = (B) \quad (4.68)$$

Comparând rezultatele obținute prin diferențele obținute prin diferitele metode (fig.4.6) se observă diferențe atât în domeniul valorilor absolute de temperatură cât și mai ales în domeniul celor relative, respectiv scăderea în timp mai ridicată sau mai scăzută (diferite viteze de răcire).

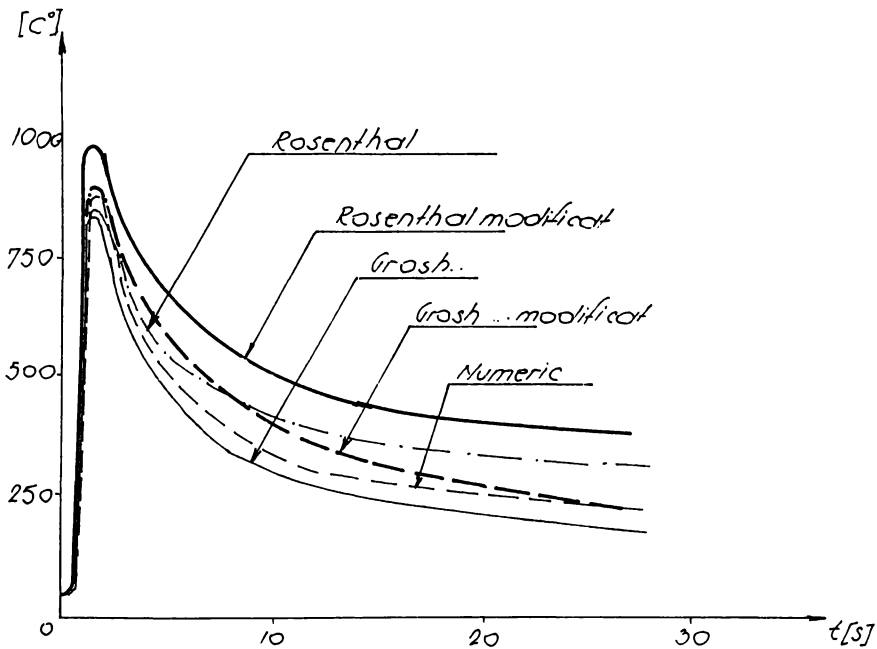


Fig.4.6 Rezultatele modelelor pentru studiul regimului termic la sudarea cu F.E.

De asemenea se constată că temperatura maximă atinsă, măsurată cu metode clasice de măsurare (termocuple) în faza de încălzire este inferioară celei calculate, lucru ce nu pare deloc verosimil (practic fasciculusul de electroni în centrul craterului atinge temperaturi de 3000°K sau mai mari, formând plasmă așa cum am arătat în capitálul 2).

Practic funcție de temperaturile maxime atinse și funcție de vitezele de răcire, pentru oțelurile speciale variază în limite deosebit de largi atât duritatea cât și structura cusăturii sudate și zonei afectate termic. În caz că sînt depășite regimurile critice (temperatura critică, viteza critică de răcire) pot apărea defecte de sudare, tensiuni interne, fisurări, densitate prea mare etc. De aceea ne propunem să studiem atât teoretic cât și experimental controlul regimului termic pentru două oțeluri speciale: oțel de rulment și oțel 13CrMo44 (oțel din programul nuclear aflat în încercări la ISIM-Timișoara).

4.5. Studiul câmpului termic folosind o modelare cu element finit

4.5.1. Studiul pe o rețea specifică în regim staționar

Cum am văzut și la capitolul 2 în care am făcut analiza energetică informațională, a procesului tehnologic de sudare cu F.E., pentru studiul regimului termic va trebui să pornim de la un model energetic. Ca uneltă termică, fasciculul de electroni am văzut că topește materialul acționînd cu energie concentrată. Deci, cum am văzut și din analiza comparată din paragraful anterior, va trebui să modelăm în element infinitezimal de volum (în puncte și dacă se poate să ținem cont de viteza de-a dreptul fantastică cu care se desfășoară procesul de topire și chiar solidificare și răcire în comparație cu celelalte procedee convenționale de sudare.

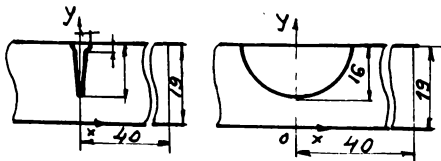


Fig.4.7 Modelul de calcul

În primul rînd de la modelul clasic, convențional (fig.4.7b) se va modela direct "cuiul" de sudură (fig.4.7a), efectuînd o rețea triunghiulară de sudare figura 4.8. Se va calcula conturul izotermic al sudurii, cu ajutorul unui program de calcul, de element finit în regim staționar,

luîndu-se $t = 0$ ca și condiții inițiale, $t = 2000^{\circ}\text{C}$ temperatura topirii și exteriorul la 0°C . $S = 7800$ kcal/kg grad, puterea sursei 10 kW, $X = 42/3600$ kcal/ks $^{\circ}\text{C}$. Programul va urmări metoda elementului finit prezentată în paragraful 4.3.2.

Valorile calculate sînt date în listingul editat la imprimanta calculatorului.

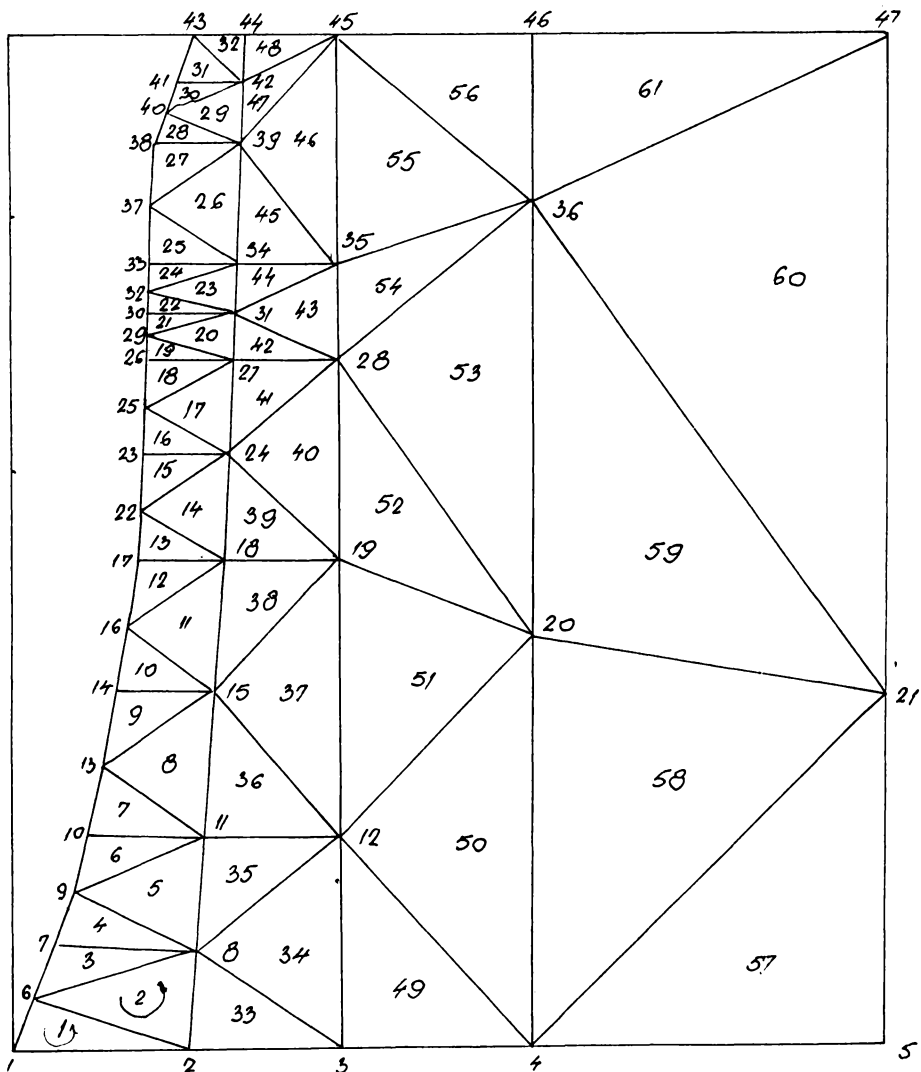


Fig.4.8 Reșeaua de calcul realizată

4.5.2. Transferul de căldură în regim nestaționar

Ecuția diferențială pentru transferul de căldură în regim nestaționar este

$$\lambda_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \lambda_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + Q = \rho \lambda \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.69)$$

în care ρ este densitatea materialului în kg/m^3 iar λ este căldura specifică în $\text{J/m}^3\text{C}$. Toți coeficienții din ecuație pot fi dependenți de timp.

Procedeul general pentru modificarea ecuației (4.69) în vederea aplicării acesteia în metoda elementelor finite este de a presupune că derivatele de timp ale parametrilor sînt funcție de coordonatele de spațiu în orice moment de timp. În acest fel soluția problemei se obține prin minimizarea ecuației (4.69) pentru fiecare punct în domeniul timp. Înaintea fiecărei minimizări conductivitățile se modifică în vederea încorporării tuturor modificărilor care s-au produs datorită incrementului de timp. După efectuarea acestor operații rezultă următorul sistem de ecuații:

$$C \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + KT + F = 0 \quad (4.70)$$

în care contribuțiile elementelor asociate matricelor K, C și F sînt:

$$K_e = \int_V B^T \lambda B dv + \int_{S_2} \alpha H^T H ds \quad (4.71)$$

$$C_e = \int_V \lambda H^T H dv \quad (4.72)$$

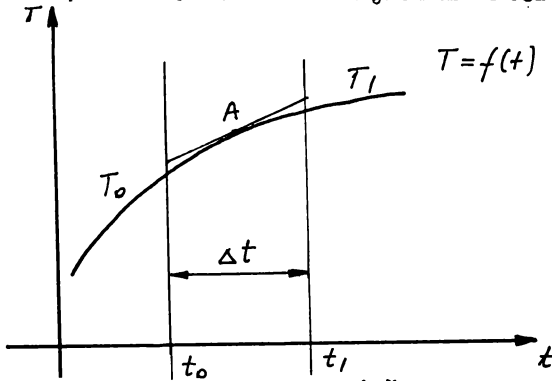
$$F_e = - \int_V \lambda Q H^T dv + \int_{S_1} q H^T ds - \int_{S_2} \alpha T_\infty H^T ds \quad (4.73)$$

În cazul elementelor bidimensionale matricea C_e pentru a grosime unitară are expresia

$$C_e = \frac{\rho C_A}{12} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (4.74)$$

Există două procedee pentru rezolvarea ecuației diferențiale (4.70) în scopul obținerii valorilor T la fiecare interval de timp. Primul constă în a aproxima derivata de timp utilizînd o schemă cu diferențe finite centrale. Al doilea procedeu este de a utiliza elemente finite definite în două nivele timp. În cele ce urmează este prezentat primul procedeu.

Astfel, date fiind două puncte ale unei curbe aproximarea pe pentru prima derivată la mijlocul intervalului este (fig.4.9)



$$T = f(t) \quad \frac{dT}{dt} = \frac{T_1 - T_0}{\Delta t} \quad (4.75)$$

Evaluînd T și F la mijlocul intervalului sî se obține

$$T^* = -\frac{1}{2}(T_1 + T_0) \quad (4.76)$$

$$F^* = -\frac{1}{2}(F_1 + F_0) \quad (4.77)$$

Înlocuind (4.75) și (4.77) în (4.70) rezultă:

Fig.4.9. Aproximarea $T = f(r)$

$$\frac{1}{\Delta t} CT_1 - \frac{1}{\Delta t} CT_0 + \frac{1}{2} kT_1 + \frac{1}{2} kT_0 + F^* = C \quad (4.78)$$

Grupînd termenii în (4.78) rezultă:

$$(K + \frac{2}{\Delta t} - C) T_1 = (\frac{2}{\Delta t} - C - k) T_0 - 2 F^* \quad (4.79)$$

Ecuatia 4.79 poate fi rezolvată acum pentru a obține valorile la timpul $t + \Delta t$ cunoscînd valorile la timpul t , ceea ce implică cunoașterea valorilor inițiale. Vectorul coloană F^* constă din parametrii cunoscuți, ceea ce permite evaluarea sa înainte de a rezolva (4.79).

Deoarece ecuațiile (4.75), (4.76) și (4.77) sînt scrise la mijlocul intervalului de timp, este preferabil de multe ori de a se calcula valorile în acest punct. Valorile pot fi calculate înlocuind rezultatele obținute prin rezolvarea ecuației (4.79) în (4.76).

4.5.3. Prezentarea programului de calcul pentru regim nestaționar

Analiza transferului de căldură în regim nestaționar s-a realizat prin intermediul unui program de calcul scris în limbaj BASIC, utilizînd un model matematic bazat pe metoda elementelor finite în formularea prezentată la pct. 4.3.2. În conformitate cu acest procedeu de analiză au fost parcurse următoarele etape:

1. - stabilirea caracteristicilor zonei studiate din elementul analizat

2. - discretizarea modelului fizic al elementului analizat în elemente finite și stabilirea caracteristicilor acestora, inclusiv topologia lor în cadrul rețelei de discretizare;
3. -introducerea caracteristicilor stabilite în programul de calcul;
4. -efectuarea analizei prin intermediul programului de calcul în urma căruia s-au obținut rezultatele;
5. -implementarea rezultatelor.

Efectuarea analizei s-a realizat prin intermediul programului de calcul, program constituit pe următoarea schemă bloc:

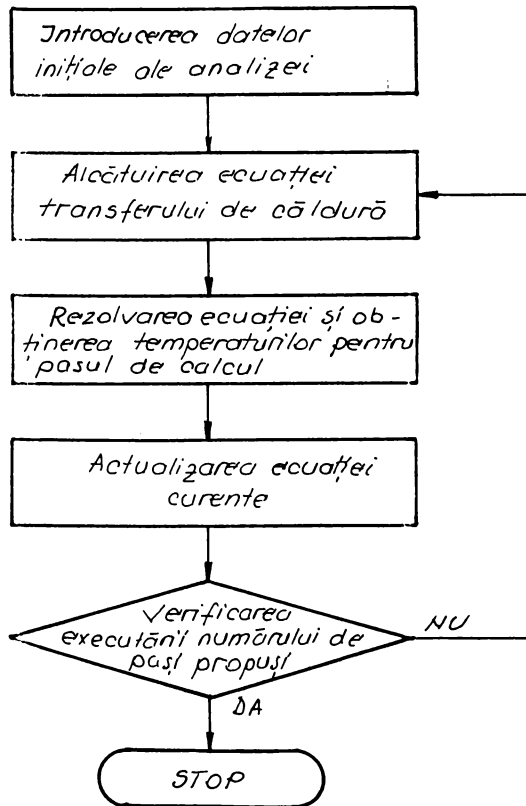


Fig.4.1o Schema bloc a programului

Programul de calcul este prezentat în anexă. Programul a fost explorat pe un microcalculator JUNIOR, lucrînd subsistemul de operare CP/M.

Aplicarea procedurii de analiză a transferului de căldură la elementul experimental

Elementul experimental studiat reprezintă două epruvete prismatice dispuse adiacent sudate printr-un fasciculi de electroni. Analiza numerică a propagării căldurii în epruvetă s-a efectuat, datorită simetriei pe jumătate din aceasta, conform figurii 4.11.

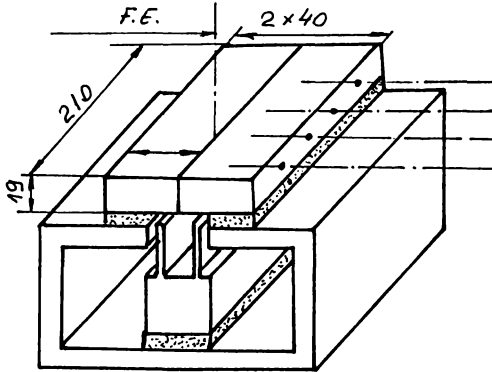


Fig.4.11 Planul de situație al experienței

S-a studiat numai cîmpul plan de temperaturi apreciind că distribuția de temperatură plană se regăsește practic în fiecare secțiune de sudură dat fiind faptul că F.E. avansează rașid perpendicular pe direcția de propagare a căldurii în probă. Analiza s-a realizat considerînd că, caracteristicile termo-fizice ale probei sînt constante pe parcursul analizei. Astfel s-au propus pentru material următoarele caracteristici:

- densitatea aparentă $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$, cădura specifică $c = 480 \text{ j/kg}^\circ\text{K}$, coeficientul de conductivitate $\lambda = 58 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

Elementul analizat a fost discretizat în 65 de elemente finite triunghiulare, dispuse într-o rețea cu 46 de noduri (fig.4.12). În continuare dimensiunile elementului și rețeaua de discretizare, coordonatele nodurilor sînt date în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2. Coordonatele nodurilor

| Nodul | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|

| | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 21 | 30 | 40 | 1,6 | 4 | 1,6 | 4 | 12 | 21 | 30 | 40 | 1,2 |
| 16 | 16 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 11 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|----|
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 |
| 4 | 1 | 4 | 12 | 21 | 30 | 40 | 0,8 | 4 | 0,6 | 4 | 12 |
| 10 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 4 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|
| 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 |
| 21 | 30 | 40 | 0,4 | 4 | 0,2 | 0 | 0,4 | 12 | 21 | 30 | 40 |
| 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

In tabelul 4.3 este prezentată topologia elementelor finite.

Tabelul 4.3 Topologia elementelor finite

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|---|----|---|---|--|--|--|--|--|----|
| <u>Elem.</u> | 1 | 2 | 3 | .. | . | . | | | | | | 65 |
| <u>Mod</u> | | | | | | | | | | | | |
| I | 1 | 1 | | | | | | | | | | 45 |
| J | 7 | 8 | | | | | | | | | | 46 |
| K | 8 | 7 | | | | | | | | | | 37 |

Analiza s-a efectuat în pași de timp $t = 0,1$ s . La momentul inițial s-a considerat următoarea distribuție a temperaturilor conform tabelului 4.4.

Tabelul 4.4 Distribuția temperaturilor la t_1

| | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| <u>Mod</u> | 1 | 8 | 14 | 16 | 24 | 30 | 32 | 38 | 40 | 41 | |
| <u>Temp (°C)</u> | 3000 | 2300 | 2600 | 2400 | 2000 | 1800 | 1600 | 1400 | 1200 | 1000 | |

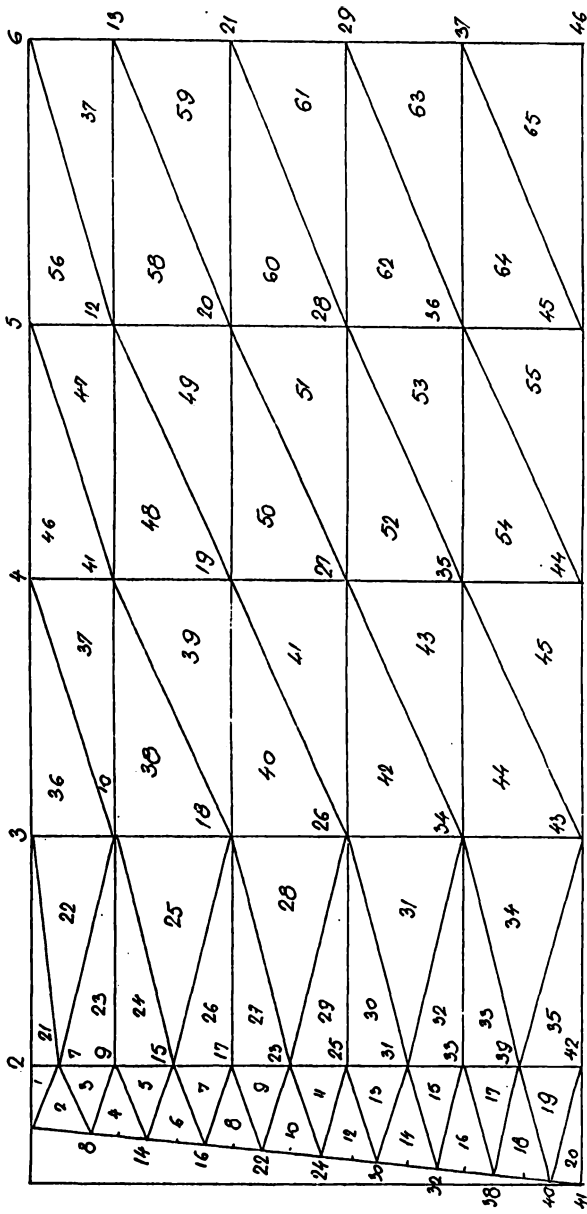


FIG. 4.12 Rețeaua de calcul

$$(K + \frac{1}{\Delta t} C) T = \frac{1}{\Delta t} C \cdot T_0$$

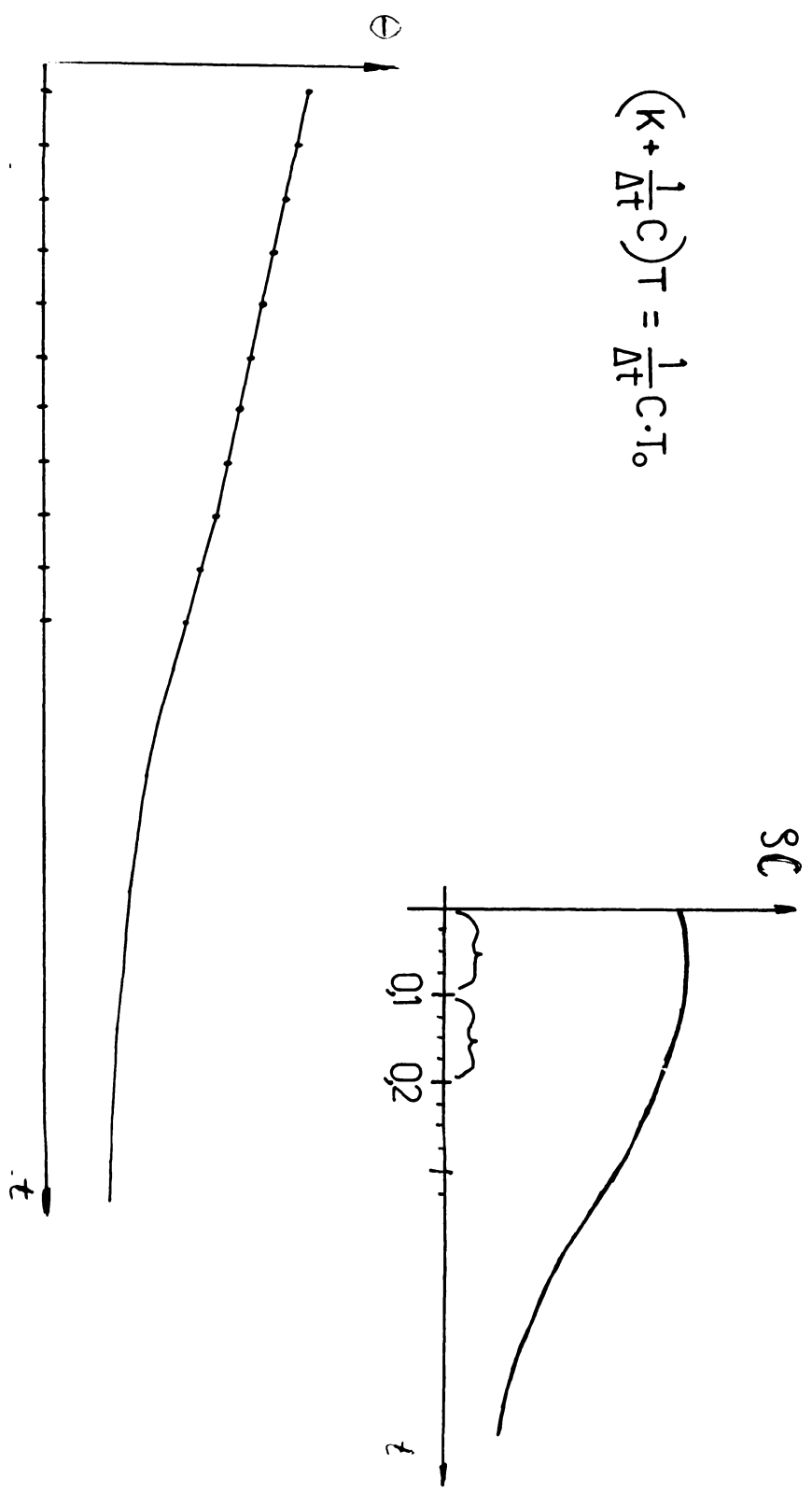


FIG. 4.13 Representations graphed e. resultador = f(w) si w = f(t)

Programul calculează în funcție de compoziția chimică a oțelului vitezele critice de răcire pentru treapta martensitică, bainitică și perlitică precum și temperatura de încălzire a piesei apoi se calculează temperatura și vitezele de răcire în diferite puncte din interiorul piesei.

Programul solicită utilizatorului compoziția chimică a oțelului, în speță procentajul de C, Mn, Si, P, S, Ni, Cr, Mo al oțelului. Se solicită în continuare constantele termofizice ale materialului, α , λ , ρ , c_p precum și dimensiunile piesei.

Se afișează pe display piesa desenată la scară (scalarea este făcută implicit de calculator putînd astfel apare discordanțe cu aspectul general al piesei, ne referim la raportul lungime.lățime care se poate modifica prin scalare). În interiorul piesei se desenează contururi date de punctele în care se schimbă vitezele critice în interiorul piesei semnalîndu-se astfel zonele de treaptă martensitică, bainitică sau perlitică. Funcție de facilitatea grafică oferite se pot trasa durități, tensiuni interne, etc.

Gruparea variabilelor de program. Elemente de calcul

T - temperatura de încălzire

T_K - temperatura la un moment dat

$T_x(1)$, $T_x(2)$ - temperatura la adîncimea x

S - timpul

AL - coeficientul de convecție

LA - conductibilitatea termică

A = LA/CP/RO - difuzivitatea termică, CP căldura specifică, RO densitatea metalului

C - conținutul în C (%)

MN - conținutul în Mn (%)

NI - conținutul în Ni (%)

SI - conținutul în Si (%)

P - conținutul în P (%)

SU - conținutul în S (%)

MO - conținutul în Mo (%)

CR - conținutul în Cr (%)

CE - carbonul echivalent

KC - punctul critic A_{c1}

LC - punctul critic A_{c3}

PA - parametrul de austenitizare

PL - viteza critică perlitică

B - viteza critică bainitică
M - viteza critică martensitică
VR - viteza de răcire

4.6.1. Conducerea optimă a procesului tehnologic de sudare cu fascicul de electroni a oțelurilor prin controlul regimului termic

4.6.1. Problematika generală a controlului regimului termic la sudarea cu F.E.

Ca urmare a densității de putere înalte, temperatura vaporilor formați în tubul capilar poate ajunge la câteva mii de grade Celsius. Ca atare încălzirea materialului se face cu o viteză foarte mare. După îndepărtarea sursei termice durată de menținere ca temperatură maximă fiind scurtă, are loc o răcire mai mult sau mai puțin rapidă determinată de caracteristicile termice ale piesei, viteza de sudare și condițiile operatorii.

Comparând ciclurile termice din zona cusăturii și zona influențată termic se observă că ele nu diferă practic decât prin partea de temperatură înaltă a ciclului termic. Aceasta se traduce din punct de vedere metalurgic în caracteristici apropiate pentru cele două zone ale îmbinării sudate.

Temperatura maximă din zona influențată termic poate fi corelată, cu distanța de la linia de topire, temperatura inițială a piesei, temperatura de topire a materialului de bază și lățimea zonei topite.

De obicei, vitezele de răcire a materialului sînt apreciate global prin parametrul $t_{300/500}$, parametru preluat de la procedeele clasice de sudare durată răcirii pe intervalul de temperatură 300-500°C.

O analiză a valorilor parametrului $t_{300/500}$ pentru diferite grosimi de material și condiții de sudare arată că acesta variază, într-un domeniu foarte larg, de la cea. 15 (la grosimi sub 5 mm și viteză de sudare 0,1 mm/mm/G/. Cu creșterea grosimii materialului are loc o creștere a parametrului $t_{300/500}$, deci o scădere a vitezelor de răcire.

Viteza de răcire variază în limite largi pe grosimea sudurii, fiind maximă în apropierea rădăcinii acestuia. Astfel de exemplu la oțel slab aliat cu grosimea de 60 mm valorile parametrului $t_{300/500}$

sînt de 17,5 - 20 s la suprafața sudurii, de 9,5 - 10,2 s la mijloc și de 5,5 - 6,5 s în zona rădăcinii.

Comparînd ciclurile termice specifice sudurii cu F.E. cu cele corespunzătoare sudurii cu arc electric rezultă:

- timpii de încălzire sînt mult mai scurți,
- durata de menținere la temperatură înaltă este mai redusă,
- timpii de răcire $t_{300/500}$ au valori apropiate în cazul tablelor subțiri și de grosime medie, dar sînt mult mai mari în cazul tablelor groase.

Ultima concluzie infirmă practic părerea că la sudarea cu F.E. vitezele de răcire sînt foarte mari, părere unanim aprobată pînă curînd.

Problema care am pus-o de fapt a fost de a determina apriori prin calcul la ce nivel ne gîsim cu dirijarea și consumul de energie electrică, consumuri specifice, randament optim. În acest randament optim ne referim la acel optim global, pe care l-am definit concepția ingineriei sistemelor, prin criteriul cost - eficiență.

4.6.2. Studiul regimului termic din plînul de situație (fig.4)

Cum am mai prezentat, am făcut calculul pe un caz real, prezentat în planul de situație, fig.4.11, calculul fiind făcut în regim nestaționar. Măsurătorile au fost făcute și pe un aparat înregistrator și pe calculator cu ajutorul sistemului de achiziție de date prezentat la capitolul 3.

Termocuplele utilizate au fost de tipul Chromel-glînel (foto 4.1), iar materialul oțel 13CrMo44, aflat în încercările ISIM. Probele au fost de dimensiuni 19 x 40 x 200.

Dacă la aparatul înregistrator așa cum am arătat la paragraful anterior, temperaturile măsurate au fost ușor sub cele calculate la sistemul de achiziție de date, am reușit să avem diferențe nesemnificative față de cele calculate. După cum se vede în fig. 4.13, în care se poate analiza graficul trasat de imprimanta calculatorului. Față de toate celelalte măsurători și interpretări se poate vedea alura curbei rapid crescătoare, vîrfurile de temperatură în momentul trecerii fasciculului de electroni prin dreptul termocuplului. Acest "vîrf" care pentru desenare calculatorul l-a răsturnat nu a fost prins așa fidel de nici un aparat și experiență anterioară. Se observă apoi cum după acest "vîrf" panta de "cădere" în timp nu mai este așa de abruptă denotînd că nu avem

întradevăr viteze de răcire exagerat de mari cum ne-am așteptat.

Pentru termocuplul aflat la 21 mm de sudură se observă inerția termică, și valoarea practic applatizată a vârfului de temperatură, între 4 și 5 secunde, ca după 25 de secunde, să ajungă la temperatura de stabilizare a întregii piese.

4.6.3. Cercetarea metalografică sclerometrică

Din probele analizate Proba 1 oțel rulment RUL 1 și 13CrMo44 s-au pus în evidență următoarele aspecte.

a) toate probele sudate nu s-au decelat defecte de sudare pe întruaga secțiune examinată (foto 4.2)

Pentru oțelul de rulment se observă în MB structuri perlitice globulare fine cu zona de perlită lamelară și carburi fine, structuri a căror duritate cuprinsă între 187 și 216 HV5 (foto 3).

În zona influențată termic (2/4) au apărut structuri dure, martensitice și bainitice, cu zone de austenită reziduală și carburi fine (foto 4.4), a căror duritate variază între 540 HV5 și 584 HV5. La mărirea de 400 X se observă tendința de formare a unei rețele discontinue de zone de austenită reziduală (foto 4.5)

În sudură (SUD) se observă structuri dure martensitice cu austenită reziduală și carburi fine, structuri ce au un aspect dendritic de turnare (foto 4.6) Aceste structuri au duritate ridicată între 558 și 623 HV5.

În zonele caracteristice MB, 2/4, SUD) nu s-au decelat microstructuri.

c) La proba 2 (oțel 13CrMo44), în metalul de bază se observă structuri granulare ferito-perlitice cu carburi fine, distribuite uniform în masa de bază (foto 4.7), structuri a căror duritate variază între 203 și 216 HV5.

În zona influențată termic apar structuri perlito-bainitice, cu zone feritice în care există tendința de dezvoltare aciculară și carburi fine (foto 4.8). Duritatea acestor structuri nu depășește valoarea de 332 HV5.

În sudură se dezvoltă structuri de forma bainito-perlitice fine, cu zone de ferită aciculară și cu rețea de carburi fine (foto 4.9) structura a cărei duritate HV5 nu depășește valoarea de 271 unități.

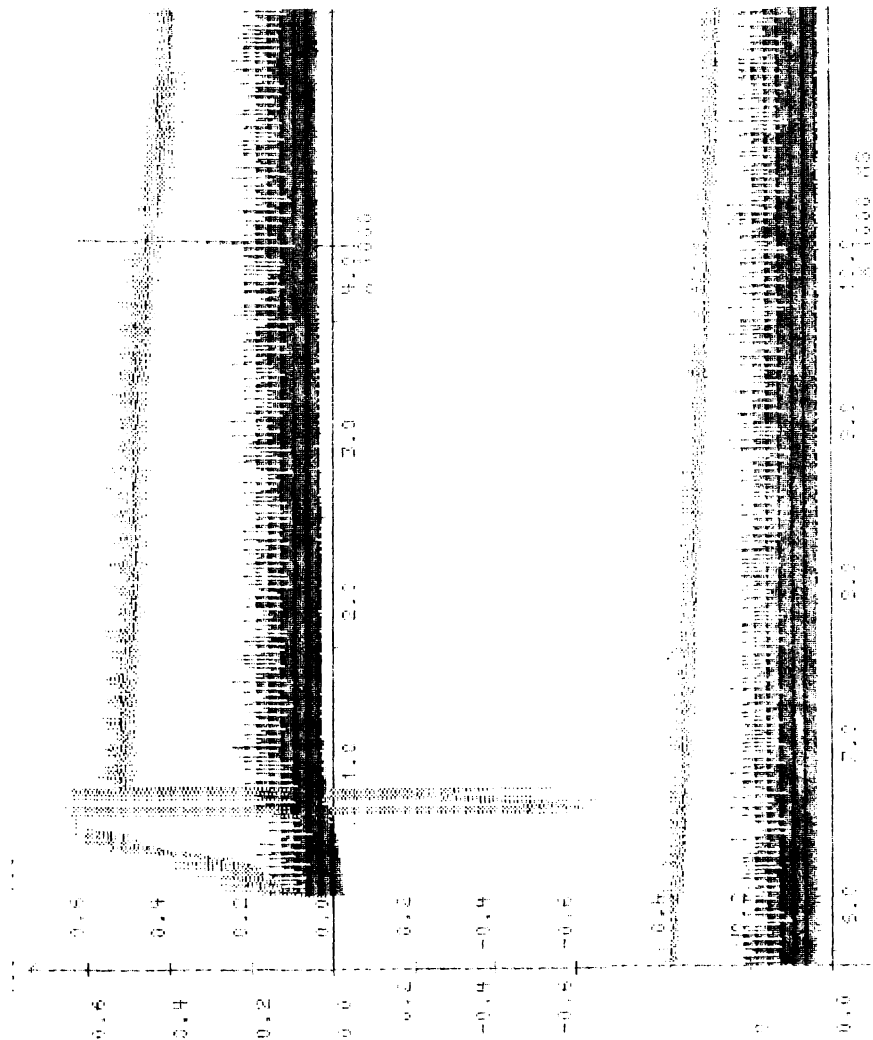


Fig. 4.14 Inregistrarea ciclului termic cu ajutorul calculatorului și a SAD

INSTITUTUL FIZIC
 TIMIȘOARA
 BIBLIOTECA CENTRALĂ

În zonele caracteristice probei 2 nu s-au decelat microstructuri.

d) La proba 3 (oțel 13CrMo44 sudat prin două treceri) în metalul de bază structura este ferito-perlitică granulară cu carburi fine (foto 4.10) a cărei duritate HV5 nu depășește valoarea 219.

În ZIT sînt structuri bainitice cu zone martensitice, cu ferită aciculară puternic reliefată și carburi fine (foto 4.11 și foto 4.12). Duritatea acestor structuri este cuprinsă între 30 și 429 HV5. În sudură se observă structuri bainito-martensitice, cu carburi fine și zone perlitice ce au aspect lamelar (foto 4.13). Se observă tendința de granularizare locală datorită suprapunerii unor cicluri de încălzire-răcire. Duritatea acestor structuri este cuprinsă între 371 și 423 HV5.

În zonele caracteristice acestei probe nu s-au decelat microstructuri. Variația de duritate pe zonele caracteristice este prezentată în figura 4.14.

4.6.4. Concluzii privind conducerea sudării cu P.E. a oțelurilor speciale prin controlul regimului termic

Așa cum s-a prezentat încă din capitolul 1 cînd am abordat sistemic procesul tehnologic de sudare cu P.E. se poate face aceea conducere de proces, avînd un calculator de proces care va fi master și va putea să realizeze și o conducere optimă și adaptivă în timp real.

Desigur "offline" va trebui să prelucrăm toate datele din Baza de date. să modelăm și simulăm, să optimizăm, să decidem, pe toate subsistemele (tehnic, tehnologic, organizatoric, economic și de personal) astfel încît să obținem optimul global - sudură de calitate ridicată, productivitate ridicată, viteze ridicate de sudură, consum scăzut de energie, randament cît mai ridicat.

Cum se vede și din planul de situație sensorul care măsoară curentul de pătrundere, în cazul experienței noastre a făcut o măsurare calorimetrică. În cazul unei automatizări mai avansate desigur că semnalul său va fi mai sensibil și mai fidel procesului pe care-l controlează.

CAPITOLUL 5

CONDUCEREA PROCESULUI DE SUDARE CU FASCICUL DE ELECTRONI PENTRU INSTALATIILE DE MICA PUTERE. INSTALATIILE E.B.M.35.4 I.T.I.H. CRUJ - IASOVA

5.1. Problematika si posibilităti de conducere a procesului tehnologic de sudare cu F.E.

Dezvoltarea instalațiilor de sudare cu F.E. din ultimii ani se caracterizează printr-o tendință crescândă spre automatizare. Această tendință este impusă în primul rând de complexitatea procedurii de sudare cu F.E. care este pusă să stăpânească domenii de vîrf (tehnica vidului, generatoare de înaltă tensiune, optica electronică, comenzi numerice). Apoi calitatea impusă sudurilor se poate realiza doar printr-o precizie mare de poziționare o urmărire de traiectorie și un control de adaptare rapidă a parametrilor de proces.

În acest context dezvoltarea actuală a microelectronicii și a tehnicii de calcul au permis realizarea unei instalații și a unei mașini de sudare cu automatizare avansată. Densitatea mare a integrării au permis în ultimul timp achiziționarea de componente la prețuri din ce în ce mai acceptabile și înglobînd subansamble complexe:

- memorii susceptibile de a stoca un număr din ce în ce mai mare de informații (memorii ROM, RAM, memorii programabile PROM, memorii reprogramabile EPROM, EEPROM)

- registre și pile

- circuite logice complexe (PLA, PAL-P)

- interfețe optoelectronice

- convertoare, digital analogice, analogic digital

- circuite de calcul, analogic sau digital

- microprocesoare pe 8 și 16 Biti, ce pot prelua sarcini de unitate centrală, putîndu-se la comandă, a se realiza un microcalculator complet, strict adaptat la o aplicație precisă.

- automat programabil care practic este un sistem capabil de a executa plecînd de la semnalele de intrare funcții logice la cerere în funcție de rezultatele obținute la ieșire.

- comenzi numerice ce pot fi conduse prin calculator (CNC).

Se caută a se obține o suplețe mărită a sistemului principal.

- posibilitatea modificării programului. De la tastatură putîndu-se suprima datele și introduce alte date noi, de asemenea se poate modifica programul existent și edita un nou program corectat.

- controlul ușor al programului datorat unor facilități ce permit în orice moment indiferent care dată o dărim.

Instalațiile de sudare moderne sînt dotate, mai ales în cazul sudării pieselor de mare gabarit, cu sisteme adecvate de poziționare în timp real a fascicului de electroni, și apoi urmărirea a rostului (conducere pe traiectorie).

Dintre primele sisteme de urmărire se pot aminti sistemele optice (Fig.5.1) în care se face o prelucrare a imaginii care apoi este legată cu comanda numerică sau cu sistemele de acționare ale piesei, căutîndu-se realizarea unui sistem de conducere optimă în bucla închisă cu senzor optic. Ca dezavantaj major faptul că sistemul se poate utiliza "la rece" în timpul funcționării vapori metalici vor acoperi sistemul optic de urmărire. S-au conceput dispozitive care să împiedice acoperirea senzorului optic (capcane de electroni, capcane ionice sau sisteme mecanice de opturare).

Avantajul acestui sistem de conducere pe cusătură este dat de posibilitatea urmării rostului atît pe principiul petei de lumină (urmărirea topiturii) cît și pe principiul petei de umbră (urmărirea rostului). Dezvoltarea actuală a senzorilor optici (ex. CCD) permite la o așezare favorabilă a acestora (în care, în unghi) să permită o rezoluție foarte bună a sistemului, atît pe partea de învățare a traiectoriei cît și pe bucla de corecție în cazul sudării.

De asemenea s-au dezvoltat și sisteme mai sofisticate care fac și o prelucrare de imagine, reușind să urmărească pe conturul piesei, dînd din program sau prin copiere traseul și conducerea procesului.

Pe lîngă mijloacele convenționale de urmărire a rostului pe cale mecanică sau optică (amintite în paragraful precedent) se utilizează tot mai frecvent sisteme de urmărire automată (sau tracking), care funcționează pe baza analizei radiațiilor x sau electronilor difuzați în timpul sudării. Metoda de urmărire bazată pe captarea radiației X emise din punctul de impact la coliziunea fascicului de electroni cu piesa se utilizează tot la rece cu un fascicul de probă (Fig.5.2).

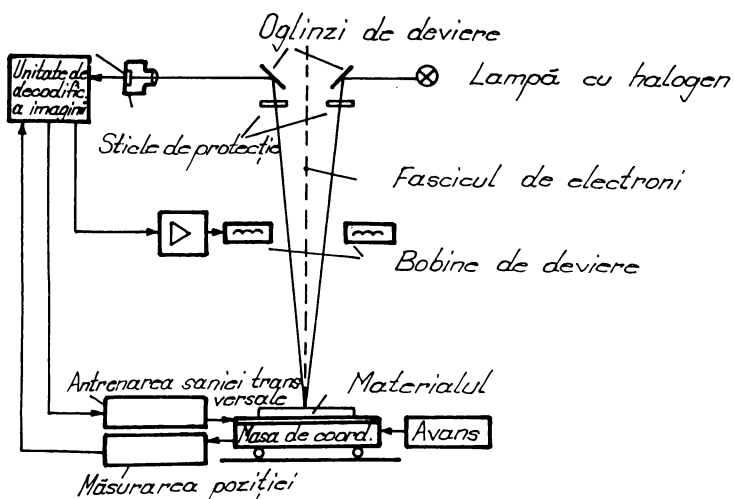
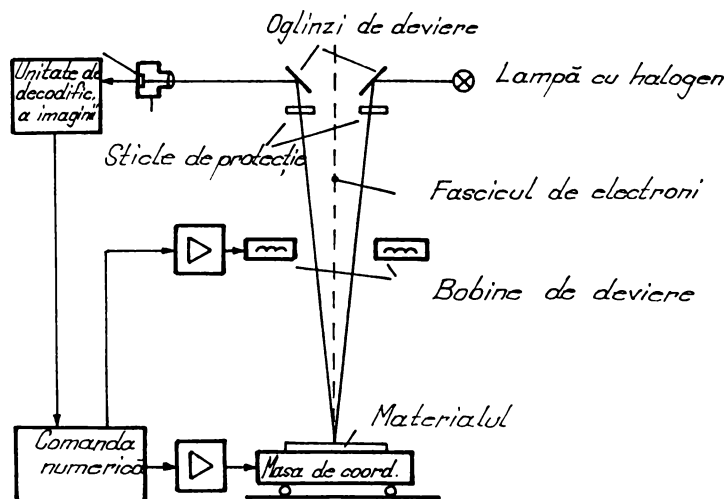


Fig.5.1. Sistem optic de poziționare și urmărire

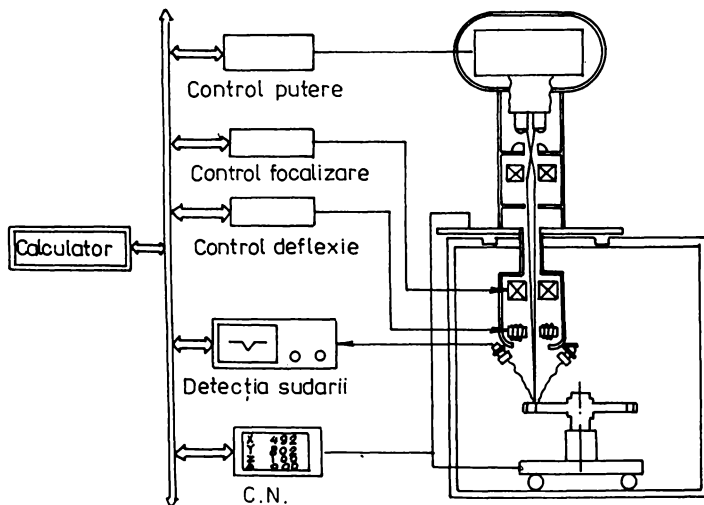
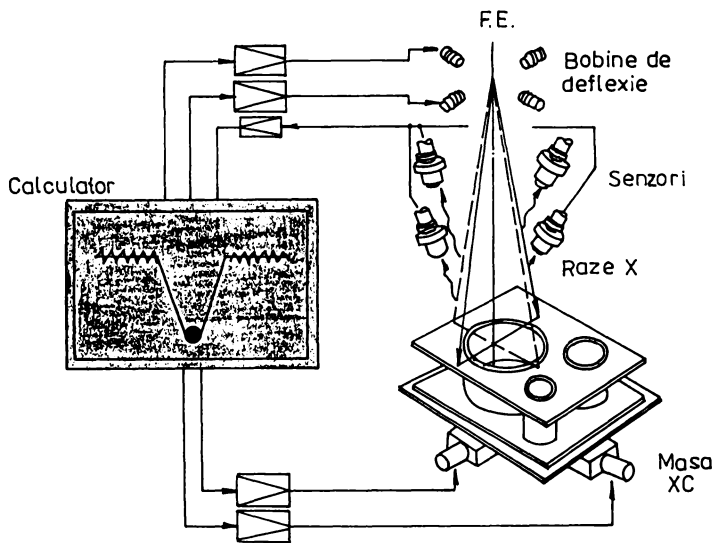


Fig. 5.2. Principiul urmării rostului cu radiații X

Practic se recepționează radiația X care este mai puternică în cazul în care fasciculul cade alături de rost (vezi ecranul osciloscopului).

Legarea prin calculator și a mesei cu comenzi numerice permite controlarea atât a procesului de sudare cât și urmărirea traiectoriei. Puterea de revoluție a sistemului, depinde de diametrul fasciculului de probă și de sensibilitatea senzorului (captorului) de radiații X. Problema deosebită în acest caz este pusă în prelucrarea semnalului recepționat, acesta fiind perturbat de diferitele emisii secundare ce se produc în camera de lucru.

În ultimul timp o mare dezvoltare a luat echipamentul de urmărire a traiectoriei, bazat pe culegerea electronilor retrodifuzati, care de fapt preia principiul Reflectorului produs de firma SCIAKY.

5.2. Prezentarea instalației de sudat și prelucrare cu

F.2. - E.B.W.M. 35.4 - I.T.I.M. Cluj-Napoca

În cadrul Institutului de Tehnologie Izotopică și Moleculară din Cluj - Napoca, este investigată și tehnologia neconvențională de sudare prelucrare cu fascicul de electroni; specialiștii de aici aflându-se în prezent în faza finalizării construcției unei mașini complexe de sudat-prelucrat cu F.2.

Mașina este destinată aproape exclusiv scopurilor de cercetare tehnologică fiind un prototip (Fig.5.3), ea compunându-se din:

- agregat de vid care realizează vidul în incinta turnului electronic 1 și incinta tehnologică 6;
- sursa pentru încălzirea catodului 2, termă;
- sursa de tensiune înaltă, aplicată în catod și anodul 4 pentru accelerarea fasciculului de electroni;
- sursa pentru electrodul de comandă - Wehnelt 3;
- unitate de alimentare a bobinei de corecție fascicul 5 și a lentilei magnetice de focalizare 7;
- sistem de deflexie a fasciculului 8, cu unitatea de alimentare aferentă;
- sistem de deplasare al mesei 10 și al piesei 9, cu unitatea de alimentare aferentă;
- dulap de comandă și control, care centralizează comenzile tuturor unităților de mai sus;

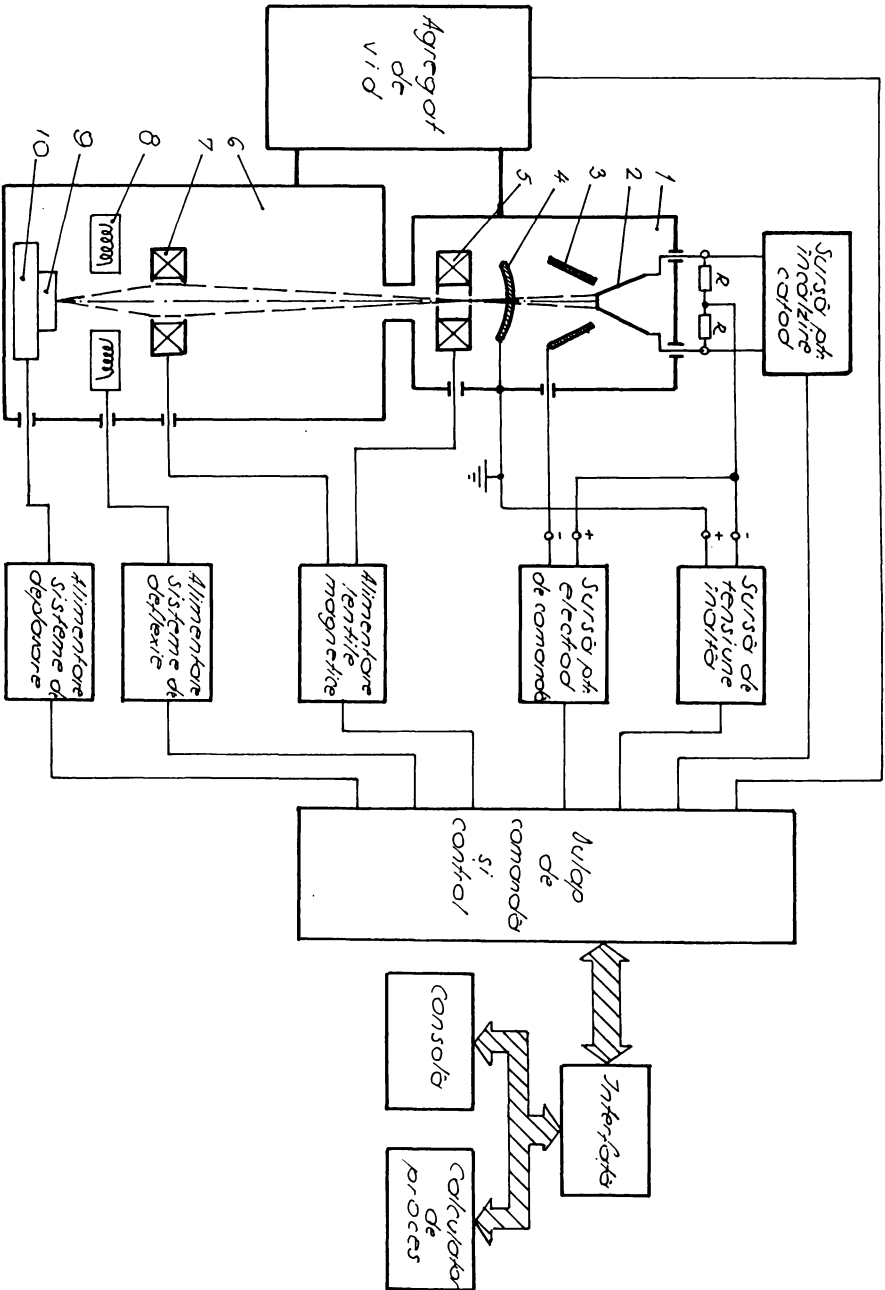


Fig. 5.3 Schema bloc a masinii a.B.W.M. 35.4

- interfața între acest dulap și o consolă pentru programare exterioară, sau un calculator de proces.

5.2.1. Agregatul de vid

Agregatul de vid realizează vidul mediu (1 Pa) și înalt (10^{-3} Pa) în incinta tehnologică și incinta tunului electronic. Conform schemei din figura 5.4. acesta este format din două sisteme de vid distincte pentru realizarea vidului mediu și înalt în cele două incinte. Vidul mediu se obține prin intermediul pompelor de difuzare cu ulei.

În vederea realizării diverselor situații de lucru, sistemele de vid sînt conectate la cele două incinte prin intermediul robinetilor electromagnetici 1,2,4 și 5 și a robinetilor fluturate 3 și 6. Robinetul sertar 7 rezolvă izolarea incintei tunului electronic de incinta tehnologică, la scoaterea și introducerea piesei.

Ambele sisteme de vid sînt prevăzute cu protecții la întreruperea alimentării de la rețeaua electrică, sau a apei de răcire a pompelor de difuzie cu ulei.

Măsurarea vidului mediu se face cu ajutorul jojelor termice, iar a vidului înalt cu ajutorul jojelor ionice 9, conectate la vacuumetrul 10.

5.2.2. Sursa de tensiune înaltă

Sursa de tensiune înaltă (fig.5.5), este alcătuită din transformatorul trifazat ridicător de tensiune 3, puntea trifazată pentru redresare 4 și două celule de filtraaj LC 5. Pentru asigurarea stabilității tensiunii de ieșire la variația sarcinii și a tensiunii de alimentare, transformatorul este alimentat prin intermediul redresorilor comandați 2. Tensiunea și curentul sînt măsurabile prin intermediul divizorilor rezistivi 6; semnalul cules de pe aceștia servește și pentru bucla de reacție lentă a, prin care unitatea de comandă 8, stabilizează nivelul tensiunii de ieșire.

Sursa de tensiune înaltă este prevăzută cu protecții electronice reglabile, la depășirea curentului admisibil.

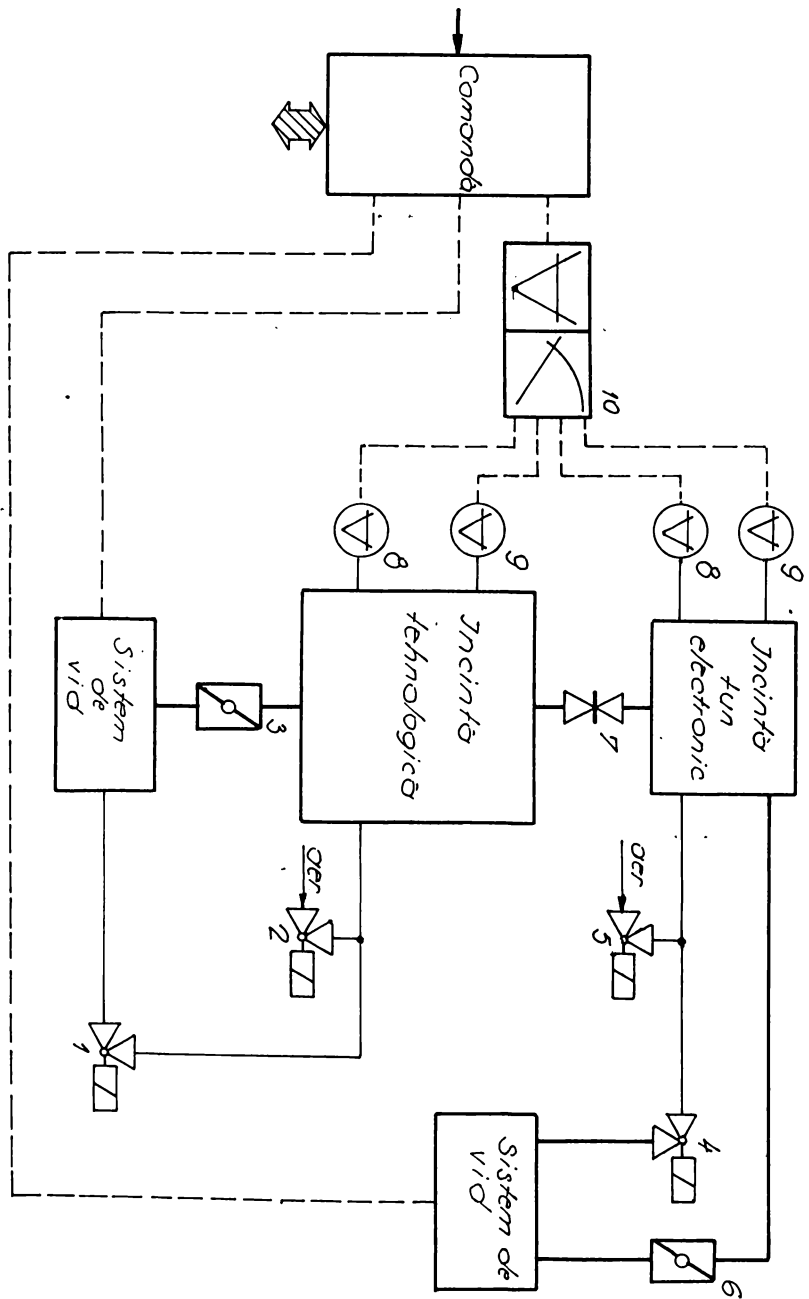


Fig. 5.4 Agregatul de vid

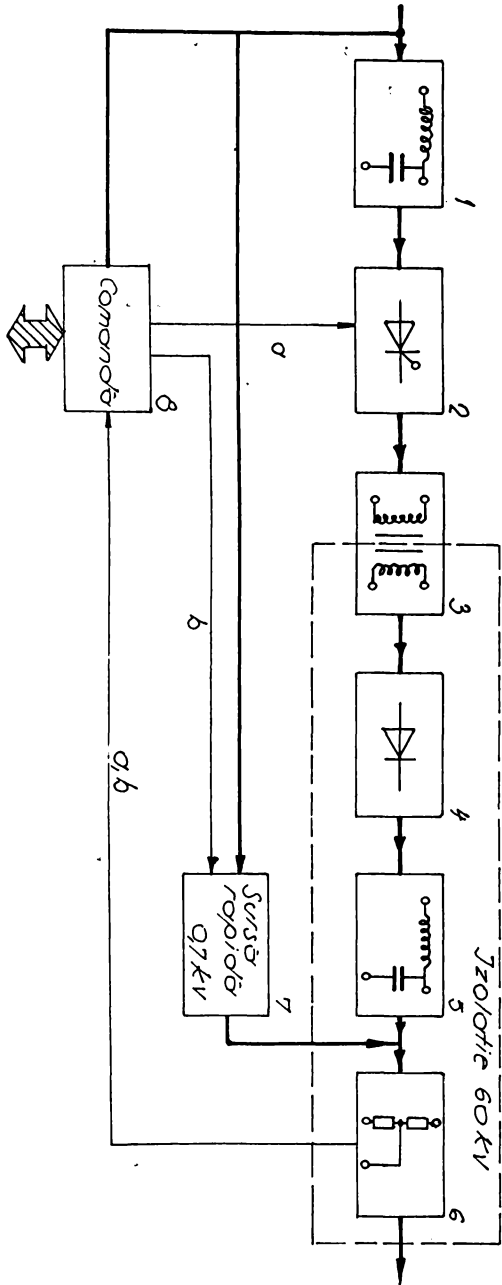


Fig. 5.5. Sursa de tensiune înaltă

Celula de filtraaj 1, montată pe alimentarea sursei, are rolul de a împiedeca transmiterea în rețea a regimului deformat datorat redresorilor comandați. Partea din schemă încadrată cu linie întreruptă, este izolată față de masă, la 60 kV.

Sursa astfel construită, este capabilă să genereze o tensiune maximă de 35 kV, la un curent maxim de 120 mA. Aceasta este o tensiune care reprezintă un compromis între necesitățile pentru sudare și prelucrare, pe de o parte, și riscurile datorate emisiei de radiații γ și costurile, care cresc exponențial cu creșterea tensiunii, pe de altă parte.

Sursa pentru încălzirea catodului (Fig.5.6), este alcătuită din transformatorul monofazat 3, care are și rol de separare, punctul redresoare 4 și grupul de filtraaj LC 5.

Tensiunea și curentul debitat, se măsoară prin intermediul vizoarelor rezistive 6. Pentru a transmite aceste valori măsurate spre dulapul de comandă, s-a ales soluția transformării lor, prin intermediul convertoarelor tensiune-frecvență 10, singurele care asigură o liniaritate foarte bună pe tot domeniul de măsură. Izolarea la 60 kV este rezolvată de optocuploarele 9.

Sursa funcționează în regim de curent constant, cu limitare de tensiune. Unitatea de reglaj 11 comandă, în acest sens, alimentarea primarului transformatorului 3 prin intermediul grupului de redresori comandați 2, comparând valorile prestabilite ale curentului și tensiunii, cu cele obținute prin buclele de reacție a și b.

Unitățile electronice din zona izolată, sînt alimentate din transformatorul separator 7 și sursele - 15 V, 8. Celula de filtraaj LC 1 are rolul eliminării regimului deformat de alimentare.

În această construcție, sursa pentru încălzire catod este capabilă să genereze un curent de 0 + 99,9 A,

5.2.3. Sursa pentru alimentarea electrodului de comandă (Fig.5.7)

Aceasta este alcătuită din sursa reglabilă 0 + 100 c.c. 1, inverterul de c.c. / c.a. 2, transformatorul ridicător și separator 3, grupul de redresare 4 și grupul de filtraaj 5. Tensiunea de ieșire este măsurată prin intermediul divizorului rezistiv 6, convertorului tensiune - frecvență 7 și transmisă spre unitatea de comandă 11, prin intermediul optocuplorului 8. Calea a de transmisie a acestei

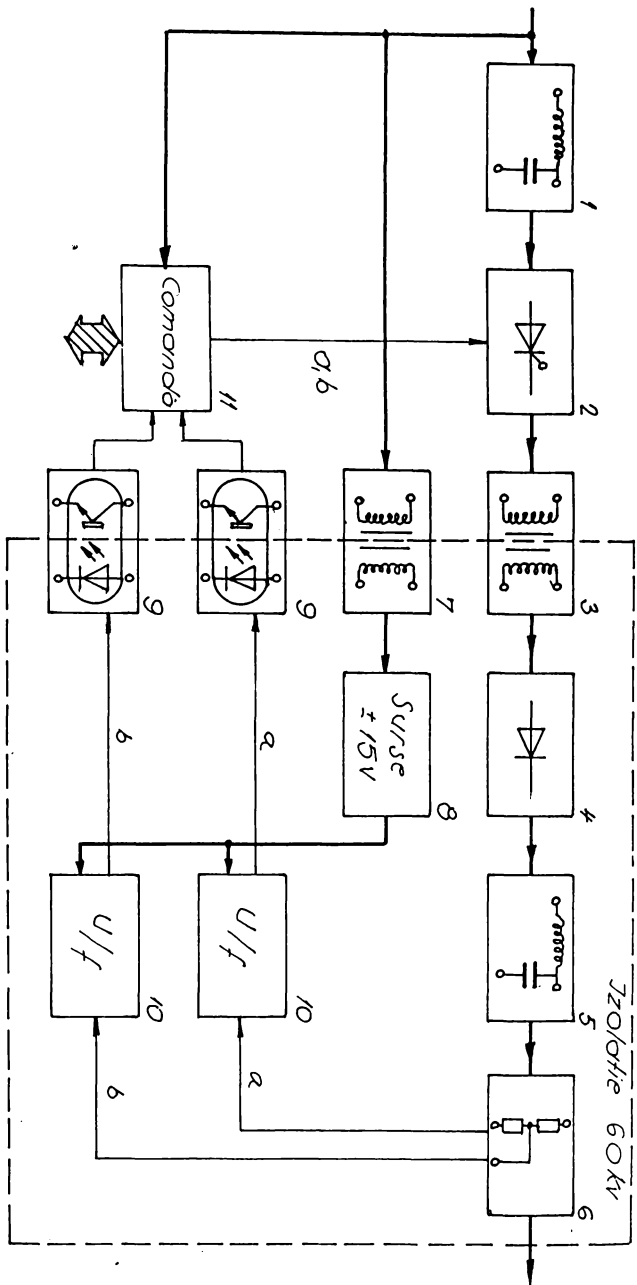


Fig. 5.6 Sursa pentru încălzirea catodului

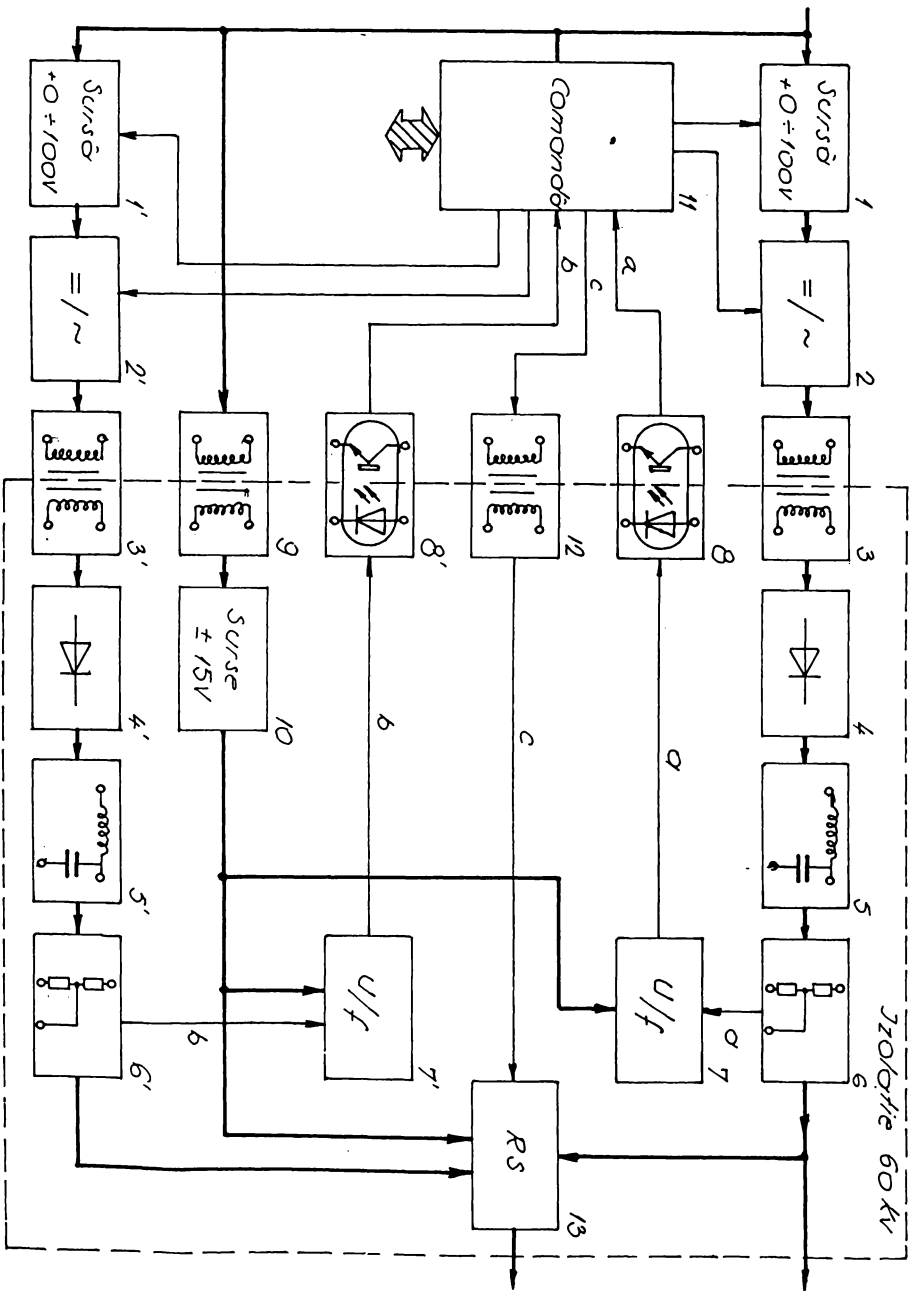


Fig.5.7 Sursa de alimentare a electrodului de comandă

valori, constituie și bucla de reacție pentru reglajul tensiunii de ieșire la valoarea prestabilită, între 0 + 1999 V.

Această variantă este destinată mașinii de sudat, tensiunea variind relativ lent, cu un timp de creștere și descreștere reglat, între valoarea de tăiere și respectiv, de focalizare a fasciculului de electroni.

Pentru mașina de prelucrat, variațiile tensiunii pe electrodul Wehnelt fiind foarte rapide, prelucrarea făcându-se în impulsuri, sursa se dublează. Astfel, una din surse va fi reglată la tensiunea de focalizare, iar cealaltă la tensiunea de tăiere. Unitatea de comandă acționează, prin intermediul transformatorului de separare bistabilul resetabil RS-13, care basculează între aceste două valori. Durata minimă a impulsului și a pauzei este de 1 sec.

Sursele pentru alimentarea bobinei de corecție a fasciculului și a lentilei magnetice pentru focalizare sînt constituite pentru a funcționa la curent constant - reglabil între 0 - 4 A - cu limita de tensiune la max. 30 V.

5.2.4. Sistemele independente de fixare și deplasare a piesei

Acest sistem asigură:

- rotația piesei după axa orizontală, pentru sudare radială, cu 0 + 50 rot/min;
- rotația piesei după axa verticală, pentru sudare circulară axială cu 0 + 50 rot/min;
- deplasarea piesei, după axele XY (în plan orizontal), pentru sudare și prelucrare, cu o viteză de deplasare de 0 + 3 m/min pe o lungime de maximum 100 m.

5.2.5. Sistemele de deflexie și vibrare fascicul

Aceste sisteme de deflexie și vibrare sînt alcătuite din surse rapide de curent continuu, comandabile, care alimentează 4 bobine dispuse în plan la 90°, pentru deplasarea unghiulară a fasciculului. Prin deplasarea unor semnale sinusoidale, dreptunghiulare sau triunghiulare, cu frecvențe diferite, pentru comanda acestor surse, pe axele X și Y, se poate obține o cusătură de o diversitate mare de forme, la sudare.

5.3. Sistemul de comandă și control

Înainte de a executa o sudură, este necesar a se controla dacă nivelul vidului este cel impus, atât în tunul electronic cât și în camera de lucru. Pe de altă parte se impune a controla și regula diferiți parametrii care intervin în timpul sudării, pentru a obține suduri reproductibile. Acești parametrii privesc mișcarea relativă și sudarea pieselor în raport cu fasciculul, tensiunea de accelerare, alimentarea bobinei de focalizare, puterea fasciculului.

De asemenea, ținându-se seama de viteza de execuție a sudurii și marea putere specifică a fasciculului, este necesar a se automatiza acest procedeu neconvențional de sudare.

5.3.1. Controlul vidului

Realizarea vidului se face în doi timpi. Întâi o pompă mecanică permite obținerea vidului așa zis primar, apoi operația se realizează prin punerea în funcțiune a unei pompe de difuzie cu ulei, sau pompa secundară care permite atingerea unui vid până la 10^{-6} torr.

În general se utilizează două tipuri de aparate de măsură ale vidului. Măsurarea vidului primar se bazează pe principiul FIRANI: un filament încălzit la o tensiune constantă atinge o temperatură de echilibru funcționând la densitatea de aer care-l înconjoară. Dacă se pune filamentul în contact cu termocuplu se obține o tensiune, care este funcție de presiunea care este în incintă. Desigur, de la un anumit grad de rarefiere a aerului, răcirea prin convecție devine nulă. Sensibilitatea unei astfel de joje este deci limitată către presiunile joase. Domeniul lor de utilizare se întinde de la presiunea atmosferică până la 10^{-3} torr.

Măsurarea vidului secundar se bazează pe principiul jojeilor cu ionizarea catodului rece (PENNING). Curentul de emisie care se stabilește între cei doi electrozi plasați în vid și legați la o diferență de potențial de 2000 V. este funcție de numărul de molecule existente în incintă. Domeniul de aplicare al jojei între 10^{-2} torr și 10^{-10} torr.

5.3.2. Controlul tensiunii înalte

Tensiunea înaltă intervine asupra calității sudării prin două aspecte: în ceea ce privește puterea transportată de fascicul (deci profunzimea sudării) și prin modificarea distanței focale a bobinei de focalizare (aberație cromatică). Deci este necesar de a stabili-za și a regla această tensiune înaltă.

Este riscant și costisitor a realiza această stabilizare și reglare pe partea de înaltă tensiune (din cauza diodelor și consu-mului mare de înaltă tensiune).

În general se adoptă soluția de a pilota autotransformatorul variabil printr-un motor cu inerție mică. Acesta va fi comandat printr-un servomecanism de poziție realizând egalitate între o tensiune de măsură prelevată pe sursă și o ten-siune de referință.

Această soluție dă posibilitatea încadrării în toleranțele cerute cu un timp de răspuns între 0,065 la 0,155. De ase-menea se poate programa tensiunea înaltă funcție de parametrii impuși de procesul de sudare.

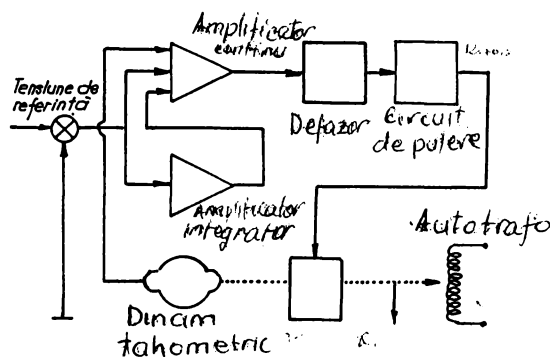


Fig. 5.8 Reglarea tensiunii înalte

5.3.3. Controlul și modularea curentului fasciculului

Cel mai adesea controlul curentului fasciculului se face prin negativarea electrodului de comandă. Acest mod se poate realiza pe orice tip de tun, unipotential sau de tip Pierce, ori de tip triodă cum se poate vedea în fig. 5.9.

Valoarea r_e , raza efectivă a catodului este dată aproxima-tiv de:

$$\frac{r_e}{r_c} = \frac{I}{I_0} \quad (5.1)$$

Pentru un set de mĂrimi arbitrare se dĂ modul de variație al
a curentului în tun (fig.5.9).

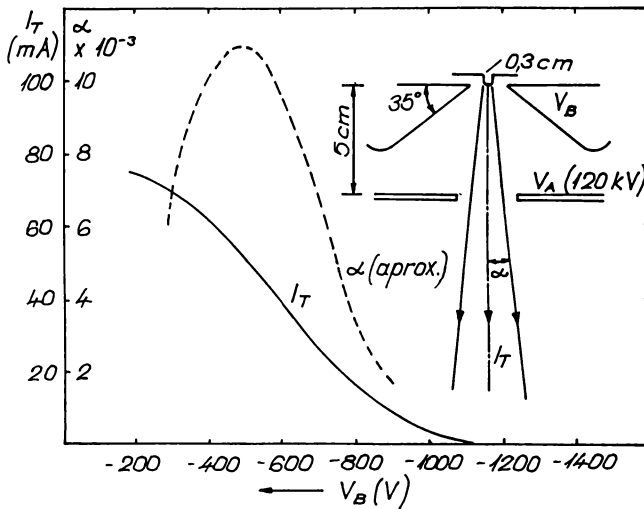


Fig.5.9 Variația curentului total

Astfel se poate vedea că printr-o proiectare potrivită a elementelor de comandă (dimensiuni și formă) se poate obține fasciculul de forma și parametri corespunzătoare pentru procesul ce urmează a-l deservi într-o plajă de comandă și control, destul de largă.

5.3.4. Controlul alimentării bobinei magnetice

O variație a intensității curentului de alimentare a bobinei dĂ o variație a inducției magnetice, care duce la o variație a distanței focale. Dar o variație a distanței focale se traduce printr-o modificare a urmei fasciculului de țintă, adică o variație a geometriei zonei topite.

Este deci necesar să se funcționeze cu un curent de alimentare al bobinei constant, și menținerea lui constantă chiar dacă se încălzește bobina.

Pentru o distanță de tir dată, curentul de focalizare este legat de înalta tensiune prin relația:

$$I_{\text{bob}} = k_1 V \quad (5.2)$$

Deci dacă se dorește variația înaltei tensiuni în timpul sudării menținând focalizarea optimă, este necesar a se lega ten-

siunea de referință a sursei U , de tensiunea de accelerare printr-o relație de forma:

$$U = K_2 \sqrt{V} \quad (5.3)$$

Această operație este realizată de către un mic calculator analogic, la eroarea și variațiile impuse. Avantajul este că se poate realiza o automatizare a procesului avîndu-se de programat doar un parametru al procesului. Deci chiar dacă se realizează suduri arculare sau de diferite grosimi, focalizarea rînf-ne la o valoare predeterminată.

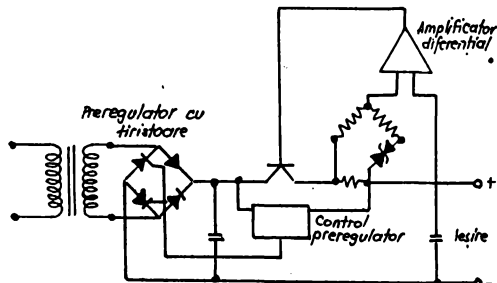


Fig.5.10 Controlul focalizării

5.3.5. Reglajul puterii

S-a văzut că avem posibilitatea de a face să variem intensitatea curentului în fasciculul de electroni, acționînd asupra tensiunii de polarizare a Wehneltului, ceea ce permite a controla puterea fasciculului menținînd tensiunea de accelerare constantă.

Polarizarea Wehneltului este sub strictă influență a valorii produsului $V \cdot I$. Adică operatorul afișează pe de o parte tensiunea de accelerare și pe de altă parte puterea dorită. Valorile măsurate ale tensiunii și intensității sînt înmulțite electronic, și acest produs este comparat cu valoarea puterii afișate. Un amplificator trimite valoarea detectată circuitului de control al polarizării Wehneltului. Acest sistem compensează automat influența factorilor ce pot provoca variații ale intensității. De exemplu îmbătrînirea filamentului, variații ale presiunii în incintă, din cauza degazării sau emisiei de vapori metalici.

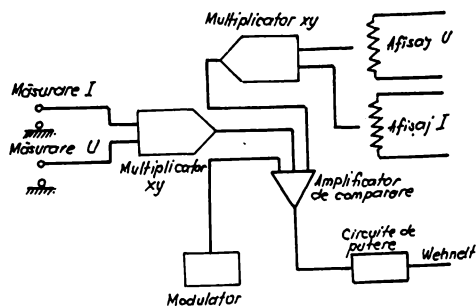


Fig.5.11 Reglajul puterii

5.3.6. Introducerea automată a parametrilor de sudare

În mod obișnuit afișarea parametrilor de sudare se face manual cu ajutorul potențioanelor dispuse pe pupitrul de comandă al instalației.

Pentru a simplifica și accelera afișajul parametrilor, în cazul fabricației pieselor de serie mică sau mare sau de masă, s-au pus la punct dispozitive de comandă cu cartele perforate, benzi perforate, benzi magnetice, discuri.

Aceste dispozitive pot controla diferiți parametri de sudare, tensiunea de accelerare, intensitatea fascicului, curentul de focalizare, viteza de sudare.

Odată ce suportul purtător de informație cu programul dorit, a fost introdus în lector prin intermediul unei interfețe sau calculator, se poate face transmiterea de semnale în buclele sau sistemele de reglare automată.

5.3.7. Comanda deflexiei fascicului

De obicei mașinile de sudare cu fascicul de electroni sînt echipate cu două seturi de bobine de deflexie, plasate sub bobinele de focalizare. Bobinele reușesc să deplaseze fasciculul pe două direcții perpendiculare, păstrînd centrarea optică a fascicului (focalizarea).

Mișcarea poate fi unilateral sau bilateral coordonată prin aplicarea de semnale pe cele două bobine. De asemenea se poate impune și prescrie succesiunea semnalelor.

Cel mai folosit mod de deflexie al fascicului este cu o mică amplitudine de oscilare normală pe linia de sudare. În mod normal amplitudinea atinge 0,25-0,4 mm, ceea ce corespunde unei deflexii de 5° de la centrul liniei tunului (depinzînd de distanța pînă la țintă). Frecvența de oscilație poate atinge 10 kHz. Se pot obține mai multe modele de mișcări prin deflexia fascicului cum se vede în fig. 5.12.

Se pot obține diferite forme ale urmei spotului (circulare, eliptice) funcție de modul de excitare a bobinelor de deflexie.

Deflexie exagerată a fascicului poate produce erori de pătrundere, ceea ce implică și o rotație a piesei de sudat.

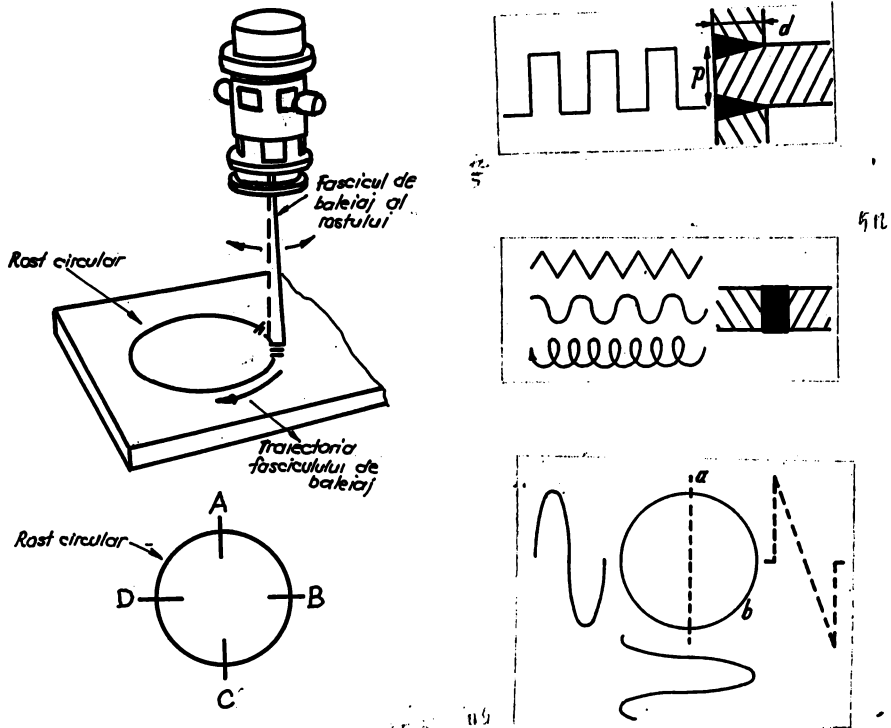


Fig.5.12. Modele de deflexie a fasciculului

5.3.8. Stingerea și aprinderea automată a fasciculului

În multe aplicații operatorul este cel care aprinde și stinge fasciculul de electroni. În unele aplicații în care se cer adâncimi mari de pătrundere, or să cere o reproductibilitate mai mare a procesului, se impune automatizarea aprinderii și stingerii, pentru ridicarea calității sudării și creșterea productivității.

Astfel pentru începerea și terminarea sudurii circulare se combină aprinderea și stingerea automată cu focalizarea și defocalizarea fasciculului, pentru încălzirea și normalizarea rostului respectiv a cusăturii sudate. Astfel se face simultan controlul sudării, dându-se semnale de comandă atât în circuitul de aprindere cât și în bobinele de deflexie și focalizare.

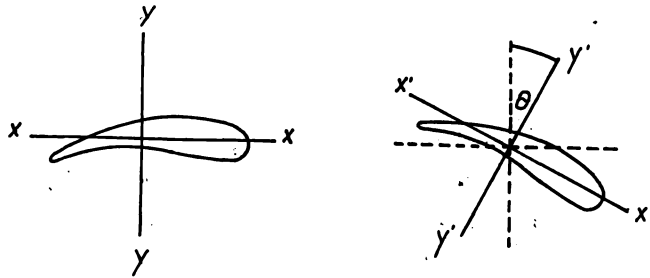
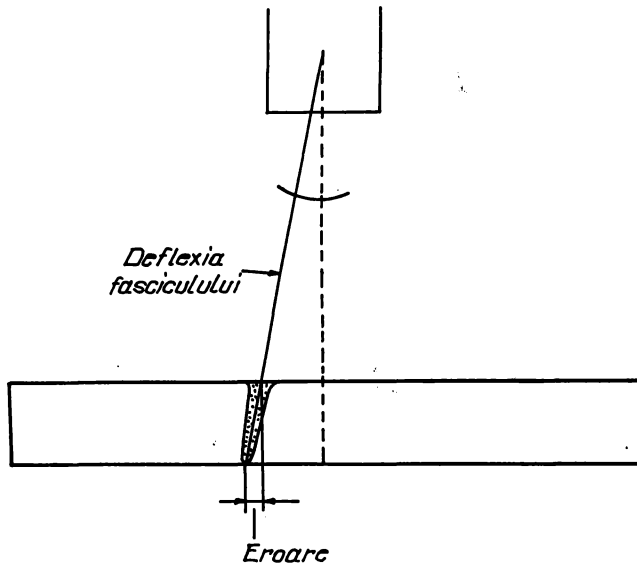


Fig.5.13 Corelația deflexiei cu mișcarea piesei

5.3.9. Pulsarea fasciculului

La tensiunea înaltă se poate introduce o fluctuație de înaltă frecvență, ce are corespundență într-o rată fluctuantă a curgerii electronilor. Această frecvență de pulsație poate fi variată.

La temperaturile înalte la care se ajunge, pulsația tensiunii ajută la penetrarea fasciculului de electroni în materialul de prelucrat. În multe mașini este introdus acest sistem de control al pulsației obținând mai ales la perforări performanțe superioare.

5.4. Conducerea procesului de sudare cu F.E. cu ajutorul calculatorului electronic

5.4.1. Principiile de bază ale conducerii procesului

Procesul tehnologic de sudare cu fascicul de electroni este descris cu ajutorul a două parametrii analogici și doi parametrii numerici. Parametrii analogici sînt tensiuni unificate în domeniul $0 + 10$ V proporționale cu mărimile pe care le comandă (tensiunea de încălzire a catodului, tensiunea de accelerare, tensiunea electrodului de comandă pentru sudare și tensiunea pentru ciclul de învățare, tensiunea bobinelor de focalizare, tensiunea pentru sistemul de deflexie x.y, precum și tensiunile de comandă a sistemului de vidare).

Parametrii numerici definesc mișcarea în plan orizontal a masei din incinta vidată. Întrucît mișcarea masei este asigurată de două motoare pas cu pas cei doi parametrii numerici sînt în fond trenuri de impulsuri a căror număr determină lungimea mișcării, iar frecvența lor de repetiție stabilește viteza mișcării.

Generarea tuturor parametrilor poate fi realizată cu ajutorul unei interfețe specializate, conectată la un microsistem de calcul. Viteza procesului de sudare cu F.E. fiind ridicată, microsistemul de calcul nu poate efectua controlul și conducerea în timp real a instalației.

Problema a fost rezolvată divizînd procesul în două secvențe: stabilirea "offline" a parametrilor de sudare și stocarea lor în memorie ca primă secvență, (faza de învățare) și apoi conducerea în timp real a procesului de sudare cu F.E. preluînd mărimile stocate în memorie, (faza de execuție).

Fiecare sudură este divizată în 4000 de traiectorii elementare. Pe durata unei traiectorii elementare parametrii analogici sînt menținuți constanți.

Învățarea traiectoriei de sudare poate fi realizată manual sub controlul operatorului și automat dacă instalația este dotată cu sistem de urmărire a rostului (optic sau cu raze X). În timpul învățării masa este deplasată pe traiectorie generîndu-se impulsuri pentru motoarele pas cu pas, calculatorul realizînd calculul coordonatelor și memorarea acestora. În cazul cînd traiectoria este o dreaptă se dau doar coordonatele punctelor de început și sfîrșit calculînd și memorînd prin program punctele intermediare.

Cînd traiectoria este arc de cerc se dau coordonatele a trei puncte de pe arc, calculatorul calculînd centrul și apoi memorînd punctele de pe traiectorie.

O traiectorie elementară este caracterizată de lungimea deplasării pe x (Δx) și pe y (Δy) de viteza deplasării pe cele două direcții (v_x, v_y) precum și de ceilalți 10 parametri analogici pentru conducerea procesului de sudare cu F.E. Lungimea deplasării pe o traiectorie elementară (ΔS) se determină ca diferență dintre coordonata a două puncte consecutive.

Viteza de deplasare (v) pe o traiectorie elementară este funcție de material și forma traiectoriei. Vitezele pe x și y (v_x, v_y) sînt determinate pe baza vitezei de deplasare pe traiectorie (v) impunînd condiția de egalitate a duratei mișcărilor pe x și pe y . Altfel spus, vitezele pe x sau pe y sînt funcție de timpul dintre două impulsuri consecutive date motoarelor pas cu pas (t_x, t_y). Acești timpi se obțin prin divizarea duratei mișcării pe traiectoria ei elementară ($\Delta t = \frac{\Delta S}{v}$) la numărul pașilor pe x sau pe y , (P_x, P_y).

Parametrii tehnologici se extrag din fișierele care conțin tehnologiile de sudare cu F.E. pentru diverse oțeluri și diverse forme și dimensiuni de material.

În concluzie în urma fazei de învățare un proces de sudare este caracterizat de un tabel ce conține un număr de linii egal cu numărul traiectoriilor elementare în care a fost descompusă traiectoria de sudare. Fiecare linie conține parametrii caracteristici unei traiectorii elementare: lungimea deplasării (numărul de pași

pe $x-p_x$, respectiv pe $y-p_y$), viteza de deplasare pe x și pe y (timpul între două impulsuri consecutive date motoarelor pas cu pas (t_x, t_y), tensiunea de încălzire a catodului, tensiunea de accelerare, tensiunea electrodului de comandă, tensiunea bobinelor de focalizare, tensiunile pentru sistemul de deflexie, precum și tensiunile de comandă pentru sistemul de vidare.

Valorile conținute într-o linie a tabelului (parametrii unei traiectorii elementare) sînt transmise instalației de sudare cu F. E. prin intermediul unei interfețe specializate.

5.4.2. Interfața între calculator și instalația de sudare cu F.E.

Cu ajutorul interfeței (fig.5.14) calculatorul transmite instalației de sudare cu F.E. atât mărimi analogice cît și numerice. Din acest motiv interfața conține un modul de ieșiri analogice (MIA) și un modul de ieșiri numerice (MIN).

Blocul MIA generează 10 tensiuni analogice 0 - 10 V, cu ajutorul unor convertoare numeric analogice (CNA1 - CNA10) avînd rezoluția de 12 biți, (vezi planșele 001 și 002 din anexă). Valorile numerice ale tensiunilor generate sînt memorate pe durata mișcării pe o traiectorie elementară, în cîte un registru de 12 biți, format dintr-un port (A sau B) și jumătate din portul C dintr-un circuit de interfață intrare-ieșire paralel de tip 8255. Pentru cele 10 convertoare numeric analogice sînt necesare 5 circuite de tip 8255, înainte de începerea sudării circuitele 8255 sînt programate în modul de bază ca registre de ieșire.

La trecerea de la o traiectorie elementară la alta, calculatorul reactualizează conținutul registrelor din circuitele 8255, copiind din linia curentă a tabelului stocat în memorie, valorile numerice corespunzătoare parametrilor analogici care trebuie generați în timpul mișcării pe traiectoria elementară următoare.

Modulul de ieșire numerică (MIN) conține două blocuri identice destinate generării impulsurilor de comandă a motoarelor pas cu pas MPPA 2-2 de deplasare a masei pe cele două axe.

Aceste motoare, fabricație IIP Sf. Gheorghe, au următoarele caracteristici:

- cuplu nominal - 2 Nm
- unghi de pas 1,8/0,9

- număr de faze 4/2
- eroare de pas ± 5
- curent nominal pe fază 3 A
- rezistența pe fază $\pm 10\%$ -1,3
- inductanța pe fază $\pm 10\%$: 3mH
- grad de protecție IP42
- masa 3,75 kg.

Motoarele sînt echipate cu traductoare incrementate de rotație (TILC) destinate măsurării directe a deplasărilor unghiulare. Acestea permit utilizarea motoarelor pas cu pas fără buclă de viteză sau deplasare. Acest tip de acționare se folosește pentru aplicații în care încălzirea motorului este sub 50% din sarcina sa maximă astfel încît să prezinte certitudinea că nu se pierd pași în deplasare.

Deplasarea cu o anumită distanță x , respectiv y , se realizează prin comanda unui număr de pași (impulsuri p_x , respectiv p_y). Viteza de deplasare se comandă prin frecvența pașilor, respectiv perioada impulsurilor t_x , t_y .

În acest caz dispozitivul de comandă furnizează trenuri de impulsuri echipamentului de acționare EAMP-1 doar în funcție de necesitățile procesului, fără să mai verifice dacă mișcarea s-a realizat corespunzător și deci fără să genereze o comandă de corecție în cazul în care aceasta ar fi necesară. Schema de principiu a acționării este dată de fig. 5.15.

O rotație completă a motorului pas cu pas determină adaptarea linială a 5 mm. Viteza linială a masei, cerută de aplicația variază între 0,1 m/min pînă la 2,6 m/min. Acest domeniu de variație a vitezei liniare corespunde la o modificare a vitezei unghiulare între 100 la 3000 pași pe secundă, respectiv la o perioadă a impulsurilor de comandă cuprinsă între 0,3 ms și 10 ms. Se impune deci, ca perioada tactului de bază al modulului de ieșire numerică să fie de 300 S.

Impulsurile de tact de bază (T) ale MII se obțin din tactul calculatprului CLK printr-o divizare cu 1000, realizată cu trei numărătoare, modulo/0 montate în cascadă (CDB490: D₃, E₄, F₄ din planșa 002 din anexă).

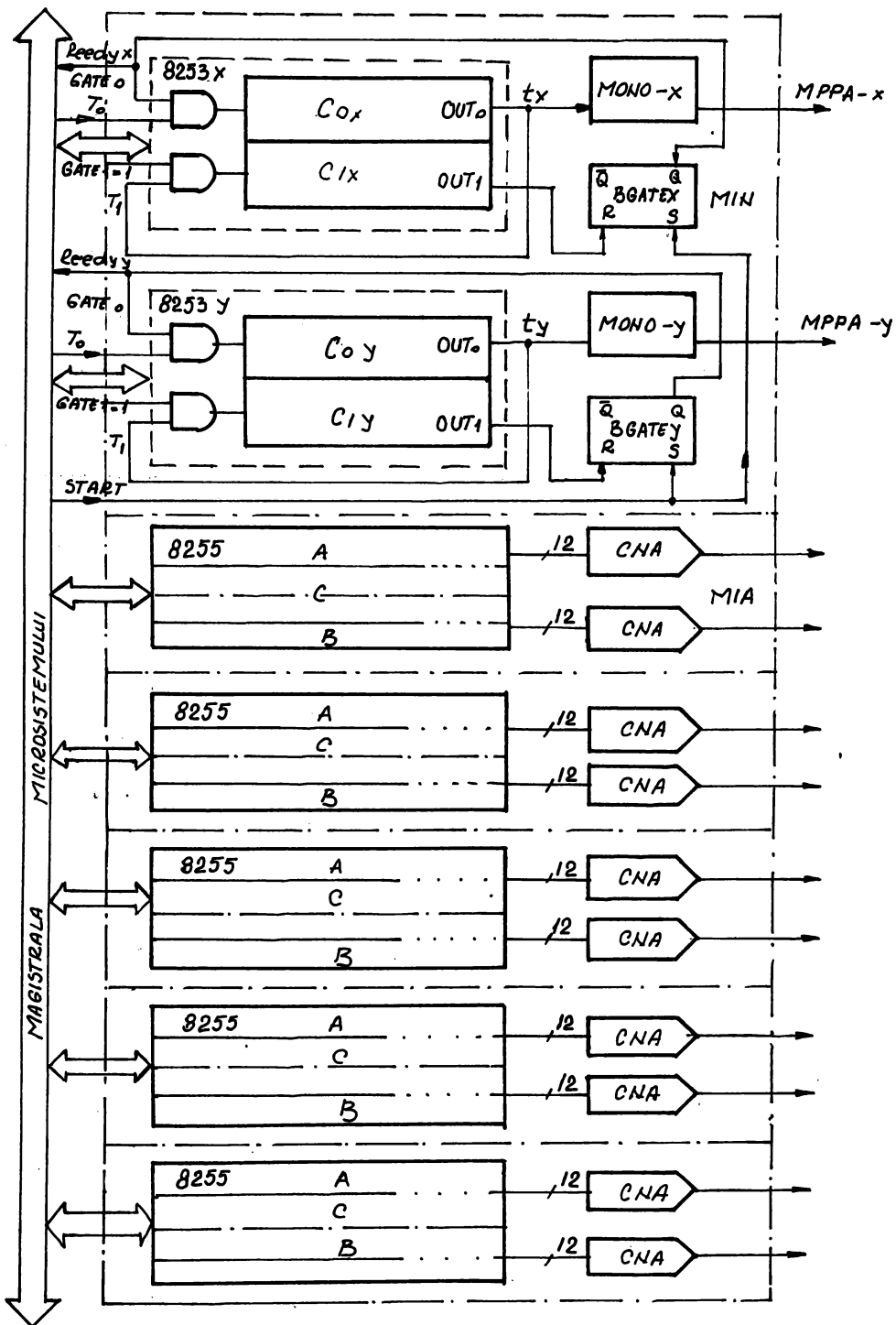


Fig.5.14 Interfața calculator proces tehnologic

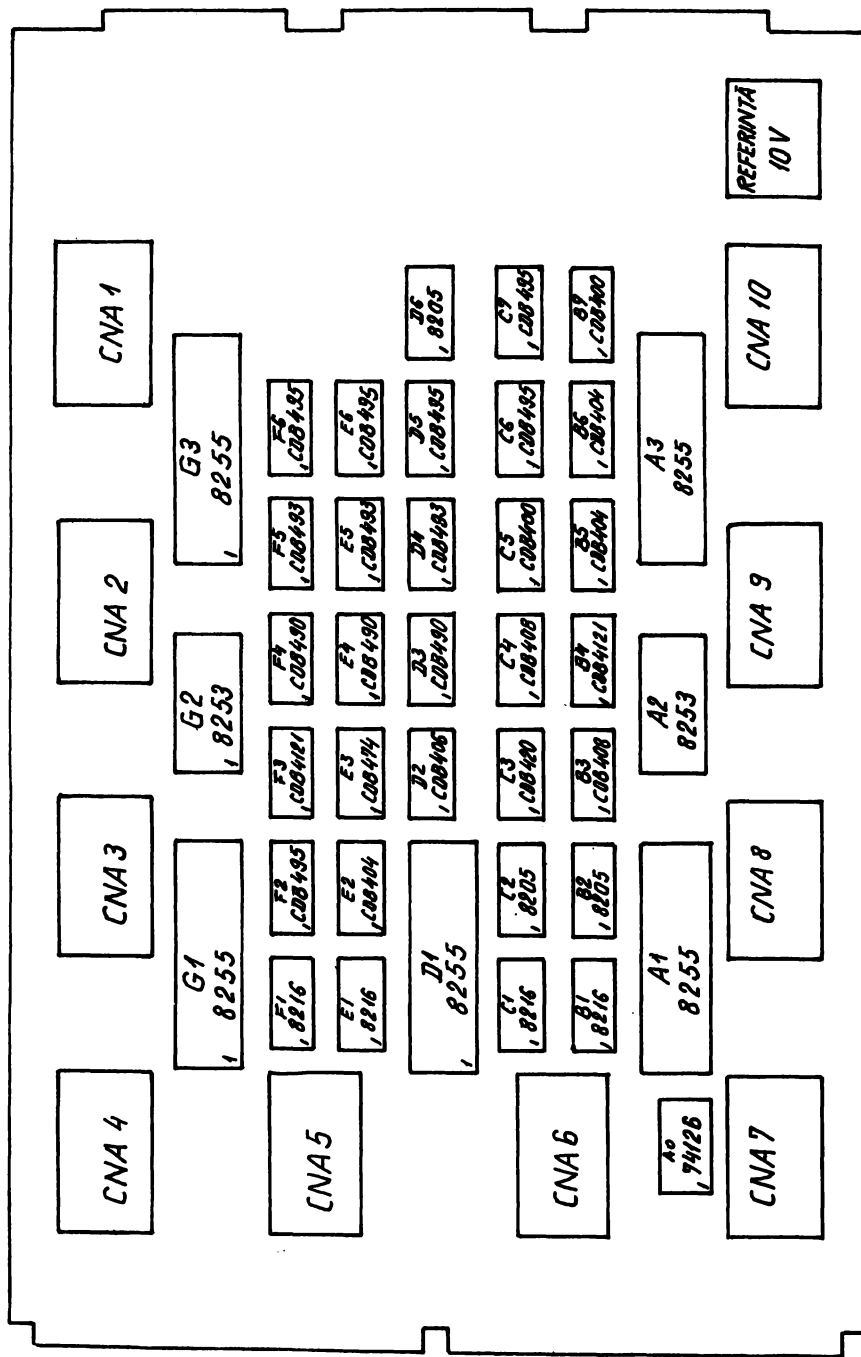


Fig. 5.15 Poziționarea componentelor pe placa interfeței

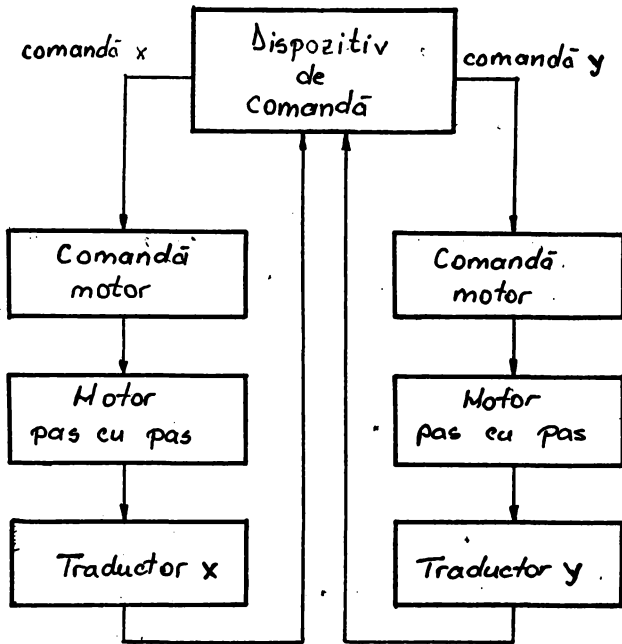


Fig.5.15 Schema de principiu a acționării mesei cu motoare pas cu pas

Generatorul de impulsuri de comandă pentru un motor pas cu pas se bazează pe un circuit de tip 8253. Acest circuit conține trei numărătoare programabile (C_0 , C_1 , C_2) de 16 biți fiecare, având asociată logica corespunzătoare pentru comunicația cu unitatea centrală. Fiecare numărător are o bornă de intrare pentru impulsurile de tact; o bornă de autorizare (GATE) a numărării impulsurilor de tact precum și o bornă de ieșire (out). Calculatorul încarcă în numărător o valoare numerică; la fiecare impuls de tact numărătorul își decrementează conținutul și în momentul când ajunge la zero activează ieșirea OUT.

În cadrul modulului de ieșiri numerice sînt utilizate două din cele trei numărătoare ale fiecărui circuit 8253 (C_0 și C_1).

În contorul C_0 microsistemul încarcă valoarea numerică a perioadei impulsurilor pentru motoarele pas cu pas (t_x , t_y) exprimată în cuanta de 300 S. (perioada tactului de bază T). Acest contor va genera impulsuri pentru motorul pas cu pas respectiv avînd

perioada de repetiție t_r 300 μ S. Aceste impulsuri sînt aplicate prin intermediul unui etaj formator motorului pas cu pas respectiv (monostabilele CDB 4121 B₄, F₃).

Al doilea control are conectată intrarea de numărare la ieșirea OUT a contorului C₀. Calculatorul încarcă în C₁ o valoare egală cu numărul de impulsuri necesare deplasării masei pe x sau y. În momentul în care această valoare coincide cu numărul de impulsuri generate de C₀, respectiv numărate de C₁, acesta din urmă blochează contorul C₀ prin borna sa GATE. Borna GATE a contorului C₀ este controlată prin intermediul unui bistabil (CDB474 - E₃). Acest bistabil este adus la 1 de minicalculator după programarea circuitelor 8255 și 8253, adică în momentul în care începe, mișcarea pe o traiectorie elementară. La terminarea mișcării pe traiectoria elementară contorul C₁ aduce la 0 bistabilul blocînd astfel generarea în continuare a impulsurilor pentru motorul pas cu pas de către contorul C₀. Același bistabil informează calculatorul că traiectoria elementară a fost parcursă. Microsistemul reprogramază circuitele 8255 și 8253 cu parametrii caracteristici ai traiectoriei elementare următoare, aduce bistabilul GATE la 1 și procesul se reîncepe.

5.4.3. Programa pentru conducerea procesului de sudare cu F.

E. cu ajutorul microcalculatoarelor compatibile CP/M

Sistemul de programe pentru conducerea procesului de sudare cu F.E. este constituit din două secvențe cotespunzător fazelor de învățare respectiv de execuție.

Programul de învățare scris într-un limbaj de nivel înalt FORTRAN, PASCAL utilizează cîteva subrutine în limbaj de asamblare care realizează interfațarea SOFT cu instalația de sudare cu F.E. conectată la calculator prin modulele de ieșire analogice și numerice.

Scopul programului este generarea tabelului cu parametrii caracteristici pentru fiecare traiectoria elementară în care a fost descompusă traiectoria de sudare. În acest sens operatorul conduce masa de sudare cu ajutorul calculatorului de la consola acestuia, prin subprograme specifice pînă în punctul în care va începe sudarea. Coordonatele acestui punct sînt memorate de calculator. În

cazul în care segmentul de traiectorie care urmează este o dreaptă prin același procedeu operatorul conduce masa în formatul final al segmentului ale cărui coordonate sînt de asemenea memorate de calculator. În cazul în care traiectoria este un arc de cerc calculatorul memorează, sub controlul operatorului, coordonatele a trei puncte: începutul arcului, sfîrșitul arcului și un punct de pe arc. Pe baza acestor trei puncte programul determină raza și centrul cercului din care face parte arcul după care descompune arcul de cerc într-o reuniune de segmente liniare elementare.

Operațiunea se repetă pentru următoarea porțiune de traiectorie (segmentul de dreaptă sau arc de cerc) pînă la descrierea completă a traiectoriei de sudare .

Pe baza punctelor care definesc traiectoria elementară, programul determină pentru fiecare segment cîte o linie de tablou care conține numărul de pași (p_x, p_y) pentru motoarele pas cu pas, perioadele (t_x, t_y), precum și parametrii tehnologici caracteristici extrași din fișierele ce conțin fișele tehnologice de sudare cu fascicul de electroni.

6.1. CAPITOLUL 6

CONCEPȚIA GENERALĂ A PROCESULUI DE SUDARE CU FASCICUL DE ELECTRONICI
PRINTELE UNELTATEA DE SUDARE MARE, ÎNCADRAREA ÎN SISTEMUL
CU M.A. F.C.I.M. ÎN ÎNCADRARE

6.1. Problematika generală a conducerii automate a instalațiilor de sudare cu F.C. de mare complexitate și capacitate

Introducerea pe scară largă a sudării cu fascicul de electroni pe instalații de mare productivitate, a impus cum am mai menționat echiparea acestor instalații cu un sistem de conducere și control automat. Sistemul va trebui să asigure realizarea automată a funcției secvențiale și logice a ciclului de sudare, a funcției sistemului de deplasare fascicul de electroni-piesă, precum și a diverselor funcții create de condițiile operatorii ale procesului (comanda, controlul și memorarea parametrilor de sudare, diagnoza fasciculului de electroni, vizualizarea procesului de sudare, urmărirea rostului, începutul sudării, închiderea araterului terminal al sudării etc).

Aceste instalații sînt intercalate tot mai des în linii automate, linii flexibile de fabricație, celule flexibile, celule robotizate de fabricație etc. Pentru a face față cerințelor impuse menționate anterior s-au extins sistemele de comandă numerică computerizate, utilizate la mașini unelte, sau sisteme multimicroprocesor, sau diverse astfel de combinații (fig.6.1.).

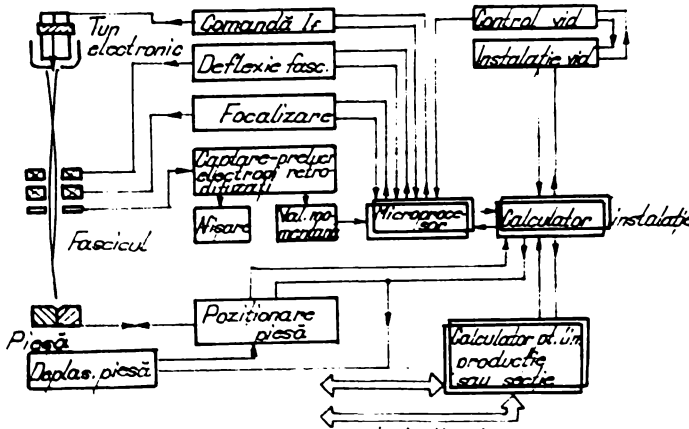


Fig.6.1. Schema de principiu a unei instalații cu sistem multimicroprocesor, computerizate

Introducerea calculatorului și sistemelor multimicroprocesor dau posibilitatea, prin intermediul facilităților software a creșterii randamentului și productivității fabricației la nivelul sistemului de producție prin legarea calculatorului instalației în rețeaua de calculatoare a secției.

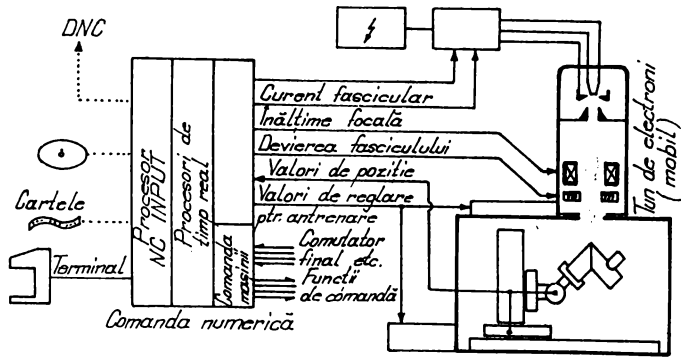
Așa cum s-a arătat minicalculatoarele se întâlnesc și în sisteme de conducere multimicroprocesor în configurații CNC de tipul celei prezentate în fig.6.2. Principalele avantaje care justifică echiparea instalațiilor de sudare cu fascicul de electroni cu minicalculator CN ar fi:

- posibilitatea de operare în timp real;
- achiziții de date, sub formă numerică, conversiile necesare fiind asigurate la nivelul structurilor de interfață discutate la capitolul 3;
- prezentarea în timp real a comenzilor de referință de poziție pe axe, ca rezultat al interpolării (CN) și/sau al execuției algoritmilor de optimizare (CA), situație în care comenzile se referă și la modificarea în timp real a vitezelor pe axe;
- selectarea regimurilor de comandă, corespunzător programului piesă introdus prin activarea perifericelor corespunzătoare;
- achiziția programelor (piesă), fie prin program de la cititor, fie prin acces direct la memoria (DMA) într-o configurație ierarhizată.

O posibilă structură ierarhizată multimicroprocesor conectată pe o instalație de sudare cu fascicul de electroni de mare complexitate ca cea din fig.6.2. va trebui desigur să posedă un software puternic care să-i permită prelucrarea în timp real utilizând minimum de resurse hardware.

6.2. Scheme de principiu pentru conducerea procesului tehnologic de sudare cu F.E. pe instalații complexe

În ultimul timp o mare dezvoltare au luat echipamentele de conducere ce se bazează pe principiul electronilor retrodifuzati. Aceste echipamente dezvoltă de fapt "Reflectronul" lansat de firma Sciaky (fig.6.3.). Dispozitivul dezvoltă de fapt combinațional principiile de măsurare și investigare ale metodei fantei și metodei plăcii, amintite în capitolul 2.



Instalația de prelucrare a fasciculului de electroni cu comandă numerică

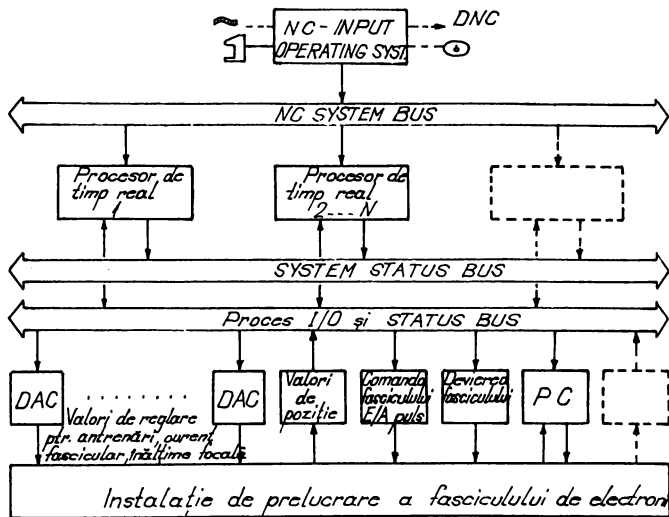


Fig 6.2 Structura comenzii numerice

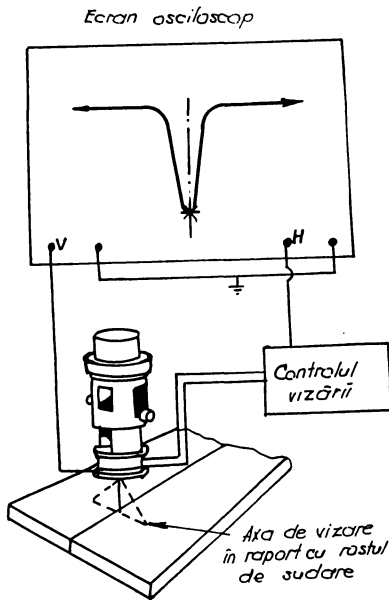


Fig.6.3. Reflectronul

În timp ce fasciculul de electroni lovește piesa de sudat, o parte din electroni sînt retrodifuzzați. Acești electroni sînt culeși de pe o placă de cupru, izolată față de tunul de electroni, și gîurită în centru pentru a permite trecerea fasciculului de electroni. Între placă și masă (adică piesa de sudat) este o diferență de potențial proporțională cu numărul electronilor retrodifuzzați și care se aplică pe plăcile de deflexie ale osciloscopului, făcînd să vibreze fasciculul perpendicular pe rostul de sudare, cînd fasciculul este pe piesă, curentul de retrodifuziune este practic constant, iar cînd fasciculul traversează rostul, acest curent scade considerabil. Aceasta se traduce pe osciloscop printr-o curbă în V. Un circuit de relaxare întrerupe periodic oscilațiile. Perioadele de relaxare ale curentului de reflexie, se traduc printr-o proiectare directă a fasciculului urmînd axa optică electronică a tunului și printr-un punct strălucitor pe ecranul tubului catodic de lungă persistență. Dacă aliniamentul tunului pe rostul de sudură este corect se observă un punct în vîrfurile curbei în formă de V, în caz contrar în stînga sau dreapta, în funcție de deviația de la aliniament.

Operatorul poate analiza cu ajutorul reflectronului toată lungimea rostului deplasînd tunul de-a lungul acestuia sau piesa de dedesubtul tunului. Avînd asigurat aliniamentul dorit el caută intensitatea fasciculului de la valoarea de vizare la valoarea de sudare și procedează la sudarea pieselor. El poate fi utilizat de

asemenea în zonele care sînt în umbră căci nu are nevoie de iluminare directă sau indirectă. Caracteristica care este fără îndoială cea mai importantă, este utilizată pentru a da propria sa poziție în raport cu restul, ceea ce elimină orice greeală de aliniament față de sistemele de vizare optice clasice. Acest sistem dă de asemenea o topografie a zonelor vecine rostului. Configurații tipice de rosturi sînt date prin diagrame corespondente pe ecranul osciloscopului. Curba de pe osciloscop reproduce cu o bună aproximație configurația rostului ceea ce permite distingerea ușoară. Asociind reflectronul cu o memorie electronică se poate realiza un sistem de autopilotaj al fasciculului pe rostul de sudare (a vedea în continuare și a urmări rostul).

Cele mai moderne instalații de conducere (Scam Scanner - Scam Tracker) (Fig.6.4) reduc "Reflectronul" la un disc folosind avantajele puse la dispoziție de electronică și microelectronică în tehnica prelucrării semnalelor.

Sistemul, așa cum am mai amintit, preluînd principiul plăcii și fantei, (Fig.6.5.) va emite trenuri de baleiere înaintea fasciculului de electroni (Fig.6.4.), care recepționate vor detecta poziția fasciculului față de rostul de sudură. Durata unei baleieri este de circa $1 \mu S$ iar frecvența de recepție a baleierilor poate avea valori de circa 30 Hz.

Sistemul poate executa următorul ciclu: întâi o parcurgere de învățare a traiectoriei prin măsurarea semnalului produs de electronii retrodifuzați (învățare "la rece") și apoi se trece la sudare. În cazul sistemelor mai evoluate se trimite un tren de semnale de baleiere, înaintea F.E. de sudare, la o distanță stabilită și frecvență mare și pe baza semnalului cules se calculează corecția de traiectorie, ce se comandă apoi la sistemele de translație, eventual deflexie.

În cazul trecerii pe sisteme automate de sudare cu F.E., sistemul de comandă al instalației va trebui să asigure realizarea reglării automate a parametrilor de sudare, acționînd în subsistemele, sistemului condus, controlînd curentul de sudare, viteza de sudare, focalizarea, deflexia F.E., tensiunea înaltă, emisia etc.

Cum s-a prezentat în analiza energetică-informațională a procesului de sudare cu fascicul de electroni, practic va trebui

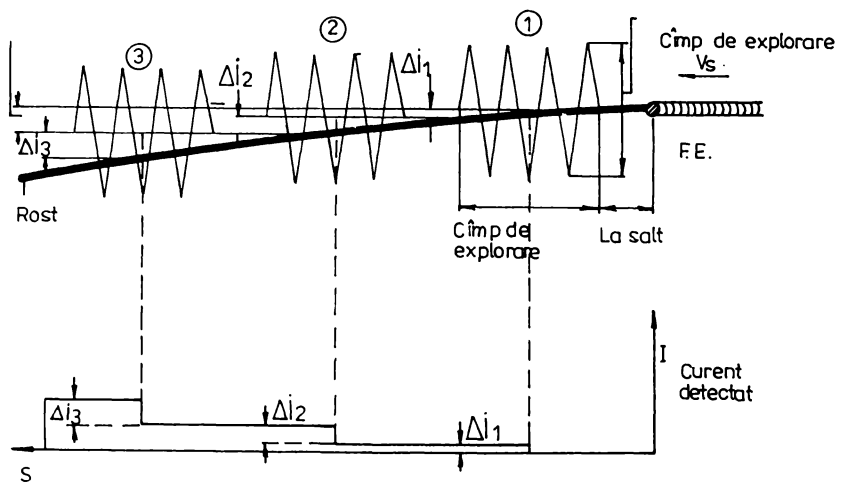
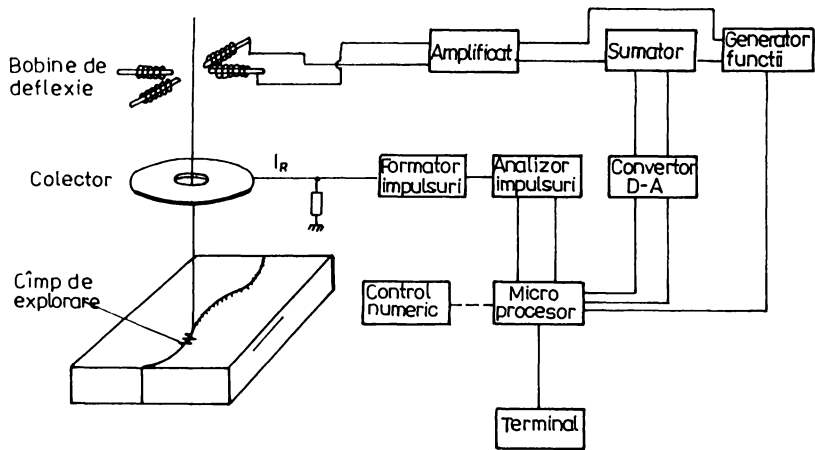
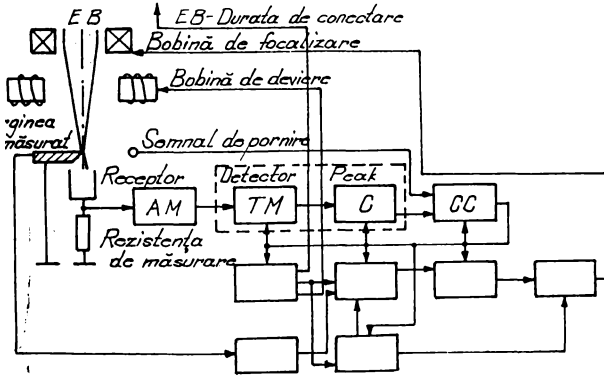
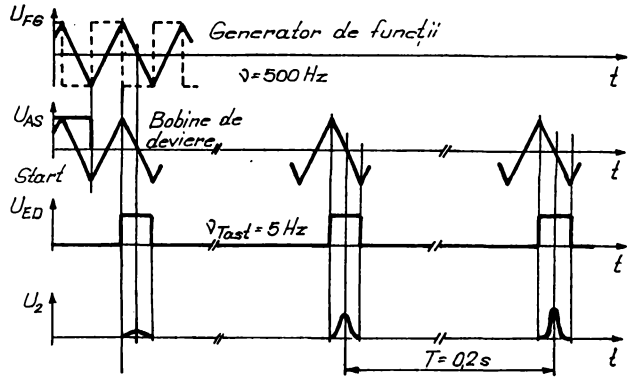


Fig. 6.4. Principiul urmăririi cu electroni retrodifuzati



AM - Amplificator de măsurare
 TM - Trept de memorie
 C - Comparator
 CC - Comutator de comandă

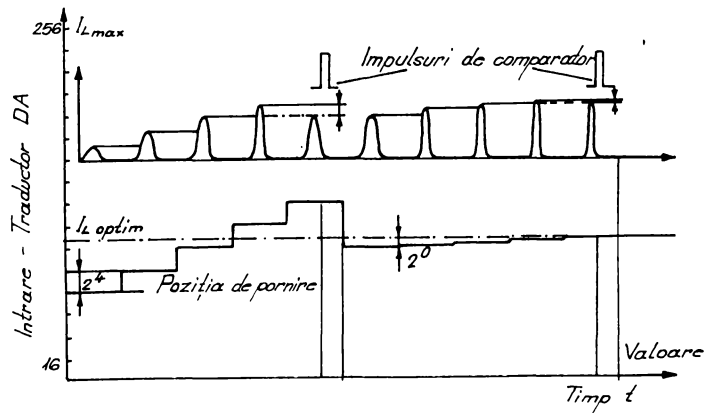


Fig 6.5 Prelucrarea semnalelor.

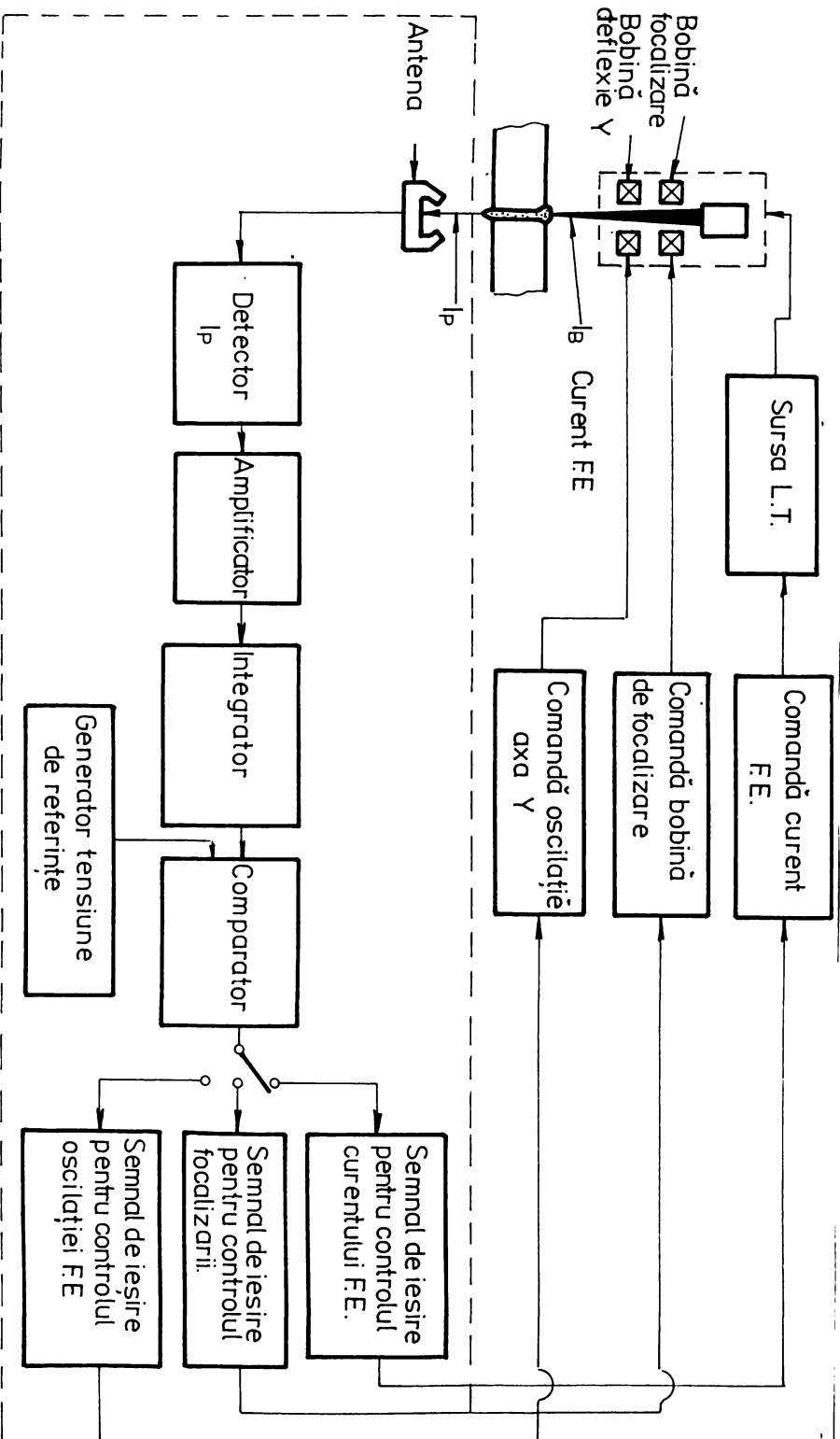


Fig. 6.6 Sistem activ de control al curentului de pătrundere

să controlăm modul în care, energia fascicului de electroni se transformă în căldură pentru topirea materialului și formarea cordonului de sudură. Pentru o tensiune prestabilită puterea va varia cu curentul fascicului. Controlul activ al curentului se va face cu ajutorul sistemului prezentat în fig.6.6., în care practic se măsoară curentul de pătrundere.

Folosind sistemul de achiziție de date practic se poate controla atât randamentul energetic (electronii retrodifuzati, electronii surși). În același timp informațiile prelucrate privind variațiile curentului de pătrundere, reflectă mișcările evasistatice ale băii de metal topit, iar variațiile curentului de retrodifuzie caracterizează vaporizarea metalului din cusătură.

Din cele prezentate se vede că folosirea sistemelor multiprocesor, cu un calculator master poate conduce și controla în timp real procesul tehnologic de sudare cu fascicul de electroni.

6.3. Sistem de conducere, comandă și control pentru instalația de sudare cu F.E. I.S.I.M. Timișoara

6.3.1. Schema de principiu și configurația modulară pe subsisteme

În cazul instalației de sudare cu fascicul de electroni, din dotarea Laboratorului pentru procedee neconvenționale de sudură, al Institutului de Sudură și Încercări de Materiale Timișoara se propune, un sistem de conducere comandă și control, a cărui schemă de principiu este prezentată în fig.6.7. Concepția sistemului este modulară, astfel încât să se realizeze o conducere multiprocesor a sudării cu F.E.

Sistemul conține din punct de vedere hardware un set de module compatibile funcționând prin asigurarea comunicației pe aceeași magistrală de semnale oferind posibilitatea alcătuirii structurii dorite.

Complexitatea proceselor de conducere, comandă și control, a unei instalații de sudare cu F.E. moderne, impune divizarea întregii activități, în mai multe procese distribuite spre a fi executate de mai multe persoane. Conducerea sistemului proces tehnologic, va fi divizată în trei subsisteme: tunul electronic, masa

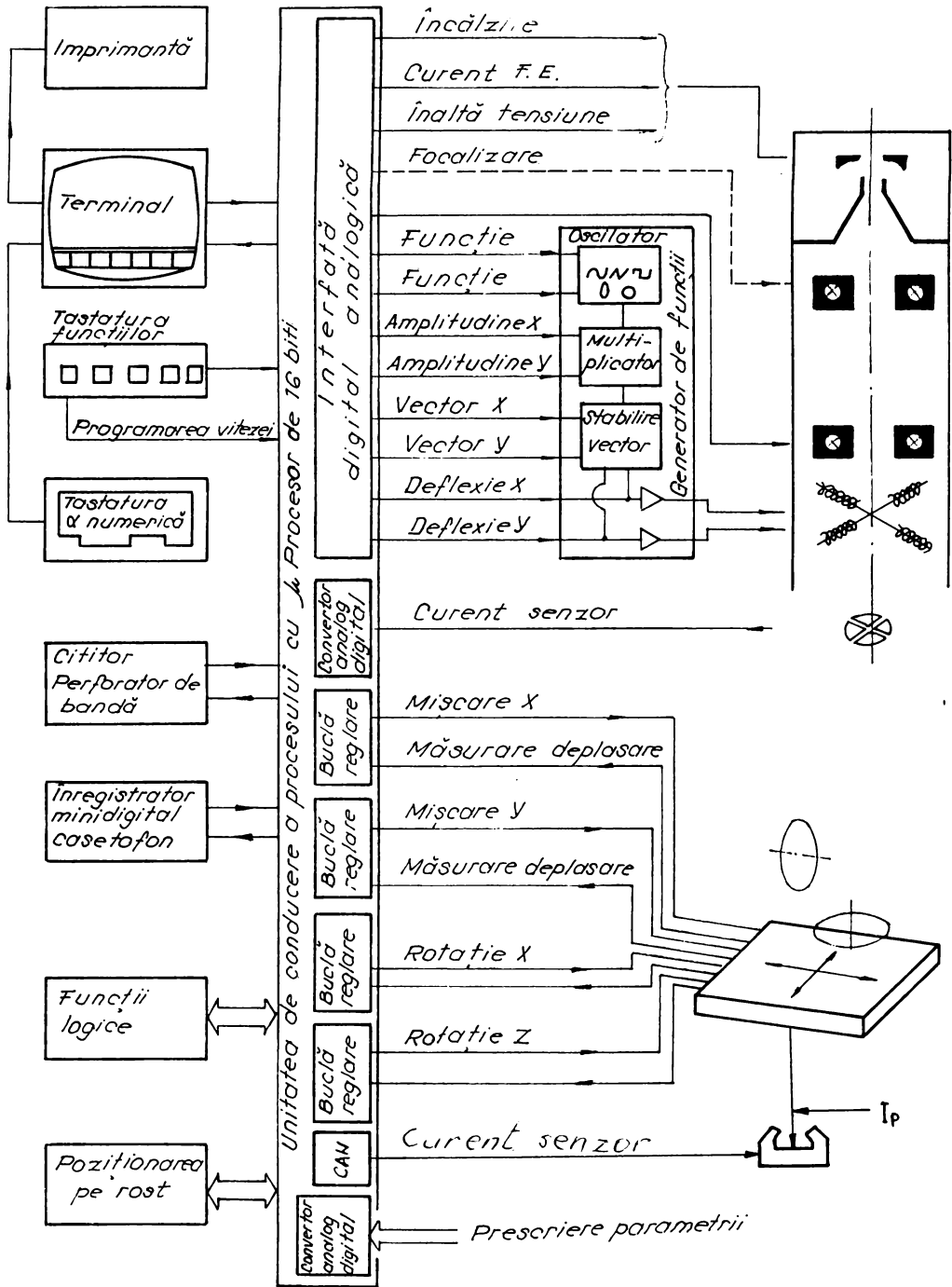


Fig 6.7 Schema de conducere cu microprocesor

în coordonate a sistemului de vidare și dispozitive anexe.

Pentru rezolvarea problemelor ridicate de funcționarea tunului se impune utilizarea a două procesoare. Primul procesor controlează și comandă curentul fasciculului, încălzirea catodului, tensiunea înaltă, preprocesând și informațiile de reacție date de curentul rezidual și curentul de disc. Procesorul va conține în structura sa o unitate centrală, o unitate de memorie operativă, un sistem pentru achiziția datelor, un modul de ieșiri analogice, precum și modulele de interfață cu magistrala sistemului multimicroprocesor.

Al doilea procesor va rezolva problemele legate de comanda și controlul sistemului de deflexie utilizat atât în faza de învârtare, cât și faza de sudare propriuzisă permițând și corecții de procese, când se constată abateri de la traiectorie, sau de la regimul de sudare prestabilit. Procesorul va conține o unitate centrală, un generator de funcții, un modul de ieșiri analogice, precum și un modul de conectare la magistrala multimicroprocesor.

Mișcarea mesei pe cele două coordonate va fi rezolvată cu ajutorul a două procesoare (unul pe x și altul pe y). În afară de unitatea centrală procesoarele mai conțin câte un modul de intrări ieșiri analogice și câte un modul de conectare la magistrala sistemului multiprocesor.

Al cincilea procesor controlează și comandă sistemul de focalizare al tunului cu F.E. Procesorul va comanda atât focalizarea propriu-zisă (strângerea fasciculului), cât și deplasarea pe axa Z . Având în vedere concluziile trase la cap.2, focalizarea este la fel de importantă ca și puterea F.E., comanda și controlul acesteia fiind practic esențială în conducerea procesului tehnologic luat ca sistem.

Al șaselea procesor supervizează activitatea desfășurată de celelalte unități de calcul, asigurând totodată interfața cu operatorul. Acesta va trebui să aibă în structura sa o unitate centrală puternică bazată pe un microprocesor de 16 biți, cu memorie operativă de ce puțin 512 octeți, o memorie externă de capacitate ridicată (discuri flexibile, disc Winchester), un modul de interfațare grafică de rezoluție ridicată, tastatură operator, precum și modulele necesare interfațării și controlării magistralei multimicroprocesor. În general acest procesor este master

celelalte procesoare putînd prelua rolul de master în cazul în care se impune transmiterea unor informații din procesele care le conduc.

6.3.2. Modulele funcționale utilizate în structura sistemului multimicroprocesor

Complexitatea diferită a problematicii rezolvate de sistemul multimicroprocesor, recomandă utilizarea unor module din familiile MADS și MULTIPROM. Orientarea spre aceste module, a fost impusă de gama de produse ale industriei electronice românești și de tehnica de calcul.

6.3.2.1. Familia de module MADS utilizată în sistemul multimicroprocesor

Pentru aplicația multiprocesor de pe instalația de sudare cu F.E. I S I M s-au ales următoarele module:

M80 UC - unitatea centrală constituită în jurul microprocesorului Z80, fiind puternic echipată cu toate categoriile de circuite periferice ale acestui μP . Este proiectată pentru a fi utilizată fie independent, fie în cadrul unui sistem extins sau chiar multimaster în conjuncția cu familia MULTIPROM.

Disponibilități

- 4 + 16 KRAM dinamic cu adresa selectabilă de pe placă prin intermediul unor "jumperi"
- 4 porturi de 8 biți complet bufferate cu linii de hardshake utilizînd două circuite Z80 PIC (MM80 PIC = Microelectronica)
- 4 canale de counter/timer bufferate, utilizînd circuite Z80 CTC (MM80 CTC)
- 2 interfețe seriale de tip RS 232 (110 + 9600 BAUDS utilizînd circuitul Z80 SIO) din care o ieșire serială va fi ocupată de DAF
- 1 KC memorie RAM static cu adresa selectabilă pe placă tot prin intermediul "jumperelor"
- 10 KC memorie EPROM de tipul 2716 cu adresa de asemeni selectabilă de pe placă
- magistrala externă, standard, complet bufferată multimaster
- selectarea pe placă a adreselor porturilor
- dimensiunea EUROCARD extins

- conectorii de 64 pini standard DIN41612 tip FURCCARD
- frecvența ceas 2,5 MHz
- magistrală nivel TTL, curent sarcină 50 mA.

M80 ED2D - modulul cuplor de floppy - disc, ce permite cuplarea la sistemul MADS 80 a 1 + 4 unități de disc flexibil. Prin modul său de realizare, se permite utilizarea sa în orice sistem bazat pe P Z80 sau 8080. Pe placa M80 ED se află implementat și un port bidirecțional paralel cu transfer de date prin procedeul DMA.

M80 Ex - modulul extensie de memorie ce se poate conecta la orice sistem dotat cu o magistrală care respectă standardul STD Z80 - Ex. Acesta a fost proiectat ca parte integrantă a sistemului MADS și folosește în consecință toate facilitățile oferite de magistrala de sistem, ale cărei semnale sînt extensia standardului STD-Z80.

Memoria este organizată în pagini cu dimensiunea 4KB, fiecare pagină putînd fi plasată oriunde într-un spațiu de adresare de 64KB. Accesul masterului (care poate fi CPU sau DMA) de magistrală la memorie, se realizează la nivelul de pagină de memorie de 4 K.O. Gestionarea memoriei rezidențiale pe modulul M80 Ex, ce depășește spațiul de adresare al procesoarelor de 8 biți se face prin intermediul unui circuit de gestiune al memoriei care îndeplinește următoarele funcții:

- a) relocarea dinamică a paginilor de memorie de dimensiunea 4KB
- b) realizarea independenței adreselor logice generate de masterul de magistrală (CPU sau DMA) față de spațiul fizic de adresare al memoriei
- c) generează atributele de pagină conform programării efectuate de CPU.

M80 AD/DL - modulul de achiziții de date are următoarele disponibilități:

- conversie A/P cu rezoluție de 8 biți
- 8 canale de conversie D.
- selectarea adreselor pe placă
- liniaritatea conversiei $\pm 1/2$ LSD.

6.3.2.2. Familia de module MULTIPROM

Sistemul tipizat MULTIPROM conține din punct de vedere hardware un set de module compatibile funcțional prin asigurarea comuni-

cației pe aceeași magistrală de semnale, oferind posibilitatea alcătuirii structurii dorite.

Setul de hardware cuprinde următoarele două clase principale:

- module universale
- module specifice.

Modulele universale sînt modulele de uz general procesoare de 8/16 biți, cu dispozitive periferice și interfețe proces, surse de alimentare. Ele constituie nucleul structurilor diverselor aplicații ale sistemului.

Modulele specifice completează acest nucleu și definitivează în acest mod configurația necesară aplicațiilor.

Toate modulele respectă protocolul de comunicație al magistralei MULTIBROM, putînd fi cuplate la magistrala sistem și/sau rezidența. Fiecare modul poate fi înlocuit cu altul mai performant fără a fi necesare modificări în cadrul structurii.

Nomenclatorul de module nu este limitat și cuprinde următoarele clase principale:

- module calculator monoplacă cu procesoare de 8/16 biți;
- module memorie volatilă și nevolatilă;
- module intrări/ieșiri numerice și analogice;
- module de interfață specifice de proces;
- surse de alimentare.

MODULUL MPAX - 01

Modulul MPAX - 01 este destinat echipamentelor care realizează funcția de conturare. Două sau mai multe axe sînt comandate de un procesor care îndeplinește funcția de interpolator. Schimbul de informații se realizează prin memorii de tip RAM DUAL - PORT.

Modulul lucrează cuplat cu magistrala rezidentă ca modul de tip salvare. Modulul este de tip periferic inteligent fiind dotat cu un microprocesor de 8 biți - Z80.

Modulul prămește din exterior semnalele de la traductoare de măsură analogice și generează la ieșirea semnale pentru comanda variatoarelor de turație. Legătura se efectuează prin 2 conectori aflați pe panoul frontal al echipamentului.

Caracteristici tehnici:

- microprocesor: UB 880 D (Z80)
- frecvența ceas: 2,5 MHz
- RAM - dual - port: 2 KO

- EPROM : 4 Ko
- tensiunea de comandă analogică pentru avans variator + - 10/0,01 A
- semnale directe și negați, normale și defazate la 90° pentru comanda cursorului traductorului, frecvența: 5KHz
- semnal de măsură TTL emis de amplificatorul traductorului, frecvența: 5KHz
- cuplare la magistrala locală
- cuplare la traductoare de măsură: - conector BACK 9 contacte
- alimentare: +5 Vcc (+ - 5%) /2A, + 12Vcc(+ - 5%)/0,1A -12 Vcc (+ - 5%)/0,1A.

Modulul MFPF-10

Modulul MFPF-10 realizează controlul logic al afisajului cinescopic grafic și al tastaturii mecanice. Este dotat cu un microprocesor Z80 A, 128 Ko memorie RAM dinamic, 32 Ko memorie EPROM, două interfețe paralele de tipul I 8255, două numărătoare programabile de tipul I 8259, o interfața serială I 8251, un controler de întreruperi I 8259 și o interfața pentru două unități de discuri flexibile simplă densitate. Afisarea este de tip raster cu o rezoluție de 512 x 288 pixeli, cu posibilități de panoramare și defilare în patru pagini alăturate.

Modulul generează semnalul video complex și semnalele de sincronizare orizontală și verticală necesare modulului de baleiaj.

Controlul tastaturii mecanice se realizează prin program.

Modulul are posibilități suplimentare de trasare vectori, arce de cerc, plotare de puncte, trasare de grafice și scalare grafică.

Modulul MPIB-c5

Modulul MPIB-c5 este o interfață pentru transmiterea comenzilor numerice și/sau logice spre procesul controlat.

Modulul asigură amplificarea în curent a semnalelor de ieșire și separarea galvanică a echipamentului față de proces.

Caracteristici tehnice.

- ieșiri de tip "repetor pe emitor"
- număr ieșiri: 16
- curent maxim de ieșire: 200 mA
- tensiune de alimentare dinspre proces: 13 ... 30 V
- lungimea cuvântului de date: 8 biți
- adresarea selectabilă
- poate fi tratat ca locație de memorie sau port I/O (6 locații de memorie sau 6 porturi I/O cu adresele succesive)

- alimentare 5V/0,6A.

Modulul MP1B-06

Modulul MP1B-06 este o interfață pentru preluarea semnalelor numerice și/sau logice dinspre procesul controlat. Modulul asigură adaptarea semnalelor de intrare, precum și separarea galvanică a echipamentului de proces.

Caracteristici tehnice.

- număr intrări: 48
- nivel de tensiune pe intrare: 18...30 V.
- lungimea cuvântului de date: 3 biți
- adresarea: selectabilă
- poate fi tratat ca locație de memorie sau port I/O (6 locații de memorie sau 6 porturi I/O cu adrese succesive)
- alimentare: +24V/200 mA.

Modulul MP1B.15

Modulul MP1B-15 este un ansamblu de convertoare numeric analogice pe 10 biți în gama 2 - 10 mA. Este realizat în tehnologie CMOS. Caracteristici tehnice.

- gama de conversie: 2 - 10 mA
- rezoluție: 10 biți
- memorare mărimi: permanent
- ieșiri independente: 4
- tehnologie: CMOS
- precizie: 0,1% \pm 1 bit
- alimentare: +5V/0,001A
+12V/0,2A
+12V/0,1A

6.3.2.3. Implementarea proceselor pe module dedicate

În concluzie se recomandă utilizarea modulelor din familia MADS pentru realizarea procesoarelor P₁, P₂, P₅ și a unor module specializate din familia MULTIPROM pentru procesoarele P₃, P₄ și P₆.

Elementele sistemului de operare timp real sînt stocate în memorii EPROM conținute în unitatea centrală a fiecărui procesor. Sistemul multiprocesor fiind dedicat unei instalații prototip interne institut de cercetări, a fost conceput ca un sistem de dezvoltare.

Astfel programele de aplicație sînt pregătite pe procesorul P₆ într-un limbaj de nivel înalt (C, PASCAL, FORTRAN, etc) și sînt transmise prin magistrala sistemului în memoriile operative a celorlalte procesoare. Se realizează astfel o flexibilitate ridicată a sistemului multimicroprocesor în vederea implementării unei game extinse de experimente și aplicații.

Pentru extinderea industrială a structurii propuse, programele de aplicație vor fi copiate în memorii permanente EPROM. Aceiași structură HARD poate fi utilizată în domenii diferite printr-o schimbare facilă a programelor de aplicație.

6.4. Metodă de conducere pe o traiectorie oarecare implementabilă pe instalații de sudare cu F.E.

6.4.1. Problematika conducerii pe traiectoria de sudare pentru instalații cu F.E.

În cazul instalațiilor de sudare cu F.E. din punct de vedere al conducerii pe traiectorie se preiau unele realizări din domeniul roboticii și al conducerii mașinilor-unelte. Schema hard de principiu a conducerii pe traiectoria de sudură la instalații cu F.E. e este dată în fig.6.8.

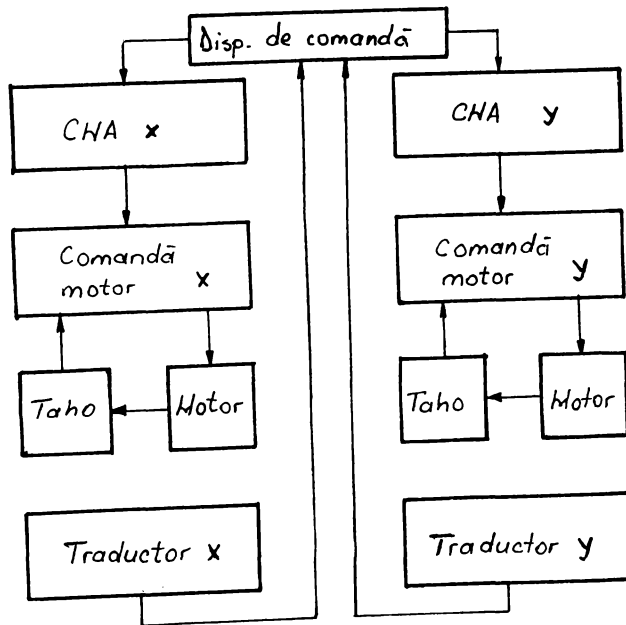


Fig.6.8 Schema de principiu hard, pentru conducerea pe traiectorie la instalațiile cu F.E.

Conducerea mesei pentru deplasarea pe traiectorie dorită se face sub controlul unității centrale de tip MULTIPROM.

Curba tehnologică care se dorește a fi obținută se interpo- lează prin arce de cerc și segmente de dreaptă pentru a căror reali- zare se scriu subrutine soft adecvate ce vor fi apelate și adaptate prin intermediul unor constante geometrice.

Prin intermediul convertoarelor digital analogice de axă (sub- rutinele de traiectorie prin intermediul unor instrucțiuni de tip OUT vor comanda potrivit aceste convertoare) vor fi comandate variatoa- rele de axă respectiv elementele de execuție (prin intermediul va- riatoarelor) adică motoarele.

Supravegherea corectitudinii geometrice de poziționare se face prin intermediul măsurii care asigură în acest fel și închiderea buclei de reglare.

Apariția unor experimente negative pe parcursul traiectoriei prin diferențe mari între valorile prescrise și cele reale pe una din axe pot fi rezolvate prin lucrul în întreruperi sau printr-o programare de tip POOLING.

Deplasarea și căutarea pe fanta de sudare poate fi făcută și prin deflexia potrivită a fasciculului de electroni comandând bo- binele de deflexie prin intermediul U.C. de pe echipamentul de tip MADS.

Printr-o comandă EST-VEST, NORD-SUD potrivită și corectă cu programe de interpolare rezidente pe disc se poate realiza orice traiectorie dorită.

Abaterea de la traiectoria de sudare este sesizată de un co- lector care sesizează necoincidența fasciculului pe fantă și care printr-o reacție negativă generează o întrerupere către CPU comandînd o deplasare inversă și încadrarea într-un ΔS impus prin program.

Interfața digital analogică și amplificatoarele de pe placa generator de funcții realizează adaptarea semnalului dintre calcu- lator și bobinele de deflexie.

Deoarece poziționarea pe fantă se face prin intermediul unor mișcări oscilatorii în jurul fantei, amplitudinea acestor oscilații este comandată prin intermediul multiplicatorului de către CPU MADS care generează semnalele amplitudine x , amplitudine y .

Tot prin program poate fi comandat și curentul de fascicul (intensitatea acestuia) deoarece semnalul "curent F.E." este de tip ieșire pentru interfața digital analogică.

Lucrul sub un sistem de operare puternic CP/M încărcabil pe disc permite scrierea de programe adecvate pentru aplicația dată și care pot fi salvate în acest fel pe suportul magnetic.

Corelarea dintre mișcările mesei și deflexia fascicului de electroni poate fi privită ca și lucrul pe trei axe de coordonate problemele rezolvându-se în acest sens prin soft.

Se descrie în continuare o metodă de deplasare pe traiectorie oarecare (cunoscută însă matematic printr-un algoritm de interpolare deplasarea se face pe orice profil de viteză, pe oricâte axe. Cerințele hard se reduc la un ceas de timp real și la un sistem accesibil și programabil de întreruperi; din punct de vedere al părții electrice sînt necesare variatoare ce pot comanda viteza continuu în ambele sensuri, iar pe fiecare axă este necesar un traductor incremental de poziție.

6.4.2. Principiul metodei

Se presupune cunoscută funcția $f^i(t)$ ce descrie traiectoria pe axa i ; pornind de la $f^i(t)$ printr-un procedeu de interpolare se obține coordonata curentă $f^i(t)$ pe axa i . Se presupune că se lucrează cu un singur procesor, deci axele vor fi baleiate pe rînd.

Se consideră 3 momente de timp succesive: t_{n-1} , t_n și t_{n+1} , distanțate în timp la un interval Δt între ele.

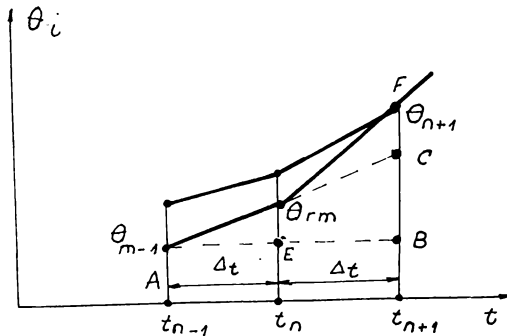


Fig.6.9 Principiul interpolării traiectoriei

Momentele respective sînt chiar momentele în care se comandă viteza. Se presupune că la momentul t_{n-1} poziția curentă a fost θ_{rn-1} , iar interpolatorul a generat (calculat) pentru momentul viitor poziția θ_{n+1} (fig.6.9). Se caută o relație de forma:

$$v_{n+1} = v_n + \Delta v_n \quad (6.1)$$

cu

$$v_n = f(\theta_{rn-1}, \theta_{rn}, \theta_{rn+1}, \Delta t)$$

Dar din DFC

$$v_n = \frac{\overline{FC}}{\Delta t} = \frac{\theta_{n+1} - \theta_{rn-1} - \overline{CB}}{\Delta t} \quad (6.2)$$

În plus:

$$\Delta ADE \sim \Delta ACD \quad \text{adică } \overline{CB} = 2\overline{DE} \quad (6.3)$$

și

$$\overline{DE} = \theta_{rn} - \theta_{rn-1}$$

Cu acesta (2) devine:

$$\Delta v_n = \frac{\theta_{n+1} - 2\theta_{rn-1} - \theta_{rn}}{\Delta t} \quad (6.4)$$

Astfel din (6.1) se obține noua viteză ce urmează a fi comandată în momentul t_n . Apar aici câteva probleme. Astfel am presupus că formula (6.1) se calculează practic instantaneu, deci că practic noua comandă a vitezei se dă în punctul D, în momentul t_n . În condițiile practice se estimează la 300 μ s la sistemele echipate cu microprocesorul 8080 la un tact de 2 MHz, respectiv 40 μ s în cazul microprocesorului 8086 la un tact de 4,77 MHz, durata de calcul a relației (6.1). La o viteză maximă de 1 m/s, aceasta înseamnă 0,8 mm în cazul lui 8080 și 0,04 mm în celălalt caz. Acest lucru nu este deranjant, cu alte cuvinte coordonata θ_{n+1} nu trebuie precorectată datorită acestei erori.

6.4.3. Paralelă cu regulatorul PID

Regulatorul PID (proporțional-integrator-derivator) are performanțe superioare și de aceea se folosește des pentru acționări electrice. El poate fi implementat atât hard cît și soft. Implementarea soft consideră ca mărime de referință viteza și aduce o serie de simplificări algoritmilor și de aceea este des utilizată (1).

În fig.6.10 am redat o posibilitate de implementare a unui asemenea regulator; $\theta_r(t)$ este mărimea de referință - viteza de referință; $\theta(t)$ este viteza curentă, obținută printr-un traductor de viteză T_v , iar K_i și K_d sînt constantele de integrare respectiv de derivare; $p(t)$ este mărimea de comandă care în final va comanda motorul M prin intermediul amplificatorului E .

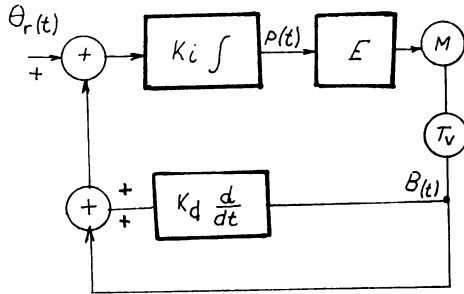


Fig.6.10 Paralelă cu regulatorul PID

$$p(t) = K_i \int_0^t [\dot{\theta}_r(t) - K_d \ddot{\theta}(t) - \dot{\theta}(t)] dt =$$

$$= K_i \int_0^t [\dot{\theta}_r(t) - \dot{\theta}(t)] dt - K_i K_d \int_0^t \ddot{\theta}(t) dt \quad (6.5)$$

$$p(t) = K_i [\theta_r(t) - \theta(t)] - K_i K_d \dot{\theta}(t) \quad (6.6)$$

Relația (6.6) se discretizează:

$$p(n) = K_i (\theta_{rn+1} - \theta_{rn}) - K_i K_d \dot{\theta}_n \quad (6.7)$$

unde θ_{rn+1} este poziția interpolată (de referință), θ_{rn} este poziția reală în momentul $t_n = n t$, iar viteza $\dot{\theta}_n$ este considerată constantă în intervalul $(n-1) t, n t$; adică:

$$\dot{\theta}_n = \frac{\theta_{rn} - \theta_{rn-1}}{t} \quad (6.8)$$

Relația (7) devine:

$$p_n = K_i [\theta_{rn+1} - \theta_{rn}] - \frac{K_i K_d}{\Delta t} [\theta_{rn} - \theta_{rn-1}] \quad (6.9)$$

iar pentru $K_i = -\frac{1}{t}$ și $K_d = \Delta t$; p_n devine identic cu ΔV_n din

relația (6.4).

Deci regulatorul prezentat anterior este de tipul PID; implementarea sa față de implementarea regulatorului descris de relația (6.9) prezintă avantajul că nu necesită traductoare de viteză ci numai traductoare de poziție, prin aceasta răspunzând cerinței impuse de dotarea hard preconizată.

6.4.4. Implementarea practică a metodei

Se notează cu l numărul de axe pe care se mișcă piesa. Se diferențiază două intervale de timp:

- Δt este intervalul de timp la care se succed întreruperile. El este un multiplu întreg de 10 ms , multiplicarea făcându-se chiar cu precizia impusă de utilizator.

- $t_i = l \cdot \Delta t$ este intervalul de timp la care se succed comenzile și interpolarile pe o axă oarecare.

În relația (6.4) intervine Δt_i ; Δt este incrementul timpului curent: $T = T + \Delta t$.

În fig. 6.11 este prezentat un caz concret de mișcare pe 2 axe. Presupunând că ne găsim în momentul t_3 , pentru axa x , $x_1 = \theta_{rn-1}$, $x_3 = \theta_{rn}$, $x_5 = \theta_{n+1}$ (pentru simplificarea expresiei am presupus că deplasarea se face chiar pe traiectoria ideală, calculată). La momentul t_3 se dă noua comandă. Momentul următor pentru o comandă pe axa x este t_5 . La momentul $t_4 = t_3 + \Delta t$ se comandă axa y . Pentru această axă $y_2 = \theta_{rn-1}$, $y_4 = \theta_{rn}$, $y_6 = \theta_{n+1}$.

Este necesar ca algoritmul de interpolare împreună cu comenzile pentru viteză să se încadreze în limita de 10 ms . În caz contrar, noua întrerupere care survine la 10 ms de la anterioara întrerupere și este dată de ceasul de timp real conectat la sistemul de întreruperi va compromite iremediabil întreg procesul descris anterior, iar consecințele sînt imprevizibile pentru mișcare.

Așa cum a fost descris algoritmul presupune intervale de timp egale între comenzile pe axe. Lucrînd cu valori inegale pentru ceasul de timp real pe diferitele axe, se pot obține două avantaje majore:

- o utilizare mai bună a timpului calculator dacă pe o axă sau pe mai multe timpul decalcul este net mai mare decît pe celelalte (cazul mișcării în coordonate polare)

- folosind o lege de variație continuă pentru Δt se poate obține orice fel de profil de viteză, fără a mai fi necesare schimbări în subprogramul de interpolare.

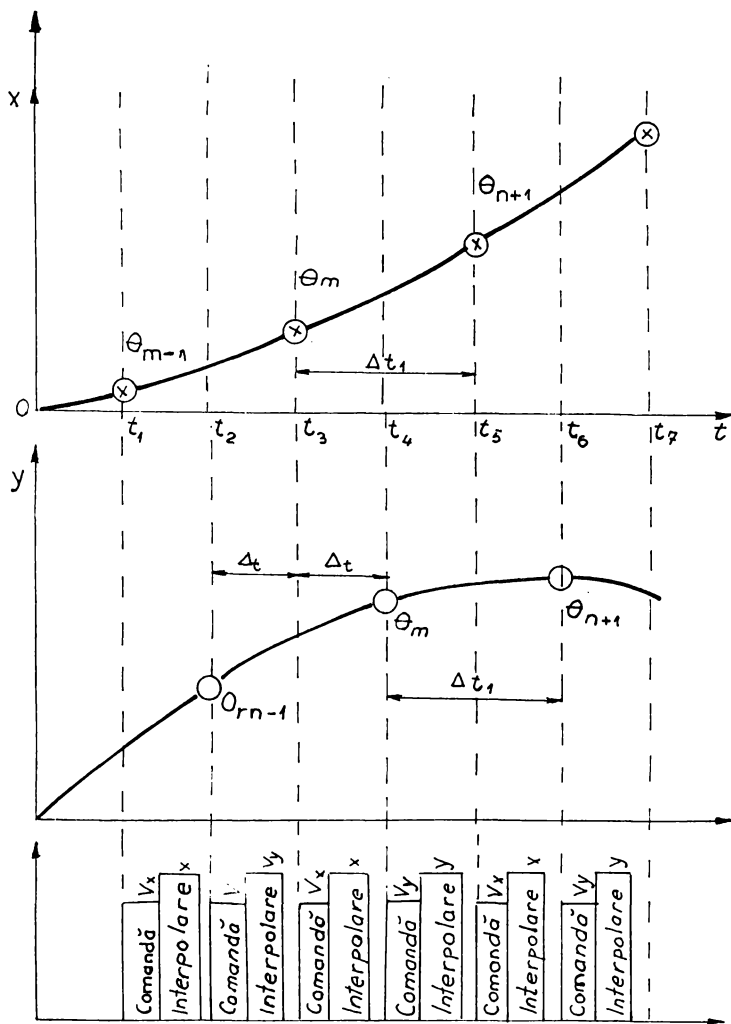


Fig.6.11 Conducerea pe două axe x, y

- Cum se vede pe figura 6.8 pentru creșterea preciziei s-a luat pe fiecare axă conducerea cu buclă separată.
- Calculatorul de traiectorie va prelua în comandă și control și axa Z care se conduce prin sistemul de focalizare, prin comanda lentilei magnetice.

- Softwareul dedicat va putea rezolva conducerea pe toate axele dorite (vezi figura 6.7).

În consecință conducerea unei instalații de putere mare se va face cu sistemul microprocesor care poate exploatat la maximum atât posibilitățile hardware cât și software de care dispune în mod plener.

CAPITOLUL 7

SOFTWARE TIMP-REAL PENTRU CONDUCEREA PROCESULUI TEHNOLOGIC DE SUDARE ÎN INSTALAȚII CU FASCICUL DE ELECTRONI

7.1. Caracteristicile sistemului timp-real

7.1.1. Noțiunea timp real . Ambianță timp real

În cadrul unor aplicații specializate cum ar fi conducerea proceselor tehnologice , instalațiile automatizate , robotizate , sistemele de achiziții de date , sistemele de calcul sînt nemijlocit conectate prin intermediul terminalelor , traductorilor și al senzorilor la aplicația condusă. De la aceasta , la momente bine precizate de timp , sau în mod aleator , sistemul de calcul primește informații care trebuie prelucrate , iar rezultatele prelucrării trebuie furnizate de îndată ce devin disponibile sau la cerere. cel mai important parametru al unor astfel de sisteme este timpul de răspuns definit de regulă ca fiind intervalul de timp scurs între selectarea unui serviciu și momentul onorării acestuia. Timpul de răspuns trebuie corelat cu cerințele externe ale aplicației , solicitările trebuind să fie rezolvate în intervale utile de timp, motiv pentru care aceste sisteme se numesc timp-real (TR).

Un sistem timp-real coordonează în general un anumit număr de activități simultane , afectate de constrîngerii de timp, asigurînd continuitatea , siguranța și performanța funcționării lor. Din punctul de vedere al unui astfel de sistem , ambianța TR poate fi caracterizată astfel:

1. Într-o ambianță TR , un sistem de calcul realizează funcții avînd un caracter dedicat unei singure aplicații , sau unui grup restrîns de aplicații , opus caracterului general al unor sisteme universale.

2. Ambianța TR presupune o largă varietate de echipamente periferice ca și instrumente de măsură , motoare , valve , sisteme cu reacție , filtre. Aceste dispozitive prelucrează informații într-un spectru larg de forme analogice și numerice și o gamă largă de viteze.

3. In cadrul ambianței TR , evenimentele se derulează cu mare viteză și cu un grad înalt de paralelism.

4. In ambianța TR sistemul trebuie să răspundă unsi largi varietăți de semnale nedeterminate. Acestea sosesc în mod asincron (nedeterminat) și trebuiesc rezolvate în anumite limite de timp, altele informațiile pe care le dețin se pot pierde sau își pot pierde semnificația.

5. O ambianță TR, datorită caracterului său dedicat presupune un sistem de calcul cu o configurație fixă de procesare și echipamente periferice conținând un număr fix de procese (activități, taskuri).

6. Activitatea într-o ambianță TR este continuă , procesele reluă du-și în mod ciclic activitatea în funcție de solicitări, atâtea timp cât sistemul de calcul funcționează.

7. Multe din activitățile desfășurate într-o ambianță TR sînt foarte specializate și spațial distribuite.

In unele cazuri utilizarea unui singur procesor pentru comand întregului sistem este improprie motiv pentru care se utilizează sisteme multiprocesor.

7.1.2. Conceptul de proces. Stările proceselor.

O aplicație timp-real este de regulă devizată într-o serie de activități relativ independente , fiecare dintre ele avînd funcții precis determinate, vizînd o sarcină sau un grup de sarcini din cadrul aplicației. O astfel de activitate se implementează printr-o entitate logică , de sine stătătoare (modul , procedura ect) de natură secvențială care se numește proces (task, activitate).

Orice aplicație timp-real este în ultima instanță o sumă de astfel de procese. O parte din acestea sînt procese independente, respectiv , activitatea lor nu depinde în mod evident de a altor procese. Intre alte procese există relații de precedentă în sensul că ele nu pot fi lansate în execuție decît în momentul în care procesele care le preced s-au terminat. Pornind de la aceste observații procesele specifice unei aplicații pot fi reprezentate grafic prin una sau mai multe structuri de graf închis , numit și graf de precedentă (fig.7.1).

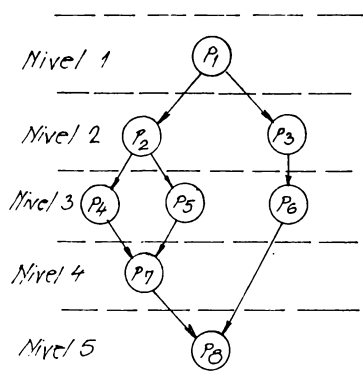


Fig. 7.1 Structura de graf a unei aplicații

În cadrul unei astfel de structuri se disting nivele. Toate procesele de pe un același nivel sînt procese independente, caracteristica lor esențială fiind concurența la disputarea resurselor sistemului. Aceste procese se numesc și procese concurente.

Între procesele aparținînd la două niveluri adiacente există relații de precedență, marcate prin săgeți. Procesele nivelului $n+1$ nu pot fi lansate în execuție

pînă cînd procesele nivelului n nu s-au terminat.

Ierarhia acestor procese care activează în mod concurrent, realizează sistemul de comandă al aplicației. Punerea în funcțiune a sistemului se face prin comenzi simple (apeluri de proceduri, semnale de întreruperi etc.) care declanșează în mod specific algoritmi pre-scriși ai proceselor respective. În acest mod, în timpul execuției, procesele interacționează între ele (sincronizîndu-se, trimițîndu-și mesaje sau întîrziindu-se), schimbă informații cu mediul exterior în funcție de caracteristicile concrete ale aplicației și în același timp partajează resursele sistemului de calcul pe care rulează (timp procesor, memorie, dispozitive periferice etc.). În plus, multe din activitățile unui astfel de sistem se desfășoară în intervale impuse de timp, în regim timp-real.

Pornind de la aceste considerente, se apreciază că pentru comanda unor astfel de aplicații sînt necesare sisteme de operare care gestionează un sistem de calcul specializat, conținînd un număr fix de procese concurente.

În consecință procesul se definește ca fiind activitatea ce rezultă din execuția unui modul de program împreună cu datele sale pe un procesor secvențial. Astfel un proces nu este echivalent cu un program și nici cu un procesor ci cu perechea procesor-program în execuție.

Referitor la orice proces aflat în evidența unui sistem de operare se definesc următoarele trei stări fundamentale care se exclud

reciproc, procesul găsindu-se în orice moment al existenței sale într-una dintre ele:

(1) Starea activ. Un proces se află în această stare dacă programul său este efectiv executat de către un procesor în momentul considerat. Numărul proceselor active într-un sistem, la un moment dat, este egal cu numărul procesoarelor sistemului.

(2) Starea așteptare (blocați). Dacă un proces are nevoie de o resursă care este deja alocată, sau care încă nu a fost produsă, sau de informații care încă nu sînt disponibile, atunci el trece în starea de așteptare a unui eveniment extern. Acest eveniment poate fi eliberarea (producerea) unei resurse sau recepționarea unei informații din partea unui alt proces.

(3) Starea pregătit. În această stare se găsesc procesele care ar putea fi active dar nu pot fi lansate din lipsă de procesor.

Tranzițiile care pot apare între stările unui proces apar reprezentate în fig. 7.2.

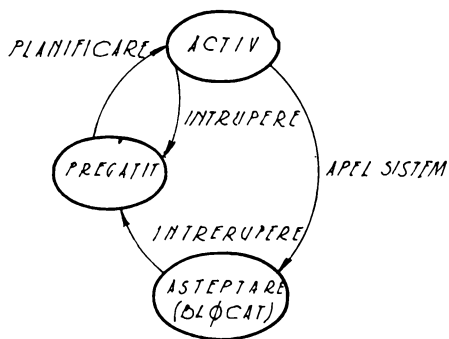


Fig.7.2 Tranziții ale stărilor proceselor

7.1.3. Operații asincrone. Sincronizare

Evenimentele care sînt tratate de sistemele TR apar la momente de timp impredictibile și într-o ordine oarecare. Sistemele care răspund unor astfel de evenimente, se spune că au o execuție asincronă. Un astfel de eveniment (extern sistemului) poate cauza spre exemplu lansarea în execuție a unei serii de funcții (proces) interne ale aplicației. Cu toate că un astfel de sistem operează de regulă cu evenimente asincrone, el implementează și funcții sincrone care utilizează ceasul timp-real intern.

Maniera cea mai uzuală de rezolvare a evenimentelor sincrone este cea de a le asocia întreruperilor tratate de către sistemul T.R.

7.1.4. Concurența

După cum s-a precizat, procesele independente care se pot executa simultan (în cadrul aplicației) se numesc procese concurente. Concurența proceselor este caracterizată prin gradul de paralelism al execuției acestora.

Dacă evoluția proceselor concurente are loc pe un același procesor prin execuția întrețesută a proceselor individuale, avem de a face cu un paralelism logic, maniera de lucru cunoscută sub numele de multiprogramare. Dacă fiecare proces are însă propriul său procesor avem de a face cu paralelism fizic, real. În acest caz, dacă procesoarele partajează o memorie comună, maniera de lucru se numește multiprelucrare, iar dacă procesoarele sînt conectate prin o rețea de comunicații, se numește prelucrare distribuită. După cum s-a mai precizat execuția proceselor concurente poate fi supusă la diferite restricții (sincronizări) respectiv procesele concurente pot realiza schimburi de informații (cooperări), cu alte cuvinte în timpul execuției procesele pot interacționa.

În sistemele monoprocessor, la un moment dat unitatea centrală poate executa o singură operație. Cu toate acestea nu este necesar ca această operație (prelucrare) să fie terminată; ea poate fi întreruptă temporar pentru a crea posibilitatea unei operații mai rapide sau mai importante să fie executată. Viteza mare de lucru a procesorului creează aparența execuției simultane a operațiilor. Acest lucru este valabil și pentru procese.

În timpul execuției unui proces, un alt proces care are nevoie urgentă de resursă UC, poate întrerupe temporar execuția procesului curent. Cînd noul proces și-a terminat execuția (sau trebuie să aștepte după un eveniment), sistemul de operare, în mod automat fie reia execuția procesului întrerupt anterior, fie lansează în execuție alte procese care au nevoie mai urgentă de resursa procesor.

Conform celor descrise anterior, viteza mare de lucru a procesorului creează aparența execuției "pseudosimultane" a proceselor concurente în cadrul unei aplicații.

7.1.5. Prioritate

În momentul în care mai multe procese concurente solicită resursa UC, respectiv apar în lista de procese pregătite pentru execuție, sistemul de operare T.R. determină procesul cărui i se va aloca prima dată UC-ul pe baza priorității. Prioritatea este atribuită proceselor de către proiectant în momentul generării lor.

În general procesele care rezolvă problemele de urgență, procesele care se execută rapid sau necesită răspuns rapid, trebuie să aibă prioritate mai mare decât celelalte.

De asemenea procesele care tratează întreruperi pentru dispozitive periferice trebuie să aibă prioritate mai mare decât celelalte. În general la orice moment de timp, procesul care utilizează procesorul este procesul cu cea mai înaltă prioritate care este pregătit pentru execuție. Procesul care se execută își va continua execuția pînă cînd el își întrerupe în mod voluntar execuția, este întrerupt temporar de un proces pregătit pentru execuție cu prioritate mai mare sau se blochează în așteptarea realizării unui eveniment extern. În fiecare din aceste cazuri pentru procesul întrerupt se salvează contextul în perspectiva reluării sale ulterioare.

7.1.6. Interacțiuni interprocese

Pentru a interacționa, procesele trebuie să comunice și să se sincronizeze. Orice formă de interacțiune între două sau mai multe procese presupune două aspecte:

- a) comunicare - prin intermediul căreia procesele pot face schimb de informații și își pot influența în mod reciproc execuția;
- b) sincronizare care permite proceselor ce se execută cu viteze diferite să-și alinieze de o asemenea manieră execuțiile încît comunicarea între ele să poată avea loc în condiții de deplină siguranță și corectitudine.

Intreacțiunile întreprinse vor fi grupate în două categorii mari: cooperare și coordonare. Ambele tipuri de întreacțiune presupun atît comunicarea cît și sincronizarea. Coordonarea este acea formă de întreacțiune între procese în care comunicarea se realizează prin intermediul variabilelor partajate. Cooperarea este acea formă de întreacțiune în care comunicarea se realizează prin intermediul mesajelor.

În cadrul coordonării nu e necesară existența unui mecanism special de comunicare, acesta realizându-se în mod direct prin intermediul variabilelor partajate. În schimb coordonarea presupune mecanisme adecvate de sincronizare, acestea avînd un rol preponderent în cadrul acestui tip de interacțiune, motiv pentru care coordonarea este deseori numită, sincronizare. Cooperarea în schimb presupune un mecanism special de comunicare.

7.1.7. Eficiența sistemelor TR în conducerea procesului tehnologic de sudare cu fascicul de electroni.

Complexitatea procesului tehnologic de sudare cu fascicul de electroni, proces care face obiectul lucrării de față impune utilizarea celor mai moderne metode pentru conducerea acestui proces.

În acest context, utilizarea unui sistem de calcul timp real se impune cu necesitate. Această concluzie rezultă din faptul că procesul tehnologic de sudare cu fascicul de electroni este o ambientă timp real, în care procesele se desfășoară rapid, presupunînd un grad avansat de concurență și timpi de reacție încadrați în limite stricte de timp.

În consecință soluționarea elegantă a conducerii unui astfel de proces impune utilizarea unui sistem TR. Dintre avantajele utilizării unui astfel de sistem pentru conducerea procesului de sudare cu fascicul de electroni ar fi:

- simplitatea funcțională
- orientarea spre evenimentele tratate
- satisfacerea unor restricții referitoare la timpii de răspuns
- volum relativ restrîns
- un grad mare de flexibilitate.

Din punct de vedere al software-ului implicat trebuie analizate două aspecte și anume:

a) Software-ul de bază TR, care are un caracter fundamental, cu un grad mare de generalitate, fiind specific unor categorii largi de aplicații TR.

b) Software-ul de aplicație TR, care are un caracter particular și este specific domeniului aplicației se va realiza în continuare aprofundarea celor două aspecte.

7.2. Software de bază timp real

7.2.1. Sisteme de operare pentru aplicație TR

Software-ul de bază timp real este suportul fundamental de programe care implementează funcțiile specifice domeniului timp real, cunoscut sub denumirea de sistem de operare TR (S.O.T.R.). Pentru a putea preciza în amănunt aceste funcții trebuie studiat raportul dintre un sistem de operare universal și un sistem de operare timp real.

7.2.1.1. Conceptul de sistem de operare

Sistemul de operare este componenta software a sistemului de calcul care guvernează și controlează resursele de echipament ca de exemplu centrala (procesor), memorie principală, memorii secundare, dispozitive periferice și informații. Modulele sistemului de operare rezolvă conflictele de cereri de resurse, optimizează performanțele și simplifică utilizarea efectivă a sistemului. Un sistem de calcul este de fapt o interfață complexă între utilizator (program utilizator) și hardware-ul calculatorului.

Din cele prezentate, rezultă că un sistem de operare are sarcini deosebite în ceea ce privește gestiunea și optimizarea utilizării resurselor sistemului. În acest sens el trebuie să realizeze următoarele funcții:

- a) Să păstreze evidența resurselor.
- b) Să implementeze politicile alocării resurselor (cine primește resursa, ce primește, pentru cât timp și în ce cantitate).
- c) Să aloce efectiv resursele
- d) Să elibereze resursele la terminarea utilizării lor. Resursele luate în considerare sînt:
 - unitatea centrală (procesorul), care este cea mai scumpă și care trebuie utilizată cât mai eficient;
 - memoria, formată din memoria principală rapidă (de regulă redusă ca dimensiuni) și memoria masivă secundară mult mai lentă;
 - dispozitivele periferice, cuprinzînd echipamentele cu care unitatea centrală are schimburi de informații. Caracteristica esențială a acestei resurse este viteza mai redusă a transferurilor în raport cu viteza unității centrale;
 - informații, formate din fișiere, structuri de date, programe sistem, programe utilizator, procese (activități transkuri) etc.

În general, solicitările de resurse sînt păstrate în giruri de așteptare specifice, de unde sînt rezolvate în conformitate cu o anumită politică de alocare adoptată. În implementarea acestor politici se utilizează atât caracteristicile hardware ale sistemului de calcul cît și particularitățile specifice ale resurselor tratate. Politicile au drept scop principal rezolvarea conflictelor de solicitare, simultan cu optimizarea utilizării resurselor. Beneficiarii direcți ai acestor optimizări sînt programele de aplicații, care în acest mod își reduc timpul de trecere prin sistem. Implementarea politicilor este transparentă din punctul de vedere al utilizatorului, ea fiind însă direct resimțită în îmbunătățirea performanțelor sistemului.

7.2.1.2. Sisteme de operare timp-real

Influența puternică pe care ambianța T.R. o exercită asupra arhitecturii Hardware a sistemelor de calcul T.R. se resimte și în arhitectura software respectiv în sistemul de operare specific unui astfel de sistem. Factorii care materializează această influență se pot împărți în două categorii:

- A. Factorii rezultați din utilizarea unor arhitecturi hardware specifice de sisteme de calcul. Natura influenței acestor factori depinde exclusiv de sistemul hardware utilizat.

- B. Factorii rezultați din specificul ambianței T.R.. Acești factori introduc o serie de caracteristici care particularizează specificul software al unui astfel de sistem. În continuare se amintesc cîteva din aceste caracteristici.

1. O primă caracteristică a arhitecturii software a unui sistem timp-real se referă la orientarea spre eveniment (event-driven) a acesteia. Conform ei, programele sînt selectate pentru execuție ca rezultat al recepționării unor mesaje (semnale) provenind din ambianța T.R., mesaje care marchează realizarea unor evenimente. Această caracteristică este opusă orientării spre lucrare (process-drive), specifică sistemelor obișnuite, de calcul, în care evenimentele care au loc în sistem sînt subordonate conținutului și structurii programului pe care îl execută.

2. Un sistem T.R. este de fapt un coordonator care solicită și/sau acceptă mesajele provenind din ambianță le analizează și le lansează în execuție pentru prelucrarea lor. Aceste programe

numite procese, la rândul lor, pot face referiri la date comune, pot coopera sau pot coordona.

3. Din rațiuni de timp de răspuns, marea majoritate a programelor se găsește în memoria centrală a sistemului într-o formă executabilă. Din acest motiv la un astfel de sistem funcția de gestiune a memoriei este practic inexistentă sau dacă există trebuie să fie simplă și rapidă.

4. În sistemele T.R. ambianța este aceea care exercită controlul asupra sistemului de calcul și nu invers. De aceea sistemul de operare T.R. trebuie să implementeze funcții specifice care să permită acest lucru. Astfel procesele trebuie să aibă posibilitatea să elibereze procesorul în mod voluntar sau la sfârșitul unui interval precizat de timp, să li se asigure sau să își asigure intervale contigue de timp procesor necesare realizării comenzilor, să apeleze în mod facil rutinele sistemului, să manipuleze în mod intim dispozitivele periferice etc.

5. Astfel de sisteme trebuie să acorde o atenție deosebită tratării erorilor și evenimentelor excepționale, reconfigurării sistemului redirecțării operațiilor periferice.

6. Caracterul dedicat al aplicațiilor T.R. imprimă sistemelor o strânsă interconectare între soft și hard, între aplicație și sistem. În consecință, astfel de sisteme nu au caracterul de generalitate caracteristic sistemelor de operare universale.

7. Pornind de la definiția sistemelor de operare universale precizată în paragraful anterior, se poate observa că în cadrul sistemelor de operare T.R. cele două funcții esențiale își modifică în mod substanțial raportul. Astfel funcția de asistare a programatorului este practic inexistentă în exploatarea concretă a unei aplicații în timp-real, ca atare sistemul se va ocupa exclusiv de gestiunea optimă a resurselor. Din acest motiv astfel de sisteme se numesc și executive.

Funcția de așteptare a programatorului are însă un caracter preponderent în etape de proiectare, realizare, implementare, testare și punere la punct a unei aplicații timp-real și cuprinde o serie de facilități care în faza de exploatare nu mai sînt necesare. Din acest motiv această funcție este preluată de către așa numitul "mediu de programare" sau "sistem de dezvoltare". "Executivul" și "sistemul de dezvoltare" sînt două entități care nu este necesar să coexiste decât în etapa de testare a programelor. Rezultă deci că acest sistem de operare T.R. are două componente:

- "executivul" care este implementat pe sistemul de calcul TR, conduce aplicația și are un caracter permanent,

- "sistemul de dezvoltare" utilizat pentru crearea și testarea aplicației TR. Ca atare, el poate fi implementat, pe un alt sistem de calcul dotat în acest sens, nu are un caracter permanent și conlucrează cu executivul în cursul perioadei de testare.

7.2.1.3. Funcțiile unui executiv timp-real

Un executiv timp-real coordonează în mod continuu activitatea unui sistem de calcul cu o configurație fixă de procesoare și dispozitive periferice, conținând un număr fix de procese (activități) concurente. În acest sens el trebuie să îndeplinească în general următoarele funcții:

- 1- implementarea unui mecanism de comutare, necesar partajării procesorului între diferite activități concurente,
- 2- gestionarea timpului unității centrale respectiv a divizării acestuia între diferite activități,
- 3- implementarea politicii de planificare în execuție a activităților,
- 4- implementarea unui mecanism de coordonare (sincronizare),
- 5- trecerea activităților dintr-o stare în alta și menținerea evidenței stării pentru fiecare activitate în parte,
- 6- tratarea flexibilă a IT interne (timp nucleu),
- 7- inițializarea sistemului,
- 8- gestionarea memoriei,
- 9- implementarea unui mecanism de cooperare și comunicare inter procese,
- 10- păstrarea evidenței timpului real,
- 11- tratarea evenimentelor dependente de timp,
- 12- implementarea unui mecanism de alocare a resurselor,
- 13- implementarea unor funcții sistem suplimentare (auxiliare),
- 14- tratarea unor întreruperi externe (de tip executiv sau utilizator),
- 15- gestionarea dispozitivelor periferice și tratarea operațiilor I/O,
- 16- localizarea și rezolvarea unor tipuri de erori și avarii,
- 17- reconfigurarea sistemului,
- 18- redirectarea unor operații periferice.

7.2.1.4. Funcțiile unui sistem de dezvoltare timp-real

Un sistem de dezvoltare timp-real are un caracter interactiv și conține funcțiile necesare punerii la punct a unei aplicații concrete TR. În acest scop trebuie să implementeze următoarele categorii de funcții:

a) Funcția de dezvoltare a proceselor (activităților) aplicației care cuprinde:

- 1- funcția de editare a unor texte sursa,
- 2- funcția de asamblare a unor texte sursă,
- 3- funcția de depanare și testare în regim monitor interactiv a programelor în cod obiect,
- 4- facilități pentru asigurarea portabilității software-ului dezvoltat.

b) Funcții de dezvoltare a aplicației propriu-zise:

- 5- crearea și distrugerea proceselor,
- 6- inițializarea și invalidarea unor procese,
- 7- listarea stării proceselor,
- 8- inițializarea și punerea în execuție a aplicației,
- 9- întreruperea și reluarea execuției aplicației.

c) Funcții de testare și măsurare:

- 10- facilități de contabilizare a numărului de treceri prin diferite puncte ale aplicației,
- 11- facilități de determinare a timpului sistem,
- 12- facilități de măsurare a unor intervale de timp,
- 13- facilități de întârziere a unor procese.

În mod evident un mediu de programare TR este strâns legat de executivul pentru care dezvoltă aplicații.

7.2.2. Executivul timp-real XTRM80

Pornind de la arhitectura hardware preconizată, și de la funcțiile pe care trebuie să le îndeplinească în contextul ambianței timp real a procesului de sudare cu fascicul de electroni, s-a ales drept componentă software pentru comanda procesului executivul timp-real XTRM80.

7.2.2.1. Funcțiile executivului XTRM80

În primul rând executivul realizează gestionarea timpului unității centrale. Întrucât execuția concurrentă a proceselor are loc

pe același procesor, executivul asigură paralelismul logic al rulării proceselor prin execuția lor întrețesută, unitatea centrală fiind ocupată pe rând de către procese câte o cantitate elementară de timp, pe baza unei discipline de planificare prestabilite, de tip "time-sharing".

În timpul execuției, un proces se poate găsi în una din următoarele patru stări:

- activ - procesul se execută curent în UC; doar un singur proces se poate găsi în această stare
- ready - pregătit pentru execuție; procesul dispune de toate resursele necesare execuției, cu excepția UC
- blocat - fiind un proces are nevoie de o resursă care este deja alocată sau care n-a fost încă produsă, sau așteaptă producerea unui eveniment
- suspendat - nu participă la alocarea resurselor.

Executivul gestionează activitatea proceselor pe baza informațiilor conținute de blocul de comandă al procesului, informații care se referă la adresa stivei proprii, la prioritate, la adresa zonei de mesaje și la codul procesului. În al doilea rând, executivul timp-real implementează funcția de coordonare (sincronizare) a proceselor. Sincronizarea realizată prin intermediul semaforului generalizat extins permite proceselor care se execută cu viteze diferite, să-și alinieze execuția astfel încât comunicarea dintre ele să poată avea loc în condiții de deplină siguranță și corectitudine.

Un semafor este compus dintr-un cifru care îi memorează valoarea și o listă a proceselor blocate în semaforul respectiv. Prin intermediul semafoarelor și al primitivelor P și V puse la dispoziție de executiv, utilizatorul poate implementa exclusiunea mutuală a proceselor în accesul la variabilele partajate și sincronizarea în condițiile coordonării simetrice, asimetrice, alocării resurselor, tratării evenimentelor asincrone.

Mecanismul fundamental de sincronizare utilizat în coordonarea proceselor este dezvoltat în conceptul de semafor introdus de Dijkstra și definit astfel:

Un semafor este o variabilă partajată "s" având o valoare întregă pozitivă, asupra căreia se definesc două operații: P și V. P(s) întârzie procesul care o execută într-o listă de așteptare până când s = 0, iar apoi execută s:=s-1. V(s) execută s:=s+1 și eliberează un proces din lista de așteptare.

În cadrul executivului XTIME se consideră în general aceeași definiție pentru semafor, cu precizarea că variabila partajată poate să aibă orice valoare inclusiv valori negative. Acest tip de semafor a fost denumit semafor generalizat extins. În aceste condiții precizînd că "PROCES" execută operațiile P(s) și V(s) asupra semaforului "s" vom avea:

```
P(s):          s: = s - 1;      CURENTE DE INFORMAREA (PROCES)
                IF s <= 0      DECEA DE AȘTEPTARE (PROCES);

V(s):          s: = s + 1;
                IF s >= 0      CURENTE DE INFORMAREA (PROCES)
                                DE LA LISTA;
                                CONTINUA (PROCES)
```

Semaforul poate fi inițializat cu orice valoare întregă. Operațiile P și V sînt indivizibile. Cînd $s = 0$ se spune că semaforul lucrează în regim de blocare, iar valoarea s precizează numărul de procese aflate în lista de așteptare a semaforului (blocare în semafor). Acest număr este util în rezolvarea blocărilor infinite care ar putea fi generate de evenimentele excepționale (spre exemplu abortarea unui proces).

Din punctul de vedere al programatorului un semafor se definește ca o zonă de memorie formată din două locații de câte un octet. Prima locație memorează valoarea semaforului, cealaltă locație este utilizată pentru înlăturarea proceselor care așteaptă la acest semafor. Cele două locații trebuie inițializate de către programator prima cu valoarea inițială a semaforului, cea de a doua cu valoarea OFF(hexa). Sarcina realizării înlăturărilor revine exclusiv executantului.

Un semafor se identifică cu adresa primei sale locații.

Executivul XTIME implementează operatorii P și V fiecare avînd drept parametru adresa semaforului asupra căruia acționează.

Inițializînd un semafor "s" cu o anumită valoare și utilizînd în mod corespunzător operatorii P(s) și V(s), programatorul poate implementa simplu toate tipurile de coordonări.

În al treilea rînd executivul implementează funcția de cooperare. Cooperarea sau interacțiunea de nivel superior permite comunicarea între procese prin intermediul transmiterii mesajelor. Mesajul își are originea în conceptul de semafor, al cărui mecanism de sincronizare a fost completat cu un mecanism de transmitere a datelor.

Un mesaj este o structură complexă care prin operațiile specifice SEND (transmitere mesaj) și REC (recepție mesaj) permite cooperarea proceselor, realizând atât sincronizarea proceselor cât și transmiterea efectivă de informații. Astfel în cazul activității de cooperare procesele își transmit și recepționează mesaje în loc să citească variabilele partajate.

Din punct de vedere al utilizatorului, un mesaj este o succesiune de octeți de lungime precizată care cuprinde lungimea mesajului, numărul procesului destinație, tipul mesajului (normal sau prioritar) și conținutul propriu-zis al mesajului. Lungimea totală a unui mesaj nu poate depăși 256 de octeți. Un mesaj se identifică prin adresa primului octet.

Filozofia de cooperare implementată în cadrul executivului XTRM80 se bazează pe conceptul de "port". Fiecărui proces definit în cadrul sistemului i se asociază o zonă de mesaje ("port") de unde procesul poate consuma mesajele care îi sînt transmise (fig.7.3).

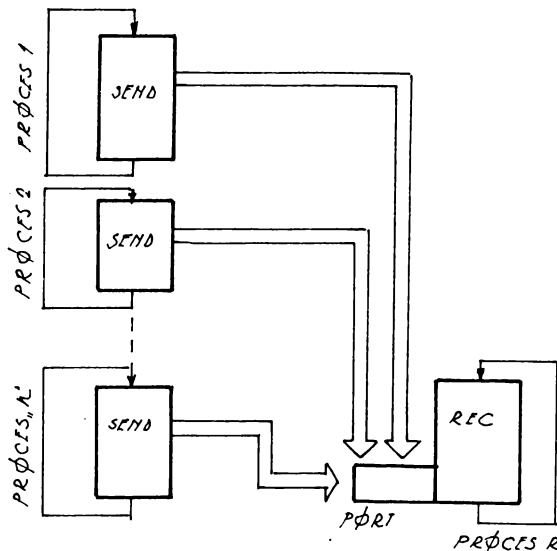


Fig.7.3 Transmiterea mesajelor prin intermediul porturilor

Identitatea portului se confundă cu a procesului destinație astfel încît în conținutul mesajului pe care îl expediază, procesul emițător trebuie să precizeze identitatea (numărul) procesului destinație.

În vederea transmiterii unui mesaj, unui proces specificat, procesul emițător trebuie să parcurgă următoarele două etape:

a) pregătește conținutul mesajului într-o zonă proprie a sa. În mesaj, specifică conform convenției, lungimea, numărul procesului destinație, tipul mesajului și textul propriu-zis al mesajului.

b) realizează un operator SEND avînd drept parametru adresa mesajului pe care dorește să-l transmită.

În continuare executivul XTRMCO preia mesajul și-l plasează în zona de mesaje a procesului destinație. Într-o astfel de zonă, mesajele se depun în ordinea sosirii lor (politica primului venit - primul servit) unul după altul.

Excepție de la această regulă fac mesajele prioritare, care se depun în capul listei mesajelor din portul procesului destinație. Se recomandă utilizarea acestui tip de mesaje numai în situații deosebite, pentru rezolvarea unor probleme urgente (alarme, situații anormale etc).

Se precizează faptul că zona de mesaje a unui proces este exploatată de către XTRMCO în regim de excluziune mutuală, operatorii SEND și REC fiind întreruptibili.

În vederea recepționării unui mesaj, un proces execută o operație REC în care precizarea drept parametru zona în care dorește să-i fie furnizat mesajul. Referitor la operatorul de recepționare a mesajelor se precizează următoarele:

Orice proces poate consuma mesaje numai din propria sa zonă de mesaje. Din această zonă, mesajele sînt preluate în ordinea în care au sosit (politica primului venit - primul servit). Dacă zona nu conține nici un mesaj, respectiv procesul receptor încearcă să consume un mesaj care încă nu i-a fost transmis, el este blocat, fiind trecut în starea "așteptare". Un proces aflat în această stare este trecut în starea "pregătit pentru execuție" în momentul sosirii primului mesaj care îi este destinat. În continuare el va fi planificat în execuție conform priorității sale.

În vederea gestionării timpului și tratării evenimentelor dependente de timp, XTRMCO implementează unul sau mai multe orologii

interne, permițând utilizatorului să le consulte.

Astfel funcția sistem MARK pune la dispoziție procesului care o apelează valoarea ceasului timp-real al sistemului în unități convenționale. Durata unei astfel de unități convenționale poate fi precizată de utilizator, sau în ultima instanță de către sistem.

Utilizând funcții MARK succesive utilizatorul poate determina durata de timp a unor secvențe, evidente sau poate aprecia valoarea unor timpi de răspuns.

Una din activitățile care apar în mod curent într-o ambianță timp-real se referă la lansarea la intervale precizate de timp a unor procese. Este vorba de procese de supraveghere periodică de achiziții de date, de furnizare a rezultatelor, de furnizare a protocoalelor, de autotest etc.

În vederea implementării acestei cerințe executivul pune la dispoziție funcția DELAY (număr unități convenționale) prin care, procesul care o apelează este trecut în stare de așteptare pe durată precizată ca și parametru al apelului. La epuizarea intervalului de timp precizat, procesul este trecut în starea "pregătit" urmând a fi lansat în execuție funcție de prioritatea sa.

În ceea ce privește întreruperile și evenimentele asincrone, executivul tratează doar evenimentele interne cu ajutorul unor secvențe specifice de program.

Sarcina tratării întreruperilor și evenimentelor asincrone externe revine utilizatorului. În acest scop este necesar ca fiecărui eveniment sau întrerupere externă să i se asocieze câte un semafor cu valoarea inițială zero. Procesul care tratează operația asincronă sau întreruperea se blochează în acest semafor deoarece prima operație pe care o execută în cadrul codului ciclic este un P asupra semaforului.

Tratarea apariției evenimentului asincron sau a întreruperii se traduce printr-o simplă operație V asupra semaforului specific, operație care deblochează procesul de tratare. La terminarea tratării procesul se blochează în semafor așteptând următoarea solicitare (fig.7.4).

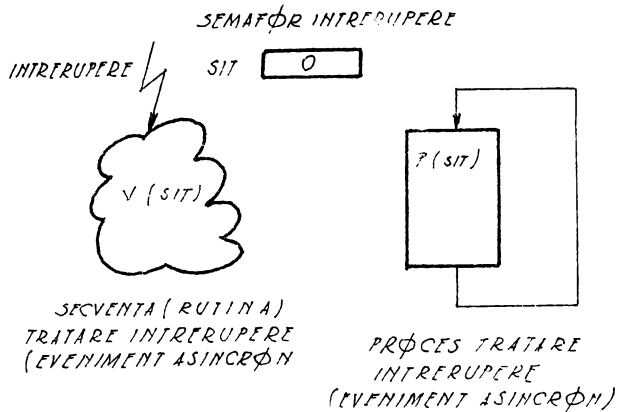


Fig.7.4 Tratamentele operațiilor asincrone și a întreruperilor

7.2.2.2. Implementarea funcțiilor executivului XENOCO

Executivul este realizat ca o colecție de rutine ce se apelează prin nume specifice, parametrii acestora transmițându-se prin registre generale. Sînt implementate funcțiile referitoare la:

- divizarea timpului UC (comutarea proceselor) realizată de rutinele DISP, SALV, RETUR - neaccesibile utilizatorului - și CMT, accesibilă utilizatorului, deci apelabilă din procese. DISP, dispecerul este apelat de executiv la apariția unei întreruperi de prioritate mai ridicată, după fiecare întrerupere de timp, deci la epuizarea unei cuante de elemente de timp sau dacă procesul activ se blochează într-un semafor. În aceste condiții dispecerul lansează în execuție cel mai prioritar proces aflat în starea ready. SALV salvează starea procesului activ în momentul în care unitatea centrală e cedată, iar RETUR reface starea procesului la reluarea execuției sale. Dacă un proces apelează CMT, acesta salvează starea procesului, îl trece în starea ready și dă comanda dispecerului pentru lansarea procesului următor.

- coordonarea proceselor se realizează prin semafoare, asupra lor executîndu-se operațiile P și V. P produce decrementarea valorii semaforului și dacă se obține o valoare negativă, blocarea în șirul de așteptare al semaforului a procesului ce a executat operația.

V incrementează valoarea semaforului și dacă se obține o valoare mai mică sau egală cu zero, deblochează primul proces ce așteaptă în coada semaforului.

- cooperarea între procese se realizează prin intermediul mesajelor, transmisia și recepția unui mesaj făcându-se prin apelul funcțiilor SEND, respectiv REC cărora li se transmite ca parametru adresa mesajului. A fost implementată de asemenea și funcția cu valoarea booleană TEST prin intermediul căreia poate fi testată existența sau absența mesajelor în zona proprie de mesaje.

- gestionarea timpului și tratarea evenimentelor dependente de timp este implementată prin rutinele MARK și DELAY. Apelul rutinei MARK permite citirea unui orologiu intern, la adresa furnizată ca parametru. Apelul rutinei DELAY produce întârzierea procesului un interval de timp specificat.

- tratarea întreruperii de timp. După epuizarea unei cuante elementare apare o întrerupere de timp, care se tratează în rutina TRITP. Aceasta incrementează orologiile interne, deblochează procesele a căror perioadă de întârziere specificată prin DELAY s-a epuizat și dă comanda dispecerului pentru intrarea în execuție a următorului proces.

5.3. Software de aplicație pentru conducerea procesului tehnologic de sudare cu fascicul de electroni

5.3.1. Arhitectura aplicației timp-real

Arhitectura de principiu a unei aplicații T.R. apare în fig.7.5. După cum se observă, este vorba despre o arhitectură ierarhică, structurată pe niveluri care practic se interpune între "ambianța TR" și "utilizator".

Intr-o astfel de arhitectură ierarhică, nivelurile de bază implementează funcțiile de bază (elementare), iar pe măsură ce nivelul crește, crește și complexitatea funcțiilor implementate. Principiul de bază al unei astfel de arhitecturi constă în faptul că funcțiile (obiectele) aflate pe niveluri superioare pot apela (utiliza) doar funcțiile de pe nivelurile inferioare locu cu alte cuvinte oricărui nivel are acces numai la niveluri aflate sub el și nu deasupra. În acest fel în cadrul arhitecturii, comenzile circulă numai de sus în jos prin mecanismul apelurilor

proceselor sau rutinelor. Se precizează însă că există și "informații" care circulă de jos în sus (semnale, răspunsuri, reacții) care au menirea de a activa procesele ierarhice, sau de a furniza informații referitoare la maniera de execuție a comenzilor. Aceste informații se pot opri la diferite niveluri de arhitectură.

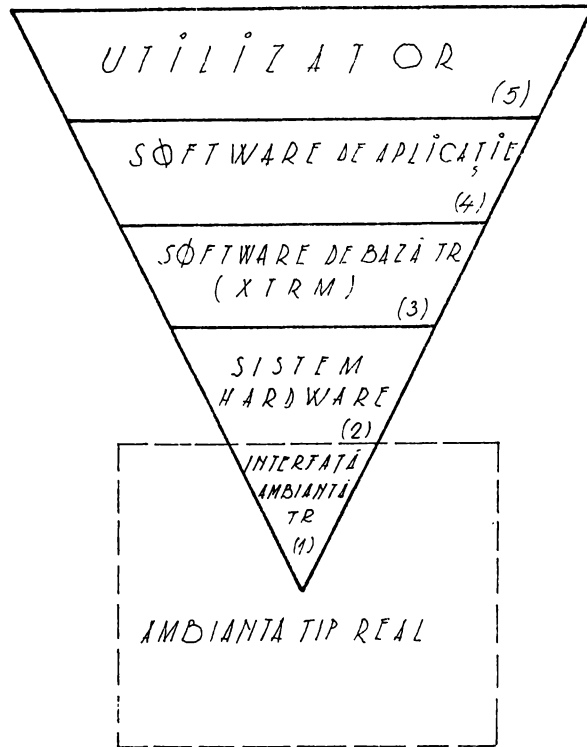


Fig.7.5 Arhitectura unei aplicații T.R.

După cum se observă în fig.7.5, la baza arhitecturii se găsesc nivelurile hardware: echipamentele care realizează interfața propriu-zisă cu ambianța T.R. și sistemul de calcul (nivelul 2).

Nivelul următor, conține software-ul de bază timp-real materializat de regulă într-un executiv timp-real. Acest executiv pune la dispoziția nivelurilor superioare, funcțiile necesare coordonării și optimizării activului proceselor concurente.

Se face precizarea că, primele trei niveluri de la arhitecturii au un grad înalt de generalitate, ele fiind necesare practic oricărui tip de aplicație.

Cel de al patrulea nivel conține software-ul de aplicație TR strict specific aplicației conduse. Acest nivel conține o colecție de procese concepute și implementate cu scopul de a materializa strategia de conducere preconizată de utilizator referitoare la produsul ce se desfășoară în ambianța timp-real.

În sfârșit pentru cel de al cincilea nivel se găsește utilizatorul, respectiv la acest nivel apar funcțiile interactive prin care utilizatorul poate interveni direct în procesul condus. În general, în practica curentă, primele trei niveluri ale unei astfel de arhitecturi există gata implementate de către firma de specialitate, utilizatorului revenindu-i sarcina de a alege produsul cel mai convenabil.

În ceea ce privește nivelurile 4 și 5, acestea au un caracter strict dedicat aplicației și ele trebuie dezvoltate de către utilizator în termenii nivelurilor inferioare.

7.3.2. Software de aplicație pentru conducerea procesului de sudare pe instalații cu F.E.

Pornind de la arhitectura hardware prezentată în capitolul 5, pentru conducerea procesului de sudare cu F.E. a instalației BBW - ITIM Cluj-Napoca se propune implementarea unei arhitecturi software TR de tip XTMSO.

Conform celor prezentate în paragraful anterior executivul rezidă pe primele trei niveluri ale arhitecturii reprezentând software-ul de bază, iar procesele care implementează conducerea propriuzisă a aplicației rezidă pe nivelurile 4 și 5 (conform figurii 7.6)

După cum se observă din figură nivelul 5 conține două procese, unul de inițializare a activității sistemului în regim de învățare și procesul de învățare propriuzis ale cărei funcții au fost descrise în capitolul 5.

Se face precizarea că procesele aparținând acestui nivel acționează în regim OFF-Line având menirea de a pregăti desfășurarea propriuzisă a procesului. Pe nivelul 4 apar procesele care realizează conducerea aplicației. S-au implementat următoarele procese:

a) un proces de INITIALIZARE 2 având rolul inițializării zonelor de date și amorsării proceselor aplicației.

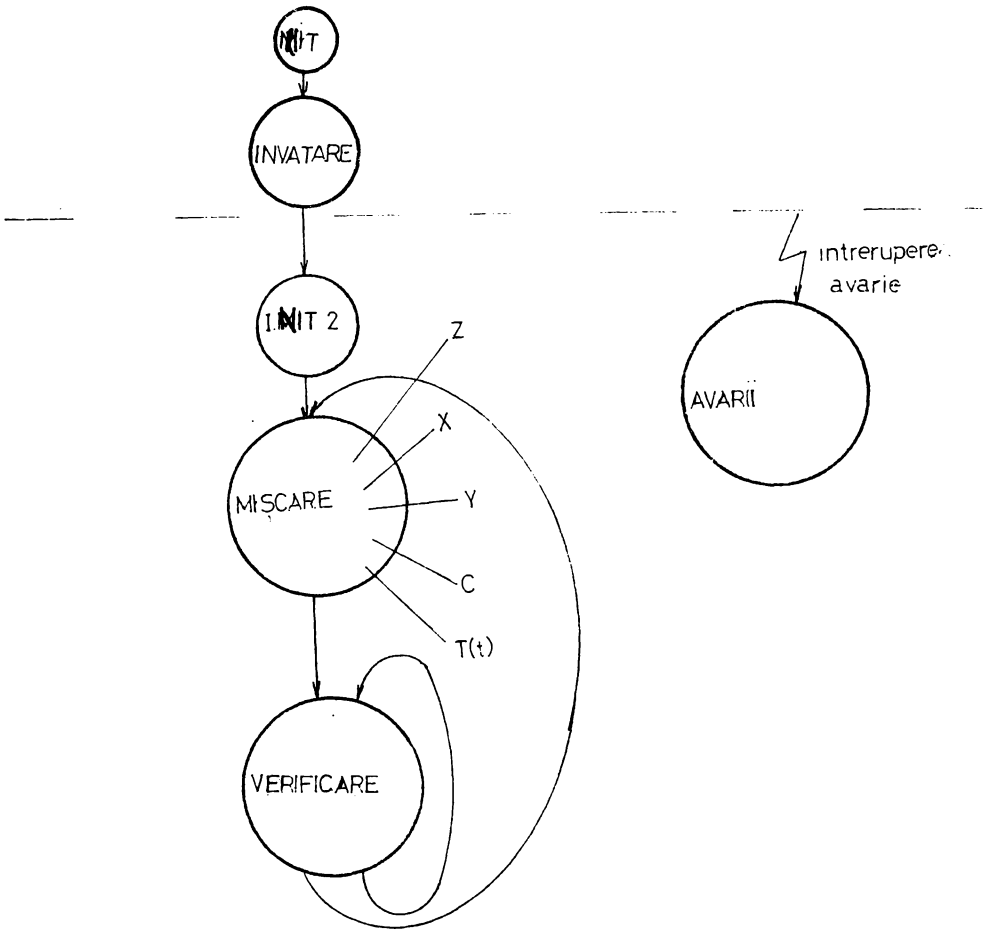


Fig.7.6. Structura de principiu a proceselor care realizează conducerea instalației de sudare BBW.35.4 IREM Cluj-Napoca

b) procesul MISCARE care preluând informațiile referitoare la parametrii deplasării și parametrii tehnologici de sudare transmite comenzile necesare elementelor de execuție. Acest proces are un caracter ciclic el reluându-și activitatea după parcurgerea fiecărei traiectorii elementare la inițiativa procesului VERIFICARE.

c) Procesul VERIFICĂRII are rolul de a sesiza un regim de aşteptare al unei terminări a mişcării pe traiectoria elementară curentă. Transferarea informaţiilor între cele două procese se realizează prin intermediul mesajelor la iniţiativa perechilor de funcţii SEND şi REC.

1) Procesul AVARII este un proces care tratează evenimentele operaţionale (întreruperi vid, scurt circuit, căderea tensiunii etc) fiecare dintre ele fiind legate la un nivel de întrerupere specific. Sincronizarea activităţii procesului cu evenimentele care-l amorsează se realizează prin intermediul unui semafor de sincronizare.

7.4. Software timp real pentru sisteme multimicroprocesor

În cazul instalaţiilor complexe, cum am văzut în capitolul 6, cerinţele şi performanţele impuse sistemelor de calcul, îndeosebi în ceea ce priveşte viteza de calcul au impus sistemul multimicroprocesor.

7.4.1. Arhitectura hardware

Studiul cerinţelor şi performanţelor impuse sistemelor timp real a condus la concluzia că cele mai potrivite structuri de sisteme multiprocesor pentru aplicaţii timp-real se situează în domeniul sistemelor multiprocesor asimetrice, eventual distribuite local, având procesoarele slab cuplate prin intermediul unei (unor) memorii comune. Procesoarele sînt conectate prin intermediul unei reţele de semnale de întrerupere şi prin intermediul unei (unor) memorii comune. În rest fiecare procesor reprezintă o unitate de prelucrare automată dispunînd de memorie şi dispozitive periferice.

7.4.2. Arhitectura software

Faţă de arhitecturile implementate pe sistemele de calcul monoprocesor, caracteristica esenţială a sistemelor multiprocesor, este că ele înlocuiesc parţial paralelismul logic al execuţiei proceselor, cu paralelismul fizic, local. Astfel, din punct de vedere conceptual arhitecturile software nu diferă fundamental de cele ale sistemelor monoprocesor; ele presupun însă completarea acestora cu un nucleu destinat a rezolva aspectele legate de comunicarea

interprocesoare.

În acest context pornind de la cele prezentate anterior la structura software a sistemelor TR mono-procesor se vor puncta elementele adiționale specifice necesare evoluției lor într-o ambianță multimicroprocesor. Suportul acestei prezentări îl reprezintă executivul timp real MULTIX.

7.4.2.1. Arhitectura Executivului TR MULTIX destinat unor sisteme m P

Arhitectura proiectată pentru sistemul TR MULTIX se încadrează în categoria sistemelor de operare distribuite prin replicare. Aceasta presupune multiplicarea executivului sistemului și plasarea sa în "replică" pe fiecare dintre P-le sistemului. Astfel fiecare P are propriul său sistem de operare local, care este o componentă autonomă a sistemului distribuit.

Această componentă are arhitectura unui sistem ierarhic timp-real și îndeplinește funcția de executiv pentru procesorul pe care lucrează. Această arhitectură trebuie însă completată cu nucleul distribuit al sistemului multiprocesor și cu componenta distribuită a schimbului de mesaje, componente care rezolvă problemele de interconectare a P-lor din punct de vedere software. Ele de fapt prelungesc funcțiile componentelor sistemelor automate, astfel încât să extindă domeniul lor de acțiune asupra sistemului multiprocesor. O astfel de arhitectură principală pentru un sistem cu n P apare în figura 7.7.

Nucleul distribuit al sistemului multiprocesor îndeplinește funcțiile coordonării unor procese aparținând unor procesoare diferite. El conține 2 subniveluri:

- a) Nucleul distribuit inferior care implementează mecanismul de acces la memoria comună.
- b) Nucleul distribuit superior care implementează componenta distribuită pentru sincronizare.

Componenta distribuită pentru schimbul mesajelor asigură realizarea schimbului de informații între procese aparținând unor procesoare diferite prin intermediul unor mesaje numite "externe".

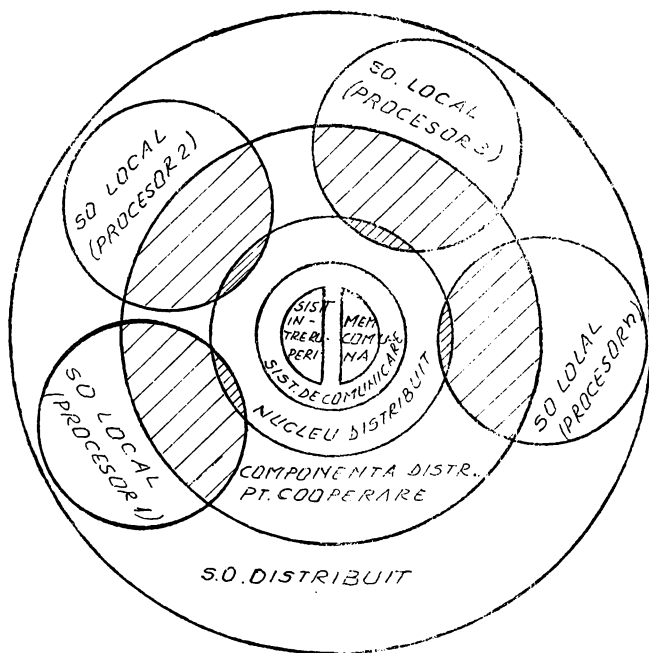


Fig.7.7. Arhitectura de principiu pentru un sistem multi

7.4.2.2. Nucleul distribuit al executivului MULTIX

După cum s-a precizat, nucleul distribuit este divizat în două subniveluri care implementează funcțiile mecanismului de acces la memoria comună respectiv funcțiile sincronizării proceselor. Se subliniază faptul că toate structurile de date definite pentru sisteme monoprocesor rămân valabile pentru fiecare componentă autonomă (microsistem) în parte (SR34). Pentru componentele distribuite ale nucleului se precizează în plus structurile semafor special.

Mecanismul de acces la memoria comună care rezolvă problema excluderii mutuale, este implementat în forma rutinelor ACCES și ELIB. Fiecare zonă de memorie comună care va fi protejată are asociat un index de ocupare a zonei, materializat în cadrul implementării, prin primul octet al zonei. În cadrul rutinei ACCES se verifică acest index în regim de așteptare activă și dacă se găsește liber, se cere acces exclusiv la memorie. Este important de remarcat faptul că, testul indexului se repetă după obținerea accesului

exclusiv la memoria comună, deoarece între momentul solicitării și cel al obținerii accesului, cererea de acces poate fi întârziată de către arbitrul de prioritate și un alt proces să poziționeze între timp indexul zonei.

În cadrul executivului MULTIX, sincronizarea execuției proceselor aparținând unor procese diferite se realizează prin intermediul semafoarelor speciale.

Pentru implementarea coordonării pentru sisteme multiplu cuplate prin memorie comună se propune utilizarea conceptului de semafor special, utilizat în coordonarea execuției proceselor aparținând unor procesoare diferite.

Semaforul special coincide din punct de vedere funcțional cu semaforul normal. În ceea ce privește definirea și implementarea apar însă unele particularități legate de faptul că nici un procesor nu are acces la memoria privată a unui alt procesor. Aceste particularități se referă la:

- a) Semafoarele speciale se păstrează în memoria comună a sistemului.
- b) Lista de așteptare a proceselor blocate într-un astfel de semafor se păstrează în memoria comună.
- c) Operațiile P și V efectuate asupra unui astfel de semafor se implementează în mod diferite față de cele uzuale, necesitând prezența unui sistem de întreruperi interprocesoare.
- d) Implementarea semafoarelor speciale necesită prezența unui mecanism special, destinat rezolvării accesului exclusiv la memoria comună.

Componenta distribuită pentru sincronizare cuprinde rutinele PS și VS care acționează asupra semafoarelor speciale. În cazul implementării, aceste rutine devin componente ale rutinelor generale P și V, ele fiind selectate în cazul semafoarelor speciale detectabile în adresele lor situate în memoria comună. Secvența PS are funcții identice cu cele ale operației P, cu excepția scilizării în plus a mecanismului de protecție al memoriei și al modificării manierei de înlănțuire la semafor, motiv pentru care implementarea ei nu ridică probleme deosebite.

7.4.2.3. Componenta distribuită pentru cooperare

Cooperarea, este acea formă de interacțiune a proceselor în care comunicarea se realizează prin intermediul mesajelor.

Transmisia mesajelor între procese aparținând unor procesoare diferite se realizează prin memoria comună. Mesajele care se transmit în procese aparținând unor procesoare diferite se numesc externe. Transmiterea unui mesaj extern se face în două etape:

a) În prima etapă, la inițiativa procesului emițător funcția SEND plasează mesajul în portul specific al procesorului destinație din memoria comună. Accesul la port se realizează sub protecția semaforului specific corespunzător. În același timp rutina SEND efectuează o operație V asupra unui semafor de sincronizare atașat procesorului, situat în memoria comună.

b) În a doua etapă mesajul este preluat din memoria comună de către un proces specific fiecărui procesor numit "poștaș" și este trimis procesului destinație care, în acest caz, este în același procesor ca și procesul poștaș. Procesul "poștaș" este un proces ciclic de mare prioritate care se autoblochează în așteptarea primirii unui nou mesaj.

Prima activitate executată în acest proces este o operație P asupra semaforului de sincronizare specific procesului, operație care blochează procesul în semafor.

Operația V executată asupra semaforului de sincronizare într-un SEND deblochează procesul "poștaș", a cărui sarcină constă din extragerea mesajului din portul specific situat în memoria comună din actualizarea parametrilor portului și din retransmiterea mesajului extras procesului destinație. Ultima operație se realizează printr-un SEND normal, încât se acționează între procese aparținând aceluiași procesor.

În cadrul executivului MULTIX, cooperarea între procese aparținând unor procesoare diferite este implementată în forma a două rutine SEND și RECEIVE care reprezintă alternativele funcțiilor SEND și REC pentru mesajele externe. Selecția acestor rutine este realizată automat de către sistem, astfel încât din punctul de vedere al programatorului, utilizarea celor două tipuri de mesaje (normale sau externe) este perfect identică.

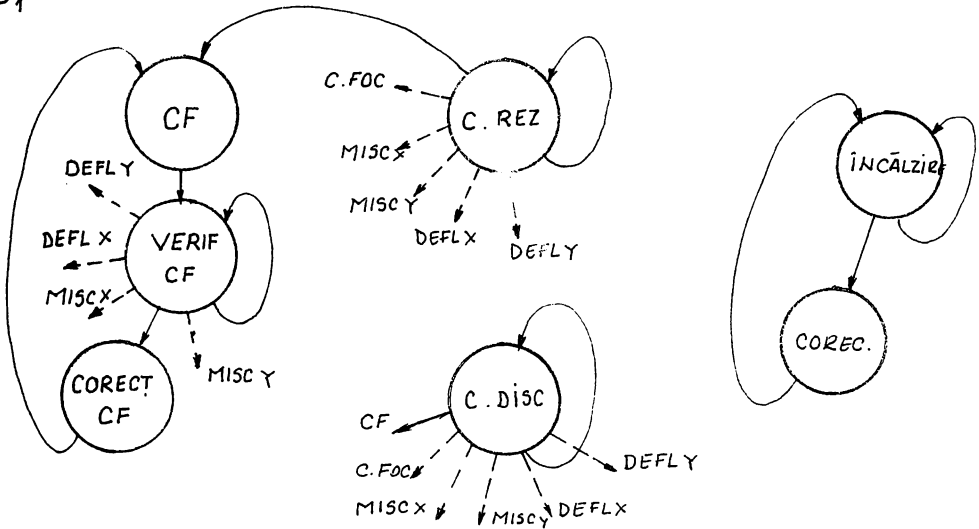
7.4.3. Software de aplicație TR pentru conducerea procesului de sudare cu F.E. pe instalația de 60 KW ISIM

Pe dotarea hardware prezentată la capitolul 6 care se încadrează într-o arhitectură de sistem multimicroprocesor local distribuit avînd procesoarele slab cuplate, se propune implementarea software-ului de bază TR din categoria MULTIX. Pe fiecare din procesoarele sistemului rezidează componentele locale ale executivului TR alături de componentele distribuite necesare realizării intercomunicației între procesele aparținînd unor procesoare diferite.

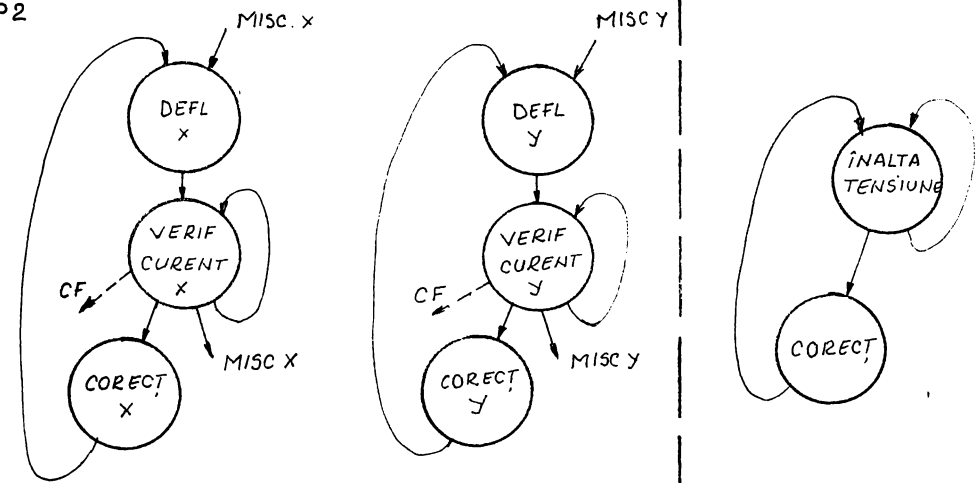
În plus, pe lângă componentele propriuzise ale executivului pe fiecare din procesoarele sistemului apar procesele care realizează conducerea propriuzisă a aplicației prezentate în figura 7.8. Realizarea proceselor pe procesoare și funcțiile principale ale acestora au fost prezentate anterior în § 6.3.2.3. În paragraful de față se vor face cîteva referiri concrete la circulația informației interprocese și la modul în care se realizează sincronizarea și cooperarea acestora. În principiu, toate procesele sînt de natură cíclică, ele reluîndu-și activitatea la inițiativa unor întreruperi externe (avarii), unor întreruperi de timp sau la inițiativa altor procese. Sincronizările pe întreruperi se realizează prin mecanismul semafoarelor interne respectiv externe, iar circulația informației prin intermediul mesajelor la inițiativa funcțiilor SEND (SENDE) respectiv REC (RECE).

Se face precizarea că în figura 7.8 liniile continue precizează mesaje interne care circulă între procesele aparținînd aceluiași procesor, iar săgețile întrerupte precizează mesaje externe destinate proceselor aparținînd altor procesoare.

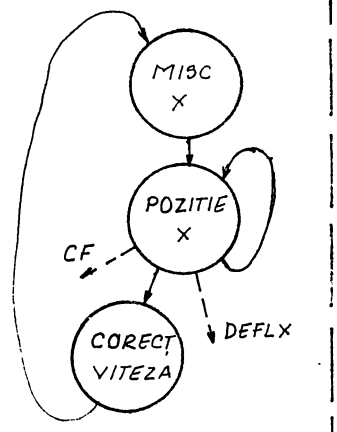
P1



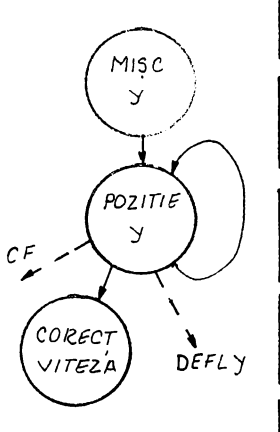
P2



P3



P4



P5

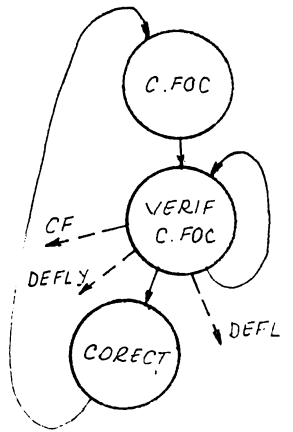


Fig.7.8 Sistemul μ

CAPITOLUL 2

CONCLUZII, CONTRIBUTII ORIGINALI, VALOARE APLICATIVA SI DIRECTII DE DEZVOLTARE ULTERIOARA

2.1. Concluzii

Scopul acestei lucrări, este acela de a-și aduce contribuția, într-o manieră originală, la abordarea sistemică a problemei de esență a analizei și sintezei principalelor aspecte teoretice și practice, referitoare la procesul tehnologic de sudare cu fascicul de electroni, în vederea optimizării, respectiv conducerii optime.

În contextul revoluției tehnico-științifice și tehnologice a momentului actual, când se impune ca sistemele tehnologice să prezinte o deosebită flexibilitate, adaptabilitate și orientare la aplicații concrete, în condițiile unei eficiențe tehnico-economice maxime, trebuie să avem în vedere în primul rând aspectul metodei de abordare, analiză și sinteză. Pentru a se reuși ca deciziile, după parcurgerea tuturor datelor și informațiilor să elaboreze în timp real, pe cât posibil o soluție optimă, care să permită conducerea optimală a procesului; va trebui neapărat să concepem niște sisteme informatice integrate, să concepem un software cât mai adevărat pentru soluțiile și structurile hardware adoptate. În acest sens s-au stabilit următoarele obiective:

1. Selecția și sistematizarea cunoștințelor domeniului aplicând tehnicile și metodele specifice ingineriei sistemelor.
2. Particularizarea unor aspecte teoretice ale teoriei generale ale discretizării cu specific pentru procesul tehnologic de sudare cu fascicul de electroni, procedeu ce operează cu energie concentrată.
3. Stabilirea unor structuri hardware care să permită o sinteză a mașinilor și instalațiilor de sudare cu fascicul de electroni pornind de la instalațiile de mică până la cele de mare putere.
4. Realizarea și implementarea în configurații de hardware a unor interfețe dedicate, sisteme de achiziție a datelor care să permită utilizarea tehnicii de calcul oferită de industria românească.
5. Elaborarea unor structuri software cu specific pentru schemele tehnologice de sudură cu fascicul de electroni care să

permiță controlul și conducerea timp real a unor sisteme mono sau multimicroprocesoare, utile proiectantului în concepția și proiectarea de sisteme de operare și pachete de programe, structuri de date în funcție de cerințele impuse de o aplicație specifică.

8.2. Contribuții originale.

Pornind de la scopul și obiectivele acestei lucrări se pot scoate în evidență următoarele contribuții originale, mai importante ale autorului:

- Elaborarea unei metodologii de abordare sistematică a procesului tehnologic de sudare cu fascicul de electroni ;
- Realizarea unui sistem informatic pentru procesul tehnologic de sudare cu F.E.
- Analiza optimizării asistate de calculator a procesului tehnologic de sudare cu F.E.
- Sinteza unui sistem T.R. de conducere optimă a procesului tehnologic de sudare cu F.E.
- Elaborarea unei metodologii de analiză energetică-informațională a fenomenelor ce au loc în spațiul de lucru.
- Stabilirea interacțiunilor și studiul coordonării variației parametrilor procesului tehnologic de sudare cu F.E.
- Studiul comparativ al metodelor și rezultatelor teoretico-experimentale ale determinării cîmpului termic la sudarea cu F.E.
- Studiul formei cusăturii pe model matematic pornind de la controlul puterii și focalizării fasciculului cu F.E.
- Studiul pe model experimental al regimului termic și a formării cusăturii. Confirmarea rezultatelor teoretice obținute.
- Elaborarea unei metodologii originale de calcul a regimului termic bazată pe metoda elementului finit, în regim nestaționar, cu utilizarea tehnicii de calcul.
- Sinteza sistemică a unei structuri pentru achiziția datelor caracteristice pentru sudarea cu fascicul de electroni.
- Proiectarea și realizarea unui sistem de achiziție a datelor pentru analiza regimului termic, curenților și semnalelor culese cu senzorii de proces F.E.
- Sinteza sistemică a principiilor de bază ale conducerii procesului tehnologic de sudare cu F.E.
- Proiectarea și realizarea unei interfețe originale pentru conducerea cu ajutorul calculatorului electronic a instalației EWM ITM Cluj-Napoca.

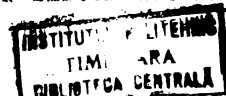
- Stabilirea unei arhitecturi hardware software multimicroprocesor pentru conducerea unei instalații complexe de sudare cu F.E. de mare putere. Instalație de sudare cu F.E. 60 kW ISIM Timișoara.
- Identificarea și prezentarea sistemică a principalelor caracteristici, ale sistemelor timp-real (conceptele de proces, sincronizare, instrucțiuni între procese, concurență etc.).
- Abordarea și prezentarea sistemică a funcțiilor sistemelor de sudare timp real și a eficienței acestora în conducerea procesului tehnologic de sudare cu F.E.
- Studiul și prezentarea detaliată a unui executiv timp-real tipic implicând mecanisme concrete de sincronizare și cooperare.
- Abordarea sistemică a software-ului de aplicație timp-real, în contextul procesului tehnologic de sudare cu F.E.
- Dezvoltarea unui model original de arhitectură software de aplicație TR pentru instalație de sudare cu F.E. EBNM-ITIM Cluj-Napoca.
- Abordarea sistemică a problematicii software-ului de aplicație TR într-o ambianță multimicroprocesor.
- Studiul și prezentarea unui executiv destinat unor sisteme cu multimicroprocesor.
- Elaborarea unui model original de arhitectură software de aplicație TR pentru conducerea procesului de sudare cu F.E. pentru instalații complexe (instalație 60 kW ISIM) cu ajutorul unui sistem de calcul multimicroprocesor.

3.3. Valoare aplicativă și direcții de dezvoltare ulterioară

Aspectele prezentate în lucrare au fost valorificate în cadrul a 17 lucrări științifice publicate.

Autorul lucrării a condus ca responsabil de temă un contract cu ITIM Cluj Napoca predat la 8 decembrie 1989 care implementează ASPECTUL TEORETIC PRIVIND CONDUCEREA PROCESULUI DE SUDARE CU F.E. S-au predat de asemenea două protocoale de colaborare tehnico-științifică cu ISIM Timișoara privind conducerea procesului tehnologic de sudare cu F.E. pe instalație de 60 kW cu un sistem de calcul multimicroprocesor și realizarea unui sistem informatic pentru stabilirea și optimizarea regimurilor de sudare cu F.E.

Pe viitor se conturează noi perspective de valorificare a rezultatelor cercetărilor, ținând cont de interesul crescând față de aplicarea noilor tehnologii neconvenționale de sudare cu F.E. Lucrarea va servi ca bază de documentare teoretică și experimentală, în cercetarea, proiectarea și dezvoltarea sistemelor flexi-



bile de fabricație ce utilizează tehnologia cu fascicul de electroni.

În țările dezvoltate din punct de vedere tehnologic, s-a impus demult la trecerea de la faza de "neconvențional" la convențional. În Japonia se estimează pentru 1990 că aproximativ 60% din suduri, să fie executate cu fascicul de electroni.

Dinamica dezvoltării în țara noastră, a conducerii proceselor cu ajutorul sistemelor numerice de calcul, deschide de asemenea largi perspective utilizării sistemelor de operare timp real pe sisteme multimicroprocesor. În această direcție, dezvoltarea unor structuri de tipul celor propuse în lucrare, reprezintă o opțiune eficientă de abordare a problematicii indicate de acest domeniu.

În final se poate aprecia, că aspectele tratate în această lucrare sînt susceptibile de a fi perfecționate și dezvoltate în cursul adaptării la specificul domeniilor amintite mai sus, extinse și asupra altor categorii de aplicații concrete.

BIBLIOGRAPHIE

1. Abel, J.F., Desai, C. - Introduction to THE Finite Element Method
Astrand Reinhold
2. Akopianetz, K.S. - Vlainie uskoroscaie napravlenija na parametri primelctronolucevoi svarke. In: Avtomaticheskaja Svarka nr.11, 1972
3. Anderl, P.s.a.- Automatische Steuerung des Elektronenstrahl-
schweiss-Prozesses in Abhängigkeit von der Werkstückbemessung
und magnetischen Stöfeldern, Strahltechnik, DVC Düsseldorf, Band
63 1980, p.95.
4. Anderl, P.- Elektronenstrahl-Tiefschweissen mit dem 60 kW Hochlei-
stungsgenerator, Trennen und Fügen, 1985,4
5. Arata, Y.s.a. Quench Hardening and Cracking in electron Beam
Weld Metal of Carbon and Low Alloy Hardenable Steels, Trans.
of J.W.R.I., 1972
6. Arata, Y.s.a. Study on Characteristics of Weld Defect and its
preventions in electron Beam Welding, Doc.II-IV 112-73
7. Arata, Y.-New Weldability Concept for EB Welds II CIDPE, Avig-
non, 1978
8. Arata, Y.s.a.-Analysis of Front Wall of Beam Hole by Beam Hole
X-Ray observation Method, Transactions of JWRI, 1980
9. Arata, Y.s.a.-Observation of Mollen Metal Flaux during EB Welding
Transactions of JWRI, 1981
10. Arata, Y. si Tomie, M. - Fundamental Reserach on Horizontal Elec-
tron Beam .- Welding, IITW -Document IV - 30Q-81
11. Arata, Y.-Study on ultra high power sources of electron beam
and applications for welding, IITW -Document- 30Q-81.
12. Arata, Y.-Evaluation of Beam Characteristics by EB Test Method
IITW - Document - 340-83
13. Arata, Y.- Dynamic observations of Beam Hole during Electron
Beam Welding, IITW - Document -IV 338-83
14. Arata, Y.s.a.-Some Welding, IITW - Document -IV -374-84
15. Arata, Y.s.a.-Analysis of Beam Hole Behaviour by Transmission X-
ray Method, Transactions of Japan Welding Research Institute
(JWRI) 1982,2

16. Arata, Y.ş.a.-Dynamic observations of Beam Hole during Electron Beam Welding in Carbon Steel, Transactions of JWRI, 1983, 1
17. Arata, Y.-High Technology for Material Processing Based on Welding, Transactions of JWRI, 1986, 1
18. Arata, Y.ş.a.-Tandem Electron Beam Welding, Transactions of JWRI 1986, 2
19. Ardenne, T. şi Panzer, S.-Prozesskontrolle durch rückstreuielektronen beim Elektronenstrahl-Schweißen, Elektrik, 1983, 3
20. Atanasiu, A.-Sisteme informatice UTC UTIM Bucureşti, 1983
21. Bakish, R.-Introduction in Electron Beam Welding McGraw.Hill London, 1969
22. Bakish, R.-Some Less-Known Facts about Electron-beam Welding, Reend of 10th Symposiom on Electron and Laser Beam Technology, San Francisco, 1972
23. Başenko, B.B.-Electronnolucevîe ustanovki - Ed. Masinostroitel'nie - Leningrad, 1982
24. Baştîurea, Gh.,ş.a. -Comanda numerică a maşinilor unelte, Editura Tehnică, Bucureşti, 1976
25. Beneteux, D.şi Silvangnal, I.-Methode de calcul des parametres de soudage par faisceaux d'electrons, IIW-Dokument -IV-423/86
26. Bibby, M.J. ş.a.-Cracking in restrained Eb welds in carbon and low alloy steels, Welding Journal, 1975, nr.8, p.253 s-258a
27. Bibby, M.J.ş.a.-The Fusion and Heat - Affected Wisths of Electron Beam Welds, IIW - Document -IV-384-85
28. Boarnă, C.ş.a.-Procedee neconvenţionale de sudare, Editura Facla Timişoara, 1980
29. Bogdanov, -Microprocesorul în comanda acţiunărilor electrice - Editura Facla, 1989
30. Borangiu, T.ş.a.-Structuri moderne de conducere automată a maşinilor-unelte, Editura Tehnică, Bucureşti, 1982
31. Ciocîrdia, C., Brăgaru, A.şi Găvulas - Bazele elaborării proceselor tehnologice în construcţia de maşini. Editura Didactică şi Pedagogică, 1983
32. Christian, P.-Digital circuits with P applications. Metex'82 ISBN 0-916460 -32.0
33. Cocârlă, T. şi Pocinog, G. - Metode şi tehnici moderne folosite în conducerea şi organizarea întreprinderilor. Editura Facla, Timişoara, 1983

34. Cocolescu, L. și Patriciu, V.-Proiectarea sistemelor teletinformatică. Editura Militară, București, 1988
35. Constantinescu, P.-Modelarea naturii a genezei și dezvoltării sistemelor, Editura Tehnică, București, 1984
36. Constantinescu, P.-Sisteme informatice modele ale conducerii și a sistemelor conduse. Editura Tehnică, București, 1985
37. Crețu, V.-Sisteme de operare timp-real pentru sisteme de calcul cu microprocesor. Teză de doctorat, I.P.Timișoara, 1984
38. Crețu, V. și Ciocîrlie, H.-Programarea calculatoarelor, Editura Facla, Timișoara, 1979
39. Crețu, V.-Structuri de date și sisteme de operare, UTC IPT-1985
40. Davidovici, I. și Rubinovici, I.-Mini și micro calculatoare în conducerea proceselor industriale, Editura Tehnică, București, 1983.
41. Davidoviciu, A., Baltag, V.s.a.-Sisteme interactive și limbaje convenționale, Editura Tehnică, București, 1984
42. Davidoviciu, A.s.a.-Modelarea, simularea și comanda manipulatorilor și roboților industriali, Editura Tehnică, București, 1986
43. Dhatt, G. și Toozot, G.-Une présentation de la méthode des éléments finis- Maloinés, ... Editur -Paris, 1981
44. Dehelean, D.- Metode de optimizare în sudură, Referat II-Doctorat, 1972
45. Dehelean, D.s.a.-Stabilirea tehnologiei de sudare cu fascicul de electroni pentru diferite piese din construcția de mașini, Memoriu ISIM, 1976
46. Dehelean, D., Pascu, M., Pascu, R. și Terno, A.-Comportarea la sudare cu fascicul de electroni a oțelului 20MoNi6Cr, Sesiune jubiliară, ISIM Timișoara, 1980
47. Dehelean, D.-Implicații ale procedurilor neconvenționale de sudare asupra concepției și execuției structurilor sudate, Sesiune de comunicații, I.I.S.Sibiu, 1986
48. Dehelean, D.-Sudarea cu fascicul de electroni, C.I.D. București, 1988
49. Dessel, F.-Beitrag zum Schweißen von Nickellegierungen und autenthischen Chrom-Nickel-Stählen mit Elektronenstrahlen, Dissertation, T.H. Aachen, 1977
50. Devillers, L. și Kaplan, D.-Le sudage par faisceau d'electrons des aciers de construction Soudage et techniques connexes, 1986, 9/10

51. Dixon, R.D. ș.a. - Electron Beam Welding Data Acquisition System Using a Personal Computer, Welding Journal, 1987, April
52. Dontu, O. - Tehnologia prelucrării cu laser, Editura Tehnică, București, 1985
53. Drăgănescu, V. și Velculescu, V.G. - Prelucrări termice cu laseri, Editura Academiei, București, 1986
54. Drăgulescu, D. și Cornuț, A. - Mecanica și rezistența materialelor, vol. I, Lito. IPTV, Timișoara, 1980
55. Drăgulescu, D. și Cioară, A. - Studiul câmpului termic la sudarea mecanizată sub flux - ISIM - MIUG. 7/1986
56. Dumitrache, Gh. - Automatizări și echipamente electronice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
57. Dumitrescu, S. ș.a. - Aplicații ingineresti ale calculatoarelor, Calculatoare de proces, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979
58. Ehrhard, H. - Elektronenstrahlschweissen von Metall-Kombinationen, ZIS - Mitteilungen, 1984, 1
59. Eichhorn, P. și Neef, D. - Leistungsdichte und radiale Leistungsdichteverteilung beim Elektronenstahlschweissen und ihre Auswirkung auf den Tiefschweisseffekt, Industrie-Anzeiger, nr. 23, März, 1969
60. Eichhorn, P. ș.a. - Microprocessor - Controlled Beam Tracking System for Electron Beam Welding, IIR - Document - IV-342-83
61. Fischer, M. și Boarna, C. - Studiu privind tehnologiile de sudare cu fascicul de electroni, Memoriu ISIM, 1972
62. Fengelberger, F. - Les robots industriels Hermes Publishing - France, 1981
63. Forrester, J. - Principiile sistemelor, Editura Tehnică, București, 1979
64. Forrester, J. - Dinamica sistemelor, Editura Tehnică, București, 1980
65. Friedel, K.P. - Relationship Between geometry and electron beam active tene form and pozițion. Electron Beam Welding in Melting, 1979
66. Gabbay, J. - Le soudage par bombardement electronique, INSA, Lyon 1972
67. Gäre, H. - Elektronenstahlschweissen und flexible Fertigung, ZIS Mitteilungen, 1988, 1

68. Gallert, W. (editor) - Mică enciclopedie matematică, Editura Tehnică București, 1980
69. Georgescu, I. - Elemente de inteligență artificială, Editura Academiei, București, 1985
70. Gheorghe, A. - Ingineria sistemelor, Editura Academiei, București, 1981
71. Gheorghe, A. - Risic și securitate în proiectarea tehnologiei moderne. în volumul Revoluția științifică și tehnică și modernizarea forțelor de producție. Editura Politică, București, 1976
72. Gheorghe, A., Bali, H.K., Hill, J., Carson, E. - Dynamic Decision in Modern trends in general systems and cybernetics, Springer Verlag, 1977
73. Goldak, J.A. - A double ellipsoid finite element model for welding heat sources, IIT - Document -212-603-85
74. Goldberg, K. și Goldberg, M. - YX Interpolation Algorithms, Robotics Age May/June, 1983
75. Guran, M. și Filip, G. - Sisteme ierarhizate timp real cu prelucrare distribuiea datelor, Editura tehnică, București, 1986
76. Hagedorn, R. și Kraus, A. - Documentația primară, un depozit al cunoașterii, Editura Tehnică, București, 1986
77. Hartmann, K. și Neubert, G. - Berechnung optimaler Parameter für das Elektronenstahlschweißen in der Grundlage der linearen Optimierung, Schweißtechnik 20(1970), 8
78. Hashimoto, T. și Matsuda, F. - Effect of Welding Variables and Material upon Bead Shape in Electron-Beam welding, Transactions of National Research Institute, for Metals, vol. 7, nr. 3, 1965
79. Hillar, W. și Steingerward, I, Ch. - Der Elektronenstrahl als thermisches Werkzeug in Industriellen Einsatz, Trennen und Fügen, 1981
80. Howard, R. - The Foundation of Decision Analysis, IEEE T-Systems, Science and Cybernetics, SSC-4, 3, September, 1968
81. Howard, R. - Dynamic Programming and Markov Processes, M.I.T. Press Cambridge, Mass. 1960
82. Howard, R. - Dynamic Probabilistic Systems, vol. I and II, John Wiley, New York, 1971
83. Ingerbrand, H. și Schlenk, R. - Optimierung von Schweißparametern beim Elektronenstrahlschweißen von Aluminium, Schweißtechnik, nr. 4/1970,
84. Ionescu, T. - Elemente de mecanica automatelor și dinamica automatizării proceselor industriale

85. Ionescu, T.-Sisteme și echipamente pentru conducerea proceselor Editura Didactică și pedagogică, București, 1982
86. Ionescu, V. și Popoca, C.-Optimizarea sistemelor, Editura Didactică și Enciclopedică, București, 1981
87. Jardyne, A. K. S.-Operational Research in Maintenance, Manchester University Press, New York, 1970
88. Jian, S.-Metoda de optimizare pentru sisteme tehnologice cu aplicare în tehnica sudării Cf. de mij. doc. 1986
89. Kanstani, F. ș.a.-New Welding Technologies of Thick Plates Structures, IIW -Document-IV-325-82
90. Kihara, H. ș.a.-The Characteristics of Power Electron Beam Welding IIW-Document-IV-322-83
91. Koch, F. și Neubert, C.-Eindringtiefe beim Elektronenstrahlschweissen ZIS-Mitt. nr. 12/67
92. Korn, G. A.-Microprocesoare, microcalculatoare, minicalculatoare, Editura Tehnică, București, 1982
93. Kosecek, M. și Goracek, V.-Despre câteva probleme ale sudabilității oțelurilor slab aliate și de înaltă rezistență, Dare de seamă CAER, 1973
94. Kosacek, M.-Tehnologia de sudare cu fascicul de electroni a oțelurilor de înaltă rezistență, Dare de seamă CAER, 1976
95. Kovacs, B. și Cojocaru, C.-Manipulatoare și roboți industriali, Editura Facla, Timișoara, 1985
96. Lehrheuer, W.-Entwicklungsstand des Elektronenstrahl-Schweissens grosser Wanddicken, Strahltechnik, DVS
97. Lipp, G.-Sudarea și tăierea cu fascicul de electroni și cu laser, un nou domeniu de standardizare. Probleme actuale ale standardizării în construcția de mașini (P.H.SCM), București, C.I.D.C.M., 1987
98. Lupu, C. ș.a.-Microprocesoare- Aplicații, Editura Militară, București, 1982
99. Lubin, B.-Dimensionless Parameter for the Correlation of Electron Beam Welding Variables, In: Welding Journal, March, 1968
100. Malița, M.-Bazele inteligenței artificiale. Editura tehnică, 1987
101. Matsuda, ș.a. Some Metallurgical Investigations on Electronbeam Welding, Trens, Japan, Welding Society, vol. 1, nr. 1. 1970
102. Mălai, S.-Contribuții la automatizarea procedurii de sudare MAG Teză de doctorat, 1990

103. Meleka, H. - Electron-Beam Welding, McGraw-Hill London, 1971
104. Meyer, E. - Praktische Hinweise für vorteilhafte Gestaltung elektronenstrahlschweißter Bauteile, Seminar Technische Akademie Esslingen, 1972
105. Misrahi, S. - Robin - Interpretation des fluctuations de pénétration dans le sondage par F.E.
106. Molokovski, A.D. - Interesne elektronie i ionne puciki. Editura Energia - Leningrad, 1982
107. Müller, A. - Elektronenstahlschweissen - computernumerisch gesteuert, Schweißen und Schneiden, 1987, 3,
108. Mureşan, T. - Microprocesorul 8080 în aplicaţii, Editura Facla, Timișoara, 1980.
109. Nanu, A. ș. a. - Cercetări teoretice și experimentale asupra productivității debitării electroerozive anodo-mecanice la mașina MAMB-1. Studii și cercetări. Științe tehnice, Academia Republicii Socialiste România, Baza Timișoara, Tom. 10, 1963
110. Nanu, A. - Fundamentarea teoretică a principalelor fenomene constatate experimental la prelucrarea anodo-mecanică a metalelor. Buletin științific și tehnic, I.P. Timișoara, Tom. 6(20), Fasc. 2, 1963
111. Nanu, A. ș. a. - Determinarea condițiilor de reglare a avansului la debitarea electroerozivă. Buletin științific și tehnic al I.P. Timișoara, Tom 9(23), 1964
112. Nanu, A. - Mașina anodomecanică de tăiat cu bandă MAMB-1. Studii și cercetări, Științe tehnice, Academia Republicii Socialiste România, Baza Timișoara, Tom. X, 1963
113. Nanu, A. ș. a. - Studiul caracteristicilor stratului de suprafață obținut la durificarea prin scântei electrice. Buletin științific și tehnic, I.P. Timișoara, Tom. 11(25), Fasc. 2, 1966
114. Nanu, A. ș. a. - Definirea, clasificarea și caracteristicile generale ale metațelurilor de prelucrare dimensională prin eroziune. Standardizarea, vol. 21, nr. 2, 1969
115. Nanu, A. și Teodorescu, Alex. - Extrudarea la rece și forjarea cu fibraj continuu a oțelului. Timișoara, Editura Facla, 1975
116. Nanu, A. - Tehnologia materialelor. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983
117. Nanu, A. și Tăroată, G. - Eficiența tehnico-economică a procesului de sudare cu fascicul de electroni, Conferința Națională de Organizare, Eficiență, Calitate, 1986

118. Naumann, E. Nomogramme für die Berechnung des Leistungsbedarfs bei Elektronenstrahlschweißen, ZIS-Mit., nr.1/69
119. Nazarenko, Q.ş.a.-Messung des Stahldurchmessers beim Elektronenstrahlschweissen, ZIS-Mitteilungen, nr.1,1971
120. Negoită, V.-Mulțimi și aplicațiile lor, Editură Tehnică, București, 1975
121. Neumann, P.C., Benhomen, M.M.,-Evaluation of maintenance policies using Markov chains and fault tree analysis, in IEEE T-Reliability, 1975
122. Von Neumann, J. și Morgenstein, D.-Theory of Games and Economic Behaviour, Princeton University Press Princeton, (3-rd, ed., 1953)
123. O'Neil, F.J.A.-Decision Structure for Making on-line Support Tradeoffs for Large Complex System, Ph.D. Dissertation Case Western University, 1973
124. Nichici, A. și Popa, M.-Prelucrarea prin eroziune în construcția de mașini; Editură Facla, Timișoara, 1983
125. Parker, Ch, S.-Management information systems -Mc.Graw-Hill Publishing company- New York, 1989
126. Padcu, M., Déheleán, D. și Pașcu, R.-Considerations sur le soudage par faisceau d'electrons des fauchés de cardan, Congrés Welding 84, Brno, 1984
127. Passoja, D.-Penetration of Solids by High-power-density, Electron Beam, In? British Welding Journal nr.1, 1967
128. Petrescu, A.ş.a.-Microcalculatoarele Telix M18, M16B, M118, Editura Tehnică, București, 1984
129. M'Pherson, P.K.-System theoretic concepts of system engineering. Proceedings of the European Meeting, Viena, 1973, Advances in cybernetics and systems research
130. Pircea, Z.-Studiul influenței parametrilor electricei asupra dimensiunilor alezajelor la prelucrarea oțelurilor nealiate cu tun electronic. Teză de doctorat, 1981, I.P. Timișoara
131. Pociog, G. și Tăroată, A.-Posibilități de folosire a modelării și simulării în proiectarea optimă a sistemelor flexibile de fabricație Conferință Națională de Organizare, Timișoara, 1986
132. Raiffa, H.-Decision Analysis Introductory lectures on Choices under uncertainly. Addison Wesley, Boston, 1968
133. Rau, J.G.-Optimisation and Probability in Systems Engineering. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1976
134. Rădoi, L.ş.a.-Electrochimie, Timișoara, Editura Facla, 1974

135. Rădulescu, M.ș.a.-Atlas metalografic, București, Editura Tehnică, 1971
136. Răileanu, A.-Toleranțe și măsuri tehnice, Iași, Institutul Politehnic, Partea I și II, 1970
137. Roudier, R.-Evolutions des proprietes des faisceaux d'electrons utilises pour le soudage sous vide partiel-Lyon, 1968
138. Russel, J.D.-Developments in high power electron beam and laser processing, Strahltechnik, VDS Düsseldorf, Band 63, 1980
139. Sabău, C. și Sotir, A. ș.a.-Practica baselor de date, Editura tehnică, București, 1989
140. Sandstrom, D.-The Relationship of Beam Parameters to Weld Geometry in Electron Beam Weld, Proceeding of the Second Seminar of EB-Processing, Frankfurt 1972
141. Sasaki, S.ș.a.-Automatic weld line sensing and work positioning for electron beam welding, IIW-Document-IV-368-84
142. Sasaki, S.ș.a.-A Compact Electron Beam Welder for Mass Production Lines, IIW-Document-317-82
143. Sayegh, G.-Etat de la technique de sondage par faisceau a haut densite d'energie S,T,C, 1985
144. Sayegh, G.-High energy density welding for automated systems and flexible manufacturing centr, IIW-Document-IV-371-84
145. Sayegh, G.-Quelques problems rencontres dans le soudage par faisceau d'electrons de grande puissance, Stahltechnik VDS Düsseldorf Band 63, 1980
146. Sayegh, G. și Basile, G.-Reflexions sur la caracterisation des faisceaux a particules, IIW-Document-IV-344-83
147. Sayegh, G. și Cezes, R.-Quelques rezultats pratiques du controle du "flash" dans un canon a electrons de soudage, IIW-Document-IV-384-85
148. Sălăgeanu, Tr.-Oțelari pentru structuri sudate. Editura Facla, Timișoara, 1974
149. Sălăgeanu, Tr. și Dmălai, S.A.-Optimizarea sudării cu arcul electric, Editura tehnică, București, 1988
150. Sălăgeanu, Tr. și Vodă, M.-Aspecte economice ale tehnologiei sudării, Editura didactică și pedagogică, București, 1986
151. Schultz, H.-Funktions- und Leistungsprüfungen an Elektronenstrahlschweißen, Technische Akademie, Esslingen, 1973
152. Schultz, H.-Techtlinien für das Konstruieren elektronenstrahlgeschweisster Bauteile, Seminar Technische Akademie, Esslingen 1973

153. Schwartz, H.- Principle of Electron-Beam Welding. Proc. of the second Seminar of EB-Processing, Frankfurt, 1972
154. Sciaky- Soudage par faisceau d'electron -Doc. Formă-1980
155. Severdenko, P.-Laboratornii praktikum po teorii, mašinam i tehnologii obrabotki metallov davleniem, Izd. Vsesoisnaia škola, Minsk, 1975.
156. Shida, T.s.a. -Development of a piercing-beam current Controller for electron beam welding, IIV-Document-363-84
157. Shubin, J.A.-Inițiere în conducerea întreprinderii, Editura tehnică, București, 1970
158. Sima, V. și Varga, A.-Practica optimizării asistate de calculator Editura Tehnică, București, 1987
159. Sonea, I.-Tehnologia materialelor, București, Editura Tehnică, 1968
160. Stănculescu, P.-Dinamica sistemelor mari, Editura Academiei, București, 1982
161. Steigerwald, K.H.-Proceeding of the Electron and Laser Beam Symposium 1965
162. Stengel, B. Untersuchungen und Versuche zur Optimierung des Elektroenstrahlschweißens für Luftfahrtwerkstoffe, Stahltechnik, V, 1972
163. Stoian, V. și Dubira, D.-Folosirea mini și minicalculetoarelor în calculul structurilor. București, Editura Tehnică, 1988
164. Taub, H.-Digitet Circuits uP MacGran 1240
165. Tăroată, A.-Punct de vedere asupra abordării sistemice a procesului tehnologic de electroeroziune, Vol. aIV-a Conferință Națională de tehnologii neconvenționale, Timișoara, I.P.Banat, 1984
166. Tăroată, A.-Aspecte energetice ale procesului tehnologic de electroeroziune, Vol. aIV-a Conferință Națională de tehnologii neconvenționale, Timișoara, I.P.Banat, 1984
167. Optimizarea sistemelor de producție după criteriul cost eficiență, Buletinul sesiunii științifice "Tehnic 2000" Electrotimis, 1984, Lit. I.P.T.
168. Tăroată, A. și Pocinog, G.-Posibilități de aplicare a simulării în studiul proceselor decizionale, "Optimizarea și automatizarea proceselor industriale, reducerea consumului de materii prime și energie" Galați, 1984
169. Tăroată, A., Pocinog, G. și Fântâniș, N.-Folosirea tehnicii de calcul în alegerea variantei optime tehnologice, Eficiența și rentabilitatea în proiectarea fabricației și exploatarea mașinilor și

- aparatele electrice. Sesiune de comunicări științifice Electromotor, Timișoara, 1986, vol.1
170. Tăroată, A.-Utilizarea tehnicii de calcul în proiectarea unui utilaj de sudare cu fascicul de electroni, Sesiunea de comunicări științifice pentru tineret TEMIC 2000, Timișoara, 1987
171. Tăroată, A.-Sistem informatic pentru stabilirea variantei de proces tehnologic cu fascicul de electroni, Conferința Națională Ingineria Sistemelor, Craiova, 1987
172. Tăroată, A.-Sistem de automatizare și control pentru instalațiile de sudare cu fascicul de electroni, Conferința Națională Ingineria Sistemelor, Craiova, 1987
173. Tăroată, A.-Posibilități de automatizare a sudurii cu fascicul de electroni, Sesiune de comunicări tehnico-științifice TEMIC 2000, Timișoara, 1988
174. Tăroată, A.-Posibilități de control a sudurii cu fascicul de electroni, Sesiunea de comunicări tehnico-științifice TEMIC 2000, Timișoara, 1988
175. Tăroată, A. și Conțean, A.-Metode de conducere pe traiectorie oarecare, implementabilă pe sisteme cu microprocesor, Sesiunea științifică Electromotor, 1989, L.I.P. Banat, Timișoara
176. Tăroată, A. și Conțean, A.-Optimizarea conducerii roboților industriali abordând probleme de cinematică inversă, Conferința de organizare a X-a dec.1989, Timișoara, IPTVA
177. Tăroată, A., Dumitrescu, C. și Ioanoviță, F.-Aspecte privind conducerea proceselor robotizate, Conferința de organizare a X-a dec, 1989, Timișoara, IPTVA
178. Tăroată, A.-Flexibilitate în conducerea sudurii cu fascicul de electroni, Conferința de organizare a X-a dec.1989, Timișoara, IPTV
179. Tăroată, A.-Posibilități de realizare a unor linii de sudare cu utilaje cu fascicul de electroni, Conferința a X-a dec. 1989, Timișoara, IPTVA
180. Tăroată, A., Grosu, V. și Crețu, V.-Conducerea proceselor tehnologice de sudare cu fascicul de electroni cu ajutorul unor sisteme cu microprocesor, Conferința de organizare a X-a dec.1989, Timișoara, IPTVA
181. Tăroată, A. și Pântână, N.-Elemente de organizare structurală a sistemelor ierarhizate în timp real cu prelucrarea distribuită a datelor, Simpozionul Național de Ingineria sistemelor și cibernetică industrială, iunie, 1989

182. Tătar, E.-Studii și cercetări privind instalațiile cu fascicul de electroni, Teză de doctorat, IP Cluj-Napoca, 1975
183. Tătar, E., Bot, A. și Tătaru, C.-Mașină de sudare prelucrare cu fascicul de electroni EDW35.4 -Sesiunea de comunicări științifice a filialei Academiei Timișoara, 1986.
184. Tptar, E., Tătaru, C. și Bot, A.-Agregat de sudat țevi în plăci tubulare cu fascicul de electroni. Simpozion de tehnologii neconvenționale, Timișoara, 1986
185. Vacu, S.ș.a.-Metalurgie generală, București, Editura tehnică, 1975
186. Vasilescu, P.și Dunca, V.-Proiectarea sistemelor informatice, Editura Tehnică, București, 1979
187. Vaș, A.-Considerații asupra stabilirii unui regim optim la tăierea cu plasmă a oțelurilor inoxidabile, Studii și cercetări de metalurgie, Editura Academiei, 1968
188. Visser, A.-Ergstoffabtrag durch Elektronenstrahlen Verlog, TR Heft 104
189. Wakerby, J.F.-Digital Desing Principles Practicēs, 1990, Prentice, Hall
190. Ward, P.T. și Mellor, S.J.-Structured Development for Real-Time Systems vol. I. II. II, Yourdon Press Computing Series A Prentice Hall Company
191. Wiesner, P.-Tehnologie des Elektronenstrahlschweissens, Schweissen und Schneiden, 1985, 8.
192. Wiesner, P.- Elektronenstrahlschweissen im Schwermaschinenbau, Stahltechnik, DVS Dusseldorf, Band. 63, 1980
193. Wiesner, P.- Eindringtiefe beim Elektronenstrahlschweissen mit Hoch und Niederspannungsschweissanlagen, ZIS 1/72
194. Wong, S.-Influence of heat input on the heat formation of Electron Beam Welding, IIW-Document-IV-304
195. Yubhurang, Li.ș.a.-The study en mikrocomputer Controlled system for electron-beam tracking and oscillating. IIW-Document-IV-372-84
196. * * * -Digital signal processing databook -uCMCS .1989
197. * * * -Test for electron beam welding machines, IIW-Document-IV 402-85
198. * * * -Abibliography on standards, codes and specifications on laser end electrān beam welding, IIW-Document IX -439, 87
199. * * * -Contract de cercetare 189/1989 Politehnica Timișoara ITIM Cluj-Napoca: Proiectarea și realizarea sistemului de

conducere a dispozitivului de mișcare plasare a piesei pentru
instalația EDM.35.4

200. Cataloagele firmei Leybold - Heraeus, FRG, 1984, 1986
201. Cataloagele firmei Languepin, Franța, 1985
202. Cataloagele firmei Messer - Griesheim, FRG, 1984, 1986
203. Cataloagele firmei S A P, Franța, 1983
204. Cataloagele firmei Seisky, SUA, 1985
205. Cataloagele firmei Edwards, Anglia, 1984, 1986
206. Cataloagele firmei Balzers, Liechtenstein, 1983, 1986
207. Cataloagele firmei JACL, Japonia, 1982

ANEXA A

```

      .
      .
      .
LD A,C           ;testare cod functie
CP C001
JP Z,ADR1
CP C002
JP Z,ADR2
RET

ADR1:  DI           ;rutina de pregatire a achizitiei
        PUSH DE     ;preluare ADRTAB in IX
        POP IX
        PUSH DE     ;formarea adresei primei locatii
        POP IY      ;dintre cele in care se afla numele
        LD DE,C00AH ;canalelor selectate si salvarea
        ADD IY,DE   ;acesteia la adresa ADRIC, pentru
        LD (ADRIC),IY ;ulterioare initializari ale lui IY
        LD BC,0054H ;invalidare iesire 8253
        OUT (C),A
        IM 2        ;initializare I
        LD HL,TAB   ;TAB=adresa tabelului de vectori
        LD A,H      ;de intrerupere
        LD I,A
        LD DE,SERV  ;initializare tabel vectori
                    ;intrerupere.SERV=adresa subrutinei
                    ;de tratare intreruperi
        LD (TAB+06H),DE ;incarcare SERV in tabela vectori
                    ;de intrerupere
        LD A,34H    ;programare 8253
        LD BC,0043H ;cuvintul de comanda
        OUT (C),A
        LD L,(IX+0) ;testare NO#0
        LD H,(IX+1)
        LD A,H
        OR L
        JP Z,ERP
        LD A,(IX+0) ;trimitere NO la contorul 0,mai
        LD BC,0040H ;intii NOL,apoi NOH
        OUT (C),A
        LD A,(IX+1)
        OUT (C),A
        LD L,(IX+2) ;testare N1#0
        LD H,(IX+3)
        LD A,H
        OR L
        JP Z,TESTN
        LD A,(IX+2) ;trimitere N1 la contorul 1,mai
        LD BC,0041H ;intii N1L.apoi N1H

```

```

OUT (C),A
LD A,(IX+3)
OUT (C),A
LD L,(IX+4)           ;testare N2#0
LD H,(IX+5)
LD A,H
OR L
JP Z,TESTN
LD A,(IX+4)           ;trimitere N2 la contorul 2,mai
LD BC,0042H           ;intii N2L,apoi N2H
OUT (C),A
LD A,(IX+5)
OUT (C),A
TESTN: LD C,(IX+6)     ;testare numar de achizitii cerute
LD A,(IX+7)           ;nul
OR C
JP Z,ERN
LD A,(IY)             ;testare eroare de neselectare a
AND FOH               ;unui canal si in cazul
JP NZ,ERC             ;corectitudinii selectarea primului
LD A,(IY)             ;canal
LD BC,0044H
OUT (C),A
INC IY                ;pregatire adresa pentru canalul
RET                   ;urmator

ERP: LD A,EEH         ;eroare la programarea lui 8253
RET                   ;la trimiterea constantei pentru
                       ;canalul 0;la iesirea din functia
                       ;cu codul COD1,registru A,avind
                       ;continutul EEH indica acest tip
                       ;de eroare

ERN: LD B,EEH         ;eroare:numar de achizitii cerute
RET                   ;nul;la iesirea din functia cu
                       ;codul COD1,registru B,avind
                       ;continutul EEH indica acest tip
                       ;de eroare

ERC: LD C,EEH         ;eroare de neselectare a nici unui
RET                   ;canal pe care sa se faca achizitia
                       ;la iesirea din functia cu codul
                       ;COD1,registru C avind continutul
                       ;EEH indica acest tip de eroare

SERV: PUSH AF         ;salvarea registrelor
      PUSH BC
      PUSH DE
      PUSH HL
LD A,(IY+0)           ;schimbare canal;daca s-a ajuns la
CP FFH                ;ultimul canal selectat se revine

```

```

CALL Z,CANI ;la primul
LD BC,0044H
OUT (C),A
INC IY
LD BC,0048H ;pregatire adresa pentru canalul
CALL DEP ;urmator
LD BC,004CH ;depunere in memorie a partii mai
CALL DEP ;semnificative din numarul
LD BC,0044H ;achizitionat;DEP=subrutina pentru
CALL DEP ;depunerea unui octet din cuvintul
LD BC,0048H ;achizitionat
CALL DEP ;depunerea in memorie a partii mai
LD BC,0044H ;putin semnificative din numarul
CALL DEP ;achizitionat
LD L,(IX+6) ;actualizarea numarului de
LD H,(IX+7) ;achizitii ce trebuie facute
DEC HL
LD (IX+6),L
LD (IX+7),H
LD A,H ;testarea sfirsit de achizitie
OR L ;in acest caz se opreste achizitia
CALL Z,STOP ;prin blocarea iesirii lui 8253
POP HL ;refacerea registrelor
POP DE
POP BC
POP AF
EI
RETI

DEP: IN A,(C) ;subrutina de depunere a unui octet
LD L,(IX+8) ;din cuvintul achizitionat
LD H,(IX+9)
LD (HL),A
INC HL ;actualizarea adresei de depunere
LD (IX+8),L
LD (IX+9),H
RET

CANI: LD IY,(ADR1C) ;inscriere in IY a adresei la care
LD A,(IY+0) ;se afla codul primului canal
RET ;selectat

STOP: LD BC,0054H
OUT (C),A
RET

ADR2: LD BC,0050H
OUT (C),A
EI
RET

```

ANEXA B

```

TEST:  IN 2                ;initializare I
        LD BC,0054H        ;invalidare iesire 8253
        OUT (C),A
        LD HL,TAB          ;TAB=adresa tabelului de
        LD A,H             ;vectori de intrerupere
        LD I,A
        LD IX,SERV        ;initializare tabel vectori de
                            ;intrerupere;SERV=adresa subrutinei
                            ;de tratare a intreruperii
        LD (TAB+06H),IX   ;incarcare SERV in tabel la
                            ;distanța de 6 octeti de inceputul
                            ;tabelului
        LD A,VI           ;programare CTC;VI=vector de
        OUT (C0),A        ;intrerupere;C0=canalul 0 de la CTC
                            ;cu adresa C0H
        LD A,07H          ;scriere cuvint de comanda la CTC
        OUT (C3),A       ;C3=canalul 3 de la CTC,cu adresa
                            ;C3H
        LD A,01H         ;constanta de timp pentru C3
        OUT (C3),A
        LD A,34H         ;programarea lui 8253
        LD BC,0043H      ;cuvint de comanda pentru contorul
        OUT (C),A        ;0
        LD BC,0040H
        LD A,NOL         ;trimitere NO la contorul 0,mai
        OUT (C),A       ;intii NOL,apoi NOH
        LD A,NOH
        OUT (C),A
        LD A,74H         ;cuvint de comanda pentru contorul
        LD BC,0043H      ;1
        OUT (C),A
        LD BC,0041H
        LD A,N1L         ;trimitere N1 la contorul 1,mai
        OUT (C),A       ;intii N1L,apoi N1H
        LD A,N1H
        OUT (C),A
        LD BC,0050H      ;autorizare iesire 8253
        OUT (C),A
        EI
BUCLA:  NOP
        JP BUCLA

SERV:   PUSH AF          ;salvarea registrelor
        PUSH BC
        PUSH DE
        PUSH HL
        LD BC,0048H      ;citire in H octet mai semnificativ
        IN H,(C)
        LD BC,004CH      ;citire in L octet mai putin

```

```
IN L,(C)           ;semnificativ
LD E,01H           ;selectie canal consola
CALL PRHLBL        ;PRHLBL=adresa subrutinei de
                   ;afisare a registrului HL la
                   ;consola=C62EH
                   ;retacerea registrelor
POP HL
POP DE
POP BC
POP AF
EI
RETI
```

ANEXA C

```

      .
      .
      .
LD A,C           ;testare cod functie
CP C001
JP Z,ADR1
CP C002
JP Z,ADR2
RET

```

```

ADR1:  DI           ;rutina de pregatire a achizitiei
        PUSH DE    ;preluare ADRTAB in IX
        POP  IX
        PUSH DE    ;formarea adresei primei locatii
        POP  IY    ;dintre cele in care se afla numele
        LD  DE,000AH ;canalelor selectate si salvarea
        ADD IY,DE  ;acesteia la adresa ADRTAB, pentru
        LD  (ADRTAB),IY ;ulterioare initializari ale lui IY
        LD  BC,0054H ;invalidare iesire 8253
        OUT (C),A
        IM 2       ;initializare I
        LD  HL,TAB ;TAB=adresa tabelului de vectori
        LD  A,H    ;de intrerupere
        LD  I,A
        LD  DE,SERV ;initializare tabel vectori
                    ;intrerupere.SERV=adresa subrutinei
                    ;de tratare intreruperi
        LD  (TAB+06H),DE ;incarcare SERV in tabela vectori
                    ;de intrerupere
                    ;programare CTC
        LD  A,VI
        OUT (C0),A
        LD  A,07H
        OUT (C3),A
        LD  A,01H
        OUT (C3),A
        LD  A,34H   ;programare 8253
        LD  BC,0043H ;cuvintul de comanda
        OUT (C),A
        LD  L,(IX+0) ;testare NO#0
        LD  H,(IX+1)
        LD  A,H
        OR  L
        JP  Z,ERP
        LD  A,(IX+0) ;trimitere NO la contorul 0,mai
        LD  BC,0040H ;intii NOL,apoi NOH
        OUT (C),A
        LD  A,(IX+1)
        OUT (C),A
        LD  L,(IX+2) ;testare N1#0

```



```

LD H, (IX+3)
LD A,H
OR L
JP Z,TESTN
LD A, (IX+2) ;trimitere N1 la contorul 1,mai
LD BC,0041H ;intii N1L,apoi N1H
OUT (C),A
LD A, (IX+3)
OUT (C),A
LD L, (IX+4) ;testare N2#0
LD H, (IX+5)
LD A,H
OR L
JP Z,TESTN
LD A, (IX+4) ;trimitere N2 la contorul 2,mai
LD BC,0042H ;intii N2L,apoi N2H
OUT (C),A
LD A, (IX+5)
OUT (C),A
TESTN: LD C, (IX+6) ;testare numar de achizitii cerute
LD A, (IX+7) ;nul
OR C
JP Z,ERN
LD A, (IY) ;testare eroare de neselectare a
AND FOH ;unui canal si in cazul
JP NZ,ERC ;corectitudinii selectarea primului
LD A, (IY) ;canal
LD BC,0044H
OUT (C),A
INC IY ;pregatire adresa pentru canalul
RET ;urmator

ERP: LD A,EEH ;eroare la programarea lui 8253
RET ;la trimiterea constantei pentru
;canalul 0;la iesirea din functia
;cu codul COD1,registru A,avind
;continutul EEH indica acest tip
;de eroare

ERN: LD B,EEH ;eroare:numar de achizitii cerute
RET ;nul;la iesirea din functia cu
;codul COD1,registru B,avind
;continutul EEH indica acest tip
;de eroare

ERC: LD C,EEH ;eroare de neselectare a nici unui
RET ;canal pe care sa se faca achizitia
;la iesirea din functia cu codul
;COD1,registru C avind continutul
;EEH indica acest tip de eroare

```

```

SERV:    PUSH AF                ;salvarea registrelor
        PUSH BC
        PUSH DE
        PUSH HL
        LD A, (IY+0)           ;schimbare canal;daca s-a ajuns la
        CP FFH                 ;ultimul canal selectat se revine
        CALL Z,CANI            ;la primul
        LD BC,0044H
        OUT (C),A
        INC IY                 ;pregatire adresa pentru canalul
                                ;urmator
        LD BC,0048H            ;depunere in memorie a partii mai
        CALL DEP               ;semnificative din numarul
                                ;achizitionat;DEP=subrutina pentru
                                ;depunerea unui octet din cuvintul
                                ;achizitionat
        LD BC,004CH            ;depunerea in memorie a partii mai
        CALL DEP               ;putin semnificative din numarul
                                ;achizitionat
        LD L, (IX+6)           ;actualizarea numarului de
        LD H, (IX+7)           ;achizitii ce trebuie facute
        DEC HL
        LD (IX+6),L
        LD (IX+7),H
        LD A,H                 ;testare sfirsit de achizitie
        OR L                   ;in acest caz se opreste achizitia
        CALL Z,STOP            ;prin blocarea iesirii lui 8253
        POP HL                 ;refacerea registrelor
        POP DE
        POP BC
        POP AF
        EI
        RETI

DEP:     IN A, (C)              ;subrutina de depunere a unui octet
        LD L, (IX+8)           ;din cuvintul achizitionat
        LD H, (IX+9)
        LD (HL),A
        INC HL                 ;actualizarea adresei de depunere
        LD (IX+8),L
        LD (IX+9),H
        RET

CANI:    LD IY, (ADR1C)        ;inscriere in IY a adresei la care
        LD A, (IY+0)           ;se afla codul primului canal
        RET                    ;selectat

STOP:    LD BC,0054H
        OUT (C),A
        RET

ADR2:    LD BC,0050H
        OUT (C),A

```

NR,NOD, NR,ELEM, LAT,SEM, NOD,INC, CO,MA, NSE NES
 46 65 10 0 11 1 65

COORDONATELE NODURILOR

| NODUL | X | Y |
|-------|-------|-------|
| 1 | 0,000 | 0,002 |
| 2 | 0,000 | 0,002 |
| 3 | 0,001 | 0,002 |
| 4 | 0,002 | 0,002 |
| 5 | 0,003 | 0,002 |
| 6 | 0,004 | 0,002 |
| 7 | 0,000 | 0,002 |
| 8 | 0,000 | 0,002 |
| 9 | 0,000 | 0,002 |
| 10 | 0,001 | 0,002 |
| 11 | 0,002 | 0,002 |
| 12 | 0,003 | 0,002 |
| 13 | 0,004 | 0,002 |
| 14 | 0,000 | 0,002 |
| 15 | 0,000 | 0,001 |
| 16 | 0,000 | 0,001 |
| 17 | 0,000 | 0,001 |
| 18 | 0,001 | 0,001 |
| 19 | 0,002 | 0,001 |
| 20 | 0,003 | 0,001 |
| 21 | 0,004 | 0,001 |
| 22 | 0,000 | 0,001 |
| 23 | 0,000 | 0,001 |
| 24 | 0,000 | 0,001 |
| 25 | 0,000 | 0,001 |
| 26 | 0,001 | 0,001 |
| 27 | 0,002 | 0,001 |
| 28 | 0,003 | 0,001 |
| 29 | 0,004 | 0,001 |
| 30 | 0,000 | 0,001 |
| 31 | 0,000 | 0,001 |
| 32 | 0,000 | 0,001 |
| 33 | 0,000 | 0,000 |
| 34 | 0,001 | 0,000 |
| 35 | 0,002 | 0,000 |
| 36 | 0,003 | 0,000 |
| 37 | 0,004 | 0,000 |
| 39 | 0,000 | 0,000 |
| 39 | 0,000 | 0,000 |
| 40 | 0,000 | 0,000 |
| 41 | 0,000 | 0,000 |
| 42 | 0,000 | 0,000 |
| 43 | 0,001 | 0,000 |
| 44 | 0,002 | 0,000 |
| 45 | 0,003 | 0,000 |
| 46 | 0,004 | 0,000 |

P= 1 T= 0,1

VALORI CALCULATE

| | | | | | | | |
|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|
| 1 | 2709,530 | 2 | 1930,971 | 3 | 230,253 | 4 | 27,531 |
| 5 | 20,199 | 6 | 19,971 | 7 | 1928,201 | 8 | 2767,090 |
| 9 | 1926,234 | 10 | 214,578 | 11 | 29,618 | 12 | 20,354 |
| 13 | 19,981 | 14 | 2785,319 | 15 | 1850,999 | 16 | 2770,045 |
| 17 | 1807,625 | | | | | | |
| 18 | 204,336 | 19 | 31,311 | 20 | 20,569 | 21 | 20,002 |
| 22 | 2722,067 | 23 | 1703,413 | 24 | 2647,570 | 25 | 1635,296 |

| | | | | | | | |
|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|
| 26 | 190,158 | 37 | 31,763 | 28 | 20,693 | 29 | 20,017 |
| 30 | 2551,286 | 31 | 1524,203 | 32 | 2445,531 | 33 | 1459,376 |
| 34 | 176,252 | | | | | | |
| 35 | 32,350 | 36 | 20,827 | 37 | 20,037 | 38 | 2347,244 |
| 39 | 1378,771 | 40 | 2290,693 | 41 | 2311,097 | 42 | 1369,103 |
| 43 | 167,323 | 44 | 34,914 | 45 | 21,208 | 46 | 20,111 |

P= 2 T= 0,2

VALORI CALCOLATE

| | | | | | | | |
|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|
| 1 | 1587,923 | 2 | 1488,518 | 3 | 534,898 | 4 | 77,106 |
| 5 | 23,860 | 6 | 19,992 | 7 | 1489,821 | 8 | 1599,809 |
| 9 | 1482,646 | 10 | 525,727 | 11 | 80,551 | 12 | 24,625 |
| 13 | 20,128 | 14 | 1607,313 | 15 | 1469,307 | 16 | 1605,980 |
| 17 | 1445,957 | | | | | | |
| 18 | 502,364 | 19 | 82,488 | 20 | 25,530 | 21 | 20,338 |
| 22 | 1595,232 | 23 | 1415,718 | 24 | 1577,029 | 25 | 1381,454 |
| 26 | 473,122 | 27 | 81,920 | 28 | 26,070 | 29 | 20,502 |
| 30 | 1554,654 | 31 | 1345,070 | 32 | 1533,471 | 33 | 1315,698 |
| 34 | 445,403 | | | | | | |
| 35 | 81,922 | 36 | 26,688 | 37 | 20,712 | 38 | 1519,434 |
| 39 | 1292,365 | 40 | 1518,651 | 41 | 1525,933 | 42 | 1287,093 |
| 43 | 478,114 | 44 | 85,176 | 45 | 27,958 | 46 | 21,145 |

P= 3 T= 0,3

VALORI CALCOLATE

| | | | | | | | |
|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|
| 1 | 1224,146 | 2 | 1186,115 | 3 | 628,663 | 4 | 164,053 |
| 5 | 38,445 | 6 | 21,529 | 7 | 1187,261 | 8 | 1228,352 |
| 9 | 1182,955 | 10 | 623,806 | 11 | 164,598 | 12 | 35,637 |
| 13 | 22,061 | 14 | 1231,929 | 15 | 1180,685 | 16 | 1232,657 |
| 17 | 1170,553 | | | | | | |
| 18 | 607,575 | 19 | 163,142 | 20 | 40,960 | 21 | 22,793 |
| 22 | 1230,400 | 23 | 1161,635 | 24 | 1225,876 | 25 | 1147,623 |
| 26 | 586,570 | 27 | 160,067 | 28 | 41,766 | 29 | 23,331 |
| 30 | 1220,665 | 31 | 1136,431 | 32 | 1216,710 | 33 | 1125,075 |
| 34 | 566,901 | | | | | | |
| 35 | 157,895 | 36 | 42,746 | 37 | 24,088 | 38 | 1215,817 |
| 39 | 1118,863 | 40 | 1218,888 | 41 | 1222,130 | 42 | 1116,065 |
| 43 | 554,929 | 44 | 159,145 | 45 | 44,462 | 46 | 25,224 |

H= 4 T= 0,4

VALORI CALCOLATE

| | | | | | | | |
|----|----------|----|----------|----|----------|----|----------|
| 1 | 1025,281 | 2 | 1003,522 | 3 | 642,179 | 4 | 235,005 |
| 5 | 64,937 | 6 | 28,029 | 7 | 1004,452 | 8 | 1027,955 |
| 9 | 1002,170 | 10 | 639,364 | 11 | 234,250 | 12 | 65,914 |
| 13 | 29,067 | 14 | 1031,220 | 15 | 1003,139 | 16 | 1033,715 |
| 17 | 999,060 | | | | | | |
| 18 | 630,525 | 19 | 231,546 | 20 | 66,779 | 21 | 30,454 |
| 22 | 1035,370 | 23 | 997,579 | 24 | 1036,322 | 25 | 992,215 |
| 26 | 618,368 | 27 | 227,946 | 28 | 67,368 | 29 | 31,593 |
| 30 | 1037,228 | 31 | 989,831 | 32 | 1038,647 | 33 | 985,532 |
| 34 | 607,086 | | | | | | |
| 35 | 225,117 | 36 | 68,156 | 37 | 32,881 | 38 | 1041,105 |
| 39 | 984,709 | 40 | 1044,503 | 41 | 1045,505 | 42 | 933,096 |
| 43 | 600,255 | 44 | 224,485 | 45 | 69,530 | 46 | 34,772 |

P= 5 T= 0,5

VALORI CALCOLATE

| | | | | | | | |
|----|---------|----|---------|----|---------|----|---------|
| 1 | 898,501 | 2 | 884,172 | 3 | 629,235 | 4 | 284,468 |
| 5 | 96,132 | 6 | 41,678 | 7 | 884,956 | 8 | 900,571 |
| 9 | 893,801 | 10 | 623,349 | 11 | 283,384 | 12 | 96,590 |
| 13 | 43,065 | 14 | 903,715 | 15 | 885,934 | 16 | 906,928 |

| | | | | | | | |
|----|---------|----|---------|----|---------|----|---------|
| 17 | 834,679 | | | | | | |
| 18 | 623,497 | 19 | 280,758 | 20 | 97,086 | 21 | 44,910 |
| 22 | 910,086 | 23 | 886,083 | 24 | 913,066 | 25 | 864,471 |
| 26 | 617,170 | 27 | 277,689 | 28 | 97,383 | 29 | 46,426 |
| 30 | 916,089 | 31 | 885,400 | 32 | 919,185 | 33 | 864,010 |
| 34 | 611,309 | | | | | | |
| 35 | 275,124 | 36 | 97,843 | 37 | 48,140 | 38 | 922,453 |
| 39 | 895,053 | 40 | 925,567 | 41 | 926,973 | 42 | 884,036 |
| 43 | 607,735 | 44 | 273,775 | 45 | 98,654 | 46 | 50,569 |

P= 6 T= 0,6

VALORI CALCOLATE

| | | | | | | | |
|----|---------|----|---------|----|---------|----|---------|
| 1 | 810,214 | 2 | 799,947 | 3 | 608,521 | 4 | 317,393 |
| 5 | 127,346 | 6 | 61,436 | 7 | 800,583 | 8 | 811,919 |
| 9 | 800,065 | 10 | 608,405 | 11 | 316,339 | 12 | 127,484 |
| 13 | 63,051 | 14 | 814,333 | 15 | 802,536 | 16 | 318,146 |
| 17 | 802,595 | | | | | | |
| 18 | 606,183 | 19 | 314,199 | 20 | 127,640 | | 65,126 |
| 22 | 821,698 | 23 | 805,066 | 24 | 825,249 | | 805,110 |
| 26 | 603,261 | 27 | 311,887 | 28 | 127,732 | | 66,842 |
| 30 | 828,831 | 31 | 807,256 | 32 | 832,276 | | 807,120 |
| 34 | 600,526 | | | | | | |
| 35 | 309,843 | | 127,720 | | 68,760 | 36 | 835,531 |
| 39 | 808,781 | | 838,235 | 41 | 839,286 | 42 | 808,087 |
| 43 | 593,855 | | 308,353 | 45 | 128,251 | 46 | 71,474 |

P= 7 T= 0,7

VALORI CALCOLATE

| | | | | | | | |
|----|---------|----|---------|----|---------|----|---------|
| 1 | 744,660 | 2 | 736,856 | 3 | 586,518 | 4 | 339,058 |
| 5 | 156,490 | 6 | 85,256 | 7 | 737,392 | 8 | 746,096 |
| 9 | 737,195 | 10 | 586,734 | 11 | 338,132 | 12 | 156,424 |
| 13 | 86,872 | 14 | 748,719 | 15 | 739,647 | 16 | 751,850 |
| 17 | 740,286 | | | | | | |
| 18 | 586,037 | 19 | 336,489 | 20 | 156,378 | 21 | 89,013 |
| 22 | 755,317 | 23 | 743,040 | 24 | 758,844 | 25 | 743,790 |
| 26 | 585,000 | 27 | 334,833 | 28 | 156,353 | 29 | 90,791 |
| 30 | 762,370 | 31 | 746,288 | 32 | 765,688 | 33 | 746,687 |
| 34 | 583,991 | | | | | | |
| 35 | 333,283 | 36 | 156,386 | 37 | 92,776 | 38 | 758,668 |
| 39 | 748,477 | 40 | 770,981 | 41 | 771,800 | 42 | 747,972 |
| 43 | 583,351 | 44 | 331,870 | 45 | 156,366 | 46 | 95,556 |

P= 8 T= 0,8000001

VALORI CALCOLATE

| | | | | | | | |
|----|---------|----|---------|----|---------|----|---------|
| 1 | 693,614 | 2 | 687,428 | 3 | 565,462 | 4 | 353,346 |
| 5 | 182,878 | 6 | 110,863 | 7 | 637,884 | 8 | 694,837 |
| 9 | 687,848 | 10 | 565,925 | 11 | 352,556 | 12 | 182,695 |
| 13 | 112,448 | 14 | 697,158 | 15 | 690,132 | 16 | 700,000 |
| 17 | 690,992 | | | | | | |
| 18 | 565,948 | 19 | 351,307 | 20 | 182,542 | 21 | 114,552 |
| 22 | 703,194 | 23 | 693,690 | 24 | 706,465 | 25 | 694,703 |
| 26 | 565,913 | 27 | 350,135 | 28 | 182,472 | 29 | 116,304 |
| 30 | 709,728 | 31 | 697,185 | 32 | 712,739 | 33 | 697,790 |
| 34 | 565,822 | | | | | | |
| 35 | 348,975 | 36 | 182,403 | 37 | 118,249 | 38 | 715,383 |
| 39 | 699,514 | 40 | 717,356 | 41 | 719,015 | 42 | 699,126 |
| 43 | 565,753 | 44 | 347,698 | 45 | 182,171 | 46 | 120,966 |

P= 9 T= 0,9000001

VALORI CALCOLATE

| | | | | | | | |
|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|
| 1 | 652,446 | 2 | 647,393 | 3 | 546,079 | 4 | 362,856 |
|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|

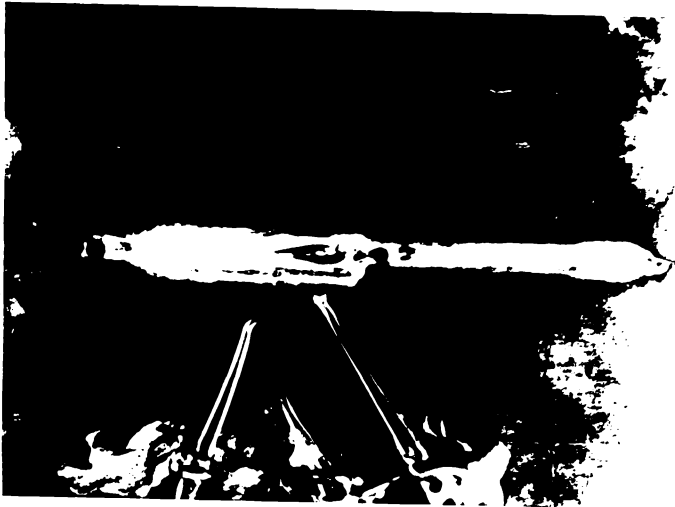


Foto 4.1
Planul de situație realizat fizic cu 4 termocuple Chromel-alunel

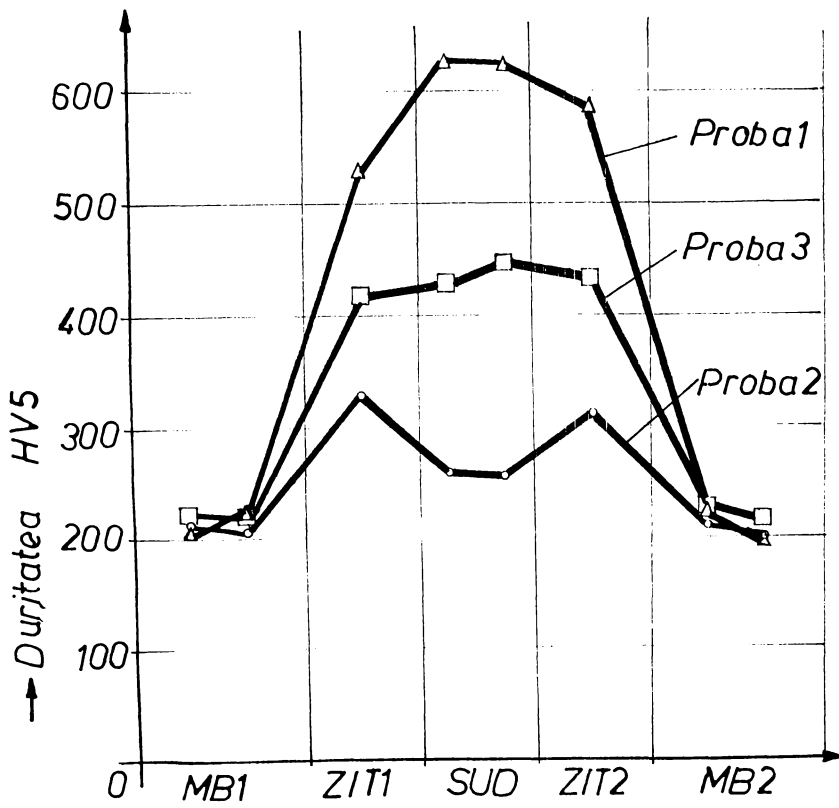


Fig.4.14 Variația durității HV5 . Proba 1 - NUL 1;
Proba 2 - 13CrMo44; Proba 3 - 13CrMo44

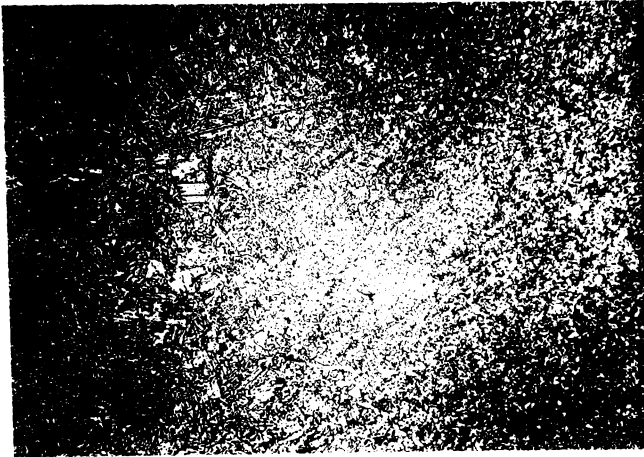


Foto 4.2
Gordon de sudura
+ 210 etel
10 rick
Nota: Bitol 1
(400x)

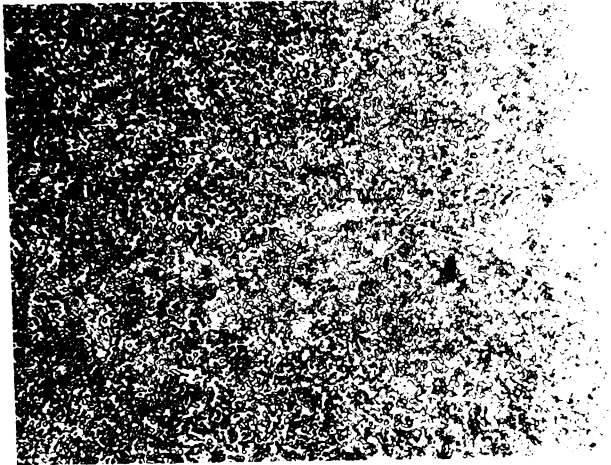


Foto 4.3
etel 1
Nota: Bitol
(400x)

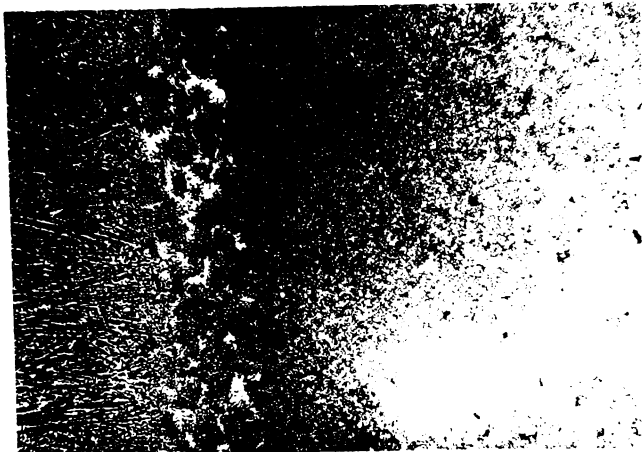


Foto 4.4
rola 1 ul 1
+ +
Nota: Bitol
(400x)

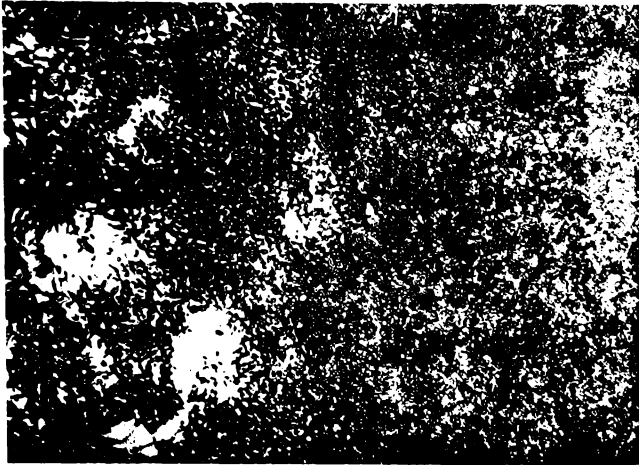


Foto 4.5
Proba 1 Jul 1
PIS (atas vital
2, 400X)



Foto 4.6
Proba 1 Jul 1
PIS (atas vital
2, 400X)

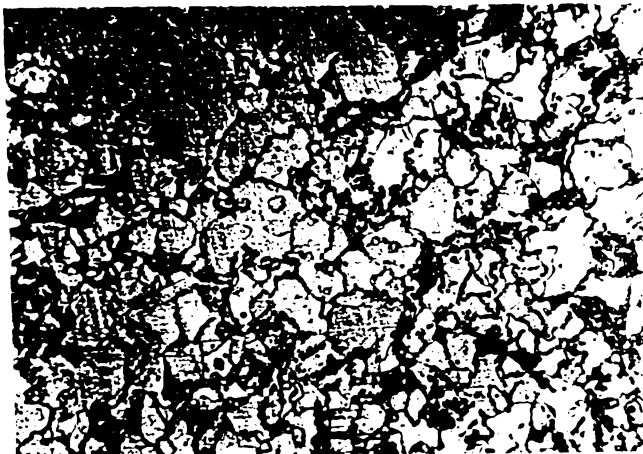


Foto 4.7
Proba 2 right
PIS (atas vital
2, 400X)

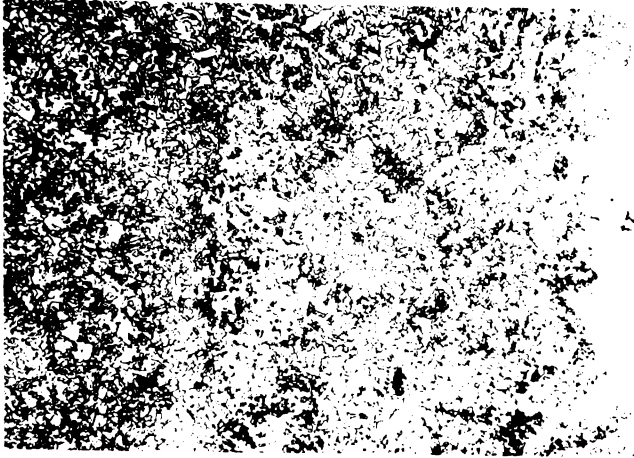


Foto 4.8
Proba 2 13 rK044
SIF (atas Hital
21, 400X)



Foto 4.9
Proba 2 13 rK044
MB+MB+SIF (atas
Hital 21, 400X)

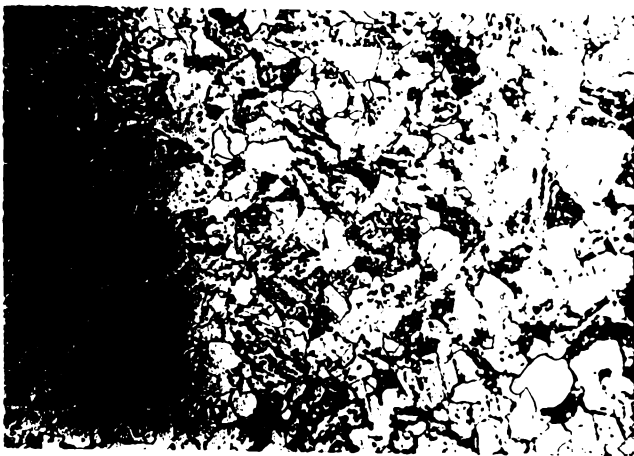


Foto 4.10
Proba 2 13 rK044
MB (atas Hital
21, 400X)

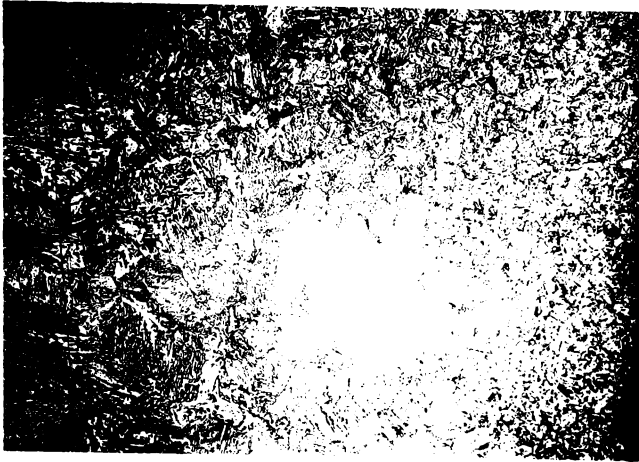


Foto 4.11
Proba 3 130rMo44
SII (atas
Nital 2%, 100X)

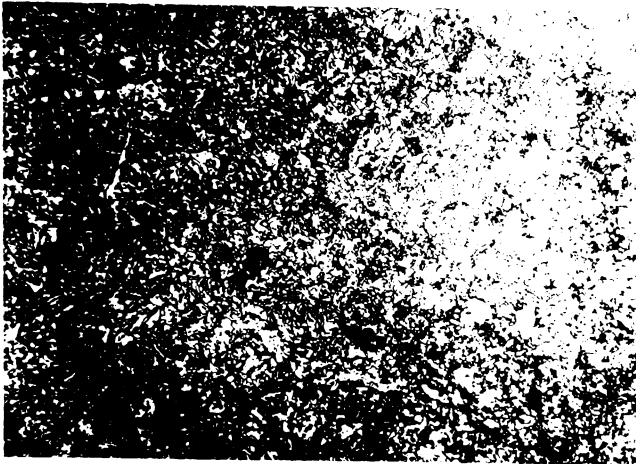


Foto 4.12
Proba 3 130rMo44
SII (atas Nital
2%, 400X)



Foto 4.13
Proba 3 130rMo44
SII (atas Nital
2%, 400X)