

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMANTULUI  
INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA

Ing. GASPAR MATEI

TEZA DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

CONDUCATOR ȘTIINȚIFIC,  
Prof. dr. doo. gt. ing. POPOVICI VLADLIIH

1988

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA	
Bib	
Volume	536457
Data	49 6

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI  
INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA

**Ing. GASPAR MATEI**

CONTRIBUTII LA OPTIMIZAREA TEHNOLOGIILOR DE SUDARE  
A OTELURILOR ALIATE DIN STRUCTURA ECHIPAMENTELOR  
HIDROENERGETICE

CONDUCATOR STIINTIFIC,  
Prof. dr. dec. şt. ing. POPOVICI VLADIMIR

1 9 8 8

BUPT

## C U P R I N S

INTRODUCERE.....	1
1. CONDIȚIILE TEHNICE DE EXPLOATARE A ECHIPAMENTELOR HIDROENERGETICE.....	7
1.1 Fenomenul de cavitație.....	7
1.1.1 Noțiuni generale despre cavitație și efectele ei	
1.1.2 Mecanismul de distrugere cavitațională.....	8
1.2 Coroziunea.....	13
1.3 Eroziunea.....	14
2. OȚELURI VOLOSITE PENTRU STRUCTURI SUDATE ALE ECHIPAMEN- TELOR HIDROENERGETICE.....	15
2.1 Oțeluri inoxidabile.....	16
2.1.1 Caracteristicile oțelurilor martensito-feri- tice utilizate în fabricația echipamentelor hidroenergetice.....	19
2.2 Oțeluri slab aliate cu mangan.....	22
2.3 Comportarea la sudare a oțelurilor slab aliate cu mangan și a oțelurilor aliate de tip 12Cr13o.....	23
3. STUDIUL TEHNOLOGIILOR DE SUDARE A STRUCTURILOR DIN OȚELURI ALIATE PENTRU ECHIPAMENTE HIDROENERGETICE.....	28
3.1 Prezentarea structurilor sudate din echipamentele hidroenergetice.....	28
3.2 Tipuri de îmbinări sudate din structura echipamen- telor hidroenergetice.....	28
3.3 Proiectarea tehnologiilor de sudare.....	33
3.3.1 Simularea ciclurilor termice.....	33
3.3.1.1 Prezentarea generală a metodei simu- lării ciclurilor termice.....	33
3.3.1.2 Alegerea parametrilor pentru simulare.	36
3.3.1.3 Determinarea prin calcul a curbelor de	

incalzire răcire.....	37
3.3.1.4 Executarea operației de simulare.....	44
3.3.1.5 Examinarea piscelor și interpretarea rezultatelor.....	45
3.3.2 Sudarea electrică manuală cu electrod învelit a oțelurilor similare 12Cr13o.....	55
3.3.2.1 Pregătirea materialelor de bază în ve- derea sudării.....	55
3.3.2.2 Stabilirea parametrilor tehnologici..	57
3.3.2.3 Prescripții tehnologice la sudarea electrică manuală a oțelurilor 12Cr13o..	57
3.3.3 Sudarea MIG a oțelurilor similare 12Cr13o - 12Cr13o.....	59
3.3.3.1 Pregătirea materialelor de bază în vederea sudării MIG.....	59
3.3.3.2 Parametrii tehnologici la sudarea MIG.....	60
3.3.3.3 Prescripții tehnologice la sudarea MIG.....	61
3.3.4 Sudarea semiautomată în CO <sub>2</sub> a oțelurilor diferențiale 12Cr13o- R44-6a.....	62
3.3.4.1 Parametrii tehnologici la sudarea MAG.....	63
3.3.4.2 Prescripții tehnologice la realizarea stratului intermediar și sudarea MAG..	65
3.3.5 Sudarea manuală a cuplului de oțeluri 12Cr13o - R44-6a.....	65
3.3.5.1 Pregătirea componentelor în vede- rea sudării.....	66
3.3.5.2 Parametrii tehnologici utilizați la sudarea manuală cu electrozi în- veliți.....	66

4. CERCETARI EXPERIMENTALE.....	70
4.1 Programul de cercetări experimentale.....	70
4.2 Stabilirea probelor și încercărilor.....	72
4.3 Planul de prelevare al epruvetelor.....	74
4.4 Realizarea îmbinărilor sudate ale probelor.....	77
4.5 Efectuarea încercărilor, analizelor și interpretarea rezultatelor.....	85
4.5.1 Analiza compoziției chimice.....	85
4.5.2 Încercări mecanice.....	87
4.5.3 Analiza metalografică.....	92
4.5.4 Analize la microsonda electronică.....	101
5. OPTIMIZAREA TEHNOLOGIILOR DE SUDARE A OTELURILOR ALIATE PENTRU ECHIPAMENTELE HIDROENERGETICE.....	107
5.1 Stabilirea variantei optime de sudare cu ajutorul metodei " ELECTRE ".....	108
5.1.1 Determinarea pragurilor pentru coeficienții de concordanță și discordanță-Decizia.....	114
5.1.2 Elaborarea schemei logice și a programului de op- timizare pe calculator.....	116
5.2 Stabilirea variantei optime de sudare cu ajutorul metodei " K ".....	117
6. ORGANIZAREA PROCESULUI DE FABRICATIE AL STRUCTURILOR SU- DATE DIN ECHIPAMENTELE HIDROENERGETICE.....	125
6.1 Analiza organizării actuale a fabricației structurilor sudate pentru echipamentele hidroenergetice la I.C.M Caransebeș.....	126
6.1.1 Organizarea fluxului tehnologic.....	126
6.1.2 Analiza nivelului de tehnicizare al locurilor de muncă.....	131
6.2 Aspecte critice ale modului actual de organizare.....	134
6.3 Soluții propuse pentru modernizarea organizării fabri- cației.....	138

6.3.1	Reorganizarea fluxului tehnologic.....	138
6.3.2	Ridicarea nivelului de tehnicizare al locu- rilor de muncă.....	138
6.3.2.1	Debitare-pregătire.....	139
6.3.2.2	Lăcătuşerie-asamblare.....	139
6.3.2.3	Sudură şi încărcare.....	140
6.3.2.4	Prelucrări mecanice.....	141
6.3.2.5	Ajustare şi control tehnic de ca- litate.....	142
6.3.2.6	Acoperire de protecţie.....	143
7.	CONSIDERAȚIILE FINALE SI CONTRIBUTII ORIGINALE.....	150
7.1	Considerații finale.....	150
7.2	Contribuții originale.....	152
7.2.1	In domeniul cercetării fundamentale.....	152
7.2.2	In domeniul cercetării aplicative.....	152
	BIBLIOGRAFIE.....	154

## I N T R O D U C E R E

În conformitate cu Programul - Directivă de cercetare și dezvoltare în domeniul energiei pe perioada 1981-1990 și orientările principale până în anul 2000 privind măsurile în asigurarea și utilizarea resurselor energetice, este promovată ca o direcție prioritară intensificarea punerii în valoare a potențialului hidroenergetic al țării. În acest sens vor fi amenajate atât centralele hidroelectrice cu puteri mari cât și microhidrocentrale care să asigure creșterea gradului de utilizare al potențialului hidroenergetic național de la 30% în 1980 la aproximativ 65% în 1990, iar până în anul 2000 va trebui să se realizeze valorificarea integrală a potențialului hidroenergetic de care dispune țara noastră.

Cercetarea științifică trebuie să elaboreze soluții pentru realizarea de noi echipamente cu randamente superioare, recuperarea și utilizarea căldurii de potențial scăzut, perfecționarea schemelor și a regimurilor de funcționare a sistemului energetic și a instalațiilor componente precum și realizarea de tehnologii moderne care să asigure obținerea de produse cu un înalt nivel calitativ cât și reducerea consumului energetic pe unitatea de venit național.

Acordând o importanță deosebită introducerii și folosirii pe scară largă a tehnologiilor moderne de sudare care să asigure pe lângă îmbunătățirea parametrilor tehnici și reducerea consumurilor de materii prime și materiale, se creează premisele obținerii unei eficiențe economice ridicate.

Sudarea oțelurilor aliate cât și a celor diferit aliate folosind straturile intermediare pentru limitarea și evitarea eterogenităților chimice, structurale și a proceselor de difuzie în zona influențată termic a îmbinării sudate cu ajutorul unor tehnologii moderne și materiale de adăos produse în țară, optimizarea tehnologiilor de sudare prin metoda multicriterială cât și modernizarea organizării fabricației structurilor sudate pentru echipamente hidroenergetice constituie tematica cercetărilor desfășurate în prezenta lucrare.

Teza este structurată pe șapte capitole, cuprinde 153 pagini, 40 figuri + fotografii, 52 tabele, trei programe calculator

și o listă bibliografică de 154 titluri în care sînt incluse și cele publicate de autor.

Capitolul 1 prezintă condițiile în care lucrează echipamentele hidroenergetice determinate de acțiunea fluidului de lucru asupra elementelor cu care acesta vine în contact, și care produce deteriorarea suprafeței acestora datorită apariției fenomenelor de cavitație, coroziune și eroziune.

În afara factorilor amintiți în funcționare se evidențiază și apariția solicitărilor dinamice variabile care generează vibrații ce se transmit întregului ansamblu datorate impactului cu fluidul de lucru cît și repetatelor porniri și opriri ale echipamentului.

Paralel cu prezentarea fenomenelor de cavitație, coroziune și eroziune se precizează și măsurile ce trebuie luate încă din proiectare pentru diminuarea acțiunii factorilor evidențiați.

Alegerea oțelurilor pentru realizarea structurilor sudate ale echipamentelor hidroenergetice prezentate în capitolul 2, s-a făcut în funcție de cerințele impuse prin condițiile de exploatare, diferențiat pentru elementele care intră în contact cu fluidul energetic și pentru cele care asigură structura de rezistență și rigidizare a construcției.

Pentru execuția elementelor afectate de fluidul de lucru s-au ales din diagrama Schaeffler oțelurile inoxidabile ferito-martensitice de tip 12Cr13o rezistente la cavitație și coroziune, prezentînd și avantajul că nu au în compoziție, nichel - element scump și deficitar.

Cercetările experimentale asupra acestor oțeluri cuprind studiul compoziției chimice, caracteristicii mecanice, analize fractografice și structurale pe probe cu grosimi de 12 și 30 mm. Din studiul efectuat la comportarea la sudare a acestor oțeluri s-a evidențiat necesitatea preîncălzirii lor înainte de realizarea îmbinării la 200°C, precum și un tratament termic de revenire postsudare la 750°C.

Prezentarea structurilor sudate reprezentative ale echipamentelor hidroenergetice analizate, precum și studiul tehnologiilor de sudare a acestor structuri din oțeluri similare de tip 12Cr13o-12Cr13o folosînd procedeele manual cu electrod învelit și MIG, cît și a celor disimilare 12Cr13o - R44-6a prin procedeele manual cu electrod învelit și MAG, fac obiectul capitolului 3.

La baza studiului tehnologiilor de sudare au stat rezul-



tatele și concluziile de la simularea ciclurilor termice realizată pe un număr de 10<sup>3</sup> epruvete. Având în vedere că la o îmbinare sudată zona influențată termic este zona cea mai sensibilă metoda menționată studiază tocmai efectele căldurii produse în timpul sudării asupra metalului de bază.

Parametrii ciclurilor termice s-au determinat cu ajutorul calculatorului electronic folosind ca date de intrare energia liniară la sudare, temperatura de vîrf reprezentînd zona de supraîncălzire a ZIT și o serie de alți parametri ce țin de caracteristicile fizice ale materialului folosit și de procedeul de sudare.

Cu parametri astfel calculați s-au trasat cu ajutorul calculatorului, curbile de variație a temperaturii în funcție de timp, din care se deduc viteza de răcire a îmbinării după sudare și timpul în care temperatura scade între 800 și 500°C.

După efectuarea operației de simulare, 54 de epruvete din 10<sup>3</sup> au fost supuse unui tratament termic de revenire la 750°C. În urma corecțiilor experimentale constînd din analize chimice, încercări mecanice, analize sclerometrice, fractografice și structurale, rezultate bune s-au obținut numai pentru energii liniare a căror valori nu au depășit 15000 J/cm, și pentru probele la care s-a aplicat tratamentul termic de revenire.

O atenție deosebită s-a acordat în acest capitol și stabilirii tehnologiei de sudare a oțelurilor disimilare 12Cr13o - R44-6a folosind procedeul MAG cu ajutorul unui strat intermediar din oțel austenitic prin care s-au înlocuit materialele de adneș aliat de tip austenitic pentru realizarea sudurii, cu materiale de adneș nealiate de tip perlitic.

Programarea corecțiilor experimentale a probelor sudate realizate pentru fiecare procedeu în parte s-a desfășurat pe baza unei organigrame care cuprinde toate etapele procedurii de sudare și încercările la care acestea au fost supuse.

Rezultatele obținute în urma corecțiilor experimentale se sînt cuprinse în capitolul 4 confirmînd corectitudinea alegării parametrilor tehnologiei pentru fiecare procedeu de sudare.

Valorile rezultate în urma corecțiilor experimentale din punctele de compoziției chimice, încercărilor mecanice, analizele structurale, fractografice și sclerometrice sînt apropiate de cele obținute prin simularea ciclurilor termice la sudare, ajunghin - du-se la aceeași concluzie prin care s-a constatat necesitatea

aplicării tratamentului termic după sudare.

Analizele efectuate cu microsonda electronică au avut ca scop cercetarea factorilor care determină eterogenitățile chimice și structurale, respectiv procesele de difuzie din îmbinările sudate ale oțelurilor diferit aliate și elaborarea modalităților tehnologice de limitare a acestora.

Aceste analize au permis determinarea limitelor unui domeniu de existență a energiei liniare, fapt ce a dus la eliminarea structurilor fragile formate dintr-o matrice ferito - martensitică cu carburi de crom, precum și luarea de măsuri pentru reducerea cantităților de martensită de oălire prin transformarea ei în martensită de revenire și sorbită, care să asigure realizarea unor îmbinări sudate corespunzătoare din punct de vedere al condițiilor de exploatare.

Pe baza datelor rezultate în urma cercetărilor experimentale efectuate, s-au fixat parametrii ce definesc programul de optimizare a tehnologiilor de sudare prin metode multicriteriale (capitolul 5). Optimizarea realizată prin metodele multicriteriale prin care s-au luat în considerare atât factori de natură tehnică cât și economică, a permis măsurarea influenței simultane a acestora cât și opțiunea fiecăruia în parte asupra tehnologiilor de sudare. Cele patru variante de sudare analizate în procesul de optimizare au fost fiecare în parte caracterizate prin șapte indicatori reprezentativi de natură tehnică și economică care au fost considerați definitorii pentru procesul de sudare și anume: reziliența și duritatea îmbinării sudate, productivitatea, consumurile de energie și materiale de adăos, prețul de achiziție a instalațiilor și durata de recuperare a investiției.

Determinarea prin calcul a variantei optime de sudare s-a realizat cu ajutorul calculatorului electronic, independent loc atât pentru oțeluri similare ferito - martensitice cât și pentru oțeluri disimilare ferito - martensitice cu oțel slab aliate cu mangân.

Veridicitatea metodei de optimizare "ELECTRE" a variantelor tehnologice de sudare a fost verificată și demonstrată prin folosirea metodei complementare matriceale "K", prin care utilizându-se calculul matematic matriceal s-au obținut rezultate similare. La aplicarea metodei "K" s-a operat cu aceiași factori de natură tehnică și economică utilizați și la metoda "ELECTRE".

Transformarea în imagini a rezultatelor calculului de optimizare efectuate cu ajutorul calculatorului a fost realizată prin vizualizarea acestora într-un graf ale cărui vir - furi sînt cele patru variante tehnologice de sudare, săgețile indicînd sensul de parcurgere de la varianta mai bună către cea mai slabă.

Capitolul 6 cuprinde organizarea fabricației de structuri sudate ale echipamentelor hidroenergetice realizate în ICM Caransebeș. Analiza situației actuale a organizării fabricației a cuprins studiul amplasării locurilor de muncă pe fluxul tehnologic cît și determinarea gradului de tehnicizare pe locuri de muncă și pe întregul proces de fabricație. Deficiențele constatate în urma analizei efectuate la fabricația de structuri sudate au fost înlăturate prin măsurile de modernizare propuse, în urma cărora s-a obținut o reducere a deplasării subansamblelor pe fluxul tehnologic cu peste 900 m și o creștere importantă a gradului de tehnicizare a fabricației pe locuri de muncă.

Propunerile de modernizare a fabricației sînt structurate în două etape corelate cu volumul producției în funcție de investițiile necesare pe fiecare etapă în parte.

În finalul tezei, capitolul 7 prezintă considerațiile finale rezultate din lucrare și contribuțiile originale.

Teza se încheie cu prezentarea bibliografiei cercetate.

Rezultatele obținute și concretizate în prezenta teză de doctorat cu largi aplicații în industria construcțiilor de margini sînt urmare a unei activități de peste nouă ani sub îndrumarea de înaltă competență tehnico - științifică, sistematică și nepreocupată a conducătorului științific tov. prof. dr. doc. șt. ing. Popovici Vladimir căruia îi mulțumesc din toată inima pentru sprijinul permanent și pentru indicațiile prețioase acordate pe timpul elaborării tezei.

Totodată mulțumesc din toată inima tovarăgului prof. dr. doc. ing. Nanu Aurel pentru sprijinul moral și îndrumările de înaltă specialitate acordate pentru elaborarea acestei lucrări.

Mulțumiri se cuvin de asemenea cadrelor didactice de la Catedra " Utilajul și Tehnologia Sudării " și colectivului de " Studiul metalelor " din cadrul Catedrei de " Tehnologia Construcțiilor de Margini " de la Facultatea de Mecanică a Institutului Politehnic " Traian Vuia " din Timișoara , pentru con-

sultațiile de specialitate acordate.

Adus de asemenea mulțumirii specialiștilor de la ISIM Timișoara pentru sprijinul acordat la realizarea unor încercări și pentru consultațiile acordate, cât și colegilor de la Intreprinderea de Construcții de Mașini din Caransebeș pentru ajutorul acordat în finalizarea acestei lucrări. .

## C A P I T O L U L 1

### CONDITIILE TEHNICE DE DEPLOATARE A ECHIPAMENTELOR HIDROENERGETICE

Elementele din componența echipamentelor hidroenergetice lucrează în condiții specifice datorate - modului cu care acestea vin în contact și a diverselor fenomene ce apar în funcționare. Aceste condiții sînt de natură externă sau rezultate din acțiunea forțelor dinamice oscilante, a vibrațiilor și cu toate că acționează asupra materialului și implicit asupra îmbinărilor sudate cu eforturi situate sub limita de curgere, acestea se pot fisura, rupe fragil sau distruge prin oboseală.

Ca o particularitate în funcționarea acestor echipamente este modul discontinuu în care lucrează, datorat deșelor porniri și opriri la care sînt supuse, și care atrag după sine apariția vibrațiilor și a unor solicitări variabile la valori ce depășesc cu mult pe cele din timpul funcționării continue.

Particularitățile prezentate, impun ca din proiectare să se stabilească materiale care să răspundă cerințelor impuse acestor echipamente, să li se asigure o rigiditate corepunzătoare și un grad sporit de siguranță în funcționare, avînd în vedere că orice intervenție ulterioară devine deosebit de dificilă și costisitoare.

Pe lângă solicitările variabile care acționează asupra echipamentelor hidroenergetice datorate contactului jetului de lichid și a deșelor porniri și opriri cauzate de lipsa de apă pentru o funcționare continuă, mai sînt și alte fenomene perturbatoare care apar la elementele ce vin în contact cu fluidul de lucru, cele mai importante fiind:

- cavitația
- coroziunea
- eroziunea

#### 1.1 Fenomenul de cavitație

##### 1.1.1 Noțiuni generale despre cavitație și efectele ei.

Fenomenul de cavitație apare în toate mașinile și utila -

jole hidroenergetice precum și în conducte, instalații sau motoare cu combustie internă, prin care circulă fluid de orice natură. De obicei, acest fenomen nu apare niciodată singur fiind asociat cu fenomene de coroziune și eroziune, în condițiile unor încălziri variabile exterioare rezultate din acțiunea unor forțe dinamice aciclice sau a vibrațiilor.

Cavitația este un fenomen de ordin mecanic cauzat de mișcarea neregulată a fluidului, care se manifestă prin formarea unor cavități microscopice sub efectul dinamic al unui lichid și este atribuit șocurilor produse de acumulările de vapori în zonele de depresiune, vapori care apoi condensează brusc sub efectul creșterii presiunii sau depresiunii, se sparg și duc la dislocări de material.

Intensitatea acestui fenomen depinde, printre alți factori, și de temperatură, deoarece, presiunea vaporilor crește odată cu temperatura.

Principalele efecte care definesc acest fenomen sînt:

- modificarea caracteristicilor hidrodinamice ale curentului,
- distrugerea materialului;
- zgomote și vibrații.

Prezența cavitației atrage după sine modificarea liniilor de curent, discontinuități în fază lichidă, apariția unui amestec de apă, vapori și gaze, ceea ce duce la modificarea rezistențelor hidraulice. La turbine prezența cavitației, exprimată prin modificarea curgerii, se traduce prin scăderea randamentului. Efectul cel mai grav al acestui fenomen este distrugerea corpurilor solide, nemetalice sau chiar metalice, indiferent dacă sînt active sau inerte din punct de vedere chimic.

Fenomenul de cavitație, fiind în general un proces dinamic, este însoțit de intense zgomote și vibrații, zgomotele apărînd la surparea cavităților, iar vibrațiile din lichid se transmit prin palete, în întreaga construcție hidroenergetică.

### 1.1.2 Mecanismul de distrucere cavitațională.

În cazul lichidelor omogene, apariția unei bule cavitaționale presupune existența unei tensiuni suficient de mari, care provoacă ruperea lichidului a cărui particole sînt ținute împreună de forțele de coeziune intermoleculară și presiunile exterioare. Calcululele arată că, în cazul stării pseudo-cristaline a lichidelor cu un număr mare de spații libere avînd raze de cea  $10^{-6}$  cm, sînt necesare tensiuni de 1000...4000 atmosfere ca să apară

ruperea, și deci, primii germeni de cavitație. Cum însă aceste valori diferă mult de cele experimentale apare incertă formarea nucleelor de cavitație plecând de la aceste goluri, a căror probabilitate de apariție este neglijabilă.

De obicei în lichide există impurități care formează așa zisele "puncte slabe", de rezistență scăzută, unde pot apare germeni de cavitație, dar s-a constatat că, pentru ca impuritățile să influențeze apariția de cavitație, se compune o modificare apreciabilă a viscozității, densității, tensiunii superficiale și a proprietăților termice.

Plecând de la aceste concluzii, în mecanismul de distrugere cavitațională, s-au emis mai multe teorii dintre care amintim:

- Teoria mecanică, admite că la baza distrugerilor prin cavitație a diferitelor materiale, stă efectul mecanic al ei materializat prin șocuri sau microjeturi. Ipoteza distrugerii prin șocuri, este acceptată de majoritatea specialiștilor și după cum rezultă din figurile 1.1 a și 1.1 b / 2 pag. 82/, surparea unei bule la perete (fig. 1.1 a) sau în apropierea acestuia (fig. 1.1 b), este rezultatul șocurilor cauzate de undele și suprapresiunile care radiază de la centrul de surpare al bulelor spre pereții solizi.

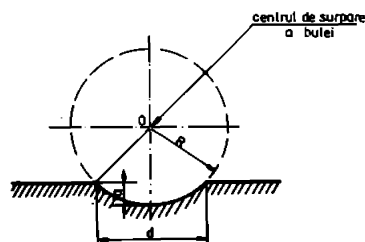


Fig. 1.1 a

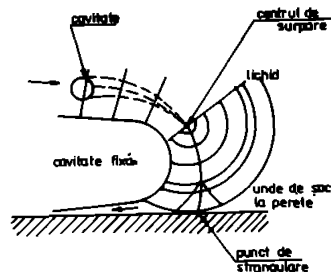


Fig. 1.1 b

Distrugerea prin microjeturi este un model de distrugere cavitațională bazat pe șocurile create de microjeturile de lichid ce se formează în faza de surpare a bulei, și a fost sugerat pentru prima dată de M. Karnfeld și I. L. Suvarov.

- Teoria termogalvanică explică apariția, în procesul de cavitație, a unor curenți termogalvanici și electrochimici corozivi.

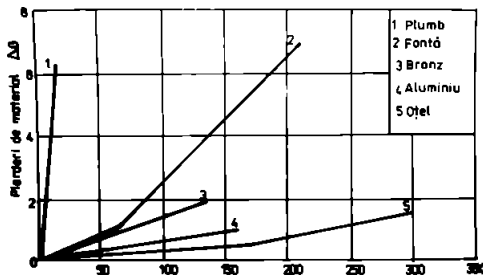
- Teoria electrochimică are ca explicație a procesului de cavitație, apariția unor curenți electrici între suprafețele an-

dica și catodice scufundate în electrolit, care cauzează coroziunea electrochimică.

Un factor esențial, în construcția și funcționarea elementelor sau echipamentelor hidromecanice, îl constituie cunoașterea caracteristicilor diferitelor materiale la distrugere cavitațională, aceste caracteristici sînt dependente de proprietățile mecanice, fizice, metalurgice și electrice ale materialului, precum și de intensitatea și stadiul cavității.

În vederea determinării acestor caracteristici s-au imaginat și construit metode și aparate, respectiv sisteme de reprezentare a acestor caracteristici. S-a generalizat reprezentarea distrugerilor cavitaționale în timp, sub forma  $\Delta G = f(t)$  unde  $\Delta G$  este pierderea în greutate (sau  $\Delta V$  în volum), măsurabilă în anumite condiții date cu exactitate cît mai mare, într-un interval de timp cunoscut.

Pentru diferite materiale, așa cum reiese din figura 1.2 /2, pag.87/ aceste curbe s-au obținut într-o instalație de tip Venturi, unde viteza curentului de apă s-a menținut constantă,  $v=65$  m/s



Curbele numerotate de la 1 la 5 au următoarea semnificație:

- 1 - Pb.
- 2 - fontă
- 3 - bronz
- 4 - Al.
- 5 - oțel

Cu privire la interpretarea distrugerilor cavitaționale, una dintre cele mai semnificative observații este

Fig.1.2

cea referitoare la dependența vitezei de distrugere  $\frac{\Delta G}{\Delta t}$ , de timpul de expunere la cavitație.

În aceste caracteristici se pot distinge patru zone, așa cum reiese din fig. 1.3 /2, pag.88/, și anume:

1. Zona de incubație în care pierderile în greutate sînt neesențiale.
2. Zona de acumulare în care materialul absoarbe ener-

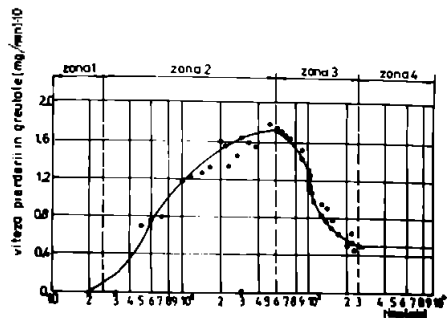


Fig.1.3



gie din ce în ce mai importantă, ceea ce provoacă pierderi apreciable în greutate și ruperi de material.

3. Zona de atenuare unde viteza de distrugere scade.
4. Zona staționară în care se stabilizează o viteză de distrugere constantă. Se presupune că acumularea aerului în orăzările așchii ale probei deteriorate ar fi cauza principală a stabilirii unei viteze constante de distrugere.

Constatările efectuate, de A. Kuzman și L. Sisek din cadrul Laboratorului de Mașini hidraulice de la Institutul Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara, pe o instalație magnetostriktivă au dus la concluzii similare conform figurii L.4/2, pag. 88/.

Din analiza curbelor  $\Delta G = f(t); \frac{\Delta G}{\Delta t} = f(t)$

și a diferitelor distrugeri de materiale, s-a demonstrat că proprietățile fizico-mecanice, chimice, electrice și termice sînt hotărîtoare din punct de vedere al rezistenței la cavitație.

Cu toate că fenomenul de cavitație a fost studiat și cunoscut, nu s-a reușit să se definească un criteriu de similitudine care să-l caracterizeze, și care să permită evaluarea cantitativă a materialului dislocat. S-au făcut mai multe propuneri în vederea definirii unor criterii de evaluare cantitativă a pierderilor prin cavitație, dintre care amintim, coeficientul de

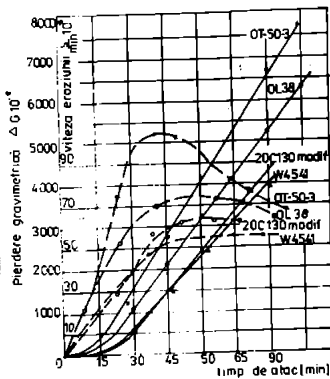


Fig. 1.4

distrugere cavitațională  $C_D$  exprimat cu relația:

$$C_D = \frac{\sum E_{interne}}{\sum E_{externe}} \quad / 2, \text{ pag. 91, Relația 1 /}$$

$\sum E_{interne}$  - reprezintă suma tuturor energiilor acumulate de material necesare deformațiilor, oboselii, modificărilor cristaline, respectiv distrugerii acestuia.

$\sum E_{externe}$  - reprezintă însumarea tuturor energiilor externe prezentate în curentul cavitațional și care participă sub diferite moduri la distrugerea materialului.

Aceste energii sînt:  $\sum E_{900}$  - energia transmisă prin unda

de gaze,  $E_{jet}$  , energia microjeturilor ,  $E_{tg}$  , energia tor -  
nagalvanică,  $E_{elchim}$  , energia electrochimică și  $E_{chim}$  , ener-  
gia chimică.

Relația (1) devine:

$$C_D = \frac{\sum E_{interne}}{E_{gaze} + E_{jet} + E_{tg} + E_{elchim} + E_{chim}} \quad /1/$$

Un calcul exact cu această relație nu este posibil , dar  
se recomandă luarea în considerare simultană a factorilor de la  
intrare și ieșire, care reglează procesul, reținerea celor prin -  
cipali și neglijarea celor secundari.

În vederea determinării unor oțeluri inoxidabile rezin-  
tente la cavitație s-au făcut cercetări experimentale pentru  
evaluarea pierderilor în instalații de tipul tubului Venturi,  
sau prin metoda vibrațiilor, a căror rezultate sînt prezentate  
în tabelul 1.1 / 3, pag. 215/.

Tabelul 1.1

Tip material	Compoziție chimică [%]		Pierdere [mm <sup>3</sup> ]
<b>Foia</b>			<b>636</b>
Oțel turnat (tip turbină)	Mn = 0,7;	C = 0,34	62,4
Oțel inoxidabil turnat	Cr = 14,0;	Ni = 1	32
	Cr = 14,0;	Ni = 2	12,9
	Cr = 14,0;	Ni = 3	9,8
	Cr = 18,0;	Ni = 8	8,8
Strat inoxidabil	Cr = 12,0;	Ni = 5,0	0,4
Încălețit prin sudare pe oțel nealiat	Cr = 18,0;	Ni = 8,0	8,1
(2 straturi)	Cr = 17,0;	Ni = 7,0	1,3

Se poate concluziona că structura acestor oțeluri are o  
influență mică asupra rezistenței la cavitație, astfel un oțel  
18-8 austenitic, nu rezistă mult mai bine decât un oțel marten-  
sitic cu 14% crom și 3% nichel.

Încercările făcute cu ajutorul metodei prin oscilare con-  
firmă faptul că prezența nichelului în aceste oțeluri martensi-  
tice, este favorabilă / 3 /.

Înlăturarea distrugerilor cavitaționale , sau atenizarea lor

protecția zonelor expuse acestui fenomen, în instalațiile hidroenergetice, se realizează prin:

- proiectarea sau reproiectarea elementelor componente astfel încît fenomenul de cavitație să fie pe cît posibil, minim;

- utilizarea unor materiale rezistente la cavitație pentru execuția părților constructive cel mai mult afectate de acest fenomen. Astfel paletele rotorilor turbinelor hidraulice se vor executa din oțel aliat, comerele se realizează din același oțel sau bimetal, sau se pot aplica învelișuri protectoare din materiale metalice sau nemetalice, iar în zonele cavitaționale se poate introduce aer.

În vederea reducerii efectului distrugător al cavitației s-a încercat depunerea diferitelor materiale, metalice sau nemetalice pe suprafețele cel mai mult afectate, însă cum învelișurile metalice depuse prin pulverizare ridică încă probleme rămîne ca aplicabil procedeele de învelișare cu electrozi inoxidabili sau de altă natură, rezistenți la cavitație și coroziune. O metodă artificială de protecție împotriva distrugerii cavitaționale este introducerea aerului în aceste zone pe diverse căi, fie prin arborele turbinei, fie prin conducte sau dispozitive speciale. Ținînd cont de faptul că în mod normal apa conține 0,5 % - 2% aer se recomandă /2/ un debit de aer suplimentar între 0,15 % - 0,5 %, iar ca acest aer în amestec cu apa să ajungă în zonele cavitaționale, chiar în cazul variațiilor mari de presiune se vor utiliza hidroemulsioare sau conul rotorului perforat, metodă testată deja în țară.

## 1.2. Coroziunea

Apare asociat fenomenului de cavitație și constituie deteriorarea suprafeței de frecare și deci pierdere de material, de greutate, datorită acțiunii simultane sau succesive a factorilor chimici agresivi din componența mediului lichid respectiv și a solicitărilor mecanice. Coroziunea se produce prin înălbăturarea produsilor de oxidare care au luat naștere pe suprafața de contact cu fluidul de lucru atît în perioada de repaus cît și în timpul funcționării.

Mecanismul de deteriorare prin coroziune a suprafețelor ce vin în contact direct cu fluidul în mișcare se desfășoară în două faze:

- formarea produşilor de reacţie pe cale chimică, electrochimică şi mecanochimică;

- înlăturarea acestor produşi de fluidul de lucru în mişcare.

a) Coroziunea chimică este o acţiune continuă atât a mediului ambiant cât şi a fluidului de lucru asupra suprafeţelor cu care acestea vin în contact şi depinde în mare măsură de parametrii fizico-chimici ai materialului expuşi oxidării.

b) Coroziunea electrochimică presupune pe lângă reacţiile chimice şi un transfer de sarcini electrice între metal şi mediul coroziv. Între metalul încărcat cu sarcini de un anumit semn şi lichidul ce conţine sarcini de semn contrar ia naştere o diferenţă de potenţial, denumită potenţial de contact a cărei mărime în stratul dublu depinde de tendinţa ionului metalic de a părăsi reţeaua, această reacţie de ionizare a metalului constituind reacţia anodică a procesului de corozivare. Electronii eliberaţi în procesul de oxidare trebuie să fie acceptaţi de un component al mediului coroziv, a doua reacţie constituind-o reducerea lichidului de lucru, ea fiind reacţia catodică a procesului de corozivare.

Astfel metalul şi mediul coroziv (fluidul de lucru) vor fi deci străbătute de un curent electric propriu generat de procesele electrochimice care se desfăşoară la limita celor două faze.

Coroziunea electrochimică este fenomenul care alături de cavitaţie contribuie la deteriorarea suprafeţelor elementelor din echipamentele hidroenergetice ce vin în contact direct cu fluidul de lucru şi diminuarea acţiunii acestuia se obţine prin alegerea unor materiale rezistente la corozivare şi lustruirea suprafeţelor de contact cu fluidul în mişcare.

### 1.3 Eroziunea

Particulele solide dispersate în masa de fluid în mişcare, acţionează ca un element abraziv asupra componentelor echipamentului hidroenergetic cu care vine în contact determinând, prin şocuri mecanice şi abraziune desprinderea unor părţi mici de metal. Acest fenomen se produce pentru presiuni ale fluidului între 5 şi 40 N/cm<sup>2</sup> şi are ca urmare în timp, erodarea şi uzura suprafeţei de contact ceea ce duce la mişcarea dimensională a acesteia. Diminuarea uzurii prin eroziune metalică se face prin alegerea unor materiale rezistente la eroziune şi mişcarea rugozităţii suprafeţelor ce vin în contact direct cu fluidul de lucru.

## C A P I T O L U L 2

### OȚELURI FOLOSITE PENTRU STRUCTURI SUDATE ALE ECHIPAMENTELOR HIDROENERGETICE

Cunoscând mediul și factorii care acționează asupra elementelor structurilor din oțel ale echipamentelor hidroenergetice, putem concluziona că acestea trebuie să asigure rezistență la cavitație, coroziune și să asigure rigiditate întregului ansamblu din care face parte. Rigiditatea conferă acestor echipamente rezistență la șocurile de pornire și oprire, împiedicând totodată vibrarea masei de metal staționară sau în mișcare și atenuarea vibrațiilor de rezonanță.

În consecință elementul primordial luat în considerare la proiectarea unui echipament hidroenergetic nu este rezistența la rupere a materialelor elementelor din care acestea se confecționează, ci rigiditatea și masivitatea construcției necesară pentru împiedicarea și atenuarea vibrațiilor.

Ținând cont de natura și condițiile de funcționare, elementelor componente ale echipamentelor hidroenergetice li se poate face următoarea clasificare:

- elemente ce trebuie să asigure rezistență la cavitație și coroziune;

- elemente din materiale (oțeluri) cu caracteristici de plasticitate ridicate pentru a putea prelua eforturile date de sollicitările dinamice create de impactul cu fluidul energetic;

- elemente de rigidizare și consolidare în structura de beton care asigură masivitate și stabilitate construcției.

Pentru prima categorie de elemente, oțelurile care se pretează și se recomandă sînt oțelurile aliate în special cele inoxidabile care asigură rezistență la cavitație și coroziune.

Categoria a doua de elemente se realizează din oțeluri slab aliate cu mangan care asigură această caracteristică de plasticitate ridicată la temperaturi care scad pînă aproape de 0°C.

Pentru confecționarea elementelor auxiliare care să asigure rigiditatea întregului ansamblu se folosesc oțeluri carbon nealiate.

## 2.1 Oțeluri inoxidabile

Convențional se numesc oțeluri inoxidabile, aliajele Fe-C-Cr care conțin minim 12% crom, procent ce conferă oțelurilor proprietatea de a se acoperi cu un strat pasiv în cele mai multe medii (aer, apă, atmosferă industrială, etc.), făcându-le rezistente la oxidare și coroziune. Stratul pasiv este format în principal din oxizi de crom și este aderent, pasiv, dens, impermeabil și puțin solubil, proprietăți ce-l fac rezistent la acțiunea unui mare număr de medii agresive.

Diversitatea de medii agresive, temperaturi și presiuni la care trebuie să răspundă oțelurile inoxidabile, au determinat crearea a numeroase calități și mărci noi de oțeluri aliate prin adăugarea la matricea de bază (Fe-C-Cr) a diverse elemente de aliere ca: Ni, Mo, Cu, Mn, Ti, Nb, Si, etc.

Acum elemente de aliere se adaugă la matricea de bază funcție de proprietățile ce se urmăresc a fi îmbunătățite astfel:

- Ni, îmbunătățește rezistența la coroziune și plasticitatea oțelurilor inoxidabile;

- Mo, îmbunătățește rezistența la coroziune locală și în medii clorice;

- Ti, Nb, reacționează cu carbonul și formează carburi stabile, măresc stabilitatea termică și îmbunătățesc rezistența la coroziune intercrystalină a oțelurilor;

- Si, Al, măresc rezistența la temperaturi ridicate a oțelurilor și comportarea la fluaj a acestora;

- Mn, este adăugat ca înlocuitor al nichelului pentru efectul său gamagen, oferind în același timp o îmbunătățire a rezistenței la rupere a oțelurilor inoxidabile.

Structura oțelurilor inoxidabile va depinde de participarea elementelor cu caracter alfa-gen și gama-gen din compoziția lor. Ținând cont de acest efect al elementelor din compoziția oțelurilor inoxidabile, echivalentul în crom și nichel se determină cu relațiile:

$$Ni_{\text{e}} = Ni + 30 C + 0,5 Mn + 30 N \quad (2.1)$$

$$Cr_{\text{e}} = Cr + Mo + 1,5 Si + 0,5 Nb \quad (2.2) \quad / 124 p.103/$$

Ușor se ține seama și de influența temperaturii de laminare a oțelurilor, atunci relațiile de mai sus vor avea forma:

$$Ni_{\text{e}} = Ni + 21 C + 0,5 Mn + 11,5 N \quad (2.3)$$

$$Cr_{\text{e}} = Cr + 3 Si + Mo \quad (2.4)$$

În cazul microalierii cu titan sau niobiu se recomandă folosirea relațiilor:

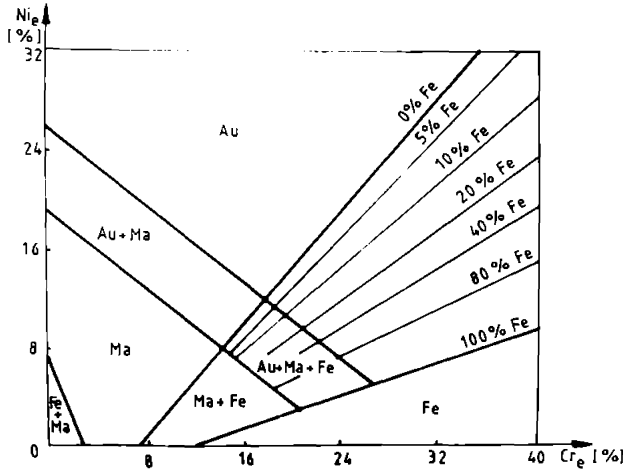
$$Ni_{Cr} = Ni + 0,5 Mn + 21 C' \quad (2.5)$$

$$Cr_{Ni} = Cr + 3 Si + Mo + 10 Ti \text{ (sau } 4 Nb) \quad (2.6) \text{ în care:}$$

$C = 0,03\%$  - considerat carbon nelegat în oțelurile inoxidabile

$$Ti = Ti = 4 [(C - 0,03) + N] \quad (2.7)$$

$$Nb = Nb = 8 [(C - 0,03) + N] \quad (2.8)$$



Ținând seama de toate aceste relații de calcul, a echivalențelor cromului și nichelului, structura oțelurilor inoxidabile, în cazul răcirii rapide, va fi cea prezentată în diagrama Schrafler, fig. 2.1

Fig.2.1

În cazul în care raportul  $\frac{Cr_{Ni}}{Ni_{Cr}}$  este mic se obțin structuri austenitice, iar în cazul în care raportul  $\frac{Cr_{Ni}}{Ni_{Cr}}$  este mare se obțin structuri ferritice, martonitice-ferritice sau austenitice-ferritice așa cum se prezintă în fig.2.2

Cr <sub>Ni</sub>	STRUCTURA								
	Ni <sub>Cr</sub>	F	M	A	F+M	M+F	A+F	A+M	A+M+F
0,04 ÷ 1,6				///					
0,1 ÷ 2					///				
0,1 ÷ 8			///						
1,6 ÷ 4									///
2 ÷ 12						///			
4 ÷ 13	///								
4 ÷ 18							///		
4 ÷ 25								///	

Fig.2.2

a) Oțelurile martenitice și martenito-feritice, se caracterizează prin conținut ridicat de crom 12...17% conținut de carbon cuprins între 0,08...1% C.

Pentru conținuturi mici de carbon(0,08%...0,15%) și crom (12%...14%) structura oțelurilor este ferito-martenitică. Aceste oțeluri prezintă rezistență la coroziune și cavitație și caracteristici mecanice ridicate.

Pentru conținuturi mai mari de C și Cr se obțin structuri martenitice și durități mari, aceste oțeluri fiind recomandate pentru instrumente chirurgicale, articole menaj și utilaje pentru industria alimentară.

Caracteristicile mecanice ale acestor oțeluri (rezistență la curgere, la încovoiere prin șoc și alungire) sunt pregnant influențate de temperatura de revenire la care sunt cupuse, influență care este prezentată în fig. 2.3.

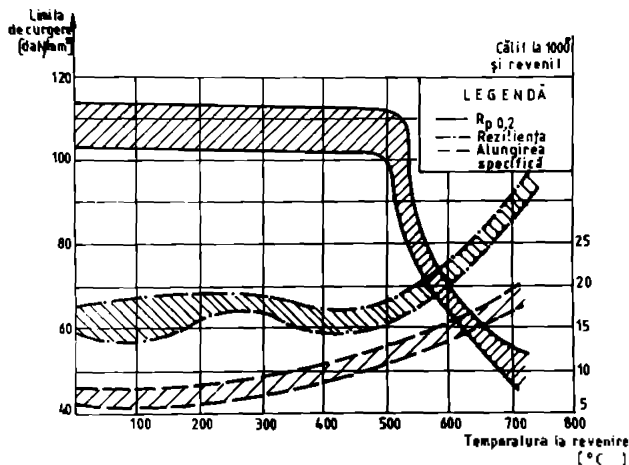


Fig.2.3

b) Oțeluri feritice, sînt oțeluri inoxidabile care conțin 0,10...0,35% C și 15...30% Cr. Sînt oțeluri monofazice și ca atare nu suferă transformări structurale la încălzire și răcire. Oțelurile inoxidabile feritice prezintă o rezistență la coroziune superioară, dar sînt mai scumpe decît cele martenitice datorită prezenței ca element de aliere a titanului și cuprului.

Oțelurile feritice prezintă dezavantajul că nu tendința de fragilizare după sudare.

c) Oțeluri austenitice, sînt cele mai scumpe oțeluri inoxidabile datorită prezenței Ni ca element de aliere.

Oțelurile feritice și martenitice prezintă avantajul că au preț de cost mai scăzut datorită faptului că elementul de aliere este Cr și nu conține Ni care are preț de cost foarte ridicat.



În compoziția lor intră C (sub 0,1%), Cr (12...25%), Ni (0...30) și alte elemente cum sînt Mo, Nb, N.

Nichelul influențează în mare măsură proprietățile mecanice, stabilizează austenita. În diagrama din fig. 2.4 se evidențiază variația caracteristicilor mecanice ale oțelurilor inoxidabile austenitice cu conținutul de nichel.

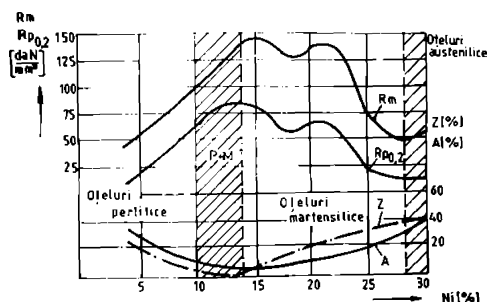


Fig. 2.4

rea structurilor sudate ale echipamentelor hidroenergetice, respectiv părțile care vin în contact direct cu fluidul energetic, se recomandă utilizarea oțelurilor inoxidabile martensitico-feritice. Acestea satisfac în întregime cerințele impuse de condițiile de exploatare, avînd rezistență mare la uzură, eroziune și în special cavitație, preț de cost scăzut în comparație cu oel al oțelurilor austenitice datorită absenței nichelului care este un element deficitar și preț de cost ridicat.

### 2.1.1 Caracteristicile oțelurilor martensitico-feritice utilizate în fabricația echipamentelor hidroenergetice.

Oțelurile aliate cu structură feritico-martensitică utilizate pentru execuția structurilor sudate ale echipamentelor hidroenergetice sînt oțelurile de tip 12 Cr 130 și se folosesc de regulă numai pentru realizarea elementelor ce vin direct în contact cu fluidul energetic.

Compoziția chimică a oțelurilor 12 Cr 130 rezultată în urma analizelor efectuate pe epruvete prelevate din două grosimi de tablă reprezentative (12 și 30 mm) este prezentată în tabelul 2.1.

Comparînd valorile elementelor din tabelul 2.1 rezultate în urma analizelor experimentale cu cele prevăzute de STAS 3583-80, se constată încadrarea acestora în limitele prescrite.

Oțelurile austenitice prezintă caracteristici bune de rezistență la coroziune, uzură și caracteristici mecanice, dezavantajul constă în prezența nichelului, un element scump și deficitar.

Analizînd totalitatea oțelurilor inoxidabile prezentate, se desprinde concluzia că, pentru realiza-

Tabelul 2.1.

Marca oțelului	Grosimea tablăi /mm/	Compoziția chimică[3]						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
12Cr13o	12	0,13	0,35	0,40	0,013	0,014	13,44	0,25
	30	0,14	0,31	0,46	0,011	0,020	13,12	0,18

Determinarea structurii acestui oțel se poate realiza cu ajutorul diagramei Schöffler sau prin analize structurale, pe epruvete pregătite special pentru acest scop.

Diagrama Schöffler permite determinarea structurii oțelului prin intermediul cromului echivalent și a nichelului echivalent calculați cu relațiile:

$$Cr_e = Cr + V + 1,5(Si + W) + 2(Mn + Nb + Al) + 5Ti \quad (2.9)$$

$$Ni_e = Ni + 0,5Mn + 10W + 30(C + N) \quad (2.10)$$

/ 106 p.85 /

În diagrama Schöffler din fig.2.5 este materializat domeniul de existență al oțelului 12Cr13o pentru compoziția chimică din STAS 3503 - 80 cât și pentru determinările obținute prin analiză pe eșantioane prelevate din tablă laminată.

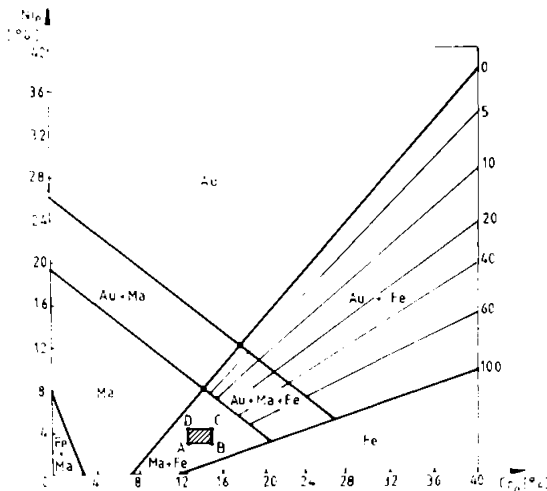


Fig.2.5

tru cea determinată experimental prin analiză de laborator.

Din examinările microstructurale efectuate pe epruvete prelevate din tablă de mai multe grosimi se constată diferențe

Determi -  
nările prin  
calcul cu aju-  
torul  $Ni_e$  și  
 $Cr_e$  al struc-  
turii, arată  
că oțelul a-  
nalizat  
(12Cr13o) are  
o structură  
frită - mar-  
tencitică atât  
pentru compo-  
ziția chimică  
din STAS 3503-  
80 (domeniul  
ABCD) cât și pen-

mici din punct de vedere structural între plăci funcție de grosime.

În fig.2.6 și fig. 2.7 sînt prezentate imagini de microstructură pentru table cu grosime de 12 mm (fig.2.6) și grosime de 30 mm (fig. 2.7)

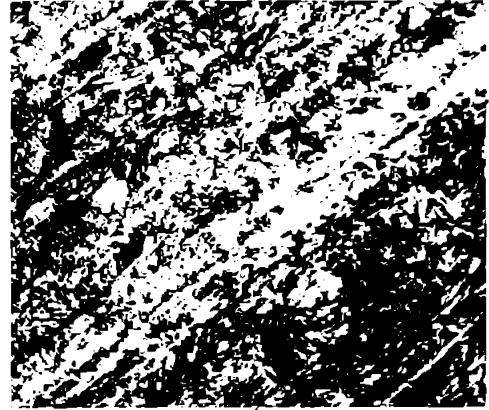


Fig.2.6  
(Atac V2A, loaz)

Fig.2.7  
(Atac V2A, loaz)

Analizînd microstructurile prezentate se constată că în-  
diferent de grosimea materialului, acestea conțin martensită și  
ferită de granulație  $N=8 - 9$  cu carburi plasate în masă de fe-  
rită. Se observă de asemenea o oarecare neomogenitate a mate-  
rialului și o puternică tendință de formare a girurilor.

Tabelul 2.2

Mare- țe - lului	Pe- lu- men- tu- lui	Durita- tea [HB]	Limi- ta la surge- re mini- mă Rp 0,2 [N/mm <sup>2</sup> ]	Resis- tența la trac- țiune Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	Alungirea la rupere A5 min.		Resis- tența la încovoie- re prin 90° KV min. [J]
					Lon- gitu- dinal	Tran- sver- sial	
12Cr13o	H	140-180	300	550-700	20	15	120
12Cr13o	I	130-150	450	600-750	18	13	100

Caracteristicile mecanice ale oțelului 12Cr13o provăzute  
în STAS 3503-06 sînt prezentate în tabelul 2.2.

Din tabelul prezentat se observă dependența dintre valo-  
rile caracteristicilor mecanice funcție de tratamentul termic  
aplicat tablelor după laminare, existînd diferențe între starea  
de recobocere (R) și cea de îmbunătățire (I) a acestor valori.

Caracteristicile mecanice determinate prin încercarea epruvetelor din table cu grosimi de 12 mm și 30 mm au valori care se învecină în STAS 3503 - 80 și sînt prezentate în capitolele următoare.

Analiza microfotografică realizată pe probe rupte în urma încercării la înovoiere prin șoc, s-a efectuat cu ajutorul microsondei electronice japoneze de tip JCA - 50A și a avut ca scop determinarea caracterului ruperii materialului. Toate epruvetele analizate (în număr de 16) au prezentat ruperi ductile așa cum se observă din fig. 2.8 prezentată pentru exemplificare.

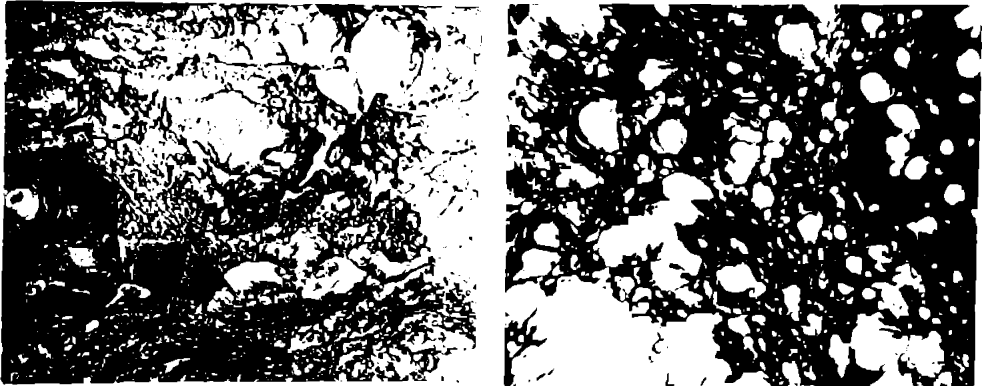


Fig. 2.8  
Atlas V2A , 100X

Analizele s-au executat la mărima de 400:1 cu imagini de electroni secundari. Din imaginile prezentate se observă ruperi ductile caracterizate prin cupe fine datorită unui număr mare de precipități în masa grăunților de ferită.

## 2.2 Oțeluri slab aliate cu mangan

Elementele componente ale structurilor echipamentelor hidroenergetice care în funcționare nu vin direct în contact cu fluidul energetic dar care trebuie să preia o serie de eforturi mari rezultate în urma solicitărilor dinamice care sînt supuse , se realizează din oțeluri slab aliate cu mangan care răspund a - celor cerințe, prezentînd atât caracteristici de plasticitate cît și de rezistență ridicată.

Tipul de oțel alon care răspunde cerințelor impuse fabricației acestor elemente este R44-6a a cărui compoziție chimică este după STAS 2383/2- 80 prezentată în tabelul 2.3.

Caracteristicile mecanice a acestei familii de oțeluri sînt prezentate în tabelul 2.4, funcție de grosimea tablei, care în cazul nostru este între 16 și 40 mm.

Tabelul 2.3

Marca oțel	C [%]	Mn [%]	Si [%]	P max. [%]	S max. [%]	Ni max. [%]	Al min. [%]
R44	max. 0,2	0,0-1,1	0,17-0,45	0,04	0,04	0,7	0,02

Tabelul 2.4

Marca oțel	Limita la curgere minimă Rp 0,2 [N/mm]	Rezistențe la rupere [N/mm <sup>2</sup> ]	Alungirea minimă A5 [%]	Energia de rupere prin cup KV O°C [J]
R44	275	430 - 540	20	27

Atât compoziția chimică a oțelului prezentat cât și caracteristicile mecanice au fost determinate și experimental, obținându-se valori care se încadrează în limitele prevăzute de STAS 2083/2 - 80.

2.3 Comportarea la sudare a oțelurilor slab aliate cu mangan și a oțelurilor aliate de tip 12Cr13.

Sudabilitatea oțelurilor carbon și slab aliate se apreciază conform STAS 7194-79, pe baza carbonului echivalent determinat cu relația:

$$CE_0 = CE + \frac{Mn}{6} + \frac{CEr + 2V + Ni_0}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \quad (2.11)$$

Tabelul 2.5

Rezistența la rupere a oțelului Rm [N/mm]	Grăsimea maximă a elementelor îmbinării a [mm]	Conținutul maxim [%]					Carbonul echivalent maxim [%]
		C	Mn	Si	S sau P		
370-500	40	0,22	1,50	0,40	0,05	0,41	
500-700	25	0,20	1,60	0,55	0,04	0,45	
	25 - 40	0,20	1,60	0,55	0,04	0,41	

Valorile orientative pentru limitele carbonului echivalent pînă la care se poate executa sudarea fără precauții speciale sînt date în tabelul 2.5.

Sudabilitatea este influențată atât de conținutul în carbon și celelalte elemente de aliere, cât și de grosimea componentelor ce se sudază. În fig. 2.9 se ilustrează influența grosimii materialului și a carbonului echivalent asupra sudabilității, aceasta scăzând odată cu creșterea celor doi factori de influență.

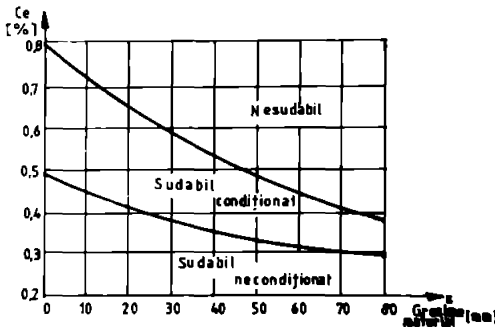


Fig. 2.9

Calculul ciclului termic se poate efectua în funcție de forma geometriei și natura materialului de bază, pentru un punct oarecare din ZIT, definit prin vectorul său de poziție  $r$  și timpul  $t$ , cu relația:

$$\theta(r, t) = U_0 X^m e^{-X^2} \quad (2.12) \quad / 64 \text{ p. 30/}$$

în care:

$$X = \frac{r^2}{4 \alpha t}$$

$$U = \frac{2\alpha P}{\pi \lambda r^2 v_g} \quad \text{pentru piese groase; } a > 20 \text{ mm}$$

$$U = \frac{2\alpha P}{\sqrt{\pi} \lambda \alpha r v_g} \quad \text{pentru plăci; } a \leq 20 \text{ mm}$$

$$m = 1,5 \text{ la piese groase și } m = 1 \text{ pentru plăci}$$

$$a = \text{grosimea pieselor [mm]}$$

$$v_g = \text{viteza de sudare [cm/min.]}$$

$$P = \text{puterea utilă a arcului electric [cal./s]}$$

$$\lambda = \text{conducibilitatea termică a componentelor}$$

$$\alpha = \text{căldura specifică a componentelor}$$

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma}$$

$$\gamma = \text{masa specifică a componentelor [kg/cm³]}$$

Măsurătorile termice se efectuează începând de la tempe-

Modificările structurale care apar în timpul procesului de sudare după de parametrizarea materialului de bază și de ciclul termic parcurs. Parametrii ciclului termic parcurs în timpul operației de sudare sînt: viteza de încălzire, temperatura maximă, timpul de menținere și timpul de răcire.

ratura inițială  $\theta_0$  a cărei valoare poate fi modificată prin preîncălzire realizată pentru întreg ansamblul sau local de o parte și de alta a rostului de sudare pe o lățime de (6...12), ori grosimea componentelor, dar nu mai mică de 80 mm.

Efectuind preîncălzirea componentelor înainte de sudare câmpul termic tinde să se uniformizeze astfel că variațiile temperaturii din ZIT se reduc.

Temperatura de preîncălzire se va stabili la valoarea minimă pentru a atenua factorul economic determinat de consumul de manoperă și energie.

Determinarea temperaturii de preîncălzire se poate face prin mai multe metode.

Metoda IIS determină temperatura de preîncălzire în funcție de litera de sudabilitate  $L_g$ , dedusă din tabele pe baza unui carbon echivalent calculat cu relația:

$$C_e = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Si}{4} \quad (2.13) \quad / \text{lo3 p.26/}$$

de veritaten termică  $S_t$  ce ține cont de grosimea componente - lar ( s ) și numărul de căi de răcire (  $n_r$  ) conform relației:

$$S_t = \frac{D_{fe} s}{6} \quad (2.14) \quad / \text{lo3 p.27 /}$$

și de diametrul electrozilor  $d_e$  de ".

Metoda Seferian permite calculul temperaturii de preîncălzire cu relația :

$$\theta_{pr} = 350 \sqrt{C'_e} - 0,25 \quad (2.15) \quad / \text{lo3 p.27 /} \quad \text{în care:}$$

$$C'_e = C_e ( 1 + 0,005 s )$$

$C_e$  = carbonul echivalent determinat la metoda IIS

s = grosimea maximă a componentelor ce se sudează

Efectuind calculele pentru oțelurile R44-6a rezultă o temperatură de preîncălzire  $\theta_{pr}$  de 100°C pentru table a căror grosime depășește 30 mm, iar pentru grosimi mai mici, rezultă că nu este necesară preîncălzire.

Oțelurile de tip ferite- martensitic sînt materiale cu comportare la sudare foarte dificilă, datorită tendinței puter - nice spre călire, fragilizare și fisurare.

Prin răcirea în aer, austenita nu suferă transformări în urma cărora să rezulte structuri conform diagramei de echilibru (ferită + carburi), ci se transformă în martensită.

Fisurile apar oînd se produce ferită netransformată, redu-

cîndu-se în același timp tenacitatea. Transformarea feritei la răcire este mult îngreunată de prezența siliciului, aluminului și molibdenului, stabilitatea acestuia fiind favorizată de apariția segregățiilor la cristalizare în zona acelor dendritice.

Durificarea în ZIT se datorează creșterii conținutului de carbon.

Datorită acestor cauze sudarea oțelului ferito-martensitic se va face cu preîncălzire în 250-400°C.

Temperatura de preîncălzire se determină din tabelul 2.6 funcție de  $Cr_e$  și  $Ni_e$  calculați pentru diagrama Schaffler.

Pentru oțelurile 12Cr13,  $Cr_e$  și  $Ni_e$  au următoarele valori:  $Cr_e = 14,115\%$ ;  $Ni_e = 3,17\%$

Tabelul 2.6

$Cr_e + Ni_e$ [%]	$\theta_{pr}$ (°C)
$4 \leq Cr_e + Ni_e < 9$	100...150
$9 \leq Cr_e + Ni_e < 14$	150...250
$14 \leq Cr_e + Ni_e < 18$	250...350
$18 \leq Cr_e + Ni_e < 22$	350...450
$22 \leq Cr_e + Ni_e < 24$	∞

Pentru evitarea fisurării îmbinările se tratează termic după sudare, fără a lăsa piesa să se răcească sub temperatura de fisurare (150...200°C).

Tabelul 2.7

$Cr_e$ %	$\theta_{TT}$ °C
$Cr_e < 2$	650
$2 \leq Cr_e < 6$	700
$6 \leq Cr_e < 10$	720
$10 \leq Cr_e < 24$	750
$24 \leq Cr_e$	850

Din tabelul 2.7 se deduce temperatura de tratament termic post sudare pentru oțelurile ferito-martensitice prezentate, care este de 750°C cu o durată de menținere de o oră pentru fiecare 25 mm grosime.

Lin cele prezentate în acest capitol se desprind următoarele concluzii:

- materialele care vin în contact direct cu fluidul energetic trebuie să fie rezistente la coroziune, cavitație, eroziune și solicitări variabile.

- oțelul care răspunde acestor cerințe atât din punct de vedere tehnic cât și economic este oțelul inoxidabil cu struc -



tură forită - martensitică.

- comportarea la sudare a acestei familii de oțeluri este dificilă fapt ce impune ca înainte de sudare să i se aplico o preîncălzire la o temperatură de 280°C, iar după sudare un tratament termic, de revenire la o temperatură de 750°C

- îmbinările sudate din oțel 12Cr13o se vor realiza numai după omologarea tehnologiilor de sudare, pentru fiecare tip de îmbinare, pentru fiecare procedeu și fiecare grosime de material.

## C A P I T O L U L 3

### STUDIUL TEHNOLOGIILOR DE SUDARE A STRUCTURILOR DIN OȚELURI ALIATE PENTRU ECHIPAMENTE HIDROENERGETICE

#### 3.1 Prezentarea structurilor sudate din echipamentele hidroenergetice.

Diversitatea și complexitatea echipamentelor hidroenergetice este determinată atât de domeniul de utilizare cât și de forma constructivă. În prezenta lucrare s-au studiat și cercetat structurile cele mai reprezentative, cu un grad sporit de complexitate și dificultate în ceea ce privește fabricația acestora.

Rezultatele obținute prin cercetarea acestor structuri permit tragerea unor concluzii valabile pentru întreaga gamă de ansamble sudate din componența echipamentelor hidroenergetice.

Dificultățile întâlnite la sudarea acestor structuri constau în cuplurile de materiale diferite ce trebuie să fie îmbinate, poziția în spațiu a sudurilor având în vedere gabaritul acestora mediul în care lucrează și siguranța în funcționare cerută de faptul că orice intervenție ulterioară devine foarte dificilă și costisitoare.

Structurile sudate care au fost alese pentru studiu și cercetare sînt prezentate în figurile 3.1...3.6 și sînt părți componente ale turbinelor hidraulice de tip Kaplan, a întregii game de microturbină hidraulice tip "EOS" (elicoïdal, cu ax orizontal și circuit hidraulic în formă de S), "FO" (Francis orizontal) cât și ale utilajelor hidromecanice diverse - vane plane, vane sferice, batardouri, piese înglobate etc.

#### 3.2. Tipuri de îmbinări sudate din structura echipamen- telor hidroenergetice.

Aceste tipuri de îmbinări sudate au fost împărțite după mai multe criterii și anume:

- a) după cuplurile de materiale folosite
  - îmbinări sudate din oțeluri similare  
(12Cr13o - 12Cr13o și R44-6a - R44-6a).
  - îmbinări sudate din oțeluri disimilare  
(12Cr13o - R44-6a ).

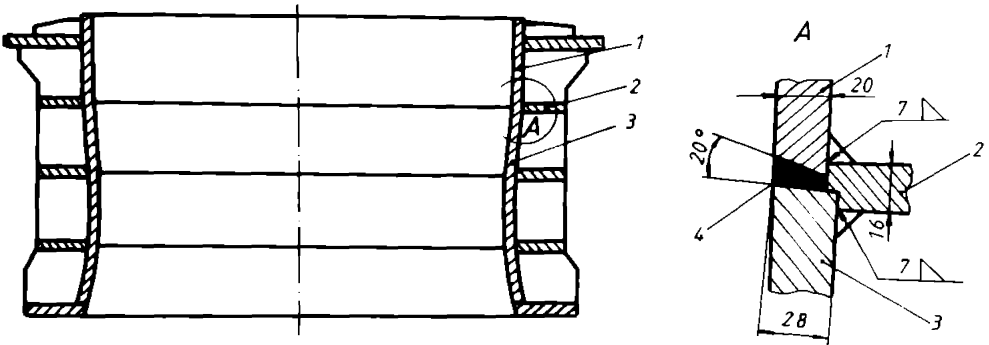


Fig.3.1 - Cameră rotor

- 1;3 Blindaj cameră oțel inoxidabil.
- 2 Rigidizări R44-6a
- 4 Imbinare sudată în "V" pe suport

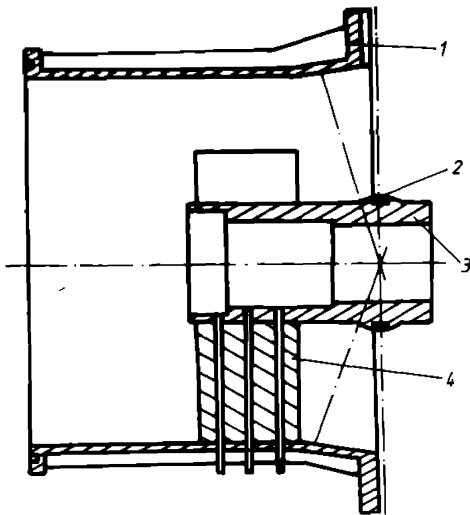


Fig.3.2 Stator microturbină E.O.S Ilo

- 1 Corp stator
- 2 Suprafață înălțată cu oțel inoxidabil
- 3 Corp lagăr
- 4 Rigidizări corp lagăr

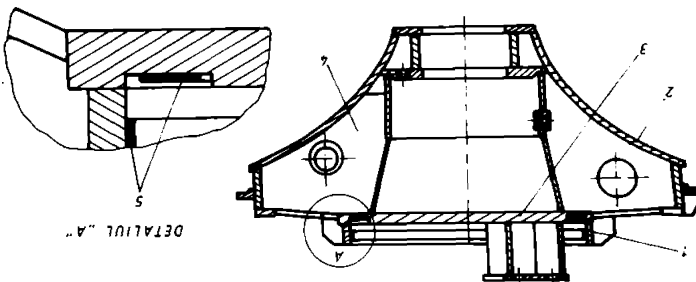


Fig.3.3 Capac turbină K.V.B 8,4 MW

- 1 Segment inel
- 2 Segment toroidal
- 3 Flanșă
- 4 Rigidizare
- 5 Suprafață înălțată cu oțel inoxidabil

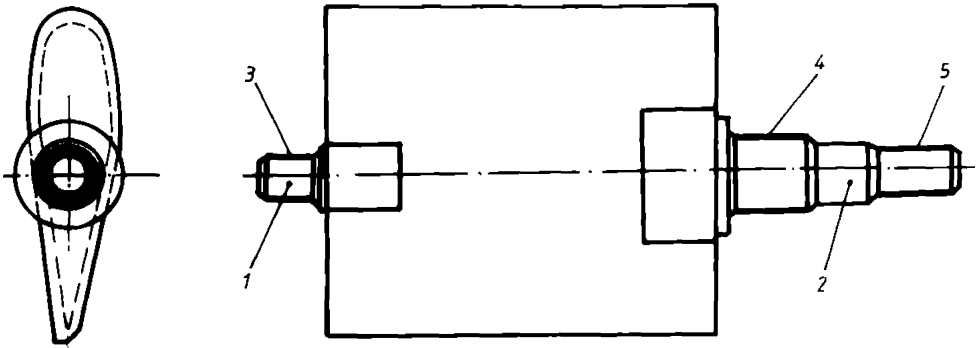


Fig.3.4 - Paletă aparat director turbină KVB 8,4 MW

- 1 Fus scurt
- 2 Fus lung
- 3;4;5 Suprafețe înclinate cu electrozi inoxidabili

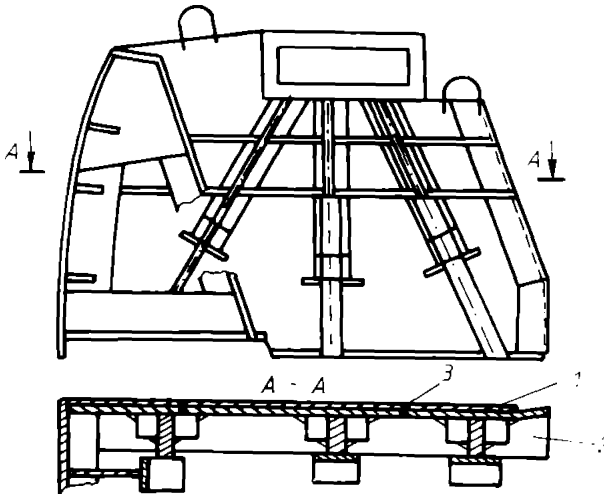


Fig.3.5 - Picioare înglobate în vână plană 6x6 m

- 1 Ghidaj oțel inoxidabil
- 2 Lehelet susținere ghidaj
- 3 Îmbinare sudată între 12Cr13o - B44-6a

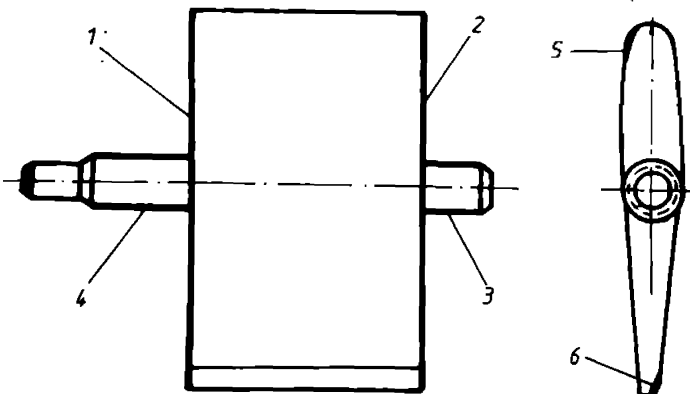


Fig.3.6 - Paletă aparat director FO 9o/57o

- 1;2 Capace frontal paletă
- 3 Fus scurt
- 4 Fus lung
- 5;6 Suprafețe înclinate cu electrozi inoxidabili.

Îmbinările sudate din oțeluri similare, slab aliate cu mangan (R44-6a - R44-6a) nu fac obiectul acestui studiu deoarece sudarea acestora nu ridică probleme din punct de vedere tehnologic.

Cele din oțeluri similare 12Cr13o se întîlnesc la structurile camerelor rotor ale turbinelor Kaplan, pe cînd cele disimilare (12Cr13o - R44-6a) sînt întîlnite la toate structurile prezentate în figurile 3.1...3.6 și aceasta ca urmare a faptului că oțelurile inoxidabile se utilizează doar pentru contactul direct cu fluidul de lucru, restul ansamblului executîndu-se din oțel slab aliat cu mangan sau nealiat.

b) după poziția de sudare

- sudare orizontală
- sudare orizontală în plan vertical
- sudare vertical - ascendentă.

Aceste poziții de sudare apar și nu pot fi înlocuite datorită gabariturii și greutatei mari a acestor structuri care nu permit manevrarea în orice poziție.

c) după pregătirea rostului de sudare

Această clasificare depinde direct de pozițiile de sudare și de accesul la îmbinarea sudată care în majoritatea cazurilor este dintr-o singură parte, astfel din acest punct de vedere se întîlnesc:

- suduri cu margini prelucrate în "V", cu și fără sprijin la rădăcină.
- suduri cu margini prelucrate în  $1/2 V$ , cu și fără sprijin la rădăcină.
- suduri cu margini prelucrate în "X"
- suduri de colț.

d) după procedeul de sudare utilizat

- sudare manuală cu electrozi înveliți
- sudare MIG
- sudare MAG

Alegerea procedeelor de sudare prezentate este strîns legată de pozițiile în care trebuiesc realizate sudurile, de lungimea acestora (în general sînt îmbinări de lungime redusă - 300 mm) și de accesul la îmbinarea sudată, cauze care fac să nu se preteze utilizarea altor procedee de sudare și în special sudarea mecanizată sub strat de flux.

Avînd în vedere cele prezentate, în acest capitol s-au studiat detaliat și s-au stabilit tehnologiile optime de sudare pentru îmbinările sudate cu margini pregătite în V și 1/2V, cu și fără suport de rădăcină și cu marginile prelucrate în X.

Ca poziție de sudare studiul s-a realizat pentru cea orizontală fiind cea mai relevantă și rezultatele obținute sînt semnificative și se pot utiliza pentru îmbinările sudate în orice altă poziție.

Materialele folosite pentru studierea și stabilirea tehnologiilor de sudare au fost oțelurile aliate de tip 12Cr13o și R44-6a, prezentate în capitolul 2.

Procedeele de sudare pentru care s-a realizat acest studiu s-au stabilit în funcție de cuplurile de materiale folosite. Astfel pentru îmbinările din oțeluri similare 12Cr13o procedeele de sudare utilizate au fost manuală cu electrozi înveliți austenitici și în mediu de gaz protector-MIG. Pentru îmbinările din oțeluri disimilare 12Cr13o - R44-6a, studiul tehnologiilor s-a realizat pentru sudarea în mediu de bioxid de carbon și pentru sudarea manuală cu electrozi înveliți de tip superbaz. În ambele cazuri (îmbinări din oțeluri disimilare) îmbinările s-au realizat cu ajutorul unui strat intermediar (tampon), depus între oțelul aliat și sudură, cu electrozi austenitici.

Stabilirea celor mai adecvate tehnologii de sudare pentru cazurile prezentate, a avut la bază, rezultatele și concluziile obținute din studiul simulării ciclurilor termice la sudare, realizat pentru oțelurile aliate de tip 12Cr13o, studiu care se prezintă în continuare în acest capitol.

O atenție sporită s-a acordat studiului tehnologiilor pentru sudarea oțelurilor disimilare 12Cr13o- R44-6a cu electrozi superbaz pentru îmbinările realizate manual cu electrozi înveliți și cu sîrmă din oțel slab aliat cu mangan pentru îmbinările realizate în mediul de bioxid de carbon.

Deși stabilirea tehnologiilor pentru realizarea acestor suduri a implicat o serie de dificultăți prin aceea că rezultate bune ale caracteristicilor mecanice ale îmbinărilor sudate s-au obținut numai după optimizarea regimurilor de sudare, acestea prezintă un interes deosebit din punct de vedere economic prin faptul că se înlocuiesc electrozii și sîrmele din oțel inoxidabil austenitic cu electrozi și sîrme din oțel slab aliat cu mangan, care au un preț de cost de zece ori mai scăzut și nu au în com -

poziție crom și nichel care sînt elemente deficitare.

### 3.3 Proiectarea tehnologiilor de sudare

Metoda clasică pentru stabilirea tehnologiilor de sudare respectiv a regimurilor de sudare prevede execuția unui număr mare de probe sudate utilizînd cîteva variante posibile de parametri de sudare proprii metalului de bază ales. Din aceste probe sudate se prelevează apoi epruvete pentru încercări mecanice și analize structurale în vederea identificării variantei optime care trebuie să satisfacă toate condițiile de calitate pentru execuția îmbinării.

În cazul necesității unui tratament termic postsudare, se verifică și influența diverselor regimuri de tratament asupra coelarași caracteristicii.

În aceste condiții regimul optim de sudare se stabilește pe baza unui volum mare de probe care implică un consum mare de timp, materiale și energie, deci și costuri ridicate.

Reducerea volumului de lucrări implicat în stabilirea judicioasă a tehnologiilor optime, s-a realizat în această lucrare folosind metoda de simulare a ciclurilor termice la sudare, metodă care este prezentată în continuare.

O altă metodă de stabilire a numărului de probe în concordanță strictă cu încercările care se urmăresc a se realiza, este calculul statistic care de asemenea elimină volumul mare de manoperă, energie și metal, folosite la metodele clasice de stabilire a regimurilor optime.

#### 3.3.1 Simularea ciclurilor termice la sudare.

##### 3.3.1.1 Prezentarea generală a metodei simulării ciclurilor termice.

Avînd în vedere că la o îmbinare sudată, zona influențată termic este zona cea mai sensibilă, metoda menționată studiază toată efectele căldurii produse în timpul sudării asupra metalului de bază.

Cercetările au arătat că în funcție de distanța la care se află diversele puncte din metalul de bază, față de cursa de căldură, acestea ating temperaturi de vîrf cu atît mai mici cu cît această distanță este mai mare. Pe lîngă temperaturile de vîrf, hotărîtoare pentru structura și caracteristicile materialului influențat termic este viteza de răcire a materialului

influențat termic după trecerea arcului de sudare.

Intrucît la principalele oțeluri majoritatea transformărilor se produc în intervalul de temperaturi 300...500°C, acest interval a fost analizat în mod deosebit. Cu cît viteza de răcire între 300°C și 500°C este mai mare, cu cît ne putem aștepta la structuri mai dure și fragile care pentru îmbinarea sudată reprezintă puncte de rezistență scăzută. De aceea alegerea parametrilor de sudare implică găsirea energiei lineare celei mai potrivite, astfel încît în ZIT să nu se producă structuri dure și fragile.

Vitezele de răcire realizate trebuie să fie în concordanță și depind de conductibilitatea termică și de căldura specifică a materialului, de grosimea plăcilor sudate, de energia folosită pentru execuția sudurii și de eventuala preîncălzire a pieselor ce se sudează.

Pentru determinarea prin calcul a vitezelor de răcire se poate obține cu parametrii de sudare aleși și în condițiile date de material, este necesară o departajare a variantelor preconizate prin tehnologii astfel încît să se rețină numai acelea care de la început dau garanții pentru caracteristici fizico-mecanice corespunzătoare.

În literatura de specialitate au devenit clasice formulele lui Hajkalin /90 / și ale lui Adams / 4 /, ambele derivând din ecuația fundamentală a lui Rosenthal.

Pentru cazul tablelor subțiri (flux bidimensional), ecuația vitezelor de răcire dedusă de Adams este:

$$v_R = 2 \pi \lambda \rho \cdot c \frac{e}{Q} (T - T_0)^3 \quad (3.1) \quad \text{în care:}$$

$v_R$  = viteza de răcire în grade Celsius pe secundă pornind de la temperatura " T".

$\lambda$  = conductivitatea termică

$c$  = capacitatea specifică de căldură exprimată în grade Celsius.

$e$  = grosimea plăcilor sudate

$Q$  = energia introdusă în placă de arc electric pe unitatea de lungime

$T_0$  = temperatura inițială -respectiv temperatura de preîncălzire.

În cazul fluxului tridimensional, adică în cazul tablelor groase ( $e \geq 50$  mm) se poate scrie relația:



$$V_R = \frac{2 \pi \cdot \lambda}{Q} (T - T_0)^2 \quad (3.2)$$

Se precizează că mărimea  $Q$  se calculează cu relația:

$$Q = \eta \frac{U \cdot I}{V} \quad (3.3) \text{ în care:}$$

- $\eta$  = randamentul arcului electric
- $U$  = tensiunea electrică  $V$
- $I$  = intensitatea curentului electric  $A$
- $V$  = viteza de sudare  $cm/sec.$

Lintre mărimile de calcul ale energiei lineare doar randamentul arcului electric nu poate fi determinat cu precizie, dar în practică se utilizează valori stabilite experimental pentru fiecare procedeu de sudare în parte.

Metoda simulării ciclurilor termice care implică reproducerea pe materialul investigat a încălzirii în funcție de timp din situația reală, impune să se cunoască dependența temperaturii din diversele puncte ale ZIT în funcție de timp.

În literatura de specialitate se indică formule simplificate pentru calculul variației temperaturii funcție de timp într-un anumit punct al ZIT, considerând sursa de căldură punctiformă.

La sudarea tablelor groase se utilizează formula:

$$T = \frac{q/V}{2 \pi \lambda t} e^{-\frac{R^2}{4\alpha t}} + T_0 \quad (3.4)$$

La sudarea tablelor subțiri se utilizează formula:

$$T = \frac{q/V}{d \sqrt{4 \pi \lambda \gamma \cdot t}} e^{-\frac{R^2}{4\alpha t}} + T_0 \quad (3.5)$$

Pe lângă aceste expresii, calculul unui ciclu termic implică cunoașterea a încă doi parametri importanți și anume:

- temperatura maximă obținută -  $T_m$
- timpul de răcire între  $300 \dots 500^\circ C$  -  $t_{8/5}$

Pentru cele două mărimi expresiile de calcul sînt indicate în relațiile: (3.6); (3.7); (3.8); (3.9).

$$T_m = \frac{2}{\rho \cdot c \cdot R} \cdot \frac{q/V}{2 \pi \lambda} + T_0 \quad (3.6)$$

$$\Delta t_{8/5} = \frac{q/V}{2 \pi \lambda} \left( \frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{300 - T_0} \right) \quad (3.7)$$

Valabile pentru table groase și :

$$T_m = \frac{\sqrt{2}}{\pi \cdot c} \cdot \frac{q/V}{d \rho c \cdot 2k} + T_0 \quad (3.8)$$

$$\Delta t_{8/5} = \frac{(q/V \cdot d)^2}{4 \pi \lambda \rho \cdot c} \cdot \left[ \frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(800 - T_0)^2} \right] \quad (3.9)$$

Valabile pentru table subțiri.

Notațiile utilizate în expresiile de mai sus sînt:

$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$  = coeficient de difuzivitate termică

$\lambda$  = conductibilitate termică

$\rho \cdot c$  = căldură specifică pe unitatea de volum

$d$  = grosimea materialului

$q$  = putere termică efectivă

$v$  = viteză de sudare

$q/V$  = energie lineară

$R$  = distanța din centrul sursei de căldură pînă în punctul în care se determină temperatura

$T_m$  = temperatura maximă.

Pentru calculul ciclurilor termice este necesar să se cunoască unele constante ale materialului ( $\rho, c, \lambda$ ), grosimea tablei, temperatura inițială și ce grosimi de tablă se sudază (tablă groasă sau subțire).

Cu ajutorul relațiilor (3.4) și (3.5) se calculează curbele de variație ale temperaturii funcție de timp cu ajutorul cărora se realizează cartelele profilate necesare aparatului.

### 3.3.1.2 Alegerea parametrilor pentru simulare.

În vederea efectuării operației de simulare, s-a efectuat analiză a parametrilor tehnologici care să fie utilizați pentru reproducerea pe probe prismatice a ciclurilor termice de încălzire și răcire care apar în mod normal în ZIT-ul îmbinării sudate.

Intrucît produsul pentru care se stabilește tehnologia, implică sudarea oțelului 12Cr13o pentru grosimi între 8 și 45mm, s-a stabilit ca simularea să se execute pe două grosimi reprezentative de material, acestea fiind 12 mm și 3o mm.

În ceea ce privește energia lineară la sudare s-a pornit de la prescripțiile din literatura de specialitate pentru acest tip de oțel, luîndu-se în mod suplimentar înoă două energii li -

neare, una mai mare și alta mai mică astfel încât simularea să se execute în trei variante. S-au ales următoarele valori pentru energia lineară de sudare:

$$E_1 = 10400 \text{ J/m}$$

$$E_2 = 14600 \text{ J/m}$$

$$E_3 = 17000 \text{ J/m}$$

Randamentul termic s-a ales ținându-se cont de faptul că simularea s-a efectuat pentru sudarea manuală cu electrozi în valiți și s-au ales trei temperaturi de virf:  $1350^{\circ}\text{C}$ ,  $1200^{\circ}\text{C}$  și  $1000^{\circ}\text{C}$ , pentru a reproduce caracteristicile materialului ce apar în urma sudării în toate cele trei subzone ale ZIT. În felul acesta investigația permite cunoașterea comportării diferite a materialului în special în urma tratamentului termic care poate produce fragilizări ale materialului dependente de starea anterioară tratamentului termic.

La alegerea parametrilor pentru calculul ciclurilor termice de sudare, s-a ținut cont și de faptul că oțelul în cauză nu poate fi sudat fără o preîncălzire la o temperatură ridicată. Temperatura de preîncălzire a fost stabilită la  $280^{\circ}\text{C}$  prin calcul după metoda IIS.

Caracteristicile fizice necesare efectuării calculului ciclurilor termice s-au extras din literatura de specialitate.

Pornind de la măsurile care s-au stabilit pentru energia lineară, grosimea de material, temperatura de preîncălzire și de virf, rezultă un număr de 18 variante distincte de cicluri termice ce au fost aplicate materialului investigat.

### 3.3.1.3 Determinarea prin calcul a curbelor de încălzire - răcire.

Pornind de la expresiile de determinare ale ciclurilor termice la sudare, s-a întocmit un program de calcul pentru calculatorul PDP - 8/m produs de firma Digital Equipment - SUA. Acest program, fig. 3.7, a fost conceput în ideea de a stabili timpul fluxului termic care poate fi bidimensională sau tridimensional funcție de grosimea tablei, de a determina timpul de răcire între  $800$  și  $500^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta t_{3/5}$ ) și dependența temperaturii funcție de timp, care este necesară pentru întocmirea cartelei profilate cu ajutorul căreia simulatorul reproduce pe probă ciclul termic prestabilit.

In fig.3.8 și fig.3.9 se prezintă spre exemplificare formatele de ieșire din calculator pentru flux bidimensional respectiv pentru flux tridimensional, care cuprind în partea inițială datele de intrare și anume :

- energia lineară
- difuzivitatea termică
- capacitatea specifică
- conductivitatea termică
- grosimea tablei
- randamentul termic
- temperatura de preîncălzire
- temperatura de vîrf

Urmează datele de ieșire:

- tipul fluxului termic (bidimensional sau tridimensional)
- coeficienții  $D_1$  și  $D_2$  - nu se utilizează de operator, ei folosesc la controlul etapelor de calcul.
- timpul de răcire  $t_{g/5}$
- corespondența timp - temperatură.

Dacă operatorul calculatorului constată că temperatura obținută la încheierea programului este încă în domeniul 300...500°C mărește intervalul de timp pe care efectuează calculul astfel încît temperatura finală să se apropie de temperatura de preîncălzire.

Pentru cazurile concrete rezultate în urma alegerii variantelor de simulare stabilite în paragraful precedent, au fost necesari timpi de răcire pînă la 1000 secunde.

Este interesant de remarcat că indiferent de temperatura de vîrf și de energia lineară folosită în cazul tablelor cu grosime de 30 mm, toate ciclurile termice sînt tridimensionale avînd timpi de răcire  $t_{g/5}$  cuprinși între 18,4 și 30,2 secunde care reprezintă timpi relativ scurți - tabelul 3.1.

La table de 12 mm se constată că ciclurile termice sînt atât bidimensionale cît și tridimensionale, iar timpii de răcire în intervalul de temperaturi 300 și 500°C variază între 18,4 și 142,6 secunde.

Fluxul termic tridimensional tipic tablelor groase, apare la variantele " a " și " b " datorită faptului că energia de sudare s-a ales relativ scîzută, apărînd în acest caz viteze mari de răcire.

În orice caz la energii lineare mai mari, datorită grosimii

C JECASS-Y-50A

01.10 T "PROGRAMAREA CICLURILOR TERMICE LA SUDARE",!!!  
 01.15 C PROGRAM PCT/2-C2/C3;11 DE 1980  
 01.20 A "CONTR NR",CN,!  
 01.21 T % 4.C2  
 01.22 T "COND.AFISARE REZ. " ;A "N1",N1;A "N2",N2;A "N3",N3;T !  
 01.25 A "ENERGIA LINIARA TEHNICA",NL;T " J/CM",!  
 01.26 A "DIFUZIVITATEA TERMICA",CT;T " CM2/S",!  
 01.27 A "CAPACITATEA SPECIFICA",CS;T " J/CM2\*GRAD",!  
 01.28 A "CONDUCTIVITATEA TERMICA",CT;T " W/CM\*GRAD",!  
 01.29 A "GROSIMEA TABLEI DE SUDAT",C;T " CM",!  
 01.30 A "RANCDAMENTUL TERMIC",RT,!  
 01.31 A "TEMPERATURA DE PREINCALZIRE",TP;T " GRADE",!  
 01.32 A "TEMPERATURA DE VIRF",TV;T " (GRADE",!  
 01.33 S  $ML=NL*RT$ ;S  $G1=(CS+G*2*(TV-TP))/PL$   
 01.34 I (G1-.33) 1.35,7C.11,1.36  
 01.35 D 2;G 4.1  
 01.36 I (G1-.9) 1.37,7C-11,1.39  
 01.37 S  $A1=ML/(2*CS)$ ;S  $(2=FSQ<A1[(1/(500-TP))+1/(800-TP)])$   
 01.38 I (G-G2) 1.40,7C.11,1.41  
 01.39 D 3;G 5.1  
 01.40 D 2;G 4.1  
 01.41 D 3;G 5.1

02.10 T "FLUX BIDIMENSIONAL";T " D1=",G1;T " D2=",G2,!  
 02.20 S  $TE=(ML/G)^2*(1/(500-TP))^2-1/((CC-TP)^2)/4*3.14*CT*CS$   
 02.30 S  $R=1.41*ML/(2*3.14*2.716*G*CS*(TV-TP))$   
 02.40 F  $I=N1,N2,N3$ ;S  $T1(I)=ML*FEXP(-R*2/(4*DT*I))/G*FSQ(4*3.14*CT*CS)$   
 02.50 F  $I=N1,N2,N3$ ;S  $T1(I)=T1(I)+TP$   
 02.60 T "T 800/500=",TE,!!  
 02.70 T "VARIATIA TEMPERATURII IN TIMF",!

03.10 T "FLUX TRIDIMENSIONAL";T " D1=",G1;T " D2=",G2,!  
 03.20 S  $TT=ML*(1/(500-TP)-1/(800-TP))/(2*3.14*CT)$   
 03.30 S  $R=FSQ(2*ML/(3.14*2.716*CS*(TV-TP)))>1$   
 03.40 F  $I=N1,N2,N3$ ;S  $T2(I)=ML*FEXP(-R*2/(4*DT*I))/(2*3.14*CT*I)$   
 03.50 F  $I=N1,N2,N3$ ;S  $T2(I)=T2(I)+TP$   
 03.60 T "T 800/500=",TT,!!  
 03.70 T "VARIATIA TEMPERATURII IN TIMF",!

04.10 F  $I=N1,N2,N3$ ;T "PFENTRU T=",I," SEC...",T1(I)," GRADE",!  
 04.20 C

05.10 F  $I=N1,N2,N3$ ;T "PFENTRU T=",I," SEC...",T2(I)," GRADE",!  
 05.20 C

06.10 D 1.22;G 1.33  
 \*

fig.37

## PROGRAMAREA CICLURILOR TERMICE LA SUCARE

CONTR NR: C5446  
 CONDŢIŢIUNI AFISARE REZ. N1:5 N2:5 N3:200  
 ENERGIA LINIARA TEHNICA:17040 J/CM  
 DIFUZIVITATEA TERMICA:0.0289 CM<sup>2</sup>/S  
 CAPACITATEA SPECIFICA:6.9 J/CM<sup>3</sup>\*GRAD  
 CONDUCTIVITATEA TERMICA:0.20 W/CMJGR/°C  
 GROSIMEA TABLEI DE SUDAT:12 CM  
 RENDAMENTUL TERMIC:0.85  
 TEMPERATURA DE PREINCALZIRE:280 GRADE  
 TEMPERATURA DE VIRF:1300 GRADE  
 FLUX BIDIMENSIONAL D1= 0.70 D2= 32.40  
 T 800/500= 142.6

## VARIATIA TEMPERATURII IN TIMP

PENTRU T= 5.00	SEC...	1532	GRADE
PENTRU T= 10.00	SEC...	1181	GRADE
PENTRU T= 15.00	SEC...	1020	GRADE
PENTRU T= 20.00	SEC...	922.7	GRADE
PENTRU T= 25.00	SEC...	855.8	GRADE
PENTRU T= 30.00	SEC...	806.3	GRADE
PENTRU T= 35.00	SEC...	767.6	GRADE
PENTRU T= 40.00	SEC...	736.4	GRADE
PENTRU T= 45.00	SEC...	710.5	GRADE
PENTRU T= 50.00	SEC...	688.6	GRADE
PENTRU T= 55.00	SEC...	669.7	GRADE
PENTRU T= 60.00	SEC...	653.2	GRADE
PENTRU T= 65.00	SEC...	638.6	GRADE
PENTRU T= 70.00	SEC...	625.7	GRADE
PENTRU T= 75.00	SEC...	614.0	GRADE
PENTRU T= 80.00	SEC...	603.4	GRADE
PENTRU T= 85.00	SEC...	593.8	GRADE
PENTRU T= 90.00	SEC...	585.0	GRADE
PENTRU T= 95.00	SEC...	576.9	GRADE
PENTRU T= 100.0	SEC...	569.4	GRADE
PENTRU T= 105.0	SEC...	562.5	GRADE
PENTRU T= 110.0	SEC...	556.0	GRADE
PENTRU T= 115.0	SEC...	550.0	GRADE
PENTRU T= 120.0	SEC...	544.3	GRADE
PENTRU T= 125.0	SEC...	539.0	GRADE
PENTRU T= 130.0	SEC...	533.9	GRADE
PENTRU T= 135.0	SEC...	529.2	GRADE
PENTRU T= 140.0	SEC...	524.7	GRADE
PENTRU T= 145.0	SEC...	520.5	GRADE
PENTRU T= 150.0	SEC...	516.5	GRADE
PENTRU T= 155.0	SEC...	512.6	GRADE
PENTRU T= 160.0	SEC...	509.0	GRADE
PENTRU T= 165.0	SEC...	505.5	GRADE
PENTRU T= 170.0	SEC...	502.1	GRADE
PENTRU T= 175.0	SEC...	498.9	GRADE
PENTRU T= 180.0	SEC...	495.9	GRADE
PENTRU T= 185.0	SEC...	493.0	GRADE
PENTRU T= 190.0	SEC...	490.1	GRADE
PENTRU T= 195.0	SEC...	487.4	GRADE
PENTRU T= 200.0	SEC...	484.8	GRADE

\*G 6.1

CONDŢIŢIUNI AFISARE REZ. N1:200 N2:25 N3:1000  
 FLUX BIDIMENSIONAL D1= 0.70 D2= 32.40  
 T 800/500= 142.6

fig.3.8

## PROGRAMAREA CICLURILOR TERMICE LA SUDARE

CONTR NR: C5446  
 COND. AFISARE REZN N1:5 N2:5 N3:200  
 ENERGIA LINIARA TEHNICA: 17040 J/CM  
 DIFUZIVITATEA TERMICA: CN289 CM205  
 CAPACITATEA SPECIFICA: 6N9 JOCM3JGRAC  
 CONDUCTIVITATEA TERMICA: CN20 WCCMJGRAC  
 GROSIMEA TABLEI DE SUDAT: 3 CM  
 RANCIAMENTUL TERMIC: 0N85  
 TEMPERATURA DE PREINCALZIRE: 200 GRADE  
 TEMPERATURA DE VIRF: 1000 GRADE  
 FLUX TRIDIMENSIONAL D1= 3N05 D2= CNCC  
 T 800/500= 3CN24

## VARIATIA TEMPERATURII IN TIMP

PENTRU T= 5N00	SECANA	587N3	GRADE
PENTRU T= 10N00	SECANA	518N6	GRADE
PENTRU T= 15N00	SECANA	798N4	GRADE
PENTRU T= 20N00	SECANA	705N1	GRADE
PENTRU T= 25N00	SECANA	644N2	GRADE
PENTRU T= 30N00	SECANA	595N7	GRADE
PENTRU T= 35N00	SECANA	556N3	GRADE
PENTRU T= 40N00	SECANA	528N7	GRADE
PENTRU T= 45N00	SECANA	504N7	GRADE
PENTRU T= 50N00	SECANA	484N9	GRADE
PENTRU T= 55N00	SECANA	468N3	GRADE
PENTRU T= 60N00	SECANA	454N2	GRADE
PENTRU T= 65N00	SECANA	442N0	GRADE
PENTRU T= 70N00	SECANA	431N4	GRADE
PENTRU T= 75N00	SECANA	422N1	GRADE
PENTRU T= 80N00	SECANA	413N9	GRADE
PENTRU T= 85N00	SECANA	406N6	GRADE
PENTRU T= 90N00	SECANA	400N0	GRADE
PENTRU T= 95N00	SECANA	394N1	GRADE
PENTRU T= 100N00	SECANA	388N7	GRADE
PENTRU T= 105N00	SECANA	383N8	GRADE
PENTRU T= 110N00	SECANA	379N4	GRADE
PENTRU T= 115N00	SECANA	375N3	GRADE
PENTRU T= 120N00	SECANA	371N5	GRADE
PENTRU T= 125N00	SECANA	368N0	GRADE
PENTRU T= 130N00	SECANA	364N8	GRADE
PENTRU T= 135N00	SECANA	361N8	GRADE
PENTRU T= 140N00	SECANA	359N0	GRADE
PENTRU T= 145N00	SECANA	356N4	GRADE
PENTRU T= 150N00	SECANA	353N9	GRADE
PENTRU T= 155N00	SECANA	351N6	GRADE
PENTRU T= 160N00	SECANA	349N5	GRADE
PENTRU T= 165N00	SECANA	347N4	GRADE
PENTRU T= 170N00	SECANA	345N5	GRADE
PENTRU T= 175N00	SECANA	343N7	GRADE
PENTRU T= 180N00	SECANA	342N0	GRADE
PENTRU T= 185N00	SECANA	340N4	GRADE
PENTRU T= 190N00	SECANA	338N8	GRADE
PENTRU T= 195N00	SECANA	337N4	GRADE
PENTRU T= 200N00	SECANA	336N0	GRADE

fig.39

mici se promovează fluxuri termice tridimensionale asociate vitezelor de răcire mici.

Tabelul 3.1

Varianta	Energia lineară [J/cm]	Temperat. de virf [°C]	$t_{8/5}[s]$	Tipul fluxului termic	Grosimea [mm]
a	10400	1300	18,4	tridim.	12
b	10400	1200	18,4	tridim.	12
c	10400	1000	53,1	bidim.	12
d	14600	1300	104,7	bidim.	12
e	14600	1200	104,7	bidim.	12
f	14600	1000	104,7	bidim.	12
i	17000	1300	142,6	bidim.	12
h	17000	1200	142,6	bidim.	12
l	17000	1000	142,6	bidim.	12
A	10400	1300	18,4	tridim.	30
B	10400	1200	18,4	tridim.	30
C	10400	1000	18,4	tridim.	30
D	14600	1300	25,9	tridim.	30
E	14600	1200	25,9	tridim.	30
F	14600	1000	25,9	tridim.	30
G	17000	1300	30,2	tridim.	30
H	17000	1200	30,2	tridim.	30
I	17000	1000	30,2	tridim.	30

Independența față de temperatura de virf a timpului de răcire între 800 și 500°C este o consecință a simplității formulilor acceptate care țin cont numai de energia lineară și grosimea tablei (totuși folosibile).

Folosind rezultatele calculului efectuate conform modelelor din fig.3.10 și fig.3.11, s-au executat din carton, cartelele profilate, necesare simulatorului de cicluri termice.

Aceste cartele cuprind pe lângă ciclurile de încălzire și răcire, în porțiunea inițială, programarea temperaturii de pre-încălzire de 280°C așa cum se observă în fig.3.10

Simulatorul de cicluri termice urmărește fidel profilul cartelei prin intermediul capului prevăzut cu servomecanism și fiecărui punct de pe cartela profilată îi corespunde o valoare a temperaturii din zona influențată termic.



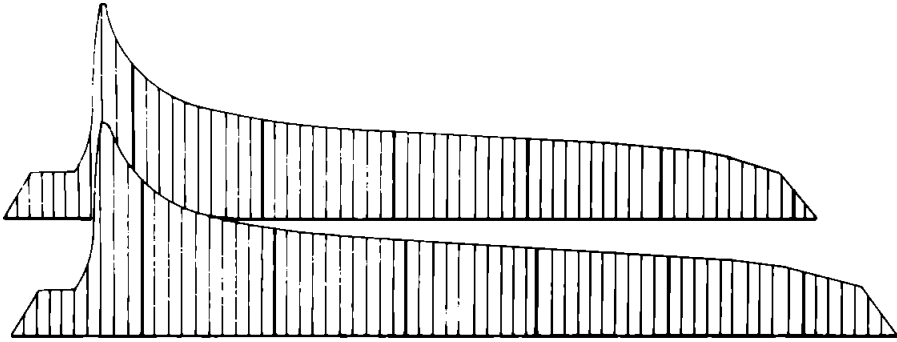


Fig. 3.10

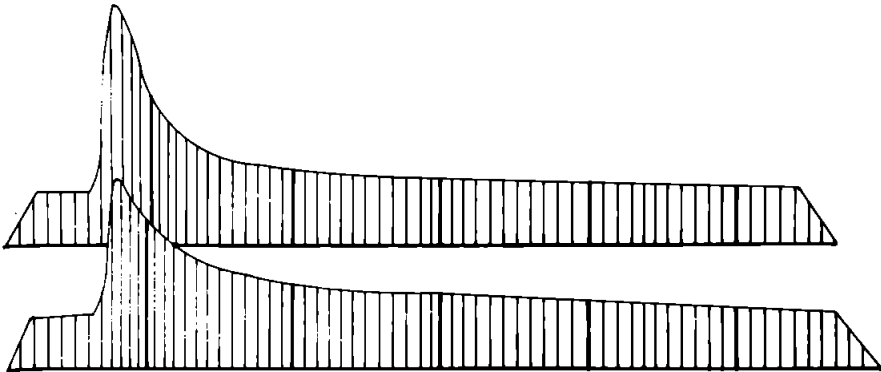


Fig. 3.11

Răciră probei se produce de la temperatura de vîrf -  $T_m$ , pînă la temperatura de preîncălzire -  $T_{pr}$ , de la care de fapt pornește întregul ciclu.

Timpu cuprins între momentul atingerii temperaturii de  $800^{\circ}\text{C}$  și a celei de  $500^{\circ}\text{C}$  este  $t_{8/5}$  și servește la calcularea vitezei de răcire în acest interval cu relația:

$$v_r = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{800 - 500}{t_{8/5}} = \frac{300}{t_{8/5}} \text{ [}^{\circ}\text{C/s]} \quad (3.10)$$

Cu datele din tabelul 3.1 se pot calcula vitezele de răcire care sînt cuprinse între 2,1 și  $16,3^{\circ}\text{C/S}$  la grosimi de tablă de 12 mm și între 9,9 și  $16,3^{\circ}\text{C/S}$  la grosimi de 30 mm.

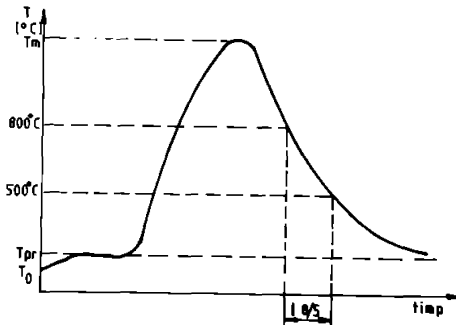


Fig. 3.12

### 3.3.1.4 Execuțarea operației de simulare

Pentru execuțarea operației de simulare s-a prevăzut realizarea unor epruvete prismatice din metal de bază din ambele grosimi de material - 12 și 30 mm.

Epruvetele s-au confecționat la dimensiunea de  $11 \times 11 \times 55 \text{ mm}$  în vederea utilizării acestora și pentru încercarea prin încovoiere la  $600^\circ\text{C}$  cu dimensiunea de  $10 \times 10 \times 55$  cu creștătură în "V". În urma operației de simulare și efectuării tratamentului termic suprafața exterioară a probelor inițiale suferă o oxidare respectiv o decarburare fapt pentru care s-a prevăzut un caduc de prelucrare de cea 1 mm care apoi s-a înlăturat prin rabotare și rectificare.

Pe aceleași epruvete rabotate și rectificate în vederea încercării la  $600^\circ\text{C}$ , se execută analiza metalografică și încercarea durității în vederea comparării variantelor de simulare.

După execuțarea încercării de încovoiere prin  $600^\circ\text{C}$  pe probe reprezentative din fiecare variantă de simulare urmează să se execute analize microfractografice pentru a se constata natura ruperii în corelație cu structura metalografică constatată.

Intrucât la oțelul aflat în studiu - 12Cr13 se impune execuțarea unui tratament termic postsudare, jumătate din probele simulate se supun unui tratament termic care apoi parcurg aceleași analize ca și probele netratate.

Necesarul de probe ce au urmat să fie simulate s-a stabilit ținându-se cont de a avea cel puțin trei epruvete similare în condiții identice, deoarece se utilizează trei energii lineare de sudare pentru fiecare grosime (două grosimi) lucrându-se cu trei temperaturi de vîrf.

Din cele prezentate se observă diferența mare dintre limitele inferioare ale vitezelor de răcire la tablă de 12 mm căreia îi corespunde un flux bidimensional comparativ cu tabla de 30 mm pentru care fluxul este tridimensional.

Numărul de probe necesar realizării operației de simulare a rezultat astfel:

3 energii lineare x 3 temperaturi de vîrf x 3 epruvete x 2 grosimi x 2 variante de tratament termic x 1 temperatură de preîncălzire = 108 probe.

Pentru analizele metalografice și încercările de duritate s-a utilizat o singură epruvetă din cele trei identice, în timp ce pentru încercarea de încovoiere prin goc s-au utilizat toate epruvetele confecționate.

Operația de simulare s-a executat cu un simulator de cicluri termice Smith Weld de tip LS 1402.

În vederea implementării ciclurilor termice calculate, aparatul necesită execuția unor cartele profilate care sînt ulterior urmărite cu ajutorul unui cap optic cu servomecanism. Pe proba ce urmează a fi simulată se lipește un termocuplu cu care aparatul controlează variația temperaturii reale din probă comparativ cu valorile impuse prin cartela profilată.

Încălzirea probei se realizează la acest tip de aparat prin trecerea unui curent electric de intensitate variabilă, controlată de un tiristor prin proba fixată în bocuri. Operația de simulare s-a executat individual pe fiecare probă respectîndu-se regimul stabilit în tabelul 3.1.

După simularea tuturor probelor s-a trecut la executarea tratamentului termic pe jumătate din probe în vederea studierii influenței acestuia asupra caracteristicilor de reziliență și duritate, precum și pentru stabilirea modificărilor structurale ce se produc.

Tratamentul termic a fost cel stabilit la îmbinările sudate și anume - menținere la 750°C timp de 1 oră pentru fiecare 25 mm grosime de material și cu viteză de răcire de 50°C/oră.

### 3.3.1.5 Examinarea probelor și interpretarea rezultatelor.

Probele supuse operației de simulare și tratament termic au fost pregătite metalografic după ce s-a ales din fiecare variantă de simulare ote epruvetă.

Analiza metalografică s-a început cu examinarea metalului de bază neafectat, constatîndu-se la ambele grosimi de material structuri feritice cu carburi avînd mărimea grăunților conform STAS 5490 - 80 de punctaj 9 - la aca cum rezultă din fig.3.13

pentru grosimi de 12 mm și fig. 3.14 pentru grosimi de 30 mm.

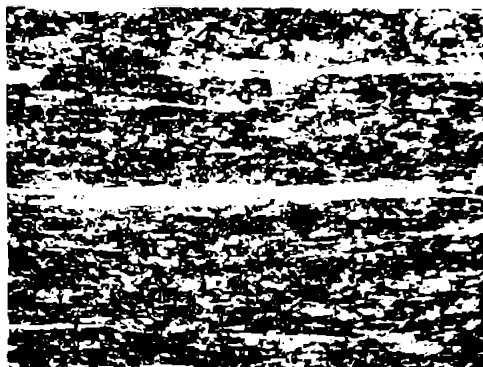


Fig. 3.13

(Atlas V2A, 350x)



Fig. 3.14

(Atlas V2A, 350x)

Duritatea metalului de bază are valori cuprinse între 200...230 HV5 pentru grosimile de 30 mm și între 220...265 HV5 pentru grosimea de 12 mm.

După operația de simulare, indiferent de mărimea energiei liniare la sudare se constată structuri feritice cu carburi și martensită, cum se observă din fig. 3.15.

La probele care au fost supuse și tratamentului termic se constată absența martensitei, structura fiind feritică cu carburi fig. 3.16.

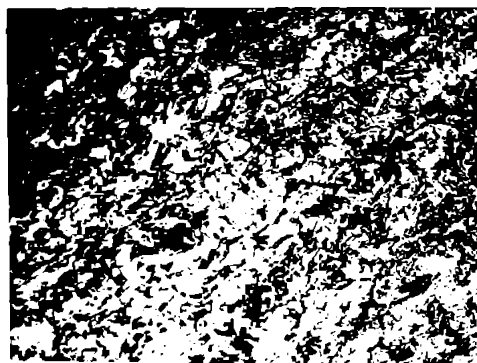


Fig. 3.15

(Atlas V2A, 100x)

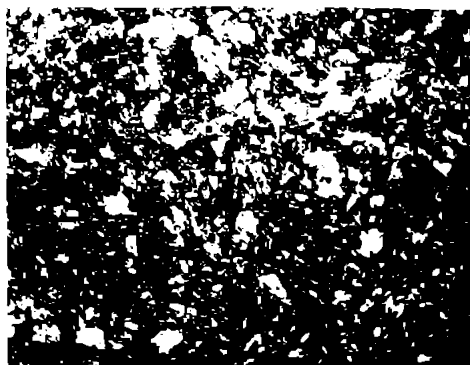


Fig. 3.16

(Atlas V2A, 100x)

Totodată se observă finisarea granulației care în raport cu structura inițială a metalului de bază neafectat prezintă o granulație mai fină.

Pe de altă parte se constată diferențe structurale în morfologia martensitei între probele simulate la diverse temperaturi de vîrf, cel mai pregnant fiind evidențiată ocazută fază

la temperatura de  $1350^{\circ}\text{C}$ .

În fig.3.17 se observă structura unei probe la care temperatura de vîrf la simulare este de  $1350^{\circ}\text{C}$ , iar în fig.3.18 temperatura de vîrf la simulare este de  $1000^{\circ}\text{C}$ . Comparînd cele două structuri se constată o creștere a grăunților de martensită odată cu creșterea temperaturii de vîrf.

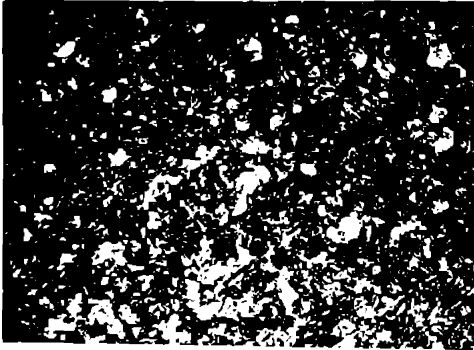


Fig.3.18  
(Atac V2A, 100x)

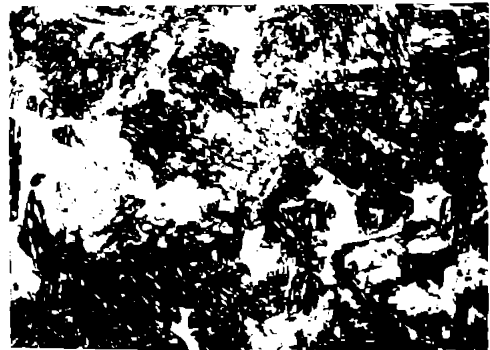


Fig.3.17  
(Atac V2A, 100x)

Analiza sclerometrică s-a efectuat pe aceleași probe care au fost utilizate în analiza metalografică, utilizîndu-se un aparat Wickers cu sarcina de 5 daN. Explorarea s-a efectuat de-a lungul unei direcții longitudinale ce trece prin centrul probei fig.3.19.

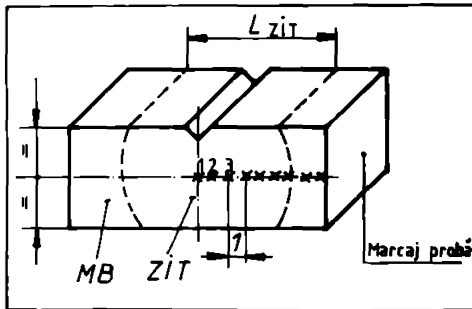


Fig.3.19

Numărul urmelor de duritate nu a fost același pe toate probele întrucît în funcție de regiunea de simulare ZIT a avut lățimi diferite. S-a urmărit ca în metalul de bază să se execute trei imprimări.

Analizînd ansamblul rezultatelor privind încercările de duritate, se constată că după operația de simulare, la probele preluate din table cu grosime 12 mm, duritatea maximă în ZIT

Din motive de simetrie s-a considerat ca suficientă investigarea durității de la centrul probei spre unul din capete, amprentele plasîndu-se la intervale de 1 mm așa cum se observă din figura alăturată.

se plasează între 450...550 HV5, iar la cele prelevate din table de 30mm, între 400...500 HV5.

Duritatea mai mare obținută la grosimea de 12 mm, se explică prin faptul că la răcirea cu viteze mai mici se favorizează reprecipitarea unor particule de faze intermetalice cu efect de durificare. La grosimi mai mari ale tablei separarea acestor faze devine imposibilă datorită creșterii vitezei de răcire (cazul tablei de 30mm).

În fig. 3.20 și fig. 3.21, cit și în fig. 3.22 și fig. 3.23 se prezintă spre exemplificare variația durității în ZIT pentru ambele grosimi de tablă (12 mm și 30 mm).

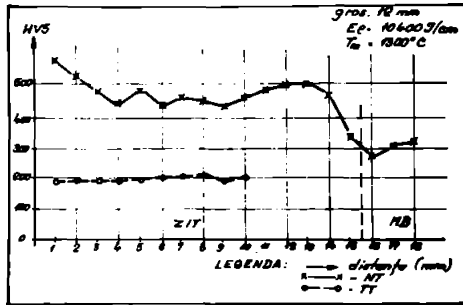


Fig. 3.20

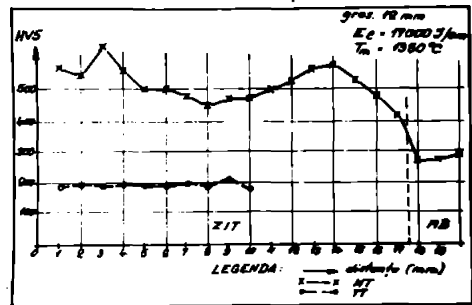


Fig. 3.21

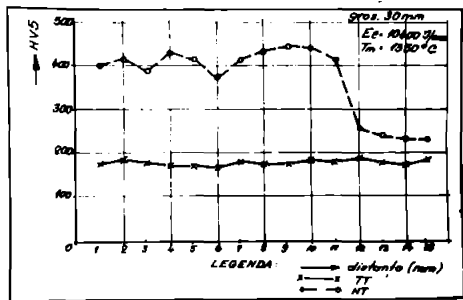


Fig. 3.22

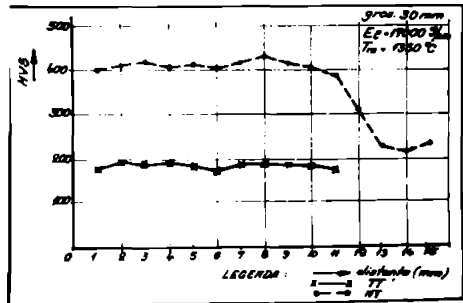


Fig. 3.23

Diagramele au fost astfel alese încât să reprezinte duritatea pentru oite două condiții extreme în ceea ce privește energia liniară la sudare.

Se menționează că s-au ales diagramele de variație ale durității pentru ambele oțeluri corespunzătoare energilor de 10400 J/cm și 17000 J/cm la temperaturi de vîrf de 1350°C.

Se remarcă din examinarea diagramelor prezentate că extinderea ZIT depinde de mărimea energiei liniare la sudare cu condiția ca temperatura de vîrf să rămînă constantă, în sensul că este cu oca 4...5 mm mai mare pentru energia liniară mai mare.

Un alt factor care influențează lățimea ZIT este temperatura de vîrf constatîndu-se că la  $T_m = 1000^\circ\text{C}$  indiferent de energia de sudare, lățimea ZIT variază între 22...24 mm în timp ce la  $1350^\circ\text{C}$  aceasta ajunge pînă la 34 mm.

În figurile de mai sus se prezintă și curbele de variație ale durității pentru probele care au suferit tratament termic postsudare de  $700^\circ\text{C}$  timp de o oră. Analizînd toate curbele de la ambele grosimi de material, (nu numai cele prezentate) de la toate variantele se constată că duritățile sînt în metalul de bază neafectat cît și în ZIT, scad în intervalul 180...205 HV5.

Din cele prezentate pînă acum rezultă că după aplicarea tratamentului termic are loc o uniformizare structurală a materialului ZIT și MB cu eliminarea martensitei fragile și reducerea durităților sub 200 HV5.

Probele simulate au fost supuse, de asemenea, încercărilor la încovoiere prin șoc conform STAS 7511-81, în care scop s-au rectificat pe toate fețele laterale pentru a le aduce la dimensiunea prevăzută și s-au creat în "v".

Încercările la încovoiere prin șoc efectuate la  $20^\circ\text{C}$ , pe probe netratate au indicat valori foarte scăzute ale acestei energii la ambele grosimi de material avînd valori cuprinse între 4...10 J. După efectuarea tratamentului termic valorile energiei la încovoiere prin șoc cresc substanțial și sînt exemplificate în fig. 3.24 (A) și fig. 3.25 (B) pentru table de 12 mm grosime respectiv 30 mm grosime.

Pentru ambele grosimi de material se constată că indiferent de energia liniară la sudare, energia de încovoiere prin șoc, crește odată cu scăderea temperaturii de vîrf. Se precizează că variantele a, b, c, de exemplu, se diferențiază prin mărimea temperaturii de vîrf (la a  $-1350^\circ\text{C}$ , b  $-1200^\circ\text{C}$ , c  $-1000^\circ\text{C}$ ), în același fel variînd temperatura de vîrf la celelalte grupe de cîte trei variante ce corespund unei anumite energii liniare de sudare.

Analiza comparativă a histogramelor din fig. 3.24 (A) ce corespund grosimii de material de 12 mm arată că o dată cu creșterea energiei de sudare are loc o anumită împrăștiere a valorilor experimentale obținute. Din acest punct de vedere varianta cu

**A**

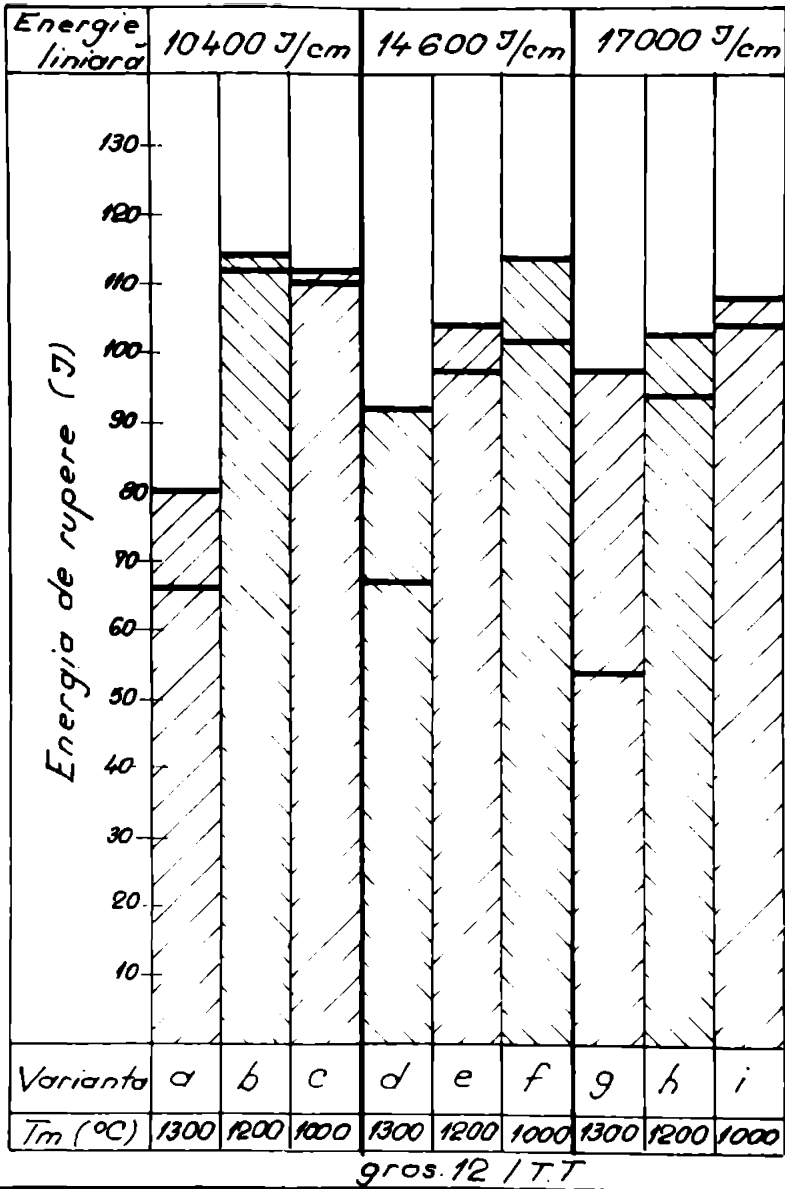
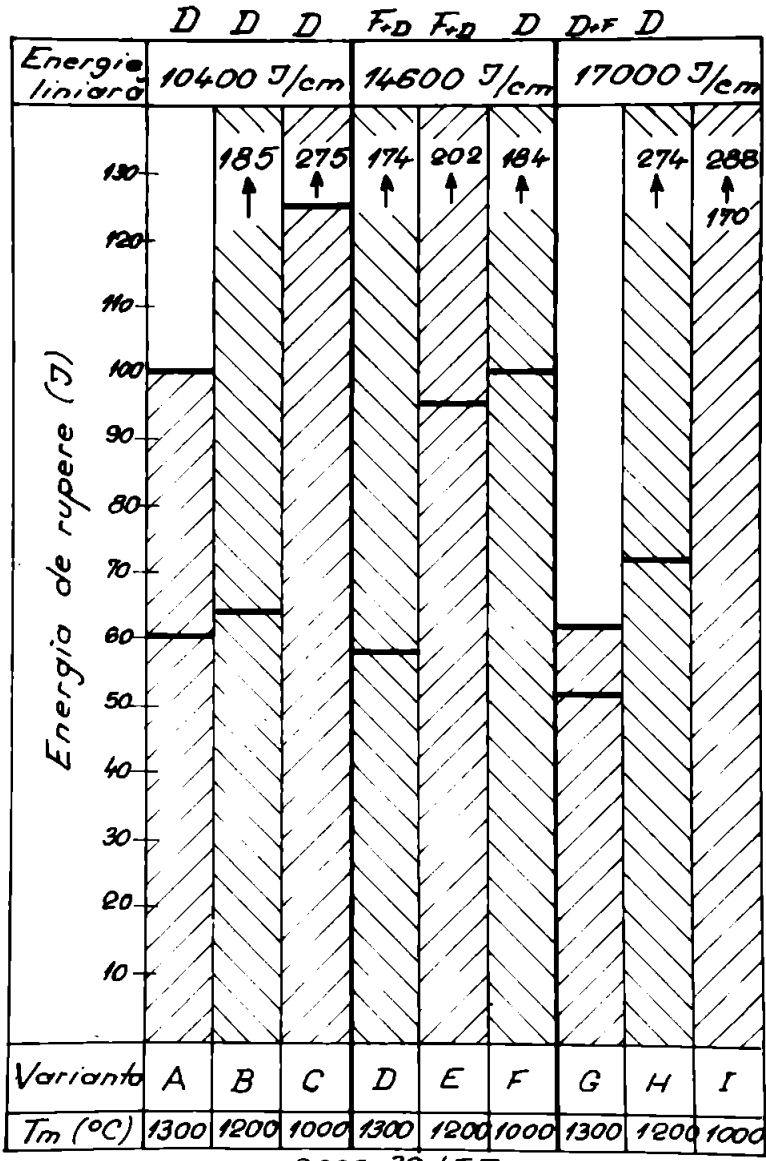


Fig. 3.24



**B**



gros. 30 / T.T

energia liniară de 10400 J/cm (energia minimă stabilită) prezintă dispersiile cele mai mici, reziliența în toate cazurile având valoarea de minim 66 J. Dispersia cea mai mare apare la varianta "G" asociată de altfel și cu cea mai scăzută valoare a rezilienței care se situează la 54 J. Se precizează că temperaturile de vîrf alese corespund celor obținute în timpul sudării reale în cele trei subzone ale ZIT și anume:

- 1350°C - subzona de supraîncălzire
- 1200°C - subzona de normalizare
- 1000°C - subzona transformări incomplete

Se apreciază că în sudura reală proprietățile subzonelor ZIT vor fi apropiate de cele determinate pe probe simulate.

Subzona de supraîncălzire va avea o reziliență cuprinsă în intervalele prezentate în fig. 3.24 (A) funcție de EL și care se plasează ca valoare sub cele corespunzătoare celorlalte zone.

Extinderea rezultatelor obținute prin simulare, asupra îmbinării reale îndreptățește concluzia că varianta cu  $E_L$  de 10400 J/cm oferă mai multe garanții privind asigurarea plasticității îmbinării, decît varianta de 14400 J/cm și cu atît mai mult față de varianta cu 17000 J/cm.

Pe măsura creșterii energiei liniare la sudare, la aceeași temperatură de vîrf se favorizează o mîrire a dispersiei valorilor energiei de rupere prin șoc, fapt explicabil prin modificarea raportului cantitativ între constituenții martensită - ferită apăruiți în fază de răcire (la simulare), cu efecte asupra transformărilor ulterioare provocate în cursul transformărilor de revenire.

Histogramele din fig. 3.25 (B) cuprind rezultatele încercărilor de încovoiere prin șoc pentru grosimi de 30 mm. Se remarcă valori foarte ridicate ale rezilienței care ajung și pînă la 289 J împreună cu valori relativ scăzute de minim 52 J.

Reziliențele cele mai mici se obțin la fel ca și la grosimea de 12 mm, la "G" ce corespunde energiei liniare de sudare maxime (17000 J/cm) și temperaturii de vîrf maxime (1350°C).

Referindu-ne la fig. 3.25 (B) precizăm că vitezele de răcire fiind mai mici, fenomenele de precipitare în urma sudării sînt mai accentuate, iar proporția de martensită și ferită se modifică în sensul creșterii cantității de constituent ferită și scăderii martensitei.

La valori ale energiei liniare de 17000 J/cm și temperatură maximă de 1300°C, (varianta G) pe lângă fenomenele menționate

anterior, se provoacă și o mărire a granulației care afectează puternic tenacitatea.

Caracterul fragil al suprafeței de rupere al epruvetelor este determinat pe de o parte de intensificarea fenomenelor de reprecipitare a fazelor intermetalice odată cu ridicarea energiei liniare la sudare, iar pe de altă parte de creșterea granulației.

Ansamblul rezultatelor de la încercarea de încovoiere prin 90° indică de asemenea o variantă cu energia liniară minimă e - foră proprietățile cele mai favorabile unei îmbinări sudate cu plasticitate corespunzătoare.



Fig. 3.26



Fig. 3.27

Analiza microfotografică s-a efectuat pe toate probele care în cadrul variantei prezentau cea mai mică energie de rupere.

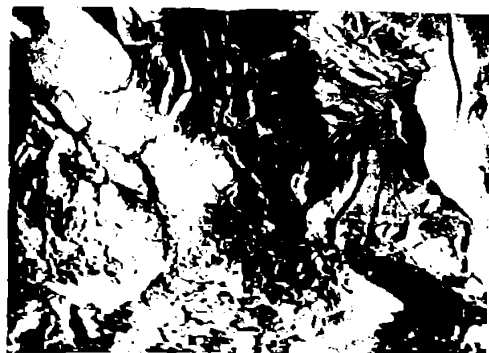


Fig. 3.28

S-a constatat că la energia liniară de sudare de 10400 J/cm indiferent de temperatura de vîrf ruperile au fost net ductile cu formațiuni de cupe caracteristice acestui tip de degradare (supere) fig. 3.26.

Concluzia este valabilă pentru ambele grosimi de material.

Pentru energia de 14600 J/cm ruperile ductile sînt însoțite zonal și de ruperi fragile și în special la temperaturi de vîrf de 1350°C, așa cum se observă în fig. 3.27.

Ruperi fragile apar și pentru valorile maxime alese ale energiei liniare la sudare (17000 J/cm) și tot în cazul temperaturii

de virf de  $1350^{\circ}\text{C}$ , cum se observă din fig. 3.28.

Aceste rezultate completează constatările făcute pe baza valorilor energiei de rupere prin șoc conform căreia energia liniară de  $10400 \text{ J/cm}$  este de preferat celorlalte variante, întrucât doar la această energie nu apar ruperi fragile indiferent de temperatura de virf.

Pe baza ansamblului rezultatelor experimentale (metalografie, durități, energie de rupere și fractografie) se apreciază că energia liniară la sudare de  $14600 \text{ J/cm}$  poate fi folosită cu unele precauții în special la grosimi de  $12 \text{ mm}$ .

Concluzia cercetărilor experimentale efectuate prin simulare este că folosirea la sudare a energiei liniare cu valori de peste  $15000 \text{ J/cm}$  au dat rezultate necorespunzătoare.

Pentru proiectarea tehnologiilor de sudare s-au avut în vedere tipurile de îmbinări sudate cele mai des utilizate în realizarea structurilor sudate din echipamentele hidroenergetice și anume:

- îmbinări sudate cap la cap cu margini prelucrate în "X".
- îmbinări sudate cap la cap cu margini prelucrate în "V" și  $1/2 \text{ " V "}$  cu și fără suport la rădăcină.

Celelalte tipuri de îmbinări sudate cum ar fi îmbinările de colț, apar în general la sudarea oțelurilor similare slab aliate cu mangan care nu ridică probleme din punct de vedere tehnologic, fapt pentru care nici nu constituie obiectul acestui studiu.

Procedeele de sudare stabilite pentru a fi studiate și pentru care s-au și proiectat tehnologiile de sudare, au fost alese ținându-se cont de particularitățile structurilor sudate din echipamentele hidroenergetice - lungimi relativ mici ale cordoanelor de sudură, poziții de sudare diverse, acces la îmbinarea sudată în general dintr-o singură parte, îmbinări între oțeluri disimilare, posibilități reduse de întărire în poziție etc. Aceste procedee de sudare sînt:

- sudarea manuală cu electrozi înveliți a oțelurilor similare  $12\text{Cr}13$ .
- sudarea MIG a oțelurilor similare  $12\text{Cr}13$
- sudarea MAG a oțelurilor disimilare  $12\text{Cr}13$  - R44-6a cu strat intermediar.
- sudarea manuală cu electrozi înveliți a oțelurilor disimilare  $12\text{Cr}13$  - R44-6a și strat intermediar.

Tehnologiile de sudare proiectate pentru fiecare procedeu prezentat mai sus, sînt tehnologii cadru, stabilite funcție de

recomandările din literatura de specialitate și în special de informațiile și concluziile obținute în urma realizării simulării ciclurilor termice la sudare pentru oțelul inoxidabil 12Cr13o.

În continuare se prezintă detaliat fiecare procedeu de sudare cu stabilirea parametrilor și prescripțiilor tehnologice specifice.

### 3.3.2 Sudarea electrică manuală cu electrod învolit a oțelurilor similare 12Cr13o

Datorită accesibilității mari și a faptului că permite sudarea în orice poziție, sudarea cu arc electric manual este folosită la construcția sudată a tuturor structurilor din oțeluri aliate pentru echipamente hidroenergetice, mai ales la cordeane cu lungimi sub 500 mm și poziții de sudare cu dificultate ridicată cum sînt vertical ascendentă și orizontal în plan vertical.

#### 3.3.2.1 Pregătirea materialelor de bază în vederea sudării.

Obținerea unor suduri de calitate necesită o pregătire corespunzătoare a componentelor, care se realizează prin parcurgerea mai multor etape de lucru ca: debitarea cu plasmă, prolucrirea marginilor în vederea sudării, curățirea, preîncălzirea și prinderea provizorie prin puncte.

Debitarea cu plasmă a elementelor se face cu adnos care să fie apoi îndepărtat prin prolucri mecanice, eliminîndu-se astfel zona afectată termic. Parametrii de tăiere cu plasmă în funcție de grosimile materialului sînt prezentate în tabelul 3.2.

Tabel nr.3.2

Parametri de tăiere cu plasmă

Grosime [mm]	Curent jet plasmă I [A]	Ten- siune jet plasmă [V]	Vite- za de tă- iere optimală	Debit măg[ $\text{m}^3/\text{h}$ ] Amor- oare	Distan- ța de hardor [mm]	Lăți- me tăie- rii [mm]	Gaz plas- mă amor- oare
10	250-280	150	95	1,2	5,5	7 - 9	2 - 3 argon argon
12	300-350	160	115	1,2	5	7 - 9	"- "-
20	370-385	170	50	1,2	5,5	8 - 10	"- "-
25	360-380	175	40	1,2	6,2	8 - 10	"- "-
30	350-380	180	30	1,2	6,7	8 - 10	"- "-
35	360-385	180	20	1,2	6,7	10-12	"- "-
50	360-390	180	8	1,2	6,7	10-12	"- "-

Preluorarea marginilor componentelor în vederea sudării se realizează în funcție de procedeu de sudare, de tipul solidității la care este supusă structura, de poziția de sudare, de modul de susținere a rădăcinii, de grosimea componentelor și de tipul materialului de bază. Trebuie de asemenea avut în vedere că la sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți se obțin pătrunderi reduse iar la formarea cordonului sudat ponderea o reprezintă materialul de adăos.

Ținând cont de toate aceste considerații pentru realizarea blindajului camerei rotor s-au ales rosturi în "V" și "1/2 V" ambele pe suport cu o înclinare a flancului de  $15^\circ$ , fig. 3.29 și fig. 3.30.

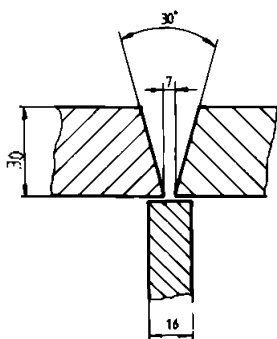


Fig. 3.29

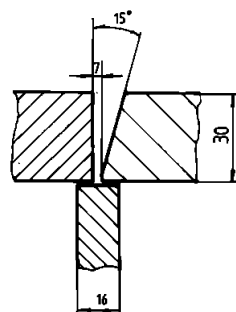


Fig. 3.30

Aceste tipuri de rosturi corespund și configurației geometrice a camerei rotorului, susținerea bșii fiind determinată constructiv tehnologic de existența coliviei care susține blindajul din oțel 12Cr13o așa cum se vede în fig. 3.1.

Preluorarea marginilor în vederea sudării se realizează mecanic prin frezare sau rabotare, iar înainte de sudare piesele se curăță atât pe suprafețele rostului cât și pe o lățime de 50 mm pe cele adiacente marginilor preluorate.

O altă etapă premergătoare operației de sudare este pregătirea termică a componentelor prin preîncălzire la  $280^\circ\text{C}$  care are ca scop:

- reducerea șocului termic
- reducerea vitezei de răcire și evitarea formării constituanților cu grad de plasticitate redusă.
- reducerea tensiunilor interne

Ca material de adăos pentru sudarea manuală cu electrod învelit a oțelului 12 Cr 13o s-a ales electrodul austro -

nitic EC18Ni12Mn6x a cōruī compoziție chimicē și caracteristici mecanice sînt prezentate în tabelul 3.3, din catalog.

Tabelul 3.3

COMPOZIȚIE CHIMICĂ [%]							Caracteristici mecanice ale metalului			
C	Mn	Si	Ni	Cr	S	P	după			
max		max					R <sub>m</sub>	R <sub>p0,2</sub>	A <sub>5</sub>	K <sub>CV</sub>
							[N/mm]	[N/mm]	[%]	min.
							min	min	35	95/20°C
0,13	6,5-8	0,9	9-12	17-19	0,025	0,030	540	345		

### 3.3.2.2 Stabilirea parametrilor tehnologici

Parametrii tehnologici la sudare au fost calculați ținînd cont de geometria rostului și diametrului electrodului oit și de rezultatele obținute prin simularea ciclurilor termice la sudare.

Una din concluziile esențiale de la simulare a fost limitarea energiei liniare la sudare la maxim 14...15 kJ/cm de care s-a ținut cont la stabilirea parametrilor tehnologici care sînt prezentați sintetic în tabelul 3.4.

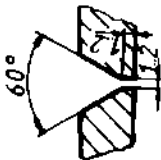
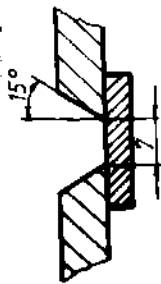
### 3.3.2.3 Prescripții tehnologice la sudarea electrică manuală a oțelurilor 12Cr13.

La sudarea oțelului ferito-martensitic 12Cr13o sînt necesare luarea unor măsuri determinante de pericolul de fisurare în ZIT și de formare a unor structuri grosolane dictate de prezența martensitei, care determină scăderea caracteristicilor mecanice ale îmbinării sudate, fapt pentru care se prevăd următoarele măsuri tehnologice:

a) sculele și dispozitivele necesare la sudare și curățire vor fi din materiale inoxidabile pentru a se evita apariția unor impurități pe suprafețele componentelor ce se sudează.

b) evitarea curenților de aer în spațiile unde se sudează

Tabelul 3.4

Tip îmbinare	Gro- sime ma- terial [s/mm]	Diam. elec- trod de [mm]	Nu- măr tre- ceri	Curent de sudare $I_s$ [A]	Ten- siune de arc $U_a$ [V]	Viteza de sudare $V_s$ [cm/min]	Energia liniară $E_L$ [KJ/cm]
	10	3,25	2	90-100	14-15	7,72	9,8-10,66
		5	2	160-165	18-19	15,03	11,5-12,5
	12	3,25	2	90-100	14-15	7,72	9,8-10,66
		5	3	160-165	18-19	16,0	10,8-11,76
	16	4	2	120-125	16-17	11,2	10,3-11,4
		5	4	160-165	18-19	15,56	11,1-12,09
	20	4	2	120-125	16-17	10,87	10,6-11,73
		5	6	160-165	18-19	16,15	10,7-11,65
	25	4	2	120-125	16-17	10,28	11,2-12,4
		5	9	160-165	18-19	16,77	10,3-11,22
	30	4	2	120-125	16-17	10,86	10,6-11,74
		5	12	160-165	18-19	15,03	11,5-12,51
	35	4	2	120-125	16-17	10,57	10,9-12,06
		5	15	160-165	18-19	14,28	12,1-13,17
	10	3,25	2	90-100	14-15	7,41	10,2-11,14
		5	2	160-165	18-19	14,77	11,7-12,74
	12	3,25	2	90-100	14-15	7,27	10,4-11,37
		5	3	160-165	18-19	14,05	12,3-13,38
	16	4	2	120-125	16-17	10,4	11,1-12,25
		5	5	160-165	18-19	16,77	10,3-11,22
	20	4	2	120-125	16-17	10,21	11,3-12,5
		5	7	160-165	18-19	16,0	10,8-11,76
	25	4	2	120-125	16-17	11,0	10,5-11,6
		5	9	160-165	18-19	13,5	12,8-13,3
	30	4	2	120-125	16-17	9,93	11,6-12,84
		5	10	160-165	18-19	14,77	11,7-12,74
	35	4	2	120-125	16-17	11,0	10,5-11,6
	5	12	160-165	18-19	15,3	11,3-12,3	

c) pentru evitarea formării carburilor de crom este necesar ca în timpul sudării piesa să nu se încălzească peste 600°C.



După sudarea unui strat nu trebuie să se răcească mai mult de 200°C pînă la depunerea următorului strat, în caz contrar apare pericolul de fisurare și fragilizare în ZIT.

d) structura optimă a ZIT care asigură îmbinării plasticitate corespunzătoare este structura sorbitică. Această structură se poate obține două după sudare și înainte de tratament termic, piesa este răcită sub linia de transformare martensitică. În acest scop piesele se răcesc după sudare la 200..250°C interval în care sînt menținute circa două ore, după care se poate executa tratamentul termic de revenire.

e) după sudare se aplică obligatoriu un tratament termic de revenire la o temperatură determinată pe baza cromaticului echivalent  $Cr_{eq}$  care pentru cazul oțelului 12Cr13o are o valoare de:

$Cr_{eq} = Cr + Mn + 1,5 Si + 0,5 Nb = 14,115 \%$  căruia îi corespunde o temperatură de tratament termic postsudare  $\Theta_{TT} = 750^{\circ}C$ .

Durata de menținere se calculează în funcție de grosimea componentelor sudate la o oră pentru fiecare 25 mm grosime.

Pentru grosimea de 30 mm,  $t = 1h12'$ ; iar pentru 12 mm,  $t_{TT} = 29'$

Diagrama de tratament termic este prezentată în fig. 3.31.

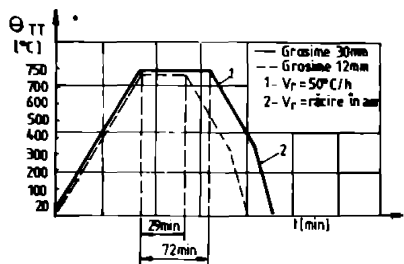


Fig. 3.31

du-se formarea de oxizi de Cr și C. Totodată prin folosirea procedurii MIG, crește viteza de sudare și implicit productivitatea.

Necăzind înveliguri sau fluxuri, în cazul folosirii procedurii MIG, după sudare, nu există zgură ce trebuie îndepărtată, cusătura rămâne curată și trecerea următoare se realizează imediat.

### 3.3.3.1 Pregătirea materialelor de bază în vederea sudării MIG.

Modul de pregătire a marginilor tablelor în vederea sudării

### 3.3.3 Sudarea MIG a oțelurilor similare 12Cr13o - 12Cr13o.

Sudarea oțelurilor inoxidabile este recomandabil să se realizeze mai ales cu procedeele MIG și MIG. Recomandarea este determinată de faptul că se asigură o protecție foarte bună a bazei metalice în timpul sudării exclusiv

rii, respectiv etapele de lucru este identic cu cel de la sudarea electrică manuală, diferența constă doar în modul de pregătire a rosturilor.

La sudarea MIG se va folosi îmbinarea cap la cap cu rost în V și X unghiul dintre flancuri de  $60^\circ$ , prezentat în fig. 3.32 și 3.33

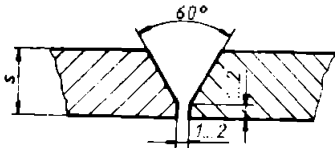


Fig. 3.32

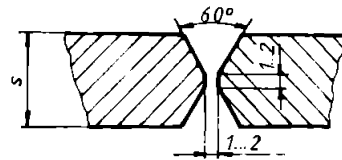


Fig. 3.33

Se vor respecta și la sudarea MIG condițiile termice de profincălire prezentate la sudarea electrică manuală. Temperatura de profincălire  $\theta_{pr} = 280^\circ \dots 300^\circ C$ .

Materialele de protecție folosite la sudarea MIG sînt gazul de protecție inert (Ar) și sîrma de sudură.

Caracteristicile gazului de protecție sînt prezentate în tabelul 3.5.

Tabelul 3.5

Gaz	Simbol IIS	Compoziție chimică [%]	Acțiunea față de metale topite	Temp. de fierbere la 1 atm [°C]	Val. specifică la 1 atm și 20°C [m <sup>3</sup> /Kg]	Densitatea față de aerul curat	Potențial de ionizare [V]
Ar	II	100%	inert	-184	0,693	1,38	15,7

La sudarea MIG se folosește sîrma S12Cr19Ni9 cu diametre de 1,2 și 2,4 mm a cărei compoziție chimică este prezentată în tabelul 3.6

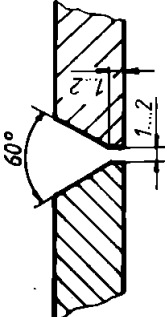
Tabelul 3.6

Marea sîrmei	Compoziția chimică [%]				
	C max.	Mn max.	Si max.	Cr	Ni
S12Cr19Ni9	0,10	2,0	1,00	17-19	8-10

### 3.3.3.2 Parametrii tehnologici la sudarea MIG

Parametrii de sudare MIG a oțelului 12Cr13o sînt prezentați în tabelul 3.7.

Tabelul 3.7

Forma rostului	Diam. electrod de [mm]	Grosime material S/cm	Număr treceri	Curent de sudare I [A]	Tensiune arc U <sub>a</sub> V	Viteză de sudare V <sub>s</sub> [cm/min]	Viteză de electrod V <sub>el</sub> [cm/min]	Energia linară E <sub>L</sub> [KJ/cm]	Debit Ar [e/min]		
	1,2	10	3	230±10	27±1	32,97	149,6	10,9-11,4	10		
			4	230±10	27±1	35,15	149,6	10,2-10,8	10		
	2,4	10	5	420±10	35±1	70,56	197,4	12,0-12,7	15		
			8	420±10	35±1	79,21	197,4	11,1-11,8	15		
			12	420±10	35±1	72,09	197,4	11,8-12,6	15		
			18	420±10	35±1	76,03	197,4	10,9-11,8	15		
			23	420±10	35±1	68,91	197,4	12,4-13,1	15		
			1,2	10	2	230±10	24-25	30,89	149,6	11,5-12,2	15
					2	230±10	24-25	32,24	149,6	10,2-10,9	15
	3	360±10			31-32	58,57	197,4	11,2-12,4	15		
4	360±10	31-32			57,12	197,4	11,6-12,5	15			
2,4	10	6			360±10	31-32	54,86	197,4	12,3-13,2	15	
		9	360±10	31-32	61,72	197,4	11,1-12,2	15			
		12	360±10	31-32	56,2	197,4	11,8-12,7	15			

### 3.3.3.3 Prescripții tehnologice la sudarea MIG.

Prescripțiile tehnologice la sudarea MIG sînt identice cu cele de la sudarea electrică manuală avînd următoarele particularități specifice:

- dacă accidental s-a întrerupt arcul electric și s-a format un oxter, reluarea sudurii se va face numai după polizarea oxterului;

- distanța dintre punctele de prindere cu sudură va fi de 100-150 mm.

- în timpul sudării rădăcinii se va asigura protecția acesteia cu Ar la o presiune de lucru de 0,2...0,4 daN/mm<sup>2</sup>

- umplerea rostului se face cu pendulare redusă

Condițiile de tratament termic postsudare sînt identice cu cele prezentate la sudarea cu arc electric manual.

### 3.3.4 Sudarea semiautomată în CO<sub>2</sub> a oțelurilor disimilare 12Cr13o - R44-6a

Imbinarea sudată a oțelului inoxidabil 12Cr13o-R44-6a este întîlnită în aproape toate echipamentele hidroenergetice.

Necesitatea realizării unei imbinări eterogene între un oțel ferito-martensitic(12Cr13o) și un oțel perlitic(R44-6a) presupune o tehnologie adecvată care să ia în considerare comportarea celor două materiale de bază la sudare, precum și caracteristicile mecanice, structurale și fizice ale unei astfel de imbinări.

Dificultățile tehnologice întîlnite la sudarea oțelurilor ferito-martensitice cu oțeluri perlitice constau în posibilitatea de apariție a fisurilor în zona de trecere de la oțelul ferito-martensitic la oțelul perlitic și a difuziei carbonului dinspre oțelul perlitic spre cel ferito-martensitic creînd pericolul de formare a carburilor de crom dure și fragile.

Combaterea acestor dificultăți se axează în principal pe utilizarea stratului intermediar din material de adaos austenitic depus pe muchia oțelului ferito-martensitic, după care umplerea se face cu material de adaos perlitic.

Prin aplicarea stratului intermediar austenitic se împiedică migrarea carbonului spre oțelul ferito-martensitic, iar plasticitatea ridicată a acestuia permite relaxarea tensiunilor introduse în procesul de sudare.

Grosimea stratului tampon trebuie să fie cel puțin egală cu lățimea zonei influențate termic. După prelucrare, grosimea stratului tampon nu trebuie să fie mai mică de 5...6 mm.

În vederea depunerii stratului intermediar componenta ferito - martensitică se va preîncălzi la 280°C, după care sudarea cu oțelul perlitic se face la o temperatură de preîncălzire de 130° - 150°C / 64 /.

Stratul tampon se ajustează prin prelucrare mecanică pentru a respecta forma geometrică a rostului.

Forma rostului îmbinării MAG este prezentată în fig. 3.34, în care 1 reprezintă R44-6a, 2 reprezintă 12Cr13o și 3 reprezintă strat tampon austenitic.

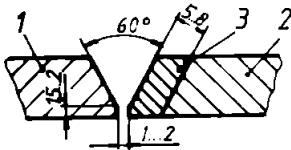


Fig. 3.34

Pentru a împiedica fenomenul de difuzie al carbonului, metalul plăcut ca strat intermediar trebuie să aibă în componența sa elemente de aliere puternic carburante (Cr, Mo, V, Nb).

Stratul intermediar se va depune prin procedoul de sudare cu arc electric manual folosind electrodul austenitic 12Cr18Ni10Mn6x cu diametrul de 4mm.

Pentru sudarea MAG se va utiliza ca metal de adăos sîrma tubulară ST-1B cu diametrul de 1,6 mm și gazul de protecție activ CO<sub>2</sub> tip S conform STAS 2962/76.

Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale metalului depus cu cele două materiale de adăos sînt prezentate în tabelul 3.8

Tabelul 3.8

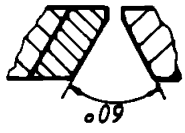
Marca electrod	Compoziție chimică [%]								Caracteristici mecanice			
	C max	Mn	Si	Cr	Ni	P max	S max	R <sub>p0,2</sub> [ N/mm ]	R <sub>m</sub> [ N/mm ]	A5 [%]	KCU [+20°C]	
ECr18Ni10Mn6	0,13	6,5- 8,0	max 0,9	17- 19	9- 12	0,03	0,025	min 345	min 540	35	95	
ST-1B	0,10	0,9- 1,4	0,2- 0,6	-	-	0,03	0,03	430- 480	490- 570	22- 30	90	

### 3.3.4.1 Parametrii tehnologici de sudare MAG

Parametrii tehnologici de depunere strat tampon și de sudare MAG au fost calculați ținînd cont de grosimea materialului de bază, diametrul electrodului și natura procedoului utilizat.

Tabelul 3.9

Forma rostului	Gros. mat. s/mm)	Depunere eleo- ceri	Diam. troz de [mm]	Nu- măr tre- ceri	Curent de sudare $I_S$ [A]	Tens. aro $U_a$ [V]	Viteza de sudare $V_S$ [cm/min]	Vit.de av elec- troz $V_{ae}$ [cm/min]	Energia liniară $E_L$ [kJ/cm]	Debit CO <sub>2</sub> [l/min.]
10			4	4	120-130	16-17	11,2	-	10,3-11,7	-
Metol										
			1,6	2	240-250	26-27	35,61	440	10,2-11,4	12
12			4	4	120-130	16-17	10,20	-	11,2-12,1	-
			1,6	3	240-250	26-27	33,5	440	11,2-12,0	16
16			4	4	120-130	16-17	10,4	-	11,1-12,25	-
			1,6	5	240-250	26-27	37,40	440	10,2-10,8	16
20			4	6	120-130	16-17	10,07	-	10,6-11,73	-
			1,6	8	240-250	26-27	36,65	440	10,5-11,3	16
			4	8	120-130	16-17	11,2	-	10,3-11,4	-
			1,6	18	240-250	26-27	30,26	440	10,2-10,8	16



În tabelul 3.9 sînt prezentați sintetic parametrii regimurilor de sudare calculate.

### 3.3.4.2 Prescripții tehnologice la realizarea stratului intermediar și sudarea MAG

a) Pentru depunerea stratului intermediar sînt necesare următoarele precauții:

- pentru a reduce topirea metalului de bază (12Cr13o) regimul de sudare trebuie să prevadă utilizarea unor valori minime ale curentului și viteze mari de sudare, sudura trebuie să se execute în straturi filiforme;

- deoarece există pericolul de fisurare se folosesc electrozi cu înveliș basic care se vor usca înainte de utilizare la 200-250°C timp de 2 ore.

- se va face preîncălzirea piesei din 12Cr13o la 280°C,

b) Pentru sudarea MAG se prescriu următoarele condiții tehnologice:

- sîrma pentru sudare trebuie să aibă suprafața curată, fără oxizi sau grosimi;

- puritatea minimă a gazului de protecție trebuie să fie de 99,5% CO<sub>2</sub>, iar conținutul maxim de apă este 0,3 g/m<sup>3</sup> gaz.

- după fiecare trecere se curăță cu o perie zgura fină formată pentru evitarea apariției incluziunilor în cusătură;

- curățarea rădăcinii în vederea resudării pe partea opusă se face numai prin procedee mecanice de prelucrare.

### 3.3.5 Sudarea manuală a cuplului de oțeluri 12Cr13o-R44-6a.

Realizarea îmbinării eterogene dintre un oțel ferito-martensitic (12Cr13o) și un oțel perlitic (R44-6a) prin procedeul de sudare cu arc electric manual are în vedere reducerea participării metalului, de bază la formarea cusăturii, creîndu-se prin această premiza de a evita formarea zonelor fragile cu tendință de fisurare ce apar în zona de contact dintre metalul de bază și cusătură.

Probleme legate de realizarea unei astfel de îmbinări sînt similare cu cele de la sudarea MAG (capitolul 3.3.4) cu avantajul că la sudarea manuală cu electrozi înveliși timpul de încălzire este scurt și se limitează procesul de difuzie a carbonului, fenomen ce la amplasare odată cu creșterea temperaturii de încălzire

și începe de la 425°C.

Condițiile de preîncălzire și depunere a stratului tampon cît și materialul de adaos utilizat pentru placare sînt identici cu cele de la sudare MAG (capitolul 3.3.4).

### 3.3.5.1 Pregătirea componentelor în vederea sudării

Componenta ferito-martensitică se va preîncălzi la 280-300°C după care se depune stratul intermediar.

În vederea realizării îmbinării sudate între 12Cr13o și R44-6a, flancul încărcat prin placare se va prelucra mecanic, respectîndu-se valoarea unghiului de flanc și geometria rostului.

Forma rostului la sudarea cu arc electric este prezentată în fig. 3.35

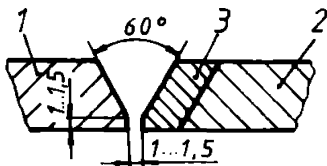


Fig. 3.35

Depunerea stratului tampon se va face folosind electrozi 1 - noxidabili austenitici ECr18Ni8Mn6x.

Realizarea îmbinării dintre R44-6a și 12Cr13o placat cu strat tampon se va face cu electrozi superbaz, STAS 1125/2-76 ale cărui caracteristici mecanice și compoziție chimică sînt prezentate în tabelul 3.1o.

Tabelul 3.1o

Marca electrod	Compoziția chimică [%]						Caract. mecanice				
	C	Mn	Cr	Ni	Si	P	S	R <sub>p0,2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	A5 [%] min	KV I [min]
	0,05- 0,10	0,5- 1,1	-	-	0,25- 0,80	0,04	0,04	430- 490	510- 550	24	40/ -40°C

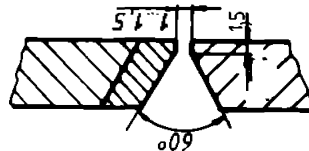
### 3.3.5.2 Parametrii tehnologici utilizați la sudarea manuală cu electrozi înveliți.

În tabelul 3.11 sînt prezentați sintetic parametrii regimului de sudare calculat.



Tabelul 3.11

Forma rostului	Gros. mat. s [mm]	Depunere de [mm]	Diam. electrod de [mm]	Număr treceri	Curent de sudare I <sub>S</sub> [A]	Viteza de sudare V <sub>S</sub> [cm/min]	Energia liniară EL [KJ/cm]	Tensiune arc
10	S.T	4	120-130	4	11,5	10,3-11,4	16-17	
	M.D	3,25	130-140	1	11,56	10,8-11,4	16-17	
		5	210-215	2	23,42	11,3-12,11	21-22	
12	S.T	4	120-130	4	11,2	10,3-11,4	16-17	
	M.D	4	165-170	1	15,56	11,1-12,09	18-19	
		5	210-215	2	23,42	11,3-12,11	21-22	
16	S.T	4	120-130	4	11,2	10,3-11,4	16-17	
	M.D	4	165-170	1	14,81	11,9-12,6	18-19	
		5	210-215	4	22,49	11,2-11,9	21-22	
20	S.T	4	120-130	6	11,2	10,3-11,4	16-17	
	M.D	4	165-170	2	14,81	11,9-12,6	18-19	
		5	210-215	5	22,49	11,2-11,8	21-22	
25	S.T	4	120-130	8	11,2	10,3-11,4	16-17	
	M.D	4	165-170	2	14,81	11,9-12,6	18-19	
		5	210-215	9	23,14	11,2-11,5	21-22	
30	S.T	4	120-130	8	11,2	10,3-11,4	16-17	
	M.D	4	165-170	2	14,81	11,9-12,6	18-19	
		5	210-215	14	23,14	11,2-11,5	21-22	



Aplicarea metodei simulării ciclurilor termice la oțelul 12Cr13o a permis determinarea energiei liniare de sudare opti - me folosind drept criteriu plasticitatea materialului obținut după aplicarea tratamentului termic.

Investigațiile s-au efectuat pentru două grosimi repre - zentative de material (12 și 3o mm) pentru care s-au calculat ciclurile termice corespunzătoare, la trei energii liniare de sudare potențial aplicabile la oțelul studiat.

Aceste energii liniare au fost 1o4oo, 146oo și 17oooo J/cm.

Pentru a reproduce toate subzonele ZIT simulările s-au executat pentru trei temperaturi de vîrf caracteristice subzo - nelor de supraîncălzire (13oo°C), subzonei de normalizare (12oo°C) respectiv subzonei transformărilor incomplete (1oooo°C).

În aceste condiții și pe baza analizelor metalografice , încercărilor de duritate, încercărilor prin șoc, și analizelor mi - crofractografice se desprind următoarele concluzii:

a) Energia liniară de sudare de 1o4oo J/cm oferă garanții privind o bună plasticitate a tuturor subzonelor ZIT.

b) La sudarea oțelului investigat trebuie evitate energii liniare de sudare peste 15oooo J/cm, întrucît apar fenomene de fra - gilizare în subzona de supraîncălzire, care reduce rezistența de ansamblu a îmbinării prin apariția fisurilor, sau a altor defecte specifice acestui fenomen.

c) La elaborarea tehnologiilor de sudare și în special la fixarea energiei liniare în vederea efectuării programului expe - rimental se va avea în vedere limitarea acesteia la valori care să nu depășească 15oooo J/cm.

d) Oțelul 12Cr13o se va supune obligatoriu unui tratament termic postsudare la o temperatură de 75o°C evitîndu-se lovirea structurii în intervalul de timp dintre sudare și tratament, în -trucît acesta poate fisura înainte de tratamentul termic avînd reziliențe foarte scăzute în ZIT.

e) Tehnologiile de sudare pentru cele trei procedee stu - diate, s-au stabilit avîndu-se în vedere rezultatele de la simu - larea ciclurilor termice.

f) Sudarea oțelurilor disimilare este posibil de realizat utilizînd ca metal de adnos electrod, respectiv sîrmă, cu structură perlitică numai cu ajutorul unui strat intermediar executat cu electrozi austenitici, care conferă metalului după plasticita - tate ridicată și limitează difuzia carbonului și a manganului din

sudură spre oțelul ferit-martensitic.

g) Temperatura de preîncălzire determinată în vederea realizării stratului intermediar a fost de 280°C, iar pentru executarea îmbinării sudate între componente din oțeluri disimilare a fost de 150°C.

Aceste valori ale temperaturilor de preîncălzire s-au stabilit după optimizarea tehnologiilor de sudare rezultând îmbinări sudate corespunzătoare în urma controlului vizual și nedistructiv la care au fost supuse.

## C A P I T O L U L 4

### CERCETARI EXPERIMENTALE

#### 4.1 Programul de cercetări experimentale

Avînd în vedere complexitatea cercetărilor experimentale cît și numărul și varietatea mare de epruvete folosite, programul cercetărilor se va desfășura după schema bloc din fig. 4.1 care dă posibilitatea unei urmăriri logice a fazelor ce trebuie parcurse pe întreaga durată de realizare a încercărilor și analizelor experimentale.

Schema prezentată cuprinde operațiile pregătitoare, realizarea încercărilor și prelucrarea informațiilor într-o formă înlăunțuită în mod logic și prevede totodată toate situațiile în care cercetătorul trebuie să ia decizii.

O primă operație prevăzută în programul experimental este stabilirea probelor și a încercărilor ce se vor efectua. Aceasta pornește de la tehnologiile selecționate în vederea efectuării programului experimental, caracteristicile care pot fi utilizate pentru compararea tehnologiilor și de la nevoia efectuării unui număr corespunzător de epruvete de același fel.

Etapa următoare cuprinde întocmirea planului de prelevare al epruvetelor cu menționarea locului de prelevare a fiecărei epruvete din plăcile sudate.

Realizarea îmbinărilor sudate cuprinde în principal operațiile de debitare a plăcilor, sudarea acestora conform tehnologiei stabilite și controlul calității sudurilor.

În cazul constatării unor defecte în plăcile sudate se recurge la remedierea acestora prin scobire mecanică și resudarea zonelor defecte, iar dacă se constată dezaxări sau deformări ale plăcilor, se impune repetarea întregului ciclu.

Plăcile sudate care nu prezintă defecte, se supun în continuare operațiilor de prelevare și pregătire.

În atelier epruvetele se verifică din punct de vedere dimensional și al calității prelucrării, astfel încît acestea să se încadreze în prescripțiile standardelor în vigoare. Probele care nu corespund, dar sînt remediable, se introduc în procesul de pregătire pentru a deveni corespunzătoare.

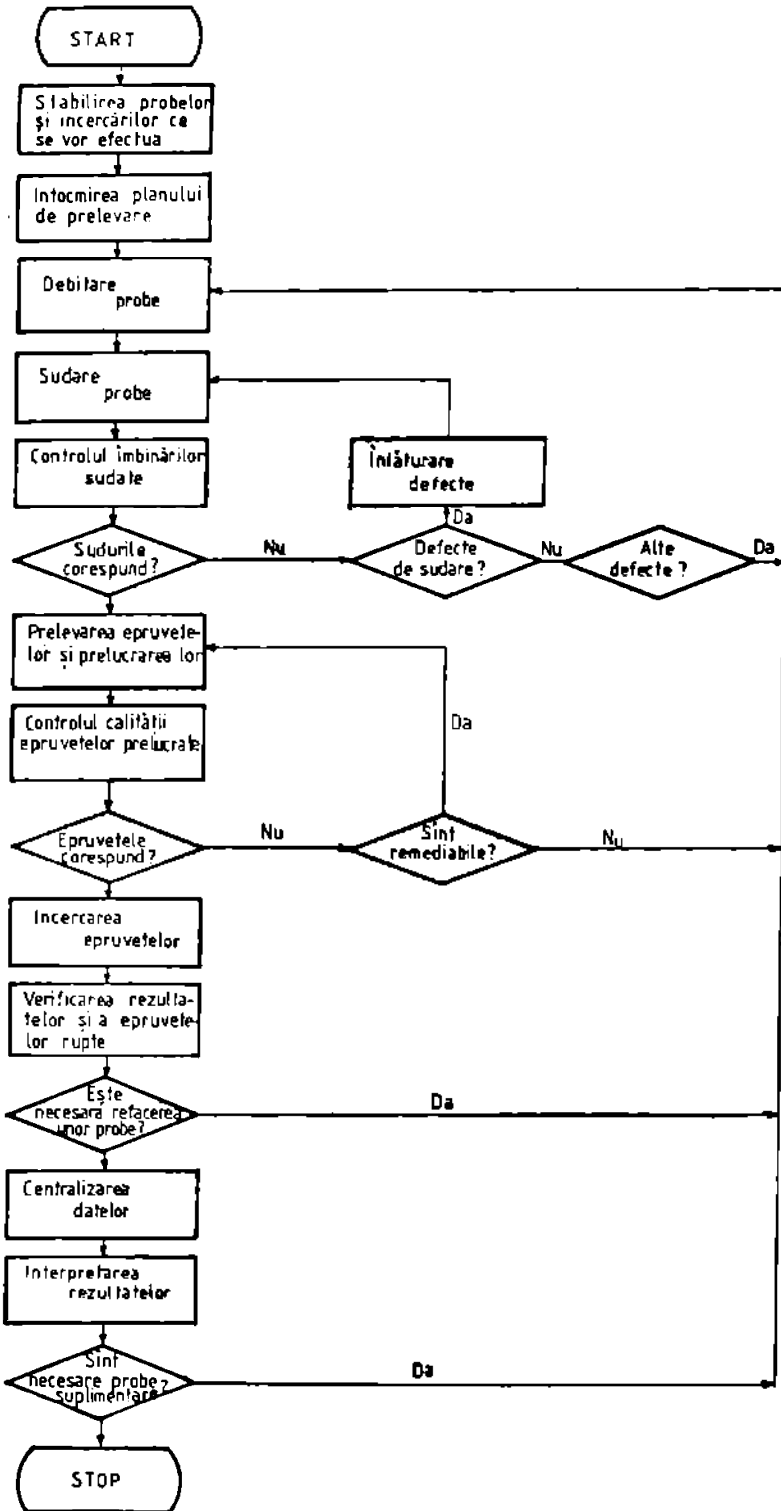


Fig. 4.1

În cazul cî apar probe care nu pot fi remediate este necesar sî se treacă la executarea unor plăci suplimentare care urmează întregul ciclu.

Epruvetele prevăzute pentru încercări, se supun testelor prevăzute la începutul programului experimental, după care se face verificarea suprafețelor de rupere în vederea depistării unor defecte ascunse care au apărut în timpul ruperii și în cazul în care aceste defecte sînt asociate cu valori care se abat de la cele ale epruvetelor similare este necesar sî se execute epruvete suplimentare pentru completarea numărului acestora prevăzute inițial.

Programul experimental prevede în continuare centralizarea tabelară a datelor și interpretarea acestora, atît sub formă de grafic, cît și prin compararea acestora între ele și cu prevederile standardelor aferente.

Schema logică prezentată prevede și posibilitatea ca în urma analizării datelor experimentale sî se constate insuficiența informațiilor, ceea ce conduce la necesitatea realizării unor probe suplimentare.

#### 4.2 Stabilirea probelor și încercărilor

Verificarea tehnologiei de sudare impune efectuarea unei serii de încercări mecanice și analize, care prin comparare permit selecționarea variantei optime.

O primă analiză care se efectuează înaintea sudării probelor este analiza compoziției chimice care trebuie sî ateste încadrarea oțelului în limitele prevăzute de standarde pentru calitatea oțelului considerat.

Dintre încercările mecanice frecvent aplicate la verificarea tehnologiei de sudare se au în vedere încercarea la tracțiune, la încoviere prin șoc, la îndoire atît în materialul de bază cît și în sudură.

În timpul încercării de tracțiune se urmărește atît mărirea forței maxime cît și locul de rupere al epruvetei. Suprafața de rupere se examinează în vederea depistării unor eventuale defecte neevidențiate în timpul controlului plăcilor sudate. Epruvetele care prezintă defecte evidente în suprafața de rupere și care împietesc asupra rezultatelor se înlocuiesc cu altele corespunzătoare.

Pentru încercările de tracțiune se prevăd epruvete plate care includ în zona calibrată întreaga îmbinare, forma și dimen-

siunile fiind conform STAS 5540/2-82 și avind în vedere cele două grosimi 12 mm și 30 mm.

Epruvetele pentru încercarea la îndoire se prelevează sub formă de bare drepte conform STAS 777/80 cu îndepărtarea plăcuței suport care se folosește pentru sudarea stratului de rădăcină și a supraînălțurilor.

În timpul încercărilor la îndoire se acceptă doar epruvetele care conform standardului menționat nu prezintă fisuri la unghiuri mai mici de  $130^\circ$ . Dacă totuși apar fisuri se face examinarea suprafeței de rupere constatându-se dacă prezența unui defect nu constituie cauza ruperii premature. Epruvetele fisurate cu defecte se înlocuiesc cu altele corespunzătoare.

Epruvetele pentru încercare la încoșiere prin șoc se prevăd din ambele metale de bază (pentru cazul când acestea sînt discriminare) precum și din sudură. Orientarea canalelor (creștătură V) se alege perpendicular pe suprafața tablei, respectiv sudurii.

La fel ca la încercările de tracțiune și îndoire, se procedează și la încercarea de încoșiere prin șoc, o verificare a tuturor suprafețelor de rupere pentru a evidenția acele epruvete care prezintă defecte clare și cele necorespunzătoare se înlocuiesc.

Pentru efectuarea analizelor metalografice este necesară prevederea unei epruvete pentru fiecare placă sudată, care să fie prelevată astfel încît să cuprindă toate zonele îmbinării. Pe această epruvetă se efectuează analize metalografice macro și microstructurale conform STAS 492/I-85.

Prin analizele macrostructurale se evidențiază defectele de poziționare și planitate, lipsă pătrundere, creștături marginale, fisuri etc.

În cadrul analizei microstructurale se vor urmări în special structurile din ZIT și defectele de sudare din îmbinare care nu pot fi observate la analiza macrostructurală și anume: micro-fisuri, pori etc., conform STAS 7034/1-81.

Încercările de duritate se realizează pe două direcții care străbat întreaga îmbinare sudată, una în apropierea rădăcinii sudurii și cea de a doua în partea superioară a sudurii. Trasarea diagramelor durității înlesnește comparațiile valorilor obținute pe epruvete și evidențierea efectului tratamentului termic.

Planul de prelevare trebuie să cuprindă și epruvete pentru

analiză la microsonda electronică unde se efectuează examinări privind variația principalelor elemente chimice de-a lungul liniei de fuziune, distinct pentru fiecare metal de bază. Aceste analize se prevăd în vederea susținerii cu elemente informative suplimentare a eventualelor rezultate necorespunzătoare de la încercările mecanice și analizele metalografice întrucât permit cunoașterea modului în care procesele de diluție din sudură pot influența rezultatele încercărilor.

#### 4.3 Planul de prelevare al epruvetelor.

Planul de prelevare conceput pe baza principiilor stabilite în paragraful anterior este prezentat în fig.4.2 și prevede câte trei epruvete de ecologi fol pentru încercările mecanice o epruvetă de metalografie și două pentru microsondă, din fiecare pică în parte.

Marcarea epruvetelor în vederea identificării lor în timpul încercărilor se face astfel încât fiecare epruvetă poartă un marcaj format dintr-o literă și un număr, unde litera identifică placa sudată după o anumită tehnologie, iar cifra, tipul epruvetei așa cum se indică în tabelul 4.1

Tabelul 4.1

Nr. crt.	Tipul epruvetei	Marcaje epruvete	Locul de prelevare
1.	tracțiune	1,2,3	îmbinare
2.	îndoire	4,5,6	îmbinare
3.	reziliență	7,8,9	sudură
4.	reziliență	10,11,12	metal bază 12Cr13o
5.	reziliență	13,14,15	metal bază R44-6a
6.	metalografie	16	îmbinare
7.	microsondă	17	ZIT -metal bază R44-6a
8.	microsondă	18	ZIT- metal bază 12Cr13o
9.	analiză chimică	19,20	MB <sub>1</sub> - R44-6a MB <sub>2</sub> - 12Cr13o

Modul de marcare al plăcilor sudate cu precizarea pro -



cedoului de sudare aferent, a cuplurilor de materiale ce se sudază, a grosimii materialului și a stării de tratament termic postsudare este prezentat în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2

Marcaj plăci	Stare tratament postsudare	Grosime material mm	Procedeu sudare	Cuplul de materiale
A	NT	30		
B	TT		SMAS	12Cr13o-12Cr13o
C	NT	12		
D	TT			
E	NT	12		
F	TT		HIG	12Cr13o-12Cr13o
G	NT	30		
H	TT			
I	NT	12		
J	TT		MAG	12Cr13o-R44-Ga
K	NT	30		
L	TT			
M	NT	12		
N	TT			
O	NT	30	SMAS	12Cr13o-R44-Ga
P	TT			

Din tabelul 4.2 rezultă că în cadrul fiecărui procedeu de sudare s-au realizat câte patru plăci sudate, câte două pentru fiecare grosime de material.

Din cele două plăci de aceeași grosime aferente unui procedeu de sudare, una se va supune tratamentului termic postsudare iar cealaltă se examinează fără tratament termic.

Prelucrarea epruvetelor se face conform standardelor de încercare cu rectificarea suprafețelor laterale ale epruvetelor de reziliență și verificarea la microscop a formei și razei de curbură a fundului creștăturii. Epruvetele metalografice și cele pentru microsondă se rectifică plan paralel pe ambele fețe în vederea lucrării ulterioare.

Possibilitatea apariției unor durități mari în ZIT, precum și existența tensiunilor rezonante în urma sudării impun și realizarea unui studiu privind reducerea acestora prin tre-

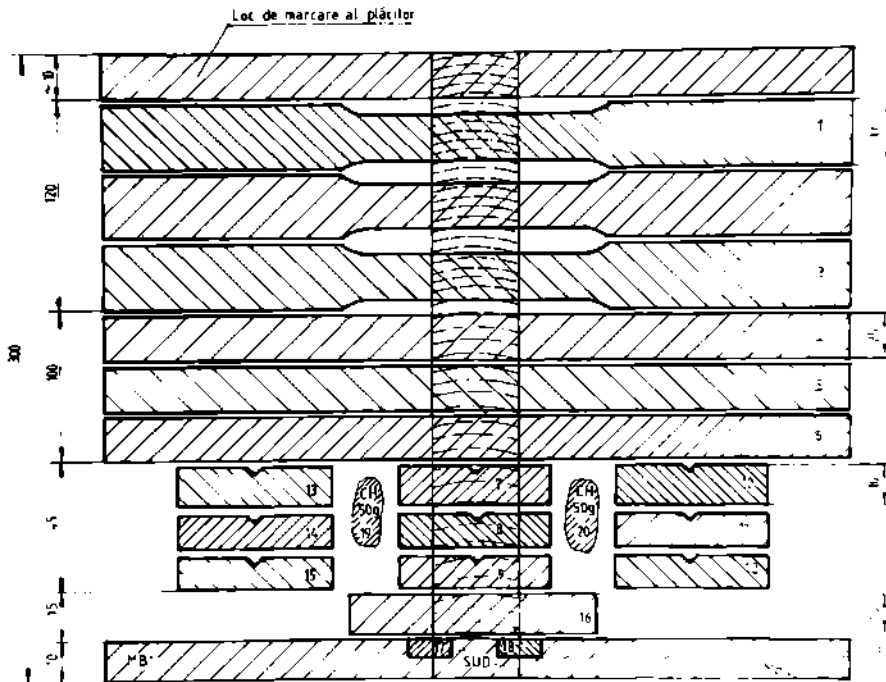


Fig. 4.2

tament termic.

Intrucît acesta presupune un consum energetic ridicat, iar execuția sa, la structuri sudate pentru echipamente hidro-energetice, prezintă unele dificultăți datorită dimensiunilor mari ale acestor structuri, este important de știut dacă tratamentul termic este absolut necesar. De aceea numărul de oprave se dublează, jumătate executîndu-se și analizîndu-se fără tratament termic după sudare, iar restul fiind supuse unui tratament de detenționare.

Diagrama de tratament termic este cea din fig. 3.31, cap. 3 și prevede durata de menținere 1 oră pentru fiecare 25 mm grosime, iar răcirea executată cu cupterul pînă la 300°C urmată de scuturarea probelor în aer liniștit.

În aceste condiții se realizează pentru fiecare tehnologie oște două plăci de 12 mm grosime și două de 30 mm, în total executîndu-se 12 plăci din care șase se tratează termic.

După realizarea îmbinărilor sudate și a tratamentului termic plăcile se supun unui control Rx pentru identificarea defectelor de sudare.

Prelevarea epruvetelor se realizează conform planului de prelevare executându-se în atelier controlul dimensional al fiecăreia și acolo care au abateri sau defecte se remediază.

#### 4.4 Realizarea îmbinărilor sudate ale probelor.

La sudarea probelor procedează de sudare, cuplurile de materiale, grosimea plăcilor și starea de tratament termic înainte și după sudare, cît și geometria rosturilor sînt identice cu cele prezentate în capitolul 3 fapt pentru care nu se mai reintră în acest capitol.

Tehnologiile de sudare ale probelor cuprind date cu privire la fixarea parametrilor de sudare pentru cele patru procedee stabilite și modul de efectuare al controlului privind calitatea probelor îmbinate prin sudare.

a) Sudarea cu arc electric manual a probelor din oțel 12Cr13o.

Tehnologia de sudare a acestor probe s-a stabilit ținîndu-se cont de conținutul din capitolul 3 cît și de rezultatele de la simularea ciclurilor termice la sudare.

Cercetările experimentale pentru determinarea comportării la sudare a oțelului 12Cr13o s-au efectuat pe probe din tablă cu grosimea de 12 și 3o mm.

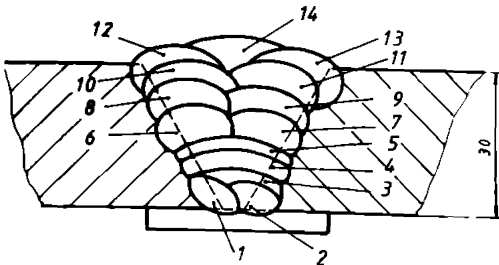


Fig. 4.3-a

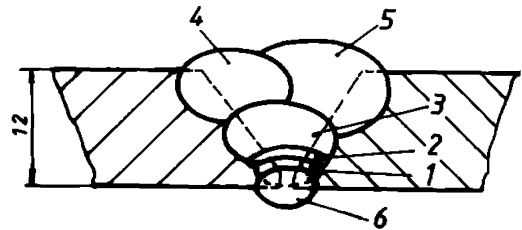


Fig. 4.3-b

Probele cu grosimea de 3o mm s-au sudat pe suport din oțel inoxidabil 12Cr13o cu grosimea de 4 mm, depunerea în rost fiind prezentată în fig. 4.3 a. Probele cu grosimea de 12 mm s-au sudat cu curățirea rădăcinii, prin polizarea acesteia, depunerea în rost fiind prezentată în fig. 4.3 b.

În vederea reducerii vitezei de răcire s-a efectuat trata -

mentul termic de preîncălzire la 280°C, valoare stabilită prin calcul în capitolul 3.

Electrozii folosiți pentru sudarea manuală a oțelului ferito-martensitic sînt austenitici de tip ECRIGW18M6.

Parametrii regimului de sudare sînt prezentați în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3

Grosime material $s$ [mm]	Diametru electrod de $d_e$ [mm]	Nr. treceri $n_t$	Curent de sudare $I_s$ [A]	Tensiune arc $U_a$ [V]	Viteza de sudare $V_g$ [cm/min.]	Energia liniară $E_L$ [KJ/cm]
12	3,25	2	90	14	7,72	9,8 - 10,66
	5	4	160	18	15,03	11,5 - 12,5
30	4	2	120	16	11,2	10,3 - 11,4
	5	12	160	18	15,03	11,5 - 12,5

Din tabelul prezentat se observă valoarea energiei liniare care nu depășește 12,5 KJ/cm, valoare optimă pentru acest parametru, confirmată și din simularea ciclurilor termice la sudare.

Pentru îmbunătățirea caracteristicilor mecanice și în special a rezilienței și durității în ZIT, după sudare probele au fost supuse unui tratament termic de revenire care s-a efectuat la 750°C conform diagramei din fig. 3.31 (capitolul 3).

Se precizează că tratamentul termic postsudare a fost efectuat pentru jumătate din probele sudate, restul rămânând netratate pentru a putea fi analizate comparativ din punct de vedere al caracteristicilor mecanice.

După sudarea probelor, îmbinările au fost supuse contro-ului nedistructiv care a constat din:

- control vizual al aspectului exterior și dimensional al îmbinării.

- control cu lichide penetrante, după depunerea ultimului strat, și înainte de resudarea celui de rădăcină (după curățirea acestuia prin polizare)

- Control Rx

Controlul vizual al aspectului exterior și dimensional al îmbinărilor sudate efectuat cu ochiul liber și folosind lupa cu

o mărire de 5 ori, a evidențiat o supraîncălzire redusă (până la 1 mm), trecerea lină a materialului curăturii spre metalul de bază, lipsa arsurilor marginale și a altor defecte neadmiso.

La probele cu grosimea de 12 mm la care s-a efectuat curățirea rădăcinii prin polizare, urmată de recudare nu s-au evidențiat după curățire zone netopite ardori marginale sau fisuri.

Controlul cu lichide penetrante efectuat la temperatura ambiantă conform STAS 10214-75, folosind metoda penetrantului colorat pe suprafața anterioară a îmbinării și după polizare pe zona curățită a rădăcinii, nu a evidențiat defecte neadmiso în sudură și ZIT.

Verificările îmbinărilor sudate folosind metoda de control cu raze "X" au avut ca scop depistarea defectelor între straturile depuse succesiv care nu au putut fi descoperite prin metodele amintite anterior.

În urma acestor verificări nu s-au depistat defecte neadmiso la sudare.

#### b) Sudarea MIG a oțelului 12Cr13.

Cercetările experimentale privind sudarea MIG a oțelului 12Cr13 s-au efectuat pe table de oțel cu grosimi (12 și 30 mm) ca și la sudarea manuală.

Preîncălzirea componentelor înainte de sudare și tratamentul termic după efectuarea îmbinărilor sudate s-au realizat identic ca la sudarea manuală.

Ca material de adăos s-a folosit sirmă  $\phi$  1,2 și  $\phi$  2,4 din oțel inoxidabil austenitic de tip S12Cr19Ni9 care să realizeze un metal depus cu plasticitate ridicată pentru a evita apariția fisurilor în ZIT, iar ca mediu de protecție a băii metalice și a rădăcinii, gazul inert - argon.

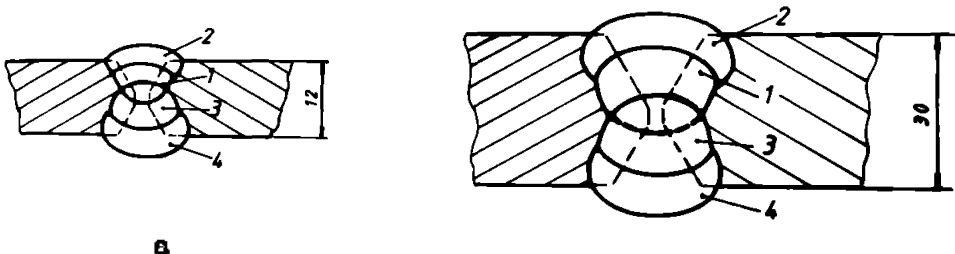


Fig. 4.4

b

Depunerea în rost care a fost pregătit în "K" atât pentru table cu grosimi de 12 mm cât și pentru table cu grosimi de 30mm s-a făcut cu rezudarea rădăcinii așa cum se prezintă în fig.4.4 a și b.

Parametrii regimurilor de sudare la procedeul MIG s-au stabilit ținându-se seama de rezultatele cercetărilor privind simularea ciclurilor termice la sudare și sînt prezentați în tabelul 4.4 de unde se observă valoarea energiei liniare la sudare care nu depășește 12,8 KJ/cm.

Tabelul 4.4

Diam. elec-trod da ta mm	Gro-sime no-rii S/mm]	Num-ăr tro-teri	Curant de sudare	Tens. arc U <sub>a</sub> [V]	Vi-țea de su-dare V <sub>d</sub> [cm/min]	Vi-țea de av. elec-trod V <sub>av</sub> [cm/min]	Energia liniară E <sub>L</sub> [KJ/cm]	De-bit A r [l/min]
1,2	10	3	235	26	33,0	150,1	11,1	10
	12	4	236	27	35,1	150,1	10,6	10
2,4	16	5	424	35	35,5	197,6	12,4	15
	20	3	425	34	73,5	197,0	11,5	15
	25	12	425	35	72,1	197,2	12,1	15
	30	18	420	35	75,0	197,3	11,2	15
	35	23	430	34	60,9	197,4	12,0	15
1,2	10	2	235	25	31,0	149,5	11,7	15
	12	2	230	25	32,0	149,6	10,0	15
	16	3	362	31	50,5	197,2	11,4	15
	20	4	365	31	56,0	197,4	12,1	15
2,4	25	6	366	32	54,0	197,2	12,7	15
	30	9	360	32	56,0	197,4	11,0	15
	35	12	366	32	56,1	197,3	12,2	15

Controlul nedistructiv pentru îmbinările sudate realizate cu procedeul MIG s-au efectuat folosind aceleași metode ca la sudarea manuală, nedepășindu-se defecte neadmisive.

e) Sudarea MIG a oțelurilor dinamilore 12Cr13o - R44-6a.

Materialule de bază utilizate pentru efectuarea expori - montărilor sînt oțelul inoxidabil ferito-martensitic 12Cr13o și oțelul perlitic R44-6a, din care s-au executat probe sudate cu grosimi de 30 și 12 mm.

Compozițiile chimice ale metalelor de bază utilizate sînt prezentate în tabelul 4.5.

Tabelul 4.5

Marea oțelului	Grosime compo- nente s mm	Compoziția chimică [%]						
		C	Si	Mn	Cr	S	P	Al
12Cr13o	12	0,10	0,36	0,38	13,63	0,016	0,024	-
	30	0,09	0,32	0,74	13,80	0,014	0,012	-
E44-6a	12	0,13	0,25	0,04	0,01	0,026	0,035	0,066
	30	0,17	0,29	1,05	0,01	0,020	0,025	0,140

Sudarea s-a executat prin depunerea cu arc electric manual a stratului tampon și umplerea prin procedeul MAG în protecție de CO<sub>2</sub> a rostului.

Dobitarea probelor din oțel inoxidabil 12Cr13o s-a făcut cu jet de plasmă utilizînd regimurile prezentate în tabelul 3.2 capitolul 3. Pentru depunerea stratului tampon probele s-au preîncălzit la 280°C. Sudarea între cele două componente s-a făcut cu preîncălzire la 150°C indicată în tehnologie cadru-cap.3.

Debitarea probelor din oțel perlitic E44-6a s-a făcut prin tăiere termică cu flacără oximetanică folosind regimurile din tabelul 4.6.

Tabelul 4.6

Gro- sime mate- rial	Consum O <sub>2</sub> la tăiere Q <sub>o2t</sub> s [mm]	Consum O <sub>2</sub> flacără Q <sub>o2t</sub> [dm <sup>3</sup> /m]	Consum gaz metan QCH <sub>4</sub> [dm <sup>3</sup> /m]	Lățimea tăieturii b [mm]	Distanța dusă-ma- terial [mm]	Viteza de tăiere V <sub>t</sub> [m/min]
12	110	20	26	2	3	0,47
30	200	43	50	3	4	0,35

Prelucrarea marginilor componentelor s-a efectuat mecanic prin frezare.

Formele geometrice ale rosturilor utilizate la sudarea MAG a oțelului ferito-martensitic 12Cr13o cu oțelul perlitic E44-6a sînt prezentate în figura 4.5-a pentru grosimi de tablă de 12 și

30 mm ( 1 - oțel R44-6a; 2 - oțel 12Cr13o; 3 - strat tampon austenitic)

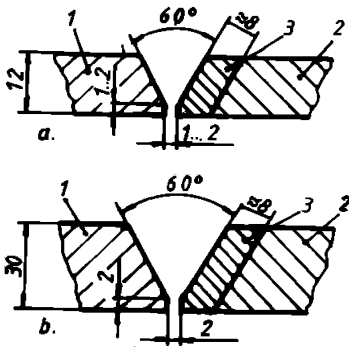


Fig.4.5 a

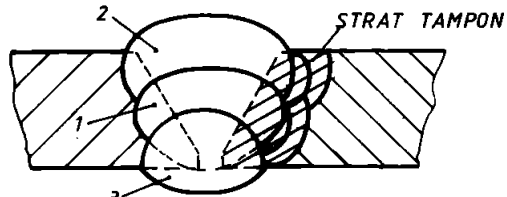


Fig.4.5 b

Ordinea de depunere în rost la sudarea MAG este prezentată în figura 4.5 b și 4.5 c.

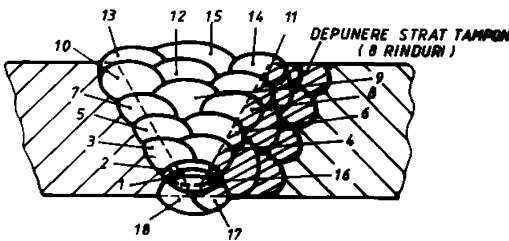


Fig.4.5 c

Stratul tampon depus pe oțelul ferito-martensitic s-a realizat cu electrozi DCREȘIBRIN6x de tip austenitic în vederea ovitării difuziei carbonului și a fenomenelor de fisurare în ZIT în zona de trecere în spre metalul de bază înoxidabil.

Umplerea rostului s-a făcut cu oțel tubular

ST-1B realizându-se un metal depus cu structură perlitică.

Compozițiile chimice informative ale materialelor de adăos utilizate sînt prezentate în tabelul ,capitolul

Protecția băii metalice la sudarea semiautomată s-a făcut cu bicarbid de carbon tip S , STAS 2962 -76.

Parametrii tehnologici utilizați la sudarea cuplului 12Cr13o - R44-6a au fost stabiliți ținînd cont de prescripțiile producătorului și de considerațiile rezultate din analiza probelor simulate ( Tabelul 4.7).

Controlul îmbinărilor sudate s-a efectuat prin metodele și la sudarea manuală, nedepistîndu-se defecte necadmie după sudare.



Taboulul 4.7

Gro- sime a [mm]	Depu- sire	Marcă electrod	Dia- metru electrod [mm]	Cu- rent de suda- re $I_S$ [A]	Tem- pe- ra- tura de suda- re $U_a$ [V]	Viteza de suda- re $V_S$ cm/min	Viteza de avans electrod $V_{as}$ [cm/min]	Ener- gie lini- ară $E_L$ [kJ/cm]	De- bit $CO_2$ $Q$ [l/min]
12	S.T	E18/8	4	120	16	11,2	-	10,42	-
	M.D	SB-1B	1,6	240	26	33,02	309,2	11,34	14
30	S.T	E18/8	4	120	16	10,93	-	10,54	-
	M.D	SB-1B	1,6	240	26	32,22	309,2	11,62	14

d) Sudarea cu arc electric manual a oțelului ferite mar-  
tencitic 12Cr13o cu oțelul perlitic R44-6a.

Experimentările privind procedul de sudare cu arc electric manual au fost făcute datorită faptului că folosirea procedului MAG, prin utilizarea ca mediu de protecție a bioxidului de carbon permite posibilitatea influențării negative a stratului tampon din cauza carburării forțate a acestuia în timpul sudării.

Utilizarea procedului de sudare electrică manuală permi-  
te reducerea grosimii stratului tampon la 5...6 mm, deoarece pă-  
trunderea în acest caz este diminuată prin natura procedului și  
a regimurilor folosite la sudare.

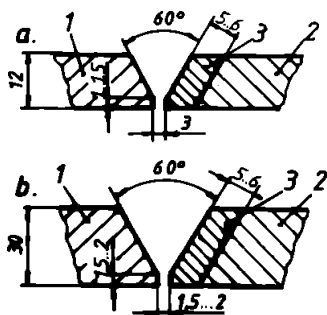


Fig.4.6

bilă de 12 și 30 mm.

Grosimea componente-  
lor ,debitarea lor și pro-  
gătirea marginilor este iden-  
tică cu cea de la su-  
darea MAG.

Formele geometrice  
ale reaturilor la sudarea  
electrică manuală a cu-  
plului 12Cr13o - R44-6a ,  
sunt prezentate în fig.  
4.6 pentru grosimi de ta-

Componenta ferito-martensitică se preîncălzește la 200°C în vederea depunerii stratului tampon, după care sudarea cu componenta perlitică se face cu o preîncălzire la 150°C.

Stratul tampon s-a depus cu electrod EC10Ni10Cr, iar sudarea dintre componente s-a făcut utilizând electrodul SUPERBAZ.

Compozițiile chimice informative ale celor două metale de adăos sînt prezentate în tabelul 3.3, capitolul 3.

Parametrii tehnologici utilizați la sudarea cu arc electric manual a oțelului 12Cr13o cu oțelul R44-6a au fost stabiliți ținînd cont de considerațiile rezultate din analiza probelor pentru simulator - tabelul 4.8.

Tabelul 4.8

Grosime ta- blă s [mm]	Depun- ero	Marca elec- trod	Dia- me- tru elec- trod de [mm]	Num- ăr tro- oeri	Current de sudare I <sub>s</sub> [A]	Tensi- une arc U <sub>a</sub> [V]	Viteza de sudare V <sub>s</sub> [cm/min]	Energia liniară E <sub>L</sub> [kJ/cm]
12	S.T	EC10/0	4	4	120	16	11,2	10,43
	M.C	SUPERBAZ	3,25	1	135	16	11,56	10,93
			5	4	210	21	22,42	11,51
30	S.T	EC10/0	4	6	120	16	11,2	10,43
	Metel cuod- turii	SUPERBAZ	3,25	2	135	16	11,56	10,93
			5	14	210	21	22,77	11,62

Modul de depunere în rost este prezentat în fig.4.7 a și b

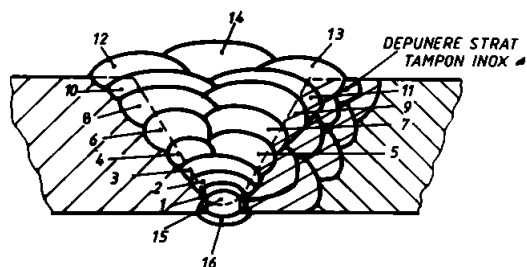


Fig.4.7 a

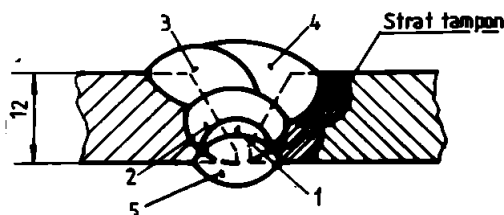


Fig.4.7 b

In care 1 - oțel R44-6a; 2 - oțel 12Cr13a; 3 - strat tampon austenitic.

De precizat că rezultate bune pentru caracteristicile mecanice ale îmbinărilor sudate din oțeluri disimilare s-au obținut numai după optimizarea tehnologiilor de sudare. In lucrare au fost prezentați doar parametrii de sudare pentru care s-au obținut rezultate corespunzătoare pentru caracteristicile mecanice.

#### 4.5 Efectuarea încercărilor, analizelor și interpretarea rezultatelor.

##### 4.5.1 Analiza compoziției chimice

In prelevarea epruvetelor pentru analiză chimică a metalului de bază s-a ținut cont să se realizeze analize la toate variantele de table sudate. Din parcelele tratat-netratat s-a luat câte o analiză chimică întrucât au fost prelevate din aceleași culcușii de tablă.

Tabelul 4.9

Marcaj	Compoziție chimică [%]							Obs.
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	
A 20	0,14	0,46	0,31	0,011	0,020	13,12	0,18	GTAS 30 mm
B 20	0,13	0,40	0,35	0,013	0,014	13,44	0,25	GTAS 12 mm
B 20	0,15	0,39	0,35	0,014	0,020	13,48	0,19	GTAS 12 mm
J 20	0,12	0,39	0,31	0,032	0,017	13,49	0,28	GTAS 12 mm
L 20	0,12	0,66	0,27	0,029	0,018	13,67	0,61	GTAS 30 mm
I 19	0,15	0,39	0,25	0,033	0,030	urme	0,19	GTAS 12 mm
K 19	0,18	1,06	0,35	0,037	0,026	urme	urme	GTAS 30 mm

##### Compoziția chimică impusă

12Cr13a	0,09 0,15	max. 0,6	max. 0,6	max. 0,03	max. 0,035	12-14	max. 0,6	STAS 3583- 80
R44-6a	max. 0,22	0,75- 1,15	0,15- 0,50	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,30	-	STAS 2883/2- 80

Pentru exemplificarea compozițiilor chimice obținute la tablele din care s-au confecționat epruvetele în tabelul 4.9 sînt prezentate rezultatele obținute împreună cu limitele prevăzute în standardele pentru aceste materiale (STAS 3583-80 și STAS 2883-80)

Comparând rezultatele obținute cu valorile impuse prin standarde se constată încadrarea la toate elementele atât în cazul oțelului 12Cr13o cât și la R44-6a.

Pe microsonda electronică folosind de necesitate dată posibilitățile aparatului în direcția determinării compoziției chimice a oțelurilor s-a făcut analiza microchimică a metalului după la toate îmbinările sudate.

Se precizează că analiza la microsondă pe metalul după se realizează pentru verificarea materialelor de adăos folosite la executarea îmbinărilor sudate. Aceste analize s-au executat la microsondă și nu prin metode clasice datorită cantității limitate de metal de adăos disponibil.

Din tabelul 4.1o se constată că plăcile sudate fără strat intermediar marcaj A,B,C,D,E,F,G,H unde s-a utilizat ca material de adăos oțel austenitic de tip 18/8 cu 6% Mn, apar unele mici abateri față de standarde, în special la nichel datorită proceselor de diluție și de ardere în arcuul electric. Aceste procese au drept consecință și modificările de crom și mangan. (se face referire la probele A-1D17, C-1D17, K -strat intermediar și L -strat intermediar), din tabelul 4.1o.

Tabelul 4.1o

Marcaj	Si[%]	Cr[%]	Mn[%]	Ni[%]	Fe[%]
A - 1D 17	0,51	19,7	7,83	6,67	rest
C - 1D 17	0,42	20,2	7,05	7,12	rest
F - 1D 17	0,04	0,93	1,08	0,25	rest
K - 1D 17	0,34	1,47	1,46	0,14	rest
K - Tampon	0,22	20,5	5,81	6,20	rest
L - Tampon	0,33	18,1	4,69	5,45	rest

În cea ce privește analiza efectuată pe metalul după al sudurilor cu strat intermediar se constată prezența cromului și manganului cu concentrații de cea 1% și peste acest procent.

Prezența acestor două elemente în concentrație relativ mare se explică prin procesele de diluție care au avut loc în timpul executării îmbinării sudate între R44-6a și 12Cr13o cu ajutorul stratului intermediar, care conține cantități relativ mari de crom și mangan.

Ansamblul rezultatelor analizelor microchimice din care în tabelul de mai sus s-au prezentat doar o parte pentru exemplifi -

care, demonstrează că toate îmbinările sudate au fost realizate cu același material de adeziv. În plus pentru depunerea stratului intermediar s-a utilizat corect același material de adeziv (12/3 sau 6/3 în) ca și pentru realizarea îmbinărilor A...H.

#### 4.5.2. Încercări mecanice

Încercările mecanice s-au executat la 20°C și cuprind îndoiri, tracțiuni și încovoieri prin șoc.

- a) Încercările de îndoire - s-au executat conform STAS 5540/3 - 81 în două variante:
- cu rădăcina întinsă
  - cu rădăcina comprimată

Diametrul cornului s-a ales corespunzător cu grosimea materialului fiind de  $\varnothing = 50$  mm la epruvetele de grosime 12 mm și respectiv corn cu  $\varnothing = 120$  mm pentru grosimea de 30 mm. Lățimea probelor încercate secționată transversal pe cordonul de sudură, a fost de 25 mm pentru îmbinările realizate din tablă de 12 mm, respectiv 30 mm pentru îmbinările realizate din tablă de 30 mm.

Totă încercările efectuate atât cu întinderea cât și cu comprimarea rădăcinii au dat rezultate corespunzătoare atotind caracteristicii de plasticitate bune ale întregii îmbinări sudate la ambele grosimi de material, atât înainte cât și după tratament termic.

În fig. 4.8 și fig. 4.9 se prezintă pentru exemplificare câte o probă din cele două grosimi de material studiate supuse încercării de îndoire.

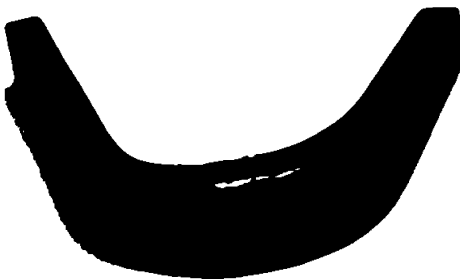


Fig. 4.8



Fig. 4.9

b) Încercările de tracțiune s-au executat pe probe plate conform STAS 5540/2 - 82, cu lățimea calibrată de 25 mm la ambele grosimi de material. Ansamblul rezultatelor experimentale

este cuprins în fig. 4.10, în care se reprezintă prin două linii paralele limitele în care au fost cuprinse rezultatele obținute pe cele trei probe încercate în aceleași condiții, în plus prin linii punctate se indică limita inferioară a rezistenței la rupere pentru materialul de bază.

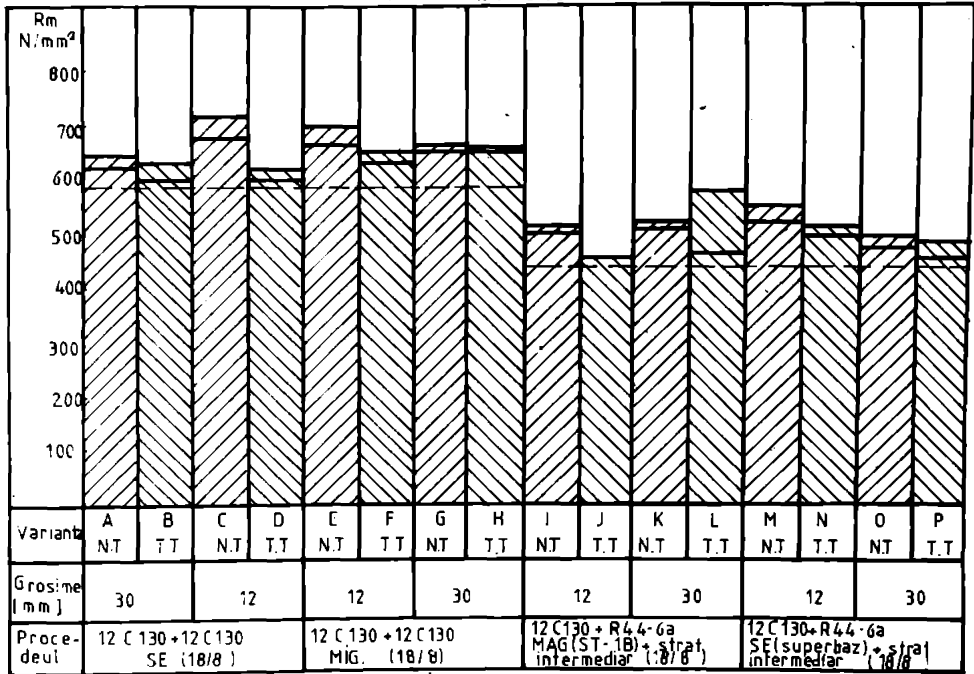


Fig. 4.10

În cazul îmbinărilor sudate realizate cu un singur metal de bază (12Cr130) - variantele A...H, s-a luat ca referință limita inferioară a rezistenței de rupere pentru acest material, impunându-se îmbinărilor sudate atingerea cel puțin a acestei valori.

Pentru cazul îmbinărilor din materiale disimilare (12Cr130 R44-6a) - variantele I...P, s-a luat ca referință limita inferioară a oțelului cu rezistență mai scăzută și anume R44-6a asigurându-se îmbinărilor sudate să asigure minim această valoare.

O primă observație care rezultă din fig. 4.10 este că fără excepție valorile rezistenței la rupere ale îmbinărilor sudate se plasează peste limitele impuse anterior. Totodată se evidențiază scăderea în toate cazurile a rezistenței la rupere a îmbinărilor după efectuarea tratamentului termic, dar fără ca va-

lorile obținute să se situeze sub limitele inferioare corespunzătoare metalului de bază.

După încercarea la tracțiune probele au fost examinate privind locul ruperii și a prezenței unor defecte în secțiunea de rupere. Probele care au prezentat defecte în suprafața de rupere (în număr de trei la care s-au constatat incluziuni solide și gazoase) au fost refăcute după care s-au obținut rezultate corespunzătoare.

c) Încercarea de încovoiere prin șoc s-a executat pe epruvete normale cu crestătură în "V" prelevându-se probe atât din sudură cât și din metalul de bază. Datorită formei particulare a rostului îmbinărilor sudate realizate care reproduc și situațiile reale, nu a fost posibil să se execute epruvete care să furnizeze rezultate semnificative din ZIT.

Rezultatele încercărilor pe sudură sînt cuprinse în fig. 4.11 funcție de variantele tehnologice investigate. Se remarcă valori ale rezilienței care depășesc prin limitele inferioare obținute cifra de 50 J, indiferent de procedeu și starea de tratament.

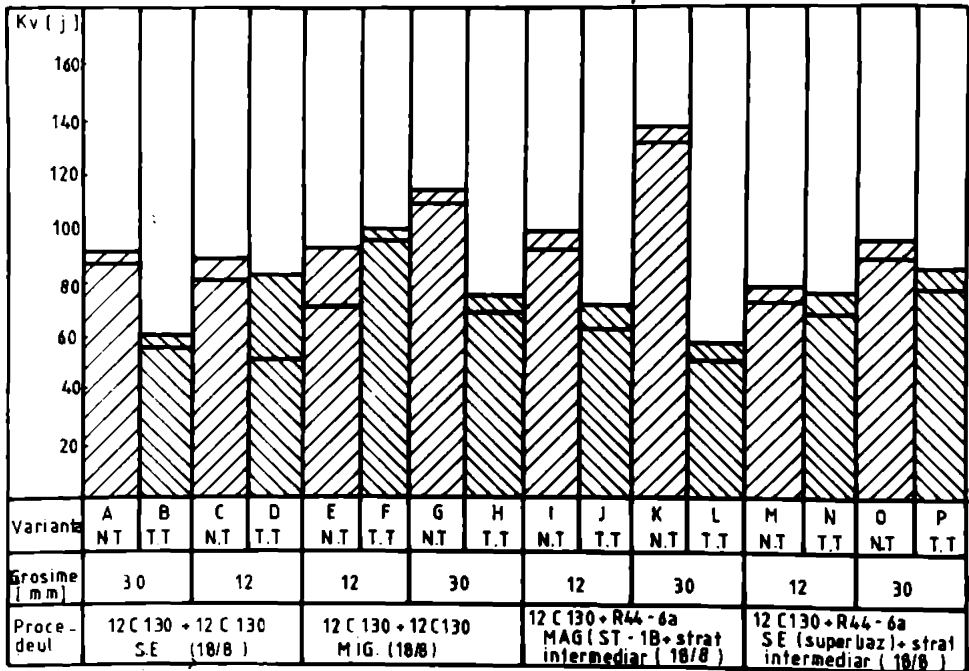


Fig. 4.11

În mod similar ca și la încercările de tracțiune se ob-

servă scăderea valorilor rezistenței la încovoiere prin șoc în sudură, după efectuarea tratamentului termic, o singură excepție constatându-se la variantele E și F, unde diferențele sînt în- sã minime.

La variantele K și L care se diferențiază doar prin ste- rea de tratament, apar diferențe mai mari, datorită eterogeni- tății sudurii și participării la rupere în mod diferit a zone- lor de material influențate prin procesele de diluție ale ste- rului intermediar.

Materialul de bază a fost de asemenea examinat din punct de vedere al rezistenței la încovoiere prin șoc executîndu-se probe atât din oțel 12Cr13o cît și din R44-6a.

Examinarea s-a făcut cu scopul stabilirii influenței tra- tamentului termic post sudare asupra caracteristicilor de plas- ticitate ale materialului, constatîndu-se în toate cazurile că materialul de bază suferă o scădere a valorilor rezilienței de la cea loc J la aproximativ 7o J care în orice caz se situează în domeniul de siguranță privind comportarea la șoc a materi- alului.

Pentru completarea informațiilor privind ruperea pro- belor de încovoiere prin șoc s-au executat analize microfrac- tografice.

Taboul 4.11

Nr crt.	Marcaj probă	Zona	Tip oțel	Caracterul ruperii	Observații
1	A8	LD	18/8/6	ductil	
2	A9	NB	W1.4006	ductil	
3	B7	LD	18/8/6	ductil	
4	C8	LD	18/8/6	ductil	
5	D9	LD	18/8/6	ductil	
6	D13	LB	W1.4006	ductil	
7	E8	LD	18/8/6	ductil	
8	F8	LD	18/8/6	ductil	
9	G8	LD	18/8/6	ductil	
10	H8	LD	18/8/6	ductil	
11	I11	NB	W1.4006	ductil	
12	J15	LB	R44-6a	ductil	
13	K7	LD	St-1B	ductil	
14	L7	LD	St-1B	intergranular	
15	L9	LB	W1.4006	mixt-fragil-ductil	
16	L15	LB	R44-6a	ductil	



Analiza microfractografică s-a executat pe un număr de 16 epruvete de încercare a rezistenței la șoc la  $+20^{\circ}\text{C}$ . Analizele s-au efectuat pe probe rupte reprezentând atât metalul de bază 12Cr13 și R44-6a cât și pe metalul depus realizat cu electrodul ECr13/6Mn6r și ST-12.

S-a ales în general epruvete care au prezentat valori mai scăzute ale KCU acoperindu-se toate tipurile de IB și ID, ținând cont și de grosimea materialului și de tratamentul termic.

Rezultatele analizei microfractografice efectuată cu ajutorul microsondei electronice japoneze JCA-50A în regim de microscop electronic cu baleaj sînt cuprinse în tabelul 4.11.

Toate analizele s-au executat la mărirea de 400x1 cu imagini de electroni secundari. Așa cum rezultă din tabel, majoritatea probelor au prezentat suprafețe ductile - fig. 4.12, caracterizate prin cupe fine datorită prezenței unui număr mare de precipitații în masa grăunțurilor ferritice.

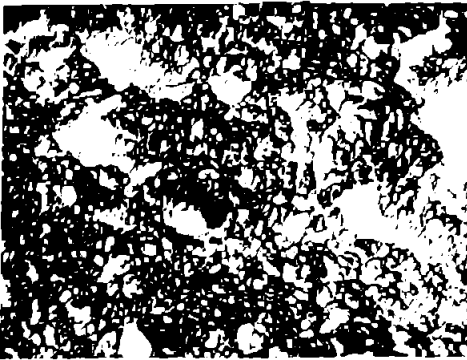


Fig. 4.12

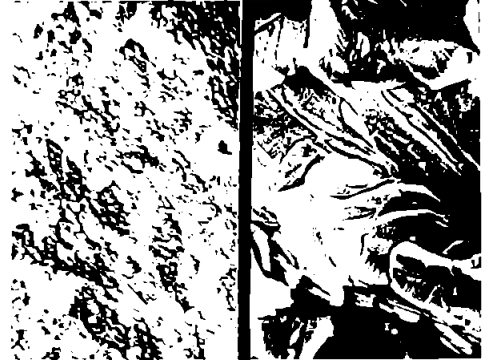


Fig. 4.13

În oțelul 12Cr13 s-a constatat și apariția unei rupeți mixte după tratament termic, aceasta fiind prezentată în fig. 4.13 unde alături se înfățișează rupețile ductile cu cupe foarte fine și zonală rupeți fragile cu spectre de rîuri foarte clare. Cu toate acestea valorile rezistenței la rupere prin șoc nu sînt sub limitele admise întrucît ruperea ductilă este dominantă reprezentînd peste 80% din suprafața de rupere.

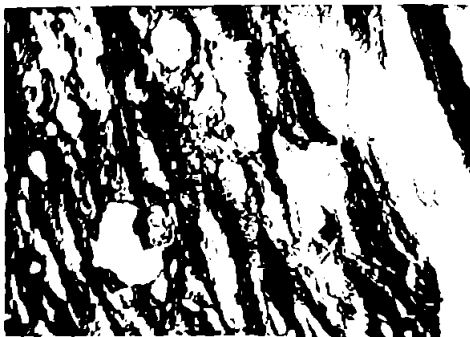


Fig. 4.14

Tot în oțelul 12Cr13 s-au constatat rupeți ductile cu aspect particular cu cupe mult alungite datorită rupeții materialului puternic

nie stratificat prin gătuiri locale pronunțate fig.4.14.

#### 4.5.3. Analiza metalografică

Probele metalografice au fost pregătite pe hârtie abrazivă iar lustruirea s-a executat cu spray de diamant cu granulație de 5...7  $\mu$ .

Atacul metalografic s-a realizat cu reactiv V2A pentru analiza microstructurală iar pentru cea macrostructurală s-a utilizat oțelagi reactiv la fierbere. Probele disimulare - parte de oțel slab cilit - au fost atacate cu nital 2%.

Toate epruvetele au fost examinate la un microscop metalografic MP2 produs al firmei Reichert - Austria.

Examinarea macro și microstructurală s-a efectuat pe toate epruvetele prelevate din tabele sudate constatându-se diferențe mici din punct de vedere structural între plăci funcție de grosime. De aceea, abordarea detaliată a rezultatelor analizelor metalografice se va face prezentând prin selecție unele elementele semnificative funcție de tehnologia de sudare.

Materialele de bază utilizate la realizarea îmbinărilor sudate au fost prezentate în detaliu în capitolul 2. Indiferent de grosimea materialului se constată o structură feritică de granulație  $N=8-9$  cu carburi plasate în masa grăunților de ferită.

Duritățile în MB se plasează între 200 și 240 HV5 ceea ce indică o oarecare neomogenitate a materialului, aspect ce se observă și din structuri care prezintă o puternică tendință de formare a girurilor.

În continuare se vor prezenta aspectele metalografice pentru fiecare variantă tehnologică realizată.

##### a) Sudarea electrică manuală cu electrozi involuți a oțelurilor similare 12Cr13

Pentru exemplificarea rezultatelor obținute la această variantă tehnologică s-au ales epruvetele prelevate din tablă de 12 mm cu și fără tratament termic.

În figura 4.15 se prezintă macrostructura epruvetei cu mareaj C16 sub care se prezintă variația durității HV5 pe două direcții prin îmbinarea sudată fără tratament post sudare, iar în figura 4.16 oțelagi aspecte pentru epruveta D16 supusă tratamentului termic.

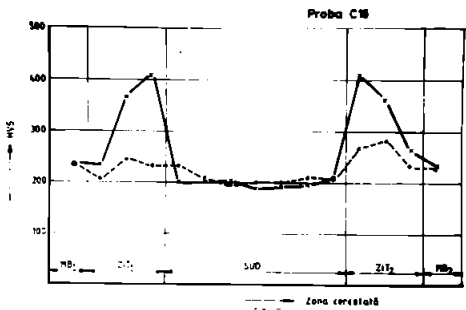
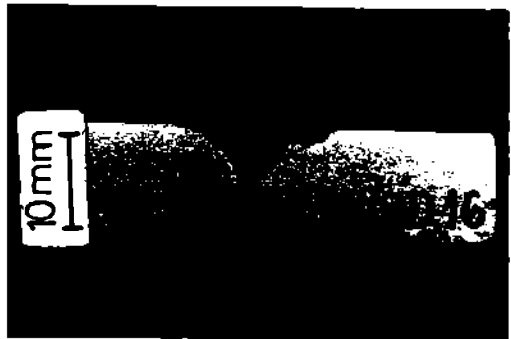


Fig.4.15

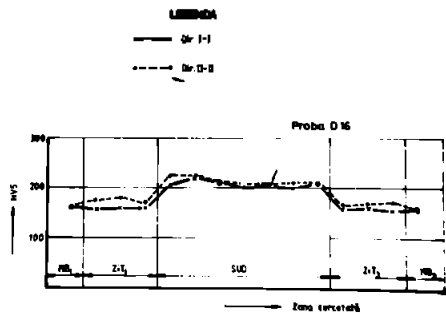


Fig.4.16

Se menționează că cele două diagrame distincte reprezintă două direcții de explorare, una la cea 2 mm de suprafața superioară a epruvetei, iar cea de a doua la aceeași distanță de suprafața inferioară, traversind îmbinarea sudată, fig.4.17.

În fig. 4.18 se prezintă direcțiile de explorare a durității pentru cazul probelor cu strat intermediar.

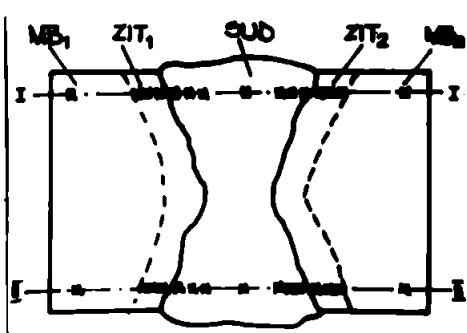


Fig.4.17

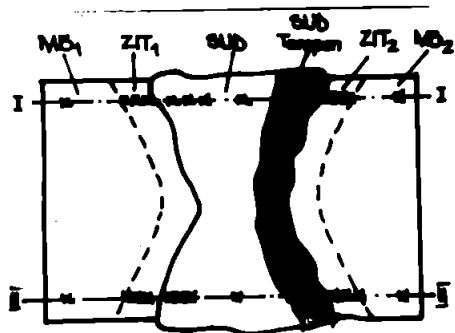


Fig.4.18

Diferențele constatate între cele două diagrame se datorează

rează succesiunii operațiilor de sudare, astfel încât valorile de duritate mai ridicate în ZIT se asociază ultimului stadiu de sudare.

Comparând diagramele de duritate se observă cu claritate efectul tratamentului termic. Duritățile mari din ZIT și care ajung la cea 400 HV5, scad sub 200 HV5 după efectuarea tratamentului termic.

Sudarea (D) nu suferă influența tratamentului termic din punct de vedere al durității. Scăderi de aproximativ 300 HV5 suferă și metalul de bază a cărui duritate scade sub 200 HV5.

Aceste aspecte se observă și în imaginile de microstructură, astfel în figurile 4.19 și 4.20 se prezintă comparativ zonele influențate termic ale celor două epruvete.



Fig. 4.19

La proba D16 - netratată termic - fig.4.19 în ZIT și-a făcut apariția martensita care este prezentată alături de ferită probă constatându-se și existența carburilor. Prezența martensitei constatată metalografic explică valorile ridicate ale durității în ZIT.

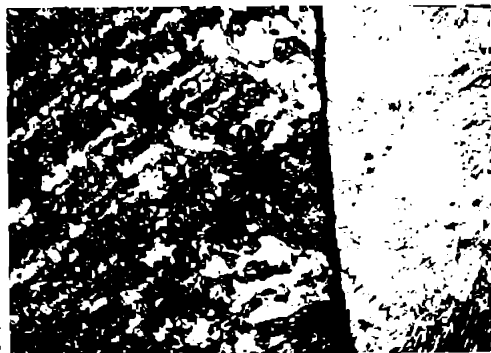


Fig.4.20

După tratamentul termic epruveta D16 nu mai prezintă decât plașe feritice și ferită cu carburi în masa grăunților de ferită fig. 4.20

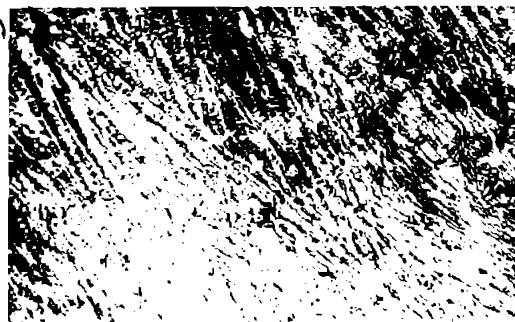


Fig.4.21

Structura sudurii rămâne neschimbată după efectuarea tratamentului termic fiind în ambele cazuri austenită și ferită delta cu carburi -fig.4.21

Rezultate asemănătoare s-au constatat și la probele cu grosime de 30 mm realizate cu acciași tob-

nologie, unde în urma tratamentului termic duritățile au scăzut în jurul valorii de 200 HV5 atât în metalul de bază cât și în cel depus.

Influența nesemnificativă (o ușoară creștere) a tratamentului termic asupra durității sudurii se justifică prin faptul că, metalul depus are o structură austenitică cu faze secundare precipitate în timpul ciclului termic aplicat.

**b) Sudarea MIG a oțelurilor similare 12Cr13o.**

În fig.4.22 și fig.4.23 se prezintă pentru epruvele cu grosimea de 3o mm macrostructurile și diagramele de variație a durității cu și fără tratament termic.

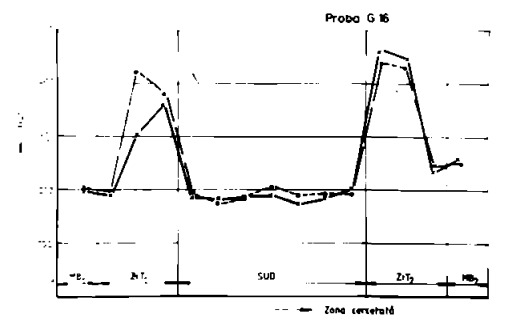
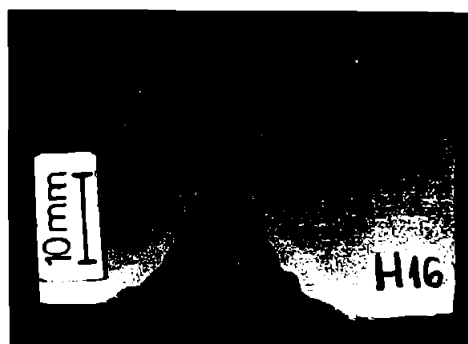
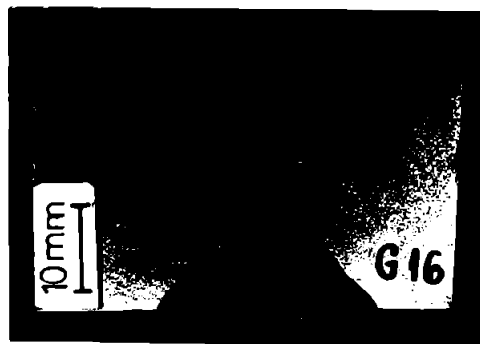


Fig.4.22

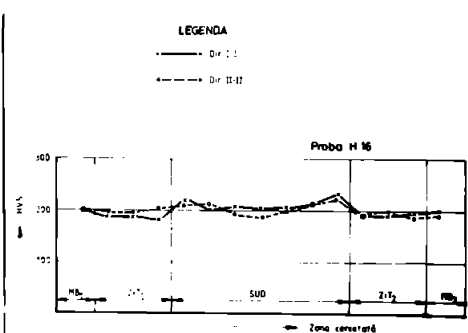


Fig.4.23

Se observă în zonele influențate termic ale oțelului 12Cr13o durități care depășesc 45o HV5 ca urmare a vitezelor mari de răcire datorate procedurii de sudare utilizat și asociate cu grosimea mare a materialului.

Se precizează că aceste durități mari au apărut chiar și în condițiile în care s-a utilizat la sudare o temperatură ridicată de preîncălzire - cea 20o°C.

Aplicarea tratamentului termic este absolut necesară la acest procedeu de sudare avînd ca scop eliminarea acestor regiuni de maximă concentrare a tensiunilor remanente asociate cu structuri fragile (martensita).

Prin aplicarea tratamentului termic preconizat se reduce duritățile din ZIT sub limita de 200 HV5 și din nou nu este afectată esențial duritatea din sudură care și la acest procedeu s-a executat cu oțel austenitic de tip 18/8 cu 6% Mn.

Structura ZIT la proba netratată fig.4.24 prezintă alături de ferită, cantități mari de martensită fină și carburi, în timp ce la proba tratată, în locul martensitei se formează ferită cu carburi - fig.4.25.

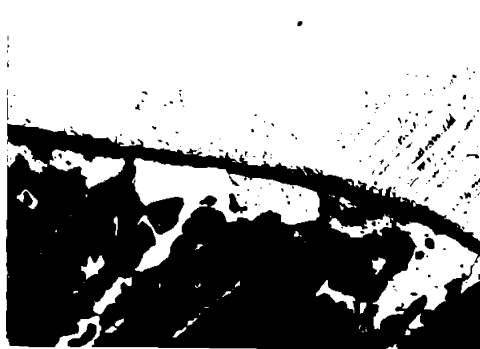


Fig.4.24

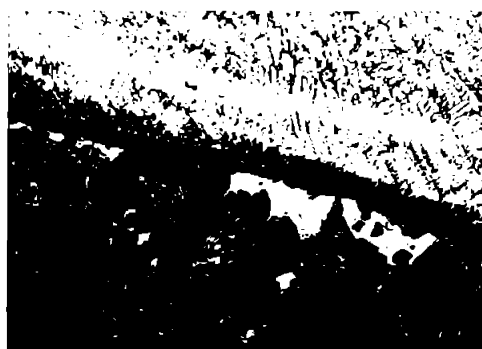


Fig.4.25

Metalul depus prin sudare, are o structură austenitică cu ferită delta în rețea și carburi fine indiferent de faptul că s-a aplicat sau nu tratamentul termic- fig.4.26.

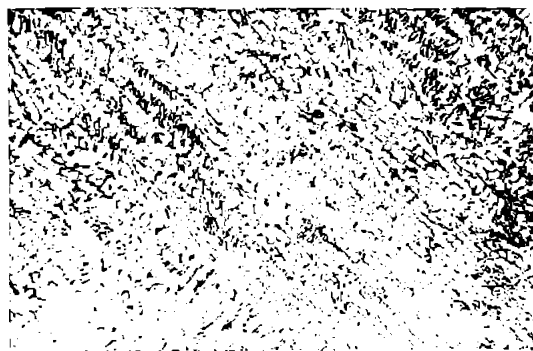


Fig. 4.26

Pentru probele realizate cu aceeași tehnologie dar cu grosime mai mică se constată o diminuare generală a valorilor durității în ZIT față de cazul tablelor de 30 mm analizate mai sus, fapt explicabil prin vitezile de răcire mai mici ce se obțin la sudare. Tratamentul termic are și în acest caz un efect evident de reducere a durităților în zona influențată termic.

**c) Sudarea în mediu de CO<sub>2</sub> cu strat intermediar a oțelurilor disimilare 12Cr13- R44-6a.**

Îmbinarea sudată executată cu strat intermediar cuprinde un număr mai mare de zone care prezintă interes.

În fig.4.27 și fig.4.28 se prezintă aspecte macroscopice ale celor două îmbinări sudate, cu și fără tratament termic, alături de diagramele de variație a durității.

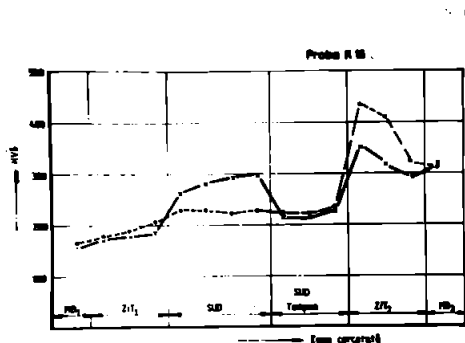
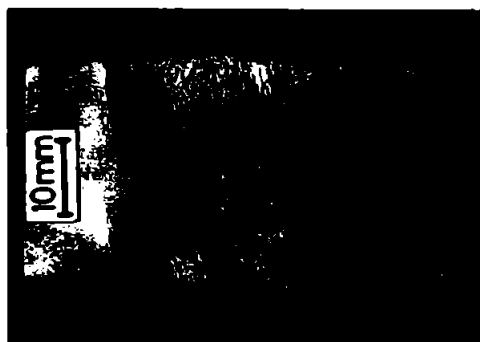


Fig.4.27

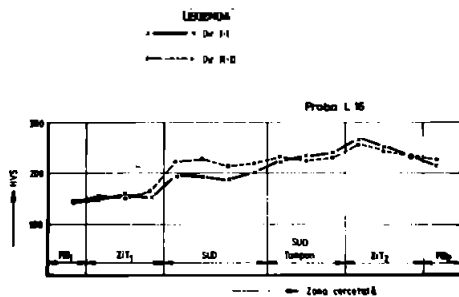


Fig.4.28

Comparând cele două diagrame, se observă că și în cazurile anterioare durități mari în ZIT a oțelului feritic 12Cr13 care ajung pînă la 43e HV5.

Datorită temperaturilor de preîncălzire mari (200°C) duritățile din ZIT ale oțelului R44-6a se situează sub 20e HV5.

În sudură se observă durități pînă la 30e HV5 care sînt determinate de prezența cromului și manganului în sîmna tubulară utilizată la realizarea îmbinării sudate (1,47% Cr și 1,46% Mn).

Stratul intermediar s-a depus inițial pe tabla 12Cr13 prelucrată (roșu prelucrat) înainte realizării îmbinării și s-a executat cu oțelăși electrod ca și la procedeul de sudare elec-

trici manuală prezentat la punctul a.

Se constată că duritatea acestui strat depășește puțin valoarea de 200 HV5, ceea ce este în corelație cu observațiile constatate și la celelalte procedee.

Aplicarea tratamentului termic în asemenea condiții ca și la celelalte procedee influențează valorile durității în aproape toate zonele îmbinării sudate. Astfel se constată că cea mai spectaculoasă scădere a durității apare din nou în ZIT la oțelul 12Cr13o unde duritatea nu mai depășește 270 HV5. Scăderi de duritate apar și în sudură unde tratamentul reduce duritatea în jurul valorii de 200 HV5.

Stratul intermediar realizat din oțel 13/8 cu 6% Mn rămâne neafectat de tratament fapt consemnat și la celelalte procedee pentru oțelul austenitic și se observă că este cvasiuniform ca grosime, această variind între 2...4 mm.

Oțelul R44-6a care constituie metalul de bază marcat cu MB<sub>1</sub> suferă o scădere generală a durității atât în MB cât și în ZIT cu cea 30...50 HV5 după aplicarea tratamentului termic.

Ca o constatare generală, valabilă pentru toate trei procedeele de sudare prezentate, din examinarea probelor macrostructurale se observă efectul tratamentului termic asupra ZIT prin ceea ce constă zonă își pierde conturul precis ca urmare a transformărilor structurale ce se produc. De asemenea examinarea macrostructurală evidențiază lipsa defectelor de sudare.

Examinarea microstructurală confirmă variațiile de duritate constatate din diagramele prezentate, precum și efectul tratamentului termic.

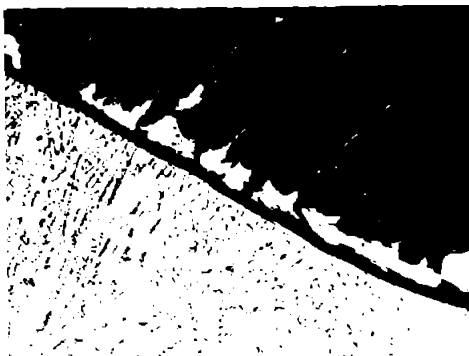


Fig. 4.29



Fig. 4.30

În ZIT a oțelului 12Cr13o se observă alături de peritită a unei cantități mari de martensită ceea ce explică duritățile



mai constatate pe diagrama - fig.4.29.

După tratamentul termic structura din ZIT se schimbă semnificativ, în locul martensitei apărând ferită cu carburi - fig.4.30.

Zona influențată termic a oțelului R44-Ga prezintă o structură feritică cu perlită constatându-se și prezența feritei aciculare de punctaj aproximativ 3 conform STAS 7626-79 - fig.4.31 și fig.4.32.

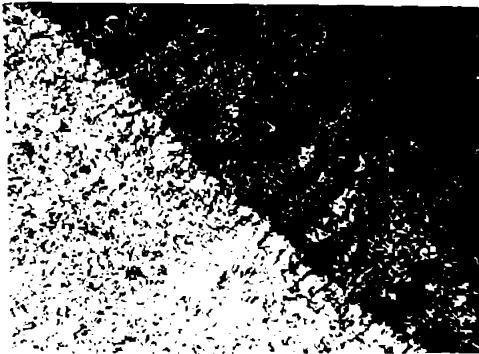


Fig.4.31

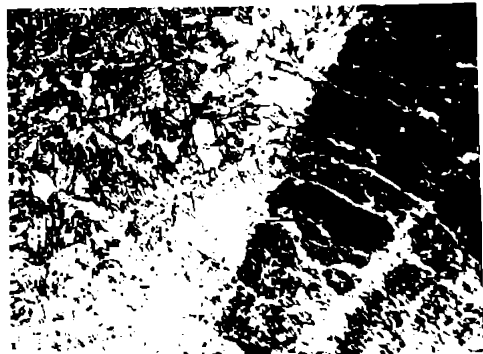


Fig.4.32

După tratamentul termic nu apar modificări semnificative în ZIT deoarece temperatura de încălzire fiind sub AC3 nu asigură o recristalizare de fază și ca urmare ferita își va păstra caracterul acicular, dizolvându-se doar parțial în austenită, iar perlita suferă o ușoară globulizare (cementito-perlitică).

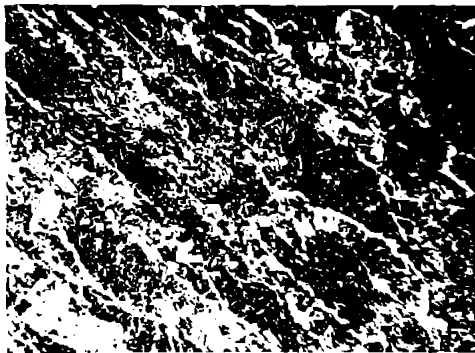


Fig.4.33

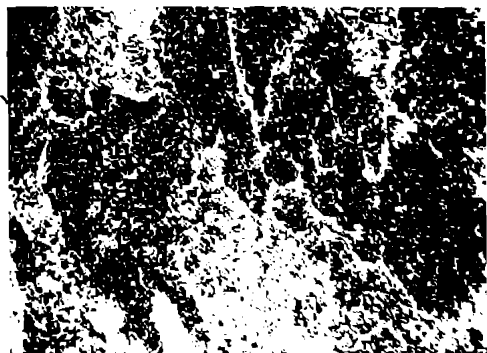


Fig.4.34

Din punct de vedere microstructural nu se constată diferențe semnificative în sudură prin efectuarea tratamentului termic, aspect ce se observă din fig.4.33 și fig.4.34.

La analizele microstructurale (valabil și la punctele a și

b) nu s-au evidențiat defecțe de sudare la opruvetele examinate (microfisuri, goluri, incluziuni solide etc.).

d) Sudarea electrică manuală cu electrod învelit și strat intermediar a oțelurilor așchiițoare 12Cr13-R44-6a.

Aspectele macroscopice ale celor două îmbinări sudate de grosime 12 mm, cu și fără tratament termic se prezintă în fig. 4.35 și fig. 4.36.

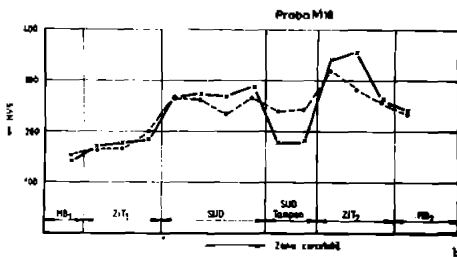
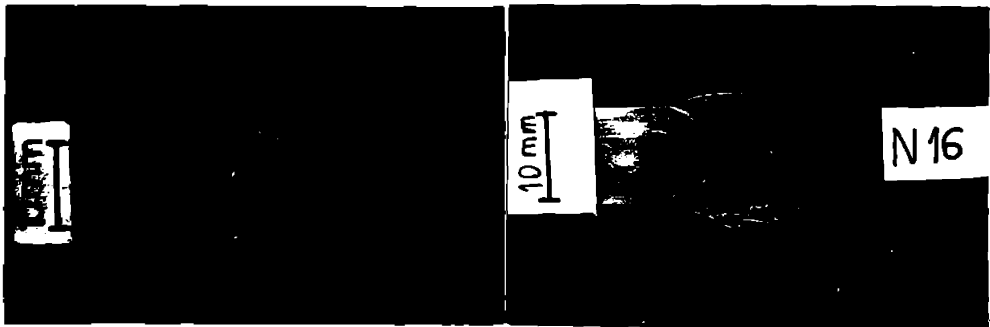


Fig. 4.35

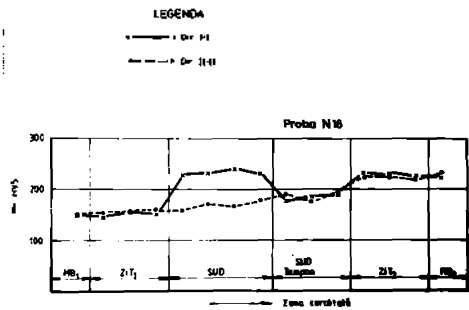


Fig. 4.36

În aceleași figuri se prezintă și diagramele de variație ale durității pentru probele N<sub>16</sub> - netratată termic post sudare și N<sub>16</sub> care a suferit un tratament termic de 750°C după sudare.

Ca și în cazul procedurii MAG cu strat intermediar se constată durități ridicate în ZIT-ul oțelului ferritic care ajung și până la 365 HV5 în timp ce în ZIT-ul oțelului R44-6a se obțin durități de cea 130 HV5.

În urma tratamentului termic variația durității este mo-

dificată prin scăderea generală a valorilor acestei caracteristici, variațiile cele mai importante conotându-se în sudură și ZIT-ul oțelului inoxidabil feritic - martensitic.

În general diagramele durității urmează aceeași variații ca și la procedeul MAC.

Examinarea macroscopică evidențiază cu claritate toate zonele îmbinării sudate și faptul că nu sînt prezentate defecte de sudare.

Analiza microstructurală prin rezultatele obținute arată că este în concordanță cu cele constatate din diagramele de duritate.

În ZIT-ul oțelului 12Cr13 se observă prezența martensitului răspunzătoare de duritățile ridicate - fig.4.37.



Fig.4.37

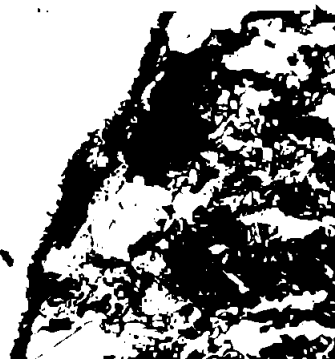


Fig.4.38

În fig.4.38 din oțelul ZIT dar în cazul probei tratate termic se constată în locul martensitului apariția feritei cu oarburi.

Examinările ZIT-urilor oțelului R44-6a relevă aceeași aspecte ca și la procedeul MAC, diferențe semnificative față de oțel caz neevidențindu-se nici în sudură.

Nu s-au decelat prin analize microstructurale defecte în îmbinarea sudată de tipul microfisuri, goluri, incluziuni solide.

#### 4.5.4 Analize la microsonda electronică

Analizele la microsonda electronică au vizat variația concentrației principalelor elemente chimice prin zonele de trecere MB-MD respectiv MB - strat intermediar, MD - strat intermediar.

În acest scop s-au prelevat probe marcate cu 17 și 18 în planul de prelevare care au fost pregătite metalografic prin metode obișnuite, lustruirea executându-se cu spray de diamant.



o utilitate relativă arătând diferențele dintre zone.

Intrucît tratamentul termic nu poate influența semnificativ repartiția concentrațiilor din zonele îmbinării sudate, analizele s-au efectuat pe cite una din probele pereche tratat-notratat, rezultatele fiind prezentate în continuare.

La microsonda electronică au fost analizate toate probele prelevate pentru analiza variațiilor elementelor chimice obținindu-se un număr mare de diagrame pentru principalele elemente chimice prezente în îmbinare și anume: Fe, Cr, Ni, Mn.

Analizînd aceste diagrame s-a constatat o evidențiere clară a diferențelor de compoziție chimică între metal de bază, metal depus și strat intermediar.

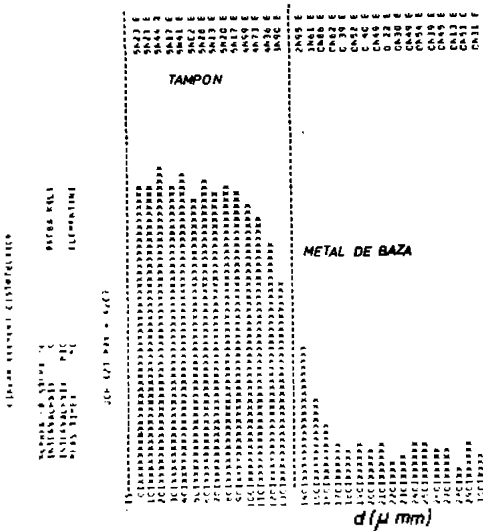


Fig. 4.41

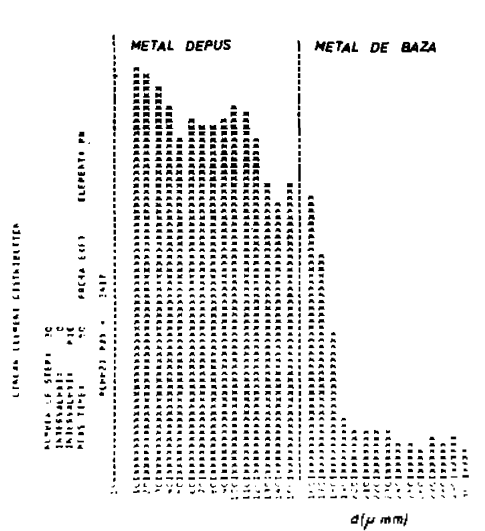


Fig. 4.42

La toate probele s-au constatat treceri progresive ale concentrației de la valori corespunzătoare unei zone la a celeilalte zone care se extind pe o distanță de 30...30 μm indiferent de elementul chimic analizat.

Explicația acestei variații progresive o constituie procesele de difuzie care au loc la interfața celor două materiale distincte, precum și în procesele de diluție ce se produs la sudare.

Pentru exemplificare, diagramele ridicate pe calculator sînt

prezentate în fig.4.39,4.40,4.41, și fig.4.42.

Probele sudate cu strat intermediar prezintă o particularitate în sensul că între oțelul 12Cr13o și sudură s-a amplasat un strat intermediar.

În fig. 4.43 și fig.4.44 se prezintă variația elementelor oțel și mangan de-a lungul stratului intermediar pornind din metalul depus pînă în metalul de bază 12Cr13o. Această analiză a necesitat explorarea unei zone avînd o lungime mai mare și anume de 135o m.

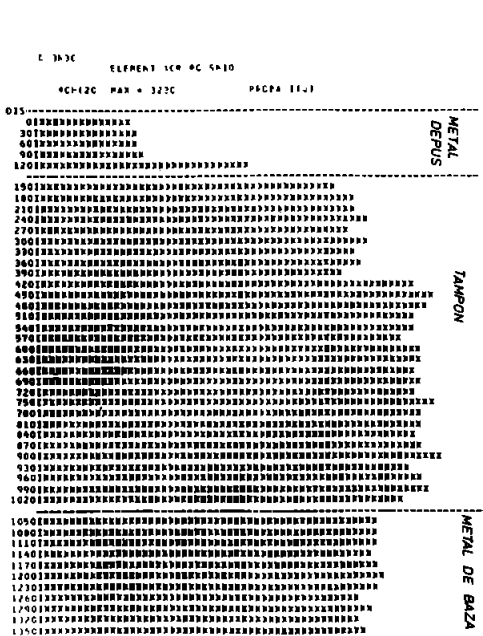


Fig. 4.43

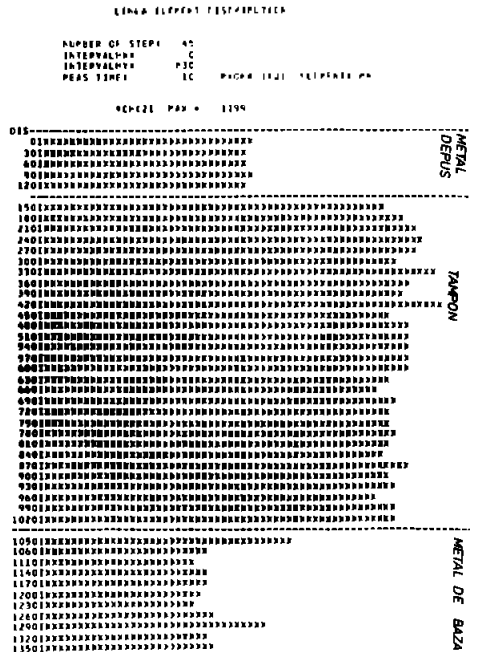


Fig.4.44

Se remarcă în cazul fiecărei diagrame modul în care variază concentrația cromului și manganului la cele două interfețe și anume: MD - strat intermediar , respectiv strat intermediar - MB.

Din diagramele prezentate rezultă de asemenea diferențierile nivelelor concentrațiilor de crom și mangan din cele trei zone și anume:

- la crom cea 13 în MD , cea 18 în strat intermediar și cea 13% în MB.

- la mangan cea 1% în MD, cea 6% în strat intermediar și cea 0,6% în MB.

În urma cercetărilor experimentale se desprind următoarele concluzii:

- Analizele de compoziție chimică coroborate cu încercările mecanice și investigațiile metalografice atestă că îmbinările realizate după tehnologiile propuse sînt corespunzătoare.

- Rezultatele obținute pun în evidență o bună concordanță cu cele constatate la cercetările realizate prin metoda simulării ciclurilor termice la sudare.

- Pentru toate cazurile studiate aplicarea unui tratament termic post sudare conduce la diminuarea durității maxime obținute în ZIT ca o consecință a trecerii spre echilibru a constituenților metastabili și deci a reducerii stării de tensiuni interne.

- Efectele tratamentului termic asupra durității metalului după este practic neglijabil, avîndu-se în vedere faptul că structura acestuia este de tip austenitic.

- Efectele creșterii energiei liniare de sudare și a temperaturii maxime asupra proprietăților mecanice ale probelor simulate, se regăsesc în rezultatele obținute pe îmbinările executate prin procedeele de sudare utilizate.

- Pentru îmbinările sudate din oțeluri disimilare, rezultatele corespunzătoare ale încercărilor mecanice s-au obținut numai după optimizarea tehnologiilor de sudare.

- Analiza compoziției chimice a relevat că toate încercările s-au executat pe materiale corespunzătoare și care se încadrează în prevederile standardelor pentru mărcile 12Cr13 și respectiv R44-6a.

Materialule de adăos - electrozii și simule de sudare - corespund tehnologiei în ceea ce privește compoziția chimică.

- Încercarea la îndoire a evidențiat că toate variantele tehnologice prezentate au asigurat o plasticitate corespunzătoare a îmbinărilor sudate realizate.

- Rezistența la rupere a îmbinărilor sudate depășește în toate cazurile limita inferioară a rezistenței metalului de bază utilizat, aceasta fiind valabilă și după aplicarea tratamentului termic post sudare.

- Încercările la încovoiere prin șoc au evidențiat păstrarea caracteristicilor de plasticitate ale sudurii și metalului de bază după aplicarea tratamentului termic post sudare în limitele prevăzute de standardele în vigoare.

- Analiza fractografică pe probele de încovoiere prin șoc atestă în general ruperi cu caracter ductil, zona aparținând aspecte

ale superii fragile care au însă extindere limitată.

- Din punct de vedere metalografic se constată că aplicarea tratamentului termic post sudare are ca efect transformarea martensitei din ZIT și scăderea durității acesteia la valori apropiate de a metalului de bază.

- Analizele la micronevada electronică efectuate în special asupra stratului intermediar au permis evidențierea existenței unui proces de diluție în sudură și materialul adiacent acesteia.



## CAPITOLUL 5

### OPTIMIZAREA TEHNOLOGIILOR DE SUDARE A OTELURILOR ALIATE PENTRU ECHIPAMENTELE HIDROENERGETICE

În capitolele precedente ale lucrării au fost analizate diferite variante de realizare a îmbinărilor sudate dintre elemente similare 12Cr13o-12Cr13o și disimilare 12Cr13o-R44-6A utilizându-se diferite regimuri și procedee de îmbinare. Scopul studierii mai multor variante de sudare a fost determinarea regimurilor optime și a procedurii cel mai indicat atât din punct de vedere tehnic cât și economic.

În același timp, respectarea cerințelor impune îmbinărilor sudate cât și desfășurarea procesului în sine implică eforturi de natură materială, financiară, umană informațională, etc.

Cuantificarea acestor eforturi exprimate prin indicatori economici și tehnici ne permite stabilirea unui criteriu de alegere a variantelor de sudare optime considerând că parametrii tehnici au fost analizați și măsurați în capitolele precedente.

Numărul mare de factori tehnici și economici care caracterizează fiecare variantă tehnologică imparte - pentru a determina efectul influenței acestor parametri a procesului de sudare asupra caracteristicilor tehnice și economice impune folosirea unor metode de optimizare multicriteriale.

Modelele clasice de optimizare pentru determinarea parametrilor optimi ai unui proces modifică de obicei un singur factor, în timp ce restul factorilor se mențin la valori constante, fapt care are dezavantajul că necesită un număr mare de încercări, și nu sesizează opțiunea simultană a factorilor care influențează desfășurarea procesului, existând și posibilitatea ca varianta optimă a procesului (tehnologiei) să fie ocultă.

Din aceste considerente s-a optat pentru alegerea unor metode de optimizare și decizie multicriteriale în care valorile mai multor factori independenți au fost analizate și simultan, iar efectele fiecăruia precum și cele ale interacțiunilor lor au fost determinate separat.

Din determinările efectuate, valorile parametrilor au variat între limite minime și maxime care s-au încadrat în standardele în vigoare, fapt pentru care frecvența cea mai mare a combi-

națiilor posibile ale variabilelor și nivelurilor au fost utilizate în alcătuirea valorilor matricii indicatorilor cu care s-a operat în procesul de optimizare.

Se poate afirma că orice optimizare se poate rezolva fie prin maximizarea parametrilor procesului <sup>sau minimizare</sup> și sunt și sisteme care nu se pot optimiza și deci nu au o soluție optimă. Două sînt cauzele ce pot determina această situație :

- valorile parametrilor luați în studiu nu au nici maxime nici minime în intervalul de variație al acestora

- parametrii aleși nu sînt suficient de sensibili pentru a putea sesiza optimul.

Din punct de vedere decizional optimizarea sistemelor determină următoarele forme de decizie :

- decizii certe, specifice sistemelor deterministice cu majoritatea variabilelor cuantificabile și cu probabilitatea de realizare unitară (certitudine) .

- decizii de risc care se întîlnesc la sistemele statistice cu probabilitatea de realizare între 0 și 1.

- decizii incerte care se întîlnesc la sistemele statistice cu probabilitatea de realizare necunoscută .

- decizii adaptive, care se întîlnesc cînd sînt posibile experimentări neconvenționale, rezultatele obținute dînd operatorului informații orientative și informații despre distribuția sistemului ; Aceste decizii se placează între deciziile cu risc și deciziile în incertitudine.

Deciziile se iau individual sau în flux și în cazul grupului decizional activitatea poate fi de colaborare sau de competiție. Grupul decizional competitiv iese din cadrul optimizării și se așază în teoria jocurilor.

Un factor important în luarea deciziilor este economicul, el furnizînd variabile cuantificabile favorabile din punct de vedere decizional.

Aducînd numai variabile cuantificabile factorul economic mărește ponderea acestui tip de variabile și prin aceasta crește credibilitatea și confidența deciziilor.

### 5.1. Stabilirea variantei optime de cuderă cu ajutorul metodei "ELECTRE"

Metoda a fost elaborată de un grup de cercetători de la Societatea de matematică franceză "EMA sub titlul (ce exprimă esența metodei) "Clasament și alegere în prezența unor puncte de vo-

dere multiple " .

In continuare vom explica această metodă pe cazurile luate în studiu (sudarea oțelurilor similare și a celor disimilare). Pe baza datelor rezultate în urma măsurărilor efectuate pe probe și în timpul procesului de sudare coroborate cu indicatorii economici considerați semnificativi s-au stabilit următorii parametri tehnici și indicatori economici care sînt relevanți pentru optimizarea tehnologiilor de sudare și care sînt prezentați în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1.

Nr. crt.	Denumirea indicatorilor	Simbolizare	Unitate de măsură
1.	Productivitatea exprimată prin rata depunerii	$A_D$	kg/h
2.	Consum specific de energie electrică	$C_w$	lei/m
3.	Consum specific de material de adeos.	$C_{MA}$	lei/m
4.	Costul utilajului utilizat	$C_{UT}$	mii lei/buc.
5.	Durata de recuperare a costului utilajului	$D_R$	ani
6.	Duritatea maximă a îmbinării sudate	$H_{V5}$	-
7.	Plasticitatea îmbinării sudate exprimată prin reziliență	$KV$	J

Indicatorul "durata de recuperare a investiției" este în strînsă legătură cu indicatorul de productivitate și se calculează cu relația:

$$D_R = \frac{V_i}{B} \quad (5.1) \quad \text{în care:}$$

$V_i$  - valoare de achiziție a utilajului / lei /

$B$  - beneficiul anual (lei/an)

Studiul de optimizare a tehnologiilor s-a realizat pe îmbinări sudate pentru oțeluri similare (12Cr13o-12Cr13o) și separat pentru oțeluri disimilare (12Cr13o-R44-6a) utilizându-se patru variante pentru fiecare caz în parte. Aceste variante pentru sudarea oțelurilor similare sînt prezentate în tabelul 5.2, iar pentru sudarea oțelurilor disimilare în tabelul 5.3.

Tabelul 5.2.

variantă indicator	V1	V2	V3	V4
$\Delta_R$	2,04	2,04	4,3	4,3
$C_R$	130,4	130,4	90	90
$C_{MA}$	2,35	2,35	1,8	1,9
$C_{UT}$	60	60	140	140
$D_R$	5,6	5,6	13,7	13,7
$Hv_5$	400	180	410	165
KV	88	82	112	72

Tabelul 5.3.

variantă indicator	V1	V2	V3	V4
$\Delta_R$	1,74	1,74	2,5	2,5
$C_R$	130,4	130,4	90	90
$C_{MA}$	2,35	2,35	1,4	1,4
$C_{UT}$	60	60	140	140
$D_R$	5,6	5,6	13,7	13,7
$Hv_5$	430	240	430	260
KV	92	70	94	84

in care :

- $V_1$  - sudură electrică manuală, cu electrod învelit netratat termic.
- $V_2$  - sudură electrică manuală cu electrod învelit cu tratament termic de revenire după sudare .
- $V_3$  - sudură prin procedeul MIG fără tratament termic după sudare .
- $V_4$  - variantă de sudare prin procedeul MIG cu tratament termic de revenire după sudare .

- Valorile din cele două tabele au rezultat în urma măsurătorilor realizate pe epruvetele sudate și prin calcule economice efectuate pe baza datelor culese din contabilitate. În continuare pe toată durata analizei se prezintă în paralel etapele metodei pentru cele două cazuri - similar și disimilor .

#### Etapa 1

Pentru o mai ușoară comparație a variantelor între ele se transformă valorile indicatorilor luați în analiză în calificative , cu următoarele notații :

- nesatisfăcător - NS
- satisfăcător - S
- bine - B
- foarte bine - FB

Corespunzător acestei ipoteze datele din tabelul 5.2 și 5.3, exprimate sub formă de calificative sînt cuprinse în tabelele 5.4 și 5.5 .

#### Etapa 2.

Se acordă fiecărui indicator un coeficient de importanță  $K_1$  1, în urma comparării fiecărui indicator cu fiecare, rezul-

tînd tabelul 5.6 și 5.7. care reprezintă tabloul de comparație a indicatorilor.

Tabelul 5.4.

Indicator	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
A <sub>D</sub>	S	S	FB	FB
C <sub>W</sub>	B	B	FB	FB
C <sub>MA</sub>	B	B	FB	FB
C <sub>UT</sub>	FB	FB	B	B
D <sub>R</sub>	FB	FB	B	B
H <sub>V5</sub>	S	B	S	B
K <sub>V</sub>	B	B	S	FB

Tabelul 5.5.

Indicator	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
A <sub>D</sub>	S	S	B	B
C <sub>W</sub>	B	B	FB	FB
C <sub>MA</sub>	B	B	FB	FB
C <sub>UT</sub>	FB	FB	B	B
D <sub>R</sub>	FB	FB	B	B
H <sub>V5</sub>	S	B	S	B
K <sub>V</sub>	B	B	S	FB

Tabelul 5.6.

Indicator	A <sub>D</sub>	C <sub>W</sub>	C <sub>MA</sub>	C <sub>UT</sub>	D <sub>R</sub>	K <sub>V</sub>	H <sub>V5</sub>
A <sub>D</sub>	-	-	-	-	-	+	+
C <sub>W</sub>	+	-	-	-	-	+	+
C <sub>MA</sub>	+	+	-	+	+	+	+
C <sub>UT</sub>	+	+	-	-	+	+	+
D <sub>R</sub>	+	+	-	-	-	+	+
K <sub>V</sub>	-	-	-	-	-	-	-
H <sub>V5</sub>	-	-	-	-	-	+	-
Total +	4	3	0	1	2	6	5
$\Sigma$	6	5	2	3	4	8	7

în care : K<sub>1</sub> - coeficient de importanță

Tabelul 5.7.

Indicator	A <sub>D</sub>	C <sub>W</sub>	C <sub>MA</sub>	C <sub>UT</sub>	D <sub>R</sub>	K <sub>V</sub>	H <sub>V5</sub>
A <sub>D</sub>	-	-	-	-	-	+	+
C <sub>W</sub>	+	-	-	-	-	+	+
C <sub>MA</sub>	+	+	-	+	+	+	+
C <sub>UT</sub>	+	+	-	-	+	+	+
D <sub>R</sub>	+	+	-	-	-	+	+
K <sub>V</sub>	-	-	-	-	-	-	-
H <sub>V5</sub>	-	-	-	-	-	+	-
Total +	4	3	0	1	2	6	5
K <sub>1</sub>	6	5	2	3	4	8	7

Tabelele de mai sus s-au completat astfel:

- comparînd indicatorul de pe linie cu toți ceilalți de pe coloană și concomîndu-se cu (+) dacă indicatorul de pe coloană

este mai important decât cel de pe linie și cu (-) două indicatorul de pe linie este mai important decât cel de pe coloană. De exemplu - comparând indicatorul de pe linie KV (reziliența) cu AD de pe prima coloană am notat cu (-) căsuța din coloana 1 și linia 6 pentru că se consideră mai important KV decât AD.

- s-au totalizat numărul de plusuri care indică și coeficientul de importanță, pentru fiecare indicator.

Pentru a putea opera mai ușor în continuare, considerăm la indicatorul KV care are suma plusurilor egal cu zero coeficientul de importanță  $K_1 = 2$ , fapt pentru care la toți ceilalți indicatori acesta a devenit o bază de comparație, spre exemplu - la indicatorul AD care are suma plusurilor "4", adăugând cele două unități, s-a ajuns la  $K_1 = 6$ , similar procedându-se și pentru ceilalți indicatori.

În vederea aplicării mai departe a metodei este necesar să stabilim valori numerice ale indicatorilor și ținând seama de coeficienții de importanță, se construiesc scări de note care permit transformarea calificativelor în mărimi numerice.

Pentru construirea acestor scări de note se va proceda astfel: asigurarea scării pentru toți indicatorii va fi zero, iar ecartul (distanța, deplasajul între calificative) egal cu coeficienții de importanță ai indicatorilor.

În acest context s-au construit scările de note pentru indicatorii analizați, prezentați în tabelele 5.8 și 5.9.

Tabelul 5.8.

Varianța Indicatori	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
AD	12	12	18	18
C <sub>W</sub>	20	20	15	15
C <sub>MA</sub>	6	6	8	8
C <sub>UT</sub>	12	12	9	9
D <sub>R</sub>	16	16	12	12
KV	14	21	14	28
H <sub>Y5</sub>	16	32	16	32

Tabelul 5.9.

Varianța Indicator	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
AD	12	12	24	24
C <sub>W</sub>	20	20	15	15
C <sub>MA</sub>	6	6	8	8
C <sub>UT</sub>	12	12	9	9
D <sub>R</sub>	16	16	12	12
KV	14	21	14	28
H <sub>Y5</sub>	24	24	16	32

Ținând cont de calificativele din tabelele 5.4 și 5.5 și de coeficienții de importanță din tabelele 5.6 și 5.7., s-au obținut valorile din tabelele de mai sus.

### Etapa 3.

S-au calculat coeficienții de concordanță "C<sub>ij</sub>" care ex-

primă gradul în care varianta "i" (care se compară) este mai bună decât varianta "j" (cu care se compară), calculați cu relația:

$$C_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (a_{ki} - a_{kj})}{\sum_{k=1}^n K_k} \times 100 \quad (5.2.)$$

în care :

-  $a_{ki}$  și  $a_{kj}$  - notele de la indicatorul "o" al variantelor ce se compară, unde  $i > j$

iar  $\sum K_k$  reprezintă suma coeficienților de importanță, (în cazul studiat egală cu 35) așa cum rezultă din tabelele 5.6 și 5.7.

Folosind principiul relației (5.2) s-au calculat indicatorii de concordanță comparând fiecare variantă cu fiecare, rezultatele prezentându-se în tabelele cu dublă intrare, 5.10 și 5.11.

Tabelul 5.10.

Variantă	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
V <sub>1</sub>		0	3	3
V <sub>2</sub>	7		1	3
V <sub>3</sub>	2	2		0
V <sub>4</sub>	1	4	9	

Tabelul 5.11.

Variantă	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
V <sub>1</sub>		0	6	3
V <sub>2</sub>	2		8	3
V <sub>3</sub>	4	4		0
V <sub>4</sub>	1	8	9	

Cifrele din tabelele prezentate au fost calculate conform relației (5.2) dar pentru simplificarea calculului, fără însă a influența etapa de decizie au fost rotunjite la numere întregi și simplificate lile nu cu 100 așa cum se prezintă în relația de calcul.

Exemplu :  $C_{13} = \frac{(20-15)+(12-9)+(16-12)}{35} \times 100 = 3,3 = 3$

#### Etapa 4.

Un alt indicator important pentru decizie este coeficientul de discordanță " $d_{ij}$ " care arată gradul cel mai înalt posibil în care varianta cu care se compară (j) este mai bună decât varianta care se compară (i), indicator calculat cu ajutorul relației:

$$d_{ij} = \frac{\max (a_{jk} - a_{ik})}{\max K} \times 100 \quad (5.3)$$

în care :

$a_{jk}$  și  $a_{ik}$  - sînt notele de la indicatorii "K", unde

variantele j este mai bună decât i (se alege cea mai mare dintre toate aceste diferențe posibile), iar max N- reprezintă cea mai mare diferență între limita maximă și cea minimă de pe toate scările de notații ale tuturor indicatorilor variantelor analizate. În cazul nostru max N = 30 .

Valorilor coeficienților de discordanță se găsesc în tabelele 5.12. și 5.13.

Variante	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
V <sub>1</sub>		3	0	0
V <sub>2</sub>	1		0	0
V <sub>3</sub>	3	5		2
V <sub>4</sub>	3	3	0	

Variante	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
V <sub>1</sub>		3	0	0
V <sub>2</sub>	3		0	0
V <sub>3</sub>	5	5		2
V <sub>4</sub>	5	3	0	

Se precizează că aceeași rotunjire a cifrelor s-a făcut și pentru coeficienții de discordanță .

#### 5.14. Etapa 5 .- Decizia

Pentru a compara variantele analizate pe baza coeficienților de concordanță și discordanță se asociază mulțimii variantelor un graf "G" (fiecare vîrf al grafului reprezentînd o variantă ). Între vîrfurile V<sub>i</sub> și V<sub>j</sub> ale grafului se va trasa un arc sau săgeata în V<sub>j</sub> dacă varianta V<sub>i</sub> este mai bună (o surclasează) - - dacă cele două variante sînt echivalente se trasează arcul în ambele sensuri . Pentru a ști dacă varianta i este mai bună decât j se aleg două praguri - unul "p" pentru coeficienții de concordanță și unul "q" pentru coeficienții de discordanță . Vom spune că varianta V<sub>i</sub> este mai bună ca V<sub>j</sub> dacă și numai dacă c<sub>ij</sub> ≥ p și d<sub>ij</sub> ≤ q . Erarhizarea cea mai exigentă a variantelor este pentru p = 1 și q = 0 care nu se întîlnește practic . De aceea pentru a avea raportul de surclasare între toate variantele, se scade pragul "p" și se crește pragul "q" .

În etapa de decizie în care am folosit toate combinațiile posibile de valori ale pragurilor "p" și "q" (în total 256) - s-a obținut următoarea ierarhizare a variantelor :

$$V_4 > V_2 > V_3 > V_1$$

La o modificare substanțială a valorilor pragurilor "p" și "q" dar care este cuprinsă în limitele din tabelele coeficien-



ților de concordanță și discordanță este posibil ca două din cele patru variante să fie echivalente .

Pentru exemplificare, la valori ale pragurilor  $p = 9$  și  $q = 3$  și comparând fiecare variantă cu fiecare , pe principiul arătat mai sus (adică  $c_{ij}$   $p$  și  $d_{ij}$   $q$  ) obținem următoarele relații între variante :

$$\begin{array}{llll} V_1 < V_2 & V_2 < V_1 & V_3 > V_1 & V_4 > V_1 \\ V_1 < V_3 & V_2 > V_3 & V_3 < V_2 & V_4 < V_2 \\ V_1 < V_4 & V_2 < V_4 & V_3 < V_4 & V_4 > V_3 \end{array}$$

Corespuzător valorilor pragurilor  $p=9$  și  $q=3$  și relațiilor de mărime dintre variantele aferente acestor praguri graful are configurația prezentată în figura 5.1.

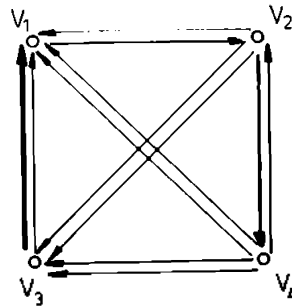


Fig. 5.1.

din care pleacă mai multe săgeți, ne arată varianta cea mai bună, iar vârful spre care se îndreaptă mai multe săgeți arată varianta cea mai slabă.

Tinând cont de simbolizarea fiecărei variante se obține următoarea ierarhizare a procedurilor de sudare :

- sudarea MIG cu tratament termic de revenire oferă rezultatele cele mai bune din punct de vedere tehnico-economic, urmată de sudare manuală cu electrozi înveliți și tratament termic de revenire, după care urmează procedeul MIG netratat termic, iar pe ultimul loc este sudarea manuală cu electrozi înveliți netratată termic.

Rezultatele obținute cu această metodă în cazul sudării oțelurilor disimilare (12Cr13o-R44-6a) pentru valori ale pragurilor  $p = 9$  și  $q = 3$  se prezintă astfel :

$$\begin{array}{llll} V_1 < V_2 & V_2 < V_1 & V_3 < V_1 & V_4 > V_1 \\ V_1 < V_3 & V_2 > V_3 & V_3 < V_2 & V_4 < V_2 \\ V_1 < V_4 & V_2 < V_4 & V_3 < V_4 & V_4 > V_3 \end{array}$$

Configurația grafului aferent acestor valori este prezentată în figura 5.2. . Ierarhizând variantele conform aceluiași principiu ca la sudarea oțelurilor similare se obține:

C 5.2 PROCRAPLAN CVS

```

REAL VI(7,4)
REAL C(4,4),D(4,4)
REAL KN1,KN2
REAL P(16),C(16)
DATA VI/12.0,20.0,6.0,12.0,16.0,14.0,16.0,
*      12.0,20.0,6.0,12.0,16.0,21.0,32.0,
*      18.0,15.0,8.0,9.0,12.0,14.0,16.0,
*      18.0,15.0,8.0,9.0,12.0,20.0,32.0/
DATA KN1,KN2/35.0,30.0/
WRITE(108,1) (I,4VI(I,J),J=1,4),I=1,7)
1  FORMAT(////////' ',T35,'V A R I A N T A / I N D I C A T O R'//
*      '////////' ',T39,'V1',8X,'V2',8X,'V3',8X,'V4'////////(' ',
*      T22,'I',1,8X,4F10.1//))
WRITE(108,2) KN1,KN2
2  FORMAT(////////' ',T35,'C C E F F I C I E N T KN1'////////' ',
*      T39,'KN1 = ',F6.1//)
*      T35,'C C F F I C I E N T KN2'////////' ',
*      T39,'KN2 = ',F6.1)
CC 100 I=1,4
CC 50 J=1,4
C(I,J)=0.
IF(I.EC.J) CC TC 90
CC 80 K=1,7
*      IF (VI(K,I).GT.VI(K,J))
80      C(I,J)=C(I,J)+VI(K,I)-VI(K,J)
CONTINUE
C(I,J)=C(I,J)/KN1
90      CONTINUE
100     CONTINUE
WRITE(108,3) ((C(I,J),J=1,4),I=1,4)
3  FORMAT(/////' ',T26,'C O N C O F D A N T A'////
*      (' ',T32,4F10.1))
CC 200 I=1,4
DC 190 J=1,4
C(I,J) = C.
IF(I.EC.J) CD TC 190
DC 180 K=1,4
*      IF(VI(J,K)-VI(I,K).GT.C(I,J))
180      D(I,J)=VI(J,K)-VI(I,K)
CONTINUE
D(I,J)=D(I,J)/KN2
190     CONTINUE
200     CONTINUE
WRITE(108,4) ((C(I,J),J=1,4),I=1,4)
4  FORMAT(/////' ',T26,'C I S C O F D A N T A'////
*      (' ',T32,4F10.1))
CC 300 I=1,4
DC 250 J=1,4
K=(I-1)*4+J
P(K)=C(I,J)
290     CONTINUE
300     CONTINUE
CC 400 K=1,16
L=16-K+1
DC 350 J=2,L
IF(P(J-1).GT.P(J)) CC TC 350
AUX = P(J)
P(J)=P(J-1)
P(J-1)=AUX
390     CONTINUE
400     CONTINUE
CC 500 I=1,4
DC 450 J=1,4
K=(I-1)*4+J
Q(K)=D(I,J)
490     CONTINUE
500     CONTINUE

```

fig.5.3

$$V_4 > V_2 > V_1 > V_3$$

Conform notațiilor folosite ierarhizarea procedeelelor se prezintă astfel:

- sudarea în mediu de bioxid de carbon urmată de tratament termic de revenire, oferă rezultatele cele mai bune din punct de vedere tehnico-economic, precedată de sudarea electrică manuală cu tratament termic de revenire,

după care urmează sudarea electrică manuală cu electrod învelit netratată post-sudare și sudarea în mediul de bioxid de carbon netratată termic post-sudare .

Prelucrarea datelor atât tehnice obținute prin măsurătorile efectuate în capitolul 4 cât și a celor economice culese din evidența contabilă care stau la baza optimizării variantelor de sudură prin metoda multicriterială "ELECTRE", au fost prelucrate cu ajutorul calculatorului "INDEPENDENT 100", folosind limbajul de programare "FORTRAN".

Textul programului întocmit pentru execuția calculului este prezentat în fig. 5.3. care s-a realizat pe baza schemei logice din fig. 5.4. .

În urma aplicării algoritmului de calcul au rezultat 256 de combinații posibile ale pragurilor de concordanță și discordanță și ierarhizarea variantelor corespunzătoare fiecărei perechi de valori ale pragurilor . Eliminând din calcul valorile pragurilor p și q care nu permit ierarhizarea variantelor între ele au rămas 78 de combinații pertinente care definesc procesul de optimizare și în funcție de care s-au ordonat cele patru variante ( $V_1 \dots V_4$ ) .

5.2. În sprâmbul întăririi veridicității soluțiilor obținute prin metoda "ELECTRE", folosind aceleași date inițiale ale valorilor parametrilor din tabelele 5.1. și 5.2. se prezintă optimizarea variantelor analizate ( $V_1 \dots V_4$ ) și cu ajutorul metodei "K1"

Această metodă are ca ipoteză de lucru transformarea mărimii absolute a indicatorilor exprimați în unități de măsură diferite, într-o mărime relativă, abstractă ca exprimare sau având aceeași exprimare (de regulă %). Pe această bază este posibilă o însumare a acestor mărimi relative pe fiecare variantă în parte,

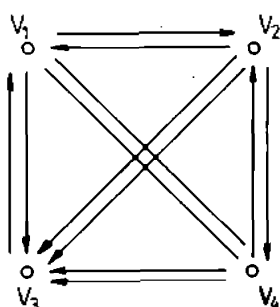


Fig. 5.2.

Schema logica pentru OVSE

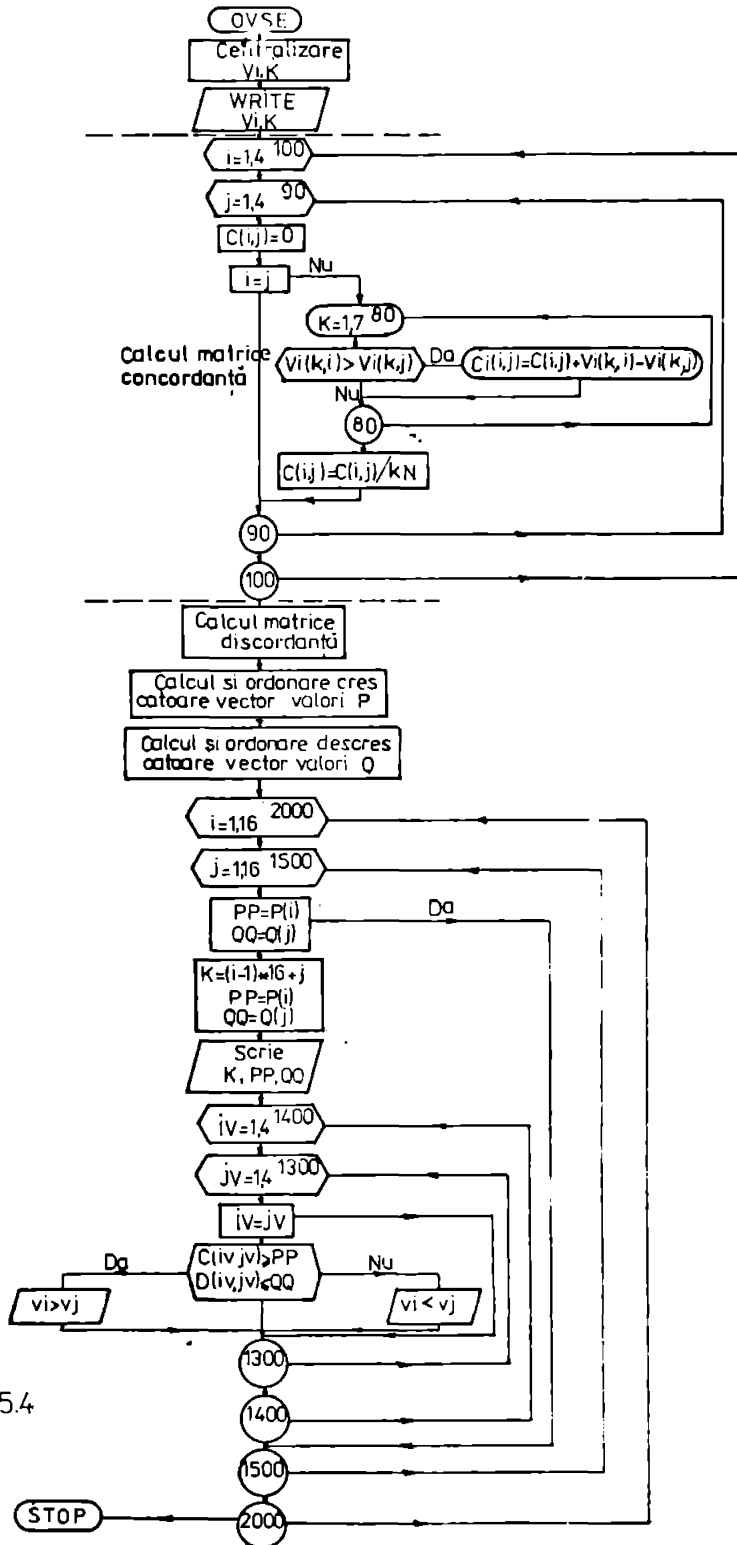


fig.5.4

într-un indicator global folosit pentru ierarhizare alternative-  
lor studiate .

Mărimea relativă în care se transformă indicatorii este  
"sporul relativ" al indicatorului față de valoarea lui cea mai  
bună, aleasă dintre toate variantele (mărimea aceasta este inclu-  
să în datele inițiale ) și se calculează astfel :

$$s_{ij} = \frac{a_{ij} - b_{ik}}{b_{ik}} \times 100 \quad (5.3)$$

în care :

-  $s_{ij}$  - este sporul relativ al indicatorului "i" de la va-  
rianta de sudare "j", față de mărimea lui optimă ( $b_{ik}$ ) ;

-  $a_{ij}$  - reprezintă valoarea absolută a indicatorului "i"  
de la varianta "j" ;

-  $b_{ik}$  - este valoarea absolută cea mai bună a indicatoru-  
lui "i" aflată în datele inițiale la varianta "k" .

Sporurile relative considerate în modul se trec într-o ma-  
trice în care liniile reprezintă indicatorii luați în calcul (teh-  
nici și economici) iar coloanele reprezintă variantele propuse  
spre analiză .

Decizia în ierarhizarea variantelor conform acestei metode  
se poate lua după criteriul minimizării următoarei relații :

$$\frac{\sum_{i=1}^n s_{ij}}{n} \longrightarrow \text{minim} \quad (5.4)$$

în cazul în care oei "n" indicatori au aceeași importanță, sau  
cu ajutorul relației :

$$\sum_{i=1}^n s_{ij} \cdot k_i \longrightarrow \text{minim} \quad (5.5)$$

când indicatorii se diferențiază prin coeficienți de importanță.  
Coeficientul  $k_i$  trebuie să îndeplinească următoarele proprietăți:

$$0 < k_i < 1 \quad \text{și} \quad \sum_{i=1}^n k_i = 1 .$$

Se optează pentru folosirea relației (5.5) în alegerea ordinii  
variantelor de sudare .

Matricea sporurilor relative calculată cu relația (5.3)  
pentru cele două tipuri de îmbinări sudate se prezintă în tabelele  
5.15 și 5.16.

Relația (5.3) s-a aplicat la datele din tabelele 5.8 și 5.9

La sudarea oțelurilor similare s-au folosit următoarele  
valori ale coeficienților de importanță :

$k_1 = 0,07; 0,23; 0,15; 0,14; 0,18; 0,22; 0,09$ .

Acești coeficienți au fost aleși subiectiv pentru fiecare indicator funcție de rolul acordat fiecăruia.

Tabel 5.14

Variantă indicator	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
A <sub>D</sub>	0	0	50	50
C <sub>W</sub>	33	33	0	0
C <sub>MA</sub>	0	0	33	33
C <sub>UT</sub>	33	33	0	0
D <sub>R</sub>	33	33	0	0
KV	0	50	0	100
H <sub>V5</sub>	0	100	0	100

Tabel 5.15

Variantă indicator	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>
A <sub>D</sub>	0	0	100	100
C <sub>W</sub>	33	33	0	0
C <sub>MA</sub>	0	0	33	33
C <sub>UT</sub>	33	33	0	0
D <sub>R</sub>	33	33	0	0
KV	0	50	0	100
H <sub>V5</sub>	50	50	0	100

Respectând regula de înmulțire matricială și efectuând calculul dintre transpusa matricii  $S_{ij}$  obținută prin schimbarea liniilor cu coloanele din tabelele 5.14 și 5.15 și vectorul coloanei  $k_1$  obținem următoarele valori:

$V_1 = 20190$       Conform principiului de minimizare a relației (5.5) ordinea de ierarhizare a variantelor se prezintă astfel :  
 $V_2 = 12613$   
 $V_3 = 16247$   
 $V_4 = 10413$

$$V_4 < V_2 < V_3 < V_1 .$$

Varianta cea mai bună este dată de valoarea cea mai mică obținută prin înmulțirea matricii  $S_{ij}$  transpusă cu  $k_1$  observându-se că se păstrează aceeași ierarhizare ca și la metoda "ELECTRE" în sensul că cele mai bune rezultate tehnico-economice le oferă varianta  $V_4$  urmată în ordine de  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_1$ .

Aplicând această metodă și la sudarea oțelurilor disimilare se obține aceeași ordine a variantelor de la metoda "ELECTRE" și anume:  $V_4$  - varianta cea mai bună, urmată în ordine de  $V_2, V_1, V_3$ .

Se precizează că și la această metodă, datele au fost preluate cu ajutorul calculatorului în același limbaj de programare ca și la metoda "ELECTRE", programul utilizat fiind prezentat în figura 5.5, întocmit pe baza schemei logice din fig. 5.6.

Rezultatele obținute prin folosirea metodelor multicriteriale în ierarhizarea variantelor de sudare pe cele două cazuri de îmbinare a oțelurilor - similar - disimilar - permit deprimerea următoarelor concluzii :

```

C   PROGRAMLL CVSPAT: OPTIMIZARE VARIANTA SUBTRA CU METODA MATRICIALA
      REAL VI(7,4),S(7,4),K(7),IV(4)
      INTEGER A(7),MINPAX(2)
      DATA VI/12.0,20.0,6.0,12.0,16.0,14.0,24.0,
*      12.0,20.0,6.0,12.0,16.0,21.0,24.0,
*      24.0,15.0,8.0,9.0,12.0,14.0,16.0,
*      24.0,15.0,8.0,9.0,12.0,20.0,32.0/
      DATA A/2,6*1/
      DATA MINPAX/'MIN ', 'MAX '/
      WRITE(108,41)
41  *   FORMAT(///// ' ',T35,'V A R I A N T A / I N D I C A T O R'//
*      '////' ' ',T39,'V1',8X,'V2',8X,'V3',8X,'V4'///// )
      DO 48 I=1,7
          L=A(I)
          WRITE(108,45) I,MINPAX(L),(VI(I,J),J=1,4)
45  *   FORMAT(' ',T22,'I',11,2X,A4,2X,4F10.1)
48  *   CONTINUE
      DO 400 I=1,7
          AUX=VI(I,1)
          DO 250 J=1,4
              IF(A(J).EQ.1) GO TO 230
              IF(VI(I,J).GT.AUX) AUX=VI(I,J)
              GO TO 250
230  *   CONTINUE
              IF(VI(I,J).LT.AUX) AUX=VI(I,J)
250  *   CONTINUE
          DO 350 J=1,4
              S(I,J)=(VI(I,J)-AUX)/AUX
350  *   CONTINUE
          CONTINUE
          WRITE(108,2) ((S(I,J),J=1,4),I=1,7)
2  *   *   FORMAT(///// ' ',T35,'S P C R U L   R E L A T I V'////(' ',
*      T32,4F10.2))
          NV=C
          CONTINUE
          READ(105,3,END=1500) K
          3  *   FORMAT(7F5.0)
          NV=NV+1
          WRITE(108,4) NV,K
          4  *   FORMAT(///// ' ',T10,'S F T U L #',15,4X,7F10.2)
          AUX=5559.
          L=1
          DO 650 J=1,4
              IV(J)=0.
              DO 600 I=1,7
                  IV(J)=IV(J)+S(J,I)*K(I)
600  *   CONTINUE
              IF(IV(J).GE.ALX) GO TO 620
              AUX = IV(J)
              L=J
620  *   CONTINUE
650  *   CONTINUE
          WRITE(108,5) IV,L,ALX
          5  *   *   FORMAT(///// ' ',T15,'I E R A R F I A'////' ',T30,4F10.5/' ',T40,
*      'VARIANTA ',I2,' ESTE CFTIMA (' ,F10.5,' )')
          GO TO 500
1500  *   STCP
          END

```

fig. 55

Schema logica pentru OVSMAT

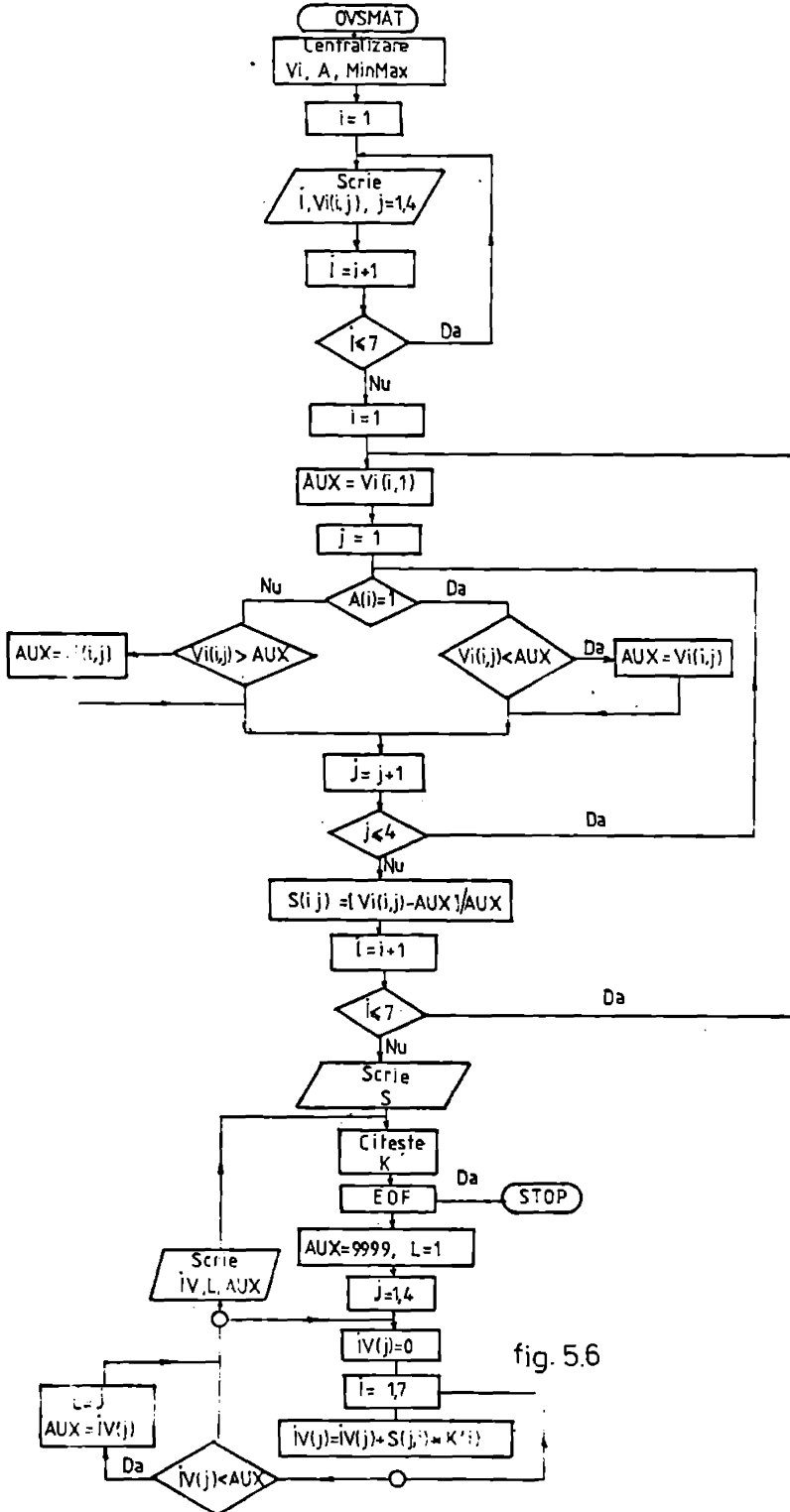


fig. 5.6



- Datele de intrare cu care s-a operat în vederea optimizării tehnologiilor de îmbinare folosind metoda "ELECTRE" și care definesc parametrii tehnici ai regimurilor de sudare sînt certificate de numărul mare de încercări efectuate și de rezultatele obținute prin cercetările experimentale realizate .

- Optimizarea tehnologiilor de sudare s-a realizat prin metode multicriteriale care permit ierarhizarea variantelor prin măsurarea acțiunii simultane a mai multor factori care definesc procesul de sudare și stabilirea în același timp a importanței fiecărui factor în parte .

- La stabilirea celor șapte indicatori de natură tehnică și economică s-a avut în vedere ca accepția să fie definitorii pentru procesul de sudare a oțelurilor studiate . Din gama indicatorilor tehnici , ținînd cont de tematica lucrării, s-au ales duritatea și reziliența îmbinării sudate fiind relevanți pentru asigurarea plasticității unei îmbinări . Indicatorii economici utilizați pentru optimizare sînt atît de natura elementelor de efect (productivitate, beneficiu) cît și de efort (valoarea de achiziție a utilajelor, costul energiei electrice și costul materialelor de odas), iar acțiunea concomitentă a acestora furnizează informații obiective care permit alegerea variantei optime.

- Metodele multicriteriale folosite în procesul de optimizare prezintă următoarele avantaje :

a. decizia se ia în urma acțiunii unui număr mare de indicatori care definesc complet un proces ;

b. permite diferențierea indicatorilor funcție de rolul acestora prin acordarea coeficienților de importanță ;

c. volumul mare de calcul implicat în aplicarea metodei multicriteriale folosind patru variante și șapte indicatori, necesită utilizarea calculatorului electronic programabil ;

d. utilizarea metodei permite folosirea mai multor limbaje de programare ( FORTRAN, COBOL, OPALIN, etc. ) ;

e. permite folosirea calificativelor de apreciere a indicatorilor care nu pot fi exprimați și diferențiați prin mărimi numerice pentru definirea unui proces ;

f. ierarhizarea fină a variantelor se face în urma epuizării tuturor combinațiilor posibile de praguri "p" și "q" și transpunerea raporturilor de mărime dintre variante într-un graf de comparație ;

g. metoda permite optimizarea unui proces și prin stabilirea valorii indicatorilor din standarde , urmînd ca cercetările experimentale să fie dirijate în funcție de limitele admise

h. se poate aplica la orice proces a cărui "comportament" poate fi definit prin indicatori reprezentativi. Metoda se pretează a fi folosită cu succes în proiectare, organizare, compararea nivelului calitativ al produselor, etc. În domeniul cercetării experimentale metodele de optimizare multicriteriale se pot folosi cu rezultate bune pentru stabilirea parametrilor optimi fără a fi necesare efectuarea unui număr mare de probe și încercări, prin aceasta reducându-se considerabil cheltuielile de muncă, energie și materiale. Din acest punct de vedere metodele amintite pot completa cu rezultate foarte bune calculul statistic și simularea ciclurilor termice la sudare, folosite în prezenta lucrare pentru reducerea numărului de probe;

i. metodele multicriteriale, reprezentând un mod nou de abordare a optimizării proceselor tehnice, se recomandă extinderea utilizării acestora și în alte domenii de natură tehnică și tehnico-economică.

## C A P I T O L U L 6

### ORGANIZAREA PROIECTULUI DE FABRICAȚIE AL STRUCTURILOR SUDATE DIN ECHIPAMENTUL HIDROENERGETIC

Competitivitatea în industria constructoare de mașini este tot mai puternic influențată de capacitatea producătorului de adaptare la solicitările beneficiarului și termenul de realizare al produsului .

În ultimii ani producția de serie mare se confruntă cu dificultăți, datorită volatilității foarte mari a pieței, a cererilor acestora - atât sub aspect cantitativ cât și calitativ- ceea ce impune producătorilor creșterea capacității de adaptare , de modificare rapidă a fabricației, a produselor , a tehnologiilor, a întregului sistem de organizare .

Acest lucru a făcut ca să apară preocupări tot mai insistente pentru dezvoltarea unei noi calități a fabricației în industria prelucrătoare - flexibilitatea, care implică modificări radicale atât în domeniul tehnologiilor de fabricație, cât și în domeniul organizării și conducerii producției și a muncii .

Bate tot mai clar că sistemele de producție sînt astăzi într-o profundă schimbare generală în special de apariția roboților, a sistemelor flexibile de fabricație pe de o parte și de informatică, pe de altă parte .

În practica industrială de pînă acum, automatizarea se realizează în cadrul unor sisteme rigide - linii transfer, mașini agregat , etc., concepute pentru un reper sau subansamblu unic. Orice schimbare de produs implică înlocuirea parțială sau completă a echipamentelor de fabricație . Specializarea - produs, fiind realizată prin automatizarea rigidă, nu poate oferi soluții economice decât pentru produsele cu periodicitate mare de înnoire .

Transferarea specializării - produs în zona seriilor mici și a produselor care se diversifică intensiv, cazul de la I.C.L. Caransebeș , presupune accozierea noțiunii de sistem de fabricație cu noțiunea de flexibilitate , noțiune prin care se crește capacitatea sistemului de adaptare la sarcini diferite, atât din punct de vedere al formei și dimensiunilor geometrice ale produsului ,

cît și din punct de vedere al organizării procesului tehnologic de producție .

Noțiunea de flexibilitate devine caracteristica principală a unui sistem de fabricație și se consideră că nivelul de organizare și tehnicizare a unui proces tehnologic este cu cît mai înalt cu cît prezintă mai puțină dependență față de executant, cît pentru executarea repetată a unei sarcini, cît și pentru adaptarea sa de la o sarcină la alta .

În ultimul timp , prin creșterea sistemelor de fabricație comandate de calculatoare electronice de proces, s-au realizat sisteme automate cu flexibilitate totală, aplicabile și în producția de serie mică și unicat .

Organizarea proceselor de fabricație dintr-o întreprindere pe baza conceptelor de flexibilitate, impune înlocuirea sistemului rigid de organizare existent concomitent cu ridicarea nivelului de tehnicizare .

#### 6.1. Analiza organizării actuale a fabricației structurilor sudate pentru echipamente hidroenergetice la I.C.I. Cornești.

În concepția sistematică caracteristică organizatorică a unui proces de fabricație rezultă, în special, din interacțiunea amplasării locurilor de muncă pe fluxul tehnologic și nivelului de tehnicizare din dotarea acestora .

Analiza amplasării locurilor de muncă în fluxul tehnologic și nivelului de tehnicizare al procesului de fabricație pentru structurile sudate din echipamentele hidroenergetice va constitui obiectul studiului în continuare .

##### 6.1.1. Organizarea fluxului tehnologic

Literatura de specialitate arată că încadrarea diferitelor subdiviziuni ale unei întreprinderi în unul din cele trei tipuri de producție (unicat, serie, muncă) stabilește metoda de organizare corespunzătoare amplasării locurilor de muncă .

Aplicîndu-se relația :

$$K_D = \frac{R_M}{T} \quad (6.1) \quad \text{cu} \quad R_M = \frac{\Sigma}{\Pi} \quad (6.2) \quad \text{în care :}$$

$K_D$  = coeficientul de serie ;

$R_M$  = ritmul mediu ;

$T$  = timpul unitar pe produs ;

$F$  = fondul de timp total disponibil pe o perioadă  
 $N$  = Numărul de bucați- produs-ce trebuie executate  
în perioada stabilită ;

și diagrama de reprezentare (fig.6.1), se determină timpul producției în structurile sudate pentru echipamente hidroenergetice .

Din fig. 6.1 rezultă că pentru un  $K_g = 19,8$  producția de structuri sudate are un caracter de unicate spre serie mică.

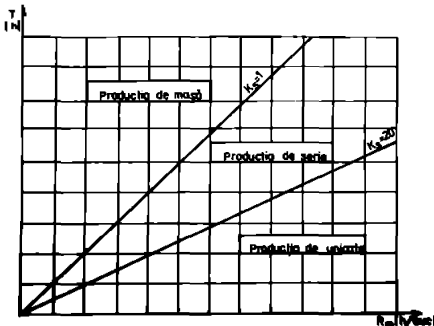


Fig. 6.1

blelor funcție de itinerarul lor tehnologic, putîndu-se în felul acesta elabara o tehnologie de grup .

Metoda de organizare care se pretează cel mai bine producției de unicate și serie mică este, metoda *gamelor fictive*, metodă care constă în determinarea unei game fictive în care să se regăsească cele particulare ale subansamblelor produselor. Această metodă a stat la baza organizării fabricației de turbine, microturbine și utilaje hidromecanice la I.C.M. Caransebeș.

Pe baza itinerarilor tehnologice ale pieselor și subansamblelor de turbine și microturbine, stabilite în fișele de fabricație, se trece la stabilirea *gamelor operațiilor* și produselor precum și la simbolizarea lor.

Simbolizarea locurilor de muncă stabilită din fișele tehnologice și amplasarea existentă este următoarea:

- Debitare-pregătire pentru asamblare =  $O_1$
- Lăcătușerie-asamblare =  $O_2$
- Sudură electrică-asamblare =  $O_3$
- Control după asamblare =  $O_4$
- Tratament termic de detensionare =  $O_5$
- Sablare cu alic metalice =  $O_6$

Producția de unicate ridică cele mai mari probleme de organizare amplasării locurilor de muncă, datorită faptului că pe aceleași spații productive se fabrică în cantități reduse, o gamă largă de ansamble. În aceste condiții se impune gruparea pieselor și subansam-

- Trasare pentru prelucrări mecanice = O<sub>7</sub>
- Prelucrări mecanice = O<sub>8</sub>
- Control după prelucrări mecanice = O<sub>9</sub>
- Lăcătuşerie-completare asamblare = O<sub>10</sub>
- Control final pentru montaj = O<sub>11</sub>

Această simbolizare a locurilor de muncă reprezintă de fapt gama operațiilor tehnologice de fabricație a produselor.

Gama produselor se stabilește funcție de elementele care se realizează, astfel:

- Turbine K.V.B - 8,3 MW = P<sub>1</sub>
- Turbine K.V.B.- 6 MW = P<sub>2</sub>
- Microturbine E.O.S.-1100 = P<sub>3</sub>
- Microturbine E.O.S.-700 = P<sub>4</sub>
- Microturbine FO - 90/570 = P<sub>5</sub>
- Microturbine FO - 90/390 = P<sub>6</sub>
- Microturbine FO- 125/640 = P<sub>7</sub>

Cele două game fiind stabilite O<sub>1</sub>!O<sub>2</sub>! O<sub>3</sub>! O<sub>4</sub>!O<sub>5</sub>!O<sub>6</sub>!O<sub>7</sub>! O<sub>8</sub>!O<sub>9</sub>!O<sub>10</sub>!O<sub>11</sub>! P<sub>1</sub>!P<sub>2</sub>!P<sub>3</sub>!P<sub>4</sub>!P<sub>5</sub>!P<sub>6</sub>!P<sub>7</sub> următoarea etapă a metodei este centralizarea pe locuri de muncă și nivelul operațiilor a numărului de operații cu același simbol, conform tabelului 6.1.

Tabelul 6.1

Produsul	Nivelul operației (locurilor de muncă)											Obs.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
P <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>4</sub>	O <sub>5</sub>	O <sub>6</sub>	O <sub>7</sub>	O <sub>8</sub>	O <sub>9</sub>	O <sub>10</sub>	O <sub>11</sub>	
P <sub>2</sub>	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>4</sub>	O <sub>5</sub>	O <sub>6</sub>	O <sub>7</sub>	O <sub>8</sub>	O <sub>9</sub>	O <sub>10</sub>	O <sub>11</sub>	
P <sub>3</sub>	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>4</sub>	O <sub>7</sub>	O <sub>8</sub>	O <sub>11</sub>	-	-	-	-	
P <sub>4</sub>	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>4</sub>	O <sub>7</sub>	O <sub>8</sub>	O <sub>11</sub>	-	-	-	-	
P <sub>5</sub>	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>4</sub>	O <sub>7</sub>	O <sub>8</sub>	O <sub>11</sub>	-	-	-	-	
P <sub>6</sub>	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>4</sub>	O <sub>7</sub>	O <sub>8</sub>	O <sub>11</sub>	-	-	-	-	
P <sub>7</sub>	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	O <sub>4</sub>	O <sub>7</sub>	O <sub>8</sub>	O <sub>11</sub>	-	-	-	-	

Avându-se în vedere nivelul operațiilor la amplasarea locurilor de muncă s-a ținut cont și de o grupare a reparațiilor, a

subansamblelor funcție de complexitatea itinerarului lor tehnologic astfel:

- Grupa I - piese și subansamble care trec prin toate locurile de muncă;
- Grupa II- piese și subansamble care nu trec prin  $O_{10}$  și  $O_{11}$ ;
- Grupa III- piese și subansamble care nu trec prin  $O_5, O_6, O_{10}$  și  $O_{11}$ ;
- Grupa IV - piese și subansamble care trec doar prin  $O_1, O_2, O_3$  și  $O_4$ .

Pe baza structurii de producție, a nomenclatorului de piese și subansamble precum și a planului anual de turbine și microturbine, s-a stabilit ponderea în fabricație a grupelor fixate conform tabelului 6.2

Tabelul 6.2

Nr. crt.	Tip turbină	UL	Grupa				Obs
			I	II	III	IV	
1.	Turbină K.V.B - 8,3 MW	buc.	8	43	14	30	
2.	Turbină K.V.B - 6 MW	buc.	6	36	10	26	
3.	Microturbină E.O.S-1100	buc.	1	11	2	2	
4.	Microturbină E.O.S-700	buc.	1	9	2	2	
5.	Microturbină FO-90/570	buc.	1	36	6	2	
6.	Microturbină FO-90/390	buc.	1	18	6	2	
7.	Microturbină FO-125/640	buc.	1	18	6	2	

Din tabel rezultă că ponderea pieselor și subansamblelor se regăsește în grupa a II-a, grupă din care, pentru stabilirea deficiențelor de organizare se alege un reper reprezentativ.

Ca reper reprezentativ pentru subansamblele sudite ale turbinelor și microturbinelor hidraulice, va fi ales "paleta aparat director de la turbina K.V.B.- 6,3 MW", pentru care funcție de amplasarea locurilor de muncă existentă, conform fig.6.3, se stabilește graficul desfășurării detaliate a procesului de producție - figura 6.2.

Graficul desfășurării detaliate pentru elementul reprezentativ stabilit cuprinde 67 operații, din care spre exemplificare în fig.6.2 sînt prezentate 15, urmărindu-se obținerea distanțelor de transport și ponderea operațiilor auxiliare de manipulare și așteptare.

GRAFICUL DESFAȘURĂRII DETALIATE A PROCESULUI DE PRODUCȚIE												
DENUMIREA PROCESULUI Fabricație turbine KVB 615 UM buc 1												
LOCUL Linia ELEMENTUL URMĂRIT: PALETĂ APARAT DIRECTOR												
STUDIUL NR				METODA EXISTENTĂ								
Nr crt	DESCRIERE	Cantitatea	Distanța (m)	Timp(h)		Simbol				Nr. executanți	Observații	
				De ment. la stadiu	Qe muncă	O	□	○	→			↓
1	Debitare pregătire reperi				30,30							
2	Transport reperi pentru asamblare		60									
3	Asamblare (corp paletă)				1,25							
4	Însăilare				1,10							
5	Transport la sudare		20									
6	Așteptare la sudare											
7	Sudare electrică manuală				4,60							
8	Transport la lăcătușerie		20									
9	Ajustare cordoane				3,25							
10	Îndreptare poziții deformat				1,75							
63	Așteptare pentru acoperiri de protecție											
64	Acoperiri cu grund vînîk											
65	Control acoperiri de protecție											
66	Așteptare pentru transport la montaj											
67	Transport la montaj		80									
TOTAL		Metoda	existentă	1570	115,45	26	9	13	10			
			îmbunătățita									
			diferență									
										Intocmit	Data	

fig. 6.2



Din aceste grafice se desprind deficiențele existente în amplasarea locurilor de muncă din fabricația structurilor sudate pentru turbine și microturbine hidraulice, deficiențe care înălbinate conduc la o variantă de amplasare optimă.

### 6.1.2. Analiza nivelului de tehnicoizare al locurilor de muncă.

Mentținerea unei forme de organizare necorespunzătoare tipului de producție, conduse în mod inevitabil la apariția de locuri de muncă înguste la discontinuități în fluxul tehnologic, la desincronizări frecvente ale fabricației față de tactul general stabilit, neadaptarea permanentă a nivelului de tehnicoizare al dotărilor din procesul de fabricație la un nivel mediu mondial, influențează negativ competitivitatea produselor.

Pentru stabilirea nivelului de tehnicoizare în situația existentă se folosește "Scara treptelor de tehnicoizare" elaborată de "Stanford research institute" din S.U.A., tabelul 6.3, scara construită în ideea corelației strinse dintre nivelul de tehnicoizare al dotărilor proceselor de fabricație, productivitatea muncii, calitatea muncii și viteza de realizare a produselor.

Conform acestei scări, pe primele trei trepte stau sistemele acționate de om, până la treapta a șasea situându-se mașinile automate și programabile monooperații urmând ea de la treapta a șaptea să înceapă celulele flexibile și mașinile autoparționabile.

În cele ce urmează se vor stabili nivelele de tehnicoizare pentru fiecare loc de muncă din fluxul de fabricație existent conform scării mai sus amintite.

La determinarea nivelelor de tehnicoizare s-au luat în calcul pandarea fazelor, operațiilor sau locurilor de muncă și dotările existente pentru procesul de fabricație amintit.

Astfel în tabelul 6.4 a fost exemplificată determinarea nivelului de tehnicoizare pentru locul de muncă la debitare - pregătire repere folosindu-se relația de calcul:

$$G_{T_1} = 2,7 \cdot \frac{5}{100} + 2 \cdot \frac{10}{100} + 3,25 \cdot \frac{52}{100} + \dots + 2 \cdot \frac{2}{100} = 2,88 \quad (6.3)$$

În care valorile au fost luate din coloanele 3 și 4 respectiv 6 și 7.

În mod analog se determină nivelele de tehnicoizare și pen-

Tabelul 6.3

Sursa de informații	Energie	Descriere	Treaptă
Mediu exterior		Mașină care se adaptează	10
		Mașină care își adaptează programul (adoaptă programe diferite în funcție de împrejurări).	9
	Mecanică	Mașină care își adaptează programul în funcție de condițiile de lucru (M.U. cu comandă adaptivă).	8
	Program variabil	Electrică	Mașină universală programabilă (sistem sau centru de prelucrare cu C.N., robot industrial de nivel II).
Hidraulică		Mașină monooperație programabilă (M.U. cu H.C., robot industrial de nivel I).	6
Program fix	Pneumatică	Mașină automată pentru operații multiple (strung automat, automat de montaj, flexibil, manipulator).	5
		Mașină automată monooperații (automat de montaj rigid, automat de sudură, linie de transfer).	4
	Om	Sculă mecanizată sau mașină comandă manuală.	3
	Manuală	Sculă de rășină	2
		Manual	1

tru celelalte locuri de muncă conf. tabelului 6.4.

Pe baza datelor din tabelul 6.5 s-a calculat nivelul de tehnocratizare pentru fluxul de fabricație al structurilor sudate din echipamentele hidroenergetice, folosind relația:

$$G_T = 2,38 \cdot \frac{12,58}{100} + 2,20 \cdot \frac{10,69}{100} + \dots + 2,00 \cdot \frac{9,80}{100} = 2,87 \quad (6.4)$$

Taboulul 6.4

Mr. Loc de ort. mună	Operație tehnologică	Fon- dere tehni- cizare	Fon- Trecută	Descrierea dotării pentru realiz. operației	Fon- Trecută	dece tehnologice
L.1	Indreptare laminat	5%	2,7	L.1.1 - manual L.1.2 - la presă și laminor	30%	2
L.2	Tresare	10%	2	L.2.1 - manual L.2.2 - după robinet	70% 20%	3 2
L.3	Tăiere axi-gaz	52%	3,25	L.3.1 - manual L.3.2 - mașini de tă- iat după ga - blon și tra - sare	15% 45%	2 3
L.4	Tăiere mecanică	14%	3	L.4.1 - mașini cuie - pate de tăiat L.4.2 - de tăiere și perfora	40% 15%	4 3
L.5	Debitare	8%	2	L.5.1 - manual	100%	2
L.6	Indreptare	6%	2,9	L.6.1 - manual L.6.2 - la presă și laminor	10% 90%	2 3
L.7	Mecanizaj	3%	2	L.7.1 - manual	100%	2
L.8	Control calitate	2%	2	L.8.1 - manual	100%	2

L. Debitare  
procutire

Analizând scara de tehnizare prezentată în tabelul 6.3 se observă că nivelul de tehniz-  
cizare calculat în relația 6.3, pentru acest loc de muncă, doar de 2,88 este la limita de trecere  
spre o mecanizare medie a procesului de fabricație.

Taboulul 6.5

Nr. crt.	Loc de muncă	Gradul de tehnici-zare loc de muncă	Pondere manoperă loc muncă în total manopera	Grad de tehnici-zare flux tehnologic
1.	Debitare pregătire	2,88	12,58	2,87
2.	Lăcătușerie asamblare	2,20	10,69	2,87
3.	Sudură și încălzire electrică	2,93	19,39	2,87
4.	Control calitate	2,0	3,96	2,87
5.	Tratament termic	3,0	11,15	2,87
6.	Sablare crunduire	3,0	1,30	2,87
7.	Trosare pentru prelucrări	2,0	1,92	2,87
8.	Prelucrări mecanice	2,8	15,67	2,87
9.	Ajustare și control calitate	2,0	12,51	2,87
10.	Acoperiri de protecție	1,57	9,29	2,87
11.	Montaj turbină	2,0	9,88	2,87

### 6.2. Aspecte critice ale modului actual de organizare

Situația actuală - dotarea tehnică și fluxul tehnologic pentru structurile sudate de la echipamentele hidroenergetice a fost redată analitic și schematic în prima parte a acestui capitol.

Deficiențele pe care le prezintă situația actuală se evidențiază utilizând mai mulți indicatori, definiții pentru calitatea organizării tehnologice, structura pe operații, durata ciclului de fabricație, productivitatea muncii și nivelul de tehnici-zare din dotare.

Detalierea indicatorilor prezentați mai sus pe baza analizei situației actuale, se prezintă în cele ce urmează.

a) Procesul de fabricație este divizat pe 39 de operații executate la 11 locuri de muncă. În această situație trecerea pieselor de la un loc de muncă la altul se face preponderant pe loturi (circulație succesivă), sistemul tehnologic caracterizându-se prin:

- durata mare a ciclului de fabricație de 106 zile, conf. relației 6.5.

$$D_{C_{ps}} = \sum_{i=1}^n (t_{i0} - t_{i1}) + (n_p - 1) \times [\sum (t_{10} - t_{11}) - (t_{S_0} - t_{S_1})] \quad (6.5)$$

în care:

$D_{C_{ps}}$  = durata ciclului de fabricație;

$t_{i0}, t_{i1}$  = manopere în varianta actuală și propusă;

$t_{10}, t_{11}$  = timpii tehnologici lungi în cele două variante;

$t_{S_0}, t_{S_1}$  = timpii tehnologici scurți în cele două variante

$n_p$  = numărul nodurilor al subansamblurilor din lot;

$$D_{C_{ps}} = (145,45 - 0) + (78 - 1) \times (10,90 - 0) = 2540 \text{ ore} \quad (6.6)$$

$$D_{C_{ps}} = 2540 : 24 = 106,01 \text{ zile} \quad (6.7)$$

$$D_{C_{ps}} = 106 \text{ zile} \quad (6.8)$$

- stocuri interoperații mari care conduc la spații și timp de așteptare supradimensionați pînă la 12% din total spații de producție, respectiv 14,1% din timpul total de execuție.

b) Lipsa de liniaritate a fluxului de fabricație, operațiile executîndu-se la locuri de muncă amplasate la distanțe mari și fără respectarea strictă a ordinii tehnologice. Această deficiență de ordin organizatoric explică ponderea mare a operațiilor de transport și manipulare (fig. 6.2), precum și a distanțelor mari de transport - în medie 1572 m pentru fiecare subansamblu (fig. 6.3).

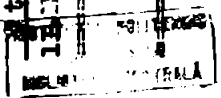
c) Dotarea tehnologică la un nivel de tehniciizare doar de 2,07 influențează negativ nu numai productivitatea muncii ci și volumul activităților de pregătire-închirare și control.

d) Productivitatea muncii diferită de la un loc de muncă la altul conduce la supradimensionări și gîrjugări ale activităților pe fluxul de fabricație. Din tabelul 6.6, rezultă că există locuri de muncă unde dotarea cu forță de muncă s-a făcut pe bază de narative de personal, fără să se asigure o în-căierare corectă. Causa principală a acestor efecte negative o reprezintă modul rigid de organizare a locurilor de muncă pe fluxul tehnologic.

Aspectele critice prezentate analitic mai sus se observă schematic în figura 6.3, unde pentru fiecare loc de muncă sînt notate nivelurile de tehniciizare, iar referitor la fluxul tehnologic s-a scos în evidență lipsa de liniaritate și distanțele mari de transport.

Tabellul 6.6.

Nr. crt.	Loc de muncă	Deser-vire (Nr. oameni)	Consum manoperă (ore-om/buc)	Me-cesar mediu (buc/or)	Consum total manoperă (ore-om/an)	Productivitatea muncii (buc/om-an)	Pondere manoperă în total manoperă
1.	Debitoare-pescărie	3	20,30	240	4872	8,0	12,58
2.	Licituperie-osem-blore	2	17,25	240	4140	12,0	10,69
3.	Sudură și încălzire electrică	4	31,30	240	7512	6,0	19,29
4.	Control calitate	1	6,40	240	1536	24,0	3,96
5.	Tratament termic	2	18,0	240	4320	12,0	11,15
6.	Sobloze crudăire	1	2,10	240	504	24,0	1,39
7.	Trosore pentru pregătirea	1	3,10	240	744	24,0	1,92
8.	Protegeri mecanice	3	25,30	240	6072	8,0	15,67
9.	Ajustare și control calitate	2	20,20	240	4848	12,0	12,51
10.	Acoperiri de protecie	1	1,50	240	360	24,0	9,29
11.	Montaj turbină	2	15,95	240	3020	24,0	9,38
TOTAL:		22	161,40	240	38.736	10,9	100%



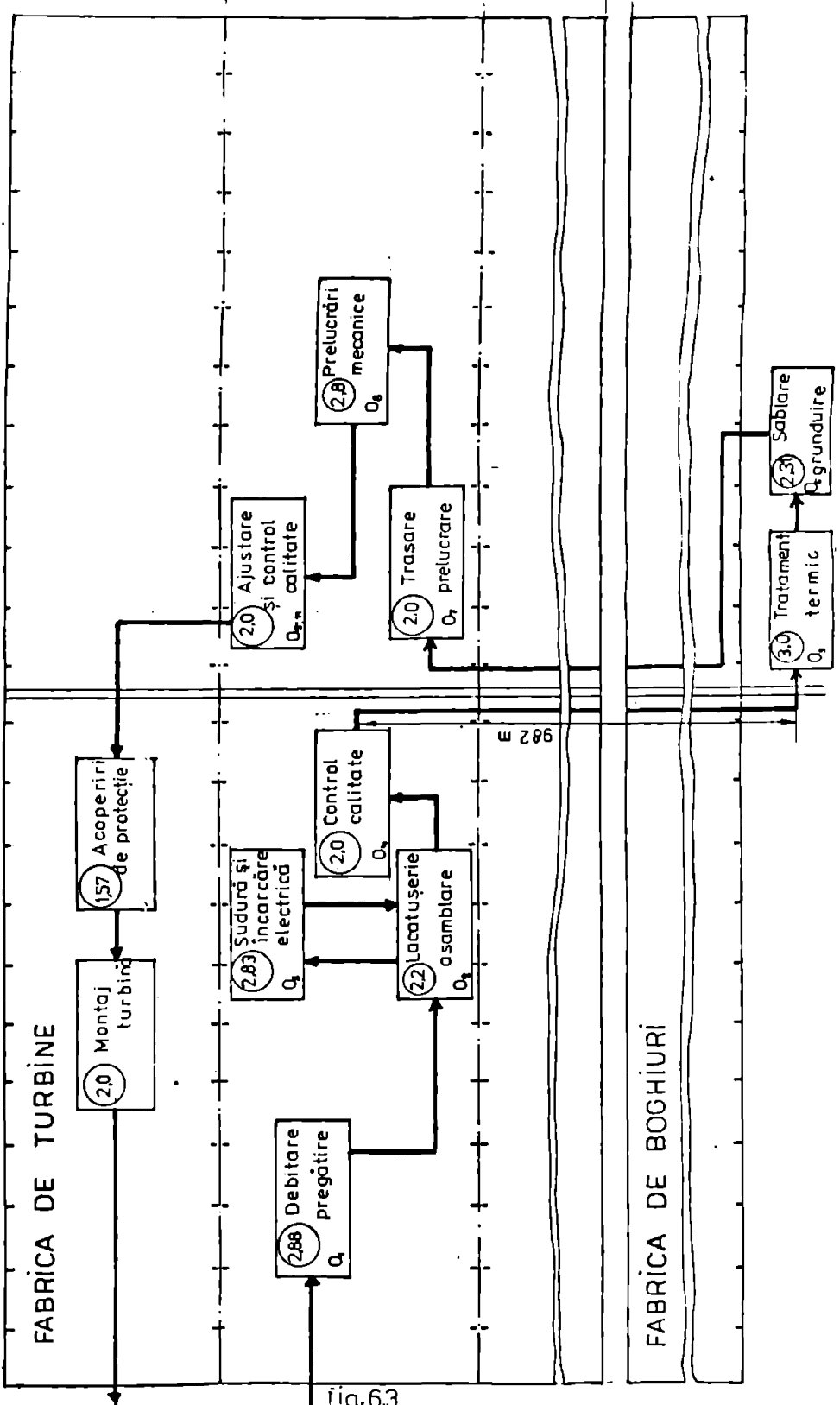


Fig. 6.3

### 6.3. Soluții propuse pentru modernizarea organizației fabricației.

Modernizarea situației actuale, prin diminuarea sau chiar eliminarea deficiențelor constatate la punctul anterior, se face prin introducerea noilor metode de reorganizare și ridicarea pe trepte superioare de tehnalizare, a întregului flux de fabricație al structurilor sudate luate în studiu.

#### 6.3.1 Reorganizarea fluxului tehnologic

Lipsa de liniaritate și distanțele mari de transport pot fi diminuate printr-o reamplasare a locurilor de muncă, acțiune care se poate face în paralel cu procesul de fabricație, fără cunoaștere negativă asupra ritmicității producției și cu investiții mici.

Din figura 6.3 reiese că locurile de muncă de la tratamente termice și sablare-grunduire sînt amplasate la distanțe mari și în afara liniei fluxului de fabricație. Reamplasarea lor cît mai aproape posibil de celelalte locuri de muncă reduce substanțial distanțele medii de transport pentru structurile sudate din fabricația de turbine și microturbine hidraulice de la 1572 m la 632 m (Conform figurii 6.3 și 6.9).

Eliminarea totală, prin racordarea tehnologiilor, a operațiilor de rodurare a subansamblilor de la producerea mecanică pentru eventuale completări la lăcătușerie și sudură înainte de a fi trimise la montaj, contribuie substanțial la stabilirea distanțelor maxime de transport la 632m.

Reprezentarea grafică a noului flux tehnologic de fabricație este redată în fig. 6.9, împreună cu nivelele de tehnalizare noi propuse pentru fiecare loc de muncă.

#### 6.3.2 Ridicarea nivelului de tehnalizare al locurilor de muncă.

Ridicarea nivelului de tehnalizare al locurilor de muncă recunoscută în literatura de specializare ca principala cale de creștere rapidă a indicatorilor economiei pentru fabricația produselor industriale, spre deosebire de prima variantă (reamplasarea locurilor de muncă), necesită investiții mari sau chiar foarte mari în funcție de nivelul de tehnalizare necesar să fie obținut.

De aceea în cele ce urmează se vor face propuneri de do-



tări pentru ridicarea nivelului de tehnicoizare, în prima etapă pentru locurile de muncă cu pondere mare în manopera totală a fabricației acestor structuri sudate, urmând ca într-o etapă următoare să se treacă la creșterea nivelului de tehnicoizare și în celelalte locuri de muncă, mai ales că în perioada imediat următoare pentru aceste produse se va putea prognoza un program de fabricație pentru cel puțin 10 ani. Prognozele realizate au în vedere cererile existente și de perspectivă pentru export a țării în curs de dezvoltare cu un potențial hidroenergetic ridicat.

#### 6.3.2.1 Ridicarea nivelului de tehnicoizare la operațiile de debitare-presărire.

- Dotarea mașinilor de tăiere oxigaz clasice din dotare cu arzătoare langoscoave prevăzute cu două orificii înclinate în direcții opuse tăierii pentru realizarea rosturilor V,X,U , elimină operațiile de prelucrări mecanice. În felul acesta se reduce o operație tehnologică împreună cu operațiile ei aferente de transport și așteptare, reducându-se în final ciclul de fabricație.

- Extinderea adaptării mașinilor clasice la sursele de tăiere cu plasmă în vederea debitării oțelurilor inoxidabile din componența structurilor sudate. În felul acesta se elimină consumul mare de manoperă și scule din varianta de prelucrări mecanice ale acestora la formele finite, nivelul de tehnicoizare al locului de muncă ridicându-se la 3,5.

- Trecerea la mașini de tăiere comandate și asistate de calculatoare electronice cu alte cuvinte la robotizarea operațiilor de debitare, rezolvă o creștere de productivitate și calitate ale acestor structuri sudate la nivelul de tehnicoizare apropiat de cele mai ridicate nivele mondiale - 5 și chiar 6.

#### 6.3.2.2. Ridicarea nivelului de tehnicoizare la operațiile de lăcătușerie- asamblare.

Printre activitățile cel mai puțin cercetate în vederea ridicării nivelului de tehnicoizare se numără și activitatea de lăcătușerie-asamblare, activitate preponderent manuală cu nivel scăzut de tehnicoizare (2,2 în cazul produselor prezentate ).

- Mecanizarea și automatizarea dispozitivelor și maselor de asamblare prin acționarea pneumatică, hidraulică și magnetică a acestora, precum și cu aparate de citire mecanică a este-

ler, ridică nivelul de tehnicizare al locului de muncă la minim 3.

- Manipulatearele sincronizate utilizate în operațiile de asamblare și prevăzute cu dispozitive de corectare a erorilor de poziționare grosiere și fine ridică nivelul de tehnicizare la 4.

- Urmărirea și comandarea acestor manipuletoare sincronizate cu ajutorul calculatoarelor poate urca nivelul de tehnicizare al locului de muncă la minim 5.

Un astfel de manipulator sincron comandat prin calculator este reprezentat schematic în figura 6.4.

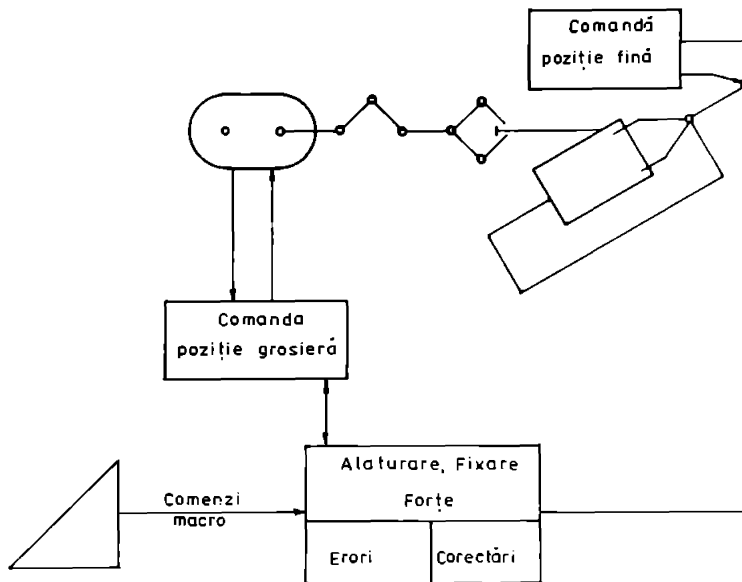


Fig. 6.4

### 6.3.2.3 Ridicarea nivelului de tehnicizare la operațiile de sudură și încălzire.

Dotarea tehnică pentru operațiile de sudură cu convertizoarele și transformatoarele clasice, limitează nivelul de tehnicizare al locului de muncă la treapta 3, în cazul I.C.H. Caransebeș la 2,83.

Introducerea instalațiilor de sudură în gaz protector, atât MIG cât și MAG, elimină o parte din operațiile manuale (schimbare electrod, batere șură, reglare aparat, etc.) ridicând în același timp nivelul de tehnicizare la 3,8.

- Eliminarea operațiilor de încălzire prin sudare cu oțeluri inoxidabile a suprafețelor ce vin în contact cu agenții corozivi și introducerea instalațiilor automate de metalizare uree nivelul de tehnicizare la treapta 4.

- Introducerea roboților industriali atât pentru operațiile de sudare cât și pentru cele de metalizare ridică nivelul de tehnicizare la treapta 5 putînd ajunge la 6. Utilizarea roboților industriali în operațiile de sudare cu arc în mediu protector impune ca sursa de sudare să fie amplasată într-o încăpere separată.

Schematic sudarea în mediu de gaze protectoare cu ajutorul roboților este prezentată în figura 6.5.

În mod analog și pentru operațiile de metalizare condițiile de lucru fiind grele (asemănătoare celor de la sudură și vopsire) se justifică automatizarea operațiilor prin introducerea roboților industriali, schematic acestea arătînd la fel ca în figura 6.5.

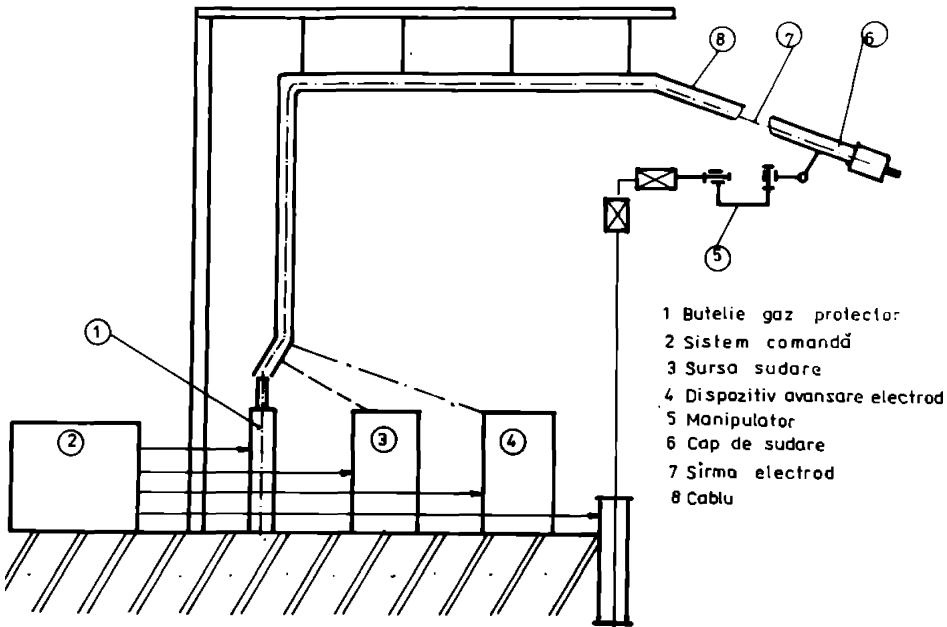


Fig. 6.5

**6.3.2.4. Ridicarea nivelului de tehnicizare la operațiile de prelucrări mecanice.**

Deservirea mașinilor și utilajelor cu scule, piese sau semifabricate este una din cele mai răspândite operații executate manual în industria constructoare de mașini uneori aceste operații executându-se în condiții destul de grele necesitând timp și eforturi mari din partea executanților.

- Generalizarea mecanizării operațiilor de prindere desprindere a pieselor în și din mașinile unelte prin folosirea universalelor și menghinelor cu strângere pneumatică și hidraulică sau a cotelor cu fixare magnetică, reduce cu peste 75 % timpul necesar acestor operații executate în prezent aproape în totalitate manual.

- Introducerea manipuletoarelor de servire a mașinilor unelte cu scule, dispozitive și semifabricate ridică nivelul de tehnocratizare al locului de muncă la minim 3, eliminându-se în întregime munca manuală de alimentare a locului de muncă.

- Combinarea mașinilor automate de prelucrare cu manipuletoare de servire a locului de muncă, reușește să ridice nivelul de tehnocratizare la minim 4.

În figura 6.6 se arată schema servirii unui strung automat cu manipulator propriu.

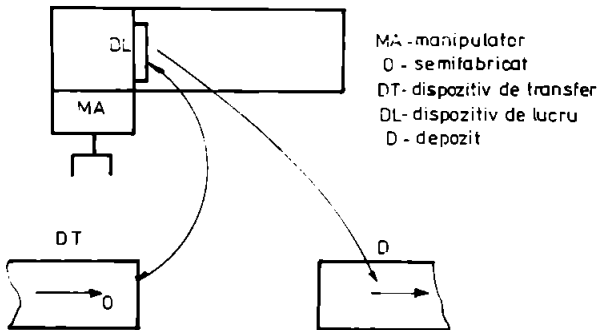


Fig. 6.6

- Coordonarea și urmărirea prin calculator atât a mașinii unelte automate cât și a manipulatorului de servire, activitate în care omul urmează să facă programarea și supravegherea așezării celulei de prelucrare mecanică, ridică

nivelul de tehnocratizare la peste 5, competitiv cu nivelele mondiale de vîrf.

### 6.3.2.5 Ridicarea nivelului de tehnocratizare la operațiile de ajustare și control tehnic de calitate.

Suprafețele pieselor după debitare, sudură sau prelucrare mecanică prezintă bavuri, denivelări și improprietăți de metal topit și apoi solidificat. Îndepărtarea manuală a acestora necesită o muncă grea, executată manual cu perii de sîrmă, discuri abrazive, pile, etc. care necesită un volum mare de muncă.

- Cele de mai sus argumentează mecanizarea și automatizarea operațiilor de ajustare prin introducerea de dispozitive cu cap de forță cu motor electric sau pneumatic, reductor și sculă rotitoare. Montarea unui astfel de cap pe un braț oscilant și un dispozitiv hidraulic sau cu arc asigură apăsarea sculei asupra lovirii, ca în figura 6.7, reduce considerabil efortul fizic uman depus, concomitent cu ridicarea nivelului de tehnizare la cel puțin 2,5.

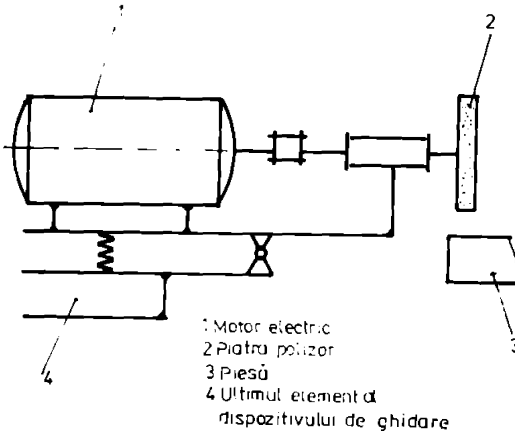


Fig. 6.7

- Introducerea mijloacelor de măsurare mecanice caracterizate prin forțe de frecare uscate, viscoase și modul constant, deși lente, ridică nivelul de tehnizare al operațiilor de control în prima fază aproape de treapta 3.

- Utilizarea centrelor de măsurare dotate cu un terminal grafic care prelucrează datele primite de la capul de măsurare și un dispozitiv pentru sortarea pieselor, ridică nivelul de tehnizare la minim 4.

- Folosirea roboților industriali atât în operațiile de ajustare cât și în cele de control de calitate, prin trecerea la coordonarea și urmărirea acestor activități pe calculator, ridică nivelul de tehnizare al locului de muncă la peste 5.

### 6.3.2.6. Ridicarea nivelului de tehnizare la operațiile de acoperiri de protecție.

Acoperirile de protecție (împreună cu curățirea suprafețe-

lor), reprezintă operația cu cea mai mare pondere în finisarea produselor în toate ramurile industriale și în mod deosebit în industria constructoare de mașini, ea fiindu-se cu pondere manuală. Munca vopsitorilor este deficilă, din cauza mișcărilor de mare amplitudine și pozițiilor incomode pe care aceștia trebuie să le execute, la care se mai adaugă atmosfera nocivă de lucru.

- Preîncălzirea cu apă caldă a vopselelor din rezervoarele pistoalelor de vopsit conduce la o pulverizare mai fină și omogenă a stratului de vopsen într-un timp mai scurt.

- Introducerea manipuletoarelor de vopsire rezolvă scutirea omului de atmosferele nocive și de efortul fizic al acestuia, concomitent cu ridicarea nivelului de tehnicizare apropiat de 2,5. Schema cinematică a dispozitivului de ghidare al unui manipulator reciprocator de vopsire arată ca în fig.6.8

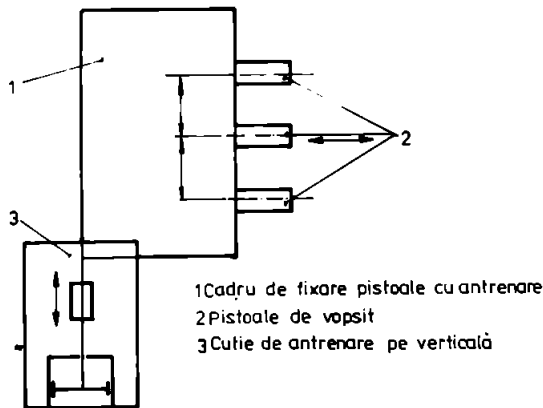


Fig.6.8

muncă cu pondere mai mică în manoperele totale a structurilor susdate luate în studiu, se pot stabili nivele de tehnicizare pe cele două etape de modernizare ale fluxului tehnologic.

Recalculând nivelele de tehnicizare pe operații și locuri de muncă pe baza soluțiilor propuse și generalizarea lor și la celelalte locuri de muncă se obține un nivel mediu de tehnicizare al procesului de fabricație de 4,1, pentru varianta mecanizării și automatizării operațiilor, respectiv de 5,2 pentru varianta robotizării principalelor operații și locuri de muncă.

În figura 6.9 este prezentat pe lângă noile nivele de teh-

- Sistemul de manipuloare, pistolele de vopsit și calculator pentru coordonarea și urmărirea operației tehnologice poate ridica nivelul de tehnicizare al locului de muncă la peste 4.

În mod analog și pentru celelalte locuri de



nicizare ale locurilor de muncă și noul flux tehnologic.

Acest lucru s-a făcut în ideea ca din comparația celor două situații-actuale și propuse- prezentate grafic în figurile 6.3 și 6.9 să rezulte saltul posibil de realizat în creșterea productivității muncii, reducerii ciclului de fabricație și a cheltuielilor auxiliare.

Sintetizând cele prezentate în acest capitol, sub aspectul efectelor economice, se desprind următoarele concluzii:

- Analiza organizării actuale a fabricației structurilor sudate, la I.C.M. Caransebeș a scos în evidență o serie de deficiențe atât de natură organizatorică cât și de natura nivelului de tehnicoizare a fluxului tehnologic.

Lipsa de liniaritate precum și fragmentarea pe 39 operații tehnologice a fluxului, cauzează distanțe mari de transport (1572 m) și durata mare a ciclului de fabricație (106 zile).

Nivelul de tehnicoizare de 2,85 este necorespunzător celor dintâi actuale și mai ales de viitor, privind productivitatea muncii și calitatea produselor.

Modul rigid de organizare conduce la stocuri mari pe fluxul de fabricație și o utilizare necorespunzătoare a suprafețelor de producție ( 86,4 %) ca urmare a numeroaselor spații de așteptare interoperații.

- Soluțiile propuse pentru îmbunătățirea reorganizării fabricației urmăresc diminuarea sau chiar eliminarea deficiențelor constatate.

Reamplasarea locurilor de muncă cât mai aproape posibil de linia fluxului tehnologic reduce distanțele de transport în medie cu 950 m.

Ridicarea nivelului de tehnicoizare se propune să fie realizată progresiv, începându-se cu mecanizarea și automatizarea operațiilor, continuându-se cu robotizarea principalelor locuri de muncă.

Mecanizarea și automatizarea locurilor de muncă prin modernizarea mașinilor și utilajelor existente precum și prin introducerea de mașini, utilaje și instalații noi cu autoreglare sau automate, propuneri prezentate detaliat la punctul 6.3.1, ridică nivelul de tehnicoizare al fabricației de la 2,87 la 4,1.

Introducerea roboților industriali în operațiile de debitare, lăcătușerie, sudură, prelucrări mecanice, cooperări de protecție și controlul calității, ridică nivelul de tehnicoizare al fabricației la 5,2.



Evoluția nivelelor de tehnicoizare ale principalelor locuri de muncă pentru cele două variante propuse față de situația actuală se prezintă în tabelul 6.7.

Tabelul 6.7

Nr. crt.	Loc de muncă	Nivel de tehnicoizare		
		Actual	După mecanizare și automatizare	După robotizare
1.	Debitare-dreștire	2,88	4,8	5,6
2.	Lăcătușerie- asamblare	2,2	3,8	4,7
3.	Sudură încălzire	2,83	4,4	5,5
4.	Control calitate	2,0	4,3	5,5
5.	Producări mecanice	2,80	4,4	5,5
6.	Acoperiri protecție	1,57	4,3	5,5
	Flux fabricație	2,87	4,1	5,2

- Efectele economice prevăzute a se obține pe baza propunerilor făcute se stabilesc cu ajutorul curbelor exponențiale de creștere a productivității muncii și reducere a ciclului de fabricație în paralel cu cea de creștere a cheltuielilor cu investițiile fig. 6.10.

Construirea curbelor amintite se face pe baza valorilor estimate din cuantificarea eforturilor și efectelor economice necesare realizării soluțiilor propuse.

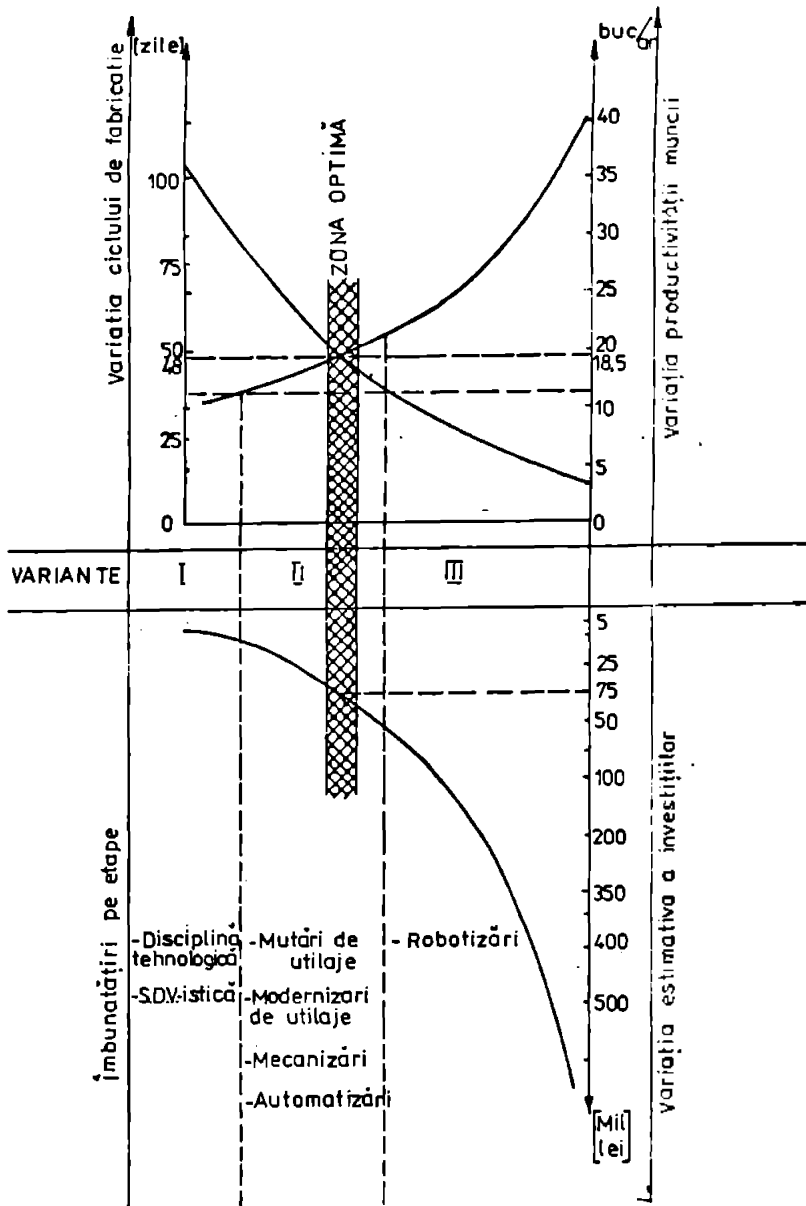
Pentru justificarea valorilor estimate în graficul din fig. 6.10 se prezintă spre exemplificare modelul de calcul folosit pentru determinarea noii perioade a ciclului de fabricație.

Reducerea distanțelor de transport în medie cu 940 m pentru fiecare subansamblu sudat, respectiv a operațiilor auxiliare de transport și așteptare de la 31 la 17 micșorează timpul tehnologicii lungi și scurți din relația(6.5) de la 18,9 la 4,32.

Prin ridicarea nivelului de tehnicoizare, în prima variantă, de la 2,87 la 4,1 se reduce timpul efectiv total pe subansamblu de la 145,45 la 107,20 ore.

Înlocuindu-se valorile stabilite mai sus în relația(6.5) rezultă:

$$D_{CS} = (145,45 \cdot 107,20) + (78 - 1) \cdot (18,90 - 4,32) \quad (6.7)$$



ZONA OPTIMĂ    CICLUL DE FABRICAȚIE    = 48 zile  
 PRODUCTIVITATEA MUNCII = 18,5 buc/oră  
 ÎNVESTIȚIA NECESARĂ = 75 mil lei  
 PERIOADA DE AMORTIZARE = 25 ani

fig 6.10

$D_{CS} = 1150 \text{ ore} = 1150 : 24 = 48 \text{ zile}$

$D_{CS} = 48 \text{ zile.}$

Analizând evoluția curbelor din figura(6,10) se trag următoarele concluzii finale:

- introducerea mecanismelor și automatizărilor la un volum al investițiilor de 75 milioane lei dă rezultate corespunzătoare, obținându-se dublarea productivității muncii respectiv reducerea cu peste 50% (de la 106 la 48 zile) a ciclului de fabricație;

- concomitent cu dublarea productivității și reducerea la jumătate a ciclului de fabricație, se mărește indicele de calitate al structurilor sudate, crescându-le gradul de competitivitate pe piața mondială;

- creșteri și reduceri spectaculoase de productivitate respectiv ciclu de fabricație se obțin prin introducerea robotizării principalelor operații. Analizându-se însă volumul mare al investițiilor pentru robotizare, există riscul ca perioada de amortizare să depășească durata normală a unei investiții.

În final se poate concluziona că, pentru volumul actual al producției de structuri sudate din echipamentele hidroenergetice, optimă este varianta reamplasării, mecanizării și automatizării locurilor de muncă.

În continuare pe măsura creșterii volumului producției, creșteri reieșite din prognozarea pieței la țările în curs de dezvoltare cu un potențial hidroenergetic ridicat se va trece la robotizarea locurilor de muncă în ordinea ponderii acestora în manopera totală, urmărindu-se însă tot timpul păstrarea unui echilibru între investițiile necesare și efectele economice prevăzute.

## C A P I T O L U L 7

### CONSIDERAȚII FINALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

Teza de doctorat cuprinde rezultatele studiilor și cercetărilor desfășurate pe o perioadă de 9 ani în domeniul optimizării tehnologiilor de sudare ale structurilor din oțeluri similare și disimilare pentru echipamentele hidroenergetice. În lucrare o importanță deosebită s-a acordat elaborării tehnologiilor de sudare a oțelurilor aliate cu oțeluri slab aliate cu mangan, prin procedeul MAG, folosind straturi intermediare.

Din analiza celor prezentate în lucrare se desprind următoarele considerații finale și contribuții originale:

#### 7.1 Considerații finale

7.1.1 Structurile sudate pentru echipamentele hidroenergetice sînt supuse unor eforturi cauzate în principal de solicitările dinamice variabile, de cavitație, coroziune și eroziune datorate acțiunii fluidului energetic.

7.1.2 Materialele care răspund cel mai bine cerințelor, impuse de condițiile de exploatare atât din punct de vedere tehnic cît și economic, sînt oțelurile inoxidabile ferite-martensitice pentru contactul direct cu fluidul de lucru și cele slab aliate cu mangan și nealiate pentru elementele de rezistență și rigidizare.

7.1.3 Sudarea oțelurilor aliate cu oțeluri slab aliate cu mangan se pot realiza prin procedeul MAG folosind ca materiale de adăos sîrme cu structură perlitică, numai cu ajutorul unui strat intermediar din oțeluri Cr - Ni deșus pe suprafața rostului oțelului ferite-martensitic care să limiteze eterogenitățile chimice și structurale din ZIT-ul metalului de bază aliat.

7.1.4 Pentru toate cazurile studiate atât la sudarea oțelurilor similare cu structură ferite-martensitică cît și la a celor ferite-martensitice cu cele slab aliate cu mangan, aplicaerea tratamentului termic de revenire după sudare conduce la o di-

minuare a durității maxime obținute în ZIT, ca o consecință a trecerii spre echilibru a constituenților metastabili și deci a reducerii stării de tensiuni interne, concluzie reieșită și în urma simulării ciclurilor termice.

7.1.5 Stabilirea parametrilor tehnologici la sudarea oțelurilor studiate, are la bază rezultatele cercetărilor experimentale obținute pe probe simulate termic, prin care au fost fixate valorile optime ale energiei liniare, ale temperaturii de vîrf din zona de supraîncălzire a ZIT și a vitezei de răcire după sudare.

7.1.6 Metodele multicriteriale pentru optimizarea tehnologiilor de sudare admit folosirea unei game largi de indicatori atât de natură tehnică (reziliență, duritate) cît și de natură economică - de efort (consum energie electrică, consum material de sâmb, cost utilaje) și de efect (productivitate, durata de recuperare a investițiilor) - ce definesc procesul studiat, pînă la obținerea unui optim care să răspundă cerințelor tehnice impuse, la un preț de cost scăzut.

7.1.7 Optimizarea din punct de vedere tehnico-economic a variantelor tehnologice studiate pentru sudarea oțelurilor albe, folosind metoda "ELECTRE" indică următoarea ierarhizare:

a) pentru sudarea oțelurilor similare ferite-martensitice rezultatele cele mai bune se obțin prin procedeul MIG cu tratament termic după sudare urmat în ordine de sudarea manuală cu electrozi înveliți cu tratament termic postsudare, MIG fără tratament termic și manuală cu electrozi înveliți fără tratament termic postsudare;

b) pentru sudarea oțelurilor disimilare ferite-martensitice cu cele slab aliate cu mangan, rezultatele cele mai bune sînt date de procedeul MAG cu tratament termic postsudare, urmat în ordine de sudarea manuală cu electrozi înveliți și tratament termic după sudare, manuală cu electrozi înveliți și MAG, ambele fără tratament termic postsudare.

7.1.8 Modernizarea fabricației de structuri sudate pentru echipamente hidroenergetice se poate face prin reorganizarea locurilor de muncă pe fluxul tehnologic prin care se obține o reducere a deplasării reperelor și subansamblelor, cît și a ciclului de fabricație și prin ridicarea gradului de tehnologizare în strînsă corelare cu volumul investițiilor necesare și volumul producției actuale și în perspectivă.

## 7.2. Contribuții originale

### 7.2.1 În domeniul cercetării fundamentale

7.2.1.1 Contribuții la stabilirea tehnologiilor de sudare a oțelurilor disimilare ferito-martensitice cu oțeluri slab aliate cu mangan folosind procedeul MAG, cu ajutorul unui strat intermediar depus cu electrozi austenitici de tip 18/8 cu 6% Mn, care asigură îmbinări caracteristicii mecanice ce corespund nivelului impuse de standardele și normele specifice echipamentelor hidroenergetice, înlocuindu-se astfel folosirea materialelor de oțel din oțeluri aliate cu structură austenitică fiind materiale deficitare și preț de cost ridicat cu materiale de oțel perlitice.

7.2.1.2 Cercetarea fenomenului de difuzie și a lății - nii straturilor difuzionale în sudură și materialul adiacent, realizată în special pentru îmbinările cu strat intermediar, efectuată cu ajutorul sondei electronice. Scopul acestei cercetări a fost limitarea lății stratului afectat prin difuzia elementelor chimice la interfața dintre cele două materiale distincte.

7.2.1.3 Studiul privind interdependența indicatorilor de efect (productivitatea muncii, ciclul de fabricație) și a celor de efort (volumul investițiilor) realizat pentru fabricația de structuri sudate ale echipamentelor hidroenergetice din care a reieșit necesitatea parcurgerii a două etape distincte de modernizare în strânsă corelare cu volumul producției.

### 7.2.2 În domeniul cercetării aplicative

7.2.2.1 Organizarea întregului program experimental a fost concepută pe baza unei organigrame cuprinzând succesiv toate fazele parcurse pentru realizarea probelor, cât și încercările la care acestea au fost supuse.

7.2.2.2 Limitarea numărului de probe necesare pentru parcurgerea programului experimental, cu obținerea unui maxim de informații s-a realizat cu ajutorul simulării ciclurilor termice la sudare, prin care s-a urmărit reducerea consumurilor de materiale și energie necesare executării acestora.

7.2.2.3 Stabilirea unui domeniu optim de valori al energiei liniare, care se încadrează între 10400 și 15000 J/cm obținut în urma încercărilor pe probe simulate termic, pentru sudarea oțelurilor ferito-martensitice de tip 12Cr13.

7.2.2.4. Elaborarea unui program de calcul pentru stabilirea parametrilor ciclurilor termice (temperatura de vîrf, timpul de răcire între 300 și 500°C și viteza de răcire) cu ajutorul cărora s-au trasat curbele de variație la simulare, utilizîndu-se calculatorul electronic.

7.2.2.5 Utilizarea metodei multicriteriale (ELECTRE), pentru optimizarea tehnologiilor de sudare, care permite evaluarea acțiunii simultane atît a factorilor tehnici cît și economici ce definesc procesul de sudare și influența fiecăruia în parte.

7.2.2.6 Rezultatele optimizării obținute prin metoda ELECTRE au fost verificate cu ajutorul metodei multicriteriale "K" (calcul matricial) cu care obținîndu-se aceleași soluții s-a confirmat veridicitatea calculului de optimizare aplicat.

7.2.2.7 Efectuarea calculului și stabilirea variantei optime a tehnologiilor de sudare s-au realizat cu ajutorul calculatorului electronic folosind un program de calcul elaborat pe baza unei scheme logice proprii metodei de optimizare folosite.

7.2.2.8 Reorganizarea fluxului tehnologic pentru execuția structurilor sudate ale echipamentelor hidroenergetice, prin care s-a obținut o reducere a deplasării subansamblelor în procesul de fabricație de la 1572 m la 670 m și a ciclului de fabricație de la 106 la 48 zile.

7.2.2.9 Contribuții privind modernizarea fabricației de structuri sudate pentru echipamentele hidroenergetice prin mecanizarea și automatizarea acesteia - în prima etapă - obținîndu-se o creștere a gradului de tehnicoizare de la 2,87 la 4,1 și prin robotizarea principalelor operații - în a doua etapă - gradul de tehnicoizare ajungînd la 5,2. Se precizează că o creștere a gradului de tehnicoizare cu o unitate reprezintă dublarea productivității muncii.

B I B L I O G R A F I E

- Programul directivă de cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și introducerea progresului tehnic în perioada 1981-1990 și direcțiile principale până în anul 2000, Editura Politică, București, 1979.
- Ceaușescu Nicolae - Cuvîntare la Congresul științei și învățămîntului, Editura Politică, București, 1985.
- 1) Anton, I., - Turbine hidraulice, Editura Facla, Timișoara, 1979.
- 2) Anton, I., - Cavitația vol. II, Editura Academiei, 1985.
- 3) Artemiev, V. L., ș.a. - Coroziunea fisurată sub tensiune a îmbinărilor sudate din oțeluri slab aliate, Avtomatizatsknaia svarka nr. 9, 1985.
- 4) Adams, C. H. Jr. - Cooling rates and peak temperatures in fusion welding in: Welding journal, vol. 37, nr. 5, 1958, p. 210-a...215a.
- 5) Bagriananski, K. B. - Teoria svarecinih protezov, Izd. Narskovskovo Universitatea, Harkov, 1968.
- 6) Bahrah, L. P., ș.a. - Svarka construcției iz stalei OHL3, Svarecinne proizvodstvo, nr. 10, 1963.
- 7) Beckert, N., ș.a. - Programm zur einheitlichen Anwendung mathematischer Optimierungsmethoden in der Schweisstechnik, Schweisstechnik, 1969, nr. 7.
- 8) Bereznitky, S. N., ș.a. - Noi recomandări de tehnologie și materiale pentru sudarea în gaz protector a aparatului din industria petrochimică, Himicoekoe i neftiacoe magazinostroenie, nr. 10, 1984.
- 9) Berritte, G. S. - The microstructure and toughness of HSLA steel weld metals, Svetsaren ESAB, nr. 2, 1983.
- 10) Brewer, R. L., Miment - Techniques and standards for measuring ferrite in austenitic stainless steel welds, Welding J. Supplement Res, nr. 6/1976.
- 11) Castro, R., ș.a. - Metallurgie du soudage de aciers inoxydables et resistant au chaud, Dunod, Paris, 1968.
- 12) Cocirlă, T., Poșinog, G., - Metode și tehnici moderne folosite în conducerea și organizarea întreprinderilor, Editura Facla, Timișoara, 1983.



- 13) Cojocaru, G., Kovacs, F., - Roboții în acțiune, Probleme ale sintezei sistemelor de fabricație flexibilă, Editura Facultății, Timișoara, 1986.
- 14) Cubukov, A. A., ș.a. - Optimizaciija tehnicoeconomiceskix pokazatelej tokopodvedjascix naconocnikov oborydovanija dlja svar-ki v uglekisom gaze, Svarocinoe proizvodstvo, 1976 nr. 6.
- 15) Chega, I., ș.a. - Alegerea și utilizarea oțelurilor, Editura Tehnică, București, 1984.
- 16) Carry, B. H. - Modern welding technology, New Jersey, Prentice Hall, 1979.
- 17) Crișan, I., Dobre, M. - Automatizarea montajului în construcția de mașini, Editura Tehnică, București, 1979.
- 18) Detert, K., Bertram, W. - Werkstoffe und Korrosion, nr. 6, 1980
- 19) Lejeux, J. - Elementes fondamentals dumetallurgie pour sou- dage, Souder, revue pratique, nr. 5-6, 1985.
- 20) Delattre, F. - Le soudage des aciers inoxydables, Dunod, Paris, 1965.
- 21) Davidoviciu, A., Drăgănoiu, Gh., Moangă, A. - Modelarea, simularea și comanda manipuletoarelor și roboților industriali, Editura Tehnică, București, 1986.
- 22) Dieter, G. jr. - Metalurgie mecanică, Editura tehnică, București, 1970 (traducere din limba engleză).
- 23) Eckel, J. - Diffusion across dissimilar metal joints, Welding journal, vol. 43, nr. 4, 1964.
- 24) Erohin, A. A. - Kinetika metalurghiceskix procesov dugovoi svar-ki, Mașinostroenie, Moskva, 1964.
- 25) Erohin, A. A. - Legile de bază ale trecerii elementelor de a- liere de la electrozi în cusătură, sudura, nr. 4, 1957.
- 26) Etiststratov, P. I. - Svarka ciuguna a stălei, Mașinostroenie, Leningrad, 1982.
- 27) Farbaș, H., Găspăr, M., Iacob, M. - Stabilirea tehnologiilor de sudare a oțelului ferito-martensitic prin metoda simulării ciclurilor termice, Sesiune ISIII, Noiembrie 1988.
- 28) Fridberg, J., Hillert, M. - Acte metalurgice, Vol. 25, 1977, (p. 86).

- 29) Gagpar, M., Farbaș, N., Iacob, M. - Cercetări privind sudarea oțelului ferit-martensitic 12Cr13o cu oțel slab aliat cu mangan folosind strat intermediar, In curs de publicare, Revista „Construcții de Mașini”.
- 30) Gagpar, M., Farbaș, N. - Optimizarea tehnico economică a tehnologiilor de sudare a oțelurilor ferit-martensitice 12Cr13o. In curs de publicare, Revista „Construcții de Mașini”.
- 31) Gerbeux, H. - Dispositions recommandées d'assemblages soudés a l'arc pour construction d'appareils en acier plaque, Soudage et techniques connexes, nr. 9/10, 1969.
- 32) Gaurrieri, G.J. - Miller J - Trans. Amer. Soc. Metals, 42, 1950, 1981.
- 33) Gotalskii, Iu. N. - Svarka raznorodnih stali, Svarocinoe proizvodstvo, nr. 7, 1981.
- 34) Gotalskii, Iu. N. - Recondiționarea îmbinărilor sudate din oțeluri eterogene în cuptoare ale agregatelor de reforming la producerea amoniacului, Avtomaticeskna svarka, nr. 11, 1984.
- 35) Granjon, H., ș.a - Les bases metallurgiques du regime de travail au soudage, Soudage et technique connexes, nr. 7, 1984.
- 36) Gueveia, M. - Redefinirea diferitelor zone ale îmbinărilor sudate, Soldatura e construcoe metalica, nr. 3, 1984.
- 37) Hasanov, Z. M., ș.a. - Structuralinii modeli svarocinii proțess Electromekaničesknaia pramiglanosti- electrosvarka, nr. 2, 1984.
- 38) Hilbert, P., Gumb, Dun - Métans Corrosion Industrie, nr. 5, 1964.
- 39) Houldcroft, P.T. - Procèdes de soudage, Dunod Paris, 1968.
- 40) Krivniak, J. - Măsurarea și calculul durității maxime a zonei de sub sudură la îmbinările sudate ale oțelurilor de construcție, Svaranie, nr. 2, 1984.
- 41) Ispas, V., Pop, I., Docu, M. - Roboții industriali, Editura Dacia Cluj-Napoca, 1985.
- 42) Korhin, V.A., ș.a - Starea de tensiuni în îmbinarea sudată cu stratul alternante moi și dure, Svarocinoe proizvodstvo, nr. 3, 1984.

- 43) Kasatkin, O.G. - Dependenta rezistentei la rupere si rezistentei reale la rupere la tractiune a metalului cusaturii de gradul de aliere si de ciclul termic al sudarii, *Avtomaticheskaja svarka*, nr.9, 1984.
- 44) Khanapetov, M.U. - Welding and cutting of metals, Mir Publishers, Moskva, 1977.
- 45) Korolev, N.M. - S voprosi o svarke raznorodnih stalei, *Svarocinoo proizvodstvo*, nr.11, 1963.
- 46) Krasulin, Iu.L., ș.a - O regulirovanii teplovih i difuzionih procesov v zone splavlenii metallov pri svarke i naplavka, *Svarocinoo proizvodstvo*, nr.8, 1963.
- 47) Kornai, I. - Anti-equilibrium - Despre teoriile sistemelor economice și sarcinile cercetării, Editura Științifică, București, 1974.
- 48) Kihara, H. și colab. - Fisurarea sudurilor de colț la oțeluri slab aliate cu rezistență de  $50\text{Kgf/mm}^2$ , *In Jurit*, 1, 1972.
- 49) Leclou, A. ,ș.a - Soudabilite des aciers austeniques, Determination de la tendance a diverses types de fissuration. *In, Metaux - Corrosion - Industrie*, nr.590, octombrie 1974.
- 50) Laccinskii, L.K. - Metod raspčet leghirovaniușoih procesov svarnih ovov s peremelnii himiçeskiî sostav, *Avtomaticheskaja svarka*, nr.11, 1983.
- 51) Lang, F.H. și Kenyon, N. - Welding of maraging steels, *In WRC*, 159/2, 1971.
- 52) Lipodeev, Iu.G. - Uvelicina svarivnostii feritnii stalei s hrom, *Avtomaticheskaja svarka*, nr.2, 1984.
- 53) Leger, M.T. - La phase sigma dans les aciers refractaires, *Metaux Carr.*
- 54) Leroi, V., et al. - Etude du flange secondaire a haute temperature des solutions solides Co - Ni - Cr-Met, *Reviews*, 10/1968 (70).
- 55) Linert, G.E. - Welding metallurgy -Part I, AWS, New-York, 1965.
- 56) Ljunggren, J. - Cladding of Rail trak materials at Swedish Railways, *Svetsaren, ESAB*, nr.1-2, 1981.
- 57) Lou, I., ș.a. - A second report on diagrams of microstructure and hardness for head affected zones in welds, *Doc. IIS IIV-IX-1326-81*.

- 58) De Long, W.T. - Metal progres, nr.56/1949.
- 59) Latel, St., Băilegeanu, Gh. - Studii de cazuri și aplicații la economia industriei ,partea I - Tipografia Universității Timișoara, 1982.
- 60) Holkin, V.I. - Metodă rapidă de apreciere a tendinței oțelului la fragilizarea la hidrogen, Zavodskaja laboratornaja, nr.3, 1984.
- 61) Manning, R.M. - Importanța tratamentului de preîncălzire / postîncălzire la romanieră prin sudare, Welding Journal , vol.63, nr.5, 1983.
- 62) Moynard, M.B. - Manual de inginerie industrială, Vol. I, II, III; și IV, Editura Tehnică, București, 1975.
- 63) Mitolea, I. - Studiul metalelor, Timișoara, Editura Facla, 1987.
- 64) Micloș, V., - Lupescu, I. - Sudarea prin topire a oțelurilor aliate, Editura tehnică, București, 1978.
- 65) Marizot, C., Vignes, A. - Etude du diagramme nickel, cobalt, chrome, en de la prediotion de l' apparition de la phase sigma dans les alliages superrefractaires, Les Mem. scient. de la revue de niet. nr.12/1973.
- 66) Morris, D.G. - Harries, D.R. - Massive particle formation in a type 316 Stainless steel during creep. Metal Science, 7/1977.
- 67) Masubuchi, K - Control of distortion and shrinkage in welding In: VRC, 145/10. 1969.
- 68) Marariu, St. - Transformări în îmbinări sudate ale oțelurilor, Timișoara, Editura Facla, 1984.
- 69) Mitolea, I., Farbaș, V., Gaspar, M. - Cercetări asupra calității straturilor depuse la recondiționarea prin sudare a roților de rulare de la poduri rulante în Volumul, „Simpozionului Național de studiul metalelor și tratamentelor termice”, 27-28 mai 1988, Craiova, pag.139-147.
- 70) Mișog, L., ș.a. - Limitarea straturilor difuzionale în îmbinări sudate eterogene, Lucrările celei de a VII-a Conferințe de sudură și încercări de metale, Timișoara, 1987.
- 71) Mișog, L., ș.a. - Înlocuirea materialelor din import la sudarea pe șantier a camorelor de coccare pentru industria chimică, Buletin IPTVT, fasc.2-1979, Timișoara.
- 72) Namu, A., ș.a. - Manualul inginerului mecanic, Editura tehnică, București, 1973.

- 73) Nicodemi, W., Roberti, R. - Corrosion attacks on AISI 321 steel piping, Avesta stainless bulletin, nr. 4/1978.
- 74) Nichols, R. W. - Pressure vessel engineering technology, Elsevier Publishing Company, 1971.
- 75) Nicolov, G. - Advanced welding processes, Mir Publisher, Moscow, 1982.
- 76) Okorblan, N. O., g. a. - Kombinirovannye svarnye konstrukcii, Sudproghiz, Leningrad, 1962.
- 77) Otle, D. - Statistics in research, Iowa, Ed. Iowa State University Press, 1969.
- 78) Paton, D. E. - Tehnologhia, electricei svari metalor i splavov plavlenia, Inginerstroenie, Moskva, 1974.
- 79) Paton, D. E. - Zadaci svari raznorodnih sloistih i kompozitsonnih materialov, Negraniceskie materialy, Kiev, 1981.
- 80) Petrov, G. L., g. a. - Svarka jaroprocinih nerzaveiucih stiei, Inzhiz, Moskva - Leningrad, 1963.
- 81) Polgory, S. - Welding of difficult steels, cast iron and non-ferrous metals, Svetsaren, ESAB, nr. 1-2, 1981.
- 82) Pepe, I. I., Savage, W. F. - Effects of constitutional lignation in 18 Ni, Maraging steel weldments, Welding journal septem - brie 1967.
- 83) Pischl, K. - Stahl und Eisen, nr. 3/1975.
- 84) Popovici, Vl., g. a. - Utilajele sudurii electrice, EDP Bucuresti, 1968.
- 85) Popovici, Vl., Radu, D., Milas, L. - Cercetari asupra posibilitatilor de reparare a pansanelor si gurilor tiietore ale matritelor, prin utilizarea procedului de sudare in mediu de gaz protector (WIG), Protocol la contractul nr. 13845/1974 IPTV Timisoara, 1976.
- 86) Popovici, Vl., g. a. - Sudarea otelurilor aliate, CNIT, MEI, Cursuri de perfectionare in domeniul sudurii, vol. 4, Bucuresti, 1971.
- 87) Prohorov, N. N. - Fiziceschie, procesi v metalah pri svarke, Metalurghia, Moskva, 1976.
- 88) Rabkin, D. M., g. a. - Svarea raznorodnih metallov, Tehnica, Kiev, 1975.
- 89) Razdui, F. I., g. a. - Svarea statealiuminiev konstrukcii s pomec-

- ciu bimetaliceşkih votavok, Svarocinoc proizvodstvo, nr.1.1966.
- 90) Rikalin, N.N., g.a. - Fiziceskie i himiceskie problemi soe - dinenia raznorodnih materialov, Izvestia AN-SSSR, Negraniceskie materialy, vol.1, nr.1, 1965.
- 91) Roberti, R., Silva, G. - Sigma phase detection by metallographic etching. Avesta stainless buletin nr.3/1980.
- 92) Rowley, T., Coleman, W.C. - Collaborative programme un the correlation of test data for the design of weld ed stress pipes - Aworking Party - CDGE, November, 1973/W/W/710.
- 93) Rumsicki, L.Z. - Prelucorarea matematică a datelor experimentale, Editura tehnică, Bucureşti, 1974.
- 94) Rytov, V.V. - Structuralni modeli svarnih procesov, Electromecaniceskaia promişlanosti - electrosvarka, nr.1, 1984.
- 95) Ryzkov, F.N., g.a. - Influenţa compoziţiei metalului depus şi a tratamentului tehnic asupra distribuţiei tensiunilor remanente în arbori bimetalici, Svarocinoc proizvodstvo nr. 12, 1985.
- 96) Safta, V. - Controlul îmbinărilor şi produselor sudate, vol.1 Editura Facia, Timişoara, 1984.
- 97) Safta, V. - Controlul îmbinărilor şi produselor sudate, vol. II, Facia, Timişoara, 1986.
- 98) Salimov, M.P. - Rascet compoziţia naplavianişoih metal pri svarka pod keramiceskii flus, Avtomaticeskaia svarka, nr.1, 1984.
- 99) Savcenko, A.L., g.a. - Structura i svoitve dvafaznii şvov pri svarka bolşih sloia, Svarocinoc proizvodstvo, nr.2, 1985.
- 100) Savage, W.F., Lundin, C. - The vareststraint test, Welding Journal, Octombrie 1965.
- 101) Savage, W.F., Lundin, L. - Application of the Vareststraint tehnique to the study of weldability, Welding Journal nr.11/1966.
- 102) Săilăgean, T. - Statistica în sudură, Buletin de informare ODPT, Bucureşti, nr.3, 1973.
- 103) Săilăgean, T. - Sudarea cu arcu electric, Ed. Facia, Timişoara, 1977.
- 104) Săilăgean, T. - Fenomene fizice şi metalurgice la sudarea oţelurilor cu arcu electric. Etitura Academiei R.S.R., Bucureşti 1963.

- 105) Sălăgean, T. - Tehnologia procedurilor de sudare cu arc electric, Editura tehnică, București, 1985.
- 106) Sălăgean, T. - Tehnologia sudării metalelor cu arcul electric, Editura tehnică, București, 1986.
- 107) Sălăgean, T. - Comportarea la sudare a oțelurilor cu carbon și slab aliate. In: Studii și cercetări metalurgice. 2, 1970.
- 108) Sălăgean, T. - Oțeluri pentru structuri sudate. Editura Facla, Timișoara, 1974.
- 109) Shifrin, E.A. - Review of American practices in the welding of dissimilar metal joints in piping and tubing for power plants, Zvaranie, nr. 11, 1964.
- 110) Seferian, D. - Metalurgie de la soudare, Dunod, Paris, 1959.
- 111) Siegfild, W. - O nouă abordare în calcularea structurilor ZIT în îmbinări sudate eterogene, Schweißen und schneiden, nr. 1, 1983.
- 112) Slaughter, G.H., Jr. - The welding of ferritic steels to austenitic stainless steel, Welding Journal, vol. 30, nr. 1, 1964.
- 113) Snisar, V.V., Jr. - Studiul structurilor martensitice în zona de aliere a oțelurilor de înaltă rezistență de tipul 15X2W14MDA cu metalul martensitic-austenitic al cusăturii, Avtomaticheskaya svarka, nr. 7, 1984.
- 114) Slout, R.S., Dotz, W.O. - Weldability of steels, Welding Research Council, New-York, 1973.
- 115) Schumann, H. - Metalurgie fizică, București, Editura tehnică, 1962.
- 116) Schumann, H., Brauschmann, J. - Investigation of the melting equilibria in the iron corner of the ternary system iron-chromium - nickel. Archiv des Eisenhüttenwesens, nr. 1, 1977.
- 117) Sorgorov, M.H., Jr. - Geriazie tresceni pri svarko jareproci-nih splavov, Maginostroenie, Moskva, 1973.
- 118) Stefanova, V.V. - Spravochnik svarkoika, Maginostroenie, Moskva, 1974.
- 119) Terlicov, I.V. - Influența cumulată a oxigenului și azotului asupra rezilienței metalului cusăturii la sudarea oțelurilor cu crom, Avtomaticheskaya svarka, nr. 5, 1984.
- 120) Thorneycroft, D.R. - Constructional steel in the dissimilar metal joints, British Welding Journal, nr. 3, 1965.

- 121) Trușculescu, M. - Studiul metalelor, EDP, București, 1977.
- 122) Treitot, P. Dor - Note anexe, Douage et techniques connexes, nr. 5-6/1966.
- 123) Trușculescu, M., Tache, A. M., Nitela, I., Budău, V. - Studiul metalelor, Tehnici de laborator, Editura Facla, 1977.
- 124) Trușculescu, M., Ieremia, A. - Oțeluri inoxidabile și refractare, Editura Facla, 1983.
- 125) Voinov, S. V. - Avtomaticheskaja vertikalnaja svarka, Sudo - stroenie, Leningrad, 1982.
- 126) Zaicev, N. L. - O sniženii koncentracii napriazhenii v kraevih tvchah stikovih soedinenii raznorodnih materialov, Avtomaticheskaja svarka, nr. 5, 1984.
- 127) Zaks, I. A. - Svarka raznorodnih stalei, Mashinostroenie, Moskva, 1970.
- 128) Zamzin, V. N. - Svarnie soedinenia raznorodnih stalei, Mashinostroenie, Moskva - Leningrad, 1966.
- 129) Zamzin, V. N., ș.a. - Issledovanie visokoniklelevih elektrodiv dlia zavarki defectov v litih korpusnih detaliah parovih turbin, Moskva, 1974.
- 130) Zamzin, N. V., ș.a. - Uslozhnie obrazovanie tressini prin svarka i termicheskaia obrabotka, Svarocince proizvodstvo, nr. 4, 1984.
- 131) Wadzink, A., ș.a. - Investigarea experimentală a forțelor care acționează asupra picăturii de metal depus, Welding Journal nr. 4, 1983.
- 132) Wilkin, E., ș.a. - Cercetări în legătură cu relația dintre tensiunile remanente la sudare și construcțiile în sudurile cu mai multe treceri, Schweissen und schneiden, nr. 5, 1984.
- 133) Wilson, F. C. - Catalog Sandvik. Schweißzusatzwerkstoffe, septembrie 1977.
- 134) Wilson, F. C. - Electrodes for manual - arc welding, Stainless steel, nr. 4/1977 (DOC MURREX - Te 741)
- 135) Wilson, F. C. - Soudage des aciers inoxydables, Avasta stain - less Buletin, nr. 4/1978
- 136) x x x Aktualnie problemi materialovedenie, Tekhnika, Kiev, 1981.
- 137) x x x Atenție deosebită cerută la sudarea cu arc electric folosind metal de adăos cu conținut de crom-nichel,



- 138) x x x Böhllex welding consumables for welding stainless steels, Wien, 1977.
- 139) x x x Calculul proprietăților mecanice ale ZIT-ului îmbi - nărilor sudate la oțelurile slab aliate efectuat pe calculatar de buzunar cu program, Schweissen und schneiden, nr. 7, 1983.
- 140) x x x Cartea tehnică a turbinei hidraulice de ZONW, CCSITH Reșița, 1984.
- 141) x x x Electrodes, Arcos, Bruxelles, 1977.
- 142) x x x Materiale de sudare fabricate în RSR, ISIM Timișoara, 1986.
- 143) x x x Metalurgia - teoria i praktika, Metalurgia, Moskva, 1983.
- 144) x x x Svarka reaktorî iz himičeskîh apparatov, Svarke-Express informația, nr. 42, 1984.
- 145) x x x Sudarea oțelurilor ploaște. Metale de adăos și concepția îmbinărilor, Welding Journal, vol. 62, nr. 3, 1983.
- 146) x x x Sprevočnik svařcîka, Mașinostroenie, Moskva, 1974.
- 147) x x x Svarka v mașinostroenie - sprevočnik, Mașinostroenie, Moskva, 1978.
- 148) x x x Sudarea oțelurilor ploaște, Welding in the world, nr. 1, 1969.
- 149) x x x 400 mărci de oțeluri - Combinatul de oțeluri special Tîrgoviște, 1983.
- 150) x x x Effetto dei parametri sulla forma e dimensioni dei cordoni di saldatura ad arco sommerso, CITO, 1, 1965.
- 151) x x x La saldatura in atmosfera gassosa con procedimento MAG, CITO, 6, 1966.
- 152) Oțeluri slab aliate sudabile, Documente IIS IX, 673, 1970.
- 153) x x x Tehnologii, Calitate, Mașini, Materiale, Vol. I și II, 1987, Editura Tehnică, București, 1987.
- 154) x x x Informare documentară în construcția de mașini - Organizarea producției - Automatizarea activităților, O.I.D. București, 1986, 1987, 1988.