

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI
INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VOIA"
TIMISOARA

Ing. BASEM ALI ABED

TEZA DE DOCTORAT

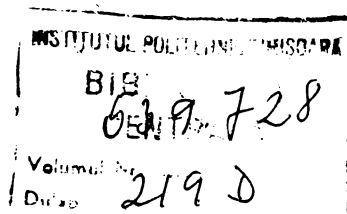
MODERNIZAREA TEHNOLOGIILOR DE SUDARE LA
FABRICAREA RECIPIENTILOR DIN PETROCHIMIE

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

CONDUCCATOR STIINTIFIC

Prof.dr.doc.ing. TRAIAN SALAGEAN
Membru corespondent al Academiei
Republicii Socialiste Romania

- 1989 -



BUPT

C U P R I N S

	pag.
INTRODUCERE	1
CAPITOLUL 1. PROCEDEELE DE SUDARE	3
1.1. Definierea procedeelor de sudare cu arcul electric	3
1.2. Poziții și moduri de a suda.....	5
1.3. Sudura realizată cu arcul electric.....	7
1.4. Tipuri de suduri realizate cu arcul electric.	14
CAPITOLUL 2. ZONA INFLUENTATA TERMIC.....	17
2.1. Sudarea cu arc electric.....	17
2.2. Zona influențată termic, este studiată cu multă atenție pentru că, așa cum am arătat, inițierea ruperii pornește în cele mai multe cazuri în Z.I.T.	17
2.3. Pentru a economisi material, energie și muncă s-au făcut studii pentru a corela duritatea maximă din Z.I.T. cu compoziția chimică a oțelurilor.	18
2.4. Noile relații pentru calculul durității maxime notată cu H_M bazate pe curba logistică arătată în figura 2.1.	19
2.5. În teza de doctorat ne-am propus să verificăm relațiile pentru duritatea maximă din Z.I.T. la oțelurile folosite la recipientii de stocare a petrolului și a derivatelor sale.....	21
CAPITOLUL 3. MATERIALE ȘI PROCEDEE DE CERCETARE.....	24
3.1. Oțelurile pentru recipienti.....	24
3.2. Programul de lucru pentru partea experimentală.....	24
3.2.1. Depunerea de suduri pe plăci cu procedeul de sudare sub flux.....	24

3.2.3. Sudarea între plăci de aceeași calitate, prin două treceri.	25
3.3. Din sudurile respective s-au prelevat epruvete pentru a vedea structura cusăturii și Z.I.T-ului, precum și grăunților din Z.I.T...	25
3.4. Din depunerea pe plăci și sudurile făcute s-au fotografiat aspectele Z.I.T-ului și structurile care apar în cele trei moduri de sudare.....	25
CAPITOLUL 4. METALE SI ALIAJE METALICE FOLOSITE	
LA RECIPIENTI.....	27
4.1. Diagrama de echilibru Fe-Fe ₃ C.....	27
4.2. Oțeluri carbon.....	29
4.3. Influența conținutului în carbon asupra proprietăților oțelului.....	30
4.4. Influența elementelor însoțitoare asupra proprietăților oțelului.....	32
4.5. Oțeluri carbon de construcție.....	33
4.6. Oțeluri carbon de uz general.....	34
4.7. Oțeluri carbon de calitate.....	34
4.8. Oțeluri pentru automate.....	35
4.9. Oțeluri carbon turnate în piese.....	35
4.10. Elemente de aliere în oțeluri....	36
4.11. Influența elementelor de aliere asupra transformărilor alotropice ale fierului....	36
4.12. Influența elementelor de aliere asupra punctului din diagrama Fe-Fe ₃ C.....	38
4.13. Influența elementelor de aliere asupra punctului E din diagrama Fe-Fe ₃ C.....	38
4.14. Efectul elementelor de aliere asupra durității feritei.....	39
4.15. Efectul elementelor de aliere asupra fazelor de carburi.....	41
4.16. Oțeluri pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi obișnuite și înalte.....	41
4.17. Oțeluri pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi joase.....	48

	pag.
4.18. Recipiente sub presiune utilizate în domeniul de temperaturi $-50^{\circ}\text{C} \dots +400^{\circ}\text{C} \dots$	53
4.19. Recipiente exploatate la temperaturi înalte (peste 400°C).....	56
4.20. Recipiente sub presiune utilizate la temperaturi joase (sub -50°C).....	57
CAPITOLUL 5. RELATII DE CALCUL A DURITATII	
MAXIME IN Z.I.T.....	58
5.1. În literatura tehnică sînt multe relații care corelează duritatea maximă din zona influențată de temperatură ZIT cu compoziția chimică a oțelurilor	58
5.2. S-au ales 4 oțeluri folosite la construirea recipientelor de stocare a hidrocarburilor.	59
5.3. Concluzie: datele analizelor tablelor folosite în teză.....	60
CAPITOLUL 6. DETERMINAREA ANALITICA A DURITATII	
MAXIME IN Z.I.T.....	63
6.1. Se calculează duritățile maxime în ZIT cu relațiile HM1, HM2, HM3.....	63
6.2. Relația de calcul a durității maxime în ZIT cu relația HM1.....	65
CAPITOLUL 7. CERCETARI EXPERIMENTALE SI REZULTATE	
MACROSCOPICE.....	67
7.1. Partea practică a tezei.....	67
7.2. Datele determinate experimental.....	67
7.3. Aprecierea relațiilor de calcul a durității maxime în Z.I.T.....	71
CAPITOLUL 8. INVESTIGATII METALOGRAFICE.....	77
CAPITOLUL 9. CONCLUZII.....	95
9.1. Zona influențată termic Z.I.T.....	95
9.2. Precizările urmărite de doctorand.....	95
9.3. Concluziile referitor la relațiile de calcul.....	96
BIBLIOGRAFIA	99

INTRODUCERE

Stocarea hidrocarburilor este o problemă de mare importanță fiindcă, dacă se produc scăpări de țiței, acestea poluează mediul înconjurător. Fisurarea și mai ales ruperea intempestivă poate provoca și incendii greu de stins.

Marile recipiente de stocare se fac prin sudare pentru că fabricarea lor este rapidă și asigură etanșeitarea.

Se știe că la suduri, zona influențată de căldură, ZIT-ul spus pe scurt, este cea mai importantă fiindcă din ea pornesc fisurile și apoi ruperile. Conform datelor Institutului Internațional de Sudură, cunoscut sub inițialele IIS/ Iw, se vede că ruperile la structurile sudate pornesc din ZIT.

Apărarea față de acest pericol se face prin sudare cu tehnologii, care să nu fragilizeze ZIT-ul.

Criteriul cel mai simplu prin care se poate vedea dacă fragilitatea este periculoasă este duritatea din ZIT. Se consideră că duritatea ZIT-ului sub 300 HV10 ar fi granița între pericolul amintit.

Determinarea durității din ZIT necesită să se facă încercări, care nu totdeauna se pot realiza.

Cercetările făcute în ultimii ani au dus la relații între compozițiile chimice ale oțelurilor și duritatea așteptată în ZIT. Prin aceste relații, se reduc cheltuielile și timpul de fabricație a recipientelor.

Sînt cunoscute cel puțin circa 50 asemenea relații.

În teza de doctorat s-a făcut o testare pe 4 tipuri de oțeluri pentru recipiente de stocare a hidrocarburilor.

S-au aplicat 3 feluri de ZIT-uri :

ZIT-ul ce se face la depunerea unei suduri pe o placă, ZIT-ul când se sudează prin o trecere două plăci și ZIT-ul când se sudează două plăci prin două treceri.

În teza de doctorat s-au prezentat erorile de calcul față de cele determinate. Pe această bază s-a elaborat o nouă relație pentru a aprecia duritatea maximă din ZIT cu erorile cele mai mici în comparație cu toate celelalte relații.

Rezultă astfel o mai sigură valoare calculată a durității din ZIT, ceea ce mărește încrederea în fabricația acestor recipiente.

Toate afirmațiile sînt întărite prin importante studii metalografice, care susțin afirmațiile și realizările din teză.

Teza se extinde pe 99 . pagini, în 10 . capitole și cuprinde . 72 . figuri, . 32 . tabele.

Rezultatele obținute și concretizate în teza de doctorat sînt urmarea unei activități de cercetare a autorului sub îndrumarea sistematică a conducătorului științific, tovarășul prof. dr. doc. ing. Traian Sălăgean, Membru corespondent al Academiei Republicii Socialiste România, căruia îi mulțumesc din toată inima pentru înalta competență cu care l-a îndrumat și pentru formarea sa ca inginer. De asemenea, autorul mulțumește conducerii catedrei UTSDT, de la Facultatea de Mecanică din IPTV Timișoara, tuturor cadrelor didactice și personalul TBSA, precum și catedrei de Studiul metalelor, care l-au sprijinit în elaborarea lucrării de doctorat.

Pentru sprijinul acordat în realizarea încercărilor experimentale mulțumesc de asemenea conducerii IIM Timișoara.

CAPITOLUL 1.

PROCEDELE DE SUDARE

1.1. Definierea procedeelor de sudare cu arcul electric.

Se pornește de la ansamblul operațiilor pe care orice P.S.A.E. le conține (figura 1.1):

- 1) Menținerea arcului electric într-o stare staționară, asigurând constanța curentului de sudare I_s și tensiunii arcului U_a .
- 2) Aducerea continuă cu viteza v_s a materialului de adaos 3 în arcul electric 1, arc ce arde între respectivul material și componentele 2 supuse sudării, fiind alimentat de la sursa 4.

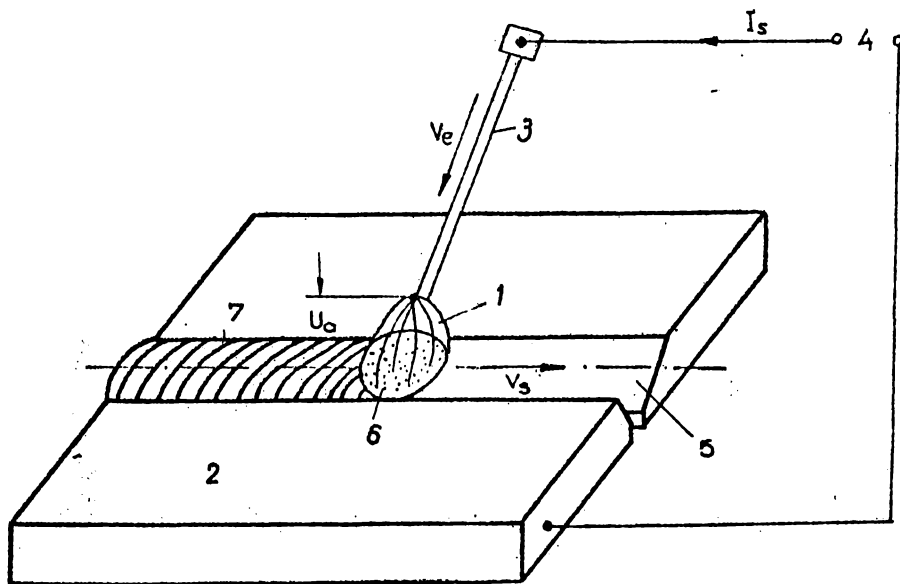


Figura 1.1. Operațiile conținute în orice procedeu de sudare cu arcul electric P.S.A.E.

1- arcul electric; 2-componente ce se sudează; 3-materialul de adaos; 4-sursa electrică ce alimentează arcul; 5-roștul între componente; 6-baia de sudură; 7-cusătura

3) Deplasarea arcului electric în lungul rostului 5 dintre componente cu viteza v_g , topind marginile lor și formînd, împreună cu metalul provenit de la materialul de adaos, o baie de sudură 6.

4) Urmărirea rostului și umplerea sa uniformă astfel ca, după solidificarea băii de sudură să rezulte o cusătură 7 continuă și dimensional constantă.

În funcție de gradul în care sudorul participă la aceste operații PSA se așază pe următoarele niveluri :

ma - sudare manuală, cînd sudorul execută toate operațiile;

ms - sudare semimecanizată, cînd punctul 2 se execută mecanic, sudorul efectuînd celelalte operații;

me - sudare mecanizată, cînd toate operațiile se execută mecanic fără feedback (nu există autoreglare) și sudorul trebuie să supravegheze continuu procesul, intervenind mereu pentru a menține stabilitatea lui, sudorul efectuează deci rolul feedback-ului

au - sudare automată, care cînd există feedback și mașina, între anumite limite, se autoreglează asigurînd stabilitatea procesului, intervenția sudorului este necesară numai cînd echipamentul de sudare se defectează.

Se observă că, în majoritatea literaturii de specialitate sudarea mecanizată me se numește automată au. Este o situație creată de faptul că echipamentele, automatele cu cîmp mai larg de aplicație (roboți) sînt rare și au un caracter experimental. Cu toate acestea, este timpul ca să se facă deosebirea între mecanizat me și automat au.

Baia de sudură trebuie protejată față de aer. Oxigenul din aer modifică compoziția chimică a aliajelor metalice, oxidînd elementele de aliere în ordinea afinității lor față de acest element. Oxizii rezultați sînt compuși ce reduc atît rezistența cît și plasticitatea metalelor. Azotul din aer formează nitruri dure și casante, iar o parte din el rămîne prins în metale și apar pori.

Protecția la PSA se realizează fie cu ajutorul unui înveliș aplicat pe sîrma de sudură, fie cu un flux ce acoperă arc electric, fie cu un gaz sau amestecuri de gaze insuflate continuu în jurul arcului electric și băii de sudură. Aceste protecții se vor nota cu E, F, respectiv G.

Arcul electric la toate PSAe arde între un electrod, cu secțiune circulară de diametru d_e și componentele ce sudat. Electrocul poate să fie fuzibil, adică să se topească în procesul sudării furnizînd metal de adaos, sau nefuzibil, cînd el nu participă la formarea cusăturii. Electrocul fuzibil este notat cu M (furnizor de metal) iar cel nefuzibil cu W (de la wolfram, metal ce se folosește în prezent ca electrod de sudare). În unele publicații, în loc de simbolul W se utilizează T, de la tungsten, care este un alt nume purtat de wolfram. În măsură tot mai redusă se utilizează electrocul de cărbune, ca nefuzibil. În prezent, sudarea cu acest electrod are o pondere atît de mică încît nu contează față de celelalte PSAe.

Criteriile grad de participare a sudorului, protecția băii de sudură, calitatea electrocului permit să se definească PSAe fundamentale :

- 1) SA, sudarea cu electrozi înveliți SA = ma - a - M, procedeul manual, protecție prin învelișul electrocului fuzibil.
- 2) SF, sudare sub flux SF = me - F - M, procedeul mecanizat, protecția cu flux, electrod fuzibil.
- 3) SG, sudare în gaze SG = ms(me) - J - M sau W, procedeul semimecanizat, care poate fi și mecanizat cînd condițiile sînt favorabile (protecție cu gaze insuflate în zona sudării, electrod fuzibil sau nefuzibil).

Fiecare din procedeele fundamentale are variante. Ele vor fi prezentate atunci cînd se va trata procedeul din care derivă. În particular, sudarea cu plasmă SF, este, așa cum s-a mai spus, o variantă a procedeului fundamental SG.

Sudarea în baie de zgură SZ are relația de definiție SZ = me - F - M, identică cu cea de la SF.

1.2. Poziții și moduri de a suda

Sudarea cu arcul electric SAe se poate face în diferite poziții, care sînt definite în funcție de situația spațială a componentelor și arcului electric. (figura 1.2)

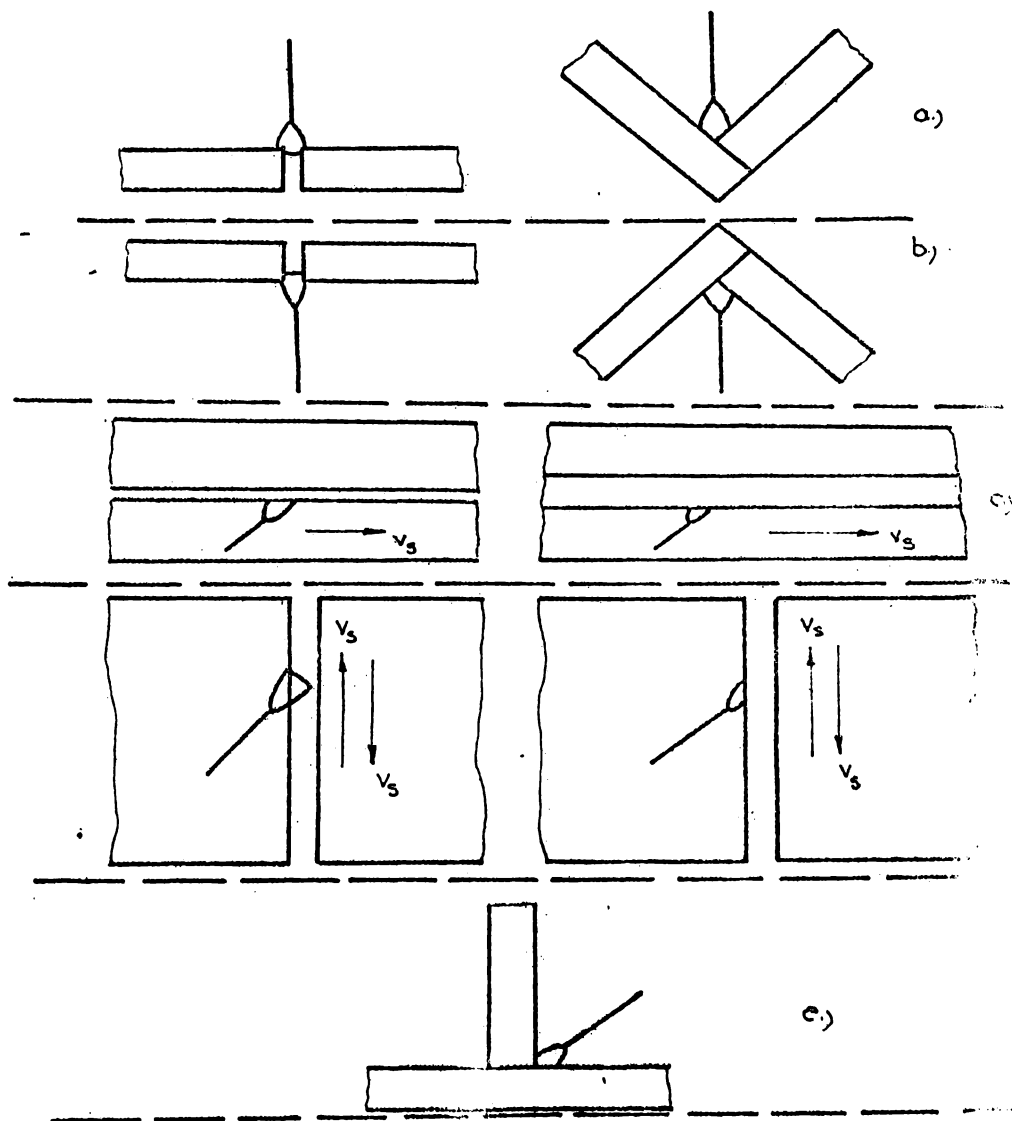


Figura 12 Pozițiile de sudare cu arc electric: a- orizontală; b- pe plafon; c- în cornișă; d- verticală (arcător sau coborîtor); e- laterală.

a) Cînd componentele sînt horizontale și arcul electric vertical, deasupra lor, sudarea este orizontală, respectiv în poziție orizontală (figura 1.2a)

b) Cînd componentele sînt horizontale și arcul electric vertical, dedesubtul lor, sudarea este pe plafon, respectiv în poziție plafon (figura 1.2a)

c) Cînd componentele sînt verticale, sudura în plan orizontal și arcul electric înclinat în jos față de planul orizontal sudarea este în cornișe, respectiv în poziție cornișe (figura 1.2b)

d) Cînd componentele sînt verticale, sudura în plan vertical și arcul electric înclinat în jos (coborîtor) sau în sus (urcător) față de planul orizontal sudarea este verticală (în jos, respectiv în sus), respectiv în poziție verticală (figura 1.2b)

e) Cînd o componentă este orizontală iar alta verticală și arcul electric se află într-un plan înclinat în sus față de planul orizontal sudarea laterală, respectiv în poziție laterală (figura 1.2 e)

În limbajul curent, sudările prevăzute la paragrafele b, c și d se numesc "în poziție", iar sudarea la componente aflate la 90° una față de alta "în jgheab", sudarea prevăzută la e este "orizontală".

Executarea sudării, indiferent de poziție, se poate face "din o parte" a componentelor sau "din ambele părți", prin "o trecere" a arcului electric în lungul rostului sau prin "multe treceri" (figura 1.3)

Din punctul de vedere al execuției, sudura orizontală dintr-o parte și cu o trecere este cea mai simplă. La colul o sus se află sudarea pe plafon, din ambele părți și cu mai multe treceri.

1.3. Sudura realizată cu arcul electric

Sudura realizată cu orice procedeu la care se folosește arcul electric are trei părți.

Cusătura este partea care leagă componentele și se formează prin solidificarea băii de sudură. Metalul cusăturii are o structură de turnare. Baia de sudură se formează din metalul de adăos (de obicei sîrmă) topit în procesul de sudare și din metalul de bază, topit și el în cadrul aceluiași proces.

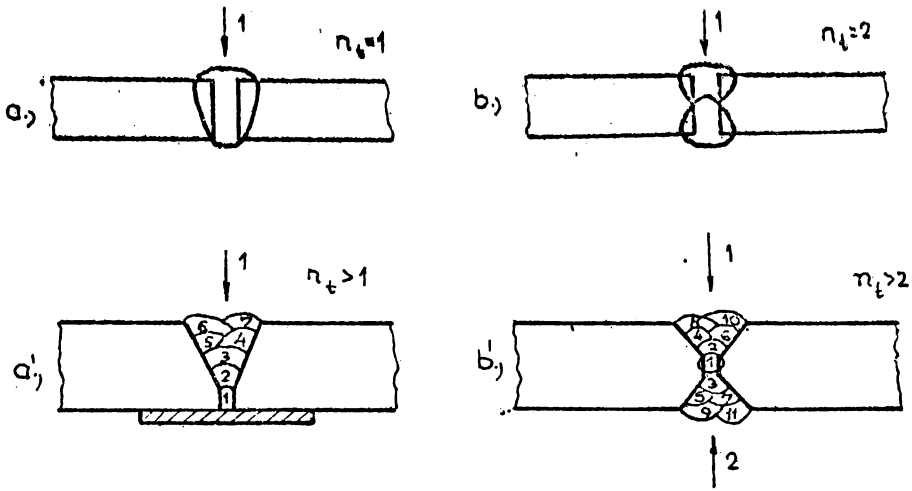


Figura 13. Moduri de executare a sudării :

a- dintr-o parte prin o trecere; a'- dintr-o parte și mai multe treceri; b- din ambele părți și două treceri; b'- din ambele părți și mai mult decât două treceri.

Participările celor două metale la formarea băii de sudură se pot estima prin măsurarea suprafeței A a cusăturii. Suprapunând pe ea forma rostului dintre componente înainte de sudare, se determină A' și A'' arii corespunzătoare în (figura 14) cu zonele 1', respectiv 1''. În această figură cusătura este notată cu 1. Cu ariile A, A' și A'' se calculează participarea metalului de bază P_{MB} și a metalului de adaos P_{MA} , cu relațiile :

$$P_{MB} = A''/A ; \quad P_{MA} = A'/A \quad (1.1)$$

Avînd în vedere că $A = A' + A''$ rezultă :

$$P_{MB} + P_{MA} = 1 \quad (1.2)$$

Aceste participări sînt interesante din două puncte de vedere :

1) Dacă se cunosc compozițiile chimice ale metalului de bază MB și metalului de adaos MA și randamentele de trecere a elementelor de aliere din aliaj prin arcul electric η_{MB} , respectiv η_{MA} , atunci, în cusătură, un element de aliere X va avea concentrația

$$X_c = P_{MB} \cdot \eta_{MB} \cdot X_{MB} + P_{MA} \cdot \eta_{MA} \cdot X_{MA} \quad (1.3)$$

în care X_{MB} și X_{MA} sînt concentrațiile elementului considerat în MB, respectiv MA. Făcînd calculele acestea pentru toate elementele de aliere se poate estima compoziția chimică a cuscăturii.

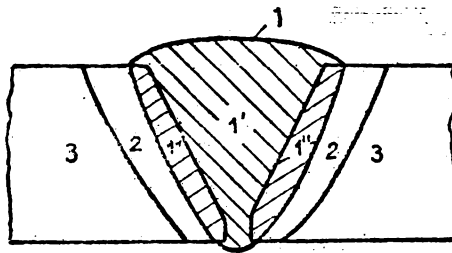


Figura 4. Componentele sudurii realizate cu arcul electric:

- 1 - cuscătura cu partea produsă de metalul de adăos MA(1') și cu cea produsă de metalul de bază MB(1'');
- 2 - zona influențată termic ZIT; 3 - metalul de bază MB neafectat de procesul sudurii.

2) Eficiența procesului de sudare se poate determina în funcție de scopul urmărit.

Dacă se realizează o sudură pentru a îmbina două sau mai multe componente, atunci este rațional ca participarea MB să fie cât se poate de mare. Prin acesta se asigură o omogenitate a îmbinării trebuînd să se tindă spre inegalitatea

$$P_{MB} \gg P_{MA} \quad (1.4)$$

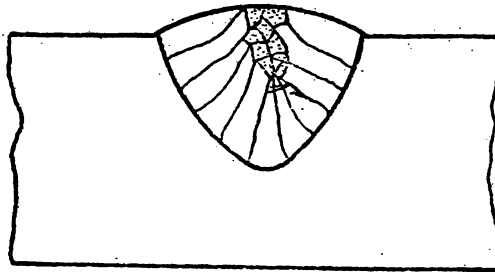
ori de cîte ori este posibil

Dacă sudura se face cu scopul de a completa o parte uzată (recondiționare), sau de a acoperi o suprafață cu un aliaj rezistent la agentul ce o solicită (coroziune, uzură, șoc), deci de a face o încărcare, o acoperire, atunci este rațional ca să se depună mult MA, iar MB să fie topit numai atît ca să se realizeze legătura. În consecință, la suduri de încărcare este rațional să

se urărească îndeplinirea inegalității

$$P_{AB} \ll P_{AA}$$

Suprafața ce desparte cusătura de restul sudurii este o izotermă, deoarece toate punctele ei au avut temperatura egală cu cea de topire. Metalul băii de sudură, care prin solidificare a produs cusătura, are o structură dendritică (figurală 5) cu axele perpendiculare pe izoterme. Segregațiile se vor acumula deci în planul de simetrie al cusăturii densitatea lor crescând spre suprafață. Deci metalul cusăturii este mai slab și cu incluziuni și incluziuni mai multe în mijloc și către fața cusăturii. La solicitări transversale pe cusătură, care depășesc rezistența mecanică, fisura va apărea în mijlocul ei și se va propaga longitudinal. În aceeași zonă, dacă sînt create condițiile necesare, apar și zoluri, impresiuni și pori.



Figurală 5. Structura dendritică a cusăturii sudate.

Zona influența termic Z.I.T, este o regiune a AB în care temperatura s-a ridicat peste cea de transformare, determinând transformarea structurii. Compoziția chimică în Z.I.T. nu s-a modificat față de cea a AB, însă structura ei este diferită și variabilă. Căldura care a generat aceste procese vine de la cusătură prin conducție.

Înainte de a examina structura Z.I.T., se rețin dimensiunile principale ale cusăturii și Z.I.T-ului arătate în figurală 6. Aceste dimensiuni sînt corelate cu parametrii de funcționare ai arcului electric și joacă un rol important la elaborarea regiurii de sudare.

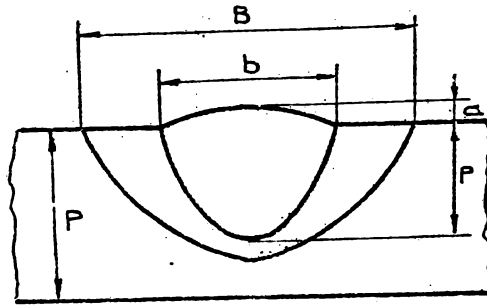
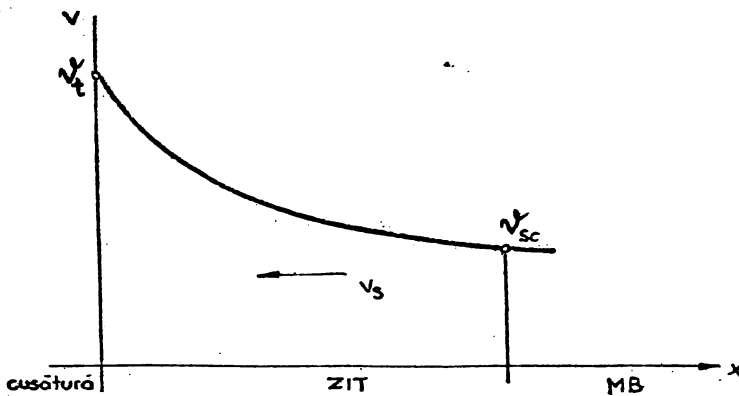


Figura 1.6 Elementele geometrice ale cusăturii și zonei influențate termic:

- a - înălțimea cusăturii; b - lățimea cusăturii ;
- p - pătrunderea cusăturii; B - lățimea Z.I.T.;
- P - pătrunderea Z.I.T.

Structura Z.I.T. este determinată de ciclurile termice din fiecare punct al ei. La un regim de sudare stabilizat, variația temperaturii la fiecare punct Z.I.T. se poate estima deplasând cu viteza de sudare v_s curba staționară a temperaturii care arată cum scade aceasta de la linia de separație cusătură - Z.I.T. pînă la MB neafectat termic (figural7).



Figural7 Distribuția temperaturii v în funcție de distanța x de la punctele din Z.I.T. pînă la linia de separație cusătură - Z.I.T. punctele limită ale distribuției $v = f(x)$ sînt temperatura de topire v_t și temperatura sub care nu mai au loc transformări structurale v_{sc}

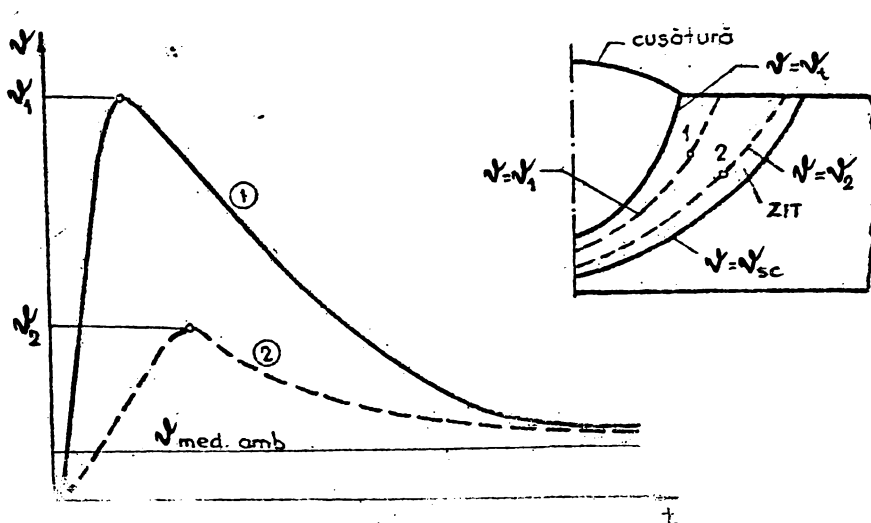


Figura 18 Ciclurile termice ale punctelor aflate pe izoterma $v = v_1$ apropiată de izoterma $v = v_2$, (1) și ciclurile termice ale punctelor așezate pe izoterma $v = v_2$, apropiată de izoterma $v = v_{sc}$ (2)

Se vede imediat că un punct așezat aproape de linia de separație cusătură Z.I.T. va fi încălzit la temperaturi mult mai înalte decât punctele așezate mai departe de respectiva linie (figura 18.) Vitezele de răcire v_r ale punctelor 1 sînt considerabil mai mari decât ale punctelor 2.

Avînd în vedere variația temperaturilor din Z.I.T. se pot trage următoarele concluzii :

1) Pornind de la izoterma $v = v_1$ către izoterma $v = v_{sc}$ în Z.I.T. vor apărea transformări structurale diferite. Aceasta arată că Z.I.T.-ul este o zonă structural eterogenă.

2) Grăunții cristalini vor fi mari lângă cusătură, avînd condiții de creștere din cauza temperaturilor ridicate. Pe măsură ce ne îndepărtăm de cusătură, grăunții cristalini se vor micșora ca urmare a scăderii temperaturii. Deci, de la o regiune cu grăunți mari specifici "supraîncălzirii" în Z.I.T. se găsesc toate dimensiunile de grăunți cristalini, inclusiv cei mici specifici "normalizării".

3) Din cauză că vitezele v_r scad cînd ne îndepărtăm de cusătură, structurile în Z.I.T. vor fi mai îndepărtate de cele de echilibru în vecinătatea cusăturii și mai apropiate de cele de echilibru lângă materialul de bază MB.

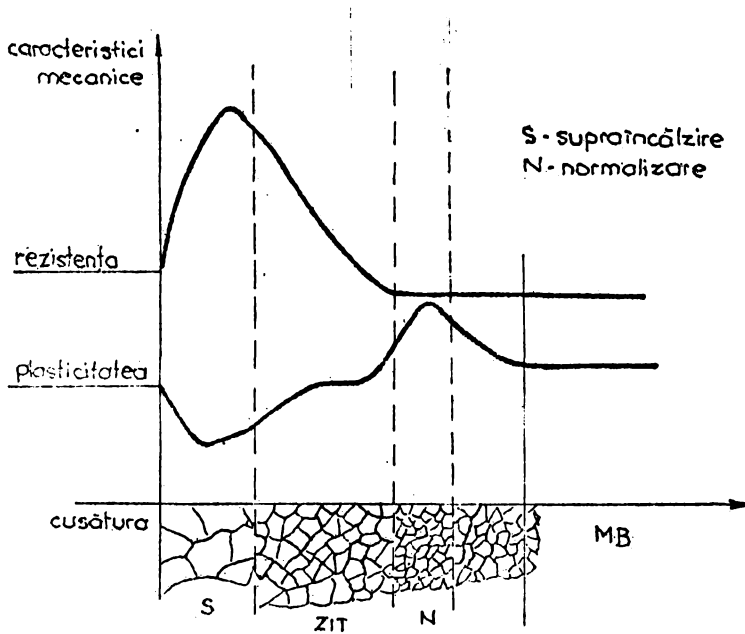


Figura 1.9 Variațiile rezistenței mecanice și plasticității în cusătura și Z.I.T.

S - supraîncălzire ; N - normalizare

4) În general structurile depărtate de echilibru și cu grăunți mari au rezistență mecanică mare și plasticitate redusă, iar cele cu grăunți fini și structuri aproape de echilibru au rezistență mică și plasticitate mare. De aceea cusătura și Z.I.T.-ul sînt nu numai zone de neomogenitate chimică și structurală ci și de neomogenitate a caracteristicilor mecanice (figura 1.9).

În cazul metalelor și aliajelor metalice livrate după anumite tratamente termice, fenomenele din Z.I.T. au loc după modele diferite de cel prezentat. Aceste probleme vor fi discutate cînd se va prezenta sudarea lor.

Neomogenitatea termică, structurală și mecanică a Z.I.T.-ului face ca ea să fie "zona sensibilă" a sudurilor realizate cu arcul electric. În ea pot apărea microfisuri, fisuri și chiar răseri, atunci cînd tehnologiile de sudare, metalul de bază, materialele de adăos și/sau proiectul structurii sudate sînt necorespunzătoare.

Din aceste motive, este înțeles că, ori de câte ori există posibilitatea, să se reducă extinderea Z.I.T-ului la minimum.

Metalul de bază MB este partea sudurii care nu a suferit transformările de structură, fiind încălzit sub temperatură critică. În această zonă sînt posibile detensionări și chiar recristalizări subcritice la metalele și aliajele care permit asemenea fenomene. Urmarea lor poate să fie neînsemnată.

La metalele și aliajele sensibile la tratamente de detensionare, pot apărea reduceri de plasticitate (fragilizări), uneori periculoase.

1.4. Tipuri de suduri realizate cu arcul electric

Sudurile realizate cu arcul electric, din punctul de vedere al formei îmbinării sînt de două feluri (figura 10): suduri cap la cap S_{cc} și suduri de colț S_{co} .

S_{cc} sînt de preferat fiindcă se execută mai ușor, se pot controla atât cu metode distructive cît și nedistructive, iar transmiterea fluxului de forță se face continuu și fără schimbări de direcție.

S_{co} sînt dificile deoarece execuția lor este pretențioasă și controlul lor, mai ales cu metode nedistructive este dificil și adesea imposibil.

Între sudurile de colț arătate, sudura prezentată în figura 10 c trebuie evitată. Controlul ei este practic imposibil, iar defectele de rădăcină sînt prezente totdeauna fiindcă suprapunerea componentelor diferă în lungul cusăturii, gazele nu pot ieși și formează pori, iar fisurile se pot ușor forma din cauza variației distanțelor dintre componente.

Sudurile din figura 10, a și d se pot executa, atunci cînd este cazul, cu "pătrundere completă". Pentru aceasta, componenta verticală se prelucrează în V și, sudînd din ambele părți, cusătura se interpune pe toată îmbinarea. Aceste suduri se controlează cu ușurință prin metode nedistructive..

Din punctul de vedere al metalelor componentelor sudurile pot fi omogene, cînd componentele sînt din aceleași metale sau aliaje metalice, respectiv eterogene cînd metalele sau aliajele diferă.

Ori de câte ori este posibil se vor prefera sudurile omogene.

Componentele pot avea grosimi egale, situație de preferat, sau inegale. În cazul inegalității grosimilor se va prelucra componenta cea mai groasă, astfel ca la locul sudării, ea să aibă grosimea egală cu a componentei subțiri. Forma și extinderea prelucrării depinde de structura sudată și de fluxul solicitărilor pe care sudura trebuie să o transmită. În figura 1.11 sînt arătate trei moduri de îmbinare prin sudură a componentelor de grosimi diferite.

Soluția din figura 1.11, a trebuie evitată fiindcă introduce doi concentratori de tensiune arătați prin săgeți. Soluția mai bună care permite o trecere lină a fluxului de forțe este cea din figura 1.11, b. Soluția cea mai bună, fiindcă, pe lângă o trecere lină a fluxului de forțe este și ieftină, consumînd minimal metalul/materialul de adaos este cea din figura 1.11, c.

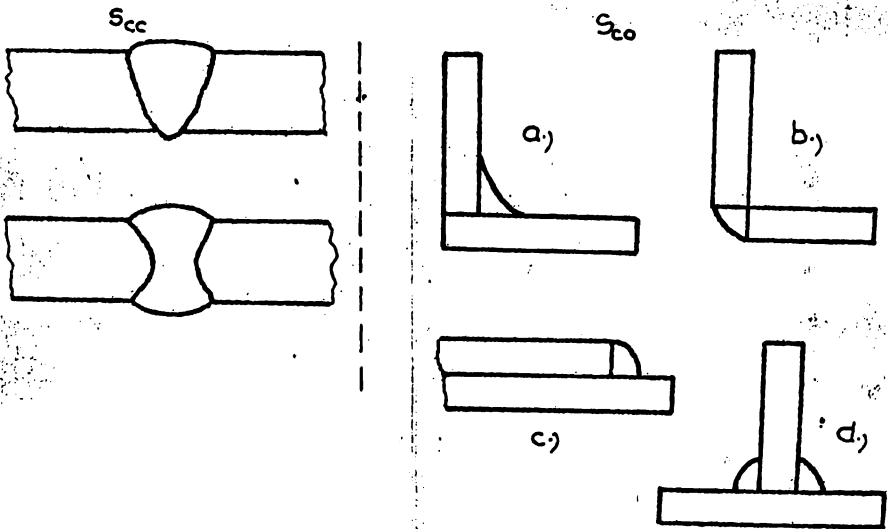


Figura 1.11. Tipurile fundamentale de suduri, cu arc electric : S_{cc} - suduri cap la cap ; S_{co} - suduri de colț.

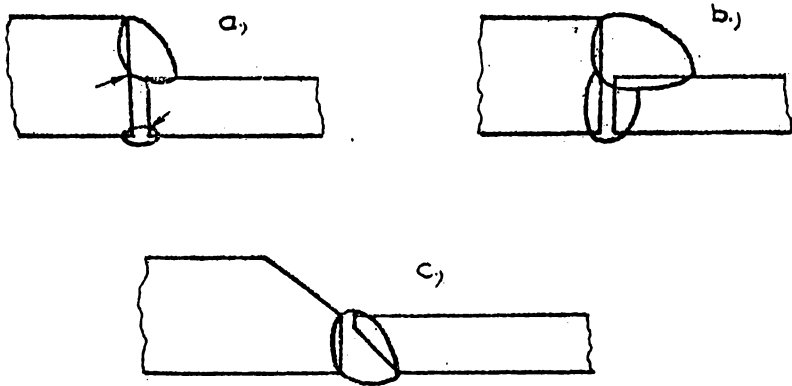


Figura 111. Modurile de a realiza sudarea componentelor de grosimi diferite :

- a - nu se recomandă a fi folosită;
- b - bună însă cu consum mare de materiale de adaos;
- c - cea mai bună: consum minim de materiale de adaos.

CAPITOLUL 2.

ZONA INFLUENTATA TERMIC

2.1. Sudarea cu arc electric

Sudarea cu arc electric are trei componente principale pe care le-am prezentat în capitolul 1. Cea mai dificilă parte a îmbinării sudate este zona influențată termic. Această zonă are o structură neomogenă din toate punctele de vedere. Lângă sudură grăunții cristalini sînt mari și scad pe măsură ce ne îndepărtăm de cusătură. În zona influențată termic are loc finisarea cristalelor și totodată anumite elemente migrează conform fluxului de căldură. Din cauza acestor caracteristici zona influențată termic este componenta cea mai dificilă față de cusătură și de materialul de bază.

Studiile statistice prezentate de documentele Institutului Internațional de Sudură arată că avariile pornesc în majoritate în Z.I.T. Se arată de asemenea că dacă apare o fisură în cusătură, ea nu rămîne în cusătură, propagîndu-se prin Z.I.T și metalul de bază.

Aceste date arată că studiul Z.I.T-ului este foarte important în securitatea sudurilor.

2.2. Zona influențată termic, este studiată cu multă atenție pentru că, așa cum am arătat, inițierea ruperii pornește în cele mai multe cazuri în Z.I.T.

S-au propus diferite metode pentru aprecierea capacității Z.I.T-ului de a rezista la rupere fragilă. În prezent se folosește duritatea Z.I.T-ului. La oțelurile nealiate, puțin și mediu aliate capacitatea Z.I.T-ului de a rezista la eforturi în producție se apreciază prin duritatea maximă din Z.I.T.

Duritatea Z.I.T-ului se determină experimental făcînd suduri cu diferite tehnologii. Sudurile sînt apoi sacrificate și se determină duritatea. Metoda aceasta are dezavantajul că sudura trebuie sacrificată pentru a face probele necesare.

539728
219 D

Această metodă este costisitoare pentru că trebuie să tăiem sudura ceea ce cere mult material, mult timp.

2.3. Pentru a economisi material, energie și muncă s-au făcut studii pentru a corela duritatea maximă din Z.I.T. cu compoziția chimică a oțelurilor. De pe acum avem relații de felul arătat

În tabelul 2.1. sînt prezentate principalele relații elaborate pînă în prezent.

TABELUL 2.1.

Relații cunoscute pentru calculul durității maxime din Z.I.T.

Autori	Notație	Si	Mn	Cu	Hi	Cr	Mo	V	Hb	B
IIS/IIW	CE	-	1/6	1/15	1/15	1/5	1/5	1/5	-	-
Ho-Bessyo	Pcm	1/30	1/20	1/20	1/60	1/20	1/15	1/10	-	5
BL70 H _∞	CEK	1/12	1/5	1/8	1/36	1/8	1/4	-	1/3	17
BL70 Y5	CEY5	-	1/5	1/3	1/17	1/9	1/3	-	-	15
BL70 ∞ k	CE ∞ K	1/13	-	-	1/51	-	1/8	1/3	1/3	-
HSC-Y	CegI	1/24	1/6	1/15	1/40	1/6	1/4	1/5	1/5	10
HSC-Y	CegII	1/30	1/5	1/5	1/20	1/4	1/6	-	-	-
Beckert	Ceg B	1/11	1/2,9	1/3,9	1/17	1/32	1/3,4	-	-	-
Dueren	Ce B	1/11	1/8	1/9	1/17	1/5	1/6	1/3	-	-
Terasaki	Pv	-	1/3	1/5	1/8	1/12	1/2	-	-	-
Tera B	Pv	-	1/3	1/4	1/8	1/10	1/3	-	-	5
Tera P _{v0}	P _{v0}	1/2	-	-	-	1/7	1/2	1	1	7
Jis	Ceg	1/24	1/6	-	1/40	1/5	1/4	1/4	-	-

Carbonul are coeficientul 1

Cercetările au continuat și recent, s-au elaborat alte relații mai complexe și mai aproape de realitate.

Aceste relații sînt prezentate în paragraful 2.4.

2.4. Noile relații pentru calculul durității maxime, notată cu HM bazate pe curba logistică arătată în figura 2.1.

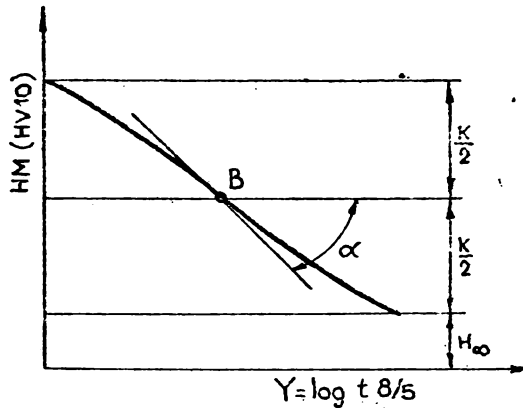


Figura 2.1. Relația între HM și Log $t^{8/5}$ are forma unei curbe logistice

În tabelul 2.2. sînt date valorile normale ale parametrilor cu care vom lucra în teză.

TABELUL 2.2.
Valorile normale ale datelor folosite

δ mm	ϵ kg/cm	v_{pr} $^{\circ}C$	δ	ϵ	α	β
> 20	6...15	20...200	993	1,22	0,94	0,00070
20	15...50	"-	$966 \cdot 10^5$	3,30	1,61	-0,00068
25	"-	"-	1,31	0,274	1,15	0,00111
30	"-	"-	3,51	0,345	0,97	0,00103
≥ 40	"-	"-	63200	1,970	0,96	-0,00004

Notațiile au următoarele înțelesuri

- δ = grosimea componentelor în mm
- ϵ = energia arcului electric în kJ/cm
- v_{pr} = temperatura de preîncălzire $^{\circ}C$
- α = panta curbei logistice

Ca valoare, α se calculează cu relația :

$$\operatorname{tg} \alpha = - \frac{\alpha K}{4} \quad (2.1)$$

iar τ , ϵ , α și β sînt valori de corecție.

Relația între duritatea maximă din Z.I.T, HM și compoziția chimică a oțelurilor :

$$HM = H_{\infty} + \frac{K}{1 + e^{\alpha(Y - Y_5)}} \quad (2.2)$$

$$Y = \log t^{3/5}$$

$$H_{\infty} = HM \text{ la } t^{3/5} = 60 \text{ s}$$

$$K = H_m + H_{\infty} = (894.C + 287) - H_{\infty}$$

H_m - este duritatea în Z.I.T. cînd structura este martensitică.

Panta curbei logistice în punctul de simetrie B, notată cu α se determină :

$$\operatorname{tang} \alpha = - \alpha K / 4 \quad (2.3)$$

Perfecționată și notată cu BL70 în două variante : una fără P_{cm} și a doua cu P_{cm}

BL 70

$$HM = H_{\infty} + \frac{K}{1 + e^{\alpha(f - Y_5)}} \quad (2.4)$$

$$K = 269 + 454.C - 36.Si - 79.Mn - 57.Cu$$

$$- 12.Ni - 53.Cr - 122.Mo - 169.Nb - 7099.B$$

$$H_{\infty} = 894.C + 287 - K$$

$$\alpha K = 478 + 3364.C - 256.Si + 66.Ni - 409.Mo$$

$$- 1321.V - 1559.Nb$$

$$\alpha = (\alpha K) / K$$

$$Y_5 = - 0,095 + 2,070.C + 0,459.Mn + 0,655.Cu$$

$$+ 0,122.Ni + 0,222.Cr + 0,799.Mo + 30.B$$

Formula BL 70 se poate scrie mai simplu dacă se folosește P_{cm} :

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn+Cu+Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5.B \quad (2.5)$$

Această variantă a primit indicativul BL 70S

$$HM = H_{\infty} + \frac{K}{1 + e^{\alpha(Y - Y_F)}} \quad (2.6)$$

$$K = 237 + 1633.C - 1157.P_{cm}$$

$$H = 884.C + 287.K$$

$$\alpha K = 566 + 5532.C - 2280.P_{cm}$$

$$Y_F = -0,0300 - 6,00.C + 7,77.P_{cm}$$

În cazul oțelurilor cu carbon, și mangan scăzut, adică între limitele :

$$0,10 \dots 0,17 \% C \quad 0,65 \dots 1,10 \% Mn$$

Valorile lui HM sînt mai mari din calcul, față de cele determinate. Acelaș fenomen are loc dacă oțelul a fost în prealabil normalizat. Lucrurile se corectează folosind pentru Y_F relația :

$$Y'_F = Y_F + 0,220.(Mn-1,5) = -0,03 + 6,00.C + 7,77.P_{cm} + 0,220 \quad (2.7)$$

În ceea ce privește calculul lui $t_{8/5}$, se propune relația:

$$t_{8/5}(s) = \frac{F \cdot \tau}{(600 - \sqrt{pr})} \cdot Q^{(\alpha + \beta \cdot \sqrt{pr})} \quad (2.8)$$

F=depunere pe plăci cu suduri largi

0,9 sudarea primei treceri la rost în V

0,67 sudarea de colț a primei treceri,

la componente cu grosimi peste 20 mm

0,45...0,67 sudarea de colț a primei

treceri la componente cu grosimi sub 20 mm.

2.5. În teza de doctorat ne-am propus să verificăm relațiile pentru duritatea maximă din Z.I.T. la oțelurile folosite la recipientii de stocare a petrolului și a derivatelor sale.

Am ales patru feluri de oțeluri pentru recipientii: 16Ni35

R52, K52 și K41.

În tabelul 2.3. se prezintă compozițiile chimice ale oțelurilor.

TABELUL 2.3.

Compozițiile chimice ale oțelurilor.

Marca de oțel	Nr. Standard	Compoziția chimică, % (pe produs)							
		C	Mn	Si	P _{max}	S _{max}	Cr	Ni	Alte alem.
K41	STAS 2883/3- 80	max 0,22	min 0,47	max 0,37	0,050	0,050	-	-	-
K52	STAS 2883/3- 80	max 0,24	0,85.. 1,65	0,38.. 0,62	0,045	0,045	-	-	-
R52	STAS 2883/2- 80	max 0,20	1,05.. 1,65	0,15.. 0,50	0,040	0,040	max 0,30	Al= max 0,020 V= max 0,15	
10Ni35	STAS 10382- 80	max 0,13	0,28.. 0,64	0,13.. 0,37	0,040	0,040	-	3,10 3,90	Al= 0,20.. 0,060

În tabelul 2.4. sînt date caracteristicile mecanice ale oțelurilor.

TABELUL 2.4.

Caracteristici mecanice la tracțiune ale oțelurilor pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi înalte

Marca oțelului	Limita de curgere N/mm ² , minimum			Rezistența la rupere	
	$\delta \leq 16$	$16 < \delta \leq 40$	$40 < \delta \leq 60$	N/mm ²	% minimum
K41	255	245	225	400...490	22
K52	325	315	295	510...610	19

δ = grosimea tablelor

TABELUL 2.5.

Caracteristici mecanice la tracțiune ale oțelurilor
pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi joase.

Marca oțelului	Limita de sarcină $R_{p0,2}$ N/mm ²				Rezistența la rupere N/mm ²	Alungirea la rupere $A_{r,0}$ minimum	
	$\delta \leq 16$	$\delta < 17-35$	$\delta < 36-50$	$\delta < 51-70$		$\delta \leq 70$	$\delta \leq 25$ $\delta < 26-70$
R52	350	340	330	325	510...610	20	17
10N135	340	450	410	400	440...640	20	17

δ - grosimea tablelor

CAPITOLUL 3.

MATERIALE ȘI PROCEDEE DE CERCETARE

3.1. Oțelurile pentru recipienti

Oțelurile pentru recipienti sînt de trei feluri : oțeluri de uz curent, oțeluri care rezistă la frig și oțeluri care rezistă la cald. Aceste oțeluri au fost prezentate în tabelele 2.3, 2.4 și 2.5.

Oțelurile respective au avut grosimile de 10 mm, iar lungimea și lățimea tablelor au fost de 300 mm, 250 mm.

3.2. Programul de lucru pentru partea experimentală a fost următorul :

3.2.1. Depunerea de suduri pe plăci cu procedeul de sudare sub flux.

Am folosit procedeul de sudare sub flux pentru că :

- sudarea nu depinde de sudor,
- parametrii tehnologici sînt constanți, între limite apropiate, astfel că depunerile nu variază de la o tablă la alta
- parametrii tehnologici la depuneri au fost următorii :

$$I_s = 500 \text{ A}$$

$$U_a = 30...32 \text{ V}$$

$$V_s = 50 \text{ cm/min}$$

$$d_e = 4 \text{ mm}$$

$$\text{Fluxul} = \text{FL 60.3C}$$

$$\text{sîrmă} = 510 \text{ Mn 1 Ni 1}$$

3.2.2. Sudarea între plăci de aceeași calitate în o trecere

Parametrii tehnologici la această sudare au fost :

$$I_s = 500 \text{ A}$$

$$U_a = 30 - 32 \text{ V}$$

$$V_s = 50 \text{ cm/min}$$

$$d_e = 4,0 \text{ mm}$$

Fluxul = FC 603C

sîrmă = S10 Mn 1 Ni 1

3.2.3. Sudarea între plăci de aceeași calitate, prin două treceri

Parametrii tehnologici la această sudare au fost :

$$I_s = 500 \text{ A}$$

$$U_a = 30 - 32 \text{ V}$$

$$V_s = 50 \text{ cm/min}$$

$$d_e = 4,0 \text{ mm}$$

Fluxul = FC 603C

sîrmă = S 10 Mn 1 Ni 1

3.3. Din sudurile respective s-au prelevat epruvete pentru a vedea structura cusăturii și Z.I.T-ului, precum și mărimea grăunților din Z.I.T.

3.4. Din depunerea pe plăci și sudurile făcute s-au fotografiat aspectele Z.I.T-ului și structurile care apar în cele trei moduri de sudare

Sudurile au fost cercetate micro structural și macrostructural.

În primul rînd s-au determinat elementele geometrice ale sudurilor și depunerilor. În cele ce urmează se prezintă geometria sudurilor depuse; s-au calculat după secțiune următoarele :

- înălțimea cusăturii (a)
- lățimea cusăturii (b)
- pătrunderea cusăturii (P)

TABELUL 3.1.

Înălțimea, lățimea, strănderea cusăturii la sudarea de depunere, sudarea cu o trecere, sudarea cu două treceri pentru cele patru oțeluri

Sudură de depunere			
Marca oțel	a (mm)	b (mm)	P (mm)
10V135	2	12	4
K52	2	12,5	4,5
K41	1,2	13	5
R52	1,5	13	4,5
Sudură cu o trecere			
10V135	1	16	5,5
K52	2	19	6
K41	2	16,5	7
R52	2,5	16	7
Sudură cu două treceri			
10V135	2	16	6
K41	2	18	5
K52	2	19	4
R52	2,5	20	4,5

CAPITOLUL 4.

METALE SI ALIAJE METALICE
FOLOSITE LA RECIPIENTI

4.1. Diagrama de echilibru Fe - Fe₃C

Carbonul este elementul de aliere cel mai important al Fe deoarece in oțelurile laminare, la fiecare 0,1 % C, R_m crește cu cca. 9 daN/mm², iar R_{p 0,2} cu 4 - 5 daN/mm². Același efect

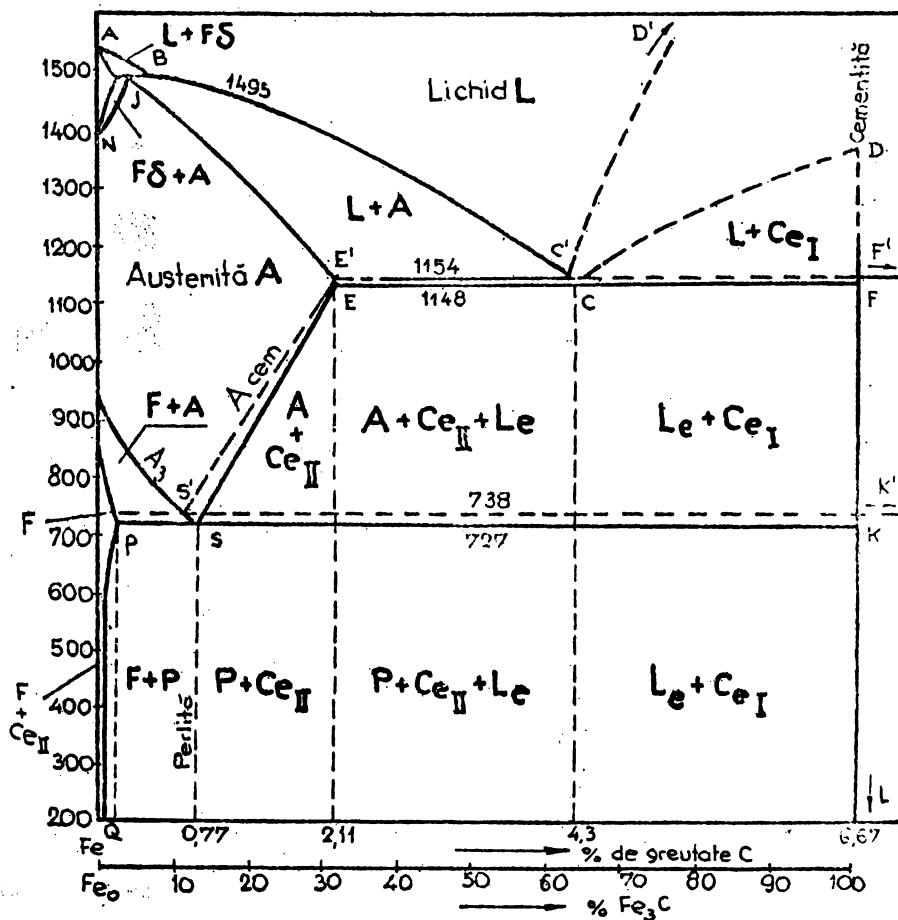


Figura 4.1. Diagrama de echilibru Fe - Fe₃C

se poate obține prin adăosuri de 1 % Mn, Si, Cr sau alte elemente. Carbonul are, față de celelalte elemente o putere de acțiune de cca. 10 ori mai mare.

Alături de Fe și C, aliajele industriale mai conțin mici cantități de Mn, Si, P, S ca elemente însoțitoare permanente, rezultate din procesul de elaborare, iar uneori și elemente adăugate în mod voit (Cr, Mo, V, W, Co etc.) pentru obținerea unor proprietăți particulare. În aliajele sale cu Fe, C se poate găsi sub formă de carbură de fier (Fe_3C) numită cementită, sub formă de soluții solide (ferită, austenită, ferită δ), sau sub formă de grafit.

Corespunzător formelor elementare de existență a C nedizolvat în soluțiile solide, apar două diagrame de echilibru (figura 4.1) : Fe - C sau fier - grafit (diagrama de echilibru stabil - trasată cu linie întreruptă) și Fe - Fe_3C sau fier - cementită (diagrama de echilibru metastabil - trasată cu linie continuă). La viteze de răcire extrem de mici, C apare sub formă de grafit, iar la viteze ceva mai mari cristalizează sub formă de cementită. Echilibrul cu cementita este metastabil, deoarece prin încălziri de durată la temperaturi înalte și în prezența Si se descompune în componentele sale Fe și C, dar în condițiile practice de utilizare a aliajelor (temperatură - presiune) se prezintă suficientă stabilitate, oțelurile și fontele albe făcând parte din acest sistem. Cementita este o carbură de fier, Fe_3C , care conține 6,67 % C și are o rețea cristalină ortorombică, formată din octaedri de atomi de fier cu câte un atom de C în centrul fiecărui octaedru.

În ansamblu, legătura fiind preponderent metalică, cementita posedă proprietăți metalice: luciu metalic și conductibilitate electrică. Datorită complexității rețelei cristaline și a prezenței unor componente nemetalice ale legăturii interatomice, această fază are o duritate foarte ridicată ($HB \approx 800 \text{ daN/mm}^2$), o tenacitate și ductilitate aproape de zero și o rezistență la rupere prin tracțiune neglijabilă ($R_m \approx 4 \text{ daN/mm}^2$).

Delimitarea tehnologică între oțeluri (aliaje forjabile) și fonte (aliaje de turnare, nedeformabile plastic), este indicată de punctul E (2,11 % C) al diagramei Fe - Fe_3C , punct care corespunde solubilității maxime în stare solidă a C în Fe.

Aliajele cu un conținut de pînă la 2,11 % C sînt considerate oțeluri deoarece prin încălzire cristalele fragile de carbură de fier se dizolvă, rețeaua cristalină cubică cu fețe concentrate Fe γ permițînd o dizolvare integrală a C prezent în aliaj.

Aliajele cu peste 2,11 % C poartă denumirea de fonte: prin încălzire, ele nu pot fi aduse în totalitate în stare de soluție solidă aptă de deformare plastică întrucît conținutul lor în C depășește limita maximă de solubilitate în Fe; excesul de C este prezent în fontele albe sub formă de cementită, iar în cele cenușii sub formă de grafit.

În raport cu concentrația în C a punctului S (punct eutectoid) oțelurile se împart în următoarele trei clase :

- oțeluri hipoeutectoide, care conțin pînă la 0,77 % C și prezintă, la temperatura ambiantă, o structură alcătuită din ferită și perlită;

- oțel eutectoid, care conține 0,77 % C și are, la temperatura ambiantă, o structură perlitică;

- oțeluri hipereutectoide, care au $0,77 < C \leq 2,11$ și o structură formată din perlită și cementită secundară.

Fontele albe au carbonul legat sub formă de cementită și prezintă în ruptură un aspect alb - argintiu. În funcție de concentrația în C a punctului eutectic (C) aceste aliaje se împart în : fonte albe hipoeutectice ($2,11 < C < 4,3$), fonte albe eutectice ($4,3 \% C$) și fonte albe hipereutectice ($4,3 < C < 6,67$).

4.2. Oțeluri carbon

Oțelurile carbon (nealiat) conțin, pe lângă Fe și C, o serie de elemente însoțitoare ca Mn, Si, P, S, Cu, Ni, H, rezultate din procesul de elaborare și care exercită anumite influențe asupra proprietăților.

În funcție de conținutul în C, se obișnuiește să se împartă oțelurile cu carbon în 3 categorii :

- oțelurile cu puțin carbon au compozițiile chimice între limitele 0,10 ... 0,25 % C; 0,2 ... 1,5 % Mn; P < 0,04 % ; S < 0,05 % ;

- oțelurile cu conținut mediu în carbon au compozițiile chimice între limitele: 0,25 ... 0,50 % C; 0,6 ... 1,65 % Mn; P < 0,04 % ; S < 0,05 % ;

- oțelurile cu conținut mare în carbon au compozițiile chimice între limitele: 0,5... 1 % C; 0,3 ... 1 % Mn; P < 0,03 %; S < 0,03 %.

Aceste materiale sînt foarte utilizate în toate ramurile economiei naționale. În unele cazuri, oțelurile carbon hipoeutectoide se întrebuintează sub formă de laminate și piese forjate, fără un tratament termic special.

Dacă se necesită obținerea unor proprietăți mecanice ridicate, ele pot fi supuse tratamentelor termice sau termochimice. Oțelurile eutectoide și hipereutectoide sînt destinate fabricării sculelor pentru prelucrări prin deformare plastică la rece și la cald, a instrumentelor de măsură și chiar a unor scule așchietoare; de fiecare dată ele sînt supuse unui tratament termic.

4.3. Influența conținutului în carbon asupra proprietăților oțelului

Proprietățile oțelurilor nealiatate sînt determinate în principal de conținutul în C (prin proporția de cementită) și de forma, mărimea și distribuția cristalelor de ferită și cementită. O dată cu creșterea concentrației în C, se mărește cantitatea de cementită (fig. 4.2,b) ajungînd pînă la 30 % pentru un oțel cu 2,11 % C. Particulele dure și fragile de cementită măresc rezistența la deformare și micșorează puternic caracteristicile de tenacitate și ductilitate. Așadar, pe măsura ridicării concentrației în C din oțel, apare o creștere a rezistenței la rupere prin tracțiune R_m , a limitei tehnice de curgere $R_{p 0,2}$, a durității HB și o scădere a alungirii la rupere A, a gîturii la rupere Z și a rezilienței (figura 4.2,a).

Fiecare adaos de 0,1 % C ridică pragul de fragilitate la rece în medie cu 20°C și lărgeste intervalul de temperatură între starea ductilă și cea fragilă. La concentrații de peste 0,9 ... 1,1 % C (16 - 17 % Ce), deși duritatea oțelului recopt crește, rezistența la rupere și limita de curgere scad. Acest lucru se explică prin separarea Ce II sub formă de rețea celulară care întrerupe legătura dintre cristalele mai tenace de perlită și nu permite repartizarea uniformă a deformațiilor la curgere plastică.

Referitor la proprietățile fizice, se face observația că, odată cu creșterea conținutului în C, se mărește forța coercitivă și rezistivitatea electrică, iar celelalte caracteristici scad.

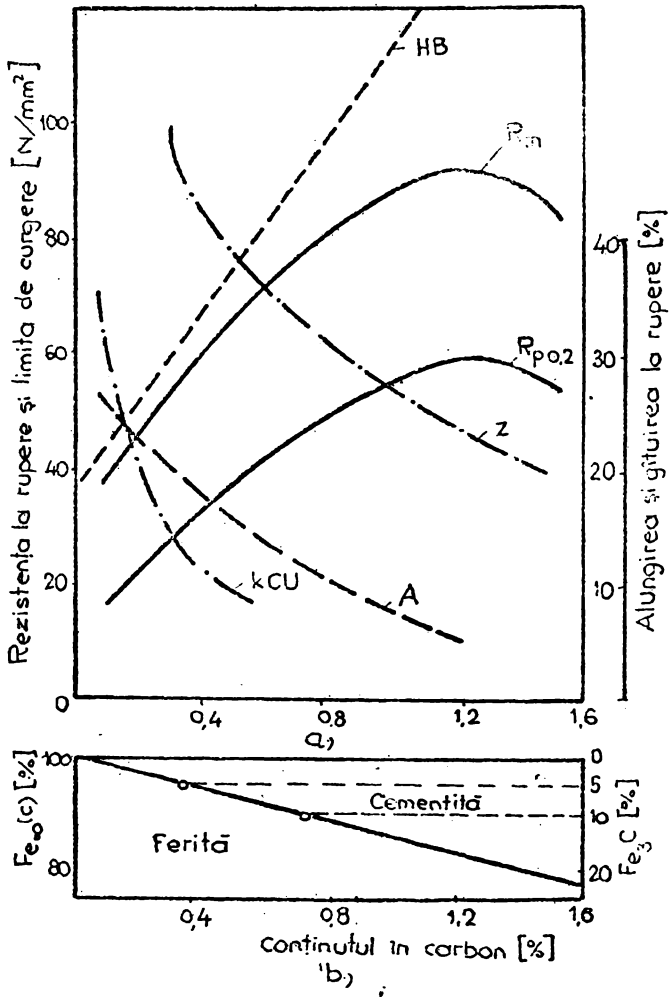


Figura 4.2. Variația proprietăților mecanice ale oțelurilor nealiate cu conținutul în carbon.

4.4. Influența elementelor însoțitoare asupra proprietăților oțelului

Influența siliciului și a manganului. În oțelurile carbon conținutul de Si nu depășește în general 0,35 - 0,40 %, iar cel de Mn 0,50 - 0,80 %. Ambele elemente apar în oțel în cursul deoxidării, eliminând protoxidul de fier, FeO și trecând în zăbur sub formă de oxizi; astfel contribuie la îmbunătățirea proprietăților oțelului. În același timp, siliciul (rămas după deoxidare), dizolvat în ferită, provoacă creșterea puternică a limitei de curgere și deci înrăutățește capacitatea de prelucrare prin ambutisare și mai ales prin refulare la rece. De aceea, oțelurile prevăzute pentru asemenea utilizări trebuie să aibă un conținut redus în siliciu.

Influența sulfurii. Sulfurul ajunge în oțel din minereuri, din coacă sau din gazele de ardere ale cuptoarelor. El formează un compus chimic FeS (faza ϵ), practic insolubil în fier. La rândul său FeS formează cu Fe un eutectic ușor fuzibil al cărui punct de topire este de $988^{\circ}C$. Acest eutectic apare deja la conținuturi foarte reduse în S și solidificându-se ultimul se va depune în special pe limitele grăunților. În timpul încălzirii pentru prelucrare prin deformare plastică la cald, ($T = 1000...1200^{\circ}C$) ca urmare a topirii eutecticului, pot apărea fisuri și crăpături în material; acest fenomen este cunoscut sub denumirea de fragilitate la cald. Prezența în oțel a Mn caracterizat printr-o afinitate mai mare pentru S decât Fe și care formează compusul MnS cu punct de fuziune ridicat ($T_f = 1610^{\circ}C$), diminuează fenomenul de fragilitate. Sulfura de Mn cristalizează prima din soluția lichidă, deci va avea o distribuție uniformă și în timpul deformării la cald se va alungi în sensul de laminare. Incluziunile de S înrăutățesc proprietățile mecanice și în special tenacitatea, reziliența și ductilitatea (A, Z) (în sens transversal față de direcția de laminare și forjare), precum și limita de oboseală; de asemenea, provoacă o înrăutățire a comportării la sudare și a rezistenței la coroziune. În funcție de calitatea oțelului, sulfurul este limitat la 0,03% ... 0,060 %.

Influența fosforului. Fosforul este solubil atât în $Fe\alpha$ cât și în $Fe\gamma$, iar la concentrații mari formează compusul Fe_3P ,

care conține 15,6 % P. Coeficientul de difuzie al P în Fe este mai mic decât al C și astfel P dă naștere unor segregării importante. Dizolvându-se în ferită, P mărește R_m și R_p 0,2, dar micșorează considerabil rezistența A și Z. Înfrățirea caracteristicilor de tenacitate și ductilitate este cu atât mai pronunțată cu cât conținutul în C al oțelului este mai mare; fiecare adaos de 0,01 % P ridică pragul de fragilitate la rece cu 20...25°C. Pentru majoritatea oțelurilor P este o impuritate limitată la 0,025 - 0,045 %.

Influența S, O și H. Azotul și oxigenul apar în oțeluri sub formă de incluziuni nemetalice fragile (de ex. oxizi FeO , SiO_2 , Al_2O_3 , nitruri Fe_4N etc.), de soluție solidă, sau se află în stare liberă în porțiunile cu defecte ale materialului (sufluri, retasuri etc.). Deoarece incluziunile nemetalice sînt concentrați de tensiune, atunci cînd ele se află în cantitate mare și sînt dispuse sub forma unor aglomerări zonale, afectează sensibil limita de oboseală și reziliența. Hidrogenul dizolvat în oțel este un element cu acțiune fragilizantă. Absorbit în timpul elaborării, H determină formarea fulgilor în piesele mari prelucrate prin forjare și sudare. Fulgii sînt fisuri microscopice cu formă ovală, determinate probabil de presiunea exercitată de hidrogenul molecular care se degajă în pori și alte discontinuități ale metalului. Pentru eliminarea H_2 din straturile superficiale ale pieselor, se recomandă încălzirea acestora în vid (10^{-2} ... 10^{-3} mm Hg) la temperaturi de 150 ... 180°C.

4.5. Oțeluri carbon de construcție

Oțelurile carbon de construcție sînt elaborate în cuptoare Martin, Bessemer, sau în convertizoare cu insuflare de oxigen și au un conținut în C de pînă la 0,5 - 0,6 %. După condițiile și gradul de dezoxidare se disting trei grupe de asemenea oțeluri :

- oțeluri calmate, (cu peste 0,17 % Si) care sînt dezoxidate complet, deci conțin o cantitate minimă de protoxid de fier, asigurînd o solidificare "calmă" a aliajului în lingotieră;
- oțeluri necalmate (cu sub 0,07 % Si), care sînt dezoxidate insuficient în special cu ferosiliciu, motiv pentru care conțin o cantitate mare de FeO . În timpul solidificării, are loc reacția FeO cu C din aliaj, dînd naștere la CO . Degajarea bulelor

astfel produse face ca materialul să fie efervescent. Comparativ cu oțelurile calmate, oțelurile necalmate au preț de cost mai redus, o capacitate mărită de prelucrare prin ambutisare la rece și o comportare mai slabă la sudare;

- oțeluri semicalmate (cu 0,07 ... 0,17 % Si), care sînt intermediare între cele analizate anterior; ele capătă o extindere tot mai largă în practica industrială. După duritate, în raport cu conținutul în C, oțelurile se împart în: extra-moi, sub 0,10 % C; moi, cu 0,10 ... 0,25 % C; semi-moi, cu 0,25 ... 0,40 % C; semidure, cu 0,40 ... 0,60 % C; dure, cu 0,60 ... 0,70 % C; foarte dure, cu 0,70 ... 0,80 % C.

4.6. Oțeluri carbon de uz general

Se prelucrează prin deformare plastică la cald, livrîndu-se sub formă de semifabricate (blumuri, țagle), laminate finite (profile simple și fasonate, table, benzi, sîrme etc.) și bare forjate. În general, ele nu se tratează termic și numai rareori se supun unei normalizări. Sînt folosite în mod curent la construcții metalice și construcții mecanice pentru care nu se prescriu condiții tehnice deosebite; sînt cele mai ieftine oțeluri și se prelucrează ușor prin așchiere, deformare la rece și sudare. Simbolizarea lor se face prin literele OL, urmate de două cifre care indică rezistența minimă la rupere prin tracțiune exprimată în daN/mm^2 și de una din cifrele 2, 3 sau 4, care reprezintă clasa de calitate. Dacă clasa de calitate este 1, aceasta nu se mai trece în simbolul mărcii de oțel.

4.7. Oțeluri carbon de calitate

Se elaborează în cuptoare Martin și pot fi calmate sau necalmate. Specificațiile prevăzute pentru aceste oțeluri referitoare la compoziția chimică (limite ale conținutului în C, conținut scăzut în S și P), la incluziunile nemetalice și la macro și microstructură sînt prevăzute în standarde. Se livrează sub formă de semifabricate laminate și sînt destinate confecționării diferitelor piese în construcția de mașini cu aplicarea de tratamente termice.

Simbolizarea lor se face prin literele OLC, urmate de la 10 la 60, care indică conținutul mediu de C exprimat în sutimi de procente.

Oțelurile de cementare se tratează termic numai în stratul superficial al piesei îmbogățit în C printr-un tratament termochimic prealabil. Oțelurile cu conținut mediu și ridicat în carbon (OLC 25 ... OLC 60), numite și oțeluri de îmbunătățire, se tratează termic direct.

4.8. Oțeluri pentru automate

Sînt oțeluri care au conținut ridicat în S și P, laminate la cald sau trase la rece și destinate prelucrării cu viteze mari de așchiere pe strunguri automate. Ele se livrează sub formă de bare, avînd secțiune rotundă, pătrată sau hexagonală. Intr-un asemenea oțel, sulful dă naștere sulfurii de Mn care apare sub formă de incluziuni alungite în sensul de laminare și contribuie la fragmentarea și detașarea ușoară a așchiilor.

Fosforul îmbunătățește duritatea și rezistența, micșorează plasticitatea și totodată favorizează obținerea prin așchiere a unei suprafețe netede și lucioase. Oțelurile pentru automate se simbolizează prin literele AUT urmate de cifre de la 12 la 40, care indică conținutul mediu în C, exprimat în sutimi de procente.

4.9. Oțeluri carbon turnate în piese

Sînt oțeluri calmate, elaborate în cuptoare Martin, în cuptoare electrice sau în convertizoare și turnate în piese. Au un conținut în C cuprins între 0,10 și 0,60 %, deci o structură de echilibru alcătuită din ferită și perlită. Se simbolizează prin literele OT (oțel termic), urmate de un grup de cifre de la 400 la 700, care indică rezistența minimă la rupere prin tracțiune exprimată în N/mm^2 și de o altă cifră de la 1 la 3, care arată grupe de calitate (exemplu: OT 400-1, OT 400-2, OT 400-3) :

- grupa 1, oțel cu prescripții pentru R_m și A;
- grupa 2, oțel cu prescripții pentru R_m , A și $R_p 0,2$;
- grupa 3, oțel cu prescripții pentru R_m , A, $R_p 0,2$, reziliență sau Z.

Pentru uniformizarea structurii de turnare (de tip

widmannstatten) și îmbunătățirea proprietăților mecanice, aceste oțeluri pot fi tratate termic prin recoacere completă, normalizare sau normalizare și revenire înaltă. Piesele turnate din aceste oțeluri sînt utilizate în general la temperaturi cuprinse între -10°C ... 300°C .

4.10. Elemente de aliere în oțeluri

Adaosul de elemente de aliere în oțeluri influențează transformările alotropice ale fierului, microstructura și temperaturile critice de transformare în stare solidă. În funcție de afinitatea față de C, ele se grupează astfel :

- elemente de aliere care nu formează carburi în oțel (Cu, Ni, Co, Al); ele se dizolvă în soluțiile solide (austenită, ferită), substituind o parte din atomii de fier;
- elemente de aliere care se dizolvă în cementită, care formează compuși intermetalici cu fierul, ca de exemplu: FeCr , Fe_3W_2 , Fe_3Mo_2 , FeV , Fe_3Si_2 , FeSi_2 etc.

4.11. Influența elementelor de aliere asupra transformărilor alotropice ale fierului

Toate elementele, cu excepția C, V, H și parțial a B, formează cu Fe soluții solide de substituție. Dizolvarea lor în Fe influențează puternic poziția punctelor critice A_3 și A_4 , care determină domeniul temperaturilor de existență a $\text{Fe}\alpha$ și $\text{Fe}\gamma$.

Acțiunea exercitată de elementele de aliere asupra formelor alotropice ale Fe permite clasificarea lor în două grupe :

- elemente de aliere gamagene (Mn, Ni, Pt), care coboară punctul A_3 și ridică punctul A_4 , măbind domeniul de existență al fazei γ și reducînd domeniul fazei α (figura 4.3.a) ; dacă concentrația în elementul de aliere este superioară celei indicate prin punctul X, aliajele nu mai suferă transformarea alotropică $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ și la orice temperatură se formează o soluție solidă de element de aliere în Fe γ . Aceste aliaje se numesc austenitice. Aliajele care suferă doar parțial transformarea $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ se numesc semiaustenitice. Tot în categoria elementelor gamagene intră și Cu, C, N, cu particularitatea că la concentrații mici în aliaj măresc domeniul fazei γ (figura 4.3. b),

dar solubilitatea lor în Fe fiind limitată, la conținuturi mai mari provoacă reducerea și chiar dispariția fazei δ ;

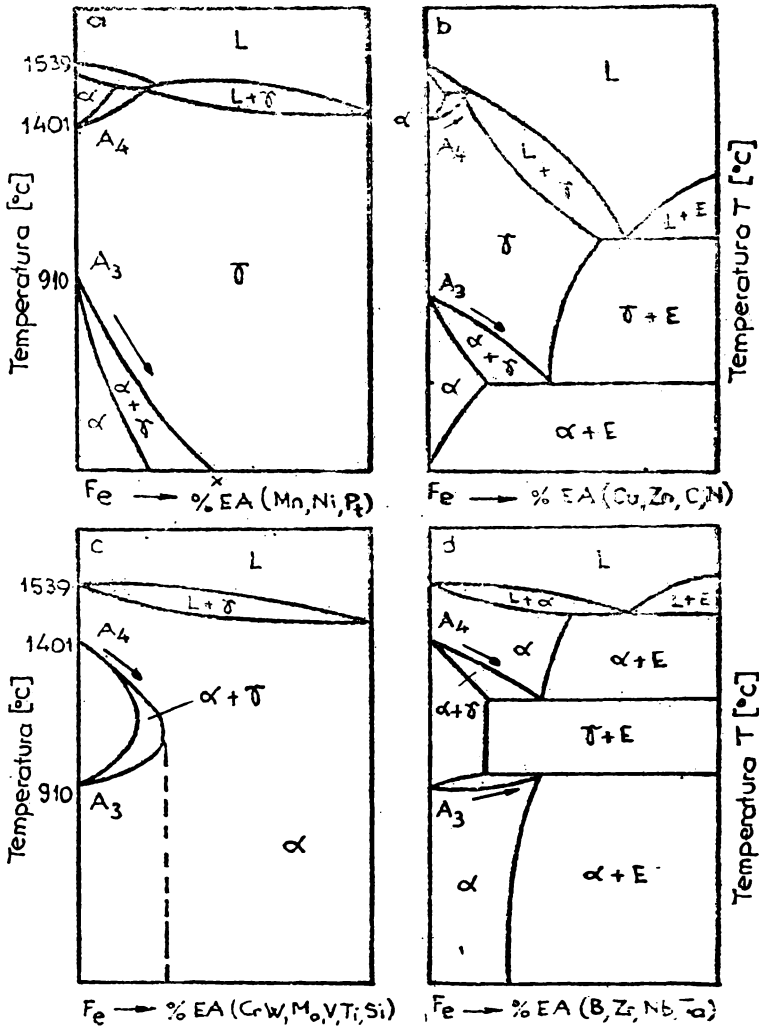


Figura 4.3. Diagrame de echilibru ale aliajelor binare, Fe - element de aliere

- elemente de aliere alifagene (Cr, W, Mo, V, Al, Si), care coboară punctul A₄ și ridică punctul A₃ pentru o anumită concentrație de asemenea elemente (punctul y din figura 4.3,c) liniile de transformare A₃ și A₄ se unesc închizând complet domeniul fazei δ .

La concentrații superioare punctului γ , indiferent de temperatură, structura aliajelor este formată dintr-o soluție solidă de elemente de aliere în $Fe \alpha$. Aceste aliaje se numesc feritice.

Dacă transformarea alotropică $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ nu se produce decât parțial, aliajele respective se numesc semiferitice. În grupa elementelor de aliere alfa-gene intră și B, Zr, Nb, care, chiar la conținuturi mici în aliaj, restrâng domeniul fazei gama. Deși solubilitatea lor în Fe este mică, structura aliajelor devine bifazică înainte ca domeniul fazei γ să fie închis (figura 4.3,d).

4.12. Influența elementelor de aliere asupra punctului din diagrama Fe - Fe₃C

Punctul eutectoid al diagramei de echilibru Fe - Fe₃C se află la 0,77 % C și T = 727°C. Elementele de aliere gama-gene (Ni, Mn) micșorează temperatura eutectoidului, iar cele alfa-gene (Ti, Mo, Si, W, Cr) o măresc. De asemenea, atât elementele alfa, cât și cele gama-gene (cu excepția Co) micșorează concentrația în C a eutectoidului (figura 4.4). De exemplu, la un oțel aliat cu 5 % Cr, concentrația în C a eutectoidului scade la 0,5 %, iar la un oțel cu 10 % Cr, punctul E corespunde concentrației de 0,25 - 0,30 % C.

4.13. Influența elementelor de aliere asupra punctului E din diagrama Fe - Fe₃C

Pe diagrama de echilibru Fe - Fe₃C, punctul E se află situat la 2,11 % C și T = 1148°C a concentrației în C a eutectoidului. Toate elementele de aliere, cu excepția Co deplasează punctul E spre concentrații mai mici în C, adică spre stînga (figura 4.5). La conținuturi mari în elemente de aliere, punctul E este deplasat atât de mult spre stînga, încît în structură se observă prezența ledeburitei chiar la concentrații în C de 0,7 ... 0,8 % (cazul oțelurilor înalt aliate pentru scule).

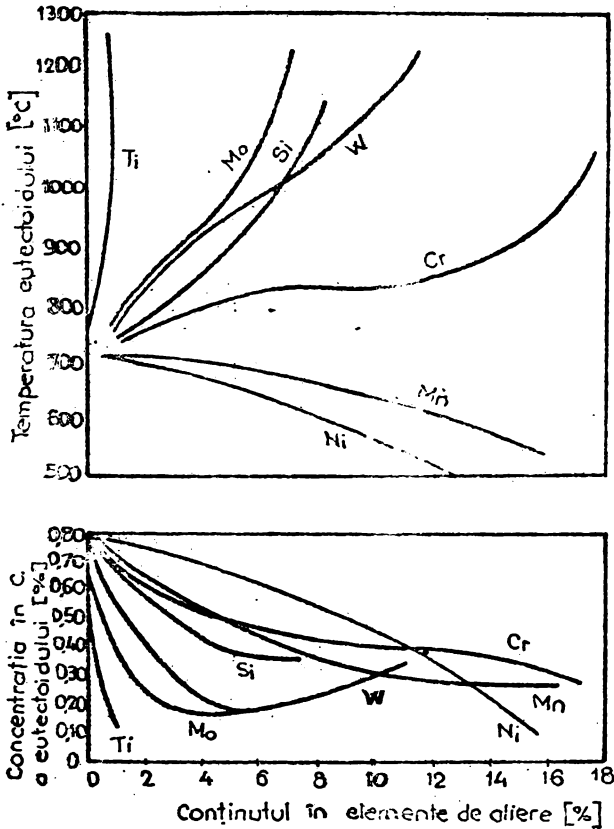


Figura 4.4. Influența elementelor de aliere asupra temperaturii și concentrației în C a eutectoidului.

4.14. Efectul elementelor de aliere asupra durității feritei.

Așa cum se observă în figura 4.6, elementele de aliere care se dizolvă în ferită provoacă o creștere a durității acesteia. Siliciul și manganul au o influență pregnantă asupra mărimii durității feritei, în timp ce Cr are un efect mult mai mic. De aceea, Cr este un element de aliere convenabil în oțelurile destinate prelucrărilor prin operații de presare la rece.

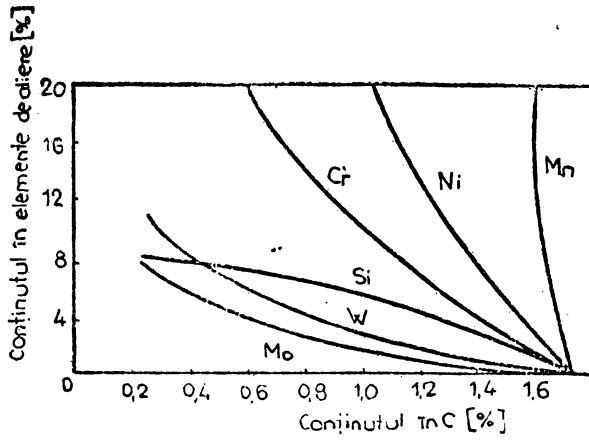


Figura 4.5. Influența elementelor de aliere asupra concentrației în C a punctului B.

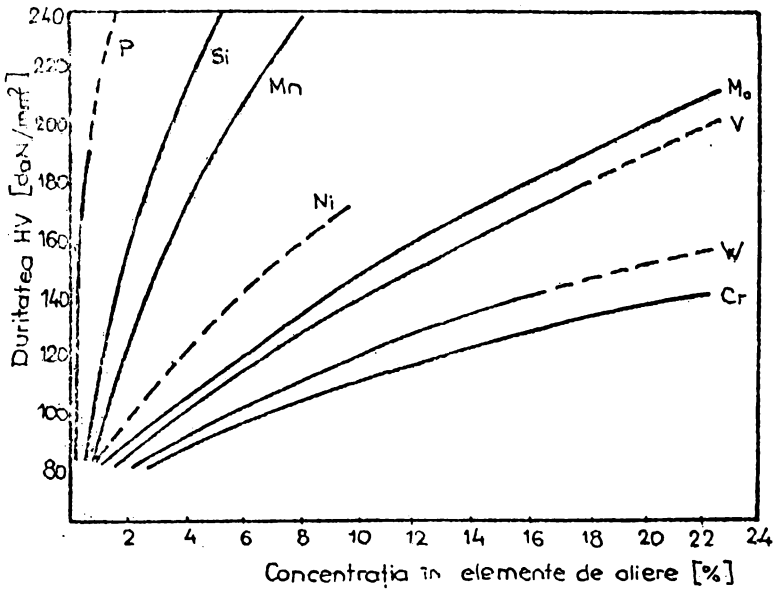


Figura 4.6. Influența elementelor de aliere asupra durității feritei

4.15. Efectul elementelor de aliere asupra fazelor de carburi

În funcție de creșterea afinității față de C și de stabilitatea fazelor de carburi formate, elementele de aliere carburigene se grupează astfel : Fe → Mn → Cr → Mo → W → Nb → V → Zr → Ti. La conținuturi mici de elemente carburigene (Mn, Cr, W, Mo) acestea se dizolvă în cementită înlocuind atomii de Fe. Compoziția cementitei se exprimă în acest caz prin formula $(FeM)_3C$ unde M este elementul de aliere. Astfel, la dizolvarea Mn în Ce, se formează carbura $(FeMn)_3C$; la dizolvarea Cr, apare carbura $(FeCr)_3C$.

Manganul poate înlocui toți atomii de Fe din rețeaua Ce ($Fe_3C \rightarrow Mn_3C$), Cr până la 25 % (at), Mo până la 3 % (st) și W doar 0,8 - 1 % (st). Elementele puternic carburigene (Ti, V, Nb, Zr) nu se dizolvă practic în Ce și formează carouri corespunzătoare.

În structura oțelurilor înalt aliate apar două grupe de carburi :

În prima grupă intră carburile de tipul M_3C , M_7C_3 , $M_{23}C_6$ și M_6C (M_4C) care au o rețea cristalină complexă. Ele se dizolvă relativ ușor în austenită prin carburile de tipul MC (VC, NbC, TiC, ZrC, TaC) cu rețea C.F.C. (rețea cubică cu fețe centrate), WC - cu rețea C.V.C. (rețea cubică cu volum centrat) W_2C și Mo_2C cu rețea hexagonală. Ele se caracterizează printr-o duritate mare și o temperatură ridicată de fuziune, nedizolvându-se în austenită în condiții reale de încălzire a oțelului.

4.16. Oțeluri pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi obișnuite și înalte.

1. Fabricația și utilizarea oțelurilor pentru recipiente sub presiune se realizează în condițiile unor exigențe tehnice sporite, comparativ cu cele întâlnite la oțelurile pentru structură portante obișnuite.

Nivelul ridicat al energiei totale de deformare acumulată într-un înveliș sub presiune justifică controlul atent, produs cu produs, al omogenității de compoziție chimică și de caracteristici

mechanice. Este necesară verificarea naturii și dimensiunii defectelor interne și de suprafață admise pe produsul finit.

TABELUL 4.1.

Caracteristici mecanice la tracțiune ale oțelurilor pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi înalte.

Marca oțelului	Limita de curgere ¹⁾ N/mm ² , minimum			Rezistența la rupere N/mm ²	Alungirea la rupere A ₅ %; minimum
	e ≤ 16	16 < e ≤ 40	40 < e ≤ 60		
1	2	3	4	5	6
K41	255	245	225	400...490	22
K47	295	275	265	460...550	20
K52	325	315	295	510...610	19
OLT35K	230	230	-	350...450	26
OLT45K	260	260	-	450...550	21
16Mo3	275 ²⁾	265 ²⁾	255	430...520	19
14CrMo4	305	295	285	430...550	18
10CrMo4	270	270	-	460...600	20
20VWMoCr12o	600	600	-	785...930	14

1) e - grosimea de produs;

2) pentru țevi, minimum 290 N/mm²

Pentru realizarea anumitor condiții prescrise pe fluxul de fabricație se pot folosi măsuri tehnologice ca :

- barbotarea cu argon ;
- desulfurarea avansată sau degazarea oțelului lichid ;
- turnarea continuă ;
- îndepărtarea prin flamare a defectelor de pe suprafața semifabricatelor ;
- controlul gradului de deformare la laminare prin cele trei direcții principale ;
- tratamentul termic.

Caracteristicile mecanice la tracțiune sînt date în tabelul 4.1. Aceste caracteristici se referă la starea de livrare normalizat sau îmbunătățit, conform indicațiilor din tabelul 4.2.

TABELUL 4.2.

Temperaturi pentru deformarea plastică la cald și tratamentul termic al oțelurilor pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi obișnuite și înalte.

Marca oțelului	Deformarea plastică la cald °C	Normalizarea °C	Calire °C	Revenire °C	Detensio-nare °C
1	2	3	4	5	6
K41		890...920			
K47	1100...950	—	-	-	530...580
K52		880...920			
OLT35		900...930			
OLT45	1100...950	870...900	-	-	530...580
16Mo3		910...940	-	-	530...620
14CrMo4	1100...850	-	910...940	650...720	1)
10CrMo10	1100...850	-	900...960	680...780	1)
10VnMoCr12o	1100...850	-	1020..1070	730...790	1)

1) Temperatura și durata de detensionare se stabilesc în funcție de utilizare, dar la parametrii inferiori celei de revenire.

Pentru utilizări la temperaturi moderate sau pe durate scurte în care nu intervine fluajul, cea mai importantă caracteristică de material este limita de curgere la cald. Valorile minime ale limitelor de curgere la cald asigurate la produsele plate și tubulare din mărcile de oțel standardizate se dau în tabelul 4.3

TABLEUL 4.3.

Valorile limitelor de curgere la cald ale produselor plate și tubulare din oțeluri pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi înalte.

Marca oțelului	Grosimea mm	Limita de curgere						$R_{p0,2}$	δ/mm^2
		200°C	300°C	400°C	450°C	500°C	550°C		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
K41	$\leq 16^1$)	205		138	136				
	17...40 ¹)	198	158	127	117	-	-	-	
	41...60 ¹)	198		117	98				
K47	$\leq 16^1$)	245	205		158				
	17...40 ¹)	220	183	158	142	-	-	-	
	41...60 ¹)	215	176		136				
K52	$\leq 16^1$)	265	227		177				
	17...40 ¹)	245	205	177	168	-	-	-	
	41...60 ¹)	227	192		158				
<u>OLT3EK</u>	$\leq 25^2$)	190	140	110	90	-	-	-	
<u>OLT4EK</u>	$\leq 25^2$)	210	160	130	110	-	-	-	
		260	210	180	170	150	-	-	
16Mo3	$\leq 16^1$)	245	198		162	158			
	17...40 ¹)	235	183	166	162	142	-	-	
	41...50 ¹)	220	176		158	136			
14CrMo4	$\leq 16^1$)	275	237	203		188			
	17...40 ¹)	265	227	203	199	188	-	-	
	41...60 ¹)	255	215	199		172			
10CrMo10	$\leq 25^2$)	280	240	210	200	180	-	-	
		250	230	210	200	100	-	-	
20VWMoCr12o	$\leq 25^3$)	339	490	441	-	373	216	137	

- 1) produse plate
- 2) produse tubulare
- 3) produse plate și tubulare

Variația cu temperatura a unor caracteristici fizice - modulul de elasticitate longitudinală și coeficientul de dilatare liniară se arată în figura 4.7.

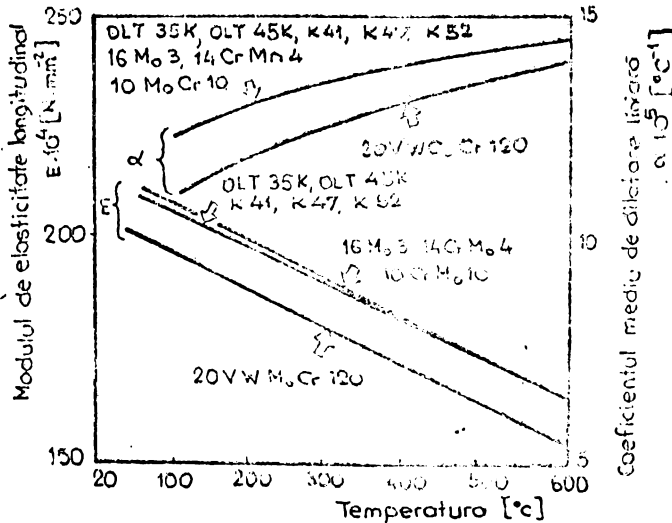


Figura 4.7. Variația cu temperatura a modului de elasticitate longitudinală și a coeficientului de dilatare liniară la oțelurile pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi înalte.

În domeniul de temperaturi și la durate de utilizare în care intervine fluaajul, verificarea comportării materialului se face prin încercări de fluaaj executate pe instalații specializate. Se prevede atingerea unor durate de încercare de până la 40000 h.

Prelucrarea rezultatelor urmărește determinarea la fiecare marcă de oțel a curbei de bază: tensiune de rupere la fluaaj/parametru timp - temperatură calculat cu relația :

$$P = (T/1000) (C - \log t)$$

unde : T (k) - temperatura

t - durata de încercare, în h

2. Rezultatele obținute la mărcile de oțel standardizate au permis stabilirea rezistențelor la fluaaj pentru durate de utilizare de până la 100000 h. În figura 4.8 se arată curbele

de variație a rezistenței la fluaj în funcție de temperatura de utilizare pentru produsele plate și tubulare din mărcile de oțel standardizate.

În cazul oțelurilor aliate de tip molibden și crom - molibden, în domeniul temperaturilor de 370-590°C se dezvoltă două procese de fragilizare: fragilizarea de revenire, la temperaturi inferioare celor la care intervine fluajul, care poate determina micșorarea cu până la 25 % a tenacității la + 20°C, cât și alungirea la rupere la fluaj.

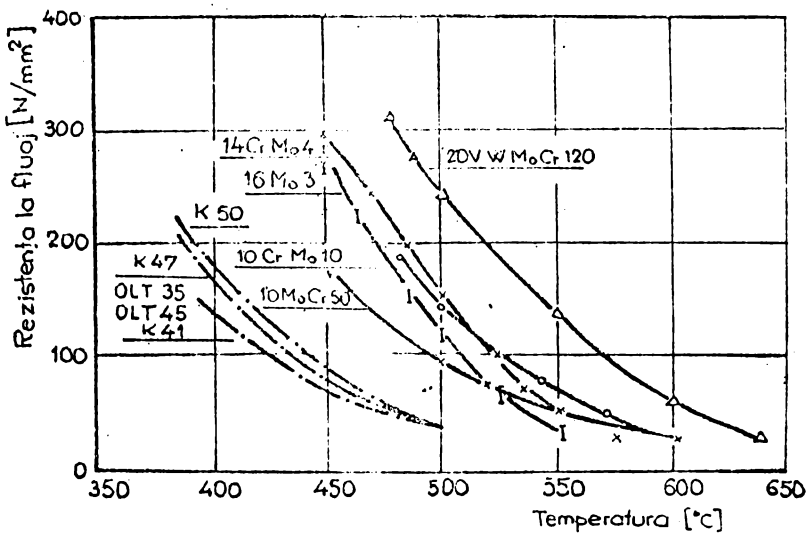


Figura 4.8. Variația rezistenței la fluaj în funcție de temperatura de utilizare la oțelurile pentru recipiente sub presiune.

Aceste procese se datoresc următoarelor mecanisme :

- durificarea masei metalice de bază prin precipitare de carburi;

- modificarea structurii în zona granițelor grăunților austenitice ereditare care micșorează gradul de aliere a acestuia. Se formează pe granițe precipitate de crom, molibden și carburi ;

- apariția și dezvoltarea de microgoluri prin procesul de deformare;

- segregarea impurităților la granițele grăunților cristalini.

În condițiile unui proces de deformare lentă caracteristic fluajului, cât și ale ruperii cu deformare plastică rapidă proprie încovoierii prin șoc la $+20^{\circ}\text{C}$, microgolurile acționează ca centre de rupere. Dezvoltarea lor este favorizată în zona de slabă rezistență de la periferia grăunților austenitici în care se cumulează efectul concentrării tensiunilor datorită precipitatelor de pe granițe. Fragilizează datorită impurităților și creșterea deformațiilor prin alunecare, ca urmare a rezistenței mai mici a zonei respective, comparativ cu masa metalică de bază.

Comportarea la sudare prin topire depinde de gradul de aliere al oțelului și de ciclurile termice aplicate prin procesul de sudare.

Pentru optimizarea structurii și caracteristicilor zonei de influență termică și ale metalului depus este necesar controlul regimului termic la sudare și tratamentul termic după sudare, cu precădere în cazul oțelurilor aliate.

O atenție deosebită trebuie acordată tratamentului termic de determinare după sudare, care poate determina activarea proceselor de fragilizare.

Un alt fenomen nedorit, care poate interveni în cursul tratamentului de detensionare, este fisurarea materialului în zonele de influență termică din imediata vecinătate a cordoanelor de sudură. Acest fenomen poate fi favorizat pe de o parte de capacitatea de deformare plastică scăzută a materialului în condițiile deformării cu viteză foarte mică, care însoțește relaxarea tensiunilor remanente, iar pe de altă parte, de existența în zonele respective a unor concentratori de tensiuni.

În cazul produselor placate prin sudare, mai ales cu oțel inoxidabil austenitic, este de reținut pericolul fisurării metalului de bază în zona de influență termică situată imediat sub stratul de placare.

De obicei, procesul de fisurare se dezvoltă în cursul încălzirii pentru detensionare și este mai probabil în cazul oțelurilor care conțin elemente de aliere cu acțiune de durificare prin precipitare (crom, molibden, vanadiu). Aceste conținuturi ridicate în carbon sau conținuturi ridicate în elemente reziduale se evită prin măsuri ca : micșorarea energiei liniare pentru limitarea dimensiunii zonei de influență termică, sau folosirea tehnicii de

placare în mai multe treceri. Trecerile următoare au și rolul de a finisa structura zonei de influență termică, rezultată după prima trecere.

Controlul calității ansamblilor sudate este prevăzut a se face atât prin încercări distructive pe îmbinări de probă, cât și prin metode nedistructive (ultrasunete, radiații penetrante, pulberi magnetice și lichide penetrante).

În fig.4.9. se dau valorile curente de duritate și energie de rupere prin șoc folosind epruvete de reziliență KV pentru îmbinările sudate cap la cap ale produselor plate din oțel 14CrMo4.

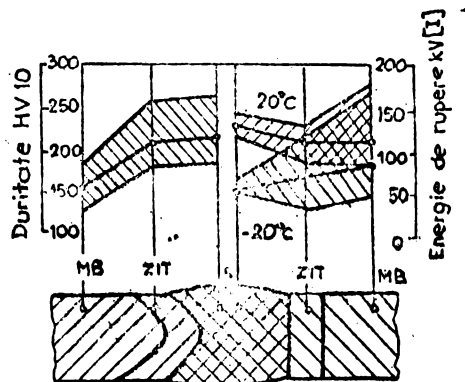


Figura 4.9. Variația durității și energiei de rupere KV în îmbinările sudate cap la cap ale produselor din oțel 14CrMo4.

Sudarea se face cu electrozi ALMOCr1B, la temperatura inițială și între straturi de 225°C și cu revenire după sudare la temperatura de 600°C.

4.17. Oțeluri pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi joase.

Această categorie cuprinde mai multe mărci de oțel cu granulație fină, precum și o marcă de oțel aliat cu 3,5 % Ni. Produsele plate și tubulare din aceste oțeluri se livrează în stare normalizată.

TABELUL 4.4.

Caracteristici mecanice la tracțiune ale oțelurilor pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi joase.

Marca oțelului	Limita de curgere $R_{p0,2}$ N/mm ²					Rezistența la rupere N/mm ²	Alungirea la rupere A _g % minimum	
	*) e ≤						e ≤ 70	*) e ≤
	16	17	35	36-50	51-70	25		26-70
1	2	3	4	5	6	7	8	
R 37	235	225	205	200	360...440	24	21	
R 44	285	275	255	250	430...540	23	20	
09Mn16	300	300	-	-	min.440	21	-	
R 52	350	340	330	325	510...610	20	17	
RV 52	350	350	340	380	510...610	20	20	
R 55	420	410	400	380	540...630	17	17	
R 58	460	450	-	-	570...730	17	17	
OLT45R	225	-	-	-	340...440	26	-	
OLT4545R	255	-	-	-	440...540	21	-	
10N135	340	-	-	-	440...640	20	-	

*) e - grosimea produsului sau a peretelui (la țevi)

Caracteristicile mecanice la tracțiune ale oțelurilor pentru recipiente la temperaturi joase se dau în tabelele 4.4. și 4.5, iar caracteristicile de tenacitate în tabelul 4.6.

TABELUL 4.5.

Valorile limitelor de curgere la cald ale produselor plate din oțeluri pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi joase .

Tabelul 4.5.(continuare)

Marca oțelu- lui	Limite de curgere la cald $R_{p0,2}$ (N/mm^2 la tempera- tura $^{\circ}C_{min}$)						
	+100	+150	+200	+250	+300	+350	+400
R 37	205	185	175	155	135	120	100
R 44	245	225	205	185	155	135	120
R 52	295	275	255	235	215	195	165
R 55	350	330	310	280	260	240	210
R 58	390	360	340	310	290	260	240

TABELUL 4.6.

Caracteristici de tenacitate ale oțelurilor pentru reci-
piente sub presiune utilizate la temperaturi joase

Marca oțelu- lui	Energia de rupere $KV^{1)}$, J, la temperatura de, $^{\circ}C_{(min)}$						
	+20	0	-20	-30	-40	-50	-100
I	2	3	4	5	6	7	8
R37							
R44	-	27	27	27	27	27	-
R52							
09Mn16	-	-	-	-	30 ²⁾	27	-
RV52	63	55	47	39	31	27	-
R55							
R58	54	47	39	35	31	27	-
OLT35R	-	-	-	-	-	65 ²⁾	-
OLT45R	-	-	-	-	-	40 ²⁾	-
10N135	-	-	-	-	-	-	27

1) Epruvete longitudinale, valori medii pe trei epruvete

2) Reziliența 300/2, J/cm^2

Execuția recipientelor sub presiune presupune intervenția asupra materialului prin operații de deformare plastică, tăiere, sudare etc. De aceea, în alegerea mărcii de oțel și, mai ales a clasei de calitate, este necesară cunoașterea influenței pe care

o pot avea operațiile arătate mai înainte asupra caracteristicilor. In legătură cu acest aspect, se menționează următoarele :

1) Deformarea plastică la cald se recomandă să se realizeze către limita inferioară de temperaturi indicată în tabelul 4.7. Creșterea temperaturii de încălzire către limita superioară

TABELUL 4.7.

Temperaturi pentru deformarea la cald și tratamentul termic la oțelurile pentru recipiente sub presiune utilizate la temperaturi joase.

Marca oțelului	Interval de temperaturi pentru			Durata de menținere pentru normalizare sau detensionare
	Deformarea plastică la cald °C	Normalizare °C	Detensionare după sudare °C	
R 37	1200...900	890...920	530...580	2 min/mm, dar cel puțin 30 min.
R 44	1150...850			
09Mn16	1100...850			
R 52				
RV 52				
R 55	1050...800	860...920	530...580	2...2,5 min/mm
R 58				
OLT35		900...930	-	2 min/mm, dar cel puțin 30 min.
OLT45	1100...850	870...900	-	
10N135		830...870	560...600	

la domeniului sau peste aceasta influențează nefavorabil structura materialului și determină micșorarea progresivă a tenacității acestuia.

2) Deformarea plastică la rece este admisă, de obicei, în limitele unor grade de deformare de 2 % până la 5 %, fără un tratament termic ulterior. Ca urmare a anizotropiei materialului, îndoirea pe direcția perpendiculară la axul longitudinal al produsului se face la rază mai mică decât la produse formate la rece au evidențiat, comparativ cu starea de livrare, modificări mai ales la limita de curgere și tenacitate. Astfel, pentru un grad

de deformare de 2 %, limita de curgere crește pe direcția principală de deformare cu cca. 1...3 % și scade pe direcția perpendiculară la aceasta cu pînă la 20 % din valoarea inițială. În ce privește tenacitatea, aceasta scade continuu cu gradul de deformare.

De obicei, fiecare procent de deformare plastică determină o creștere a temperaturii de tranziție $T_{KV} 27$ cu cca. 5°C .

Detensionarea reduce în mică măsură efectele acestui proces de îmbătrînire. În figura 4.10 se ilustrează modul de deplasare a curbei de tranziție în funcție de gradul de deformare la oțelurile de tip R52...R58.

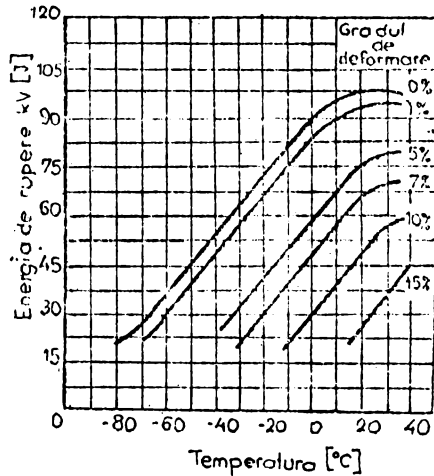


Figura 4.10. Influența deformării plastice la rece asupra tenacității oțelurilor cu granulație fină.

3) Măsurile tehnologice la sudarea acestor oțeluri sînt : pregătirea rosturilor, utilizarea electrozilor bazici uscați, alegerea combinațiilor sîrmă - flux bazic topit, sau flux ceramic și controlul regimului termic la sudare. Acestea sînt similare cu indicațiile pentru oțelurile cu granulație fină.

De asemenea, se mențin condițiile tehnice arătate la § 4.16

Structurile martensitice și bainitice, care rezultă în zona de influență termică la sudarea cu energie lineară mică, respectiv viteză de răcire mare, sînt ușor activate la detensio-

nare și nu ridică probleme din punctul de vedere al valorilor caracteristicilor mecanice în stare detensionată. Spre deosebire de acestea, structurile ferito-bainitice, care rezultă la sudarea cu energie liniară mare, devin mediul unor procese de precipitare care înrăutățesc sensibil tenacitatea după detensionare.

4.19. Recipiente sub presiune utilizate în domeniul de temperaturi -50°C ... $+400^{\circ}\text{C}$

Alegerea oțelurilor pentru recipientele utilizate în domeniul de temperaturi -50°C ... $+400^{\circ}\text{C}$, urmează a fi orientată spre mărcile de oțel de rezistență superioară, avantajoase mai ales din punctul de vedere al consumului de metal. Dintre aspectele specifice care trebuie avute în vedere, se rețin următoarele :

1) La caracteristici de rezistență egale sau apropiate va fi preferată marca de oțel cu grad de aliere mai redus. De exemplu, în domeniul temperaturilor până la 400°C este recomandată utilizarea oțelurilor din seria K41...K52 celor din seria R37...R52. Alegerea nu poate fi făcută distinct de garanțiile de tenacitate asigurate pe produsul finit. Este rațional însă, ca atunci când utilizarea se face preponderent în domeniul temperaturilor pozitive, problema siguranței în perioadele de funcționare în afară de regim să se soluționeze prin măsuri restrictive în exploatare, bazate pe analiza situațiilor critice și nu prin alegerea unei mărci de oțel cu garanții de tenacitate excesive.

2) Oțelurile din clasele de rezistență superioare, cum sînt de exemplu oțelurile în stare normalizată de tipul R55 și R58 și oțelurile în stare îmbunătățită din clasele cu limită de curgere de 700 N/mm^2 , prezintă avantaje deosebite în cazul recipientelor care nu lucrează în medii care pot genera coroziunea fisurantă sub tensiune. Utilizarea acestor oțeluri este posibilă și în cazul unor medii cu agresivitate chimică moderată, însă necesită luarea unor măsuri constructiv-tehnologice.

Reducerea nivelului total al tensiunilor pe suprafața recipientului în contact cu mediul, se face cu soluții constructive, care elimină pe cît posibil îmbinările de colț sau cordoanele de sudură apropiate (figura 4.11). Se folosesc materiale de adaos cu grad de aliere cît mai apropiat de cel al materialului de bază,

se practică regimuri termice de sudare, care să limiteze modificările de structură din zona de influență termică, urmate de tratament final de detensionarea întregului ansamblu sudat.

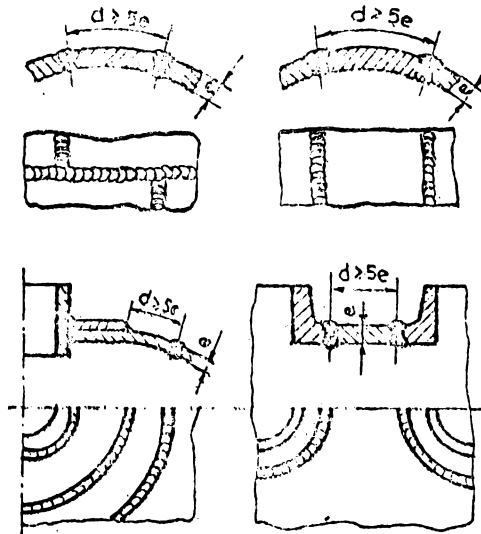


Figura 4.11. Soluții constructive pentru recipiente care lucrează în medii care pot genera coroziunea fisurantă sub tensiune

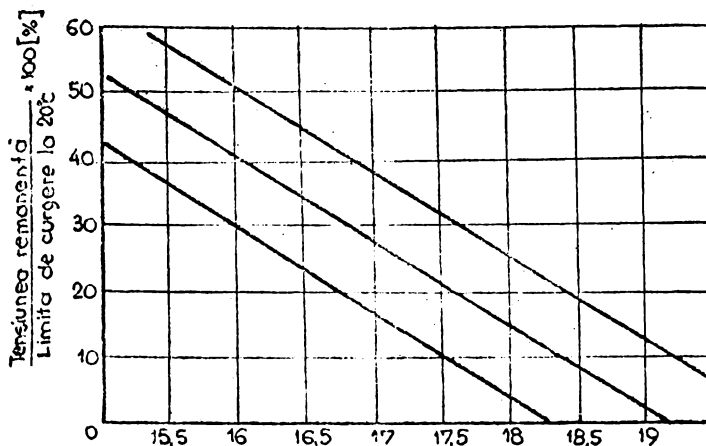


Figura 4.12. Valorile tensiunilor remanente raportate la limita de curgere pentru oțelurile carbon și carbon-mangan în funcție de parametrul de detensionare H.

Eficiența tratamentului termic final din punct de vedere al relaxării tensiunilor interne și al modificării structurilor din zona de influență termică crește o dată cu temperatura și durata de tratament.

În figura 4.12 se arată valorile tensiunilor remanente raportate la limita de curgere, care sînt de așteptat să se întîlnească la oțelurile normalizate, carbon și carbon-mangan, detensionate la diferite valori ale parametrului $H = T (20 + \log t) \cdot 10^{-3}$.

În optimizarea regimului de detensionare a ansamblurilor sudate, trebuie avute în vedere și implicațiile temperaturii și duratei de încălzire asupra caracteristicilor mecanice ale metalului de bază. Pentru oțelurile îmbunătățite, nu trebuie în nici un caz depășite temperaturile și duratele la care s-a executat operația de revenire după călire.

Adesea, în cazul unor utilizări care prezintă pericolul apariției coroziunii sub tensiune, fără a se renunța la măsurile de precauție amintite, se preferă alegerea unor oțeluri din clasele de rezistență medie 440 N/mm^2 și 520 N/mm^2 , mai puțin sensibile la astfel de fenomene decât oțelurile de rezistență înaltă.

3) În unele utilizări, oțelurile carbon și slab aliate satisfac condițiile de rezistență impuse de presiunea și temperatura de exploatare, dar nu fac față proceselor de coroziune generală și/sau coroziune cauzată de agentul din recipient.

În astfel de cazuri este economică utilizarea produselor placate sau, la recipiente cu dimensiuni interioare suficient de mari, depunerea prin sudare a unui strat de protecție din oțel aliat. Natura diferită a oțelului de placare nu constituie o sursă pentru amorțirea de ruperi prin oboseală.

4) O problemă ce prezintă interes în cazul recipientelor sub presiune, este cea a prevenirii ruperii lamelare.

Factorii principali în ruperea lamelară a îmbinărilor sudate sînt :

a) Nivelul tensiunilor care solicită materialul de bază pe direcția grosimii și care depinde de tensiunile de serviciu, rigiditatea îmbinării sudate, volumul, modul de răcire și rezistența metalului depus prin sudare.

b) Conținutul de hidrogen difuzibil în îmbinarea sudată.

c) Plasticitatea produselor plate mai scăzută pe direcția grosimii, comparativ cu direcția de laminare.

Pentru îndepărtarea pericolului rupeii lanelare se aplică următoarele precauții :

a) Constructiv, prin înlocuirea îmbinărilor în "L" sau "T" cu îmbinări cap la cap. Cînd acest lucru nu este posibil, prin plasarea îmbinărilor respective în zone cu rigiditate scăzută.

b) Tehnologic, prin utilizarea unor materiale de adaos de rezistență mai scăzută dar cu plasticitate mare și care să asigure preîncălziri, a tehnicii de sudare multistrat sau a sudării în atmosferă de gaz protector se aduc unele îmbunătățiri. Unele recipiente sub presiune lucrează în condiții de oboseală.

Solicitările variabile pot rezulta din : variații periodice de temperatură, deformații împiedicate în cursul unor variații normale de temperatură, variații ale presiunii sau a forțelor care apar la încălcări ale recipientului, vibrații și altele. La astfel de solicitări, nu este o problemă atât de alegere a mărcii de oțel, cît de corelare a soluției constructive și tehnologice cu specificul regimului de solicitare.

Influența cea mai mare asupra duratei de viață o are amplitudinea de variație a tensiunii în zonele cu vîrfuri locale de tensiuni cauzate, în principal, de soluții constructive defavorabile, sau de abateri de formă din execuție.

4.19. Recipiente exploatate la temperaturi înalte (peste 400°C)

Utilizarea metalului în acest domeniu are la bază caracteristicile de rezistență determinate prin încercări de lungă durată.

Stabilitatea structurii metalurgice și a rezistenței metalului la temperaturi peste cca. 400°C este în directă legătură cu gradul de aliere a oțelului. Pe măsura creșterii temperaturii și a duratei de exploatare, pentru limitarea efectului de activare a unor procese de degradare, este necesară alegerea unor mărci de oțel cu grad de aliere superior.

Ațit în alegerea mărcii de oțel, cît și în aprecierea regimului de exploatare a unor produse care lucrează în condiții de fluaj, prezintă interes următoarele aspecte :

1. Deformarea și ruperea prin fluaj au la bază, în principal, un proces de alunecare și rostogolire relativă a grăunților

cristalini. O suprafață totală mică a grăunților, corespunzătoare unei granulații mari a materialului, este favorabilă creșterii rezistenței la fluaj. Pe de altă parte, granulațiile mari și mai ales neuniforme, pot determina micșorări ale caracteristicilor de ductilitate.

2. Examinările de laborator efectuate asupra unor materiale utilizate în condiții de fluaj evidențiază apariția și dezvoltarea, pe măsura creșterii duratei de exploatare, a unui proces lent dar continuu, de trecere a elementelor de aliere din masa grăunțelului în compuși intermetalici care migrează spre granițele grăunților cristalini. Pericolul de apariție a unor ruperi prin fluaj chiar în cazurile în care alegerea materialului a fost corect făcută, dacă la operațiile de punere în operă se înregistrează unele practici defectuoase, ca de exemplu încălzirea insuficientă a materialului la formarea la cald sau sudarea în regimuri termice excesive.

3. În numeroase cazuri de utilaje și echipamente, rezolvate corect din punct de vedere al alegerii materialului, parametrii de exploatare efectivi nu se situează continuu la nivelul valorilor nominale luate în considerare în calcul.

Se impune verificarea de ansamblu a utilajului sau echipamentului pentru controlul apariției de deformații prin fluaj sau a unor procese de fisurare în zonele cu discontinuități geometrice sau cu variații ciclice ale temperaturii și tensiunii.

4.2o. Recipiente sub presiune utilizate la temperaturi joase (sub -50°C)

Alegerea oțelurilor pentru temperaturi joase este dominată de problema prevenirii rupei fragile.

La temperaturi până la cca. -100°C , de obicei, este folosit oțelul aliat cu 3,5 % Ni. La temperaturi mai joase de cca. -100°C se utilizează oțeluri cu 8 ... 14 % Ni.

CAPITOLUL 5.

RELATII DE CALCUL A DURITATII

MAXIME IN Z.I.T.

5.1. In literatura tehnică sînt multe relații care corelează duritatea maximă din zona influențată de temperatură ZIT cu compoziția chimică a oțelurilor. Dintre ele am selectat 3 relații, care erau mai apropiate de încercările practice realizate.

$$\begin{aligned}
 H_{M_1} = 40 + 666. \left(C + \frac{Mo}{4} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mn}{6} \right. \\
 \left. + \frac{V}{14} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} \right) \quad (5.1)
 \end{aligned}$$

Relația (5.1) a fost elaborată de Institutul internațional de sudură, cunoscut sub inițialele IIS/IIW.

Următoarele două relații au fost elaborate de japonezi. Ambele folosesc expresia Pcm, care are formula :

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn+Cu+Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5.8 \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned}
 H_{M_2} = 189 + 67.C + 507.P_{cm} - (101 + \\
 711.C - 461). \text{arc tangent } X. \\
 X = \frac{\log t_{8/5} + 0,501 + 7,9.C - 11,01.P_{cm}}{0,543 + 0,55.C - 0,76.P_{cm}} \quad (5.3)
 \end{aligned}$$

$$t_{8/5} = \frac{900}{(600 - \sqrt{pr})^{1,2}} \cdot E_L \quad (0,94 + 0,0007 \sqrt{pr})$$

În relația (5.3) E_L este energia arcului de sudare iar τ este preîncălzirea în $^{\circ}\text{C}$. În fine, $t_{9/5}$ arată durata de răcire de la 800°C la 500°C după ce sudarea s-a terminat, în secunde.

$$HM_3 = H_{\infty} + \frac{K}{1+e^{\alpha \cdot (Y-Y_5)}}$$

$$Y = \log t_{9/5}$$

$$K = 237 + 1633 \cdot C - 1157 \cdot P_{cm} \quad (5.4)$$

$$H_{\infty} = 884 \cdot C + 287 - K$$

$$\alpha \cdot K = 566 + 5532 \cdot C - 2280 \cdot P_{cm}$$

$$Y_5 = -0,03 - 6 \cdot C + 7,77 \cdot P_{cm}$$

5.2. S-au ales 4 oțeluri folosite la construirea recipientelor de stocare a hidrocarburilor și anume : 10Ni35 ; B52 ; K52 și K41. Aceste oțeluri au fost livrate sub formă de table cu grosimea de 20 mm. S-a ales această grosime fiindcă asemenea dimensiuni se practică la placa etalon pentru determinarea comportării la sudare a oțelurilor.

Compozițiile chimice ale tablelor sînt prezentate în tabela 5.1. Se observă că pentru fiecare oțel s-au făcut cel puțin 5 determinări pentru a putea testa normalitatea lor. Am folosit aici testul Chauvenet [1], la tabela 5.4 la analiza manganului, fiindcă numai aici s-ar putea să fie o valoare anormală. Conform metodei se calculează media valorilor manganului.

$$\overline{Mn} = \frac{3,4}{5} = 0,68 \quad (5.5)$$

Se calculează apoi suma pătratelor dintre medie și fiecare valoare și se obține :

$$\begin{aligned} S &= (0,68 - 0,68)^2 + (0,68 - 0,73)^2 + \\ &+ (0,68 - 0,66)^2 + (0,68 - 0,66)^2 + (0,68 - 0,67)^2 \\ &= 0 + 0,0025 + 0,0004 + 0,0004 + 0,0001 = \\ &= 0,0034 \end{aligned}$$

Rezultă deci valoarea lui $S = 0,0034$ (5.6)

În continuare se calculează h cu relația :

$$h = \sqrt{\frac{5}{23}} = \sqrt{\frac{5}{0,0069}} = 27,1163 \quad (5.7)$$

La $n = 5$, produsul $h \cdot \tilde{x}$ este egal cu 1,16.

Se calculează \tilde{x} și se obține :

$$\tilde{x} = \frac{1,16}{27,1163} = 0,043 \quad (5.8)$$

Acum putem exprima intervalul de normalitate :

$$0,68 - 0,043 \text{ până la } 0,68 + 0,043 \quad (5.9)$$

și se obține : 0,637 - 0,723

Se observă că determinarea 0,73 la nangan iese din intervalul de normalitate. Având însă faptul că diferența la maxim este cu puțin mai mare la 0,73, se poate considera că și determinarea aceasta este normală.

5.3. Concluzie : datele analizelor tablelor folosite în țesă sînt normale și deci ne putem baza pe ele în ceea ce urmează .

TABELUL 5.1. OL10Ni35

Proba	Rezultatul analizei								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
1.	0,06	0,30	0,61	0,010	0,013	0	3,79	0,07	0,01
2.	0,06	0,29	0,61	0,010	0,013	0	3,80	0,06	0,01
3.	0,06	0,29	0,61	0,011	0,010	0	3,79	0,05	0,01
4.	0,06	0,30	0,62	0,010	0,013	0	3,80	0,06	0,01
5.	0,06	0,30	0,62	0,010	0,013	0	3,81	0,05	0,01

TABELUL 5.2. OL R52

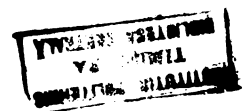
Proba	Rezultatul analizei								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
1.	0,18	0,34	1,50	0,019	0,008	0,02	0,33	0,07	0
2.	0,18	0,33	1,50	0,020	0,008	0,02	0,33	0,07	0
3.	0,18	0,32	1,51	0,019	0,009	0,02	0,33	0,07	0
4.	0,18	0,33	1,52	0,018	0,009	0,02	0,33	0,07	0
5.	0,18	0,33	1,52	0,018	0,009	0,02	0,33	0,07	0

TABELUL 5.3. OLK52

Proba	Rezultatul analizei								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
1.	0,13	0,34	0,98	0,019	0,017	0,01	0	0,01	0
2.	0,13	0,18	0,84	0,023	0,014	0,01	0	0,01	0
3.	0,12	0,30	0,96	0,020	0,018	0,01	0	0,01	0
4.	0,12	0,31	0,97	0,020	0,020	0,01	0	0,01	0
5.	0,12	0,29	0,96	0,018	0,020	0,01	0	0,01	0

TABELUL 5.4. OL K41

Proba	Rezultatul analizei								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
1.	0,15	0,20	0,73	0,013	0,020	0,02	-	0,01	-
2.	0,12	0,16	0,66	0,020	0,020	0,02	-	0,01	-
3.	0,12	0,14	0,66	0,023	0,020	0,02	-	0,02	-
4.	0,12	0,14	0,67	0,022	0,020	0,02	-	0,02	-
5.	0,12	0,15	0,68	0,021	0,020	0,02	-	0,02	-



CAPITOLUL 6

DETERMINAREA ANALITICA A DURITATII MAXIME

IN Z.I.T.

6.1. Se calculează duritățile maxime în ZIT cu relațiile HM1, HM2 și HM3. Rezultă tabelul 6.1.

TABELUL 6.1.

Duritățile maxime în ZIT calculate cu cele trei relații HM1, HM2 și HM3

OL	HM1	Țor o _c	HM2		HM3	
			Ea 17	Ea 30	Ea 17	Ea 30
		20	291	258	286	257
10N135	229	150	252	226	251	225
		300	220	207	219	207
		20	410	368	396	348
R52	352	150	357	299	337	284
		300	284	249	271	247
		20	237	205	253	214
K52	236	150	200	180	208	185
		300	176	164	181	172
		20	199	175	219	186
K41	206	150	172	157	181	163
		300	153	143	160	153

Datele prezentate în tabelul 6.1 arată următoarele :

- Intre duritățile maxime în ZIT calculate cu relațiile HM2 și HM3 nu sînt diferențe semnificative
- Diferențe ale durităților maxime sînt arătate în tabelul 6.2.

TABELUL 6.2.
Diferențele durităților maxime din ZIT cu
relațiile HM2 și HM3

Ba = 17		Ba = 30	
291 - 286	= 5	258 - 257	= 1
252 - 251	1	226 - 225	1
220 - 219	1	207 - 207	0
410 - 396	14	368 - 348	20
357 - 337	20	299 - 284	15
284 - 271	13	249 - 247	2
237 - 253	- 16	205 - 214	- 9
200 - 208	- 8	180 - 185	- 5
176 - 181	- 5	164 - 172	- 8
199 - 219	- 20	175 - 186	- 11
172 - 181	- 9	157 - 163	- 6
153 - 160	- 7	143 - 153	- 10

Datele din tabelul 6.2. arată că relațiile HM2 și HM3 sînt destul de apropiate. Dacă ne referim la cea mai mare diferență obținem următoarele erori :

- La energia arcului de 17 J găsim diferența de 20, care la duritatea medie de 357 reprezintă o eroare de : $20/357 = 0,0560$. In procente eroarea este de 5,60 %
- La energia arcului de 30 J găsim diferența de 20, care la duritatea medie de : 368 reprezintă $20/368 = 0,0543$. In procente eroarea este de 5,43 %.

Concluzia este deci că relațiile pentru calculul durității maxime din ZIT cu relațiile HM₂ și HM₃ sînt suficient de apropiate între ele.

6.2. Treceam acum la relația de calcul a durității maxime în ZIT cu relația HM₁. Această relație nu ține seama nici de energia arcului și nici de preîncălzire.

In consecință, pentru a compara relația HM₁ cu HM₂ și HM₃ trebuie să calculăm o duritate medie a datelor de la HM₂ și HM₃. Valorile astfel calculate sînt prezentate în tabelul 6.3.

TABELUL 6.3

Valorile medii ale durităților maxime din ZIT calculate cu relațiile HM₂ și HM₃

Oțelurile	Formulele de calcul			Media celor 3 relații	Media relațiilor HM ₂ + HM ₃
	HM ₁	HM ₂	HM ₃		
10N135	229	242,3	240,8	237,4	241,6
R52	352	327,8	313,8	331,2	320,8
K52	236	193,6	202,2	210,6	197,9
K41	206	166,6	177	183,2	171,8

Avînd în vedere că duritățile maxime din ZIT calculate cu relațiile HM₂ și HM₃ sînt apropiate, vom determina erorile formulei HM₁, față de media dată de HM₂ plus HM₃. Rezultă situația din tabelul 6.4.

TABELUL 6.4.

Erorile date din confruntarea relației HM1 cu media relațiilor HM2 și HM3.

Oțelurile	HM1	Media HM2 + HM3	Erorile %
10M135	229	241,6	5,22
R52	352	320,8	9,73
K52	236	197,9	19,26
K41	206	171,8	19,91

În tabela 6.5 se prezintă datele furnizate de relația HM1 față de media celor 3 relații cu care se calculează duritatea maximă din ZIT.

Comparând datele din tabelele 6.4 și 6.5, rezultă că erorile scad dacă se lucrează cu cele trei relații, față de erorile mediilor HM2 și HM3

TABELUL 6.5.

Erorile date din confruntarea relației HM1 cu media relațiilor HM1, HM2 și HM3.

Oțelurile	HM1	Media: HM1 + HM2 + HM3	Erorile %
10M135	229	237,4	3,54
R52	352	331,2	6,28
K52	236	210,6	12,06
K41	206	183,2	12,45

Concluzia importantă privind calculul durității maxime din ZIT este:

- Se calculează duritatea maximă în ZIT folosind relațiile HM1, HM2 și HM3
- Se calculează media celor trei formule și se obține duritatea maximă în ZIT cu o eroare mai mică decât 15%.

CAPITOLUL 7.

CERCETARI EXPERIMENTALE SI REZULTATE

MACROSCOPICE

7.1. Capitolul 7 tratează partea practică a tezei. O primă problemă a fost aceea de a produce zone influențate, care să acopere principalele zone influențate întâlnite la sudare.

Am ales 3 situații :

- Zona influențată termic la depunerea unei treceri pe placă ;
- Zona influențată termic la sudarea a două plăci cap la cap în o trecere ;
- Zona influențată termic la sudarea a două plăci cap la cap în două treceri

ZIT-urile se vor nota ZIT_1 ; ZIT_2 și respectiv ZIT_3 în ordinea enumerării lor.

Sudurile și depunerile au fost realizate cu aceeași tehnologie, identică cu cea indicată de Institutul Internațional de Sudură (IIS/IIW). După realizarea sudurilor s-au efectuat determinările pentru a se găsi duritatea maximă din ZIT, conform STAS-ului. Datele obținute sînt arătate în tabelele 7.1, 7.2 și 7.3, iar dreptele pe care s-au determinat duritățile s-au notat cu I, II și III conform STAS-ul citat.

Am ajuns astfel la situația ca la fiecare oțel să avem cîte trei durități maxime : la depunere, la sudare cu o trecere și la sudare cu două treceri. În tabela 7.4, sînt date aceste durități maxime.

7.2. Datele determinate experimental privind duritatea maximă în ZIT au fost confruntate cu relațiile HM_2 , HM_3 , media relațiilor $HM_1 + HM_2 + HM_3$ și media $HM_2 + HM_3$.

TABELUL 7.1.

Determinarea durității maxime la depunere

nr	10Ni35			R52			K52			K41		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	190	192	193	268	249	268	204	204	204	193	193	214
2	190	193	192	296	265	265	201	204	204	210	210	214
3	177	195	204	262	296	286	203	206	206	214	214	223
4	232	210	208	257	262	280	203	239	232	225	225	219
5	251	221	221	271	249	299	251	239	232	212	223	223
6	223	232	232	251	262	306	251	239	239	229	212	212
7	257	206	214	268	262	299	251	236	254	244	232	232
8	241	204	206	299	274	306	254	239	251	239	239	244
9	249	221	203	306	274	299	254	232	251	232	232	232
10	246	232	232	286	286	306	251	232	251	232	232	232
11	236	232	232	313	286	321	232	232	219	232	232	239
12	241	232	232	289	271	317	232	219	210	214	232	239
13	241	232	232	268	283	306	219	210	232	214	239	239
14	241	232	232	251	251	293	219	232	204	214	239	210
15	232	232	232	249	241	293	219	204	204	210	210	210
16	241	232	232	257	283	277	216	204	216	201	210	201
17	225	232	232	257	268	299	216	216	219	201	201	201
18	225	232	193	257	262	321	204	214	219	199	199	199
19	214	214	187	287	262	289	204	219	219	199	199	199
20	232	187		321	289	286	183	219	219	190	190	199
21	232			265	268	306	192	216	216	190	190	190
22	232			283	268	262	180	204	204	183	190	183
23	232			329	262	262	180	183	183	183	183	
24	219			236	232	232	180	180	180			
25	201			190	190	190	180	190	180			
26	195			198	198	198	175	180	180			
27	188			201	201	201		175	175			
28	193											
29	192											
30	197											

257

329

254

244

Duritățile maxime

TABELUL 7.2.

Determinarea durității maxime la sudare cu o trecere

ne.	10N135			R52			K52			K41		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	180	180	192	254	254	254	201	204	204	193	193	214
2	190	192	192	254	254	254	203	204	204	210	210	214
3	190	192	192	232	232	254	203	206	206	214	214	223
4	177	190	193	232	254	232	251	239	232	225	225	219
5	190	177	193	232	254	232	251	239	232	212	223	233
6	193	193	203	252	251	232	251	239	239	229	212	212
7	203	203	203	251	257	257	251	236	254	244	232	232
8	193	193	193	257	257	251	254	232	251	239	192	244
9	191	191	191	262	262	257	251	232	251	232	244	232
10	190	191	191	262	262	257	232	232	251	232	232	232
11	188	188	188	268	268	262	232	232	219	232	232	239
12	190	190	191	268	268	262	219	219	210	214	232	239
13	190	190	191	268	268	268	219	210	232	214	239	239
14	188	188	188	265	265	265	219	232	204	214	239	210
15	188	180	187	265	265	268	216	204	204	210	210	210
16	188	180	187	268	268	268	216	204	204	210	210	210
17	188	180	188	268	268	271	204	216	210	201	201	201
18	188	180	188	265	271	265	204	214	216	199	201	199
19	187	187	187	265	271	268	204	219	219	199	199	199
20				268	268	268	183	219	219	190	190	199
21				268	265	268	182	216	219	190	190	190
22				271	268	268	180	204	219	193	190	190
23				271	271	265	180	183	216		183	190
24				268	271	208	180	182	204			183
25				265	268	208	180	180	183			
26				208	265	201	175	180	180			
27				201	208			175	180			
28					201				180			
29									175			
30												
	203			271			254			244		

Duritățile maxime

TABELUL 7.3.

Determinarea durității maxime la sudare cu două treceri

nr.	10Ni35			R52			K52			K41		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	180	180	190	254	254	254	204	183	187	187	183	187
2	187	190	187	254	254	254	201	182	187	187	182	187
3	190	187	190	232	232	232	201	201	201	201	201	201
4	190	190	190	232	232	232	201	201	204	204	201	204
5	203	203	190	251	251	251	201	204	204	204	204	204
6	203	203	203	251	251	251	201	201	210	210	201	210
7	208	208	203	257	257	257	204	204	210	210	204	210
8	208	208	208	257	257	257	204	204	204	204	204	204
9	<u>212</u>	<u>212</u>	208	257	262	257	201	204	201	201	204	201
10	<u>212</u>	208	190	262	257	262	201	210	<u>212</u>	210	210	210
11	208	208	190	268	257	257	204	210	210	212	210	<u>212</u>
12	208	190	190	262	268	268	212	210	210	212	210	210
13	190	190	188	262	262	268	212	210	187	210	210	210
14	190	190	190	262	257	268	204	187	187	187	187	178
15	188	190	190	257	257	257	201	187	187	187	187	178
16	188	188	190	257	257	257	212	182	183	187	182	187
17	188	188	190	251	265	268	212	183	180	183	183	183
18	180	188	188	268	260	268	204	180	180	180	180	180
19	180	180	188	265	265	268	201	180	180	180	180	180
20	180	180	188	260	268	265	183	180	180	180	180	180
21	188	188	188	<u>293</u>	268	265	180	180	180	180	180	180
22	188	188	188	<u>293</u>	268	208	180	180	175	180	180	175
23	187	188	188	265	265	208	182	180		175	180	
24		188	188	265	208	208	182	180			175	
25		187	187	208	208	208						
26				201	201	208						
27						201						
28												
29												
30												
	212			293			212			212		

Duritățile maxime

TABELUL 7.4.

Duritățile maxime în zona influențată termic ZIT

=====

Oțelurile	Realizarea ZIT-urilor		
	Depunere pe tablă	Sudare cu o trecere	Sudare cu două treceri
10Ni35	257	203	212
R52	329	271	293
K52	254	254	212
K41	244	244	212

=====

- TABELUL 7.5. arată erorile la duritățile maxime din ZIT determinate experimental față de cele calculate cu cele 5 metode, pentru ZIT-urile realizate prin depunerea unei suduri pe table.
- TABELUL 7.6. arată erorile la duritățile maxime din ZIT determinate experimental față de cele calculate cu cele 5 metode, pentru ZIT-urile realizate prin sudare cu o trecere.
- TABELUL 7.7. arată erorile la duritățile maxime din ZIT determinate experimental față de cele calculate cu 5 metode, pentru ZIT-urile realizate prin sudare cu două treceri.

7.3. Datele din tabelele 7.5, 7.6 și 7.7. ne dau posibilitatea să apreciem relațiile de calcul a durității maxime din ZIT din mai multe puncte de vedere.

- TABELUL 7.8. arată erorile medii pe cele 5 relații de calcul și media generală a lor la ZIT-urile depuneri, sudare cu o trecere și cu două treceri

Concluzia importantă este că erorile de calcul față de cele determinate sînt, în medie, cele mai mici la ZIT-urile realizate prin depunere pe placă. Cele mai mari erori a calculului se află la ZIT-ul realizat prin sudare cu o trecere.

Tabelul 7.5 ZIT-urile la depunerea unei suduri

Otelurile	HM1	HM2	HM3	Media: HM1 + HM2 + HM3	Media: HM2 + HM3
10 Ni 35	$\frac{257 - 229}{257} = 10,9\%$	$\frac{257 - 242}{257} = 5,8\%$	$\frac{257 - 241}{257} = 6,2\%$	$\frac{257 - 237}{257} = 7,8\%$	$\frac{257 - 242}{257} = 5,8\%$
R52	$\frac{329 - 352}{329} = 7,0\%$	$\frac{329 - 328}{329} = 0,3\%$	$\frac{329 - 314}{329} = 4,5\%$	$\frac{329 - 331}{329} = 0,6\%$	$\frac{329 - 321}{329} = 2,4\%$
K52	$\frac{254 - 226}{254} = 7,1\%$	$\frac{254 - 194}{254} = 23,6\%$	$\frac{254 - 202}{254} = 20\%$	$\frac{254 - 211}{254} = 16,9\%$	$\frac{254 - 198}{254} = 22\%$
K61	$\frac{244 - 206}{244} = 15,6\%$	$\frac{244 - 167}{244} = 31,6\%$	$\frac{244 - 177}{244} = 27,5\%$	$\frac{244 - 183}{244} = 25\%$	$\frac{244 - 172}{244} = 29,5\%$

Concluzie: se observă că ZIT-urile calculate sînt apropiate de cele determinate, cu excepția oțelului K61 unde erorile ajung pînă la 31,6%

Media erorii la ZIT-urile dela depuneri este 13,505%

Tabelul 7.6. ZIT-urile la sudare în o trecere

Oțelurile	HM1	HM2	HM3	Media: HM1 + HM2 + HM3	Media: HM2 + HM3
10 NI 35	$\frac{203 - 229}{203} = 12,8\%$	$\frac{203 - 242}{203} = 19,2\%$	$\frac{203 - 241}{203} = 18,7\%$	$\frac{203 - 237}{203} = 16,7\%$	$\frac{203 - 242}{203} = 19,2\%$
R52	$\frac{271 - 322}{271} = 29,8\%$	$\frac{271 - 326}{271} = 21,0\%$	$\frac{271 - 314}{271} = 15,9\%$	$\frac{271 - 331}{271} = 22,1\%$	$\frac{271 - 321}{271} = 18,5\%$
K52	$\frac{254 - 236}{254} = 7,1\%$	$\frac{254 - 194}{254} = 23,6\%$	$\frac{254 - 202}{254} = 20\%$	$\frac{254 - 211}{254} = 16,9\%$	$\frac{254 - 198}{254} = 22,0\%$
K42	$\frac{244 - 206}{244} = 15,6\%$	$\frac{244 - 167}{244} = 31,6\%$	$\frac{244 - 177}{244} = 27,5\%$	$\frac{244 - 183}{244} = 25\%$	$\frac{244 - 172}{244} = 29,5\%$

Concluzie: se observă că ZIT-urile calculate sînt mai departate de cele determinate, ajungînd în cazul HM2 la o eroare de 51% la oțelul K41. Celelalte erori nu depășesc 20 ... 23%

Media erorii la ZIT-urile dela sudarea cu o trecere este 20,635%.

Tabelul 7.7 ZIT-urile la sudare în două treceri

Otelurile	HM1	HM2	HM3	Media: HM1 + HM2 + HM3	Media: HM2 + HM3
10 N1 35	$\frac{212 - 229}{212} = 8,0\%$	$\frac{212 - 242}{212} = 14,2\%$	$\frac{212 - 241}{212} = 13,7\%$	$\frac{212 - 227}{212} = 11,8\%$	$\frac{212 - 242}{212} = 14,2\%$
R52	$\frac{293 - 352}{293} = 20,1\%$	$\frac{293 - 328}{293} = 11,9\%$	$\frac{293 - 314}{293} = 7,2\%$	$\frac{293 - 321}{293} = 13,0\%$	$\frac{293 - 321}{293} = 10,0\%$
K52	$\frac{212 - 236}{212} = 11,3\%$	$\frac{212 - 194}{212} = 8,5\%$	$\frac{212 - 202}{212} = 4,7\%$	$\frac{212 - 211}{212} = 0,5\%$	$\frac{212 - 198}{212} = 6,6\%$
K41	$\frac{212 - 206}{212} = 2,9\%$	$\frac{212 - 167}{212} = 21,2\%$	$\frac{212 - 177}{212} = 16,5\%$	$\frac{212 - 183}{212} = 13,7\%$	$\frac{212 - 172}{212} = 18,9\%$

Concluzie: se observă că ZIT-urile calculate sînt apropiate de cele determinate
 Media erorii la ZIT-urile dela sudarea cu două treceri este 11,44%

TABELUL 7.8.

Erorile medii pe cele 5 relații de calcul

HM1	HM2	HM3	Media HM1 + HM2 + HM3	Media HM1 + HM2	MEDIA
Depunere					
10,15	15,33	14,55	12,58	14,93	13,50
Sudare cu o trecere					
16,325	23,85	20,52	20,18	22,30	20,63
Sudare cu două treceri					
10,55	13,95	10,53	9,75	12,43	11,44

- TABELUL 7.9. arată erorile calculului pe oțelurile luate în considerare. Se pot arăta următoarele concluzii :

ZIT-ul realizat prin depunerea unei cusături pe placă are eroarea cea mai mică a calculului față de măsurătoare în ceea ce privește duritatea maximă în ZIT. Oțelurile 10Ni35 și R52 au erori până la 7%.

ZIT-urile realizate cu suduri în o trecere și în două treceri au erori mai mari.

Sudarea cu două treceri produce ZIT-uri care dau durități apropiate prin măsurători și calcul. Acest fapt se petrece fiindcă la două treceri, duritatea scade mult prin încălzirea celei de a doua treceri.

La depunere pe placă, oțelurile 10Ni35 și R52 au dat erori sub 7%.

La depunere pe placă, oțelurile K52 și K41 au dat erori sub 25 %.

TABELUL 7.9.

Erorile calculate pe oțelurile considerate

Oțelurile	HM1	HM2	HM3	Medie	Medie	Media
				HM1 HM2 HM3	HM2 HM3	
Depunere						
10N135	10,9	5,8	6,2	7,8	5,8	7,32
R52	7,0	0,3	4,5	0,6	2,4	2,96
K52	7,1	23,6	20,0	16,9	22,0	17,32
K41	15,6	31,6	27,5	25,0	29,5	25,84
Sudare cu o trecere						
10N135	12,8	19,2	18,7	16,7	19,2	17,32
R52	29,8	21,0	15,9	22,1	18,5	21,46
K52	7,1	23,6	20,0	16,9	22,0	17,92
K41	15,6	31,6	27,5	25,0	29,5	25,84
Sudare cu două treceri						
10N135	8,0	14,2	13,7	11,8	14,2	12,38
R52	20,1	11,9	7,2	13,0	10,0	12,44
K52	11,3	8,5	4,7	0,5	6,6	6,32
K41	2,8	21,2	16,5	13,7	18,9	15,18

CAPITOLUL 8

INVESTIGAȚII METALOGRAFICE

Pentru fundamentarea științifică a rezultatelor obținute la încercările de duritate au fost efectuate analize macro și micrografice pe epruvete prelevate transversal din depunerile și îmbinările sudate realizate pe cele 4 metale de bază :

În secțiune transversală, profilul macroscopic al depunerilor respectiv al îmbinărilor sudate are aspectul redat în planșele I ... III.

Deoarece continuitatea metalică a fost obținută prin contactul metalului lichid și solid, în urma atacului metalografic au fost puse în evidență cele patru zone principale și anume :

- cusătura, al cărei profil a fost precizată în momentul solidificării și la care se remarcă orientarea cristalelor în direcția evacuării căldurii ;

- zona de trecere, suprafață care delimitează zona topită și pe care cristalele de solidificare în formare au asigurată legătura metalică cu metalul de bază netopit;

- zona influențată termic (Z.I.T.), situată după zona de trecere, în care acțiunea termică a indus în metalul de bază modificări structurale în funcție de timpul de menținere la temperatură înaltă și de cinetica procesului de răcire; întrucât din cele 4 mărci cercetate oțelul 10N135 are gradul de aliere cel mai ridicat respectiv conductivitatea termică cea mai redusă, la acesta extinderea Z.I.T. este cea mai mică (figura 8.4 comparator cu figurile 8.1, 8.2 și 8.3 din planșele I, II, III);

- metalul de bază (M.B) care este suficient de îndepărtat pentru ca operația de sudare să nu provoace nici o modificare fizico-chimică, cu toate că alte efecte ale sudării, ca deformările și tensiunile reziduale se pot manifesta.

În planșele IV - XV sînt exemplificate rezultatele analizelor micrografice pentru diverse condiții de sudare, reliefîndu-se aspectul cusăturii, a porțiunii din Z.I.T. care este limitrofă cusăturii și a metalului de bază.

PLAUSA I

Macrografii ale depunerilor, realizate pe
diferite metale de bază



Figura 9.1. OTEL K41



Figura 9.2. OTEL K52

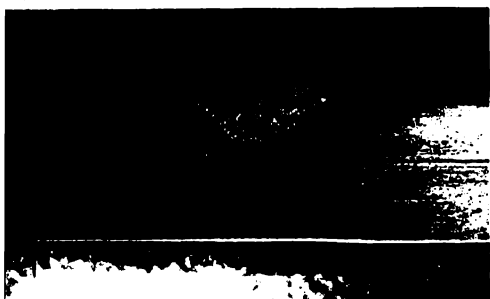


Figura 9.3. OTEL R52



Figura 9.4. OTEL 10V135

PLANSĂ II

Macrografii ale îmbinărilor sudate realizate
într-o singură trecere



Figura 8.5. OTeL K41



Figura 8.6. OTeL K52



Figura 8.7. OTeL R52

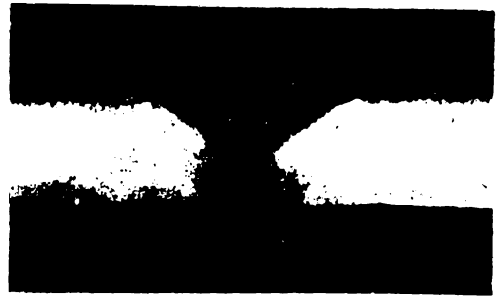


Figura 8.8. OTeL 10N135

PLANSA III

Macrografii ale îmbinărilor sudate realizate
în două treceri



Figura 8.9. OTSL K41



Figura 8.10. OTSL K52



Figura 8.11. OTSL B52



Figura 8.12. OTSL 10N135

Din analiza acestora se desprind următoarele observații :

Depuneri pe table din diverse oțeluri:

- microstructura cusăturii este constituită din grăunți columnari orientați în direcția gradientului termic (figura 8.13 planșele IV... VII)

- în Z.I.T. apare o structură feritică de tip Widmannstätten cu mici cantități de perlită la oțelurile K41 și K52 (figura 8.14- și 8.17 planșele IV și V), o structură bainito-martensitică la oțelul R52 (figura 8.20 planșa VI) și o structură ferito-bainitică la oțelul 10 Ni35 (figura 8.23 planșa VII); în consecință la depunerile realizate pe table din oțel R52 trebuie să se obțină cele mai mari valori ale durității ;

- metalul de bază prezintă în toate cazurile o structură ferito-perlitică cu granulație ceva mai mare și cu incluziuni de tipul sulfurilor la oțelurile K41 și K52 (figura 8.15 - 8.18 planșele IV și V), respectiv cu granulație fină la oțelurile R52 și 10Ni35 (figura 8.21 - 8.24 planșele VI și VII); fenomenul se explică prin faptul că oțelurile R52 și 10Ni35 fac parte din categoria celor cu grăunte ereditare fine, deoarece au în compoziția chimică mici cantități de Al, V, Cr care formează oxizi, carburi, nitruri ce se depun pe limitele grăunților frînându-le dezvoltarea dimensională de o manieră pur mecanică.

Judarea într-o singură trecere.

- cusătura are o structură alcătuită din grăunți columnari, similară cu cea din zona de transcristalizare a unui lingou metalic (figura 8.25 - 8.34 planșele VIII...XI);

- în Z.I.T. se remarcă o structură ferito-perlitică cu tendință spre Widmannstätten la oțelurile K41 și K52 (figura 8.26 - 8.29 planșele VIII și IX), o structură ferito-bainito-martensitică la oțelul R52 (figura 8.32 planșa X) și o structură ferito-perlitică fină cu aspect de Widmannstätten la oțelul 10Ni35 (figura 8.35 planșa XI); din analiza acestor microstructuri se desprinde observația că la oțelul R52 trebuie să se obțină valorile maxime de duritate;

- metalul de bază are o structură ferito-perlitică fină în toate cazurile cercetate, punctajul maxim $N = 9...10$ corespunzând mărcilor 10Ni35 și R52 (Figura 8.33-8.36 planșele X, XI comparator cu figura 8.27-8.30 planșele VIII, IX)

PLANSA IV

Microstructura metalului depus și a Z.I.T. pentru
M.B - K41



Figura 8.13.C

x250



Figura 8.14 Z.I.T.

x250



Figura 8.15 M.B.

x250

PLATA V

Microstructura metalului depus și a Z.T.T. pentru
M.B - K52

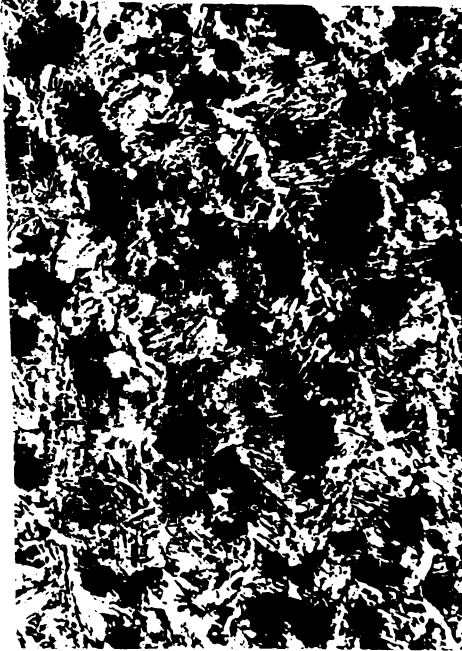


Figura 9.16. C. x250

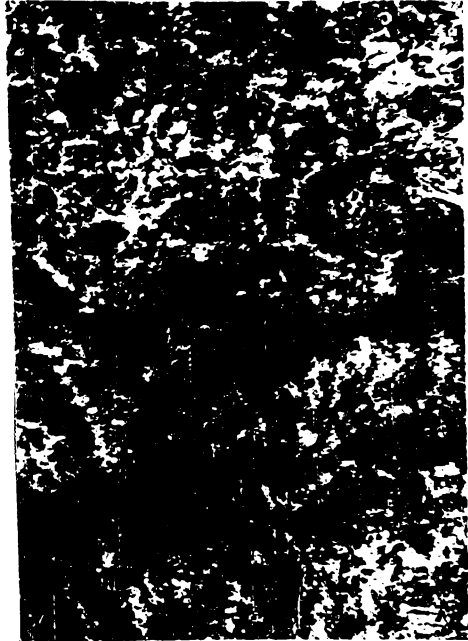


Figura 9.17. Z.T.T. x250



Figura 9.18. M.B. x250

PLANSA VI.

Microstructura metalului depus și a Z.I.T. pentru
M.B.-R52



Figura 8.19. C. x250



Figura 8.20. Z.I.T. x250



Figura 8.21. M.B. x250

PLANSA VII

Microstructura metalului depus și a Z.I.T. pentru
M.B. - 10Ni25



Figura 8.22. C x250

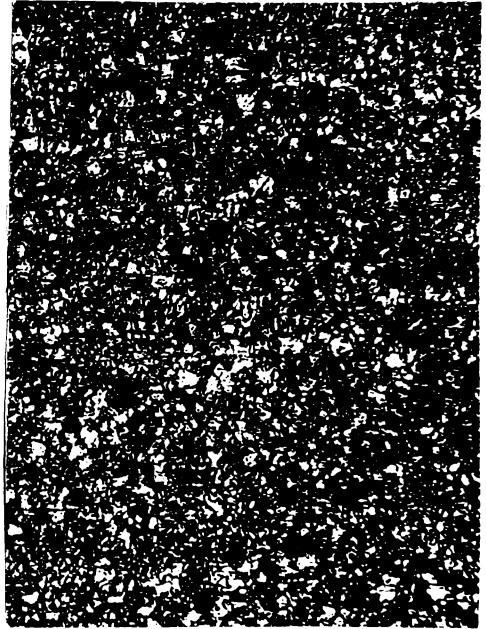


Figura 8.23. Z.I.T. x250

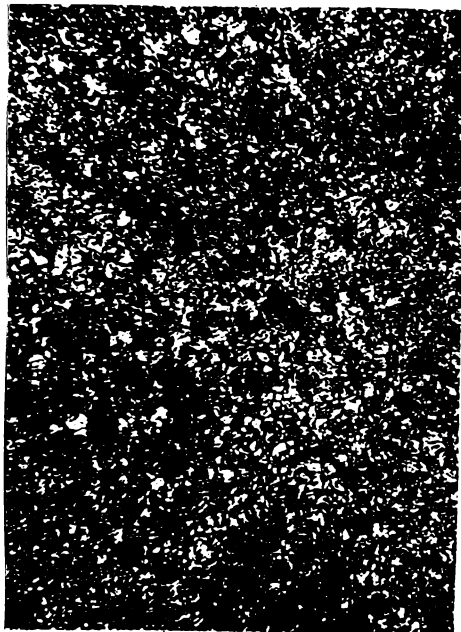


Figura 8.24. M.B. x250

PLANSA VIII

Microstructura îmbinărilor sudate realizate într-o
singură trecere. Metal de bază: K41

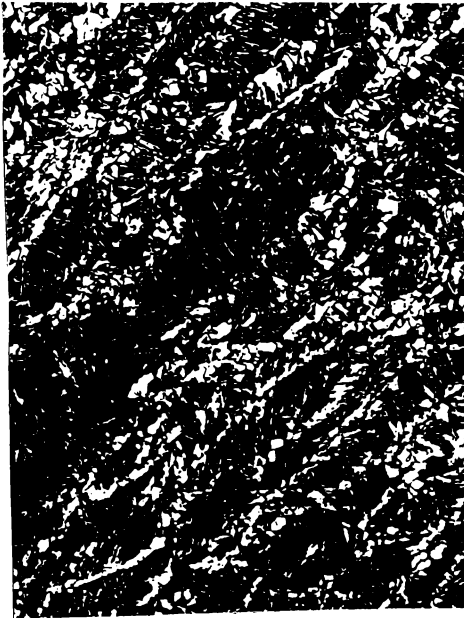


Figura 8.25. C. x250



Figura 8.26. Z.I.T. x250



Figura 8.27. M.B. x250

PLANSA IX

Microstructura îmbinărilor sudate realizate într-o
singură trecere. Metal de bază : K52



Figura 9.28. C x250



Figura 9.29. Z.I.T. x250



Figura 9.30. M.B. x250

PLANSA X

Microstructura îmbinărilor sudate realizate într-o
singură trecere. Metal de bază : R52

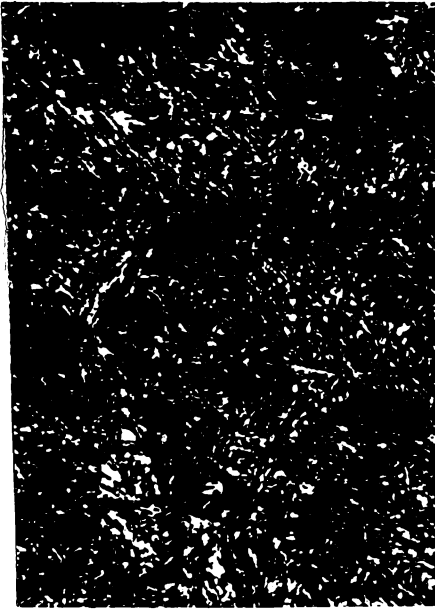


Figura 9.31. C. x250



Figura 9.32. Z.I.T. x250



Figura 9.33. M.B. x250

PLANSA XI

Microstructura îmbinărilor sudate realizate într-o singură
trecere. Metal de bază : 10Mn25



Figura 8.34. C. x250



Figura 8.35. C.C.C. x250

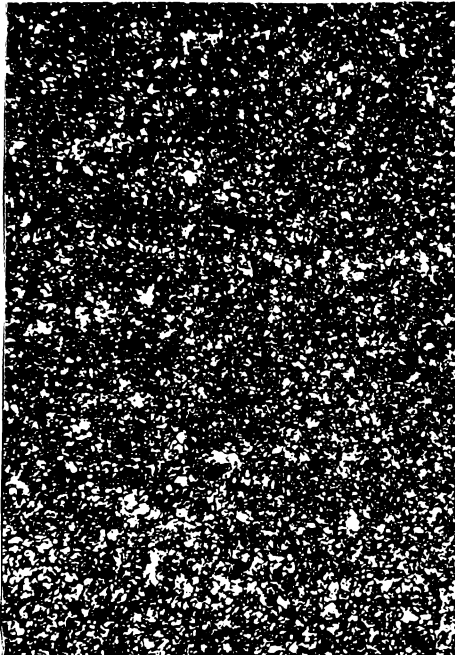


Figura 8.36. C.C. x250

- nu se constată defecte de natură microscopică în structura îmbinărilor sudate realizate.

Sudarea în două treceri

- cusătura are o structură ferito-perlitică cu grăunți de formă columnară orientați în direcția evacuării căldurii (figura 8.37-8.46 planșele XII...XV).

- în Z.I.T. apare o structură ferito-troostitică la oțelul K41 (figura 8.38 planșa XII), o structură ferito-perlitică cu ușoară tendință spre Widmannstätten la oțelul K52 (figura 8.38 planșa XII7, o structură ferito - bainito - troostitică la oțelul R52 (figura 8.44 planșa XIV) și o structură ferito-troostitică extrem de fină la oțelul 10Ni35 (figura 8.47 planșa XV); se desprinde observația că cele mai mari valori de duritate se vor obține tot la oțelul R52, dar acestea, sînt mult mai mari comparativ cu cele realizate la depunerile pe tablă sau la sudarea într-o singură trecere. Acest fenomen se justifică prin efectul încălzirii ulterioare la sudarea în două treceri asupra transformării austenitei subrăcite din Z.I.T. în constituenți care tind spre echilibru, deci cu duritate mai mică, respectiv cu o rezistență mai mare la ruperea fragilă;

- metalul de bază are o structură ferito-perlitică cu granulație corespunzătoare punctajului $N = 7 - 8$ la oțelurile K41 și K52, respectiv $N = 10 \dots 11$ la oțelurile R52 și 10Ni35 (figura 8,39 - 8.48 planșele XII...XV).

PLANSA XII

Microstructura îmbinărilor sudate realizate în două treceri
Metal de bază : K41



Figura 8.37. C. x250



Figura 8.38. Z.I.F. x250

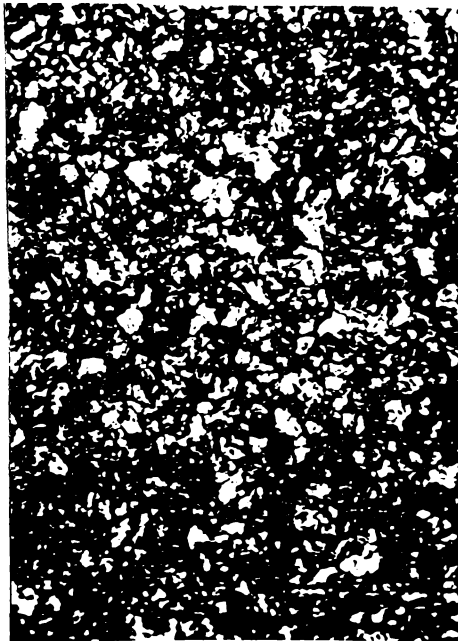


Figura 8.39. M.B. x250

PLANSA XIII

Microstructura îmbinărilor sudate realizate în două treceri. Metal de bază : K52



Figura 8.40. C x250



Figura 8.41. Z.I.T. x250

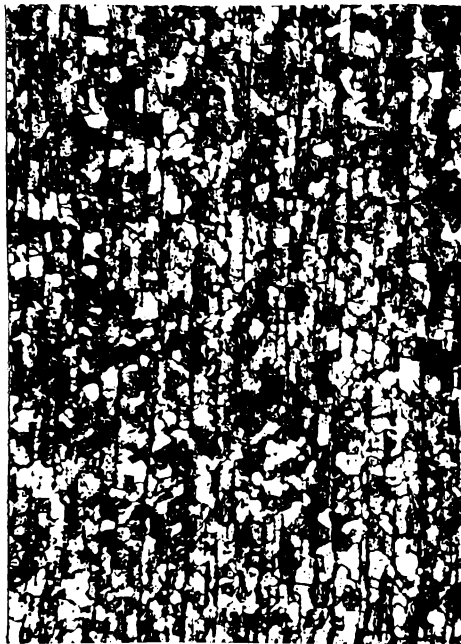


Figura 8.42. M.B. x250

PLANSA XIV

Microstructura îmbinărilor sudate realizate în
două treceri. Metal de bază : R52



Figura 8.43. C x250



Figura 8.44. Z.I.T. x250

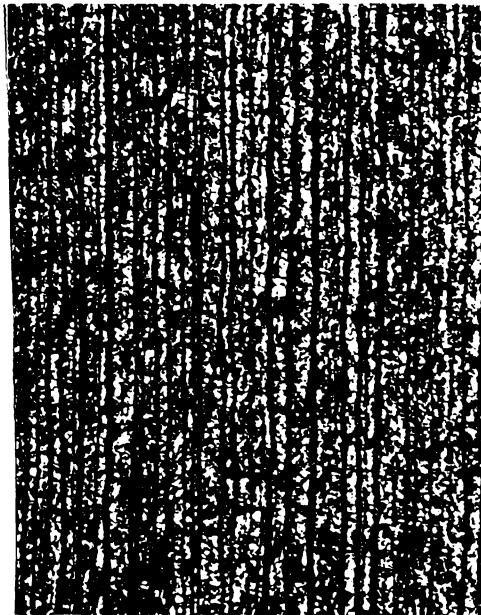


Figura 8.45. M.B. x250

PLANSA XV.

Microstructura îmbinărilor sudate realizate în două
treceri. Metal de bază : 10Ni35

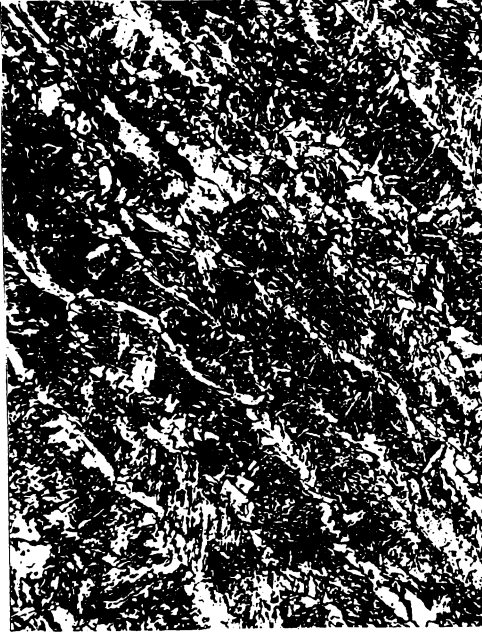


Figura 8.46

C.

x250

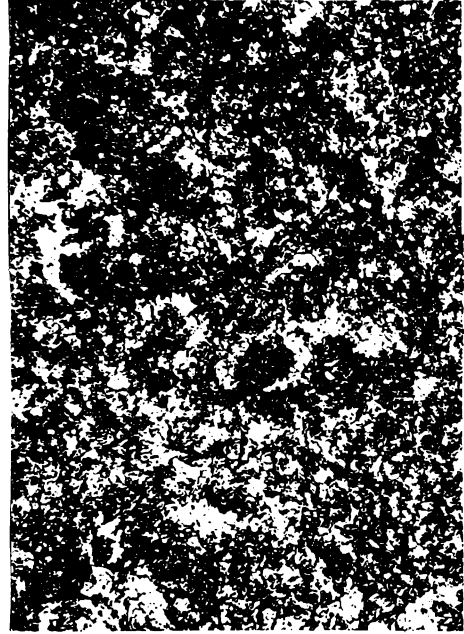


Figura 8.47.

Z.I.T. >

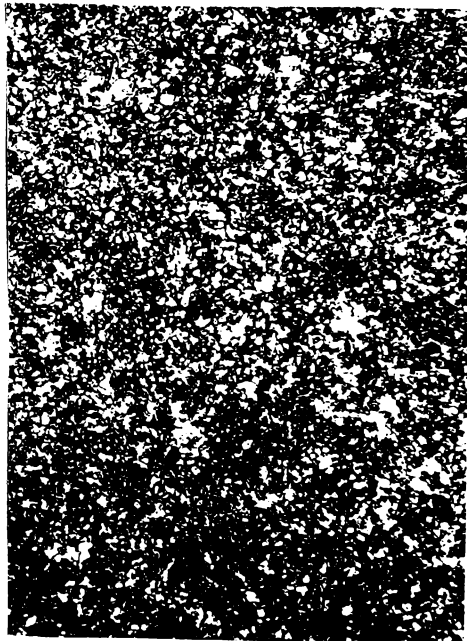


Figura 8.48.

M.B.

x250

CAPITOLUL 9

C O N C L U Z I I

9.1. Zona influențată termic ZIT este cea mai critică fiindcă din ea pornesc fisurile la structurile sudate. În ZIT găsim o structură cu grăunți mari și cu duritate ridicată.

Conform datelor publicate de Institutul Internațional de Sudură, cunoscut sub inițialele IIS/IIW, circa 90...95 % din avarii pornesc din ZIT.

Acest fapt a determinat să se limiteze duritatea maximă în ZIT. În general, limita admisă este între 300 și 350 Hv, dar la structurile solicitate puternic, duritatea maximă în ZIT se reduce. La platformele de foraj marin, duritatea ZIT-ului trebuie să fie sub 200 Hv.

Determinarea durității ZIT-ului implică anumite intervenții în zonă. Asemenea manevre pot fi ele inele amorse de fisurare. Se întâmplă că unele ZIT-uri nu sînt accesibile și deci siguranța structurii nu poate fi probată.

Remedierea acestor dificultăți s-a făcut prin elaborarea unor relații cu care să calculăm duritatea maximă în ZIT. Prămele relații se bazează pe analiza chimică. Erorile de calcul erau mari și, în a doua etapă, s-au introdus energia arcului și temperatura de preîncălzire.

Erorile au scăzut și deci relațiile au început să se folosească. Consecințele au fost bune : economie de timp, de mijloace tehnice, fără a periclitiza siguranța structurii.

9.2. Tema de doctorat urmărește următoarele probleme :

- Alegerea relațiilor de calcul a durității maxime din ZIT, care se apropie mai bine de cele determinate.
- Am luat în considerație trei relații notate în teză cu HM1 ; HM2 și HM3. Relația HM1 este elaborată și recomandată de Institutul Internațional de Sudură. Relațiile HM2 și HM3 au fost elaborate de Institutul japonez de sudură.

- S-au ales 4 oțeluri folosite la recipiente de stocare a hidrocarburilor : 10Ni35 ; R52 ; K52 și K41.

- Grosimea tablelor a fost de 20 mm, pentru a putea, la nevoie, compara comportarea la sudare.

- Avînd în vedere că relațiile HM2 și HM3 sînt complicate, s-a elaborat un program de calcul a durității maxime în ZIT. Programul este dat în anexa 1.

- Compozițiile chimice s-au determinat cu 5 date la fiecare element, pentru a putea aplica testul de normalitate. În final s-a arătat că toate datele sînt normale.

9.3. S-au calculat duritățile maxime din ZIT cu cele 3 relații. Avînd în vedere că formulele HM2 și HM3 țin seama de energia arcului electric și de preîncălzire, s-au comparat rezultatele lor între ele.

S-au găsit următoarele erori maxime : 5,60 % la energia de 17 J și 5,43 % la energia de 30 J.

Concluzia este că relațiile HM2 și HM3 sînt apropiate.

Tabelele 6.3, 6.4 și 6.5 arată erorile la diferitele relații. Este important faptul că erorile relațiilor de calcul a durității maxime în ZIT nu depășesc 15 %.

9.4. S-au făcut 3 tipuri de ZIT-uri : ZIT1 prin depunere a unei suduri pe placă ; ZIT2 prin sudare cu o trecere și ZIT3 prin sudarea cu două treceri.

9.5. Relațiile de calcul HM1, HM2 și HM3, s-au amplificat cu încă două : media rezultatelor celor trei relații și media relațiilor HM2 și HM3, care dau valori apropiate.

9.6. Erorile de calcul pe cele 5 relații, față de valorile determinate experimental arată următoarele :

- ZIT1 dau cele mai mici erori între calcul și determinat.
- ZIT2 dau cele mai mari erori între calcul și determinat

9.7. Să trecem acum la erorile pe fiecare oțel și pe fiecare relație. Se obține tabelul 9.1.

TABELUL 9.1.

Erorile între calcul și determinare pe
fiecare tip de oțel, pe fiecare ZIT și
pe fiecare relație

ZIT	10N135	R52	K52	K41
1	7,32	2,96	17,92	25,94
2	17,32	21,46	17,92	25,84
3	12,38	12,44	6,32	15,18
Mediile	12,34	12,28	14,05	22,28

Rezultă că oțelurile 10N135, R52 dau cea mai mică eroare între experiment și calcul, avînd comportarea cea mai omogenă.

9.8. Aplicarea practică a tezei de doctorat este importantă fiindcă arată cum trebuie calculată duritatea maximă din ZIT pentru ca eroarea să fie minimă între practică și teorie.

9.9. Metodologia calculului durității maxime din ZIT la oțelurile slab și mediu aliate trebuie să se deruleze după programul ce urmează.

9.10. Se depune o sudură pe tabla din oțelul cercetat cu tehnologia de la comportarea de sudare :

- procedeul SE (sudare cu electrozi înveliți)
- curentul de sudare $I_S = 170 \pm 10$ A
- viteza de sudare $V_S = 15 \pm 1$ cm/min
- tensiunea arcului $U_S = 20 \pm 1$ V
- se decupează ZIT-ul și se determină duritatea maximă în zona influențată termic

9.11. Calculul durității maxime în ZIT se face cu media celor două relații HM2 și HM3.

Rezultatul calculului față de cel determinat nu va da erori mai mari de 10 %

CAPITOLUL 10

B I B L I O G R A F I E

1. Traian Sălăgean : Tehnologia sudării metalelor ;
Ed.Tehnică - 1986
2. Traian Sălăgean ; Dan Mălai, Mircea Vodă :
Optimizarea sudării cu arcul electric;
Ed.Tehnică - 1988
3. Traian Sălăgean, Dan Mălai, Mircea Vodă :
Aplicațiile statistice în domeniul
construcțiilor de mașini ; OIP 1987
4. S.V.Dusovoetki : Optimizarea tehnologiilor de sudare;
Avtomatizieskaia svarka 1980 nr.12
5. x x x : Optimizarea proceselor de sudare în CO₂;
Avtomaticeskaia svarka 1979 nr.2
6. Voicu Safta și colaboratorii :
Inercarea materialelor ;
Ed. Tehnică - 1986
7. Voicu Safta : Controlul îmbinărilor și produselor
sudate : Ed. Facla - 1984
8. Voicu Safta, Ghe. Gliță {
Defectoscopia îmbinărilor sudate prin
metode electromagnetice;
Ed. SID, 1986
9. Ion Mitelea, Victor Budău :
Studiul metalelor - îndreptar tehnic;
Editura Facla, 1987
10. Ion Mitelea : Studiul metalelor. Institutul Politehnic
"Traian Vuia" Timișoara, 1983

PROGRAM "CALC HM"

```

10 BORDER 1 : PAPER 1 : INK 7 : POKE 23609,150
20 REM PROGRAM "CALC. HM" - CALCULUL BURITATII MAXIME
   IN ZIT + DM (6) - 14.12.1988
30 GO SUB 210
40 DIM X(4,7): DIM A(4): DIM T(2): DIM E(2): DIM P(4):
   DIM Y(2): DIM C(2,4): DIM S(4): DIM K(4): DIM L(4):
   DIM B(2,4): DIM Z(2,4): DIM H(4)
50 DATA 0.18, 0.33, 1.514, 0.02, 0.33, 0.07, 0.0, 0.124,
   0.284, 0.942, 0.01, 0.0, 0.01, 0.0, 0.126, 0.158, 0.68,
   0.02, 0.0, 0.018, 0.0, 0.06, 0.296, 0.614, 0.0, 3.798,
   0.058, 0.01
60 FOR i=1 TO 4 : FOR j=1 TO 7 : READ X(i,j) : NEXT j :
   NEXT i
70 FOR i=1 TO 4 : LET A(i) = 40 + 666 * (X(i,1) - X
   (i,7)/4 + X(i,6)/5 + X(i,3)/6 + X(i,2)/24 + X(i,5)/40) :
   PRINT "HM1="; A(i): NEXT i
80 DATA 17,30 : FOR q=1 TO 2 : READ E(q) : NEXT q
90 LET O=0 : GO SUB 130
100 LET O=150 : GO SUB 130
110 LET O=300 : GO SUB 130
120 STOP
130 FOR q=1 TO 2 : LET T(q)=(900/((600-O) 1.2)) * (E(q)
   (0.94 + 0.0007 * O)): NEXT q
140 FOR i=1 TO 4 : LET P(i) = X(i,1)+ X(i,2)/30+(X(i,3)+
   X(i,4)+ X(i,6))/20+ X(i,5)/60+ X(i,7)/15 : NEXT i
150 FOR q=1 TO 2 : FOR i=1 TO 4 : LET Z(q,i)=(LN T(q)/
   LN 10 + 0.5*cl+7.9 * X(i,1)-11.01 * P(i)): NEXT i: NEXT q
160 FOR q=1 TO 2 : FOR i=1 TO 4 : LET B(q,i) = 189 + 67 *
   X(i,1) + 507 * P(i)-(101+711 * X(i,1) - 461 * P(i)) *
   ATN Z(q,i) : PRINT "HM2 =" ; B(q,i), "T pr=";O;"
   E1="; A(q): NEXT i : NEXT q
170 FOR i=1 TO 4 : LET K(i) = 237 + 1633 * X(i,1)-1157 * P(i):
   LET H(i)=984 * X(i,1)+287-K(i): LET L(i) = 566+5532 *
   X(i,1)-2280 * P(i) : LET S(i) = -0.03-6 * X(i,1) + 7.77 *
   P(i) : NEXT i

```

~~SECRET~~


```

18o   FOR q=1 TO 2 : LET Y(q) = LN T(q)/LN 1o : NEXT q
19o   FOR q=1 TO 2 : FOR i=1 TO 4 : LET C(q,i)= H(i)+K(i)/
      (1+EXP ((L(i)/K(i)) * (Y(q) - S(i)))) : PRINT "HM3=";
      C(q,i) "T pr="; 0 ;"      E1="; E(q): NEXT i : NEXT q
20o   RETURN
21o   PRINT AT o,3; "CHRS17CHRS6CHRS16CHRSO CALCULUL DURITAT"
      MAXIME CHRS17CHRS1CHRS16CHRS7"; AT 1,10; "CHRS17CHRS6
      CHRS16CHRS 0 IN ZIT (HM) CHRS17CHRS1CHRS16CHRS7" :
      PRINT
22o   RETURN

```