



UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" DIN GALAȚI
FACULTATEA DE MECANICĂ
DEPARTAMENTUL CONSTRUCȚII DE MAȘINI
ROBOTICĂ ȘI SUDARE

Doctorand,
Ing. IULIANA MAGDALENA ZBURLEA



CALITATEA ÎMBINĂRILOR SUDATE LA CONDUCTELE REALIZATE DIN OȚELURI TERMOREZISTENTE

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducător științific,
Prof. dr. ing. Dănuț MIHĂILESCU

ROMÂNIA
 MINISTERUL EDUCAȚIEI, CERCETĂRII, TINERETULUI ȘI SPORTULUI
 UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS DIN GALAȚI

Strada Domnească nr. 47, cod poștal 800008
 Galați, România
 E-mail: rectorat@ugal.ro



Tel: (+4) 0336-130.109; 0336-130.108; 336-130.104
 Fax: (+4) 0236 - 461.353
 www.ugal.ro

C 10.232/13.10.2011

Către

Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați vă face cunoscut că în data de 18.11.2011, ora 11.00, în Facultatea de Mecanică - Centrul de Cercetare ITCM - Sala de Conferințe (B 14), va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată: "CALITATEA ÎMBINĂRILOR SUDATE LA CONDUCTELE REALIZATE DIN OȚELURI TERMOREZISTENTE", elaborată de domnul/doamna ing. VIZITIU IULIANA-MAGDALENA(ZBURLEA), în vederea conferirii titlului științific de doctor în Domeniul de doctorat - Inginerie industrială.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

Presedinte: Prof.univ.dr.ing. Iulian-Gabriel BÎRSAN
 Prorector-Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați

Conducător de doctorat: Prof.univ.dr.ing. Dănuț MIHĂILESCU
 Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați

Referent 1: Cercet.st.pr.gr.I dr.ing. Doru-Romulus PASCU
 Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale Timișoara,
 Membru corespondent al Academiei de Științe Tehnice din România

Referent 2: Prof.univ.dr.ing. Nicolae TRIF
 Universitatea TRANSILVANIA Brașov

Referent 3: Prof.univ.dr.ing. Elena SCUTELNICU
 Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat și vă invităm să participați la susținerea publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în scris pe adresa Universității, str. Domnească nr. 47, 800008 - Galați, Fax - 0236 / 461353.

RECTOR,
 Prof.dr.ing. Viorel MINZU



SECRETAR DOCTORAT,

Ing. Luiza AXINTE

CUPRINS

	Pag.	
	Tez.	Rez.
INTRODUCERE.....	5	3
CAP. 1. STADIUL ACTUAL PRIVIND SUDAREA CONDUCTELOR DIN OȚELURI NEALIAE ȘI ALIAE CU CARACTERISTICI SPECIFICATE LA TEMPERATURI RIDICATE.....	7	5
1.1. Țevi din oțeluri nealiate și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate.....	7	-
1.2. Caracterizarea structurală și mecanică a oțelurilor termorezistente.....	7	5
1.3. Fenomene de fragilizare-fisurare la îmbinările sudate din oțeluri termorezistente.....	14	-
1.4. Tipuri de îmbinări sudate.....	25	6
1.5. Poziții de sudare.....	26	7
1.6. Procedee de sudare.....	27	7
1.7. Pregătirea componentelor în vederea sudării.....	44	-
1.8. Prinderea în puncte de sudură.....	47	-
1.9. Protecția la rădăcină.....	48	-
1.10. Tratamente termice specifice îmbinărilor sudate realizate din oțeluri termorezistente.....	50	8
1.12. Stadiul actual al sudării conductelor la SC Nuclearmontaj SA Galați.....	71	9
CAP. 2. CONCLUZII ȘI DIRECȚII DE CERCETARE.....	72	10
2.1. Concluzii.....	72	10
2.2. Direcții de cercetare.....	78	14
CAP. 3. STABILIREA MATERIALELOR ȘI ECHIPAMENTELOR PENTRU SUDARE, TRATAMENTE TERMICE ȘI ÎNCERCĂRI MECANICE DE LABORATOR.....	80	15
3.1. Materiale de bază.....	80	15
3.2. Materiale de adaos.....	83	15
3.3. Materiale auxiliare.....	89	16
3.4. Instalații pentru sudare.....	89	16
3.5. Echipament pentru tratamente termice post - sudare.....	91	17
3.6. Echipamente pentru încercări mecanice de laborator.....	92	17
CAP. 4. STABILIREA DIMENSIUNILOR PROBELOR SUDATE ȘI TIPURILOR DE ÎNCERCĂRI MECANICE DE LABORATOR.....	95	18
4.1. Simbolizarea numărului de probe.....	95	18
4.2. Dimensiunile probelor sudate cap la cap, modul de pregătire a marginilor componentelor și modul de prelevare a epruvetelor.....	96	18
4.3. Tipuri de încercări mecanice de laborator.....	96	19
4.4. Controlul probelor sudate.....	99	-
4.5. Realizarea tratamentelor termice post-sudare de detensionare.....	100	19
CAP. 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA ȚEVILOR DIN OȚELURI TERMOREZISTENTE.....	102	19
5.1. Cercetări experimentale privind sudarea țevilor din oțel termorezistent nealiat marca P265GH.....	102	-
5.2. Cercetări experimentale privind sudarea țevilor din oțel termorezistent aliat marca 13CrMo4-5.....	117	-
5.3. Cercetări experimentale privind sudarea țevilor din oțel termorezistent aliat marca 10CrMo9-10.....	130	19

5.4. Analiza comparativă a compozițiilor chimice ale sudurilor țevilor termorezistente îmbinate cap la cap.....	143	30
5.5. Concluzii privind sudarea țevilor din oțeluri termorezistente....	145	32
CAP. 6. MODELAREA MATEMATICĂ A REZISTENȚELOR MEDII DE RUPERE LA TRACȚIUNE A ÎMBINĂRILOR SUDATE.....	148	34
6.1. Considerații teoretice privind optimizarea prin diferențiere.....	148	34
6.2. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic.....	153	39
6.3. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate tratate termic.....	158	-
6.4. Concluzii privind modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate	161	41
CAP. 7. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE.....	162	41
7.1. Concluzii finale.....	162	41
7.2. Contribuții originale.....	165	44
7.3. Direcții viitoare de cercetare.....	168	46
SEMNIFICAȚIA NOTAȚIILOR, PRESCURTĂRILOR ȘI A SIMBOLURILOR. ANEXE.....	169	-
	173	-
BIBLIOGRAFIE.....	187	47
CURRICULUM VITAE.....	196	49

INTRODUCERE

Oțelurile nealiate (carbon) și oțelurile aliate (slab aliate) având caracteristici specificate la temperaturi ridicate (termorezistente) sunt utilizate pe scară largă la realizarea elementelor de mare răspundere din centralele termoelectrice (rotoare de turbină, conducte pentru abur, buloane, etc). Aceste elemente sunt supuse în timpul exploatarei la solicitări mecanice și termice ridicate (presiuni până la 140 at. și temperaturi atingând 560 °C) pe durate îndelungate (până la 20 de ani de utilizare). Oțelurile termorezistente se caracterizează prin proprietăți largi de utilizare datorită diferitelor combinații ale elementelor de aliere, respectiv a posibilităților de elaborare și de tratamente termice care se pot aplica post - sudare.

Având în vedere domeniile de utilizare, aceste oțeluri trebuie să asigure caracteristici de rezistență la temperaturi ridicate (fluaj), respectiv ductilitate, în special alungire și gătuire, la valori ridicate, stabile pe perioada de utilizare a structurii metalice. Tratamentul termic de detensionare aplicat post - sudare oțelurilor termorezistente, trebuie să asigure reducerea optimă a nivelului tensiunilor reziduale, restaurarea ductilității zonelor fragilizate și degradarea minimă a caracteristicilor mecanice ale oțelurilor în zonele nefragilizate.

În cadrul tezei de doctorat se vor analiza din punct de vedere calitativ a îmbinărilor sudate cap la cap, două procedee larg utilizate (111- sudarea manuală cu arc electric cu electrod învelit și 141- sudarea cu arc electric în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil de W) și un procedeu productiv cu răspândire redusă (511- sudarea cu fascicul de electroni în vid).

Teza de doctorat reprezintă rodul activității teoretice și practice de peste patru ani a autoarei, cuprinzând un număr de 195 pagini, fiind structurată pe 7 capitole. Această lucrare conține un număr de 90 relații matematice, 157 figuri și 63 tabele. La realizarea tezei de doctorat s-au utilizat 196 referiri bibliografice, din care 23 sunt elaborate de autoare singură sau în colectiv (10 în domeniul tezei de doctorat - 8 ca prim autor).

Pornind de la o bogată bibliografie realizată pe plan național și internațional, în capitolul introductiv, am abordat stadiul actual privind sudarea conductelor din oțeluri nealiate și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate.

Pe această bază, se prezintă în următorul capitol 2, concluziile și direcțiile de cercetare, abordate în cadrul tezei de doctorat.

Capitolul 3 este dedicat stabilirii materialelor și echipamentelor pentru sudare, tratamente termice și încercări mecanice de laborator utilizate în cadrul vastelor programe experimentale.

În capitolul 4 sunt stabilite dimensiunile probelor sudate și tipurile de încercări mecanice de laborator.

Capitolul 5 este rezervat vastelor cercetări experimentale privind sudarea prin trei procedee (111- sudarea manuală cu arc electric cu electrod învelit, 141- sudarea cu arc electric în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil de wolfram și 511- sudarea cu fascicul de electroni în vid) a trei mărci și tipodimensiuni de țevi din oțeluri nealiate și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate (P265GH - 1.0425, Φ 60,3 x 6,0 mm; 13CrMo4-5 - 1.7335, Φ 42,4 x 5,4 mm și 10CrMo9-10 - 1.7380, Φ 31,8 x 4,0 mm). În acest capitol, sunt prezentați pentru fiecare din cele nouă tipuri de probe sudate cap la cap, parametrii tehnologici, ordinele de depunere a rândurilor în rosturile dintre componente, rezultatele controalelor nedistructive și distructive, tratamentele termice post - sudare, rezultatele încercărilor mecanice de laborator, analizele macroscopice și microscopice și determinările compozițiilor chimice în metalul depus.

Capitolul 6 abordează modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate (netratate sau tratate termic prin detensionare) prin procedeele 111, 141 și 511, în funcție de rezistența la rupere a materialelor de bază (P265GH, 13CrMo4-5 și 10CrMo9-10) și de energia liniară folosită la sudare.

Lucrarea se încheie cu capitolul 7, de concluzii generale privitoare la studiile și vasele cercetări experimentale realizate și punctează deasemenea, contribuțiile autoarei în plan teoretic și experimental.

Îmi exprim speranța, că lucrarea de față va suscita interes în cercurile de specialiști, iar contribuțiile tezei își vor dovedi utilitatea la realizarea elementelor de mare răspundere din centralele termoelectrice.

În primul rând, îmi fac o datorie de onoare în a aduce pe această cale cele mai calde mulțumiri *D-lui Prof. dr. ing. Dănuț Mihăilescu*, conducătorul științific al tezei de doctorat, pentru îndrumarea în condiții de excepție a activității depuse și deosebit de importante sugesții, de înalt profesionalism, exprimate pe parcursul elaborării lucrării.

Mulțumiri se cuvin a fi aduse, *D-lui Cercetător Științific Principal Gr. I dr. ing. Doru Romulus Pascu m. c. al Academiei Tehnice din România* de la Institutului Național de Cercetare - Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale (ISIM) Timișoara, pentru sprijinul major acordat în cadrul programului experimental de cercetare.

Exprim recunoștința mea, membrilor comisiei de doctorat *Prof. dr. ing. Elena Scutelnicu* de la Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați și *Prof. dr. ing. Iacob Nicolae Trif* de la Universitatea "Transilvania" din Brașov, pentru observațiile deosebit de utile formulate pe parcursul elaborării lucrării.

Mulțumesc pe această cale, conducerii SC Nuclearmontaj SA Galați, cadrelor didactice și personalului tehnic din cadrul Departamentului Construcții de Mașini, Robotică și Sudare a Universității "Dunărea de Jos" din Galați, personalului Institutului Național de Cercetare - Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale (ISIM) Timișoara ce activează în Hala de Sudură și în Laboratorul de Încercări, Examinări și Analize, specialiștilor din cadrul societăților comerciale și celorlalți colaboratori, pentru sprijinul acordat la realizarea bazei materiale de cercetare și a vastului program experimental.

Profund îndatorat rămân familiei mele pentru dragostea, sprijinul, înțelegerea, răbdarea, sacrificiul și ajutorul moral - material acordat pe perioada elaborării și finalizării tezei de doctorat.

Galați, septembrie 2011

Autoarea

* Notațiile din rezumat corespund celor din lucrarea în extenso.

CAPITOLUL 1

STADIUL ACTUAL PRIVIND SUDAREA CONDUCTELOR DIN OȚELURI NEALIAȚE ȘI ALIAȚE CU CARACTERISTICI SPECIFICATE LA TEMPERATURI RIDICATE

1.2. Caracterizarea structurală și mecanică a oțelurilor termorezistente

1.2.1. Condițiile impuse oțelurilor slab aliate termorezistente

Oțelurile nealiate (carbon) și oțelurile aliate (slab aliate) termorezistente sunt utilizate pe scară largă la realizarea elementelor de mare răspundere din centralele termoelectrice (rotoare de turbină, conducte pentru abur, buloane, etc). Aceste elemente sunt supuse în timpul exploatării la solicitări mecanice și termice ridicate (presiuni până la 140 at. și temperaturi atingând 560 °C) pe durate îndelungate (până la 20 de ani de utilizare). Aceste oțeluri se caracterizează prin proprietăți largi de utilizare datorită diferitelor combinații ale elementelor de aliere, respectiv a posibilităților de elaborare și de tratamente termice care se pot aplica.

O categorie importantă a acestor oțeluri o reprezintă cele cu max. 0,3% C, utilizate la fabricația unor elemente din componența agregatelor energetice. Oțelurile termorezistente sudabile cu 0,15 %C; 0,5 %Cr; 0,5 %Mo; 0,3 %V sunt utilizate la realizarea țevilor supraîncălzitoarelor și a vaselor sub presiune din industria energetică și chimică, iar oțelurile cu (0,15...0,25) %C; 2,25 %Cr; 0,8 %Mo; 0,3 %V se folosesc la fabricația furniturilor centralelor nucleare - electrice (CNE) [89].

Având în vedere domeniile de utilizare, aceste oțeluri trebuie să asigure caracteristici de rezistență la temperaturi ridicate (fluaj), respectiv ductilitate, în special alungire și gătuire, la valori ridicate, stabile pe perioada de utilizare a structurii metalice.

1. Condițiile rezistenței la temperaturi ridicate a oțelurilor

Pentru ca aceste oțeluri să asigure condițiile de exploatare impuse este necesară optimizarea relației dintre microstructură, deformarea microscopică și comportarea macroscopică la fluaj [97]. Scopul acestei optimizări este relevarea unor aspecte privind posibilitățile de îmbunătățire sau elaborare a oțelurilor termorezistente cu performanțe mecanice ridicate. Pentru ca un oțel termorezistent să asigure caracteristici mecanice pe durate largi de utilizare, se impune condiția unei viteze reduse de fluaj, ceea ce se obține prin:

- Dizolvarea atomilor în grăunți, care se aglomerează în apropierea dislocațiilor împiedicând alunecarea și cățărarea acestora. Efectul este maxim dacă energia de interacțiune dintre atomi și dislocații este mare.

- Existența unor grăunți mari, pentru ca suprafața limitelor de grăunți să fie mică, în funcție de temperatura de utilizare.

- Asigurarea unor precipitate fin dispersate în masa de grăunți, precipitate stabile pe durata de utilizare.

- Blocarea alunecărilor și a limitelor de grăunți printr-o dispersie fină a particulelor de faze stabile. Această dispersie este necesară pentru evitarea unor transformări structurale necontrolate, în cazul în care apar precipitări discontinue.

Proprietățile unui oțel termorezistent sunt influențate de interacțiunea diferitelor procese specifice metalurgiei fizice și mecanice. O caracteristică mecanică importantă este rezistența oțelului, considerată a fi proprietatea structurii de a se opune anumitor deplasări ale dislocațiilor datorită tensiunilor aplicate. Astfel, rezistența oțelului depinde de tipul și numărul de obstacole care împiedică deplasarea dislocațiilor prin matrice.

Aceste obstacole pot fi formate din rețele de dislocații, bucle ale dislocațiilor marginale, atomii individuali și aglomerările de atomi, precipitate, cavități, etc. În condiții specifice, rezistența oțelului poate fi controlată sau cel puțin influențată de unele din aceste obstacole, în funcție de compoziția chimică și microstructura oțelului.

1.4. Tipuri de îmbinări sudate

Tipurile de îmbinări pentru țevile din oțeluri termorezistente destinate industriei termoeenergetice sunt cap la cap și de colț (Fig. 1.20 și 1.21). Debitarea țevilor din oțeluri termorezistente destinate industriei termoeenergetice, se poate realiza prin următoarele metode: cu disc abraziv, prin frezare, oxigaz, cu plasmă de aer și cu laser (Fig. 1.22).

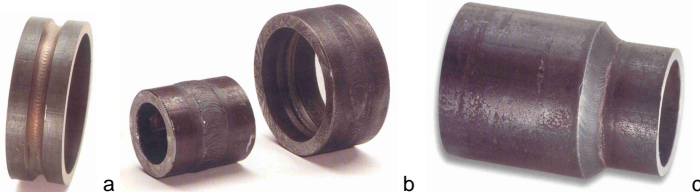


Fig. 1.20. Îmbinări sudate WIG cap la cap (a- rădăcină WIG - grosimi perete țevă reduce; b- rădăcină WIG, strat umplere electric manual - grosimi perete țevă mari) și de colț (c- rădăcină și strat umplere WIG) [176].

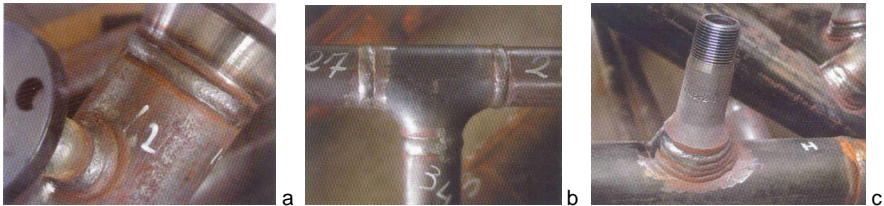


Fig. 1.21. Îmbinări sudate electric manual cu electrozi înveliți cap la cap (a- țevă - reducție, b- îmbinare teu-țevă) și de colț (a- îmbinări țevă - ștuț; c- țevă - ștuț) [176].

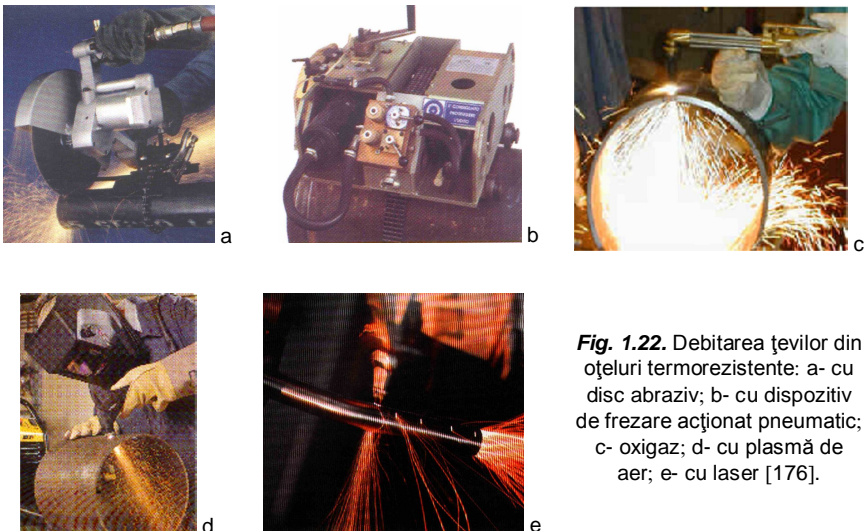


Fig. 1.22. Debitarea țevilor din oțeluri termorezistente: a- cu disc abraziv; b- cu dispozitiv de frezare acționat pneumatic; c- oxigaz; d- cu plasmă de aer; e- cu laser [176].

1.5. Poziții de sudare

Standardul Internațional SR EN ISO 6947: 2011 definește pozițiile de lucru și permite localizarea sudurilor în spațiu cu ajutorul unghiului de înclinare S și de rotire R.

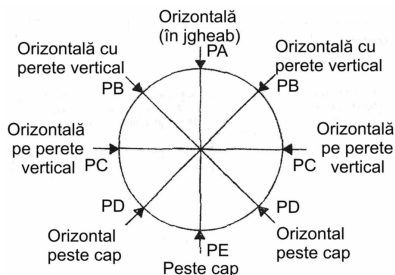


Fig. 1.23. Poziții principale [165].

În funcție de poziția spațială în care se execută sudura distingem [165]: suduri orizontale în jgheab (PA); suduri orizontale cu perete vertical (PB); suduri orizontale pe perete vertical (PC); suduri orizontale peste cap (PD); suduri peste cap (PE); suduri verticale ascendente (PF) și suduri verticale descendente (PG).

Pentru pozițiile de sudare ale țevilor cu axe înclinate, indicarea înclinării și rotirii este simplificată după cum urmează:

➤ indicarea rotirii este înlocuită prin litera L și unghiul de înclinare;

➤ indicarea înclinării este înlocuită prin următoarele litere destinate sensului de sudare: H pentru sudare ascendentă; J pentru sudare descendentă și K pentru sudare orbitală.

1.6.2. Selecția procedeeelor de sudare

Principalele criterii tehnico-economice de selecție a procedeeelor de sudare cap la cap a țevilor din oțel sunt următoarele:

- să asigure suduri de calitate înaltă în pozițiile dificile de sudare;
- să permită utilizarea unor regimuri de sudare cât mai productive, indiferent de dificultatea poziției de sudare aplicată;
- să asigure o pătrundere completă a stratului de rădăcină prin sudare dintr-o singură parte (din exterior);
- să asigure o calitate bună a sudurilor executate de sudori sau operatori - sudori având o pregătire și o experiență medie;
- să asigure o calitate înaltă a sudurilor executate în condițiile climatice dificile de la locul de montaj (în aer liber);
- productivitatea procedeeului de sudare să fie cât mai mare și în concordanță cu volumul de lucrări și cu termenele de execuție;
- costul lucrărilor de sudare, verificare și remedieri să fie cât mai mic;
- costul echipamentelor de sudare, control și remedieri să fie cât mai mic;
- costul echipamentelor de sudare să poată fi amortizat cât mai rapid.

Având în vedere complexitatea criteriilor tehnico-economice impuse, la sudarea țevilor pot fi utilizate numai următoarele procedee de sudare, simbolizate conform SR EN ISO 4063 - 2011:

- 111- sudare manuală cu arc electric cu electrod învelit;
- 131- sudare cu arc electric cu electrod fuzibil în mediu de gaz inert, sudare MIG;
- 135- sudare cu arc electric cu electrod fuzibil în mediu de gaz activ, sudare MAG;
- 136- sudare MAG cu sârmă tubulară;
- 137- sudare MIG cu sârmă tubulară;
- 141- sudare cu arc electric în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil de W;
- 15- sudare cu plasmă;
- 511- sudare cu fascicul de electroni în vid.

Procedeele de sudare manuală cu electrozi înveliți (111) este cel mai dezavantajos datorită unei productivități mici și a celor mai slabe calități a îmbinărilor sudate.

Comparând modul de îndeplinire al criteriilor impuse, se constată faptul că cele mai avantajoase procedee de sudare sunt 131, 135, 136 și 137.

În funcție de volumul lucrărilor de sudare și de termenele impuse, se va lua decizia

privind gradul de mecanizare necesar pentru asigurarea unei productivități optime la sudare, având în vedere faptul că procedeele de sudare 131, 135, 136 și 137 se pot utiliza atât semiautomat cât și mecanizat respectiv automatizat.

Prețul mediu al unui echipament de sudare mecanizată este dublu față de prețul unui echipament de sudare semiautomată, dar de trei ori mai mic decât prețul unui echipament de sudare automată.

Procedul WIG se recomandă să fie utilizat numai la sudarea stratului de rădăcină datorită celei mai mici productivități pe care o are. În funcție de volumul lucrărilor de sudare și de termenele impuse, se va lua decizia privind gradul de mecanizare necesar pentru asigurarea unei productivități optime la sudare, având în vedere faptul că procedul de sudare 141 se poate utiliza atât manual cât și semiautomat, mecanizat respectiv automatizat.

Procedul de sudare cu plasmă 15 și procedul de sudare cu fascicul de electroni în vid 511 sunt procedee utilizate rar.

În cadrul tezei de doctorat se vor analiza din punct de vedere calitativ a îmbinărilor sudate cap la cap, două procedee larg utilizate (111 și 141) și un procedeu productiv cu răspândire redusă (511).

1.10.3.1. Tratamentul termic de detensionare, TD constă în încălzirea, menținerea și răcirea la temperaturi bine determinate. Acesta este tratamentul cel mai des întâlnit la tehnologiile aplicate îmbinărilor sudate.

Valorile vitezelor de încălzire, menținere și răcire sunt funcție de natura oțelurilor și de grosimea peretelui, valori indicate în specificațiile tehnologiei de sudare (WPS), iar diagrama tratamentului termic TD este prezentată în figura 3.50.

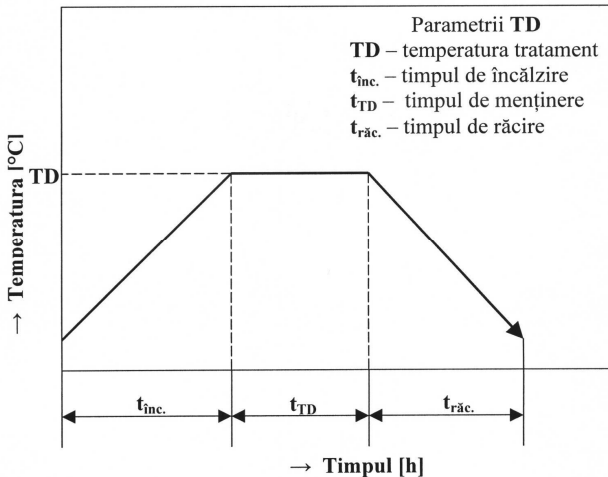


Fig. 1.50. Diagrama tratamentului termic de detensionare TD [58].

În orice structură sudată rămân tensiuni reziduale, care pot fi diminuate prin tratament termic de detensionare, TD. De asemenea, tratamentul TD are și alte efecte, cum ar fi:

- mărește stabilitatea dimensională a structurii;
- reduce sensibilitatea la coroziune;
- micșorează probabilitatea de producere a ruperii fragile, prin reducerea triaxialității tensiunilor.

Luarea unei decizii privind aplicarea tratamentului de detensionare, TD la o structură sudată trebuie să țină seama de următorii factori:

o unele metale sau aliaje metalice se fragilizează prin TD. În acest caz, trebuie cercetată tendința metalului de bază (MB) spre fisurare la detensionare. Dacă MB fragilizează la TD, structura sudată va fi detensionată prin normalizare;

o în funcție de nivelul și distribuția tensiunilor reziduale, de volumul structurii sudate și de complexitatea acesteia se va decide dacă detensionarea TD se va face total sau local, adică în zonele adiacente. Detensionarea TD locală redistribuie tensiunile reziduale pe un volum mai mare din structură, dar prin aceasta se micșorează vârfurile de tensiune. În cazul în care ambele variante de TD se pot aplica, se va prefera TD total.

o detensionarea TD mărește durata de fabricație și costurile structurii sudate.

Parametrii ciclului termic de la sudare, temperatura și timpul de încălzire, timpul de răcire și viteza de răcire ai tratamentului termic TD sunt funcție de procesul de sudare, de condițiile de preîncălzire și de geometria îmbinării sudate.

La alegerea parametrilor tratamentului termic TD este necesar să se țină seama de faptul că acest tratament are, de regulă, următoarele efecte:

- reduce nivelul tensiunilor reziduale;
- micșorează limita de curgere a metalului de bază și a zonei influențate termic;
- mărește temperatura de fragilizare;
- are efecte similare cu cele din metalul de bază și din sudură.

În alegerea parametrilor tratamentului termic TD, se utilizează frecvent factorul Holloman-Jaffe [58], notat cu H, care are expresia:

$$H = T \left(20 + \log t'_{TD} \right) 10^{-3} \quad (1.28)$$

în care: T este temperatura tratamentului TD exprimată în grade Kelvin, ($T = T_{TD} + 273$), sau grade celsius;

t'_{TD} - timpul total de tratament exprimat în ore.

Analizând structura lui H se vede că la tratamentul TD temperatura T joacă un rol principal și timpul t'_{TD} un rol secundar, el intrând ca logaritm în valoarea lui H.

Tratamentul termic de detensionare total reduce vârfurile tensiunii reziduale pe un volum mai mare din structură și micșorează vârfurile de duritate din zonele influențate termic și din sudură.

1.12. Stadiul actual al sudării conductelor la SC Nuclearmontaj SA Galați

SC Nuclearmontaj SA Galați este specializată în realizarea, montarea și repararea echipamentelor energetice. În cadrul societății unde îmi desfășor activitatea în calitatea de Responsabil Tehnic cu Sudura, au fost certificate un număr de 16 proceduri de sudare, dintre care, 9 pentru sudarea cap la cap a conductelor din oțeluri termorezistente 12Cr1MoV și OLT 45.

Aceste proceduri de sudare certificate (WPS/WPAR 05...WPS/WPAR 13), sunt prezentate centralizat în ANEXA 5.

Oportunitățile actuale și necesitatea de a rămâne pe piață, au condus la extinderea numărului de proceduri de sudare a conductelor din oțeluri nealiat și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate, în conformitate cu Standardul SR EN ISO 10216 - 2 + A2: 2008 (P265GH - 1.0425, 13CrMo4-5 - 1.7335 și 10CrMo9-10 - 1.7380), având compozițiile chimice și caracteristicile mecanice conform tabelelor 3.1 și 3.2.

Societatea dispune în prezent de sudori autorizați ISCIR [122] și de echipamente performante de sudare electrică manuală cu electrozi înveliți - 111 și în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil - 141.

CAPITOLUL 2

CONCLUZII ȘI DIRECȚII DE CERCETARE

2.1. Concluzii

În urma analizei aspectelor privind sudarea conductelor din oțeluri nealiate și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate se desprind următoarele concluzii:

1. Oțelurile nealiate și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate se elaborează în conformitate cu Standardul SR EN 10216 - 2 + A2 - 2008. Aceste oțeluri sunt folosite pe scară largă la realizarea elementelor sudate/nesudate de mare răspundere din centralele termoelectrice și nuclearelectrice.

2. Examinările structurale și încercările mecanice efectuate pe oțeluri termorezistente sudabile au evidențiat posibilitatea stabilirii, cu un anumit grad de certitudine, a unor corelații între tipul de microstructuri și caracteristicile mecanice.

3. Durificarea soluției solide datorită prezenței dislocațiilor, a precipitărilor și a atomilor străini din rețea, reprezintă un element deosebit de important ce trebuie luat în considerare la determinarea caracteristicilor structurale și mecanice ale oțelurilor nealiate și aliate termorezistente sudabile.

4. Particulele de fază secundare, de tipul carburilor elementelor de aliere (Cr, Mo, V) au un rol determinant, în special, asupra caracteristicilor de rezistență la cald a oțelurilor aliate termorezistente sudabile, atât prin formă și mărime, cât și prin cantitatea și dispersia lor.

5. Estimatorii determinați pe baza compoziției chimice a oțelurilor nealiate sau aliate termorezistente sudabile (carbonul echivalent, duritatea în zonele influențate termomecanic, vitezele de răcire) constituie o grupă principală de evaluatori ai comportării la sudare a acestor oțeluri.

6. Vitezele de răcire corespunzătoare condițiilor specifice ale diferitelor regimuri de sudare se determină pe cale analitică cu ajutorul ecuațiilor proceselor de propagare a căldurii în masa oțelurilor termorezistente.

7. În mecanismul formării microfisurilor în zonele influențate termomecanic ale oțelurilor termorezistente sudabile, un rol important îl joacă concentrarea tensiunilor interne prin efectul de încreștere, caracterizat prin îngrămădirea liniilor de forță aproape de unele discontinuități sau de alte cauze de ordin geometric.

8. Transformarea austenită → ferită cu formarea structurii Widmanstätten în zona influențată termic a oțelurilor termorezistente se produce în timpul răcirii sudurii după o perioadă de timp scurtă, practic instantaneu.

9. Tratamentul termic de detensionare aplicat post - sudare oțelurilor termorezistente trebuie să asigure reducerea optimă a nivelului tensiunilor reziduale, restaurarea ductilității zonelor fragilizate și degradarea minimă a caracteristicilor mecanice ale oțelurilor în zonele nefragilizate.

10. Tipurile de îmbinări sudate la țevi sunt cap la cap și de colț. Debitarea țevilor se poate realiza cu disc abraziv, prin frezare, oxigaz, cu plasmă de aer și cu laser.

11. Conform Standardul Internațional SR EN ISO 6947: 2011, în funcție de poziția spațială în care se execută sudura distingem: suduri orizontale în jgheab (PA); suduri orizontale cu perete vertical (PB); suduri orizontale pe perete vertical (PC); suduri orizontale peste cap (PD); suduri peste cap (PE); suduri verticale ascendent (PF) și suduri verticale descendent (PG).

12. Principalele criterii tehnico-economice de selecție a procedeelor de sudare cap la cap a țevilor din oțel sunt următoarele:

- să asigure suduri de calitate înaltă în pozițiile dificile de sudare;
- să permită utilizarea unor regimuri de sudare cât mai productive, indiferent de dificultatea poziției de sudare aplicată;

- să asigure o pătrundere completă a stratului de rădăcină prin sudare dintr-o singură parte (din exterior);
- să asigure o calitate bună a sudurilor executate de sudori sau operatori - sudori având o pregătire și o experiență medie;
- să asigure o calitate înaltă a sudurilor executate în condițiile climatice dificile de la locul de montaj (în aer liber);
- productivitatea procedului de sudare să fie cât mai mare și în concordanță cu volumul de lucrări și cu termenele de execuție;
- costul lucrărilor de sudare, verificare și remedieri să fie cât mai mic;
- costul echipamentelor de sudare, control și remedieri să fie cât mai mic;
- costul echipamentelor de sudare să poată fi amortizat cât mai rapid.

13. Având în vedere complexitatea criteriilor tehnico - economice impuse, la sudarea țevilor pot fi utilizate numai următoarele procedee de sudare, simbolizate conform SR EN ISO 4063: 2011:

- 111- sudarea manuală cu arc electric cu electrod învelit;
- 131- sudare cu arc electric cu electrod fuzibil în mediu de gaz inert, sudare MIG;
- 135- sudare cu arc electric cu electrod fuzibil în mediu de gaz activ, sudare MAG;
- 136- sudare MAG cu sârmă tubulară;
- 137- sudare MIG cu sârmă tubulară;
- 141- sudarea cu arc electric în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil de W;
- 15- sudare cu plasmă;
- 511- sudarea cu fascicul de electroni în vid.

14. Procedul de sudare manuală cu electrozi înveliți (111) este cel mai dezavantajos datorită unei productivități mici și a celor mai slabe calități a îmbinărilor sudate.

15. În funcție de volumul lucrărilor de sudare și de termenele impuse, se va lua decizia privind gradul de mecanizare necesar pentru asigurarea unei productivități optime la sudare, având în vedere faptul că procedeele de sudare 131, 135, 136 și 137 se pot utiliza atât semiautomat cât și mecanizat respectiv automatizat.

16. Prețul mediu al unui echipament de sudare mecanizată este dublu față de prețul unui echipament de sudare semiautomată, dar de trei ori mai mic decât prețul unui echipament de sudare automată.

17. Procedul WIG se recomandă să fie utilizat numai la sudarea stratului de rădăcină datorită celei mai mici productivități pe care o are. În funcție de volumul lucrărilor de sudare și de termenele impuse, se va lua decizia privind gradul de mecanizare necesar pentru asigurarea unei productivități optime la sudare, având în vedere faptul că procedul de sudare 141 se poate utiliza atât manual cât și semiautomat, mecanizat respectiv automatizat.

18. Procedul de sudare cu plasmă 15 și procedul de sudare cu fascicul de electroni în vid 511 sunt procedee productive.

19. În cadrul tezei de doctorat se vor analiza din punct de vedere calitativ a îmbinărilor sudate cap la cap, două procedee larg utilizate (111 și 141) și un procedeu productiv de sudare (511).

20. Procedul 111 are următoarele avantaje: grad înalt de universalitate; cheltuieli reduse cu achiziționarea și întreținerea utilajului de sudare; calitate bună a îmbinărilor sudate; varietate mare de electrozi înveliți și accesibilitate ușoară la toate cordonale de sudură a unei structuri sudate.

21. Procedul 111 prezintă însă și o serie de dezavantaje: grad redus de utilizare a materialului de adaos; productivitate redusă și pregătire, îndemănare și conștiințiozitate deosebită din partea sudorului, care conduc la o continuă scădere a volumului de aplicare a procedului, locul său fiind luat de procedeele mecanizate de sudare.

22. Prin procedul 111 se pot suda practic toate metalele și aliajele metalice (oțeluri, fonte, cuprul și aliajele sale, aluminiu și aliajele sale, titan și aliajele sale, nichel și aliajele sale, magneziu și aliajele sale, plumb), în orice poziție. Grosimea minimă a componentelor de sudat depinde de îndemănarea sudorului (1,0...1,5 mm), iar grosimea maximă este limitată practic

de considerente economice.

23. Procedul de sudare 141 are următoarele avantaje: calitate excelentă a îmbinării sudate datorată protecției oferite de gazul inert; lipsa stropirii; posibilitatea controlului independent al sursei termice și al introducerii de material de adaos; nu este necesară curățarea îmbinării sudate (lipsa zgurei); control excelent asupra modului de formare a rădăcinii îmbinării sudate; control precis al parametrilor de sudare; se poate aplica în toate cazurile (poziții de sudare, forme și dimensiuni de îmbinări sudate, tipuri de materiale de bază) și lipsa zgurei.

24. Procedul de sudare 141 prezintă însă și dezavantaje: coeficient de depunere mic și implicit productivitate redusă; pregătire corespunzătoare a operatorului sudor; dificultăți de asigurare a protecției gazoase în spații deschise și preț ridicat al gazelor inerte.

25. Procedul 141 se pretează cu precădere la sudarea tablelor subțiri, a țevilor și a straturilor de rădăcină pentru componente din aluminiu, oțeluri aliate, cupru și metale reactive. Sudarea 141 se aplică cu precădere în industria chimică, aeronautică, energetică nucleară, în construcția de autovehicule, la instalații etc.

26. Sub aspect energetic, sudarea cu fascicul de electroni 511 este de (10...100) ori mai eficientă decât sudarea cu arcul electric. Avantajele se regăsesc și în calitatea sudurilor executate, dar mai ales în posibilitatea sudării a aproape tuturor metalelor și aliajelor, inclusiv a bimetalurilor (îmbinări eterogene).

27. Ca dezavantaje, în afară de costul și problemele ridicate de utilaje, amintim precizia ridicată necesară prelucrării rostului (abaterea pentru deschiderea rostului se prescrie sub $\pm 1\%$).

28. Se sudează cu fascicul de electroni dintr-o trecere, fără material de adaos, componente între (0,5...300) mm, vitezele ajungând la (15...20) m/min. Coeficientul de suplețe al sudurii (raportul lățime/pătrundere) este foarte scăzut (0,02...0,1).

29. În vederea îmbinării cap la cap a țevilor, literatura de specialitate recomandă tipurile de rosturi în formă de V, Y sau U, în funcție de grosime și procedul de sudare. La sudarea cu fascicul de electroni 511 rostul este întotdeauna în I.

30. Prinderea în puncte de sudură se face pe lungimi de (20...25) mm, dispuse la distanțe egale pe circumferință (distanța maximă dintre sudurile de prindere nu vor defăși 200 mm, iar numărul minim al sudurilor de prindere pe circumferință va fi de minim 3). Sudurile de prindere se vor realiza cu același procedeu de sudare, aceleași materiale de adaos și auxiliare și cu aceiași parametri de sudare utilizați la realizarea straturilor de rădăcină.

31. În cazul în care nu este indicată aplicarea prinderii în puncte de sudură, centrarea elementelor se poate face cu ajutorul unor dispozitive speciale (dispozitive de centrare cu autoblocare, dispozitive de centrare cu lanț și șurub, dispozitive cu ghidare și șurub).

32. Asigurarea unei rezistențe optime la coroziune a rădăcinii îmbinării sudate, impune realizarea unei protecții a acesteia. Prevenirea oxidării și a apariției culorilor de revenire, se realizează prin îndepărtarea controlată a oxigenului prin două metode: înlocuirea aerului cu gaz inert precum argonul sau cvasinert precum azotul și înlocuirea aerului și exploatarea efectului reducător al hidrogenului.

33. Majoritatea gazelor de formare sunt alcătuite din azot cu adaosuri de hidrogen sau argon cu adaosuri de hidrogen.

34. Pentru evitarea apariției culorilor de revenire este necesară menținerea amestecului de gaze de formare până la răcirea componentelor de sudat sub 220 °C.

35. Pentru evitarea oxidării rădăcinii la sudarea cap la cap a tubulaturilor, trebuie respectați anumiți timpi de purjare, care depind de volumul de purjat și de geometria componentelor.

36. Cantitatea de amestec de gaze de formare trebuie să fie de (2,5...3) ori volumul geometric al tubulaturii, calculat de la punctul la care se injectează amestecul până la locul de sudare. Debitul amestecului de gaze de formare este dependent de tipul acestuia (5...12 l/min).

37. Gazele și amestecurile de gaze de formare trebuie introduse cu viteză de curgere foarte redusă, pentru a împiedica antrenarea aerului, utilizându-se site sau plăci sinterizate.

Cele mai ușoare ca aerul se introduc pe la partea superioară, în schimb cele mai grele ca aerul se introduc pe la partea inferioară.

38. Datorită fenomenelor de încălzire și răcire bruscă specifice proceselor de sudare, zonele învecinate sudurii se deteriorează structural și mecanic din cauza disipării neuniforme a căldurii. Tratamentele termice TT specifice aplicate pot, în general, să uniformizeze fenomenele de disipare a căldurii, atât la încălzirea, cât și la răcirea îmbinărilor sudate realizate din oțeluri termorezistente.

39. Tratamentele termice se pot clasifica în două categorii importante: tratamente termice înaintea sudării, care au rolul de a aduce structura într-o stare cât mai aproape de starea de echilibru (preîncălzirea, normalizarea, revenirea, recristalizarea, etc) și tratamente termice după sudare (post-sudare), care se aplică după răcirea completă a îmbinării sudate, având rolul de a elimina, pe cât este posibil, tensiunile introduse în îmbinarea sudată prin procesele de încălzire și răcire (detensionarea, normalizarea).

40. Preîncălzirea se aplică înaintea procesului de sudare, în vederea asigurării unui surplus de energie termică. Există trei tipuri de preîncălzire: simplă, prin încălzirea probelor până în domeniul curbelor M_s , cu răcire normală; cu menținere, care constă în încălzirea sub domeniul M_s cu menținere în acest domeniu și răcirea sub M_s și dirijată, care presupune încălzirea peste M_s , menținerea și răcirea dirijată.

41. Tratamentul termic de detensionare TD constă în încălzirea, menținerea și răcirea la temperaturi bine determinate. Acesta este tratamentul cel mai des întâlnit la tehnologiile aplicate îmbinărilor sudate. Valorile vitezelor de încălzire, menținere și răcire sunt funcție de natura oțelurilor și de grosimea peretelui. Vitezele de încălzire, respectiv de răcire, se aleg astfel încât, în structura sudată să nu se introducă tensiuni suplimentare care ar putea dăuna în continuare. În aceste condiții, la oțelurile slab aliate sudabile Cr - Mo, se recomandă ca aceste viteze să fie de max. 300 °C/oră.

42. În orice structură sudată rămân tensiuni reziduale, care pot fi diminuate prin tratament termic de detensionare TD. De asemenea, tratamentul TD are și alte efecte, cum ar fi: mărește stabilitatea dimensională a structurii; reduce sensibilitatea la coroziune și micșorează probabilitatea de producere a ruperii fragile, prin reducerea triaxialității tensiunilor.

43. Luarea unei decizii privind aplicarea tratamentului de detensionare TD la o structură sudată, trebuie să țină seama de următorii factori: unele metale sau aliaje metalice se fragilizează prin TD. În acest caz, trebuie cercetată tendința metalului de bază MB spre fisurare la detensionare. Dacă MB fragilizează la TD, structura sudată va fi detensionată prin normalizare; în funcție de nivelul și distribuția tensiunilor reziduale, de volumul structurii sudate și de complexitatea acesteia, se va decide dacă detensionarea TD se va face total sau local, adică în zonele adiacente. Detensionarea TD locală redistribuie tensiunile reziduale pe un volum mai mare din structură, dar prin aceasta se micșorează vârfurile de tensiune. În cazul în care ambele variante de TD se pot aplica, se va prefera TD total și detensionarea TD mărește durata de fabricație și costurile structurii sudate.

44. Tratamentul termic de normalizare se execută la temperatura specifică fiecărui tip de oțel, cu condiția ca acest tratament să nu deformeze structura sudată. Acest tratament este specific îmbinărilor sudate la care se solicită caracteristici structurale și mecanice speciale (granulații fine și rezistențe la rupere ridicate).

45. Tratamentele termice specifice pot, în mare măsură, să uniformizeze fenomenele de disipare a căldurii atât la încălzirea, cât și la răcirea îmbinărilor sudate realizate din oțeluri termorezistente.

46. La îmbinările sudate realizate din țevi termorezistente, este necesară aplicarea tratamentelor termice post-sudare, în vederea micșorării tensiunilor reziduale, a creșterii stabilității dimensionale, a reducerii sensibilității la coroziune și a posibilităților de apariție a ruperilor fragile.

47. Parametrii ciclului termic, temperatura și timpul de încălzire, timpul și viteza de răcire corespunzătorii tratamentului termic de detensionare, sunt funcție de puterea de încălzire, de condițiile de preîncălzire, de procesul de sudare și de geometria îmbinării sudate.

48. Pe baza factorului Holloman se pot stabili corelații între ciclul termic de detensionare

și caracteristicile mecanice ale oțelurilor termorezistente slab aliate, ce vor optimiza tehnologia de tratament termic a îmbinărilor sudate fie în variantă totală, fie în variantă locală.

49. La nivel industrial, tratamentul termic total al îmbinărilor sudate se efectuează în cuptoare termice, iar în cazul tratamentelor termice locale se aplică încălzirea prin inducție și/sau rezistență.

50. Pe șantier, tratamentul termic local al țevilor sudate se realizează prin încălzire cu flacăra sau cu produse de ardere și cu energie electrică.

51. Procedeele termice aplicate la realizarea îmbinărilor sudate din oțeluri termorezistente (preîncălzire, încălzire suplimentară în timpul sudării și tratament de detensionare după sudare) trebuie să îndeplinească o serie de criterii, dintre care se amintesc: realizarea temperaturii de regim necesară la încălzirea continuă, menținerea izotermă constantă pe durata prescrisă și răcirea continuă cu viteze controlate precis, fiind necesară realizarea unui program de temperatură - timp, stabilit tehnologic, specific mărcilor de oțeluri sudabile; realizarea unei zone de lățime prescrisă, pentru temperatura de regim, egală pe toată circumferința îmbinării sudate, denumită centură sau "inel de foc", zonă incandescentă sau termoplastică, rezultând zone structurale principale cu faze distincte (fazele 1, 2, 3 și faza finală), în stare plastică, cu efect simultan de relaxare și detensionare și implicit cu scăderea durtății; instalarea unui câmp termic longitudinal cu gradient termic ($\Delta t/\Delta x$) prescris, simetric pe ambele părți ale îmbinării sudate atât în regim tranzitoriu, cât și în regim staționar; instalarea unui câmp termic transversal cu gradient termic ($\Delta t/\Delta x$) minim, pe întreaga secțiune a îmbinării sudate atât în regim tranzitoriu, cât și în regim staționar. Acesta este criteriul uniformității încălzirii în secțiunea îmbinării sudate și are o importanță deosebită pentru uniformitatea, redistribuirea și micșorarea nivelului tensiunilor termice pe întreaga secțiune și implicit a durtății și procedeul trebuie să elimine efectele negative ale încălzirilor cu flacăra directă în totalitatea lor.

52. Criteriile economice și de siguranță în exploatare pentru analiza comparativă a procedeelelor de tratament termic al îmbinărilor sudate sunt: consumul de energie; consumul de materiale, în special, materialele deficitare; consumul de manoperă; particularitățile în exploatare: energia reactivă, intensitățile mari; durata de funcționare - fiabilitatea; posibilitățile de recondiționare - remediere pe șantier; posibilitățile de realizare cu materiale indigene; creșterea gradului de automatizare; condițiile de securitate a muncii și de siguranță în exploatare fără supraveghere; costurile și consumurile specifice comparativ cu cele practice în străinătate și alte costuri suplimentare ce pot apărea în construcție și/sau în exploatare.

53. Studiul comparativ privind procedeele de încălzire (Electrothermal, Cooper-Fofumi, Rezistori Românești) a evidențiat criteriile valorice referitoare la gradientul termic longitudinal și transversal la regimurile de preîncălzire și detensionare termică a țevilor sudate din oțel termorezistent marca 13CrMo4-5.

54. Procedeele termice aplicate pentru realizarea îmbinărilor sudate din oțeluri termorezistente trebuie să îndeplinească o serie de criterii tehnice privind uniformizarea temperaturii, asigurarea de gradienti termici prescrși, respectiv criteriile economice și de siguranță în exploatare.

55. La baza proiectării unei instalații mobile de tratament termic de detensionare a țevilor sudate din oțeluri termorezistente au stat calculele pentru evaluarea caracteristicilor termice, energetice, dimensionale ale elementelor rezistive specifice proceselor de încălzire-răcire dirijată și controlată.

2.2. Direcții de cercetare

Pentru analiza calității îmbinărilor sudate la conductele realizate din oțeluri termorezistente, în cadrul tezei de doctorat, principalele direcții de cercetare abordate vor fi următoarele:

1. Utilizarea în cadrul vastelor cercetări experimentale a trei mărci de oțeluri nealiate și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate (termorezistente): P265GH - Φ 60,3 x 6,0 mm; 13CrMo4-5 - Φ 42,4 x 5,4 mm și 10CrMo9-10 - Φ 31,8 x 4,0 mm.

2. Realizarea pe aceste trei oțeluri nealiate și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate, a unor îmbinări sudate cap la cap de calitate, prin procedeele: 111- sudarea manuală cu arc electric cu electrod învelit; 141- sudarea cu arc electric în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil de W și 511- sudarea cu fascicul de electroni în vid.

3. Efectuarea controalelor nedistructive ale îmbinărilor sudate cap la cap, prin cele trei procedee de sudare (111, 141 și 511), pe cele trei calități și tipodimensiuni de țevi din oțeluri nealiate și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate.

4. Îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale îmbinărilor sudate cap la cap, prin utilizarea tratamentelor termice post - sudare de detensionare, specifice fiecărei mărci de oțeluri nealiate și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate (TD1, TD2 și TD3).

5. Verificarea calității îmbinărilor sudate cap la cap (fără și cu tratamente termice post - sudare de detensionare TD), prin realizarea următoarelor încercări mecanice de laborator, analize și determinări experimentale:

- ✦ încercări la tracțiune pe epruvete plate cu porțiunea calibrată, la 20 °C;
- ✦ analize macroscopice a secțiunilor transversale a îmbinărilor sudate;
- ✦ analize microscopice a secțiunilor transversale a îmbinărilor sudate, cuprinzând zonele caracteristice ale acestora ;
- ✦ încercări de duritate Vickers HV10 în zonele caracteristice îmbinărilor sudate și evaluări ale durificării, prin determinarea estimatorilor durificării locale $\Delta HV10$;
- ✦ determinări de compoziții chimice în metalele depuse (SUD).

6. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate (netratate sau tratate termic prin detensionare) prin procedeele 111, 141 și 511, în funcție de rezistența la rupere a materialelor de bază (P265GH, 13CrMo4-5 și 10CrMo9-10) și de energia liniară folosită la sudare.

7. Stabilirea unor tehnologii de sudare a țevilor din oțeluri nealiate (P265TGH) și aliate (13CrMo4-5 și 10CrMo9-10) cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate (termorezistente), cu aplicații industriale.

CAPITOLUL 3

STABILIREA MATERIALELOR ȘI ECHIPAMENTELOR PENTRU SUDARE, TRATAMENTE TERMICE ȘI ÎNCERCĂRI MECANICE DE LABORATOR

3.1. Materiale de bază

În cadrul programelor experimentale privind analiza calității îmbinărilor sudate la conductele realizate din oțeluri termorezistente, s-au utilizat trei mărci de oțeluri nealiate și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate (termorezistente), P265GH (1.0425) - Φ 60,3 x 6,0 mm, 13CrMo4-5 (1.7335) - Φ 42,4 x 5,4 mm și 10CrMo9-10 (1.7380) - Φ 31,8 x 4,0 mm.

3.2. Materiale de adaos

3.2.1. Electrozi înveliți

Pentru sudarea electrică manuală a țevilor din oțeluri termorezistente, s-au ales următoarele mărci de electrozi înveliți, achiziționați de la S.C. Ductil S.A. Buzău: pentru țevi din oțel P265TGH - Φ 60,3 x 6,0 mm - *electrodul învelit bazic marca Superbaz, $\Phi = 2,5$ mm*; pentru țevi din oțel 13CrMo4-5 - Φ 42,4 x 5,4 mm - *electrodul învelit bazic marca Cromobaz V, $\Phi = 2,5$ mm* și pentru țevi din oțel 10CrMo9-10 - Φ 31,8 x 4,0 mm - *electrodul învelit bazic marca Cromobaz M, $\Phi = 2,5$ mm*.

1.2.2. Vergele pentru sudare

Pentru sudarea WIG manuală a țevilor din oțeluri termorezistente, s-au ales vergele având compozițiile chimice și caracteristicile mecanice identice cu cele ale metalelor de bază, achiziționate tot de la S.C. Ductil S.A. Buzău: pentru țevi din oțel P265GH - Φ 60,3 x 6,0 mm - *vergele marca ALTIG SG2, $\Phi = 2,4$ mm*; pentru țevi din oțel 13CrMo4-5 - Φ 42,4 x 5,4 mm - *vergele marca ALTIG CrMo1E, $\Phi = 2,4$ mm* și pentru țevi din oțel 10CrMo9-10 - Φ 31,8 x 4,0 mm - *vergele marca ALTIG CrMo2E, $\Phi = 2,4$ mm*.

3.3. Materiale auxiliare

3.3.1. Gaze de protecție

Pentru sudarea manuală WIG a îmbinărilor sudate cap la cap a țevilor din oțeluri termorezistente P265GH - Φ 60,3 x 6,0 mm, 13CrMo4-5 - Φ 42,4 x 5,4 mm și 10CrMo9-10 - Φ 31,8 x 4,0 mm s-au utilizat drept gaz de protecție inert argonul, conform STAS 7956 - 1985. Argonul este utilizat frecvent la sudarea oțelurilor termorezistente. Îmbinarea sudată are solzi fini, are o porozitate redusă iar depunerile de zgură sunt reduse. Datorită conductivității termice reduse și a potențialului scăzut de ionizare al argonului, vitezele maxime de sudare sunt mici, în mod special la utilizarea materialului de adaos.

3.3.2. Electrozi nefuzibili de wolfram

Pentru sudarea manuală WIG a îmbinărilor sudate cap la cap a țevilor din oțeluri termorezistente P265GH - Φ 60,3 x 6,0 mm, 13CrMo4-5 - Φ 42,4 x 5,4 mm și 10CrMo9-10 - Φ 31,8 x 4,0 mm, s-au utilizat electrozi nefuzibili de wolfram tip WT 10 cu diametrul de 2,4 mm (culoarea marcajului - galben) conform SR EN 26848 - 1993, având 1,0 %ThO₂.

3.4. Instalații pentru sudare

3.4.1. Instalația pentru sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți și pentru sudarea manuală WIG

Pentru sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți și pentru sudarea manuală WIG a îmbinărilor cap la cap a țevilor din oțeluri termorezistente, s-a utilizat instalația Master TIG 2500 W AC/DC produsă de firma finlandeză Kemppi.

3.4.2. Instalația pentru sudarea cu fascicul de electroni

Pentru sudarea cu fascicul de electroni a îmbinărilor cap la cap a țevilor din oțeluri termorezistente, s-a utilizat instalația din dotarea Institutului Național de Cercetare Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale - ISIM Timișoara.



Fig. 3.6. Instalația de sudare cu fascicul de electroni [117].

3.5. Echipament pentru tratamente termice post - sudare

Tratamentele termice de detensionare (TD1, TD2, TD3) s-au efectuat într-un cuptor electric cu vatră fixă tip L 600 fabricat de S.C. Caloris S.A. București.

3.6. Echipamente pentru încercări mecanice de laborator

Pentru determinarea compozițiilor chimice în materialele de bază (MB) și în sudurile cap la cap (SUD) realizate pe cele trei mărci și tipodimensiuni de oțeluri termorezistente și prin cele trei procedee de sudare prin topire (111, 141 și 511), s-a utilizat aparatul mobil cu fluorescență cu raze X (InnovX - Systems, Fig. 3.10) din în cadrul Institutului Național de Cercetare - Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale - ISIM Timișoara.



Fig. 3.10. Aparat mobil cu fluorescență cu raze X (InnovX - Systems) [117].



Fig. 3.11. Aparatului Thermo-QuantoDesk [117].

Suplimentar, pentru determinarea elementelor chimice C, P și S, s-a utilizat aparatul Thermo - QuantoDesk din dotarea Univerității Politehnica din Timișoara (Fig. 3.11). Pentru realizarea încercărilor la tracțiune pe epruvetele plate cu porțiunea calibrată, s-a utilizat mașina universală de 100 kN tip ZD10, prezentată în figura 3.12. Analiza microscopică a fost realizată folosind microscopul optic metalografic tip MFe2 REICHERT (Fig. 3.13).



Fig. 3.12. Mașina universală de 100 kN tip ZD10 [117].



Fig. 3.13. Microscop optic metalografic tip MFe2 REICHERT [117].



Fig. 3.14. Durimetru Vickers HV tip ZWICK 3212 [117].

Pentru realizarea durităților Vickers HV10 s-a utilizat durimetru Vickers HV tip ZWICK 3212 (Fig. 3.14).

CAPITOLUL 4

STABILIREA DIMENSIUNILOR PROBELOR SUDATE ȘI TIPURILOR DE ÎNCERCĂRI MECANICE DE LABORATOR

4.1. Simbolizarea numărului de probe

Indiferent de procedeul de sudare folosit, probele au fost sudate prin rotire, axa țevii în poziție orizontală. Simbolizarea celor 18 probe sudate cap la cap, prin cele trei procedee de sudare, este centralizată în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Simbolizarea probelor sudate cap la cap [117]

Nr. crt.	Simbolizare probă	Materialul de bază	Procedeul de sudare	Nr. total probe	Nr. probe/Tratament termic post-sudare, TD
1	E1	P265GH (1.0425) Φ 60,3 x 6,0 mm	111	2	1/fără TD
2	E1T				1/cu TD1*
3	W1		141	2	1/fără TD
4	W1T				1/cu TD1*
5	F1		511	2	1/fără TD
6	F1T				1/cu TD1*
7	E2	13CrMo4-5 (1.7335) Φ 42,4 x 5,4 mm	111	2	1/fără TD
8	E2T				1/cu TD2*
9	W2		141	2	1/fără TD
10	W2T				1/cu TD2*
11	F2		511	2	1/fără TD
12	F2T				1/cu TD2*
13	E3	10CrMo9-10 (1.7380) Φ 31,8 x 4,0 mm	111	2	1/fără TD
14	E3T				1/cu TD3*
15	W3		141	2	1/fără TD
16	W3T				1/cu TD3*
17	F3		511	2	1/fără TD
18	F3T				1/cu TD3*

Notă: La simbolizarea probelor, litera reprezintă procedeul de sudare aplicat (E- sudare electrică manuală cu electrozi înveliți, W- sudare în mediu de gaze protectoare inerte cu electrod nefuzibil de wolfram WIG în variantă manuală, F- sudare automată cu fascicul de electroni), cifra reprezintă materialul de bază (1- P265GH, 2- 13CrMo4-5, 3- 10CrMo9-10) iar prezența ultimei litere T reprezintă aplicarea tratamentului termic după sudare. * Specificațiile tratamentelor termice post-sudare (detensionare termică TD) sunt trecute în tabelul 4.2.

4.2. Dimensiunile probelor sudate cap la cap și modul de prelucrare a marginilor

Dimensiunile probelor sudate cap la cap electric manual cu electrozi înveliți și în mediu de gaze protectoare inerte cu electrod nefuzibil WIG în variantă manuală au fost de 150 mm,

iar dimensiunile probelor sudate cap la cap automat cu fascicul de electroni au fost de 120 mm (lungimea maximă admisă în dispozitivul instalației de sudare).

Modul de prelucrare a marginilor componentelor pentru sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți (111) și sudarea în mediu de gaze protectoare inerte cu electrod nefuzibil WIG în variantă manuală (141) a fost în V ($\alpha = 60^\circ$, $b = 2,5$ mm și $c = 0$ mm), iar pentru sudarea automată cu fascicul de electroni (511) a fost în I ($b = 0$ mm).

4.3. Tipuri de încercări mecanice de laborator

Din fiecare probă sudată cap la cap au fost prelevate prin mijloace mecanice următoarele epruvete:

- ✦ două epruvete plate cu porțiunea calibrată pentru încercarea la tracțiune, la temperatura de 20 °C (nr. 1 și 2);

- ✦ epruvetă transversală pentru analiza macroscopică, analiza microscopică, încercarea de duritate Vickers HV10 și analiza compoziției chimice în sudură (nr. 3).

4.5. Realizarea tratamentelor termice post - sudare de detensionare

În vederea atât a reducerii nivelului de tensiuni interne datorate proceselor de sudare prin cele trei procedee (111, 141 și 511), cât și a uniformizării structurilor metalografice din sudură și zonele influențate termomecanic, s-au aplicat după sudare, tratamente termice de detensionare (TD1, TD2, TD3) cu parametrii prezentați centralizat în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2. Parametrii regimurilor de tratament termic de detensionare [117]

Trata- ment de detensi- onare	Parametrii regimurilor de tratament termic, TD							Marca de oțel
	T, min, °C	T, max, °C	V _{inc} , °C/oră	V _{răc} , °C/oră	t _{inc} , ore	t _{men} , ore	t _{răc} , ore	
TD1	20	600	150	200	3,86	0,50	2,90	P265GH
TD2	20	630	150	200	4,06	0,50	3,05	13CrMo4-5
TD3	20	650	150	200	4,20	0,50	3,15	10CrMo9-1

CAPITOLUL 5

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA ȚEVILOR DIN OȚELURI TERMOREZISTENTE

5.3. Cercetări experimentale privind sudarea țevilor din oțel termorezistent aliat marca 10CrMo9-10

5.3.1. Cercetări experimentale privind sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți a țevilor din oțel termorezistent aliat marca 10CrMo9-10

5.3.1.2. Pregătirea țevilor în vederea sudării. Sudarea probelor

Pregătirea în vederea sudării și prinderea în puncte de sudură au fost similare ca și în cazul sudărilor electrice manuale cu electrozi înveliți a țevilor din oțelurile termorezistente mărcile P265GH, Φ 60,3 x 6,0 mm și 13CrMo4-5, Φ 42,4 x 5,4 mm.

În urma experimentărilor preliminare, au fost stabiliți parametrii optimi de sudare pentru procedeul de sudare electrică manuală cu electrozii înveliți bazici marca Cromobaz M, $d_e = 2,5$ mm (111) și anume: curentul de sudare $I_s = (70...75)$ A; tensiunea arcului $U_a = (12...14)$ V și

viteza de sudare $v_s = (8...10)$ cm/min. După depunerea fiecărui cordon de sudură, acesta s-a curățat de zgură și stropi cu ajutorul ciocanului de zgură și a periei de sârmă. După răcire, fiecare probă sudată cap la cap electric manual cu electrozi înveliți a fost examinată vizual (cu ochiul liber și cu lupa cu grosisment de 5X), îmbinările sudate fiind de o calitate corespunzătoare și fără defecte exterioare.

5.3.1.3. Realizarea tratamentului termic

Proba sudată cap la cap din oțel termorezistent aliat marca 10CrMo9-10, Φ 31,8 x 4,0 mm (E3T), a fost supusă unui tratament de detensionare TD3 conform tabelului 4.2. În figurile 5.88 și 5.89 sunt prezentate aspectele vizuale ale probelor sudate cap la cap electric manual cu electrozi înveliți E3 și E3T. Îmbinările nu au prezentat pe suprafețele exterioare defecte de sudare [171, 168].



Fig. 5.88. Proba sudată cap la cap E3, netratată termic [117].

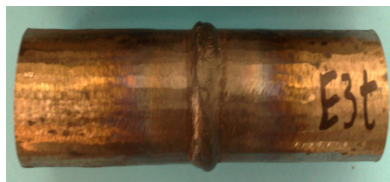


Fig. 5.89. Proba sudată cap la cap E3T, tratată termic [117].

5.3.1.4. Rezultatele încercărilor mecanice de laborator

a. *Rezultatele încercărilor la tracțiune pe epruvetele plate cu porțiunea calibrată nr. 1 și 2* prelevate din probele sudate cap la cap electric manual cu electrozi înveliți E3 și E3T sunt centralizate în tabelul 5.19.

Tabelul 5.19. Rezultatele încercărilor la tracțiune pe epruvetele plate cu porțiunea calibrată [117]

Nr. probă	Nr. epruv.	Dimens. epruv. ($S_0 \times B_0$), mm	F_{max} , N	R_m , N/mm ²	Locul ruperii
E3	E3.1	4,0 x 6,4	14050	549	MB
	E3.2	3,9 x 6,4	13920	557	MB
E3T	E3.1T	4,0 x 6,4	14100	552	MB
	E3.2T	4,0 x 6,4	14080	550	MB



Fig. 3.90. Epruvete rupte E3 [117].



Fig. 3.91. Epruvete rupte E3T [117].

În figurile 5.90 și 5.91 sunt prezentate epruvetele după efectuarea încercărilor la tracțiune.

b. *Examinarea macroscopică* a secțiunilor transversale a îmbinărilor sudate nu a reliefat macrofisuri (Fig. 5.92 și 5.93) atât pe probele sudate fără tratament termic cât și pe cele cu tratament termic (TD3).

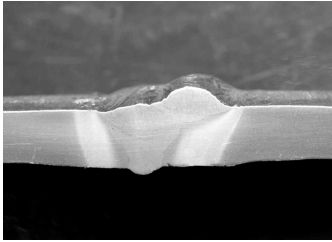


Fig. 5.92. Proba E3, atac Nital 10% [117].

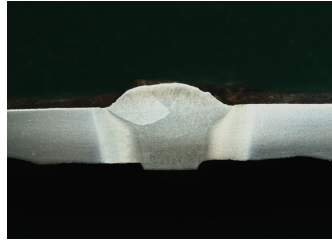


Fig. 5.93. Proba E3T, Atac Nital 10% [117].

c. *Examinarea microscopică* efectuată relevă microstructurile specifice și anume:

✦ în metalele de bază (MB_{dr} și MB_{st}), structuri fine ferito-perlitice și carburi complexe de Cr și Mo, granulația de punctaj 9 conform SR EN ISO 643: 2003 (Fig. 5.94 și 5.95);

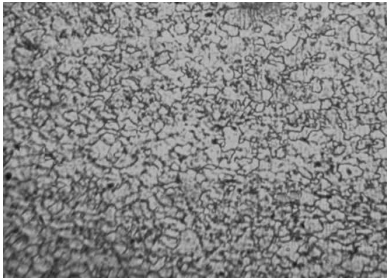


Fig. 5.94. Proba E3, MB, atac Nital 2%, 100X [117].

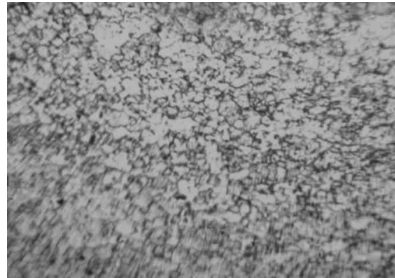


Fig. 5.95. Proba E3T, MB, atac Nital 2%, 100X [117].

✦ în sudură (SUD), structuri perlito-feritice cu aspect dendritic și zone de bainită fine, carburile fine de Cr și Mo fiind plasate inter-intradendritic (Fig. 5.96 și 5.97);

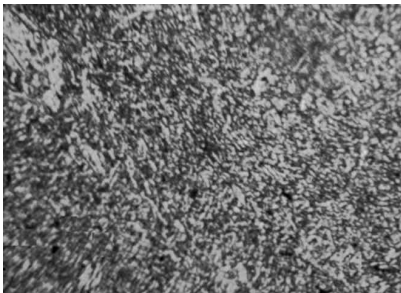


Fig. 5.96. Proba E3, SUD, atac Nital 2%, 100X [117].

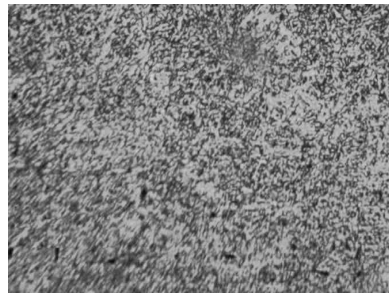


Fig. 5.97. Proba E3T, SUD, atac Nital 2%, 100X [117].

✚ în zonele influențate termomecanic (ZIT_{dr}, ZIT_{st}), structuri fine perlito-feritice cu bainită și carburi fine de Cr și Mo plasate inter-intradendritic conform SR EN ISO 643: 2003 (Fig. 5.98 și 5.99).

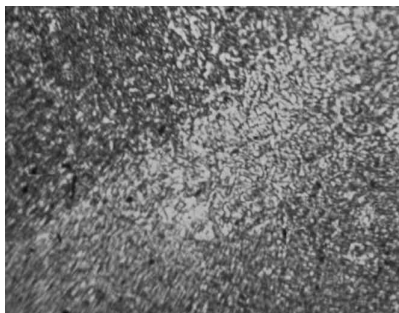


Fig. 5.98. Proba E3, ZIT, atac Nital 2%, 100X [117].



Fig. 5.99. Proba E3T, ZIT, atac Nital 2%, 100X [117].

Zonele examinate microscopic nu au prezentat microfisuri.

d. *Rezultatele încercărilor mecanice de duritate Vickers HV10 pe epruvetele nr. 3, prelevate din probele sudate cap la cap electric manual cu electrozi înveliți E3 și E3T, s-au efectuat conform SR EN ISO 6507 - 1: 2006 în zonele caracteristice îmbinărilor sudate (MB_{st}, MB_{dr}, ZIT_{st}, ZIT_{dr}, SUD) respectând modul de amplasare a amprentelor de duritate prezentat în figura 4.4. Valorile de duritate Vickers HV10 determinate experimental sunt centralizate în tabelul 5.20.*

Tabelul 5.20. Rezultatele încercărilor mecanice de duritate Vickers HV10 [117]

Nr. amprentă	Zona încercată	Proba E3	Proba E3T
1	MB _{st}	142	136
2		142	135
3	MB _{dr}	140	139
4		149	136
5	ZIT _{st}	262	256
6		247	243
7		289	280
8	ZIT _{dr}	312	307
9		292	274
10		253	272
11	SUD	274	289
12		299	294

Tabelul 5.21. Valorile estimatorului ΔHV_{10} calculate între zonele caracteristice îmbinărilor sudate realizate prin procedul de sudare 111 [117]

Marcajul probei sudate	Estimator de durificare locală ΔHV_{10} , %			
	SUD - ZIT _{st}	SUD - ZIT _{dr}	ZIT _{dr} - MB _{dr}	ZIT _{st} - MB _{st}
E3	17,4	15,4	55,1	50,9
E3T	17,3	7,5	55,7	51,8

În tabelul 5.21 s-au trecut valorile estimatorului ΔHV_{10} calculate între zonele caracteristice îmbinărilor sudate realizate prin procedul de sudare 111.

Variațiile durităților Vickers HV10 maxime pe zonele caracteristice ale îmbinărilor sudate realizate din țevi de oțel termorezistent aliat marca 10CrMo9-10 sunt prezentate în figura 5.100.

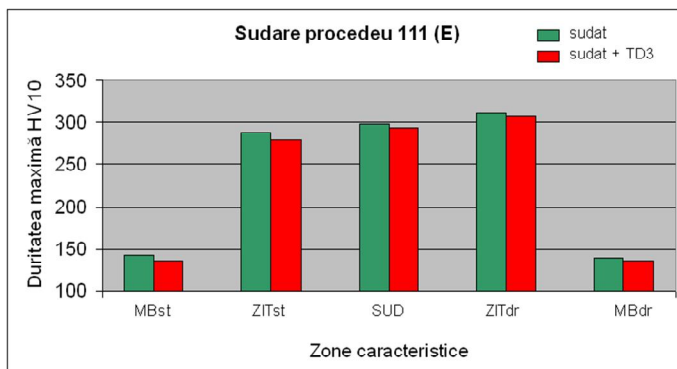


Fig. 5.100. Variația $HV_{10max} = f(\text{zona caracteristică})$ la îmbinările sudate E3 și E3T realizate prin procedeu 111 [117].

5.3.2. Cercetări experimentale privind sudarea în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil a țevilor din oțel termorezistent aliat marca 10CrMo9-10

5.3.2.2. Pregătirea țevilor în vederea sudării. Sudarea probelor

Pregătirea în vederea sudării și prinderea în puncte de sudură au fost similare ca și în cazul sudărilor electrică manuală cu arc electric în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil a țevilor din oțelurile termorezistente mărcile P265GH, Φ 60,3 x 6,0 mm și 13CrMo4-5, Φ 42,4 x 5,4 mm.

Parametrii optimi de sudare au fost stabiliți și în acest caz pe probe preliminare care au fost supuse controlului vizual și dimensional. În urma experimentărilor au fost stabiliți următorii parametrii optimi de sudare: curentul de sudare $I_s = (100...110)$ A; tensiunea arcului $U_a = (13...14)$ V; lungimea arcului $l_a = (2...3)$ mm și viteza de sudare $v_s = (9...12)$ cm/min.

După răcire, fiecare probă sudată cap la cap manual WIG a fost examinată vizual (cu ochiul liber și cu lupa cu grosimet de 5X), îmbinările sudate fiind de o calitate corespunzătoare și fără defecte exterioare.

5.3.2.3. Realizarea tratamentului termic

Proba sudată cap la cap din oțel termorezistent aliat marca 10CrMo9-10, Φ 31,8 x 4,0 mm (W3T), a fost supusă unui tratament de detensionare TD3 conform tabelului 4.2.



Fig. 5.101. Proba sudată cap la cap W3, netratată termic [117].



Fig. 5.102. Proba sudată cap la cap W3T, tratată termic [117].

În figurile 5.101 și 5.102 sunt prezentate aspectele vizuale ale probelor sudate cap la cap electric manual WIG, W3 și W3T. Îmbinările nu au prezentat pe suprafețele exterioare defecte de sudare [171, 168].

5.3.2.4. Rezultatele încercărilor mecanice de laborator

a. *Rezultatele încercărilor la tracțiune pe epruvetele plate cu porțiunea calibrată nr. 1 și 2 prelevate din probe sudate cap la cap manual WIG, W3 și W3T sunt centralizate în tabelul 5.22.*

Tabelul 5.22. Rezultatele încercărilor la tracțiune pe epruvetele plate cu porțiunea calibrată [117]

Nr. probă	Nr. epruv.	Dimens. epruv. (S ₀ x B ₀), mm	F _{max} , N	R _m , N/mm ²	Locul ruperii
W3	W3.1	4,0 x 6,3	13500	536	MB
	W3.2	4,0 x 6,4	14100	552	MB
W3T	W3.1T	4,0 x 6,3	14090	570	MB
	W3.2T	4,0 x 6,2	14070	568	MB



Fig. 5.103. Epruvete rupte W3 [117].

Fig. 5.104. Epruvete rupte W3T [117].

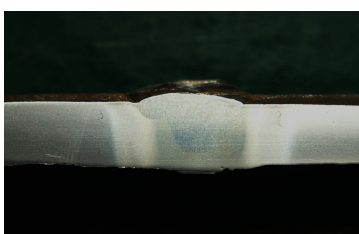


Fig. 5.105. Proba W3, atac Nital 10% [117].

Fig. 5.106. Proba W3T, Atac Nital 10% [117].

În figurile 5.103 și 5.104 sunt prezentate epruvetele după efectuarea încercărilor la tracțiune.

b. *Examinarea macroscopică* a secțiunilor transversale a îmbinărilor sudate nu a reliefat macrofisuri (Fig. 5.105 și 5.106) atât pe probele sudate fără tratament termic cât și pe cele cu tratament termic (TD3). c. *Examinarea microscopică* efectuată relevă microstructurile specifice și anume:

✚ În metalele de bază (MB_{dr} și MB_{st}), structuri granulare ferito-perlitice cu caruri fine de Cr și Mo plasate inter-intragranular conform SR EN ISO 643: 2003 (Fig. 5.107 și 5.108);

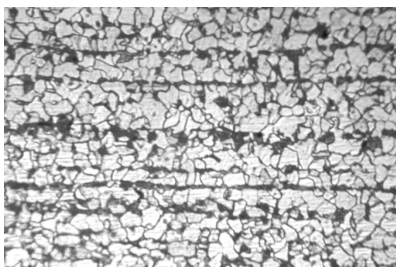


Fig. 5.107. Proba W3, MB, atac Nital 2%, 100X [117].



Fig. 5.108. Proba W3T, MB, atac Nital 2%, 100X [117].

✚ În sudură (SUD), structuri fine dendritice perlito-fertice cu zone restrânse de bainită și carburi fine de Cr și Mo plasate inter-intragranular (Fig. 5.109 și 5.110);

✚ În zonele influențate termomecanic (ZIT_{dr}, ZIT_{st}), structuri perlito-fertice fine cu bainită fin dispersată și carburi complexe de Cr și Mo plasate inter-intradendritic SR EN ISO 643: 2003 (Fig. 5.111 și 5.112).

Zonele examinate microscopic nu au prezentat microfisuri.



Fig. 5.109. Proba W3, SUD, atac Nital 2%, 100X [117].



Fig. 5.110. Proba W3T, SUD, atac Nital 2%, 100X [117].



Fig. 5.111. Proba W3, ZIT, atac Nital 2%, 100X [117].



Fig. 5.112. Proba W3T, ZIT, atac Nital 2%, 100X [117].

d. *Rezultatele încercărilor mecanice de duritate Vickers HV10 pe epruvetele nr. 3, prelevate din probele sudate cap la cap manual WIG W3 și W3T, s-au efectuat conform SR EN ISO 6507 - 1: 2006 în zonele caracteristice îmbinărilor sudate (MB_{st}, MB_{dr}, ZIT_{st}, ZIT_{dr}, SUD) respectând modul de amplasare a amprentelor de duritate prezentat în figura 4.4.*

Valorile de duritate Vickers HV10 determinate experimental sunt centralizate în tabelul 5.23.

Tabelul 5.23. Rezultatele încercărilor mecanice de duritate Vickers HV10 [117]

Nr. amprentă	Zona încercată	Proba W3	Proba W3T
1	MB _{st}	136	131
2		133	135
3	MB _{dr}	135	135
4		140	136
5	ZIT _{st}	270	247
6		291	286
7		305	266
8	ZIT _{dr}	322	287
9		283	266
10		270	275
11	SUD	300	284
12		294	289

În tabelul 5.24 s-au trecut valorile estimatorului ΔHV10 calculate între zonele caracteristice îmbinărilor sudate realizate prin procedul de sudare 141.

Tabelul 5.24. Valorile estimatorului ΔHV10 calculate între zonele caracteristice îmbinărilor sudate realizate prin procedul de sudare 141 [117]

Marcajul probei sudate	Estimator de durificare locală ΔHV10, %			
	SUD - ZIT _{st}	SUD - ZIT _{dr}	ZIT _{dr} - MB _{dr}	ZIT _{st} - MB _{st}
W3	10,0	10,0	58,1	56,4
W3T	14,5	8,0	53,0	54,2

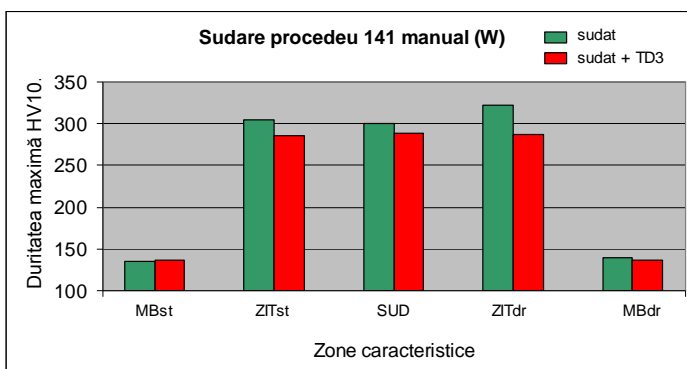


Fig. 5.113. Variația HV10_{max} = f (zona caracteristică) la îmbinările sudate W3 și W3T realizate prin procedeu 141 [117].

Variațiile dunităților Vickers HV10 maxime pe zonele caracteristice ale îmbinărilor sudate realizate din țevi de oțel termorezistent aliat marca 10CrMo9-10 sunt prezentate în figura 5.113.

5.3.3. Cercetări experimentale privind sudarea mecanizată cu fascicul de electroni a țevilor din oțel termorezistent aliat marca 10CrMo9-10

5.3.3.2. Pregătirea țevilor în vederea sudării. Sudarea probelor

Pregătirea în vederea sudării și prinderea în puncte de sudură au fost similare ca și în cazul sudărilor cu fascicul de electroni a țevilor din oțelurile termorezistente mărcile P265GH, Φ 60,3 x 6,0 mm și 13CrMo4-5, Φ 42,4 x 5,4 mm.

Parametrii optimi de sudare au fost stabiliți și în acest caz pe probe preliminare care au fost supuse controlului vizual și dimensional. În urma experimentărilor au fost stabiliți următorii parametri optimi de sudare: curentul de sudare $I_s = 30$ mA; tensiunea arcului $U_a = 60$ KV; distanța de tir $D_t = 150$ mm; focalizarea $F_o = 744$ mA și viteza de sudare $v_s = 40$ cm/min.

După răcire, fiecare probă sudată cap la cap manual WIG a fost examinată vizual (cu ochiul liber și cu lupa cu grosime de 5X), îmbinările sudate fiind de o calitate corespunzătoare și fără defecte exterioare.

5.3.3.3. Realizarea tratamentului termic

Proba sudată cap la cap din oțel termorezistent nealiat marca 10CrMo9-10, Φ 31,8 x 4,0 mm (F3T), a fost supusă unui tratament de detensionare TD3 conform tabelului 4.2.

În figurile 5.114 și 5.115 sunt prezentate aspectele vizuale ale probelor sudate cap la cap electric mecanizat cu fascicul de electroni F3 și F3T. Îmbinările nu au prezentat pe suprafețele exterioare defecte de sudare [171, 172].

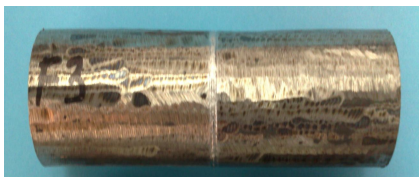


Fig. 5.114. Proba sudată cap la cap F3, netratată termic [117].



Fig. 5.115. Proba sudată cap la cap F3T, termic [117].

3.3.3.4. Rezultatele încercărilor mecanice de laborator

a. Rezultatele încercărilor la tracțiune pe epruvetele plate cu porțiunea calibrată nr. 1 și 2 prelevate din probele sudate cap la cap electric mecanizat cu fascicul de electroni F3 și F3T sunt centralizate în tabelul 5.25.

Tabelul 5.25. Rezultatele încercărilor la tracțiune pe epruvetele plate cu porțiunea calibrată [117]

Nr. probă	Nr. epruv.	Dimens. epruv. ($S_0 \times B_0$), mm	F_{max} , N	R_m , N/mm ²	Locul ruperii
F3	F3.1	4,0 x 6,3	14120	560	MB
	F3.2	4,0 x 6,3	13600	540	MB
F3T	F3.1T	4,0 x 6,15	14880	573	MB
	F3.2T	4,0 x 6,3	14360	570	MB

În figurile 5.116 și 5.117 sunt prezentate epruvetele după efectuarea încercărilor la tracțiune.



Fig. 5.116. Epruvete rupte F3 [117].



Fig. 5.117. Epruvete rupte F3T [117].

b. Examinarea macroscopică a secțiunilor transversale a îmbinărilor sudate nu a reliefat macrofisuri (Fig. 5.118 și 5.119) atât pe probele sudate fără tratament termic cât și pe cele cu tratament termic (TD3).

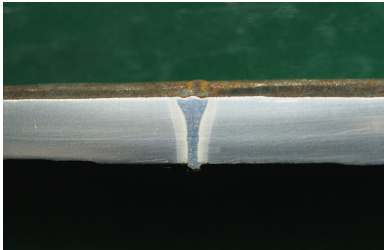


Fig. 5.118. Proba F3, atac Nital 10% [117].

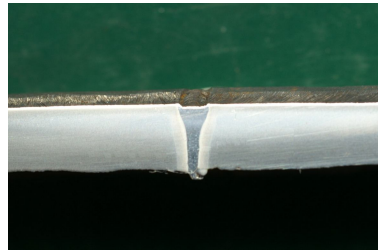


Fig. 5.119. Proba F3T, Atac Nital 10% [117].

c. Examinarea microscopică efectuată relevă microstructurile specifice și anume:

✚ în metalele de bază (MB_{dr} și MB_{st}), structuri fine ferito-perlitice cu punctajul granulației 8 - 9 conform SR EN ISO 643: 2003 (Fig. 5.120 și 5.121);

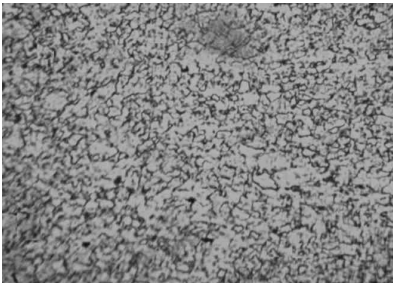


Fig. 5.120. Proba F3, MB, atac Nital 2%, 100X [117].

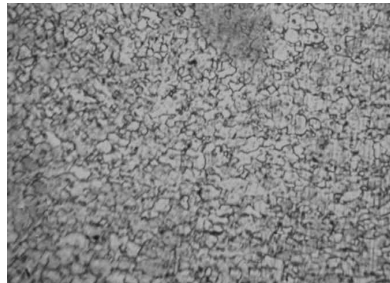


Fig. 5.121. Proba F3T, MB, atac Nital 2%, 100X [117].

✚ în sudură (SUD), structurile sunt dendritice perlito-feritice cu bainită fină și carburi fine de Cr, Mo plasate inter-intradendritic (Fig. 5.122 și 5.123);

✚ în zonele influențate termomecanic (ZIT_{dr} , ZIT_{st}), structuri granulare fine de punctaj maxim 8 conform SR EN ISO 643: 2003 (Fig. 5.124 și 5.125).



Fig. 5.122. Proba F3, SUD, atac Nital 2%, 100X [117].



Fig. 5.123. Proba F3T, SUD, atac Nital 2%, 100X [117].



Fig. 5.124. Proba F3, ZIT, atac Nital 2%, 100X [117].



Fig. 5.125. Proba F3T, ZIT, atac Nital 2%, 100X [117].

Aplicarea tratamentului de detensionare în varianta TD3 a condus la finisarea granulației structurii bainitice ce are tendința de transformare în sorbită, timpul de menținere scăzut nu poate asigura transformarea bainită → sorbită în totalitate.

Zonele examinate microscopic nu au prezentat microfisuri.

Tabelul 5.26. Rezultatele încercărilor mecanice de duritate Vickers HV10 [117]

Nr. amprență	Zona încercată	Proba F3	Proba F3T
1	MB _{st}	138	140
2		140	130
3	MB _{dr}	134	130
4		130	129
5	ZIT _{st}	333	327
6		339	312
7		328	306
8	ZIT _{dr}	351	309
9		351	304
10		354	303
11	SUD	339	332
12		317	319

d. *Rezultatele încercărilor mecanice de duritate Vickers HV10 pe epruvetele nr. 3, prelevate din probele sudate cap la cap mecanizat cu fascicul de electroni F3 și F3T, s-au efectuat conform SR EN ISO 6507 - 1: 2006 în zonele caracteristice îmbinărilor sudate (MB_{st}, MB_{dr}, ZIT_{st}, ZIT_{dr}, SUD) respectând modul de amplasare a amprentelor de duritate prezentat în figura 4.4.*

Valorile de duritate Vickers HV10 determinate experimental sunt centralizate în tabelul 5.26.

Tabelul 5.27. Valorile estimatorului $\Delta HV10$ calculate între zonele caracteristice îmbinărilor sudate realizate prin procedul de sudare 511 [117]

Marcajul probei sudate	Estimator de durificare locală $\Delta HV10$, %			
	SUD - ZIT _{st}	SUD - ZIT _{dr}	ZIT _{dr} - MB _{dr}	ZIT _{st} - MB _{st}
F3	3,20	4,47	63,3	59,3
F3T	7,80	8,75	57,9	60,2

În tabelul 5.27 s-au trecut valorile estimatorului $\Delta HV10$ calculate între zonele caracteristice îmbinărilor sudate realizate prin procedul de sudare 511.

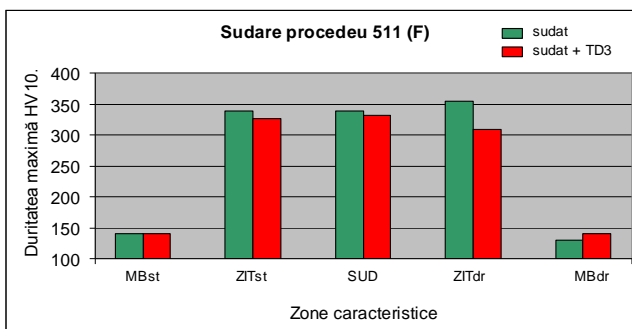


Fig. 5.126. Variația $HV10_{max} = f$ (zona caracteristică) la îmbinările sudate F3 și F3T realizate prin procedeu 511 [117].

Variațiile durităților Vickers HV10 maxime pe zonele caracteristice ale îmbinărilor sudate realizate din țevi de oțel termorezistent aliat marca 10CrMo9-10 sunt prezentate în figura 5.126.

5.4. Analiza comparativă a compozițiilor chimice ale sudurilor țevilor termorezistente îmbinate cap la cap

Pentru analiza comparativă a compozițiilor chimice ale sudurilor țevilor termorezistente îmbinate cap la cap prin cele trei procedee de sudare, s-au folosit tot epruvetele nr. 3, utilizate inițial, pentru analizele macroscopice, analizele microscopice și încercările de duritate Vickers HV10.

Analizele au fost realizate cu aparatul cu raze X cu fluorescență Innov - X Systems (Fig. 1.10) în cadrul Laboratorului de Încercări, Examinări și Analize (LIEA) a Institutului Național de Cercetare - Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale - ISIM Timișoara.

Compozițiile chimice ale sudurilor țevilor termorezistente îmbinate cap la cap (SUD) prin cele trei procedee de sudare (111, 141 și 511) sunt prezentate centralizat în tabelul 5.28.

Tabelul 5.28. Compozițiile chimice ale sudurilor [117]

Procedeul de sudare	Zona examinată	Compoziția chimică, %					
		Si	Cr	Mn	Ni	Cu	Mo
SUD (oțel termorezistent nealiat marca P265GH)							
111	Convexă	0,46	0,19	0,50	0,43	0,19	0,02
141	Concavă	0,32	0,04	0,74	0,09	0,15	0,02
	Convexă	0,48	0,04	0,80	0,15	0,19	0,02
511	Concavă	0,30	0,11	0,70	0,40	0,19	0,03
SUD (oțel termorezistent aliat marca 13CrMo4-5)							
111	Convexă	0,31	0,98	0,82	-	0,18	0,50
141	Concavă	0,33	0,97	0,68	-	0,10	0,48
	Convexă	0,27	0,98	0,65	-	0,12	0,49
511	Concavă	0,22	1,09	0,73	-	0,13	0,50
SUD (oțel termorezistent aliat marca 10CrMo9-10)							
111	Convexă	0,32	1,65	0,81	-	0,09	0,71
141	Concavă	0,53	2,23	0,87	0,10	0,14	0,91
	Convexă	0,52	2,13	0,80	0,12	0,18	0,89
511	Concavă	0,26	1,90	0,70	-	0,10	0,86

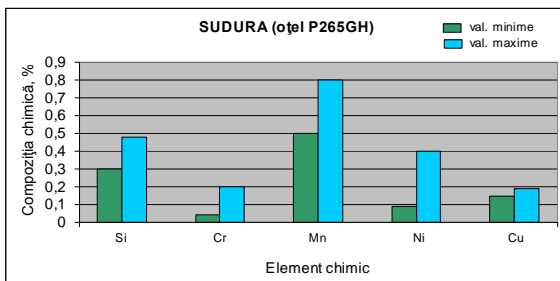


Fig. 5.127. Variațiile concentrațiilor elementelor chimice în sudura oțelului nealiat marca P265GH [117].

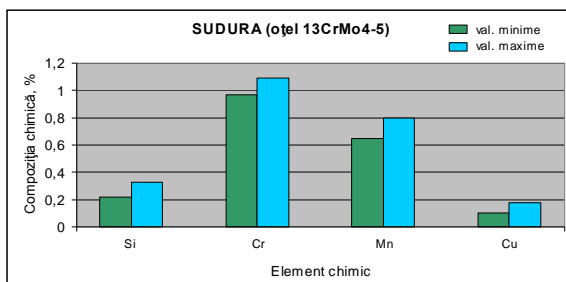


Fig. 5.128. Variațiile concentrațiilor elementelor chimice în sudura oțelului aliat marca 13CrMo4-5 [117].

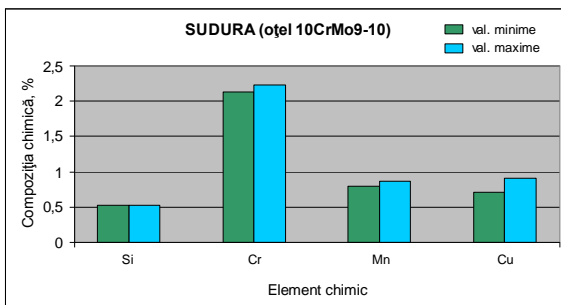


Fig. 5.129. Variațiile concentrațiilor elementelor chimice în sudura oțelului aliat marca 10CrMo9-10 [117].

Variațiile concentrațiilor valorilor minime și maxime ale elementelor chimice principale (Si, Cr, Mn, Ni, Cu) ale sudurilor oțelurilor termorezistente (P265GH, 13CrMo4-5 și 10CrMo9-10) sunt prezentate centralizat în figurile 5.127, 5.128 și 5.129.

5.5. Concluzii privind sudarea țevilor din oțeluri termorezistente

✚ Evaluarea calității îmbinărilor sudate realizate din țevi din oțeluri termorezistente nealiate și aliate mărcile P265GH, 13CrMo4-5 și 10CrMo9-10, folosind procedeele de sudare prin topire 111, 141 și 511, a avut la bază rezultatele vastelor cercetări experimentale, obținute prin analize chimice, examinări structurale și încercări mecanice de scurtă durată.

✚ Caracterizarea chimică a materialelor de bază (țevi din oțeluri termorezistente) și a materialelor de adaos specifice folosite la procedeele de sudare prin topire aplicate (electrozi înveliți și vergele), atestă o încădrare a elementelor chimice în valorile compoziționale impuse de normele de calitate în vigoare.

✚ Îmbinările nu au prezentat pe suprafețele exterioare defecte de sudare.

✚ Variațiile rezistențelor la tracțiune R_m la epruvetele prelevate din îmbinările sudate realizate prin procedeele de sudare prin topire 111, 141 și 511 și supuse încercărilor mecanice la tracțiune, sunt prezentate în figurile 5.130, 5.131 și 5.132.

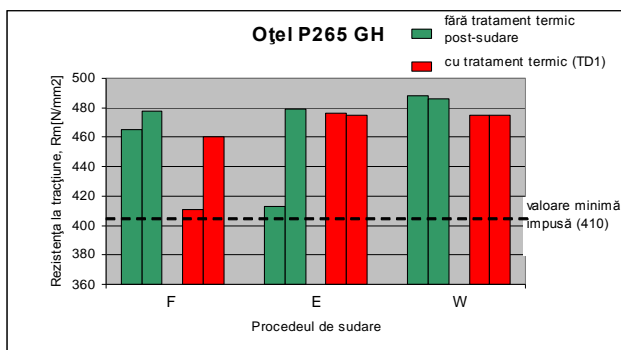


Fig. 5.130. Variația $R_m = F$ (procedeele de sudare) în cazul îmbinărilor sudate din oțel nealiat marca P265GH [117].

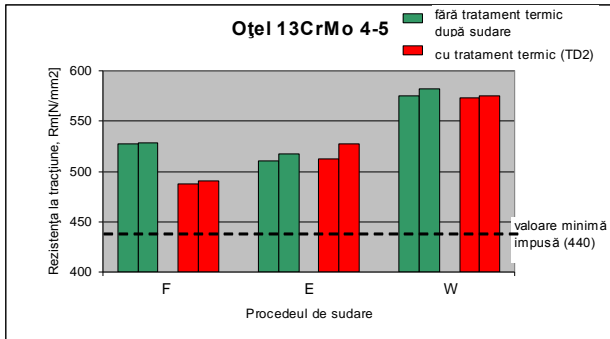


Fig. 5.131. Variația $R_m = F$ (procedeele de sudare) în cazul îmbinărilor sudate din oțel aliat marca 13CrMo4-5 [117].

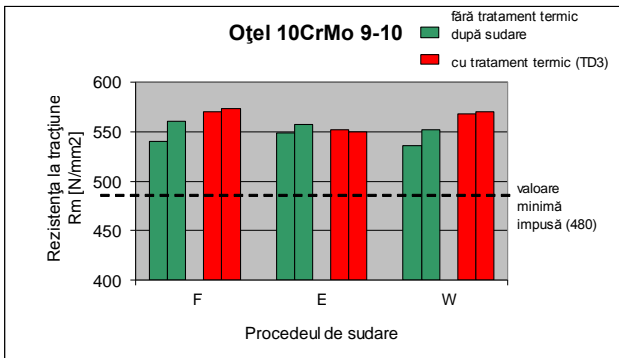


Fig. 5.132. Variația $R_m = F$ (procedeele de sudare) în cazul îmbinărilor sudate din oțel aliat marca 10CrMo9-10 [117].

✚ Analizând variațiile $R_m = F$ (procedeele de sudare), se constată următoarele:

➤ La oțelul nealiat marca P265GH, analizând variația rezistențelor la tracțiune observăm că, acestea sunt superioare valorii de calitate impuse de norma SR EN ISO 10216: 2 + A2 - 2008 și anume de 410 N/mm² pentru oțelul analizat. În plus, chiar dacă patru epruvete s-au rupt în sudură, rezistențele la tracțiune determinate, sunt peste limita inferioară a domeniului rezistenței la tracțiune impus (410...570 N/mm²) pentru oțelul nealiat termorezistent. Reducerea procentuală a rezistenței la tracțiune datorată aplicării tratamentului termic de detensionare în varianta TD1 devine:

- La procedeul 511 în sudură (SUD) este de 16%;
- La procedeul 111 în metalul de bază (MB) este de 1,8%;
- La procedeul 141 în metalul de bază (MB) este de 2,67%.

Suprafețele de rupere ale epruvetelor de tracțiune au un aspect net ductil specific metalelor de bază supuse tensiunilor de întindere și aspecte alungite specifice sudurilor tenace (la epruvetele F1.2, F1.1T, F1.2T și E1.2) fără defecte decelate în zona de rupere - încadrare în specificații calitative impuse de SR EN ISO 6892-1: 2010

➤ La oțelul aliat marca 13CrMo4-5, toate valorile rezistenței la tracțiune determinate pe epruvetele plate prelevate din îmbinările sudate sunt în domeniul (440...590) N/mm² impus

pentru calitatea marcii de oțel analizată, atestând o rezistență mecanică ridicată a îmbinărilor sudate. Aplicarea tratamentului termic post-sudare în varianta de detensionare TD2 conduce la o scădere a rezistenței la tracțiune cu maxim 7,1% la procedeul 511, iar la procedeele de sudare 111 și 141 practic nu se poate confirma o scădere semnificativă a acestei caracteristici mecanice în raport cu varianta netratată post-sudare. Suprafețele de rupere ale epruvetelor încercate la tracțiune prezintă aspecte ductile cu deformații ale secțiunii de rupere.

➤ La oțelul aliat marca 10CrMo9-10, toate valorile rezistenței la tracțiune determinate sunt superioare valorii minime de calitate impuse de norma SR EN ISO 10216: 2 + A2 - 2008 și anume de (480 N/mm^2) încadreându-se în domeniul ($480...630 \text{ N/mm}^2$). Această valoare atestă o calitate ridicată a rezistenței mecanice a îmbinărilor sudate prin cele trei procedeele de sudare. Aplicarea tratamentului termic post-sudare în varianta TD3 conduce în general la o creștere a rezistenței la rupere cu maxim 6,4% față de varianta netratată termic.

✚ Caracterizarea structurală a zonelor îmbinărilor sudate analizate (MB, ZIT și SUD), confirmă prezența microstructurilor specifice ce sunt în corelație directă cu duritățile Vickers HV10 ale acestor zone. Acest fapt respectă cerințele de calitate impuse de SR EN ISO 6.507-1 - 2006.

✚ Tratamentele termice post-sudare alese în variantele TD1, TD2 și TD3, conduc la modificarea structurilor, în sensul dezvoltării unor transformări structurale specifice revenirilor, cu scăderea în general a valorilor durității Vickers HV10 și uneori a rezistenței la tracțiune R_m .

✚ Caracterizarea mecanică efectuată prin analiza variației rezistenței la tracțiune în funcție de marca de oțel termorezistent și procedeul de sudare prin topire aplicat, atestă o rezistență mecanică ridicată a îmbinărilor sudate investigate, toate valorile R_m fiind în domeniul de variație impus de cerința de calitate a normei SR EN ISO 10216:2 + A2: 2008.

✚ Zonele examinate microscopic nu au prezentat microfisuri.

✚ Analizând variațiile concentrațiilor elementelor chimice din sudurile oțelurilor termorezistente analizate, se constată următoarele:

➤ La oțelul nealiat marca P265GH apar diferențe semnificative ale concentrațiilor de crom (între 0,04 și 0,19%), existând tendințe clare de difuzie a cromului din sudură spre zonele influențate termic.

➤ La oțelul aliat marca 13CrMo4-5 nu există diferențe semnificative ale concentrațiilor elementelor principale.

➤ La oțelul aliat marca 10CrMo9-10 există diferențe compoziționale semnificative ale sudurilor realizate cu procedeul 111 și cu procedeul 141 în ceea ce privește atât procentul de crom cât și cel de molibden cu valori ridicate la procedeul 141.

✚ Aplicarea atât a procedeelelor de sudare (511, 111 și 141) cât și a ciclurilor termice specifice tratamentelor post-sudare în variantele TD1, TD2 și TD3 îmbinărilor sudate, nu au condus la apariția defectelor de sudare sau de tratament termic, atestând că sudarea și tratarea termică a oțelurilor termorezistente (P265GH, 13CrMo4-5 și 10CrMo9-10) s-au efectuat în condiții corespunzătoare de calitate.

CAPITOLUL 6

MODELAREA MATEMATICĂ A REZISTENȚELOR MEDII DE RUPERE LA TRACȚIUNE A ÎMBINĂRILOR SUDATE

6.1. Considerații teoretice privind optimizarea prin diferențiere

În acest capitol se urmărește stabilirea unei corelații între rezistența medie de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate, cu și fără tratament termic, prin diferite procedee de sudare și rezistența de rupere la tracțiune a materialelor de bază în funcție de energia liniară folosită la sudare.

În majoritatea investigațiilor experimentale, rezultatele se prezintă sub forma unei mulțimi

de puncte $(x_i, y_i), i = \overline{1, n}$, între numerele x_i și y_i existând o dependență funcțională de forma:

$$y = f(x) \tag{6.1}$$

unde f este o funcție necunoscută. Această corelație poate fi aproximată prin funcții având:

✚ variație liniară: $y = ax + b$ (6.2)

✚ variație parabolică: $y = ax^2 + bx + c$ (6.3)

✚ variație cubică: $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ (6.4)

✚ variație pătratică: $y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$ (6.5)

În toate aceste cazuri, necunoscutele sunt a, b, c, d, e , necunoscute ce urmează a fi determinate din condiția ca, suma pătratelor erorilor față de valorile date să fie minimă.

6.1.2. Variație parabolică

În acest caz, pentru fiecare pereche de valori determinate experimental (x, y) , erorile sunt date de:

$$\varepsilon = ax^2 + bx + c - y \tag{6.18}$$

Funcția Z , suma pătratelor erorilor (Cramer) este:

$$Z(a, b, c) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i)^2 \tag{6.19}$$

Această funcție are drept necunoscute a, b, c , necunoscute ce se determină astfel încât Z să aibă valoarea minimă. Din condiția necesară de extrem:

$$\begin{cases} \frac{\partial Z}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial Z}{\partial b} = 0 \\ \frac{\partial Z}{\partial c} = 0 \end{cases} \tag{6.20}$$

Suntem conduși la sistemul:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i)x_i^2 = 0 \\ \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i)x_i = 0 \\ \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i) = 0 \end{cases} \tag{6.21}$$

Ordonând după a și b în (6.21), obținem:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i + nc = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \quad (6.22)$$

Rezolvarea pur teoretică a sistemului (6.22) conduce la dificultăți mari de calcul, motiv pentru care se recomandă ca aceasta să se rezolve concret pe datele experimentale și apoi să se determine eroarea totală cu (6.19).

Un alt mod de abordare a problemei (minimizarea funcției Z) este acela de a folosi metoda gradientului.

Fie A (a, b, c), A - punct fixat, A nu este punct staționar pentru Z. Se știe ca gradientul lui Z în punctul A este vectorul:

$$\text{grad}_A Z = \left(\frac{\partial Z}{\partial a}(A), \frac{\partial Z}{\partial b}(A), \frac{\partial Z}{\partial c}(A) \right) \quad (6.23)$$

Ne propunem să determinăm versorul $s = (s_1, s_2, s_3)$, pentru care derivata lui Z, după direcția s, adică $\frac{dZ}{ds}(A)$ să fie minimă.

Se știe ca derivata lui Z, după direcția s, este:

$$\frac{dZ}{ds}(A) = s_1 \frac{\partial Z}{\partial a}(A) + s_2 \frac{\partial Z}{\partial b}(A) + s_3 \frac{\partial Z}{\partial c}(A) \quad (6.24)$$

Notam $\lambda_1 = \frac{\partial Z}{\partial a}(A)$, $\lambda_2 = \frac{\partial Z}{\partial b}(A)$, $\lambda_3 = \frac{\partial Z}{\partial c}(A)$, suntem conduși la determinarea extremelor funcției:

$$G(a, b, c) = \lambda_1 s_1 + \lambda_2 s_2 + \lambda_3 s_3 \quad (6.25)$$

supusă legăturii:

$$s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 = 1 \quad (6.26)$$

Pentru aceasta folosim metoda multiplicatorilor a lui Lagrange.

Construim funcția Lagrange:

$$\phi(s_1, s_2, s_3; \alpha) = \lambda_1 s_1 + \lambda_2 s_2 + \lambda_3 s_3 + \alpha (s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 - 1) \quad (6.27)$$

pentru care studiem o problema de extrem liber:

$$\begin{cases} \frac{\partial \phi}{\partial s_1} = \lambda_1 + 2\alpha s_1 = 0 \\ \frac{\partial \phi}{\partial s_2} = \lambda_2 + 2\alpha s_2 = 0 \\ \frac{\partial \phi}{\partial s_3} = \lambda_3 + 2\alpha s_3 = 0 \\ \frac{\partial \phi}{\partial \alpha} = s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 - 1 = 0 \end{cases} \quad (6.28)$$

Din (6.28) avem: $s_1 = -\frac{\lambda_1}{2\alpha}$; $s_2 = -\frac{\lambda_2}{2\alpha}$; $s_3 = -\frac{\lambda_3}{2\alpha}$; înlocuind în ultima ecuație,

obținem: $\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 = 4\alpha^2 \Rightarrow 4\alpha^2 = 1 \Rightarrow \alpha = \pm \frac{1}{2}$.

Dacă $\alpha = \frac{1}{2} \Rightarrow s_1 = -\lambda_1$; $s_2 = -\lambda_2$; $s_3 = -\lambda_3$ și deci punctul staționar este $B(-\lambda_1, -\lambda_2, -\lambda_3)$ adică $\vec{s} = -grad_A Z$. Analog pentru $\alpha = -\frac{1}{2}$, obținem $C(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$, adică $\vec{s} = grad_A Z$.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial s_1^2} = 2\alpha; \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial s_1 \partial s_2} = 0; \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial s_1 \partial s_3} = 0; \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial s_2^2} = 2\alpha; \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial s_2 \partial s_3} = 0; \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial s_3^2} = 2\alpha.$$

De aici deducem ca pentru $\alpha = \frac{1}{2}$, funcția Z are un minim, iar pentru $\alpha = -\frac{1}{2}$, ea are un maxim.
De aici tragem concluzia că „variațiile extreme” ale lui Z , în punctul A se produc după direcția gradientului lui Z în punctul A .

În cazul problemei studiate, ne interesează minimul funcției Z , deci alegem direcția:

$$n_A = -grad_A Z \quad (6.29)$$

Se numește traiectorie de gradient, pornind din A , orice drum parametrizat de clasa C^1 , $g: I \rightarrow R, I$ - interval centrat în origine, astfel încât:

$$g'(t) = -grad_{g(t)} f; \quad \forall t \in I; \quad g(0) = A \quad (6.30)$$

și deci $g'(0) = n_A = -grad_A Z$

Relația (6.27) arată ca drumul g trece prin A , iar imaginea sa este tangentă în A la n_A .
Notăm:

$$h(t) = Z(g(t)) = Z(g_1(t), g_2(t), g_3(t)) \quad (6.31)$$

Folosind formula de derivare a funcțiilor compuse, avem:

$$h'(t) = \frac{\partial Z}{\partial a}(g(t))g'_1(t) + \frac{\partial Z}{\partial b}(g(t))g'_2(t) + \frac{\partial Z}{\partial c}(g(t))g'_3(t) \quad (6.32)$$

Din (6.30) obținem

$$g'_1(t) = -\frac{\partial Z}{\partial a}(g(t)); g'_2(t) = -\frac{\partial Z}{\partial b}(g(t)); g'_3(t) = -\frac{\partial Z}{\partial c}(g(t)).$$

Înlocuind în (6.31), deducem că:

$$h(t) = -\left[\frac{\partial Z}{\partial a}(g(t))\right]^2 - \left[\frac{\partial Z}{\partial b}(g(t))\right]^2 - \left[\frac{\partial Z}{\partial c}(g(t))\right]^2,$$

adică:

$$h'(t) = -\|grad_A Z\|^2 < 0 \quad (6.33)$$

Din (6.33) reiese că funcția h este monoton descrescătoare, adică valorile lui Z descresc în lungul oricărei traiectorii de gradient. Demonstrăm că, dacă există $\lim_{t \rightarrow +\infty} g(t) = \xi$ atunci ξ este un punct critic a lui Z . Presupunem prin reducere la absurd că, ξ nu este un punct critic a lui Z , adică $n_\xi \neq 0$. Z fiind o funcție continuă și $\lim_{t \rightarrow +\infty} g(t) = \xi \Rightarrow \lim_{t \rightarrow +\infty} h(t) = Z(\xi)$. Cum $n_\xi = grad_\xi Z \neq 0$, Z funcție de clasa C^2 , rezultă că $grad Z$ este o funcție continuă și deci există o vecinătate V a lui ξ și $m > 0$, astfel încât:

$$\|grad_x Z\| > m, \quad \forall x \in V \quad (6.34)$$

Pentru orice $t > t_1$, din formula Leibniz - Newton avem:

$$\int_{t_1}^t h'(t) dt = h(t) - h(t_1) \text{ de unde } h(t) = \int_{t_1}^t h'(t) dt + h(t_1)$$

Din (6.33) și (6.34) obținem:

$$\int_{t_1}^t h'(t) dt = \int_{t_1}^t -\|grad_x Z\| dt \leq -m^2(t-t_1) \Rightarrow h(t) \leq h(t_1) - m^2(t-t_1), \quad \forall t > t_1$$

Trecând la limita cu $t \rightarrow \infty$, obținem: $f(\xi) \leq -\infty$ ceea ce este absurd.

Observații:

Se poate arăta că dacă ξ este un punct de minim local a lui Z , atunci orice traiectorie de gradient (g) pornind dintr-un punct suficient de apropiat de ξ converge tot la ξ .

În practică, se fixează un punct A_1 , suficient de apropiat de soluția căutată și se construiește un șir de puncte A_k , astfel încât pentru fiecare k - fixat, se alege în A_k direcția

$$s^{(k)} = -grad_{A_k} Z \text{ și } A_{k+1} = A_k + \lambda_k s^{(k)} \quad (6.35)$$

$$\lambda_k = \min \left\{ A_k + \lambda_s^{(k)} \right\} \quad (6.36)$$

6.2. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic

Pentru stabilirea corelațiilor între rezistențele medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate (netratate sau tratate termic prin detensionare) prin procedeele 111, 141 și 511, în funcție de rezistența la rupere a materialelor de bază (P265GH, 13CrMo4-5 și 10CrMo9-10) și de energia liniară folosită la sudare, s-a pornit de la rezultatele experimentale obținute în capitolul 5.

Se consideră că, rezistențele de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate prin cele trei procedee, cu și fără tratament termic de detensionare, variază în funcție de rezistențele de rupere la tracțiune a materialelor de bază și de energiile liniare folosite la sudare, după o relație de forma:

$$R_{mPS} (E_i) = R_{mMB} \times f (E_i) \quad (6.34)$$

în care: R_{mPS} este rezistența medie de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din proba sudată;

R_{mMB} - rezistența de rupere la tracțiune a materialului de bază;
 E_i - energia liniară.

Sudarea probelor cap la cap prin procedeul 111 s-a realizat din trei treceri, cu următorul regim optim de sudare: $I_s = (70...75)$ A; $U_a = (12...14)$ V și $v_s = (8...10)$ cm/min.

Energia liniară totală folosită la sudarea prin procedeul 111 va fi:

$$E_{IE} = 3 \cdot 60 \cdot \frac{U_a \cdot I_s}{v_s} = 18.900 \text{ j/cm} = 18,9 \text{ Kj/cm}$$

Sudarea probelor cap la cap prin procedeul 141 s-a realizat din patru treceri, cu următorul regim optim de sudare: $I_s = (100...110)$ A; $U_a = (13...14)$ V și $v_s = (9...12)$ cm/min.

Energia liniară totală folosită la sudarea prin procedeul 141 va fi:

$$E_{IW} = 4 \cdot 60 \cdot \frac{U_a \cdot I_s}{v_s} = 30.800 \text{ j/cm} = 30,8 \text{ Kj/cm}$$

Sudarea probelor cap la cap prin procedeul 511 s-a realizat printr-o singură trecere, cu următorul regim optim de sudare: $I_s = 28$ mA; $U_a = 60$ KV și viteza de sudare $v_s = 40$ cm/min.

Energia liniară folosită la sudarea prin procedeul 511 va fi:

$$E_{IF} = 1 \cdot 60 \cdot \frac{U_a \cdot I_s}{v_s} = 2.520 \text{ j/cm} = 2,52 \text{ Kj/cm}$$

În continuare, se urmărește determinarea funcțiilor $f (E_i)$ pentru cele trei materiale de bază (P265GH, 13CrMo4-5 și 10CrMo9-10), cu și fără tratament termic de detensionare (TD1, TD2 și TD3), funcții care permit determinarea rezistențelor medii de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate, în funcție de rezistențele de rupere la tracțiune a materialelor de bază și de energiile liniare folosite la sudare.

Pentru aceasta se utilizează o funcție verificată de relațiile (6.2), (6.3), (6.4) și (6.5).

Între rezistențele medii de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate, rezistențele de rupere la tracțiune a materialelor de bază și energiile liniare folosite la sudare, există o dependență aproximată de o funcție cu variație parabolică dată de relația (6.3). Algoritmul de calcul prezentat teoretic în subcapitolul 6.1.2, este anexat prezentei teze de programul de modelare utilizat (ANEXA 6).

6.2.1. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic din oțel nealiat marca P265GH

Valorile de intrare, conform ANEXEI 6 și tabelului 6.1, sunt:

$$f_0 = 0.95095948827292110874200426439232$$

$$f_1 = 1.038379530916844349680170575693$$

$$f_2 = 1.0053304904051172707889125799574$$

$$E_{IE} = 18.9$$

$$E_{IW} = 30.8$$

$$E_{IF} = 2.52$$

Rezistența medie de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate din oțel nealiat marca P265GH netratate termic, în funcție de rezistența de rupere la tracțiune a materialului de bază și de energia liniară folosită la sudare variază după relația:

$$R_{mPS}(E_I) = R_{m1} (3.77142 \times 10^{-4} \times E_I^2 - 0.011397734 \times E_I + 1.0316578) \quad (6.35)$$

6.2.2. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic din oțel aliat marca 13CrMo4-5

Valorile de intrare, conform ANEXEI 6 și tabelului 6.1, sunt:

$$f_0 = 1.0128205128205128205128205128205$$

$$f_1 = 1.1410256410256410256410256410256$$

$$f_2 = 1.0404339250493096646942800788955$$

$$E_{IE} = 18.9$$

$$E_{IW} = 30.8$$

$$E_{IF} = 2.52$$

Rezistența medie de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate din oțel aliat marca 13CrMo4-5 netratate termic, în funcție de rezistența de rupere la tracțiune a materialului de bază și de energia liniară folosită la sudare variază după relația:

$$R_{mPS}(E_I) = R_{m2} (4.4057076 \times 10^{-4} \times E_I^2 - 0.011122826 \times E_I + 1.0656656) \quad (6.36)$$

6.2.3. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic din oțel aliat marca 10CrMo9-10

Valorile de intrare, conform ANEXEI 6 și tabelului 6.1, sunt:

$$f_0 = 0.91103789126853377265238879736409$$

$$f_1 = 0.89621087314662273476112026359143$$

$$f_2 = 0.90609555189456342668863261943987$$

$$E_{IE} = 18.9$$

$$E_{IW} = 30.8$$

$$E_{IF} = 2.52$$

Rezistența medie de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate din oțel aliat marca 10CrMo9-10 netratate termic, în funcție de rezistența de rupere la tracțiune a materialului de bază și de energia liniară folosită la sudare variază după relația:

$$R_{mPS}(E_I) = R_{m3}(-5.4727654 \times 10^{-4} \times E_I^2 + 0.0014739964 \times E_I + 0.9027286) \quad (6.37)$$

6.4. Concluzii privind modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate

Între rezistențele medii de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate, rezistențele de rupere la tracțiune a materialelor de bază și energiile liniare folosite la sudare, există o dependență aproximată de o funcție cu variație parabolică.

Folosind una dintre cele mai des utilizate metode pentru modelarea matematică a datelor experimentale, s-au obținut relații pentru aproximarea analitică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate din oțeluri termorezistente (P265GH, 13CrMo4-5 și 10CrMo9-10), în funcție de energia liniară folosită la sudare, prin cele trei procedee de sudare (111, 141 și 511) cu și fără tratament termic de detensionare (TD1, TD2, TD3), relațiile (6.35)...(6.40).

Pentru oricare din calitățile și tipodimensiunile de țevă din oțel termorezistent, pentru care cunoaștem rezistența de rupere la tracțiune a materialului de bază, și oricare din cele trei procedee de sudare, modificarea energiei liniare totale introdusă în proba sudată cap la cap, face posibilă estimarea rezistențelor medii de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate (netratate sau tratate termic prin detensionare).

CAPITOLUL 7

CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

7.1. Concluzii finale

Pentru analiza calității îmbinărilor sudate la conductele realizate din oțeluri termorezistente, din cercetările teoretice și experimentale desfășurate în cuprinsul tezei de doctorat (incluzând cele mai actuale metode de investigare), se pot evidenția următoarele concluzii finale, departajate distinct pe cele trei studii și analize întreprinse.

1. Oțelurile nealiate și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate, elaborate în conformitate cu criteriile de calitate ale Standardul SR EN 10216-2 + A2: 2008, sunt folosite pe scară largă la realizarea elementelor sudate/nesudate de mare răspundere din centralele termoelectrice și nucleare electrice.

2. Examinările calitatii structurale și încercărilor mecanice efectuate pe oțeluri termorezistente sudabile au evidențiat posibilitatea stabilirii, cu un anumit grad de certitudine, a unor corelații între tipul de microstructuri și caracteristicile mecanice.

3. Durificarea soluției solide datorită prezenței dislocațiilor, a precipitărilor și a atomilor străini din rețea, reprezintă un element deosebit de important în calitatea oțelului, ce trebuie luat în considerare la determinarea caracteristicilor structurale și mecanice ale oțelurilor nealiate și aliate termorezistente sudabile.

4. Particulele de faze secundare, de tipul carburilor elementelor de aliere (Cr, Mo, V) au un rol determinant, în special, asupra calității caracteristicilor de rezistență la cald a oțelurilor aliate termorezistente sudabile, atât prin formă și mărime, cât și prin cantitatea și dispersia lor.

5. Estimatorii determinați pe baza compoziției chimice a oțelurilor nealiate sau aliate termorezistente sudabile (carbonul echivalent, duritatea în zonele influențate termomecanic, vitezele de răcire) constituie o grupă principală de evaluatori ai comportării la sudare a acestor oțeluri.

6. Transformarea austenită → ferită cu formarea structurii Widmanstätten în zona influențată termomecanic a oțelurilor termorezistente se produce în timpul răcirii sudurii după o perioadă de timp scurtă, practic instantaneu.

7. Tratamentul termic de detensionare aplicat post-sudare oțelurilor termorezistente trebuie să asigure reducerea optimă a nivelului tensiunilor reziduale, restaurarea ductilității zonelor fragilizate și degradarea minimă a caracteristicilor mecanice ale oțelurilor în zonele nefragilizate.

8. Tipurile de îmbinări sudate la țevi sunt cap la cap și de colț. Debitarea țevilor se poate realiza cu disc abraziv, prin frezare, oxigaz, cu plasmă de aer și cu laser.

9. Tratamentul termic de detensionare TD care constă în încălzirea, menținerea și răcirea la temperaturi bine determinate, este cel mai des întâlnit la tehnologiile aplicate îmbinărilor sudate. Valorile vitezelor de încălzire, menținere și răcire sunt funcție de natura oțelurilor și de grosimea peretelui. Vitezele de încălzire, respectiv de răcire, se aleg astfel încât, în structura sudată să nu se introducă tensiuni suplimentare care ar putea dăuna în continuare. În aceste condiții, la oțelurile slab aliate sudabile Cr - Mo, se recomandă ca aceste viteze să fie de max. 300 °C/oră.

10. Tratamentul termic de detensionare TD are și alte efecte, cum ar fi: mărește stabilitatea dimensională a structurii; reduce sensibilitatea la coroziune și micșorează probabilitatea de producere a rupei fragile, prin reducerea triaxialității tensiunilor.

11. Luarea unei decizii privind aplicarea tratamentului de detensionare TD la o structură sudată, trebuie să țină seama de următorii factori:

- ✦ unele metale sau aliaje metalice se fragilizează prin TD. În acest caz, trebuie cercetată tendința metalului de bază MB spre fisurare la detensionare. Dacă MB fragilizează la TD, structura sudată va fi detensionată prin normalizare;

- ✦ în funcție de nivelul și distribuția tensiunilor reziduale, de volumul structurii sudate și de complexitatea acesteia, se va decide dacă detensionarea TD se va face total sau local, adică în zonele adiacente. Detensionarea TD locală redistribuie tensiunile reziduale pe un volum mai mare din structură, dar prin aceasta se micșorează vârfurile de tensiune. În cazul în care ambele variante de TD se pot aplica, se va prefera TD total;

- ✦ detensionarea TD mărește durata de fabricație și costurile structurii sudate.

12. La nivel industrial, tratamentul termic total al îmbinărilor sudate se efectuează în cuptoare termice, iar în cazul tratamentelor termice locale se aplică încălzirea prin inducție și/sau rezistență.

13. Pe șantier, tratamentul termic local al țevilor sudate se realizează prin încălzire cu flacără sau cu produse de ardere și cu energie electrică.

14. Încălzirea cu flacără sau cu lichide combustibile se execută cu ajutorul unor arzătoare cu flacără unică sau multiplă, dispuse la exteriorul îmbinărilor sudate. Această metodă prezintă unele dezavantaje, dintre care se pot menționa următoarele: este o metodă costisitoare; nu permite obținerea unei temperaturi constante și acțiunea flăcării asupra îmbinărilor sudate poate fi dăunătoare prin accelerarea fenomenelor de oxidare.

15. Încălzirea cu energie electrică se realizează cu ajutorul unui cuptor electric de tratament termic. În acest caz, temperatura este ușor de controlat, iar datorită faptului că circulația aerului este limitată, oxidarea țevilor sudate este aproape eliminată. Ca și în cazul

cuptoarelor cu gaz sau cu lichide combustibile, randamentul termic al acestui tip de cuptor este redus, adică de cca. 80%.

16. Încălzirea prin inducție locală se bazează pe inducerea unui curent electric într-un conductor aflat în câmp magnetic alternativ de înaltă frecvență. Acest curent indus generează cantitatea de căldură necesară tratamentului termic. Câmpul magnetic este produs prin înfășurarea unui cablu electric gros în jurul zonei sudurii, legat la bornele unei surse de curent alternativ. Când se atinge temperatura optimă pentru detensionare, se micșorează tensiunea la nivelul la care temperatura cerută se poate menține atât timp cât este necesar. Apoi, temperatura se va reduce conform curbei de răcire. Această metodă este mai simplă, dar cu cât volumul piesei este mai mare, cu atât aplicarea acestei metode devine mai dificilă. Eficiența încălzirii prin inducție scade pe măsura creșterii lungimii inductorului plasat în zona sudurii. Grosimea materialului izolat (între cablu și obiectul de încălzit) nu trebuie să fie mare, deoarece distanța scade eficiența acestui procedeu.

17. Procedeele termice aplicate pentru realizarea îmbinărilor sudate din oțeluri termorezistente trebuie să îndeplinească o serie de criterii tehnice privind uniformizarea temperaturii, asigurarea de gradienti termici prescriși, respectiv criterii economice și de siguranță în exploatare.

B. *Cercetările experimentale privind sudarea țevilor din oțeluri termorezistente* au condus la desprinderea următoarelor concluzii:

18. Evaluarea calității îmbinărilor sudate realizate din țevi din oțeluri termorezistente, folosind procedeele de sudare prin topire 111, 141 și 511, a avut la bază rezultatele vastelor cercetări experimentale, obținute prin analize chimice, examinări structurale și încercări mecanice de scurtă durată. Caracterizarea chimică a materialelor de bază (țevi din oțeluri termorezistente) și a materialelor de adaos specifice folosite la procedeele de sudare prin topire aplicate (electrozi înveliți și vergele), atestă o încadrare a elementelor chimice în valorile compoziționale impuse de normele de calitate în vigoare. Îmbinările nu au prezentat pe suprafețele exterioare defecte de sudare.

19. Analizând variațiile $R_m = F$ (procedeele de sudare), se constată următoarele:

✚ La oțelul nealiat marca P265GH, analizând variația rezistențelor la tracțiune observăm că, acestea sunt superioare valorii de calitate impuse de norma SR EN ISO 10216: 2 + A2: 2008 și anume de 410 N/mm^2 pentru oțelul analizat. În plus, chiar dacă patru epruvete s-au rupt în sudură, rezistențele la tracțiune determinate, sunt peste limita inferioară a domeniului rezistenței la tracțiune impus ($410...570 \text{ N/mm}^2$) pentru oțelul nealiat termorezistent. Reducerea procentuală a rezistenței la tracțiune datorată aplicării tratamentului termic de detensionare în varianta TD1 devine: la procedeul 511 în sudură (SUD) este de 16%, la procedeul 111 în metalul de bază (MB) este de 1,8%, la procedeul 141 în metalul de bază (MB) este de 2,67%. Suprafețele de rupere ale epruvetelor de tracțiune au un aspect net ductil specific metalelor de bază supuse tensiunilor de întindere și aspecte alungite specifice sudurilor tenace (la epruvetele F1.2, F1.1T, F1.2T și E1.2) fără defecte decelate în zona de rupere - încadrare în specificații calitative impuse de SR EN ISO 6892-1: 2010

✚ La oțelul aliat marca 13CrMo4-5, toate valorile rezistenței la tracțiune determinate pe epruvetele plate prelevate din îmbinările sudate sunt în domeniul ($440...590 \text{ N/mm}^2$) impus pentru calitatea marcii de oțel analizată, atestând o rezistență mecanică ridicată a îmbinărilor sudate. Aplicarea tratamentului termic post-sudare în varianta de detensionare TD2 conduce la o scădere a rezistenței la tracțiune cu maxim 7,1% la procedeul 511, iar la procedeele de sudare 111 și 141 practic nu se poate confirma o scădere semnificativă a acestei caracteristici mecanice în raport cu varianta netratată post-sudare. Suprafețele de rupere ale epruvetelor încercate la tracțiune prezintă aspecte ductile cu deformații ale secțiunii de rupere.

✚ La oțelul aliat marca 10CrMo9-10, toate valorile rezistenței la tracțiune determinate sunt superioare valorii minime de calitate impuse de norma SR EN ISO 10216-2 + A2: 2008 și anume de (480 N/mm^2) încadreându-se în domeniul ($480...630 \text{ N/mm}^2$). Această valoare atestă o calitate ridicată a rezistenței mecanice a îmbinărilor sudate prin cele trei procedeele de sudare. Aplicarea tratamentului termic post-sudare în varianta TD3 conduce în general la o creștere a rezistenței la rupere cu maxim 6,4% față de varianta netratată termic.

20. Caracterizarea structurală a zonelor îmbinărilor sudate analizate (MB, ZIT și SUD), confirmă prezența microstructurilor specifice ce sunt în corelație directă cu duritățile Vickers HV10 ale acestor zone. Acest fapt respectă cerințele de calitate impuse de SR EN ISO 6.507-1: 2006.

21. Tratamentele termice post-sudare alese în variantele TD1, TD2 și TD3, conduc la modificarea structurilor, în sensul dezvoltării unor transformări structurale specifice revenirilor, cu scăderea în general a valorilor durității Vickers HV10 și uneori a rezistenței la tracțiune R_m .

22. Caracterizarea mecanică efectuată prin analiza variației rezistenței la tracțiune în funcție de marca de oțel termorezistent și procedeul de sudare prin topire aplicat, atestă o rezistență mecanică ridicată a îmbinărilor sudate investigate, toate valorile R_m fiind în domeniul de variație impus de cerința de calitate a normei SR EN ISO 10216-2 + A2: 2008.

23. Zonele examinate microscopic nu au prezentat microfisuri.

24. Analizând variațiile concentrațiilor elementelor chimice din sudurile oțelurilor termorezistente analizate, se constată următoarele:

- ✦ La oțelul nealiat marca P265GH apar diferențe semnificative ale concentrațiilor de crom (între 0,04 și 0,19%), existând tendințe clare de difuzie a cromului din sudură spre zonele influențate termic.

- ✦ La oțelul aliat marca 13CrMo4-5 nu există diferențe semnificative ale concentrațiilor elementelor principale.

- ✦ La oțelul aliat marca 10CrMo9-10 există diferențe compoziționale semnificative ale sudurilor realizate cu procedeul 111 și cu procedeul 141 în ceea ce privește atât procentul de crom cât și cel de molibden cu valori ridicate la procedeul 141.

25. Aplicarea atât a procedeelor de sudare (511, 111 și 141) cât și a ciclurilor termice specifice tratamentelor post-sudare în variantele TD1, TD2 și TD3 îmbinărilor sudate, nu au condus la apariția defectelor de sudare sau de tratament termic, atestând că sudarea și tratarea termică a oțelurilor termorezistente s-au efectuat în condiții corespunzătoare de calitate.

26. Normele de calitate impuse și acceptate pe parcursul cercetărilor experimentale au fost: standardele de produs pentru materialele de bază, materialele de adaos și auxiliare [167, 160, 163, 169, 170]; standarde de control nedistructiv (pentru examinări nedistructive ale îmbinărilor sudate. Examinare vizuală a îmbinărilor sudate prin topire: SR EN ISO 17637: 2011); standard de control distructiv (determinări microscopice și macroscopice [155], încercare de duritate Vickers [162] și încercare la tracțiune [164]) și standard de încadrare și acceptare a nivelului de calitate pentru imperfecțiuni [168].

C. *Modelările matematice a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate și a materialelor de bază în funcție de energia liniară folosită la sudare* au condus la următoarele concluzii:

27. Între rezistențele de rupere la tracțiune a materialelor de bază și energiile liniare folosite la sudare există o dependență funcțională, aceasta fiind aproximată de o funcție cu variație parabolică.

28. Folosind una dintre cele mai des utilizate metode pentru modelarea matematică a datelor experimentale, s-au obținut relații pentru aproximarea analitică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate din oțeluri termorezistente, în funcție de energia liniară folosită la sudare, prin cele trei procedee de sudare cu și fără tratament termic de detensionare, relațiile (6.35)...(6.40).

29. Pentru oricare din calitățile și tipodimensiunile de țevă din oțel termorezistent, pentru care cunoaștem rezistența de rupere la tracțiune a materialului de bază, și oricare din cele trei procedee de sudare, modificarea energiei liniare totale introdusă în proba sudată cap la cap, face posibilă estimarea rezistențelor medii de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate (netratate sau tratate termic prin detensionare).

7.2. Contribuții originale

nealiat și aliat cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate, au adus o serie de contribuții originale cunoașterii în domeniu, atât în plan teoretic cât și în plan experimental.

7.2.1. Contribuții pe plan teoretic

Pentru analiza calității îmbinărilor sudate la conductele realizate din oțeluri termorezistente, în plan teoretic, se pot evidenția următoarele contribuții originale:

1. Studiul detaliat privind stadiul actual al sudării conductelor din oțeluri nealiat și aliat cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate.

2. Studiul caracterizării structurale și mecanice a oțelurilor termorezistente (influențele rețelei structurale, mărimii grăunțului și a durificării structurale precum și a contribuției mecanismelor de ecrusare la valoarea limitei de curgere).

3. Analiza fenomenelor de fragilizare - fisurare la îmbinările sudate din oțeluri termorezistente (aprecierea comportării la sudare a oțelurilor termorezistente după compoziția chimică, compararea curbei de răcire cu curba de descompunere izotermică a austenitei, mecanismele fragilizării structurale și fisurării îmbinărilor sudate și principalele teorii ale fragilizării structurale datorate tratamentelor termice post-sudare).

4. Analiza tipurilor de îmbinări sudate (cap la cap și de colț), a pozițiilor de sudare (suduri orizontale în jgheab - PA, suduri orizontale cu perete vertical - PB, suduri orizontale pe perete vertical - PC, suduri orizontale peste cap - PD, suduri peste cap - PE, suduri verticale ascendent - PF și suduri verticale descendent - PG) și a procedeelelor de sudare prin topire aplicabile la țevile din oțeluri termorezistente (111, 131, 135, 136, 137, 141, 15 și 511).

5. Selecția procedeelelor de sudare prin topire în funcție de avantajele, dezavantajele și domeniile de utilizare, aplicabile în cadrul tezei de doctorat (111, 141 și 511).

6. Analiza dispozitivelor de centrare (cu autoblocare și cu lanț și șurub) a țevilor și armăturilor (coturi, reductii, teuri, flanșe, ștuțuri, etc).

7. Analiza protecției la rădăcină a primului strat a îmbinărilor sudate cap la cap, folosind dispozitive speciale și amestecuri de gaze de formare, în vederea asigurării unei rezistențe optime la coroziune.

8. Analiza tratamentelor termice specifice îmbinărilor sudate realizate din oțeluri termorezistente (înainte de sudare - preîncălzirea, normalizarea, revenirea, recristalizarea, etc și după sudare - detensionarea și normalizarea).

9. Studiu comparativ privind procedeele de încălzire pentru tratamentul termic de detensionare a țevilor sudate (cu flacără sau cu produse de ardere și cu energie electrică).

10. Proiectarea unei instalații de tratament termic local de detensionare cu rezistori la țevi sudate realizate din oțeluri termorezistente.

11. Analiza și alegerea unor echipamente de sudare performante pentru sudarea prin procedeele 111, 141 și 511.

12. Analiza și alegerea electrozilor înveliți, destinați sudării prin procedeul 111 a oțelurilor termorezistente (nealiat marca P265GH și aliat mărcile 13CrMo4-5 și 10CrMo9-10).

13. Analiza și alegerea vergelelor, gazului de protecție și a electrozilor nefuzibili din wolfram destinate sudării prin procedeul 141 a oțelurilor termorezistente studiate în cadrul tezei de doctorat.

14. Stabilirea tipurilor de încercări mecanice de laborator, a dimensiunilor probelor sudate cap la cap și a dimensiunilor epruvetelor, în conformitate cu noile standarde republicane și europene.

15. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic din oțel nealiat marca P265GH.

16. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic din oțel aliat marca 13CrMo4-5.

17. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic din oțel aliat marca 10CrMo9-10.

18. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate tratate termic din oțel nealiat marca P265GH.

19. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate tratate termic din oțel aliat marca 13CrMo4-5.

20. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate tratate termic din oțel aliat marca 10CrMo9-10.

7.2.2. Contribuții pe plan experimental

Pentru analiza calității îmbinărilor sudate la conductele realizate din oțeluri termorezistente, contribuțiile originale în plan experimental se referă la:

1. Determinarea compozițiilor chimice în metalele de bază (MB), P265GH (1.0425) - Φ 60,3x6,0 mm, 13CrMo4-5 (1.7335)- Φ 42,4x5,4 mm și 10CrMo9-10 (1.7380)- Φ 31,8x4,0 mm.

2. Determinarea celor trei microstructuri a materialelor de bază.

3. Realizarea a 18 îmbinări sudate cap la cap folosind trei calități și tipodimensiuni de țevi din oțeluri termorezistente, prin trei procedee de sudare prin topire (111, 141 și 511).

4. Stabilirea și aplicarea a trei regimuri de tratamente termice post - sudare de detensionare a îmbinărilor sudate cap la cap, în funcție de marca oțelului termorezistent (TD1, TD2 și TD3).

5. Verificarea calității îmbinărilor sudate cap la cap (fără și cu tratamente termice post - sudare de detensionare TD), prin realizarea următoarelor încercări mecanice de laborator, analize și determinări experimentale: încercări la tracțiune pe epruvete plate cu porțiunea calibrată, la temperatura de 20 °C; analize macroscopice a secțiunilor transversale a îmbinărilor sudate; analize microscopice a secțiunilor transversale a îmbinărilor sudate, cuprinzând zonele caracteristice ale acestora (metalul de bază - MB, metalul depus - SUD și zona influențată termomecanic - ZIT); încercări de duritate Vickers HV10 în zonele caracteristice îmbinărilor sudate (MB_{st}, MB_{dr}, SUD, ZIT_{st}, ZIT_{dr}) și evaluări ale durificării, prin determinarea estimatorilor durificării locale Δ HV10 și determinări de compoziții chimice în metalele depuse (SUD).

6. Stabilirea unor tehnologii de sudare a țevilor din oțeluri termorezistente, cu aplicații industriale.

7.2.3. Valorificarea rezultatelor cercetării

O parte din cercetările teoretice și experimentale cuprinse în cadrul tezei de doctorat, au fost comunicate în cadrul manifestărilor științifice naționale (Buzău, Turnu Severin, Reșița) și internaționale organizate în țară (Iași, Ploiești, Constanța, Timișoara) și în străinătate (Republica Moldova) și au fost prezentate în 10 lucrări științifice (8 ca prim autor).

Ele au fost publicate în volumele conferințelor naționale și internaționale, în analele universităților din România și în reviste de specialitate (*Buletinul Institutului Politehnic Iași* publicat de Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași, Tomul LIV (LVIII), Fascicula 1 - 3, Secția Construcții de Mașini; *The Annual Scientific Journal of Ovidius University, Mechanical Engineering Series, Volume XII, Tom I; The Annals of "Dunărea de Jos" University of Galați*, Fascicle XII, Welding Equipment and Technology; *Sudura*).

În prezent, se află în curs de certificare procedurile de sudare cap la cap a țevilor din oțeluri nealiate (P265TGH) și aliate (13CrMo4-5 și 10CrMo9-10) cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate (termorezistente) cu ISCIR Galați, proceduri care vor permite în continuare SC Nuclearmontaj SA Galați de a rămâne pe piață în domeniul realizării, montării și reparării echipamentelor energetice.

7.3. Direcții viitoare de cercetare

Cercetările teoretice și experimentale în domeniul sudării conductelor din oțeluri nealiate și aliate cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate rămân în continuare deschise, autoarea îngăduindu-și să sugereze eventualele posibile viitoare direcții de cercetare și anume:

1. Continuarea cercetărilor experimentale pe alte mărci și tipodimensiuni de țevi din oțeluri nealiate (20MnNb6) și aliate (8MoB5-4, 14MoV6-3, 25CrMo4, 20CrMoV13-5-5, 15NiCuMoNb5-6-4) cu caracteristici specificate la temperaturi ridicate.

2. Aplicarea în cadrul cercetărilor experimentale și a altor procedee de sudare prin topire precum: 131- sudare cu arc electric cu electrod fuzibil în mediu de gaz inert, sudare MIG; 135-

sudare cu arc electric cu electrod fuzibil în mediu de gaz activ, sudare MAG; 136- sudare MAG cu sârmă tubulară; 137- sudare MIG cu sârmă tubulară și 15- sudare cu plasmă.

3. Analiza folosirii sudării mecanizate WIG orbitale cu echipamente performante la nivel internațional, a îmbinărilor sudate cap la cap și de colț, în cazul grosimilor mici de perete de țevă.

4. Extinderea cercetărilor experimentale privind transferul masic prin coloana arcului electric de sudare.

5. Utilizarea unor grosimi mai mari de țevi, pentru a permite extinderea gamei de încercări mecanice de laborator (fluaș, tracțiuni la temperaturi pozitive, coroziune, etc).

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

3. Aichele, G., Undi, T., *Hot Wire TIG Welding - Also Used in Narrow Gap Welding and Orbital Welding, Respectively*, Part I, Sudura, Nr.4, 2007, ISSN 1453-0384, pag. 36 - 39.
4. Aichele, G., Undi, T., *Hot Wire TIG Welding - Also Used in Narrow Gap Welding and Orbital Welding, Respectively*, Part II, Sudura, Nr. 5, 2007, ISSN 1453-0384, pag. 30-35.
29. Gross, V., Heuser, N., Jochum, C., *Schweisstechnische Herausforderung bei der Verarbeitung von CrMo(V) - Stählen für Hydrocracker*, Publication of Bohler Thyssen Schweisstechnik, Germany, 2007.
30. Gross, V., *Improved Toughness in 2,25 %Cr - 1 %Mo (V) Weld Metals for Joining Heavy Walled Reactors*, Publication of Bohler Thyssen Schweisstechnik, Germany, 2006.
31. Handel, V., Geert van Den, *Chroom - molybdeen staalsoorten*, Lastechniek, Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL), Nr. 5, May 2008, pag. 10 - 14.
34. Hilkes, J., Gross, V., *Welding Cr/Mo Steels for Power Generation and Petrochemicals Applications-Past, Present & Future*, IIV Conference, Singapore, 2009.
35. Hilkes, J., Gross, V., *Soldadurade los aceros CrMo para aplicaciones en la Generacion de Energia y Petroquímica" - Pasado, Presente cfe Futuro* - CESOL Conference Proceeding, 1^{er} Congreso Internacional de Soldadura y Tecnologias de Union (17³⁵ Journadas Technicas), Madrid, Spain, 2008, pag. 119 - 124.
36. Hilkes, J., Gross, V., *Het lassen van CrMo stalen voor de Energieopwekking en de Petrochemische Industrie - Verleden, Heden en Toekomst*, Dutsch & Belgium Welding Institute, NIL/BIL Lassymposium, Eindhoven, The Netherlands, 2008.
47. Killing, R., Lorenz, H., R., *The Polarity Influence on the Penetration at TIG Welding*, Sudura, Nr. 2, 2006, ISSN 1453 - 0384, pag. 38 - 41.
58. Micloși, V., *Tratamente termice conexe sudării prin topire a oțelurilor*, Vol. II, Editura Sudura, Timișoara, 2004.
60. Mihăilescu, D., **Zburlea, M.**, Marin, V. D., Mihăilescu, A., *WIG Manual Welding of Termoresistant Steel Pipes 13CrMo4-5TC2 Mark*, The Annals of Dunărea de Jos University of Galati, Fascicle XII, Welding Equipment and Technology, Year XX, 2009, ISSN 1221 - 4639, pag. 71 - 74.
80. Mundra, K., ș.a., *Weld Metal Microstructures Calculations from Fundamentals of Transport Phenomenon in Arc Welding of Low-alloy Steels*, Welding Journal, London, England, 1997.
86. Pascu, D. R., *Oțeluri slab aliate rezistente la fluaș*, Curs IWE/EWE, Timișoara, România, 2010.
87. Pascu, D. R., ș.a., *Tratamente termice la materiale metalice*, Seminar Național ISIM, Timișoara, România, 2009.
88. Pascu, R. R., Bobic, A., Bălțean, Ghe., *Assessment of the Microstructural Degradation Level of the 420 T Steam/Hour Boiler Drum Made Out of 15NiMoCr8-5-1 Weldable Alloyed Heat-Resistant Steel*, Conferința Internațională ASR Managementul calității în domeniul sudării, în contextul aderării României la Uniunea Europeană, Brașov, 20 - 22 septembrie 2006, ISBN 973 - 8359 - 25 - 2, pag. 171 - 177.
92. Sammons, M., *How to Cup Walk - An Interesting Pipe Welding Technique Provides Arc Stability and More Operator Confort Than Traditional GTA Methods*, Welding Journal, June 2005, pag. 42 - 43.

105. **Zburlea, I. M.**, Mihăilescu, D., Roșu, R. A., *Chemical Homogeneity Assessment of Pipes Welded Joints Zones Made From Heat Resistant Steels*, International Conference "ASTR DAYS - 2011", The VIth Edition, Timișoara, 22 - 23 september 2011, ISSN 2066 - 6586, pag. 259 - 262.
106. **Zburlea, I. M.**, Mihăilescu, D., Frîncu, O., *WIG Manual Welding for Pipes of Heat Resistant Steel Type 15Mo3 Mark*, The 7th International Scientific Conference on Naval, Mechanical, Industrial and Power Engineering, Tehnonav 2010, Ovidius University of Constanta, 20 - 22 May 2010, Book of Abstract, Ovidius University Press, Constanța, 2010, ISBN 978 - 973 - 614 - 541 - 4, pag. 13 - 14.
107. **Zburlea, I. M.**, Mihăilescu, D., Frîncu, O., *WIG Manual and Mechanized Welding of Heat Resistant Steel Pipes Type 10CrMo9-10 Mark*, The 7th International Scientific Conference on Naval, Mechanical, Industrial and Power Engineering, Tehnonav 2010, Ovidius University of Constanta, 20 - 22 May 2010, Book of Abstract, Ovidius University Press, Constanța, 2010, ISBN 978 - 973 - 614 - 541 - 4, pag. 14.
108. **Zburlea, I. M.**, Mihăilescu, D., Frîncu, O., *WIG Manual Welding for Pipes of Heat Resistant Steel Type 15Mo3 Mark*, Annual Scientific Journal of Ovidius University, Mechanical Engineering Series, Volume XII, Tom I, Ovidius University Press, Constanța, 2010, ISSN 1224 - 1776, pag. 255 - 258.
109. **Zburlea, I. M.**, Mihăilescu, D., Frîncu, O., *WIG Manual and Mechanized Welding of Heat Resistant Steel Pipes Type 10CrMo9-10 Mark*, Annual Scientific Journal of Ovidius University, Mechanical Engineering Series, Volume XII, Tom I, Ovidius University Press, Constanța, 2010, ISSN 1224 - 1776, pag. 259 - 264.
110. **Zburlea, M.**, Mihăilescu, D., Mihăilescu, A., Marin, V.D., *WIG Manual and Mechanized Welding of Thermoresistant Steel Pipes 13CrMo4-5TC2 Mark*, Culegeri de lucrări științifice - Conferința Internațională Creativitate și Management, Ediția XIII-a, Iași - Chișinău, 21 mai - 23 mai 2009, Editura UTM, Chișinău, ISBN 978 - 9975 - 45 - 115 - 4, pag. 187 - 190.
111. **Zburlea, M.**, Mihăilescu, D., Mihăilescu, A., Marin, V. D., *WIG Manual Welding of Thermoresistant Steel Pipes 10CrMo9 - 10 Mark*, Culegeri de lucrări științifice - Conferința Internațională Creativitate și Management, Ediția XIII-a, Iași - Chișinău, 21 mai - 23 mai 2009, Editura UTM, Chișinău, ISBN 978 - 9975 - 45 - 115 - 4, pag. 191 - 194.
112. **Zburlea, M.**, Mihăilescu, D., Mihăilescu, A., Belcin, V., Stanciu, L., *The Machine Welding of Thermo-resistant Steel Pipes - Present and Future*, Buletinul Institutului Politehnic Iași, Publicat de Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Tomul LIV (LVIII), Fascicula 1 - 3, Secția Construcții de Mașini, 12th Internațional Conference TMCR-2008, May 29th - 31st, Iași, România, ISSN 1011-2855, pag. 107 - 110.
113. **Zburlea, I. M.**, Mihăilescu, D., Mihăilescu, A., Stanciu, L., *Orbital Mechanized Welding of the Pipes*, Lucrările Conferinței Științifice Internaționale TMCR 2007 Tehnologii Moderne. Calitate. Restructurare, Chișinău, Republica Moldova, 31 mai - 03 iunie 2007, Vol. 4, ISBN 978 - 9975 - 45 - 034 - 8, ISBN 978 - 9975 - 45 - 037 - 9, pag. 81 - 84.
114. **Zburlea, I. M.**, *Proiect de cercetare doctorat - Calitatea îmbinărilor sudate la conductele realizate din oțeluri termorezistente*, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 2007.
115. **Zburlea, I. M.**, *Studiul actual al sudării conductelor*, Referat I doctorat, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 2008.
116. **Zburlea, I. M.**, *Echipamente destinate sudării mecanizate a conductelor*, Referat II doctorat, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 2008.
117. **Zburlea, I. M.**, *Rezultate experimentale privind sudarea conductelor din oțeluri termorezistente*, Referat III doctorat, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 2011.
120. Wiedman, G., s.a, *Structural materials*, Editura Butterworths, London, England, 2008.
174. *** *Catalog consumabile sudare SAF - FRO*, S.C. Ductil S.A. Buzău.
181. *** *Manufacturer and Supplier of Heat Treatment Equipment*, Artech Services, Willenhall, England, 2010.
183. *** *Prospects D-Stress*, Electrothermal, London, England, 2009.
195. *** <http://www.ductil.com>.
196. *** <http://www.airliquidewelding.com>.



**Curriculum vitae
Europass**

Informații personale

Nume / Prenume ZBURLEA IULIANA MAGDALENA

Adresă Str. Mioriței nr. 1, Bloc B11, sc. 1, ap. 14, cod poștal 800411, Galați, România

Telefoane 0236/410 923 Mobil: 0722/450596

Fax 0236/477940

E-mail i_zburlea@yahoo.com

Naționalitate Română

Data nașterii 01 iulie 1976

Sex F

Stare civilă Căsătorită

**Locul de muncă vizat /
Domeniul ocupațional** Doctorat Inginerie Industrială

Experiența profesională

Perioada Ianuarie 2003 - prezent

Funcția sau postul ocupat Responsabil Compartiment Tehnic Sudură

Activități și responsabilități principale Coordonare activitate Compartiment Tehnic Sudură (Autorizare firmă / personal; Omologare procedee sudare; Emitere/documentare proceduri sudare; Coordonare lucrare/proiect execuție proces sudare; Control îmbinări sudate).

Numele și adresa angajatorului SC Nuclearmontaj Galați SA, Str. Fagului nr. 9, Bloc 9B, sc. 2, ap. 20, cod poștal 800501, Galați, România

Tipul activității sau sectorul de activitate Construcții - montaj, reparații și modernizări agregate energenice de bază și auxiliare aferente centralelor electrice și termice; Construcții metalice și părți componente ale structurilor metalice.

Perioada Ianuarie 2004 - prezent

CALITATEA ÎMBINĂRILOR SUDATE LA CONDUCTELE REALIZATE DIN OȚELURI TERMOREZISTENTE

Funcția sau postul ocupat	Responsabil Compartiment Sisteme Management Integrat
Activități și responsabilități principale	Manager proiect - certificare / recertificare / audit intern / audit secundă parte / audit terță parte
Numele și adresa angajatorului	SC Nuclearmontaj Galati SA, Str. Fagulii nr. 9, Bloc 9B, sc. 2, ap. 20, cod poștal 800501, Galați, România
Tipul activității sau sectorul de activitate	Construcții - montaj, reparații și modernizări agregate energenice de bază și auxiliare aferente centralelor electrice și termice; Construcții metalice și părți componente ale structurilor metalice
Perioada	Septembrie 2006 - prezent
Funcția sau postul ocupat	Auditor sistem management / expert
Activități și responsabilități principale	Auditare sisteme management; Expertizare produs
Numele și adresa angajatorului	S.C. SIMTEX-OC Bucuresti, Strada Ramuri Tei, nr. 10A, Sector 2, București, România
Tipul activității sau sectorul de activitate	Certificare sisteme management; Certificare produse
Perioada	Iunie 2007 - prezent
Funcția sau postul ocupat	Responsabil Compartiment Sisteme Management
Activități și responsabilități principale	Manager proiect - certificare / recertificare / audit intern / audit secundă parte / audit terță parte
Numele și adresa angajatorului	S.C. Drumuri si Poduri S.A. Galati, Str. Al. I. Cuza nr. 55, cod poștal 800216, Galați, România
Tipul activității sau sectorul de activitate	Construcții și întreținere drumuri și poduri; Lucrări construcții inclusiv lucrări de artă; Construcții hidrotehnice.
Perioada	Iunie 2007 - Mai 2010
Funcția sau postul ocupat	Responsabil Compartiment Management Calitate
Activități și responsabilități principale	Manager proiect certificare / recertificare / audit intern / audit secundă parte / audit terță parte
Numele și adresa angajatorului	SC Altceva SRL Galati, Str. Regimentului11 Siret, nr. 35, Galați, România
Tipul activității sau sectorul de activitate	Comercializare echipamente tehnologice; Asamblare motogeneratoare; Utilaje pentru construcții și agricultură; Reparații mașini și utilaje electromecanice.
Perioada	August 2009 - prezent
Funcția sau postul ocupat	Responsabil Compartiment Management Calitate
Activități și responsabilități principale	Manager proiect - certificare / recertificare / audit intern / audit secundă parte / audit terță parte

CALITATEA ÎMBINĂRILOR SUDATE LA CONDUCTELE REALIZATE DIN OȚELURI TERMOREZISTENTE

Numele și adresa angajatorului	SC Loconfort SRL, Str. Maior Iancu Fotea nr. 4, Galați, România
Tipul activității sau sectorul de activitate	Dezvoltare imobiliară; Inchirieri și subinchirieri de bunuri imobiliare proprii sau închiriate; Agenții imobiliare.
Perioada	Februarie 2011 - prezent
Functia sau postul ocupat	Responsabil Compartiment Sisteme Management Integrat
Activități și responsabilități principale	Manager proiect - certificare / audit intern / audit secundă parte / audit terță parte
Numele și adresa angajatorului	SC Smart Industrial Solutions Center SRL Galați, România
Tipul activității sau sectorul de activitate	Comercializare echipamente tehnologice; Asamblare motogeneratoare; Utilaje pentru construcții și agricultură; Reparații mașini și utilaje electromecanice.
Perioada	Februarie 2011 - August 2011
Functia sau postul ocupat	Colaborator documentare proiect
Activități și responsabilități principale	Proiectarea și documentarea de normative pentru personalul care efectuează lucrări de sudură.
Numele și adresa angajatorului	Institutul de Cercetări pentru Echipamente și Tehnologii în Construcții - ICECON S.A. Brăila, România
Tipul activității sau sectorul de activitate	Elaborare agremente tehnice pentru produse de construcții; Atestarea conformității produselor și echipamentelor pentru construcții; Inspecție tehnică de terță parte pentru produse, echipamente și procedee tehnologice în construcții și instalații; Certificarea Sistemelor de Management; Proiectare.
Educație și formare	
Perioada	2005 - prezent
Calificarea / diploma obținută	Doctorand Inginerie Industrială
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite	Titlul tezei "Calitatea îmbinărilor sudate la conductele din oțeluri termorezistente"
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Universitatea Dunărea de Jos din Galați, str. Domnească nr. 47, Cod 800008, Galați, România
Perioada	1996 - 2001
Calificarea / diploma obținută	Diplomă inginer mecanic - Specializarea Utilajul și Tehnologia Sudării
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite	Discipline fundamentale în Inginerie Industrială și discipline specifice specializării Utilajul și Tehnologia Sudării

CALITATEA ÎMBINĂRILOR SUDATE LA CONDUCTELE REALIZATE DIN OȚELURI TERMOREZISTENTE

Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Universitatea Dunărea de Jos din Galați, Str. Domnească nr. 47, Cod 800008, Galați, România
Perioada	2004 - 2006
Calificarea / diploma obținută	Certificat
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite	Managementul și gestiunea calității
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Universitatea Dunărea de Jos din Galați, str. Domnească nr. 47, Cod 800008, Galați, România
Perioada	Iulie 2003
Calificarea / diploma obținută	Certificat auditor intern management calitate
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite	SR EN ISO 9001;
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	SC SIMTEX-OC București, România
Perioada	Septembrie 2005
Calificarea / diploma obținută	Certificat auditor terță parte management calitate
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite	SR EN ISO 9001
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	SC SIMTEX-OC București, România
Perioada	Ianuarie 2007
Calificarea / diploma obținută	Atestat formarea formatorilor în consiliere și orientare profesională
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite	Legislație muncă
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Universitatea Dunărea de Jos din Galați, str. Domnească nr. 47, Cod 800008, Galați, România
Perioada	Mai 2007
Calificarea / diploma obținută	Certificat auditor intern management mediu

Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite	SR EN ISO 14001
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Ministerul Muncii, Solidarității Sociale și Familiei
Perioada	Octombrie 2010
Calificarea / diploma obținută	Inspector specialitate Protecția Muncii
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite	Legislație sănătate și securitate în muncă
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Ministerul Muncii, Solidarității Sociale și Familiei
Perioada	Noiembrie 2010
Calificarea / diploma obținută	Auditor intern sănătate și securitate ocupațională
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite	SR EN ISO 18001
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	SC CERT-IND SRL Bucuresti, str. George Enescu nr. 27 - 29, Bucuresti, România
Perioada	Noiembrie 2010
Calificarea / diploma obținută	Responsabil Tehnic cu Sudura
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite	Legislație ISCIR pentru instalații sub presiune și instalații de ridicat
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Fundația Renașterea Română Iași, ISCIR - Galați
Perioada	Decembrie 2010
Calificarea / diploma obținută	Auditor intern responsabilitate socială
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite	SA 8000
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	SC CERT-IND SRL Bucuresti, str. George Enescu nr. 27 - 29, București, România
Competențe și cunoștințe de utilizare a calculatorului	MSWindows & MSOffice; COREL Draw & Photopaint; Adobe Photoshop; - Multimedia, Internet.

Informații suplimentare	Membru Asociația de Sudură din România (A.S.R.) din 03.03.2003; Secretar A.S.R. Filiala Galați (2009 - 2012).
Limba maternă	Română
Limba străină cunoscută	Engleză - mediu, Franceză - mediu
Permis de conducere	Categoria B, din 2007
Lucrărilor publicate	23 (10 în domeniul tezei de doctorat - 9 ca prim autor)

Septembrie 2011.

Drd. ing. Iuliana Magdalena ZBURLEA