

**UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" GALAȚI
FACULTATEA DE MECANICĂ
CATEDRA ROBOTICĂ SI SUDARE**

Ing. COSTICĂ VOICU

**CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA SUDĂRII
CONDUCTELOR MAGISTRALE**

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

**Conducător științific
Prof. dr. ing. EMIL CONSTANTIN**

GALAȚI, 2011

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

08/09/2011

C ă t r e

Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați vă face cunoscut că în data de 30.09.2011, ora 13.00, în Facultatea de Mecanică, sala D12., va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată : "CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA SUDĂRII CONDUCTELOR MAGISTRALE", elaborată de domnul/doamna ing. VOICU COSTICĂ, în vederea conferirii titlului științific de doctor în Domeniul de doctorat - Inginerie industrială.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

- 1. Presedinte:** Prof.univ.dr.ing. Cătălin FETECĂU
Decan – Facultatea de Mecanică
Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați
- 2. Conducător de doctorat:** Prof.univ.dr.ing. Emil CONSTANTIN
Universitatea OVIDIUS din Constanța
- 3. Referent oficial:** Prof.univ.dr.ing. Remus ZĂGAN
Universitatea OVIDIUS din Constanța
- 4. Referent oficial:** Prof.univ.dr.ing. Radu IOVĂNAS
Universitatea TRANSILVANIA din Brașov
- 5. Referent oficial:** Prof.univ.dr.ing. Dănuț MIHĂILESCU
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.



SECRETAR DOCTORAT,

Ing. Luiza AXINTE

CUPRINS

	Pag.	
	Tez-Rez	
INTRODUCERE	5	4
CAPITOLUL 1 - CONDUCTE MAGISTRALE DE GAZE NATURALE	9	
1.1. Avantajele și dezavantajele realizării prin sudare a conductelor magistrale	10	
1.2. Clasificarea țevelor sudate	10	
1.3. Domenii de utilizare	11	
1.4. Posibilități de realizare prin sudare a conductelor magistrale	11	
1.5. Concluzii	14	
CAPITOLUL 2 - CALCULUL CONDUCTELOR MAGISTRALE	15	7
2.1. Calculul conductelor sudate	15	7
2.1.1. Conducta schematizată ca pânză cilindrică	15	7
2.2. Conducta cilindrică simplu rezemată	17	
2.2.1. Conductă încărcată cu greutatea proprie	17	
2.2.2. Conductă încărcată cu presiune uniformă interioară	20	
2.2.3. Conductă cu încărcare hidrostatică exterioară	20	
2.3. Conducta cilindrică dublu încastrată	22	
2.3.1. Conductă încărcată prin greutatea proprie	23	
2.3.2. Conductă încărcată cu presiune uniformă interioară	25	
2.3.3. Conductă încărcată cu presiunea hidrostatică exterioară	25	
2.4. Concluzii	27	7
CAPITOLUL 3 - MATERIALE DE BAZĂ ALE CONDUCTELOR MAGISTRALE	28	8
3.1. Forme de livrare și principalele domenii de utilizare ale oțelurilor utilizate la realizarea conductelor	28	8
3.2. Comportarea la sudare	30	
3.2.1. Comportarea metalurgică la sudare a oțelurilor Grad A, Grad B, X52, X60, X65 și X70	31	
3.2.2. Caracterizarea materialelor de bază	31	
3.3. Concluzii	34	9
CAPITOLUL 4 - TEHNOLOGIA ACTUALĂ DE SUDARE LONGITUDINALĂ A CONDUCTELOR MAGISTRALE	35	
4.1. Sudarea sub strat de flux (SF)	35	
4.1.1. Principiul procedurii, avantaje, dezavantaje, performanțe și domenii de utilizare	35	
4.2. Variante de sudare sub strat de flux	36	
4.3. Materiale de adaos la sudarea sub strat de flux	37	
4.3.1. Sârme pentru sudare	37	
4.3.2. Fluxuri de sudare	38	
4.3.3. Alegerea cuplului sârmă - flux	39	
4.4. Tehnica operatorie la sudarea sub strat de flux	40	
4.4.1. Influența parametrilor regimului de sudare asupra formei cusăturii	40	
4.4.2 Influența factorilor tehnologici asupra formei cusăturii	42	
4.4.3. Susținerea băii de metal topit	43	
4.5. Stabilirea parametrilor tehnologici la sudarea sub strat de flux	44	
4.5.1. Natura și polaritatea curentului de sudare	44	
4.5.2. Diametrul sârmei electrod	44	
4.5.3. Intensitatea curentului de sudare	44	
4.5.4. Tensiunea arcului	45	
4.5.5. Viteza de sudare	46	
4.5.6. Viteza de avans a sârmei electrod	47	
4.6. Realizarea prin sudare a țevelor la Tubular Products Galați	48	
4.6.1. Fluxul tehnologic de fabricare a conductelor realizate prin sudarea liniară	48	
4.6.2. Scurtarea și prelucrarea în condiții de șantier a marginilor pentru sudare	52	
4.7. Concluzii	53	
CAPITOLUL 5 - SUDAREA CU MAI MULTE ARCE, MULTIARC	55	10

5.1. Procedee de sudare multiarc dezvoltate de firma ESAB	61
5.2. Procedee moderne de mare productivitate utilizate la sudarea sub strat de flux	62
5.3. Evoluția procedeelelor de sudare și a materialelor de adaos	66
5.4. Concluzii	66 10
CAPITOLUL 6 – CONTRIBUȚII LA MODELAREA MATEMATICĂ A CÂMPULUI TERMIC LA SUDAREA SUB STRAT DE FLUX MULTIARC	68 11
6.1. Schema propusă pentru instalația de sudare cu 2 arce și 3 sârme	68 11
6.2. Planul experimental	70 12
6.3. Câmpul termic la sudarea sub strat de flux cu două arce și 3 sârme	70 13
6.4. Validarea experimentală a câmpului termic prin termografierea îmbinării sudate	75 13
6.5. Concluzii	77 14
CAPITOLUL 7 - SUDAREA SUB STRAT DE FLUX CAP LA CAP A OȚELULUI X70 CU UN SINGUR ARC ȘI O SINGURĂ SĂRMĂ ELECTROD	78 15
7.1. Introducere	78 15
7.2. Materiale de bază și de adaos	80
7.2.1. Materialul de bază	80
7.2.2. Materiale de adaos	80
7.3. Dimensiunile probelor și ale epruvetelor	81
7.4. Geometria rostului	83 15
7.5. Regimurile de sudare	83 15
7.6. Controlul probelor sudate	84
7.7. Proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate cu un singur arc	84
7.8. Concluzii	86 16
CAPITOLUL 8 – SUDAREA SUB STRAT DE FLUX CAP LA CAP CU DOUĂ ARCE ȘI TREI SĂRME A OȚELULUI X70	87 17
8.1. Materiale de bază și materiale de adaos	89 19
8.1.1. Materialul de bază	89 19
8.1.2. Materiale de adaos	89
8.2. Geometria rostului	90 20
8.3. Regimurile de sudare	90 20
8.4. Controlul probelor sudate	93 22
8.5. Proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate cu 2 arce	94 23
8.6. Reziliența îmbinărilor sudate cu două arce	94 23
8.7. Duritățile îmbinărilor sudate mono și multiarc	96 24
8.8. Macrostructurile îmbinărilor sudate cu unul și două arce	105 28
8.9. Microstructura îmbinărilor sudate cu unul și două arce	106 28
8.10. Concluzii	109 30
CAPITOLUL 9 – PROPRIETĂȚILE MECANICE COMPARATIVE ALE ÎMBINĂRILOR SUDATE MONO ȘI MULTIARC (2 ARCE ȘI 3 SĂRME)	111 31
9.1. Rezistența la rupere și limita de curgere	112 31
9.2. Reziliența	112 32
9.3. Durități Vickers HV 10	113 33
9.6. Concluzii	114 34
CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE	115 34
Concluzii generale	115 34
Contribuții originale	118 37
BIBLIOGRAFIE	120 38

INTRODUCERE

Tendința actuală pe plan mondial în domeniul construcțiilor metalice sudate este de a construi structuri de dimensiuni impresionante folosind în principal oțeluri cu caracteristici mecanice variate.

Creșterea în greutate a structurilor metalice, modernizarea și eficientizarea constantă a procedeelelor de sudare, a dus automat la o creștere a cerințelor de rezistență a materialelor, iar găsirea optimului între greutatea construcției și rezistența oțelului reprezintă unul dintre principalele obiective ale unei proiectări moderne și economice.

În acest context industria metalurgică a răspuns actualelor cerințe prin dezvoltarea unor noi mărci de oțeluri ce pot fi folosite în diferite sectoare industriale și care au un set de caracteristici comune :

- rezistență mecanică ridicată;
- sudabilitate ridicată;
- tenacitate crescută inclusiv la temperaturi scăzute;
- caracteristici bune de plasticitate;
- rezistență bună la coroziunea atmosferică și cea din mediile marine;
- eficiență economică ridicată în cea ce privește costurile de producție.

Aceste oțeluri poartă denumirea de HSLA – oțeluri microaliate de înaltă rezistență. Toate aceste caracteristici se regăsesc la oțelurile microaliate de înaltă rezistență , care sunt produse și dezvoltate sub diferite mărci de marii producători de oțel pe plan mondial (Domex 600MC; HSLA 500M; HSLA 700M; ALFORM 700M; ALFORM 960M; ALDUR 700Q; ALDUR 700QL; ALDUR 700QL1; HY80; HY100; DUROSTAT 500 etc.)[1, 3, 4, 15, 33, 40, 41].

Din această categorie face parte și oțelul X70 conform API-5L-91.



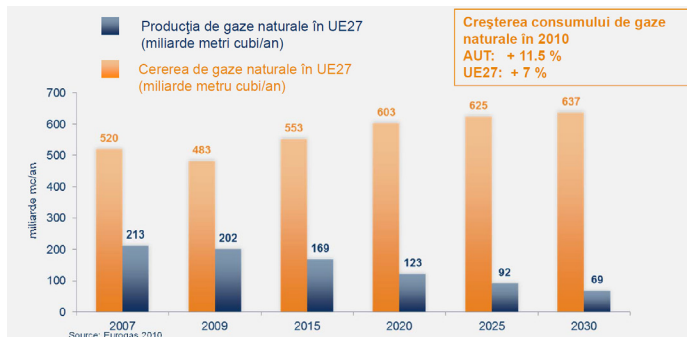
Magistrala „Ormen Lange” Norvegia, 1100 km –diametrul 1219mm, oțel L485M.

Vârful de lance în cercetarea și dezvoltarea oțelurilor microaliate de rezistență ridicată au fost mărcile folosite la construcția conductelor magistrale de transport petrol și gaze naturale , oțeluri elaborate și procesate cu scopul de a fi folosite în condiții extreme începând din zonele arctice și până în zonele deșertice , de la adâncimi de peste 2000 metri până la altitudini necesare traversării lanțurilor

muntoase , magistrale de transport ce se întind pe mii de kilometri și care trebuie să satisfacă pe lângă condițiile tehnice deosebite care să le asigure siguranța în folosire și condiții economice și de protejare a mediului ambiant.

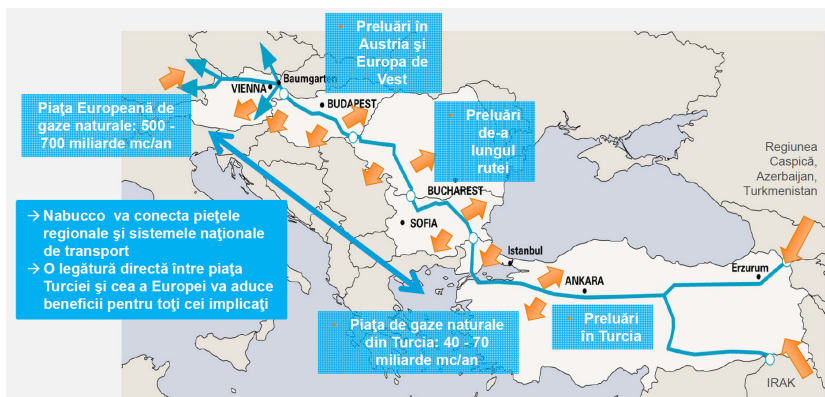
Piața gazelor naturale este în continuă creștere în Europa. Recesiunea economică a avut impact asupra cererii de gaze naturale în Europa.

Cu toate acestea, piața crește în continuare considerabil, în timp ce producția locală scade.



Producția și piața gazelor naturale, [104]

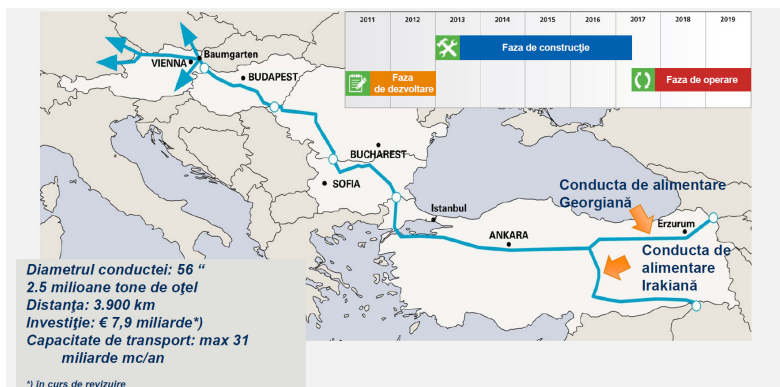
Proiectele transeuropene de alimentare cu gaz Nabucco [104] și SouthStream apelează la conducte care trebuie să îndeplinească condiții de rezistență, elasticitate și siguranță în exploatare, la temperaturi scăzute.



Poziționarea conductei magistrale Nabucco, [104]

Fabricarea conductelor magistrale din oțel prin sudare s-a extins mult în perioada ultimilor ani, ca urmare a avantajelor pe care le prezintă în raport cu fabricarea țevilor prin alte procedee.

La ora actuala execuția cordoanelor longitudinale ale conductelor se preferă a fi realizate sub strat de flux cu mai multe arce pentru mărirea productivității sudării și asigurarea proprietăților mecanice superioare.



Fazele de execuție și caracteristici tehnice, [104]

Lucrarea este structurată pe 9 capitole (125 pagini) și conține 66 relații matematice, 97 figuri și 37 tabele.

Referințele bibliografice, la care se fac trimeri în lucrare, cuprind un număr de 108 titluri, din care am elaborat un număr de 12.

Pe această caldă doresc să aduc cele mai sincere mulțumiri dlui **Prof. dr. ing. DHC Emil Constantin**, conducătorului științific, pentru îndrumarea de un înalt profesionalism, pentru ideile inovatoare, pentru sprijinul permanent și încrederea acordată pe parcursul redactării tezei.

De asemenea, țin să mulțumesc membrilor comisiei de doctorat, dlui Prof. dr. ing. Radu Iovănaș, dlui Prof. dr. ing. Remus Zăgan și dlui Prof. dr. ing. Dănuț Mihăilescu pentru importante observații formulate asupra fondului și formei lucrării.

Mulțumiri deosebite se cuvin a fi aduse SC Tubular Products Galați, Șantierului Naval Damen Galați, Șantierului Naval Constanța și Ductil SA Buzău pentru sprijinul acordat pe parcursul determinărilor experimentale din cadrul prezentei lucrări.

Nu în ultimul rând, adresez cele mai calde mulțumiri familiei mele și prietenilor pentru ajutorul moral acordat pe toată perioada stagiului de doctorat.

Galați, septembrie 2011

Autorul

CAPITOLUL 2 - CALCULUL CONDUCTELOR MAGISTRALE

Conductele se realizează în variantă sudată pentru diametre mari și foarte mari. Tronsoanele de conductă se obțin fie prin vâlțuire din tablă și îmbinare pe generatoare, fie din bandă îmbinată elicoidal.

Conductele sub aspectul calculului sunt tratate fie ca o grindă, fie ca o pânză cilindrică funcție de arhitectura acestora.

2.1. Calculul conductelor sudate

2.1.1. Conducta schematizată ca pânză cilindrică

Conducta în acest caz este considerată ca un sistem spațial format dintr-o pânză cilindrică rezemată la capete (pe reazeme) cu inele de rigidizare. Se consideră un element de conductă de lungime d_x și având unghiul la centrul conductei d_φ (fig.2.1)[10, 68, 70].

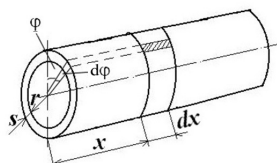


Fig.2.1. Elementul de conductă luat în calcul

În acest element apar forțele specifice (forțe care acționează pe unitatea din lungimea pânzei și pe întreaga grosime a ei) notate cu n_φ , n_x și $n_{\varphi x}$ (fig.2.4), datorită solicitărilor exterioare cu forțele specifice x , y și z . Forțele specifice x , y și z au semnificația unor presiuni, ele acționând pe unitatea de suprafață a mantalei.

Echilibrul elementului de pânză al conductei conduce la scrierea ecuațiilor de proiecție pe axele de coordonate. Axa x este considerată în lungul conductei, axa y este tangentă la circumferința conductei în centrul elementului de pânză, iar axa z este normală la elementul de pânză în centrul acestuia, trecând prin axa conductei.

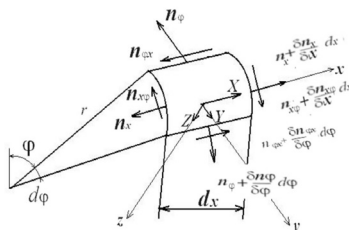


Fig. 2.2. Forțele specifice ce solicită conducta

2.4. Concluzii

În capitolul 2 se prezintă calculul conductelor magistrale, considerate ca pânză cilindrică dublu rezemată sau dublu încastrată, încărcate prin greutate proprie, presiune interioară și presiune hidrostatică exterioară. Presiunea hidrostatică exterioară se manifestă la conductele imersate și îngropate.

Se stabilesc forțele specifice pe direcție axială și tangențială și se calculează

maximul acestor forțe pe lungimea conductei.

Acest calcul a fost preluat din literatura de specialitate [5], în prezenta teză specificându-se poziția pe care trebuie să o aibă cordoanele de sudură longitudinal și transversale astfel încât acestea să aibă o solicitare minimă.

CAPITOLUL 3 - MATERIALE DE BAZĂ ALE CONDUCTELOR MAGISTRALE

3.1. Forme de livrare și principalele domenii de utilizare ale oțelurilor utilizate la realizarea conductelor

3.2.2.1. Compoziția chimică

Din fiecare tablă menționată anterior s-a prelevat șpan pentru determinarea compoziției chimice [106,107]. În tabelul 3.4. sunt redate pentru fiecare marcă de oțel, compozițiile chimice determinate experimental, comparativ cu cele prevăzute în API 5L – 91[86]. și carbonul echivalent calculat cu cele două formule prezentate anterior (relațiile 1.1 și 1.2).

Tabelul 3.4. Compozițiile chimice (determinate experimental și conform API 5L-91)

Marca de oțel	Norma	Compoziția chimică, %						
		C	Mn	P	S	Nb	V	Ti
Grad B	API 5L - 91	max. 0,26	max. 1,15	max. 0,04	max. 0,05	-	-	-
	Determ. exp.	0,25	1,12	0,032	0,014	-	-	-
X 52	API 5L - 91	max. 0,28	max. 1,25	max. 0,04	max. 0,05	-	-	-
	Determ. exp.	0,285	1,26	0,036	0,016	-	-	-
X 60	API 5L - 91	max. 0,26	max. 1,35	max. 0,04	max. 0,05	min. 0,005	min. 0,005	min. 0,005
	Determ. exp.	0,25	1,36	0,029	0,015	-	-	-
X 65	API 5L - 91	max. 0,26	max. 1,40	max. 0,04	max. 0,05	min. 0,005	min. 0,005	min. 0,005
	Determ. exp.	0,27	1,39	0,032	0,016	-	-	-
X 70	API 5L - 91	max. 0,22	max. 1,65	max. 0,025	max. 0,015	min. 0,005	min. 0,005	min. 0,06
	Determ. exp.	0,21	1,490	0,012	0,006	0,04	0,042	0,013

Determinările experimentale au fost realizate în cadrul Laboratoarelor Arcelor Mittal Galați. Comparând valorile determinate experimental, cu cele prescrise, se observă că acestea corespund cu standardul API 5L-91.

3.2.2.2. Caracteristici mecanice

Din fiecare tablă din calitățile menționate anterior au fost prelevate epruvete

pentru determinarea următoarelor caracteristici mecanice: limita de curgere, $R_{p0,2}$; rezistența la rupere, R_m ; alungirea, A_5 ; contractia transversală, Z ; energia de rupere, KV ; unghiul de încovoiere statică, α . Epruvetele au fost prelevate după două direcții: paralel cu direcția de laminare (longitudinal) și perpendicular pe direcția de laminare (transversal) [83, 88-92].

Rezultatele obținute în urma încercărilor mecanice de laborator pe epruvetele prelevate din cele cinci table sunt prezentate în tabelul 3.5.

Tabelul 3.5. Caracteristicile mecanice ale principalelor oțelurilor utilizate la fabricarea conductelor magistrale

Marca de oțel	Norma	Direcția de prelevare	$R_{p0,2}$, N/mm ²	R_m , N/mm ²	A_5 , %	Z , %
Grad B	API 5L-91	-	min. 241	min. 413	-	-
		Longitudinal	372	494	27	69
	Determ. exp.	Longitudinal	307	462	28	70
			Transversal	332	493	27
				330	500	28
X 52	API 5L - 91	-	min. 358	min. 455	-	-
		Longitudinal	393	548	20	44
	Determ. exp.	Longitudinal	396	548	20	45
			Transversal	395	547	25
				372	551	24
X 60	API 5L - 91	-	min. 413	min. 517	-	-
		Longitudinal	505	660	25	52
	Determ. exp.	Longitudinal	501	660	26	57
			Transversal	490	648	26
				488	645	24
X 65	API 5L - 91	-	min. 448	min. 530	-	-
		Longitudinal	491	592	23	48
	Determ. exp.	Longitudinal	499	590	25	49
			Transversal	502	580	25
					468	590
X 70	API 5L - 91	-	min. 483	min. 565	-	-
		Transversal	462	603	25	40

Epruvetele supuse încercării de încovoiere statică (îndoire) au suportat încercarea la 180° fără apariția de fisuri.

3.3. Concluzii

Tendința pe plan mondial este aceea de a folosi pentru realizarea conductelor magistrale oțeluri slab aliate de înaltă rezistență. În felul acesta se poate mări

diametrul conductelor și deci capacitatea de transport, întrucât forțele specifice ce solicită conducta trebuie comparată în raport cu caracteristicile de rezistență mai mari ale acestora. Diametrele mari ale conductelor magistrale creează tensiuni interne de exploatare mai mari care sunt preluate de conducta fabricată din materiale cu înaltă rezistență [20, 21,22, 23, 33,108].

Costurile de producție al conductelor magistrale din oțeluri slab aliate sunt mai reduse datorită elementelor de aliere care sunt mai puține și în proporție mai mică.

Grosimea peretelui conductelor este mai mică și tehnologia de sudare este mai ușoară reducându-se numărul trecerilor la realizarea cordonului.

Oțelul X 70, prin caracteristicile sale descrise în acest capitol, este adecvat realizării conductelor magistrale în stadiul actual al tehnologiilor de realizare a acestora. Un oțel mediu aliat ar fi necesitat consumuri mai mari ale elementelor de aliere și prețuri de producție mai mari[42,43].

Compoziția chimică a oțelului slab aliat X70 determinate experimental în prezenta teză conține 0,22% C, 1,65% Mn, 0,31% Si, 0,05% Al, 0,05% Cu, 0,03% Cr și 0,025% Vn, Mo, Ti și Nb. Sulful și fosforul sunt sever limitate, sulful având 0,004% și fosforul 0,01%.

Caracteristicile mecanice ale oțelului X70 determinate experimental în prezenta lucrare se referă la rezistența de rupere care are valoarea de 603N/mm^2 superioară față de cea recomandată de API-5L-91, care are valoarea de min. 595N/mm^2 . rezistența la curgere $R_{p0.2}$ a fost determinată la valoarea de 462 N/mm^2 cu toate că normele API impuneau o rezistență de curgere de min. 483N/mm^2 . Astfel, oțelul X70 fabricat în cadrul Arcelor Mittal Galați trebuie să fie corectat compozițional, din punct de vedere al tehnologiei de laminare și al tratamentelor termice postlaminare, pentru îndeplinirea condiției de rezistență cerută de API – 5L – 91.

Diferențele dintre limitele de curgere ale oțelului X70, respectiv 483 N/mm^2 , impus de API – 5L – 91 și 462N/mm^2 determinat experimental sunt relativ mici ele putând fi corectate în baza celor prezentate mai sus.

Alungirea și gătuirea impusă de normele API – 5L – 91, respectiv alungirea 26% și gătuirea 38% se respectă în valorile determinate experimental ele fiind de 25% pentru alungire și 40% pentru gătuire.

Reziliența oțelului X70 determinată experimental la 0°C , conform normelor API – 5L – 91 este de $KV = 240\text{J/cm}^2$, o reziliență bună în contextul tehnologiei de elaborare stabilită pentru prezentul oțel.

Din aceste motive, prezenta lucrare abordează problema sudării conductelor magistrale din oțelul X70, caracterizat din punct de vedere compozițional și al caracteristicilor de rezistență în acest capitol.

CAPITOLUL 5 - SUDAREA CU MAI MULTE ARCE, MULTIARC

5.4. Concluzii

În capitolul 5 sunt prezentate tehnologiile de sudare cu mai multe arce, multiarc indicându-se curbele de productivitate ale sudării sub strat de flux comparativ cu sudarea SE și MAG. Este evidentă creșterea importanță a productivității la sudarea sub strat de flux cu mai multe arce și mai multe sârme [9,28,29,50,78,81].

S-au prezentat constructiv procedeele de mare productivitate folosite la sudarea sub strat de flux, și anume sudare TWIN, Tandem, sudarea cu sârmă caldă, sudarea cu trei arce și sudarea cu șase arce [75,96,97,98,100].

CAPITOLUL 6 – CONTRIBUȚII LA MODELAREA MATEMATICĂ A CÂMPULUI TERMIC LA SUDAREA SUB STRAT DE FLUX MULTIARC

6.1. Schema propusă pentru instalația de sudare cu 2 arce și 3 sârme

În prezenta teză se propune, pentru sudarea sub strat de flux a cordonelor longitudinale ale tronsoanelor conductelor magistrale, o schemă originală, prezentată în figura 6.1. La stabilirea schemei s-a avut în vedere obținerea unei productivități ridicate prin cantitatea mare de metal depus prin cele două arce [76].

În sensul măririi ratei depunerii s-au utilizat trei sârme electrod care îmbogățesc cantitativ baia de metal topit, creând totodată și o pătrundere mare.

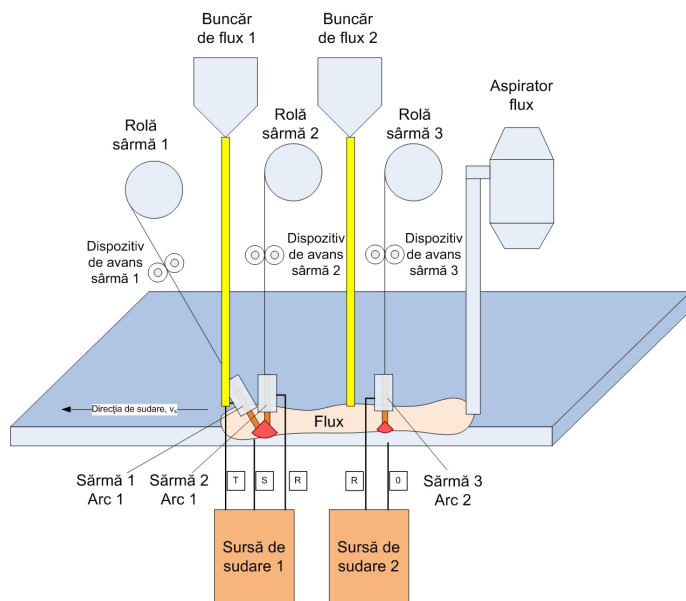


Fig. 6.1. Schema propusă pentru instalația de sudare cu 2 arce și 3 sârme

Prin folosirea curentului alternativ în alimentarea sârmelor electrod se realizează o economie importantă de energie și totodată se asigură o stabilitate mai bună a arcului.

Curentul alternativ este trifazat și ca atare arcul electric este mai stabil fără posibilitatea de întrerupere accidentală datorită condiționării reciproce a termoemisiei electronice între cele două sârme și materialul de bază. Cea de-a treia sârmă întâlnește metalul cordonului solidificat, creând un arc mai stabil întrucât materialul de bază este deja puternic încălzit. Se manifestă astfel o ordonare a acestei emisii dinspre sârmă spre materialul de bază și invers, corespunzător schimbării de sens a curentului alternativ.

Schema prezintă două surse de sudare în curent alternativ, sursa 1 trifazată este legată la primele două sârme și la materialul de bază creând o baie comună cu temperatură ridicată, cu energie liniară mare care asigură și o pătrundere suficientă. Sursa a doua de curent alternativ monofazat alimentează sârma a treia și materialul de bază formând al doilea arc cu rolul de depunere și completare a rostului.

Primele două sârme și sârma a treia sunt alimentate cu flux din buncăre separate. Cele trei sârme au mecanismele de avans a sârmei electrod separate putând suda cu sârme având diametre diferite și compoziție chimică diferită.

Fluxul rămas pe suprafața cordonului este aspirat de un sistem de reciclare a fluxului.

Avantajele prezentei scheme constau în:

- productivitate foarte mare;
- sudarea componentelor cu grosimi medii și mari;
- rată de depunere mare;
- energie mare transmisă de primele două sârme lucrând în baie comună care mărește temperatura băii de metal topit și care va asigura o pătrundere mai mare și o viteză de răcire mai redusă;
- o baie foarte caldă care se răcește cu viteze mici și asigură dunități ale îmbinării sudate mai reduse în cordon și ZIT;
- a treia sârmă, pe lângă rolul de completare cu material depus, reîncălzește cordonul având efect de postîncălzire;
- posibilitatea folosirii sârmelor electrod cu compoziții diferite cel puțin la a treia sârmă;
- folosirea curentului alternativ conduce la folosirea unor echipamente de sudare mai ieftine, robuste și ușor de întreținut;
- stabilitatea arcului este mai bună ordonând transmisia termoelectronică între sârmele electrod și materialul de bază;
- prin dilatării produse de încălzirile și răcirile succesive, zgura se desprinde mai ușor de pe cordon;
- reducerea tensiunilor și deformațiilor la valori acceptabile.

Dintre dezavantajele schemei putem aminti:

- se sudează lungimi mari și foarte mari;
- volumul mare al băii de metal topit creat de primul arc produce tendința de curgere a băii și ca atare trebuie utilizate cordoane de rădăcină sau suporturi de susținere (pernă de flux, suport ceramic sau suport de cupru).

6.2. Planul experimental

În cadrul planului experimental se vor realiza îmbinări sudate sub strat de flux - SF cu un arc și cu două arce utilizând table din oțel X70 cu grosimi de 17,5mm și 19,1 mm.

Probele se vor suda cu o sârmă cu un arc și cu două arce în variantele:

- două sârme în băi separate;
- trei sârme, primele formând o baie comună, a treia formând o baie separată.

Se vor utiliza diferite combinații de materiale de adaos, alegându-se combinația sârmă-flux adecvată.

Tabelul 6.1. Cuplul sârmă-flux

Metal de bază	P1, P7, P9 GL	P10 CT	P20, P21, P22	P23
Sârmă electrod de 4 mm	OE-S2Mo	OK AUTROD 12.24	OE-S2Mo	OE- S2Mo
Flux	OP119	OK FLUX 10.71	OP132	OP119

Se vor stabili regimurile de sudare pentru variantele sudării cu o sârmă și două sârme la materialele de baza cu grosimi ale componentelor de 19,1mm și 17,5mm.

Vor fi caracterizate experimental îmbinările sub aspectul rezistenței de rupere, rezistenței de curgere, alungirii, găturii, rezilienței și durtății Vickers HV10.

Se vor realiza și analiza comparativ macro și micro zona cordonului (materialului depus), zona influențată termo-mecanic - ZIT față de metalul de bază.

Se va utiliza controlul nedistructiv, preliminar, prin raze X-Rx- și controlul ultrasonic pentru probele sudate.

6.3. Câmpul termic la sudarea sub strat de flux cu două arce și 3 sârme

În acest subcapitol se analizează cu elemente finite epurile câmpurilor termice la sudarea sub strat de flux, cu două arce lucrând simultan.

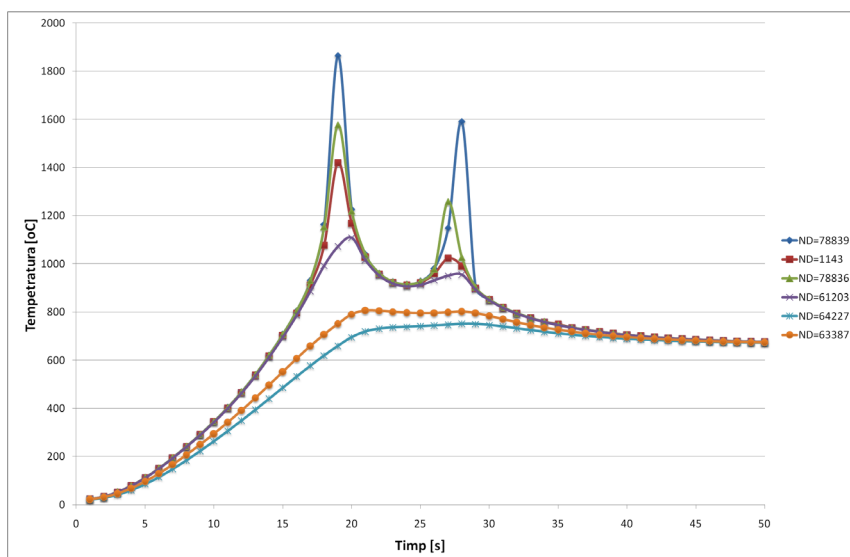


Fig. 6.6. Variația temperaturii, în câmp termic cvasistaționar, în diferite puncte dintr-un plan transversal îmbinării sudate

Ciclul termic la sudarea cu trei sârme și două arce scoate în evidență faptul că temperatura are 2 maxime, primul în dreptul primului arc iar cel de-al doilea în dreptul celui de-al doilea arc. Temperatura maximă în dreptul primului arc este mai mare decât temperatura maximă din dreptul celui de-al doilea arc, datorită cuplării a două surse termice produse de cele două sârme, topindu-se în baie comună[77].

6.4. Validarea experimentală a câmpului termic prin termografierea îmbinării sudate

Pentru validarea modelului teoretic al sudării sub strat de flux cu două arce și trei sârme s-a realizat măsurarea temperaturilor utilizând termografierea.

S-a utilizat termocamera Flir A20M, aceasta fiind poziționată pe echipamentul de sudare sub strat de flux, în spatele primului cap de sudare la o distanță de 300mm și la o distanță de 450mm deasupra capetelor de sudare.

Zgura a fost îndepărtată manual pe regiunea din fața camerei de termografiere. Zgura rămasă în spatele celui de-al doilea cap de sudare păstrează temperatura ridicată în cordon și din acest motiv camera de termografiere măsoară o temperatură mai mare decât cea reală.

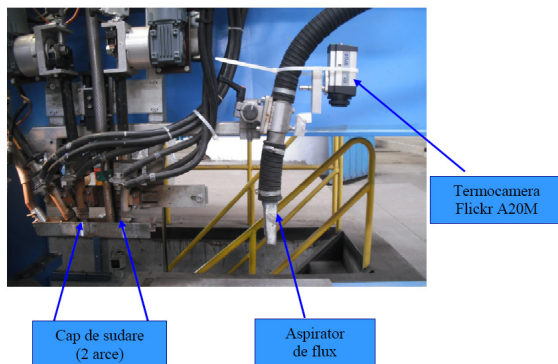


Fig.6.7. Instalația de sudare și poziționarea camerei

În figura 6.9 este prezentată comparația între valoarea temperaturii modelate și măsurate la momentul $t = 42$ s cu distanța dintre cameră și al doilea arc de $d = 300$ mm. Distanța dintre cele două arce este de 100 mm.

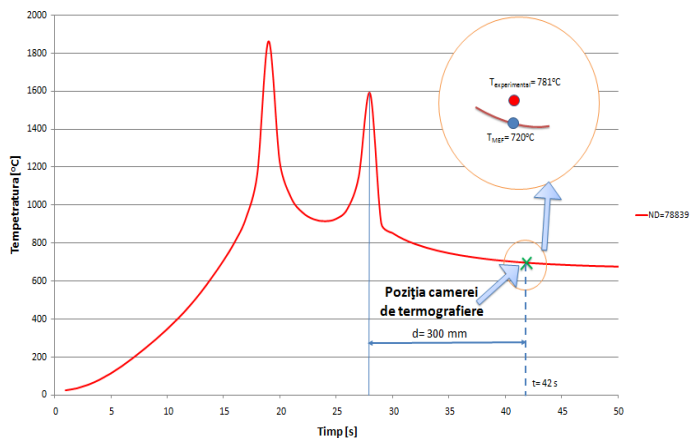


Fig. 6.9. Comparația între valoarea temperaturii modelate și măsurate la $t = 42$ s

6.5. Concluzii

În capitolul 6 se prezintă cu caracter original schema pentru sudarea sub strat de flux a cordoanelor longitudinale ale tronsoanelor conductelor magistrale. Această schemă a stat la baza determinărilor experimentale la sudarea cu două arce și trei sârme.

Originalitatea schemei constă în folosirea a 3 sârme electrod din care primele două în baie comună și a treia în baie separată. Primele două sârme au fost alimentate în curent alternativ trifazat, cu fazele legate la cele două sârme și la

materialul de bază utilizând o sursă de sudare. A treia sârmă electrod a fost alimentată de asemenea în curent alternativ, utilizând doar o singură fază a unei surse separate.

Se prezintă avantajele sudării cu două arce și trei sârme referitoare la productivitatea ridicată, stabilitatea arcelor, economicitate și o pătrundere mare.

Se prezintă modelarea procesului de sudare cu două arce și trei sârme. Modelul cu elemente finite a fost dezvoltat în programul de simulare Cosmos/M. Condițiile la limită impuse prin model au ținut cont de variațiile proprietăților termo-fizice ale materialului de bază cu temperatura.

Pentru validarea modelului cu elemente finite s-a utilizat tehnica termograferii. Temperatura a fost măsurată cu camera Flir A20M plasată deasupra cordonului de sudură, ea măsurând temperatura de pe suprafața liberă a cordonului după îndepărtarea manuală a zgurii.

Valoarea temperaturii modelate din procesul de sudare s-a comparat cu valoarea măsurată prin metoda termograferii iar eroarea între cele două valori fiind sub 8%.

CAPITOLUL 7 - SUDAREA SUB STRAT DE FLUX CAP LA CAP A OȚELULUI X70 CU UN SINGUR ARC ȘI O SINGURĂ SĂRMĂ ELECTROD

7.1. Introducere

Determinările experimentale au fost realizate în cadrul Șantierului Naval Constanța și Tubular Products de pe platforma Arcelor Mittal Galați.

7.4. Geometria rostului

În figura 7.10 sunt prezentate geometriile rosturilor folosite la sudarea sub strat de flux cu o sârmă, care au fost realizate mecanic pe mașina de șanfenrat de la Tubular Products Galați.

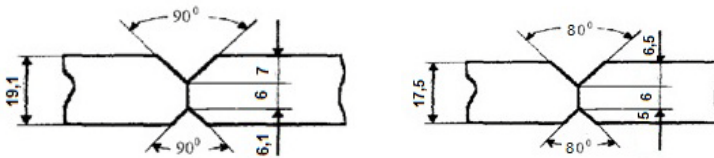


Fig. 7.10. Pregătirea marginilor componentelor pentru sudare.

7.5. Regimurile de sudare

Parametrii regimului de sudare pentru grosimea componentelor de $s = 19,1\text{mm}$, sunt prezentați în tabelul 7.3 , polaritatea curentului fiind DC+.

Probele P2GL și P6GL au fost realizate la Tubular Products Galați iar proba P10CT a fost realizată în Șantierul Naval Constanța.

Parametrii regimului de sudare pentru grosimea componentelor de $s = 17,5\text{mm}$, sunt prezentați în tabelul 7.4, polaritatea curentului fiind DC+. Proba P11GL a fost realizată la Tubular Products Galați.

Tabelul 7.3. Parametrii regimurilor de sudare în cazul probelor cu $s= 19,1\text{mm}$

Parametrii	P2 GL			P6 GL			P10 CT		
	RAD	INT	EX	RAD	INT	EX	RAD	INT	EX
d_e , în mm	1,2	4	4	1,2	4	4	1,2	4	4
I_s (CC) ⁺ , [A]	360	800	900	360	800	800	360	800	900
Ua [V]	30	37	38	30	37	37	30	37	38
v_s [m/min]	0,8	0,45	0,40	0,8	0,40	0,30	0,8	0,45	0,40

Tabelul 7.4. Parametrii regimurilor de sudare în cazul probelor cu $s= 17,5\text{mm}$

	P11 GL.		
	RAD	INT	EX
d_e , în mm	1,2	4	4
I_s (CC)+ [A]	320	755	830
U [V]	31,8	36,3	36,4
v_s [m/min]	0,5	0,45	0,45

7.7. Proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate cu un singur arc

În tabelul 7.5 sunt prezentate proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate cu un singur arc realizate la Șantierul Naval Constanța și Tubular Products Galați.

Tabelul 7.5. Proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate cu un singur arc

Material de bază		R_m	R_{p02}	A	Z	
		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	[%]	
X70	API-5L-91	min 565	min 483	26	38	
	Experimental	603	462	25	40	
Îmbinare sudată cu un arc $s=19,1\text{mm}$	Tubular Products Galați	547	450	40	48	
		rupt în cordon				
	S.N. Constanța	616	455	44	46	
Îmbinare sudată cu un arc $s=17,5\text{mm}$	S.N. Damen Galați	rupt în materialul de bază				
		621	485	34	44	

7.8. Concluzii

În capitolul 7 se prezintă tehnologia de sudare sub strat de flux a oțelului X70 cu un singur arc și o singură sârmă electrod [47.49,53]

Determinările experimentale au fost făcute în scopul comparării rezultatelor obținute cu tehnologia sudării cu două arce și trei sârme.

Determinările au fost realizate în cadrul Tubular Products Galați și Șantierul Naval Constanța.

S-a utilizat materialul de bază X70 cu dimensiunile componentelor de 19,1mm și 17,5mm, materialul de adaos fiind sârmă plină OK Autorod 12.24 (SR EN 756) cu

diametrul de 4mm și fluxul de sudare OK 1071 furnizat de către firma ESAB [96,97].

Au fost realizate 3 probe din care s-au prelevat epruvete pentru determinarea proprietăților mecanice de tenacitate, reziliență și duritate.

Stratul de rădăcină al îmbinării a fost realizat prin procedeul de sudare MAG, cu parametrii regimului de lucru: $I_s = 360A$, $U_a = 30V$ și $v_s = 80cm/min$. Sârma electrod utilizată a fost Filcord cu diametrul de 1,2mm.

Regimul de lucru folosit la sudarea cu un arc în condițiile de mai sus pentru stratul superior (simulând sudarea pe interiorul țevii) a fost: $I_s = 800A$, $U_a = 37V$ și

$v_s = 45cm/min$. Regimul de lucru pentru stratul inferior (simulând sudarea pe exteriorul țevii) a fost: $I_s = 900A$, $U_a = 38V$ și $v_s = 45cm/min$.

Controlul îmbinărilor sudate pentru probele cazului sudării cu un arc, respectiv o sârmă a fost realizat prin patru metode: control cu raze X, control cu lichide penetrante, control ultrasonic și cu pulberi magnetice. Toate probele au îndeplinit cerințele de calitate impuse [19,26].

S-au caracterizat proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate din cazul probelor prezentate anterior și se pot trage următoarele concluzii:

- rezistența de rupere a îmbinării este superioară rezistenței de rupere a materialului de bază. Acest lucru a făcut ca ruperea epruvetelor de tracțiune să se producă în materialul de bază, excepție fac probele P2GL, P6GL la care ruperea a avut loc în cordon, explicabil prin gradul înalt de neomogenitate structural;
- limitele de curgere au avut variații nesemnificative;
- alungirea și gătuirea cu valori mai mari în cordon decât în materialul de bază indică o plasticitate bună a îmbinării sudate;
- reziliența și duritatea cordonului sunt prezentate în capitolul 8 comparativ pentru sudarea monoarc și multiarc.

CAPITOLUL 8 – SUDAREA SUB STRAT DE FLUX CAP LA CAP CU DOUĂ ARCE ȘI TREI SÂRME A OȚELULUI X70

Determinările experimentale au fost realizate în cadrul Șantierului Damen Galați [8]. În figurile 8.1-8.8 sunt prezentate elementele componente ale instalației de sudare folosite în cadrul cercetărilor experimentale.



Fig. 8.1. Sistemul hidraulic de prindere a tablelor



Fig. 8.2. Pupitrul de comandă al instalației de sudare

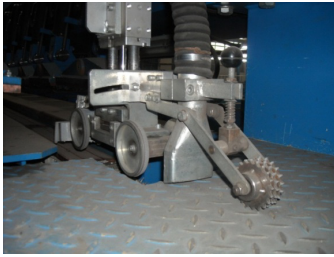


Fig. 8.3. Sistemul de ghidare al dispozitivului de alimentare cu flux



Fig. 8.4. Capete de sudare



Fig. 8.5. Vedere de ansamblu al căruciorului cu capete de sudare



Fig. 8.6. Sistemul de poziționare a tablelor



Fig. 8.7. Pupitrul de comandă a sistemului de poziționare al tablelor



Fig. 8.8. Sursa de sudare Lincoln Idealarc AC 1200



8.1. Materiale de bază și materiale de adaos

8.1.1. Materialul de bază

Materialul de bază utilizat pentru probele sudate cu două arce și trei sârme a fost același, respectiv table din oțel X70 cu grosimi de 17,5mm și 19,1mm.

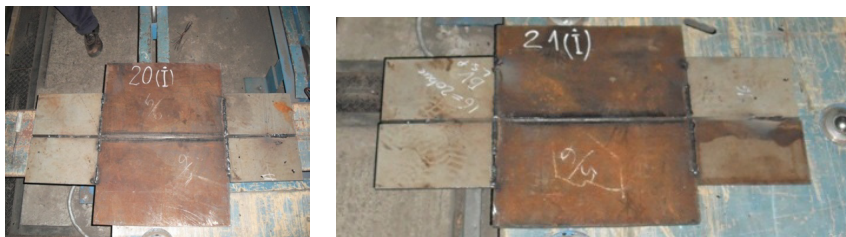


Fig. 8.9. Probele sudate cu două arce

8.1.2. Materiale de adaos

Materialul de adaos utilizat în cazul sudării cu două arce și trei sârme a fost sârma plină tip OE-S2Mo cu diametrul de 4mm produs de Oerlikon, având compoziția chimică prezentată în tabelul 8.1.

Tabelul 8.1. Compoziția chimică a sârmei electrod

Model	AWS	EN	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
OE-S2Mo	EA2	S2Mo	0.1	1	0.2	<0.020	<0.020	-	-	0.5

Pentru sudarea probelor cap la cap s-au utilizat fluxurile OP119, OP132 și OP192, produse de Oerlikon, având compoziția chimică prezentată în tablele 8.2 și 8.3 [99,100].

Tabelul 8.2. Compoziția chimică a fluxurilor de sudare OP 119 și OP 132

Model	CaF ₂ [%]	CaO + MgO [%]	SiO ₂ + TiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ + MnO [%]
OP 119	18	25	23	31
OP 132	10	20	40	25



Fig. 8.10. Cuplu sârma flux pentru sudarea cu două arce

Tabelul 8.3. Compoziția chimică a fluxului de sudare OP 192

Model	MnO+FeO [%]	CaO+CaF ₂ +MgO [%]	Al ₂ O ₃ +TiO ₂ +ZrO ₂ [%]	SiO ₂ [%]
OP 192	8	43	28	19

Dimensiunile probelor și epruvetelor în cazul sudării cu două arce au fost identice cu cele prezentate în subcapitolul 7.3.

8.2. Geometria rostului

În cazul sudării componentelor cu grosime de 17,5mm și 19,1mm geometria rosturilor este prezentată în subcapitolul 7.4. În figura 8.11 se prezintă probele din X70 și modul de prelucrare al marginilor.



Fig. 8.11. Probele din oțelul X70 utilizate la sudarea cu două arce

8.3. Regimurile de sudare

Regimurile de sudare în cazul îmbinărilor sudate cu două arce și trei sârme sunt prezentate în tabelele 8.4 – 8.6 pentru grosimea componentelor de 19,1mm.

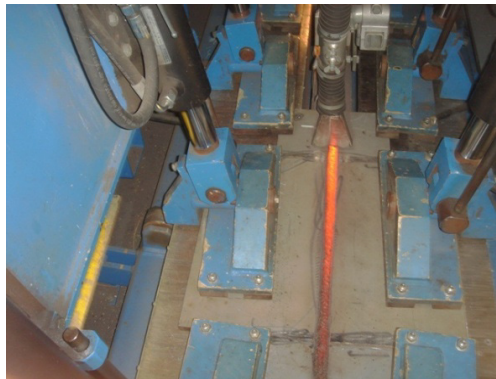


Fig. 8.12. Modul de sudare a probelor din X70 cu două arce

Tabelul 8.4. Regimul de sudare pentru probele P1A, P1B

	P1aI'		P1aE'		P1bE'		P1bE'	
	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2
U_a [V]	38	37	36	37	36	37	36	36
I [A]	850	670	900	600	800	640	850	550
v_s [cm/min]	80	80	80	80	60	60	60	60
n	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
E_{it} [kJ/cm]	38.54		36.86		47.23		45.36	

Tabelul 8.5. Regimul de sudare P7A

	P7aI'		P7aE'		P7bI'		P7bE'	
	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2
U_a [V]	39	37	38	39	38	39	36	36
I [A]	850	750	850	850	850	850	850	550
v_s [cm/min]	80	80	100	90	100	90	60	60
n	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
E_{it} [kJ/cm]	41.11		36.86		35.34		39.27	

Tabelul 8.6. Regimul de sudare P9A

	P9aI'		P9aE'		P9bI'		P9bE'	
	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2
U_a [V]	34	36	34	34	34	34	34	36
I [A]	700	560	750	600	750	600	850	680
v_s [cm/min]	45	45	60	60	60	60	70	70
n	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
E_{it} [kJ/cm]	52.75		55.51		41.31		41.18	



Fig. 8.13. Îmbinarea sudată și realizarea acesteia pentru proba P9A

Regimurile de sudare în cazul grosimii componentelor de 17,5mm sunt prezentate în tabelele 8.10 – 8.11 pentru probele P21, P22 și P23 realizate în Șantierul Damen Galați.

Tabelul 8.10. Regimul de sudare pentru proba P21 și P22

	P21 I		P21 E		P22 I		P22 E	
	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2
U_a [V]	31	32	33	35	34	35	33	35
I [A]	680	510	780	600	800	650	880	720
v_s [cm/min]	60	60	60	60	80	80	80	80
n	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
E_t [kJ/cm]	35.53		44.40		35.59		38.65	

Tabelul 8.11. Regimul de sudare pentru proba P23

	P23 I		P23 E	
	Arc 1	Arc 2	Arc 1	Arc 2
U	33	34	33	34
I	780	550	830	620
v_s	62	62	62	62
n	0.95	0.95	0.95	0.95
E_t	40.86		44.56	

8.4. Controlul probelor sudate

Toate probele executate au fost controlate după efectuarea sudării. În fig. 8.14 este exemplificată o radiografie pentru îmbinarea sudată din proba P9b realizată prin procedeul sub strat de flux cu două arce și trei sârme.



Fig.8.14. Controlul cu raze X pentru proba P9b

Toate celelalte probe realizate pentru dimensiuni diferite ale componentelor au fost acceptate în urma celor patru metode de control aplicate.

8.5. Proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate cu 2 arce

În tabelul 8.13 sunt proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate cu două arce.

Tabelul 8.13 proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate cu două arce

Material de bază X70		R_m [N/mm ²]	$R_{p0.2}$ [N/mm ²]	A [%]	Z [%]
	API-5L-91		min 565	min 483	26
Experimental		603	462	25	40
Îmbinare sudată cu două arce s=19,1mm	S.N. Damen Galați	618	513	42	48
	rupt în materialul de bază				
Îmbinare sudată cu două arce s=17,5mm	S.N. Damen Galați	641	549	48	41
	rupt în materialul de bază				

8.6. Reziliența îmbinărilor sudate cu două arce

S-au realizat câte trei epruvete la îmbinările sudate cu un arc și două arce iar valoarea rezultată obținută a reprezentat media acestora. Valorile reziliențelor pentru sudarea cu unul și două arce sunt prezentate în tabelul 8.14.

Tabelul 8.14. Valorile reziliențelor pentru sudarea cu unul și două arce

Grosimea componentelor		Reziliență KV[0°C]	
		17,5 [mm]	19,1 [mm]
Materialul de bază - X 70		245	245
1 arc	cordon	52	48
	ZIT	66	54
2 arce	cordon	78	65
	ZIT	80	71

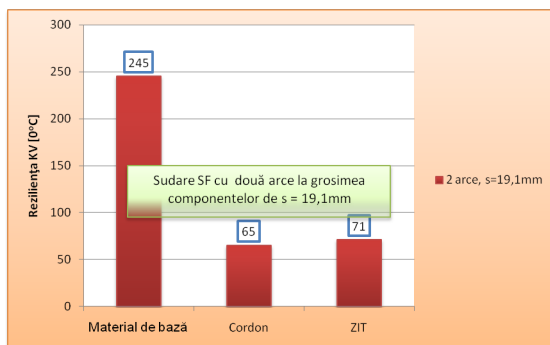


Fig. 8.16. Histograma reziliențelor la sudarea cu 2 arce și trei sârme în materialul de bază, cordon și ZIT, pentru grosimea componentelor de s = 19,1mm

În figurile 8.16-8.17 sunt prezentate histogramele reziliențelor la sudarea cu 2 arce și trei sârme în materialul de bază, cordon și ZIT, pentru grosimea componentelor de $s = 19,1\text{mm}$ și $17,5\text{mm}$.

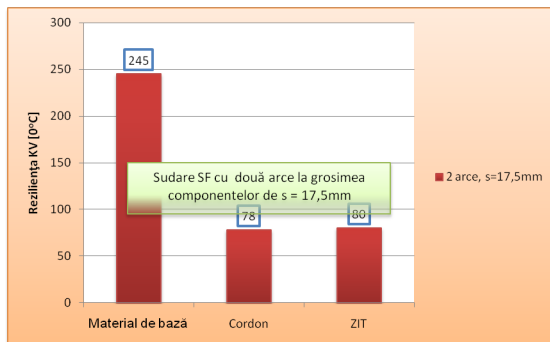


Fig. 8.17. Histograma reziliențelor la sudarea cu 2 arce și trei sârme în materialul de bază, cordon și ZIT, pentru grosimea componentelor de $s = 17,5\text{mm}$

8.7. Durițările îmbinărilor sudate mono și multiarc

În acest subcapitol sunt prezentate durițările HV 10 a probelor sudate cu unul și două arce la grosimi ale componentelor de $s = 17,5\text{mm}$ și $19,1\text{mm}$.

Duritatea medie în materialul de bază a fost de 209HV10.

Din graficele de variație a durițărilor se constată că în toate cazurile sudării sub strat de flux cu unul și două arce duritatea maximă a rezultat în cordonul de sudură.

Astfel la probele sudate cu un arc duritatea în cordon este de maxim 230 HV10, iar în ZIT 216 HV10, mai mari decât duritatea materialului de bază care are valoarea de 209 HV10.

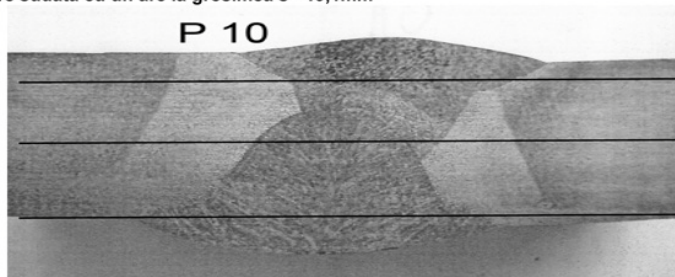
La probele sudate cu două arce, cu grosimea componentelor de $17,5\text{mm}$ duritatea maximă în cordon este de 245 HV10, iar în ZIT 233 HV10, mai mari decât duritatea materialului de bază care are valoarea de 209 HV10.

La probele sudate cu două arce, cu grosimea componentelor de $19,1\text{mm}$ duritatea maximă în cordon este de 292 HV10, iar în ZIT 251 HV10, mai mari decât duritatea materialului de bază care are valoarea de 209 HV10.

Durițările din cordon și ZIT sunt apropiate valoric, duritatea din cordon fiind puțin superioară durițării din ZIT, atrăgând atenția asupra unei plasticități mai bune a ZIT-ului decât a cordonului.

În cazul probei P2 și P6, care s-au rupt în cordon valorile durițării la sudarea cu un arc cu grosimea componentelor de $19,1\text{mm}$, realizată la Tubular Products sunt foarte dezordonate datorită neomogenității structurale, fapt care conduce la scăderea importantă a rezistenței de rupere.

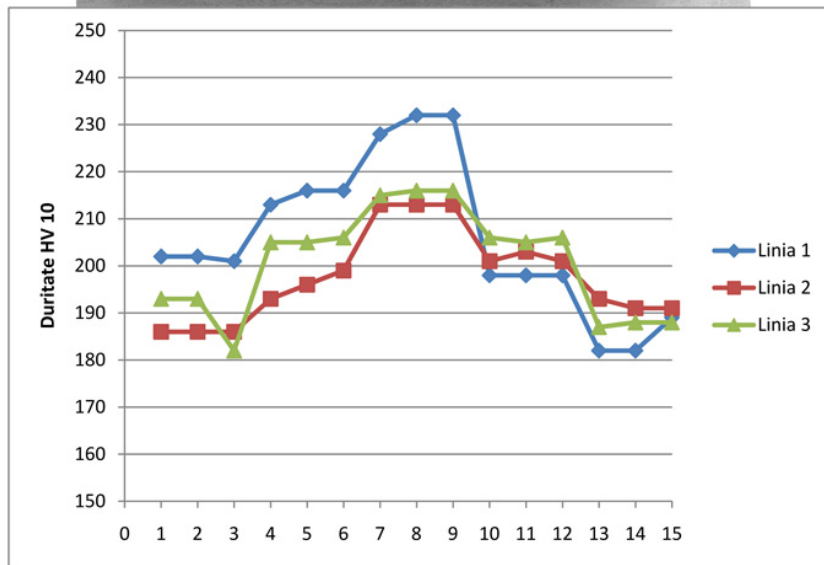
Îmbinare sudată cu un arc la grosimea s = 19,1mm



Linia 1

Linia 2

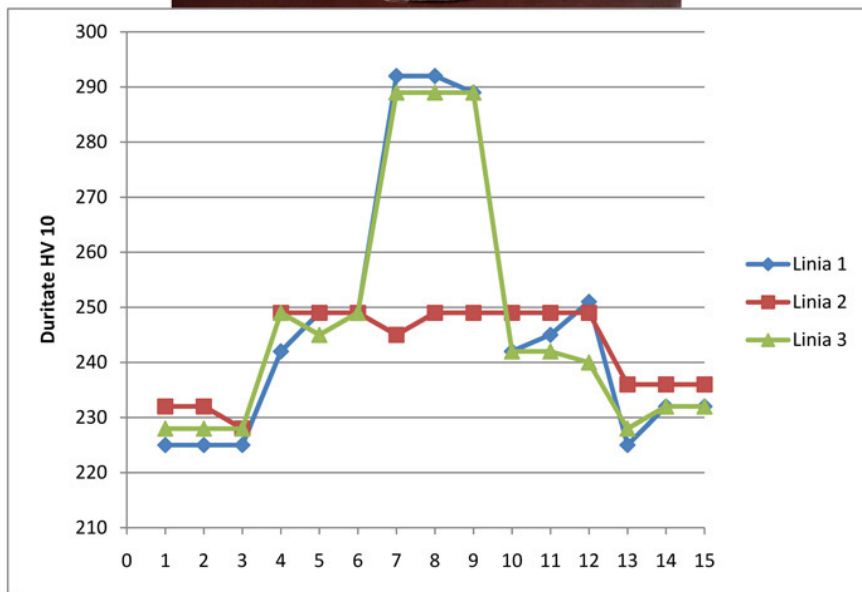
Linia 3



Tab. 8.17

		Linia 1	Linia 2	Linia 3
MB1	1	202	186	193
	2	202	186	193
	3	201	186	182
ZIT1	4	213	193	205
	5	216	196	205
	6	216	199	206
MD	7	228	213	215
	8	232	213	216
	9	232	213	216
ZIT2	10	198	201	206
	11	198	203	205
	12	198	201	206
MB2	13	182	193	187
	14	182	191	188
	15	189	191	188

Îmbinare sudată cu două arce la grosimea s= 19,1mm - P9

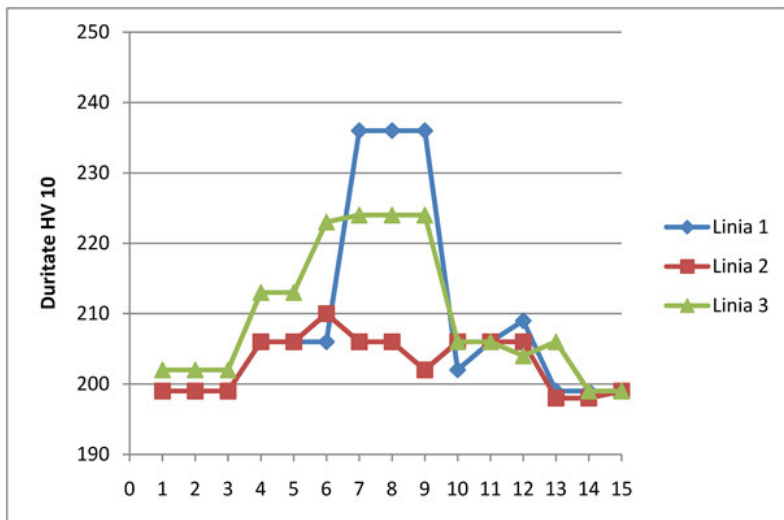


Tab. 8.21

		Linia 1	Linia 2	Linia 3
MB1	1	225	232	228
	2	225	232	228
	3	225	228	228
ZIT1	4	242	249	249
	5	249	249	245
	6	249	249	249
MD	7	292	245	289
	8	292	249	289
	9	289	249	289
ZIT2	10	242	249	242
	11	245	249	242
	12	251	249	240
MB2	13	225	236	228
	14	232	236	232
	15	232	236	232



Îmbinare sudată cu un arc la grosimea s= 19,1mm – P1



Tab. 8.22

		Linia 1	Linia 2	Linia 3
MB1	1	199	199	202
	2	199	199	202
	3	199	199	202
ZIT1	4	206	206	213
	5	206	206	213
	6	206	210	223
MD	7	236	206	224
	8	236	206	224
	9	236	202	224
ZIT2	10	202	206	206
	11	206	206	206
	12	209	206	204
MB2	13	199	198	206
	14	199	198	199
	15	199	199	199



8.8. Macrostructurile îmbinărilor sudate cu unul și două arce

Macrostructura îmbinării sudate cu un arc pentru grosimea de $s = 19,1\text{mm}$ este prezentată în figura 8.18. Se observă o nesimetrie transversală a cordonului. Lățimile ZIT-ului sunt foarte mari datorită unei energii liniare mari, care a condus și la aplatizarea pronunțată a cordonului, respectiv supraînălțare redusă. Întrepătrunderea straturilor interior și exterior a fost excesiv de pronunțată.

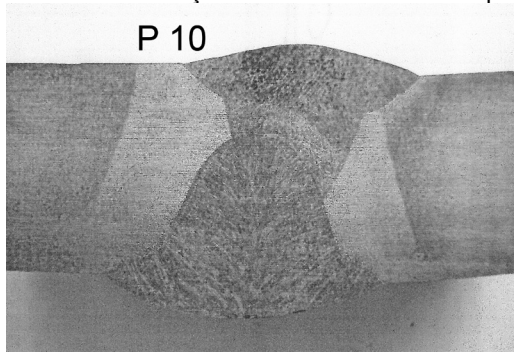


Fig. 8.18. Macrostructura îmbinării sudate cu un arc pentru grosimea de $s = 19,1\text{mm}$

În figurile 8.19 și 8.20 sunt prezentate macrostructurile îmbinării cu două arce pentru grosimea componentelor de $17,5\text{mm}$ și $19,1\text{mm}$.



Fig. 8.19. Macrostructura îmbinării sudate cu două arce pentru grosimea de $s = 19,1\text{mm}$

8.9. Microstructura îmbinărilor sudate cu unul și două arce

În cazul microstructurilor la sudarea cu un arc, figurile 8.21-8.23 materialul de bază are o structură ferito-perlitică fină. În ZIT se observă apariția unei structuri bainitice de volum relativ redus și uniform distribuit în masa acestuia.

În cordon se observă extinderea structurii bainitice pe cristale columnare.

În figurile 8.24 – 8.26, în cazul sudării cu două arce se observă în ZIT o granulație mai fină. În cordon microstructura prezintă zonele columnare mai reduse pozițional față de sudarea cu un arc.



Fig. 8.21. MB – structură ferito-perlitică în șir A2, grăunte 10, mărire 100X

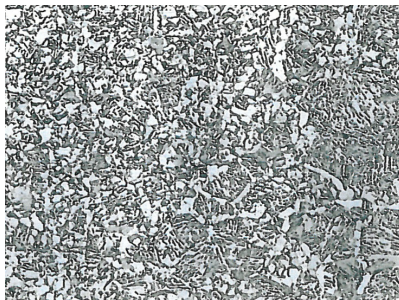


Fig. 8.22. ZIT – structură ferito-perlitică + bainită, mărire 100X

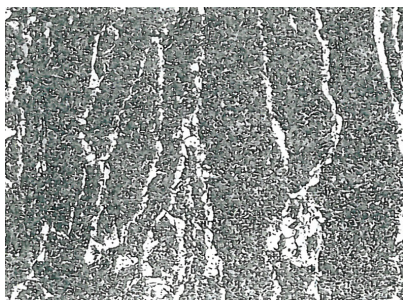


Fig. 8.23. MD – structură formată din cristale columnare, mărire 100X

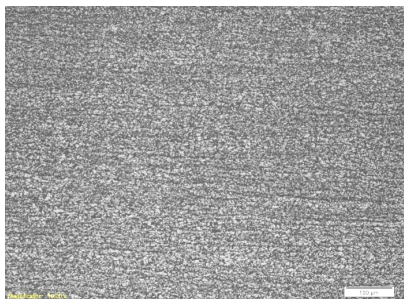


Fig. 8.24. MB – structură ferito-perlitică în șir A2, grăunte 10, mărire 100X

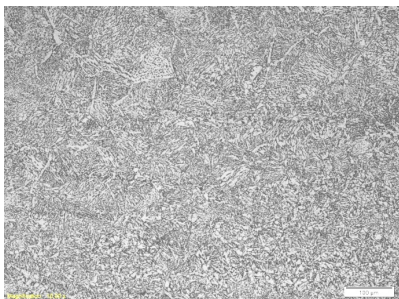


Fig. 8.25. ZIT – structură ferito-perlitică + bainită, mărire 100X

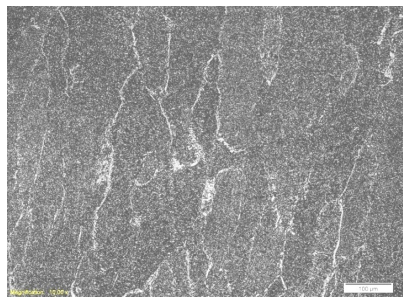


Fig. 8.26. MD – structură formată din cristale columnare, mărire 100X

8.10. Concluzii

În capitolul 8 este prezentată tehnologia de sudare sub strat de flux cu două arce și trei sârme pentru probele sudate cu grosimi ale componentelor de 17,5mm și 19,1mm.

Această tehnologie a fost stabilită folosind amplasarea capetelor de sudare conform schemei originale prezentate în subcapitolul 6.1.

S-au stabilit materialele de adaos, respectiv sârmă plină OS2-MO și fluxul OP119, OP132 și OP192 produse de Oerlikon.

Regimurile de sudare au fost diferite pentru cordonul față 1 (care simulează sudarea pe interior a conductelor) față 2 (care simulează sudarea pe exteriorul conductelor). Regimurile de sudare sunt diferite pentru grosimile componentelor de 17,5mm și 19,1mm. Aceste regimuri au avut la bază cercetările existente pe plan mondial cu ajustările legate de specificitatea schemei de sudare și a echipamentelor utilizate. Aceste regimuri au sintetizat un număr mare de experimente ce au fost realizate de autorul acestei teze.

Controlul îmbinărilor sudate s-a realizat utilizând metoda cu raze X.

S-au determinat pe epruvetele prelevate din aceste probe, proprietățile mecanice și de plasticitate ale îmbinărilor sudate multiarc. Se poate concluziona că îmbinările sudate cu două arce au rezistență la rupere de 618 N/mm^2 pentru grosimea componentelor de 19,1mm și 641 N/mm^2 pentru grosimea componentelor de 17,5mm. Aceste valori sunt superioare valorii rezistenței de rupere a materialului de bază, respectiv valoarea de 603 N/mm^2 .

Rezistența de curgere R_{p02} pentru îmbinarea cu 2 arce la grosimea de 19,1mm este de 513 N/mm^2 iar pentru grosimea de 17,5mm, este de 549 N/mm^2 . Acestea sunt superioare rezistenței R_{p02} determinate experimental pentru materialul de bază cu valoarea de 462 N/mm^2 și superioare de asemenea normelor API-5L-91 cu o valoare de 483 N/mm^2 . Se poate concluziona faptul că în cazul sudării cu două arce limita de curgere depășește valoarea limitei recomandată de API-5L-91.

Alungirea la sudarea cu două arce, pentru grosimile de 19,1mm și 17,5mm are valori foarte mari de 42%, valori mult mai mari decât cea recomandată API-5L-91, cu valoarea de 26% și determinată experimental de 25%. Gâtuirea are de asemenea valori mari, de 48% la 19,1mm și 41% la grosimea de 17,5mm, superioare celei a materialului de bază care are valoarea de 40%, depășind și normele API-5L-91, la care $Z=38\%$.

Reziliența medie a materialului de bază este admisă la valoarea $KV=245 \text{ J/cm}^2$. Reziliențele îmbinării sudate la grosimile componentelor de 17,5mm au în cordon valoarea de 78 J/cm^2 iar în ZIT de 80 J/cm^2 . Reziliențele îmbinării sudate la grosimile componentelor de 19,1mm au în cordon valoarea de 65 J/cm^2 , iar în ZIT de 71 J/cm^2 . Se observă că reziliențele îmbinării sudate sunt mai mici decât a materialului de bază, totodată reziliența maximă se regăsește în ZIT, acesta fiind cu valorile de reziliență peste valorile din cordon, diferențele fiind relativ mici.

Duritățile HV10 pentru îmbinările sudate cu două arce la grosimi ale componentelor de 17,5mm și 19,1mm au valorile maxime în cordon și sunt superioare durității materialului de bază. În ZIT duritățile HV10 sunt mai mici decât în cordon, dar superioare durității materialului de bază.

Duritățile HV10 la grosimea componentelor de 19,1mm sunt mai mari decât valorile la grosimea de 17,5mm.

Duritățile sunt mai mari în cordon datorită vitezei de răcire mai mari în zona acestuia, ca urmare a cantității de căldură ce trebuie transferată, aceasta fiind o suma a cantităților de căldură produsă de cele două arce.

La grosimi ale componentelor mai mari, se utilizează regimuri de sudare cu energie liniară mai mare, care conduc la creșterea durității din cordon și ZIT.

CAPITOLUL 9 – PROPRIETĂȚILE MECANICE COMPARATIVE ALE ÎMBINĂRILOR SUDATE MONO ȘI MULTIARC (2 ARCE ȘI 3 SĂRME)

Acest capitol sintetizează cercetările efectuate la sudarea sub strat de flux mono și multiarc la grosimi ale componentelor de 17,5mm și 19,1mm din punct de vedere al rezistenței de rupere, rezistenței de curgere, alungirii și găturii, rezilienței și durității îmbinării sudate.

În tabelul 9.1 sunt prezentate caracteristicile mecanice de rezistență, tenacitate și reziliență pentru materialul de bază, comparativ cu cele din îmbinarea sudată mono și multiarc, la grosimile componentelor de 17,5mm și 19,1mm.

Tabelul 9.1. Caracteristicile mecanice comparative la sudarea cu unul și două arce

Material de bază		R_m [N/mm ²]	$R_{p0.2}$ [N/mm ²]	A [%]	Z [%]	KV [J/cm ² la 0°C
X70	API-5L-91	min 565	min 483	26	38	
	Experimental	603	462	25	40	245
Îmbinare sudată cu un arc s=19,1mm	Tubular Products Galați	547	450	40	48	
	rupt în cordon					
	S.N. Constanța	616	455	44	46	în cordon - 48 ZIT - 54
rupt în materialul de bază						
Îmbinare sudată cu un arc s=17,5mm	S.N. Damen Galați	621	485	34	44	în cordon - 52 ZIT - 66
Îmbinare sudată cu două arce s=19,1mm	S.N. Damen Galați	618	513	42	48	în cordon - 65 ZIT - 71
		rupt în materialul de bază				
Îmbinare sudată cu două arce s=17,5mm	S.N. Damen Galați	641	549	48	41	în cordon - 78 ZIT - 80
		rupt în materialul de bază				

9.1. Rezistența la rupere și limita de curgere

În figura 9.1 și 9.2 sunt prezentate histogramele variației rezistenței de rupere și a limitei de curgere pentru cazul îmbinărilor sudate cu grosimea componentelor de 19,1mm cu unul și două arce.

În ceea ce privește rezistența de rupere se constată că aceasta este apropiată de rezistența materialului de bază, ruperea producându-se în materialul de bază.

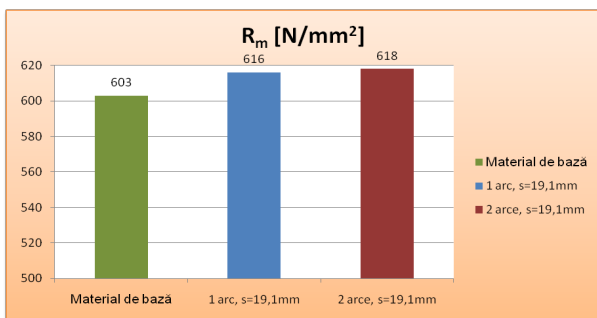


Fig. 9.1. Variația rezistenței de rupere pentru cazul îmbinărilor sudate cu grosimea componentelor de 19,1mm cu unul și două arce

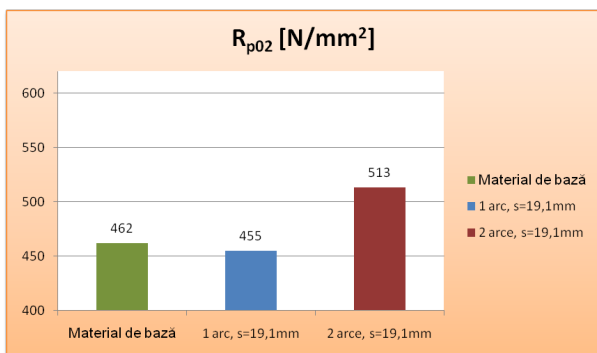


Fig. 9.2. Variația limitei de curgere pentru cazul îmbinărilor sudate cu grosimea componentelor de 19,1mm cu unul și două arce

Limita de curgere la îmbinarea sudată cu două arce are valoarea de 513N/mm² și este semnificativ mai mare decât la sudarea cu un arc care are valoarea de 455N/mm².

Este neașteptată valoarea alungirii și găturii de 42% respectiv 48% la sudarea cu două arce în raport cu valoarea aceluiași caracteristici a materialului de bază cu valorile de 25%, respectiv 40%. Aceleași valori ridicate ale alungirii și găturii se regăsesc și la sudarea cu un arc, 44% respectiv 46%.

9.2. Reziliența

S-au efectuat probele de reziliență la temperatura de 0°C, conform normelor API-5L-91, comparativ la sudarea cu un arc și sudarea cu două arce și trei sârme.

Se remarcă faptul că reziliența în îmbinarea sudată este mult mai mică decât cea a materialului de bază. La sudarea cu două arce, reziliențele sunt mai mari decât la sudarea cu un arc, aspect favorabil prin relativa îmbunătățire a proprietăților de plasticitate și la care efectul termic și-a spus cuvântul.

Reziliența în ZIT este mai mare decât reziliența în materialul depus, cordonul beneficiind de efectul termic mai accentuat de postîncălzire.

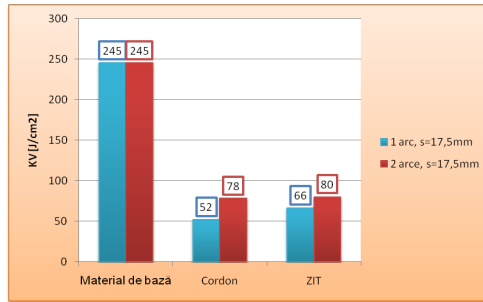


Fig. 9.3. Valorile rezilienței în cordon, materialul de bază și ZIT pentru grosimea componentelor de 17,5mm cu unul și două arce

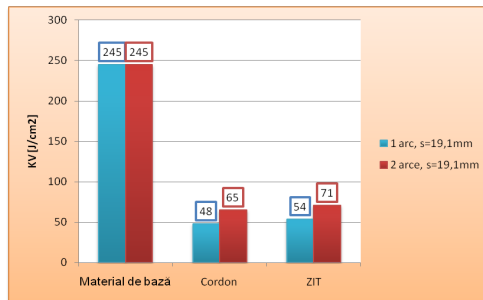


Fig. 9.4. Valorile rezilienței în cordon, materialul de bază și ZIT pentru grosimea componentelor de 19,1mm cu unul și două arce

9.3. Durițăți Vickers HV 10

O sinteză a valorilor durițărilor este prezentă în figura 9.5. Sunt prezentate comparative valorile medii ale durițății HV10 pentru îmbinările sudate cu unul și două arce la grosimea componentelor de 19,1mm.

Se observă că durițățile în îmbinarea sudată sunt mai mari decât cele din materialul de bază așa cum era de așteptat. În schimb, durițățile la sudarea cu un arc sunt mai mici decât cele din cazul sudării cu două sârme, lucru care nu era de așteptat.

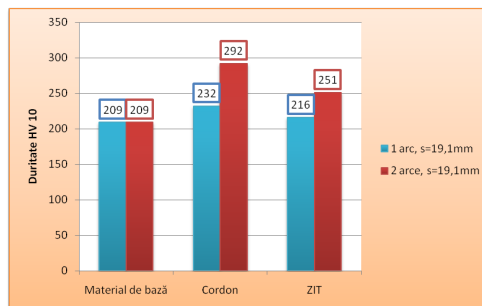


Fig. 9.5. Valorile durițărilor HV 10 în cazul îmbinărilor sudate cu unul și două arce pentru dimensiunea componentelor de s= 19,1mm

9.6. Concluzii

Comparând valorile caracteristicilor mecanice, de plasticitate, reziliență și duritate la îmbinările sudate sub strat de flux cu două arce față de îmbinările sudate cu un arc, pentru grosimi ale componentelor de 19,1mm putem concluziona astfel:

- rezistența de rupere R_m are o creștere nesemnificativă cu 0,3%;
- limita de curgere, R_{p02} în cazul sudării biarc este cu 12% mai mare decât în cazul sudării monoarc;
- reziliența la sudarea biarc crește față de sudarea monoarc, aceasta fiind de 35% în cordon și 31% în ZIT;
- duritatea medie HV10 la sudarea biarc crește în raport cu sudarea monoarc, această creștere fiind de 25,8% în cordon și 16% în ZIT.

Comparând valorile caracteristicilor mecanice, de plasticitate, reziliență și duritate la îmbinările sudate sub strat de flux cu două arce față de aceleași caracteristici ale materialului de bază, pentru grosimi ale componentelor de 19,1mm putem concluziona astfel:

- rezistența de rupere R_m la sudarea biarc are o creștere de 2,48% față de rezistența materialului de bază;
- limita de curgere, R_{p02} în cazul sudării biarc are o creștere de 11,04%;
- reziliența la sudarea biarc scade, cu 73% în cordon și 71% în ZIT;
- duritatea medie HV10 la sudarea biarc crește, această creștere fiind de 39,7% în cordon și 20% în ZIT.

CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

Concluzii generale

Conductele magistrale sunt din ce în ce mai folosite pentru transportul gazelor naturale, alimentând țările din centrul și vestul Europei. România, prin Uzina de Țevi Sudate – Tubular Products a realizat tronsoane de țevi sudate cu diametre cuprinse între 508mm și 1209mm cu grosimea tablelor cuprinse între 7 și 20mm. S-au folosit oțelurile Grad A, Grad B, X42, X46, X52, X60 și X65.

În scopul măririi rezistenței tronsoanelor de conductă, se intenționează introducerea oțelului X70 la realizarea conductelor magistrale, acesta fiind unul din obiectivele prezentei teze. Ne referim în special la gazoductul Nabucco și SouthStream ce vor fi luate în discuție în viitorii ani. Vrem să demonstrăm că România este capabilă să realizeze tronsoane de conducte magistrale în cadrul Tubular Products de pe platforma Arcelor Mittal Galați.

Pe plan mondial se încearcă sudarea multiarc (până la 6 arce). În cadrul Tubular Products Galați se propune introducerea sudării cu mai multe arce, fapt care ar mări productivitatea și ar îmbunătăți proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate.

Conductele magistrale sunt considerate ca pânză cilindrică dublu rezemată sau dublu încastrată, încărcate prin greutate proprie, presiune interioară și presiune hidrostatică exterioară. Presiunea hidrostatică exterioară se manifestă la conductele imersate și îngropate. S-au stabilit forțele specifice pe direcție axială și tangențială și s-au calculat maximul acestor forțe pe lungimea conductei.

S-a specificat poziția pe care trebuie să o aibă cordoanele de sudură longitudinale și circulare astfel încât acestea să aibă o solicitare minimă.

Tendența pe plan mondial este aceea de a folosi pentru realizarea conductelor magistrale oțeluri slab aliate de înaltă rezistență. În felul acesta se poate mări

diametrul conductelor și deci capacitatea de transport, întrucât forțele specifice ce solicită conducta trebuie comparată cu caracteristicile de rezistență mai mari ale acestora. Diametrele mari ale conductelor magistrale creează tensiuni interne de exploatare mai mari care sunt preluate de conducta fabricată din materiale cu înaltă rezistență.

Costul de producție al conductelor magistrale din oțeluri slab aliate sunt mai reduse datorită elementelor de aliere, care sunt mai puține și în proporție mai mică. Grosimea peretelui conductelor este mai mică și tehnologia de sudare este mai ușoară reducându-se numărul trecerilor la realizarea cordonului.

Oțelul X70, prin caracteristicile sale descrise, este adecvat realizării conductelor magistrale în stadiul actual al tehnologiilor de realizare a acestora. Un oțel mediu aliat ar fi necesitat consumuri mai mari ale elementelor de aliere și prețuri de producție mai mari.

Compoziția chimică a oțelului slab aliat X70 determinate experimental în prezenta teză conține 0,22%C, 1,65% Mn, 0,31% Si, 0,05% Al, 0,05% Cu, 0,03% Cr și 0,025% V, Mo, Ti și Nb. Sulfur și fosforul sunt sever limitate, sulfur având 0,004% și fosforul 0,01%.

Caracteristicile mecanice ale oțelului X70 au fost determinate experimental. Astfel, oțelul X70 fabricat în cadrul Arcelor Mittal Galați trebuie să fie corectat compozițional, din punct de vedere al tehnologiei de laminare și al tratamentelor termice postlaminare, pentru îndeplinirea condiției de rezistență cerută de API-5L-91.

Principiul sudării sub strat de flux are avantajul unei rate mari de depunere și în final a unei productivități ridicate, consumul energetic pe aceeași cantitate de material depus fiind mai mic. Intensitatea curentului de sudare este mult mai mare decât cea folosită la procedeele SE sau MIG/MAG. Fluxul utilizat în procesul de sudare asigură o bună protecție a băii de metal topit și favorizează formarea unei cusături compacte și aspectuoase. Gradul de folosire a materialului de adaos este apropiat de unitate.

Din punct de vedere ecologic, cantitatea de fum și noxe degajată este foarte redusă. Din punct de vedere al productivității, sudarea sub strat de flux mai are avantajul legat de posibilitatea folosirii sudării cu mai multe arce și mai multe sârme.

Au fost scoase în evidență cercetările existente în ceea ce privește variantele de sudare sub strat de flux, sudare cu o singură sârmă electrod, sudare cu două sârme electrod lucrând în baie comună sau în băi separate, sudare cu arce gemene și sudarea în Tandem.

Sunt prezentate cuplurile sârmă-flux utilizate pe plan mondial la sudarea oțelurilor pentru conducte.

Se prezintă fluxul tehnologic de fabricație al tronsoanelor de conductă existent la Tubular Products Galați. Schema fluxului tehnologic prezentat scoate în evidență operațiile care se execută pentru realizarea tronsoanelor conductelor magistrale. Se evidențiază și intercondiționările între diferite operații.

S-a prezentat tehnologia de sudare sub strat de flux a oțelului X70 cu un singur arc și o singură sârmă electrod, iar determinările experimentale au fost realizate în scopul comparării rezultatelor obținute cu tehnologia sudării cu două arce și trei sârme.

Controlul îmbinărilor sudate pentru probele cazului sudării cu un arc, respectiv o sârmă a fost realizat prin patru metode: control cu raze X, control cu lichide penetrante, control ultrasonic și cu pulberi magnetice. Toate probele au îndeplinit cerințele de calitate impuse.

S-au caracterizat proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate cu un arc și s-a

constatat că:

- rezistența de rupere a îmbinării este egală cu rezistenței de rupere a materialului de bază. Acest lucru a făcut ca ruperea epruvetelor de tracțiune să se producă în materialul de bază, excepție fac probele P2GL și P6GL, la care ruperea a avut loc în cordon explicabil prin gradul înalt de neomogenitate structurală;
- limitele de curgere au avut variații nesemnificative;
- alungirea și gătuirea cu valori mai mari în cordon decât în materialul de bază indică o plasticitate bună a îmbinării sudate;
- reziliența și duritatea cordonului sunt prezentate în capitolul 8 comparativ pentru sudarea monoarc și multiarc.

S-a prezentat tehnologia originală de sudare sub strat de flux cu două arce și trei sârme pentru probele sudate cu grosimi ale componentelor de 17,5mm și 19,1mm. Această tehnologie a fost stabilă folosind amplasarea capetelor de sudare conform schemei originale prezentate în subcapitolul 6.1.

S-au stabilit materialele de adaos și regimurile de sudare. Aceste regimuri au sintetizat un număr mare de experimente ce au fost realizate de către autor.

S-au determinat pe epruvetele prelevate din probele sudate, proprietățile mecanice și de tenacitate ale îmbinărilor sudate multiarc.

Rezistența de curgere R_{p02} pentru îmbinarea cu două arce la grosimea de 19,1mm este de 513N/mm², iar pentru grosimea de 17,5mm, este de 549N/mm². Acestea sunt superioare rezistenței R_{p02} determinate experimental pentru materialul de bază cu valoarea de 462N/mm² și superioare de asemenea normelor API-5L-91 cu o valoare de 483N/mm². Se poate concluziona faptul că în cazul sudării cu două arce limita de curgere depășește valoarea limitei recomandată de API-5L-91.

Alungirea la sudarea cu două arce, pentru grosimea de 19,1mm și 17,5mm are valori foarte mari de 42%, valori mult mai mari decât cea recomandată API-5L-91, cu valoarea de 26% și determinată experimental de 25%. Gătuirea are de asemenea valori mari, de 48% la 19,1mm și 41% la grosimea de 17,5mm, superioare celei a materialului de bază care are valoarea de 40%, depășind și normele API-5L-91, la care $Z=38\%$.

Reziliența medie a materialului de bază este admisă la valoarea $KV=245J/cm^2$. Reziliențele îmbinării sudate la grosimile componentelor de 17,5mm au în cordon valoarea de 78J/cm² iar în ZIT de 80J/cm². Reziliențele îmbinării sudate la grosimile componentelor de 19,1mm au în cordon valoarea de 65J/cm² iar în ZIT de 71J/cm². Se observă că reziliențele îmbinării sudate sunt mai mici decât a materialului de bază, totodată reziliența maximă se regăsește în ZIT, acesta fiind cu valorile de reziliență peste valorile din cordon, diferențele fiind relativ mici.

Duritățile HV10 pentru îmbinările sudate cu două arce la grosimi ale componentelor de 17,5mm și 19,1mm au valorile maxime în cordon și sunt superioare durității materialului de bază. În ZIT duritățile HV10 sunt mai mici decât în cordon, dar superioare durității materialului de bază.

Duritățile HV10 la grosimea componentelor de 19,1mm sunt mai mari decât valorile la grosimea mai mică de 17,5mm.

Duritățile sunt mai mari în cordon datorită vitezei de răcire mai mari în zona acestuia, ca urmare a cantității de căldură ce trebuie transferată, aceasta fiind o sumă a cantităților de căldură produsă de cele două arce.

La grosimi ale componentelor mai mari, se utilizează regimuri de sudare cu energie liniară mai mare care duce la creșterea durității din cordon și ZIT.

Comparând valorile caracteristicilor mecanice, de plasticitate, reziliență și duritate la îmbinările sudate sub strat de flux cu două arce față de îmbinările sudate

cu un arc, pentru grosimi ale componentelor de 19,1mm putem concluziona astfel:

- rezistența de rupere R_m are o creștere nesemnificativă cu 0,3% și este egală cu cea a materialului de bază;
- limita de curgere, R_{p02} în cazul sudării biarc este cu 12% mai mare decât în cazul sudării monoarc;
- reziliența la sudarea biarc crește față de sudarea monoarc, aceasta fiind de 35% în cordon și 31% în ZIT;
- duritatea medie HV10 la sudarea biarc crește în raport cu sudarea monoarc, această creștere fiind de 25,8% în cordon și 16% în ZIT.

Comparând valorile caracteristicilor mecanice, de plasticitate, reziliență și duritate la îmbinările sudate sub strat de flux cu două arce față de aceleași caracteristici ale materialului de bază, pentru grosimi ale componentelor de 19,1mm putem concluziona astfel:

- rezistența de rupere R_m la sudarea biarc are o creștere nesemnificativă, de 2,48% față de rezistența materialului de bază, ruperea având loc în materialul de bază;
- limita de curgere, R_{p02} în cazul sudării biarc are o creștere de 11,04%;
- reziliența la sudarea biarc scade, cu 73% în cordon și 71% în ZIT;
- duritatea medie HV10 la sudarea biarc crește, această creștere fiind de 39,7% în cordon și 20% în ZIT.

Contribuții originale

Teza tratează calculul conductelor magistrale, schematizată ca pânză cilindrică, folosind ecuațiile lui Cauchy. Conducta a fost luată în calcul ca o pânză dublu articulată și dublu încastrată, supusă la greutatea proprie, presiune interioară și presiune hidrostatică exterioară.

S-au trasat epurele stărilor de tensiuni pe direcție longitudinală și circulară. În urma calculului s-a stabilit poziția cordoanelor de sudură longitudinale ce îmbină tablele virolelor, poziție în care tensiunile interne sunt minime.

Sunt determinate compozițiile chimice ale oțelului X70 și proprietățile mecanice ale acestuia. Se prezintă tehnologia actuală la sudarea conductelor, referindu-se la procedeul de sudare monoarc sub strat de flux.

S-a prezentat cu caracter original schema pentru sudarea sub strat de flux a cordoanelor longitudinale ale tronsoanelor conductelor magistrale. Această schemă a stat la baza determinărilor experimentale la sudarea cu două arce și trei sârme.

Originalitatea schemei constă în folosirea a trei sârme electrod din care primele două lucrează în baie comună și a treia în baie separată. Primele două sârme au fost alimentate în curent alternativ trifazat, cu fazele legate la cele două sârme și la materialul de bază utilizând o sursă de sudare. A treia sârmă electrod este alimentată de asemenea în curent alternativ utilizând doar o singură fază a unei surse separate.

S-a realizat modelarea procesului de sudare cu două arce și trei sârme. Modelul cu elemente finite a fost dezvoltat în programul de simulare Cosmos/M. Condițiile la limită impuse prin model au ținut cont de variația proprietăților termo-fizice ale materialului de bază cu temperatura.

Pentru validarea modelului cu elemente finite s-a utilizat tehnica termografierii. Temperatura a fost măsurată cu camera Flir A20M plasată deasupra cordonului de sudură, aceasta măsurând temperatura de pe suprafața liberă a cordonului după îndepărtarea manuală a zgurii.

Valoarea temperaturii modelate din procesul de sudare s-a comparat cu

valoarea măsurată prin metoda termografierii iar eroarea între cele două valori fiind sub 8%.

S-a prezentat cu caracter original comparațiile între valorile caracteristicilor mecanice determinate, de plasticitate, reziliență și duritate la îmbinările sudate sub strat de flux cu două arce față de îmbinările sudate cu un arc, pentru grosimi ale componentelor de 19,1mm se constată că:

- limita de curgere, $R_{p0.2}$ în cazul sudării biarc este cu 12% mai mare decât în cazul sudării monoarc și cu 11,04% față de materialul de bază;
- reziliența la sudarea biarc crește față de sudarea monoarc cu 35% în cordon și 31% în ZIT, iar în raport cu materialul de bază scade cu 73% în cordon și 71% în ZIT;
- duritatea medie HV10 la sudarea biarc crește în raport cu sudarea monoarc cu 25,8% în cordon și 16% în ZIT
- duritatea medie HV10 la sudarea biarc crește în cordon cu 39,7% față de duritatea materialului de bază și cu 20% în ZIT.

În concluzie, sudarea cu două arce și trei sârme conduce la o creștere a productivității (ratei de depunere) cu cca. 90% față de sudarea cu un singur arc aceasta fiind pusă pe seama creșterii vitezei de sudare. Toate proprietățile mecanice, de rezistență și de plasticitate, cresc la sudarea multiarc.

BIBLIOGRAFIE

1. Abilio, M., Pinho. D.J., Alfredo, S.R. and Antonio, A.F., Influence of the submerged arc welding in the mechanical behaviour of the P355NL1 steel- Part II: analysis of the low/high cycle fatigue behaviours. Journal of Material Science, 42: 5973–5981, 2007
3. Akao, K., Ume, K., Hirabayashi, K., Taira, T., Hirano, O., Takehara, J., Murata, T., Development of large-diameter UOE pipes for high strength bent pipes fabricated by induction-hot-bending process, 1986.
4. Akao, K., Ishihara, T., Kitada, T., Taira, T., Hirano, O., Sakui, S., Shima, K., Development of API X80 grade line pipe with excellent toughness and superior weldability, pp. 139-144, 1987.
8. Bindiu, O., Druțu, T., Ocheșel, M., Constantinescu, S., Drăghici, V., Gherge, L., Manualul sudorului naval, Damen Shipyard Galați, 2007.
9. Chandel, R.S. and Cheng, H. P., Effect of increasing deposition rate on the bead geometry of submerged arc welds. Journal of Materials Processing and Technology, 72: 124 – 128, 1997.
10. Constantin, E., Proiectarea structurilor sudate, Partea a-II-a, Universitatea din Galați, 1982.
15. Dallam, C.B., Liu, S., Olson, D.L., Flux composition dependence of microstructure and toughness of submerged arc HSLA weldments. Welding Journal, 64 (5): 140s -149s, 1988.
16. Datta, S., Bandyopadhyay, A. and Pal P.K., Modeling and Optimization of features of bead geometry including percentage Dilution in Submerged Arc Welding Consuming Mixture of Fresh Flux and Fused Slag. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 36: 1080-1090, 2008.
17. Datta, S., Bandyopadhyay, A. and Pal, P.K., Application of Taguchi philosophy for parametric optimization of bead geometry and HAZ width in submerged arc welding using a mixture of fresh flux and fused flux. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 36: 689-698, 2008.

19. Dehelean, D., Sudarea prin topire, Editura Sudura, Timișoara, 1997.
20. Dorling, D. V., Rothwell, A. B., Field welding processes for pipeline construction, In: Pipeline Technology Conference. Proceedings, Oostende, Belgium, 15-18 Oct.1990. Ed: R.Denys, Vol.A. pp.2.1-2.11, 1990.
21. Felber S., Loibnegger F., The pipeline steel X100 and X120, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, vol. 55, iss. 2, pp. 53-68, v.
22. Fonzo, A., Lucci, A., Ferino, J., Di Biagio, M., Spinelli, C.M., Flaxa, V., Zimmermann, S., Kalwa C., Knoop, F.M., Full scale investigation on strain capacity of high grade large diameter pipes, 18th JTM, 16/19, San Francisco, CA, 2011.
23. Fu, B., Guttormsen, S., Vu, D., Chauhan V., Noklebye, A., . Significance of low toughness in the seam weld HAZ of a 42 inch diameter grade X70 DSAW line pipe – experimental studies, Int Offshore Mechanics and Offshore Engineering Conf. Sao Paulo, June 2001.
26. Georgescu, V., Georgescu, B., Iordăchescu, M., Control nedistructiv. Tom V, Vol. 2, Enciclopedie de Sudură, Editura Lux Libris, Brașov, ISBN 973 - 96308 - 4 - 7, ISBN 973 - 9428 - 75 - 4, 2001.
28. Gräf, M., Niederhoff, K., Properties of HAZ in two-pass submerged-arc welded large diameter pipe. Int Pipeline Technology Conf, Brugge, May 2000, pp 553-566.
29. Gunaraj, V., Murugan, N., Prediction and optimization of weld bead volume for the submerged arc process-part-2. Weld Res. Suppl.79(11): 331–338, 2000.
30. Gunaraj, V. and Murugan, N., Prediction and Optimization of Weld Bead
33. Hillenbrand, H.G., Kalwa, C., Schröder, J., Kassel, C., Challenges to a pipe manufacturer driven by worldwide pipe projects, 18th JTM, 16/19, San Francisco, CA, 2011.
40. Kostic, M.Milos, Collins, Laurie E., Kapoor, Atul, O'Hara, Randy D., Development of heavy gauge X80 linepipe, Proceedings of the International Pipeline Conference, IPC, 2, pp. 665-672, 1998.
41. Lan, X.C., Zhang, H.J., Yu, B.Q., Yu, D.D., Advancement of forming technology for large-sized LSAW Pipe, STEEL PIPE, 35 (1), pp. 166-171, 2006.
42. Li, H., Prebending process of longitudinal submerged arc welding production line, WELDED PIPE and TUBE, 29 (1), pp. 55-57, 2006.
43. Li, X.H., Analysis of current situation and development trend fore cast of domestic weld pipe production, STEEL PIPE, 37 (1), pp. 18-21, 2008.
47. Micloși, V., Lupescu, I, Sudarea prin topire a oțelurilor aliate, Editura Tehnica, București, 1970.
49. Mihăilescu, D., Mihăilescu, A., Lupu, G., Tehnologia sudării prin topire - Îndrumar de proiectare, Editura Fundației Universitare „Dunărea de Jos” Galați, ISBN 973 - 627 - 124 - 2, 2004.
50. Mihăilescu, D., Procedee conexe sudării, Tom III, Vol. 4, Enciclopedie de Sudură, Editura Lux Libris, Brașov, ISBN 973 - 9240 - 40 - 2, 1997.
68. Scutelnicu E., Simularea prin metoda elementului finit a proceselor termice din îmbinările sudate eterogene, Editura Fundației Universitare „Dunărea de Jos”, Galați, 2004.
70. Solomon, G., Elemente de teoria proceselor de sudare, Editura Bren, București, 2001.
75. Tusek, J. and Suban, M., High-productivity multiple-wire submerged- arc welding and cladding with metal powder addit ion. Journals of Materials Processing Technology, 133: 207-213, 2003.
76. Voicu C., Rusu C. C., Mistodie L. R., Combined FEA and Design of Experiments in Case of Submerged Arc Welding of Pipelines, The 15th

International Conference, Modern Technologies, Quality and Innovation, Modtech 2011, 25-27 mai, 2011, Vadul lui Voda, Chisinau, Republica Moldova.

77. Constantin E., Scutelnicu E., Rusu C. C., Mistodie L., Voicu C., Boazu D., FEA and experiments in case of pipelines welding, Proceedings of the 2nd South East European IIW International Congress, Welding - HIGH-TECH Technology in 21st century, Pipeline Welding Current Topic of the Region, 21st - 24th October 2010, Sofia, Bulgaria, ISBN 978-954-9322-25-5, pp. 254-257.

78. Voicu, C., Mistodie, L.R., Joni, N., Rusu, C.C., TANDEM Welding Methods in Shipbuilding, The Annals of Dunarea de Jos University of Galati, Fascicle XII, Welding Equipment and Technology, Year XX, ISSN 1221-4639, 2009, pag. 31-37, IndexCopernicus, <http://www.rs.ugal.ro/annals2009.htm>.

81. Voicu, C., Mistodie L.R., Rusu, C.C., Synergic Regimes Optimisation Of Pulsed MIG Arc Welding, The Annals of Dunarea de Jos University of Galati, Fascicle V - Technologies in Machine Building, Year XXVII (XXXII), 2009, ISSN 1221-4566, pag. 429-433.

82. Voicu C., Rusu C. C., Mistodie L. R., Constantin E., Determinari experimentale la sudarea multiarc sub strat de flux a tevilor pentru conducte magistrale, The Annals of Dunarea de Jos University of Galati, Fascicle XII, Welding Equipment and Technology, Year XXI, ISSN 1221-4639, 2011, (lucrare in curs de publicare).

83. Voicu C., Rusu C. C., Mistodie L. R., Constantin E., Influenta energiei liniare asupra caracteristicile fizico-mecanice ale ZIT-ului la sudarea mono si multiarc sub strat de flux a otelului X70, The Annals of Dunarea de Jos University of Galati, Fascicle XII, Welding Equipment and Technology, Year XXI, ISSN 1221-4639, 2011, (lucrare in curs de publicare).

84. Wang, S.H., Luu, W.C., Ho, K.F. and Wu, J.K., Hydrogen permeation in a submerged arc weldment of TMCP steel, Materials Chemistry and Physics, 77: 447-454, 2002.

85. Yang, Z.Z., Tian, W., Ma, Q.R., Li, Y.L., Li, J.K., Gao, J.Z., Zhang, H.B., Yang, Y.H., Mechanical properties of longitudinal submerged arc welded steel pipes used for gas pipeline of offshore oil, Acta Metallurgica Sinica (English Letters), Volume 21, Issue 2, Pp. 85-93, 2008.

88. *** API SPEC 5L, Specification for Line Pipe , API Standard, Oct, 2004 and 44th ed. , October 1, 2007.

90. *** ASTM A 370, Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, ASTM Standard, 2002.

91. *** ASTM E 8, Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM Standard, Oct 2001.

92. *** API RP 5L3, Recommended Practice for Conducting Drop-Weight Tear Tests on Line Pipe, API Standard, 2004.

93. *** BS7448, Fracture Mechanics Toughness Tests, British Standard, 1991.

94. *** ISO6507-1, Metallic Materials Vickers Hardness Test Method, ISO Standards, 1997.

98. *** Pipeline catalogue. Esab.

99. *** Pipelines welding handbook. Esab.

100. *** Pipe Mills - Oerlikon, <http://www.oerlikon-welding.com/file/otherelement/pj/plaquettesegpipemillsenbd61670.pdf>

101. *** Pipe Laying - Oerlikon, http://www.oerlikon-welding.com/file/otherelement/pj/pipe_laying_w000372378_en_w89678.pdf

102. *** Partener, DUCTIL – AIR LIQUIDE WELDING, sudare și tăiere, nr. 23, iunie 2010, [http://www.saf-fro.ro/file/otherelement/pj/interior partener 133609.pdf](http://www.saf-fro.ro/file/otherelement/pj/interior%20partener%20133609.pdf)

106. *** Prezentare status Nabucco, Status T3, 2011, <http://portal.nabucco-pipeline.com/portal/page/portal/ro/press/Downloads/RO%20Status%20Presentation%20June%202011.pdf>
108. *** Tubular Products - ArcelorMittal,
http://www.arcelormittal.com/tubular/images/amtp_revised.pdf
109. *** Mittal Steel Pipes & Tubes Your global tubular solutions,
http://www.arcelormittal.com/NA/Products/documents/MSPT_brochure.pdf
110. *** Studii si cercetari privind comportarea la sudare a otelurilor pentru conducte magistrale, Faza I – Studiul comportarii metalurgice la sudare a otelurilor produse la S.C. Sidex S. A. Galati destinate conductelor magistrale (grad B, X52, X60, X65), Raport de cercetare, ISIM Timisoara, 1994.