

**UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" GALAȚI
FACULTATEA DE INGINERIE
SPECIALIZAREA: PROIECTAREA ȘI SIMULARE ÎN
INGINERIA SUDĂRII**

PROIECT DE DISERTAȚIE

**Coordonator proiect
Prof. univ. dr. ing. Elena SCUTELNICU**

**Masterand
GINGHINĂ ANDREEA**

**GALAȚI
– 2020–**



UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” GALAȚI
FACULTATEA DE INGINERIE
DEPARTAMENTUL: INGINERIA FABRICAȚIEI
SPECIALIZAREA: PROIECTAREA ȘI SIMULARE ÎN INGINERIA
SUDĂRII



Studiul sudării oțelurilor pentru conduce magistrale

Coordonator proiect
Prof. univ. dr. ing. Elena SCUTELNICU

Masterand
GINGHINĂ ANDREEA

Galați
2020

REZUMAT

Titlul lucrării de disertație este " **Studiul sudării oțelurilor pentru conducte magistrale**".
Lucrarea are 5 capitole, după cum urmează:

Capitolul 1: Studiul actual al fabricării conductelor magistrale

Capitolul 1 prezintă multitudinea de oțeluri utilizate la construcția conductelor magistrale, caracteristicile specifice ale acestora, conform normativelor internaționale în vigoare. De asemenea este prezentat oțelul X52 , asupra căruia s-au îndreptat cercetările efectuate în cadrul lucrării.

Capitolul 2: Procedee de sudare aplicate la fabricarea conductelor magistrale

Acest capitol abordează din punct de vedere teoretic posibilitățile de realizare prin sudare a conductelor magistrale prin diverse procedee de sudare.

Capitolul 3: Studiu de caz privind remedierea defectelor întâlnite la tablele groase

Capitolul prezintă un studiu privind defectele întâlnite la tablele groase ce se produc în Combinatul din Galați, și modul în care acestea pot fi remediate acolo unde norma permite.

Capitolul 4: Metode de control nedistructiv aplicate în controlul conductelor magistrale

Pentru a detecta posibilele defecte apărute în timpul și după sudare, pot fi aplicate una sau mai multe metode NDT, descrise în acest capitol.

Capitolul 5: Norme de protecția muncii și PSI în secțiile de fabricare a conductelor magistrale

Prezentul capitol analizează normele de protecția muncii și PSI ce trebuiesc respectate atât de către angajați cat și de către angajator atunci cand se află în secțiile de fabricare a conductelor.

ABSTRACT

The project addresses the " Study of welding of steels for magistral pipes ". The project comprises five chapters, as follows:

Chapter 1: Current study of the manufacture of magistral pipes

Chapter 1 presents the multitude of steels used in the construction of main pipelines, their specific characteristics, according to the international regulations in force. Also presented is the X52 steel, on which the research carried out during the work was directed.

Chapter 2: Study of welding under flux layer of magistral pipes

This chapter approaches from a theoretical point of view the possibilities of realizing by welding the main pipes through various welding processes.

Chapter 3: Case study regarding the remedy of defects found at thick table

The chapter presents a study on the defects encountered in the thick sheets that occur in the Galati Plant, and how they can be remedied where the norm allows.

Chapter 4: Non-destructive methods applied to control of welded joints

In order to detect the possible defects occurred during and after welding, one or more NDT methods, described in this chapter, can be applied.

Chapter 5: Labor protection rules and psi in manufacturing sections main pipelines

This chapter analyzes the labor protection and PSI norms that must be observed by both employees and the employer when they are in the pipe manufacturing sections.

CUPRINS

CAP. 1. STUDIUL ACTUAL AL FABRICĂRII CONDUCTELOR MAGISTRALE.....	5
1.1. Generalități.....	5
1.2. Avantajele și dezavantajele sudării conductelor magistrale.....	5
1.3. Oțeluri utilizate la fabricarea conductelor magistrale.....	6
1.4. Compoziții chimice și caracteristici mecanice ale oțelurilor folosite la fabricarea conductelor magistrale.....	7
1.5. Caracteristicile utilizării oțelurilor.....	7
1.6. Comportarea la sudare a oțelurilor.....	8
1.7. Comportarea metalurgică la sudare a oțelului X52.....	8
1.8. Analiza metalografică a oțelului X52.....	10
1.9. Concluzii.....	11
CAP. 2. PROCEDEE DE SUDARE APLICATE LA FABRICAREA CONDUCTELOR MAGISTRALE.....	12
2.1. Avantajele și dezavantajele realizării prin sudare a conductelor magistrale.....	12
2.2. Clasificarea țevelor sudate	12
2.3. Domenii de utilizare a țevelor sudate.....	13
2.4. Metode de sudare a țevelor.....	13
2.5. Principiul procedeei sudării sub strat de flux.....	14
2.6. Echipamente și accesorii utilizate la sudarea sub strat de flux.....	15
2.7. Posibilități de realizare prin sudare a conductelor magistrale.....	16
2.7.1. Sudarea pe generatoare a conductelor magistrale.....	16
2.7.2. Sudarea elicoidală a conductelor magistrale.....	16
2.8. Scurtarea și prelucrarea marginilor la sudarea conductelor magistrale.....	18
2.9. Sudarea cap la cap a conductelor magistrale.....	20
2.9.1. Criterii tehnico - economice de selecție a procedeelor de sudare cap la cap a conductelor magistrale.....	20
2.9.2. Sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți și sudarea MAG.....	21
2.10. Concluzii.....	23
CAP. 3. STUDIU DE CAZ PRIVIND REMEDIEREA DEFECTELOR ÎNTÂLNITE LA TABLELE GROASE.....	24
3.1. Caracterizarea defectelor	24
3.2. Remedierea defectelor.....	33
3.3. Concluzii.....	36
CAP. 4. METODE DE CONTROL NEDISTRUCTIV APLICATE ÎN VERIFICAREA CONDUCTELOR	37
4.1. Generalități.....	37
4.2. Control vizual.....	38
4.3. Control cu lichide penetrante.....	40
4.4. Control ultrasonic.....	41

4.5. Control magnetic.....	41
4.6. Control cu radiații penetrante.....	42
4.7. Domenii de aplicabilitate.....	43
4.8. Concluzii.....	43
 CAP. 5. NORME DE PROTECȚIA MUNCII ȘI PSI ÎN SECȚIILE DE FABRICARE A CONDUCTELOR MAGISTRALE.....	43
5.1. Norme de protecția muncii în secțiile de fabricare a conductelor magistrale.....	43
5.1.1. Generalități.....	43
5.1.2. Scop.....	43
5.1.3. Domeniu de aplicare.....	43
5.1.4. Revizuirea normelor.....	43
5.1.5. Norme de protecția muncii privind repartizarea personalului pe locuri de muncă în secțiile de fabricare a conductelor magistrale.....	44
5.1.5.1. Instruirea personalului.....	44
5.1.5.2. Dotarea cu echipament individual de protecție.....	44
5.2. Norme PSI în secțiile de fabricare a conductelor magistrale.....	44
5.2.1. Generalități.....	44
5.2.2. Scop.....	45
5.2.3. Domeniu de aplicare.....	45
5.2.4. Revizuirea normelor.....	45
5.2.5. Norme de PSI privind procesul de fabricare a conductelor magistrale.....	45
5.3. Concluzii.....	46
 Opis figuri.....	47
Opis tabele.....	49
Bibliografie.....	50

CAPITOLUL 1

STUDIUL ACTUAL AL FABRICĂRII CONDUCTELOR MAGISTRALE

1.1. Generalități

Oțelul este un aliaj ce conține fier, carbon și alte elemente, cum sunt nichelul, cromul ori tungstenul, iar în funcție de procentul de carbon adăugat aliajului, oțelul va fi mai dur sau mai moale. [1]

O proprietate importantă a oțelului este sudabilitatea, proprietate prin care oțelurile se pot uni între ele atunci când sunt aduse la temperatura de fuziune. Pentru că permite îmbinarea pieselor fără discontinuități, sudura, care este procedeul tehnologic de realizare a îmbinărilor nedemontabile a unor componente metalice sau nemetalice prin interacțiunea atomilor mărginași ai acestora, reprezintă un mod ideal de asamblare, iar condițiile de execuție precise sunt esențiale pentru obținerea unor rezultate bune. [2] În Figura 1.1. și 1.2. sunt prezentate două aplicații ale sudurii oțelului.



Fig. 1.1. Pod din oțel [3]



Fig. 1.2. Conducte magistrale din oțel [4]

1.2. Avantajele și dezavantajele sudării conductelor magistrale

Fabricarea conductelor magistrale din oțel prin sudare s-a extins mult în perioada ultimilor ani, îndeosebi în țările dezvoltate din punct de vedere industrial, ca urmare a *avantajelor* pe care le prezintă în raport cu fabricarea țevelor fără sudură și anume: [5]

- consumul de metal este mai redus;
- productivitatea mai mare;
- greutatea utilajului raportată la capacitatea de producție este de 2-3 ori mai mică;
- se pot obține conducte magistrale cu dimensiuni mai precise (toleranțe mai restrânse)
- liniile tehnologice de conducte magistrale sudate se pretează la un înalt grad de mecanizare și automatizare;
- prețul de cost al conductelor magistrale sudate este mai scăzut față de cel al țevelor fără sudură.

Dintre *dezavantaje*, se pot menționa următoarele: [5]

- posibilitatea de a obține conducte magistrale sudate cu bune rezultate tehnice și economice numai din anumite mărci de oțeluri, cu conținuturi de carbon, elemente de aliere, sulf și fosfor limitate;
- dificultatea fabricării conductelor magistrale sudate cu pereți groși (în raport cu diametrul);
- contraindicarea folosirii conductelor magistrale sudate pentru condiții grele de exploatare.

Cu toate aceste dezavantaje, avantajele menționate anterior explică faptul că din producția mondială de țevi din oțel, circa 50 % reprezintă țevile sudate, inclusiv în țările mai dezvoltate cum sunt SUA și Japonia.

În general, sistemele de conducte magistrale sunt ansambluri formate din două sau mai multe conducte racordate între ele, utilizate la transportul și distribuția aceluiași agent de lucru. Clasificarea conductelor se face în funcție de natura fluidelor transportate, de structura și de dimensiunile conductelor, dar și de soluțiile avute în vedere la amplasarea lor în teren.

1.3. Oțeluri utilizate la fabricarea conductelor magistrale

Oțelurile folosite pentru construcții și structuri sudate sunt oțeluri carbon și slab aliate destinate realizării prin procedee tehnologice de mare productivitate de structuri metalice satisfăcând, după caz, condiții de rezistență și etanșitate.

Oțelurile utilizate la fabricarea conductelor magistrale (grad A, grad B, X 42, X 52) sunt oțeluri carbon slab aliate livrate într-o gamă largă de produse și cu domenii de utilizare dintre cele mai diferite la care nu se impun condiții tehnice speciale. Limita de curgere a acestor oțeluri este de (240 - 360) N/mm², iar energia de rupere este garantată la temperaturi negative până la - 20 0C. Oțelurile utilizate la fabricarea conductelor magistrale (X 60, X 65, X 75) sunt oțeluri cu granulație fină, realizate în condiții tehnologice controlate pentru obținerea unei structuri ferito - perlitice fine, caracterizată prin valori ridicate ale limitei de curgere (până la 470 N/mm²) și energia de rupere până la - 50 0C. Principalele forme de livrare și domeniile de utilizare ale oțelurilor utilizate la fabricarea conductelor magistrale (grad A, grad B, X 42, X 52, X 60 și X 65, X 75) sunt prezentate în tabelul 1.1. [6]

Tabelul 1.1. Forme de livrare și domenii de utilizare ale oțelurilor utilizate la fabricarea conductelor magistrale

Marca de oțel	Forme de livrare	Domenii de utilizare
Grad A SR EN ISO 3183:2013	Produse tubulare	Țevi de conductă cu capete netede pentru industria petrolieră
Grad B SR EN ISO 3183:2013	Produse tubulare	Țevi de conductă cu capete netede pentru industria petrolieră
X 42, X 46 SR EN ISO 3183:2013	Produse plate laminate la cald Produse tubulare	Țevi și conducte pentru industria petrolieră, chimică etc.
X 46 SR EN ISO 3183:2013	Produse plate laminate la cald Produse tubulare	Țevi și conducte pentru industria petrolieră, chimică etc.
X 52, X 56 SR EN ISO 3183:2013	Produse plate laminate la cald Produse tubulare	Țevi și conducte pentru industria petrolieră, chimică etc
X 60, X 65 SR EN ISO 3183:2013	Produse plate laminate la cald Produse tubulare	Țevi și conducte pentru industria petrolieră, chimică, inclusive țevi sudate
X 75, X 80 SR EN ISO 3183:2013	Produse plate laminate la cald Produse tubulare	Țevi și conducte pentru industria petrolieră, chimică, inclusive țevi sudate

1.4. Compoziții chimice și caracteristici mecanice ale oțelurilor folosite la fabricarea conductelor magistrale

Compozițiile chimice și caracteristicile mecanice ale principalelor oțeluri utilizate la fabricarea conductelor magistrale sunt prezentate în tabelele 1.2. și 1.3.

Tabelul 1.2. Compozițiile chimice ale oțelurilor pentru conductelor magistrale [7]

Marca de oțel	Compoziția chimică, %			
	C	Mn	S	P
Grad A	0,28	max. 0,90	max. 0,030	max. 0,030
Grad B		max. 1,20		
X 42		max. 1,30		
X 46, X 52, X 56, X 60		max. 1,40		
X 65		max. 1,45		
X 75		max. 1,65		

Caracteristicile mecanice ale principalelor oțeluri utilizate la fabricarea conductelor magistrale sunt prezentate în tabelul 1.3.

Tabelul 1.3. Caracteristicile mecanice ale oțelurilor pentru conductelor magistrale [8]

Marca de oțel	Caracteristici mecanice			
	R _{p02} , MPa	R _m , MPa	A ₅ , %	KV, min J
Grad A	min. 207	min. 331	(*)	-
Grad B	min. 241	min. 414	(*)	(**)
X 42	min. 290	min. 414		
X 46	min. 317	min. 434		
X 52	min. 359	min. 455		
X 56	min. 386	min. 490		
X 60	min. 414	min. 517		
X 65	min. 448	min. 531		
X 75	min. 483	min. 565		

Notă: (*) - se determină cu formula $A_5 = 1942,57 \times S / R_m$, unde S este grosimea componentelor; (**) - se stabilește la comandă.

1.5. Caracteristicile utilizării oțelurilor

Principalele caracteristici de utilizare ale acestor oțeluri sunt:

- *Caracteristicile mecanice de rezistență* - limita de curgere și rezistența la rupere - în funcție de care se definesc mărcile de oțel și se stabilesc tensiunile admisibile de calcul ale construcțiilor și structurilor sudate.

În legătură mai mult sau mai puțin strânsă cu acestea, sunt și alte caracteristici ca de exemplu: rezistența la oboseală și rezistența la uzură;

- *Caracteristicile de sudabilitate*, considerate atât în ce privește aspectul tehnologic al facilității în execuție, cât și cel al siguranței față de ruperea fragilă prin gruparea produselor în clase de calitate.

- *Caracteristicilor tehnologice* unde sunt incluse și caracteristicile de rezistență la acțiunea agenților chimici exteriori, atât de diverși ca natură, concentrație și mod de interacțiune cu metalul. Răspunderea producătorului pentru asigurarea calității se concretizează în stabilirea și

respectarea în fabricație a unor soluții tehnologice omologate, dar și în verificarea încadrării produselor realizate în condițiile tehnice precizate în normele de livrare.

În strânsă legătură cu aceasta se situează răspunderile proiectantului, constructorului și beneficiarului construcției pentru valorificarea corectă a caracteristicilor de utilizare ale materialului și realizarea de ansamblu a condițiilor de ordin tehnic și economic impuse construcției sau structurii sudate.

1.6. Comportarea la sudare a oțelurilor

În conformitate cu prevederile STAS 7194 – 79 [9], comportarea la sudare sau sudabilitatea reprezintă capacitatea unui oțel ca printr-un anumit procedeu și pentru un anumit scop să asigure, în îmbinările sudate, caracteristicile locale și generale prescrise pentru o construcție sudată. Ea poate fi apreciată prin complexitatea precauțiilor care sunt necesare la realizarea îmbinărilor sudate. [9] Comportarea la sudare este influențată de:

- materialul de bază;
- tehnologia de sudare;
- concepția construcției sudate.

Considerând legătura dintre două din cele trei elemente menționate, rezultă alte noțiuni care completează definiția sudabilității și anume:

- comportarea metalurgică la sudare - definită ca reacția materialului de bază față de acțiunea unui anumit proces de sudare, acțiune localizată în zona de influență termică și în zona de trecere;
- comportarea tehnologică la sudare - definită ca posibilitatea de a se realiza îmbinări printr-un anumit procedeu de sudare, în vederea realizării anumitor cerințe;
- comportarea constructivă la sudare - determinată de capacitatea de a realiza o structură sudată dintr-un anumit material care să funcționeze corespunzător în condiții de exploatare.

Referitor la aceste noțiuni derivate se pot face următoarele precizări:

1. *Comportarea metalurgică la sudare* a unui material este cu atât mai bună cu cât factorii de material au o influență mai mică la stabilirea tehnologiei de sudare pentru o anumită structură sudată.

Aceasta depinde de grosimea materialului de bază și este influențată de: compoziția chimică; structura metalurgică și însușirile fizice.

2. *Comportarea tehnologică la sudare* se apreciază prin ansamblul caracteristicilor care se obțin la îmbinările sudate obținute cu o tehnologie dată.

Aceasta depinde de: pregătirea pentru sudare (procedeu de sudare, materiale de adaos, tipuri de îmbinări, preîncălzire, precauții legate de mediul ambiant), realizarea îmbinărilor sudate (cantitatea de căldură introdusă, modul de introducere a ei în piesă, ordinea de sudare) și de tratamentul termic post sudare. Ea este cu atât mai bună cu cât factorii tehnologici intervin mai puțin la proiectarea unei structuri sudate dintr-un anumit material de bază.

3. *Comportarea constructivă la sudare* este cu atât mai bună cu cât factorii constructivi intervin mai puțin la alegerea materialului de bază în condițiile unei anumite tehnologii de sudare.

1.7. Comportarea metalurgică la sudare a oțelului X 52

Din categoria de oțeluri mai sus menționate, s-a ales spre exemplificare oțelul X52. Estimarea comportării metalurgice la sudare a unui anumit material de bază se face cu ajutorul unui ansamblu de încercări și anume:

- ✓ încercări pentru caracterizarea materialului de bază;
- ✓ încercări pentru aprecierea transformărilor din zona influențată termic;
- ✓ încercări pentru evaluarea factorilor fragilizanți.

Materialul de bază trebuie să fie cunoscut sub aspectul compoziției chimice, structurii metalografice, caracteristicilor mecanice și însușirilor fizice. [10]

Compoziția chimică arată din ce elemente chimice este compus materialul respectiv cât și conținutul în procente al fiecărui element. Comportarea la sudare este apreciată pe baza noțiunii de carbon echivalent (Ce). Cu cât un oțel are un carbon echivalent mai redus, cu atât el prezintă o comportare la sudare mai favorabilă.

Structura metalografică se determină prin analiză microscopică, ea depinde de compoziția chimică și oferă informații referitoare la:

- ✓ componentele structurale, cantitatea lor, mărimea granulației, defectele de structură;
- ✓ incluziunile, segregările, structurile dentritice de turnare, structurile specifice de laminare.

Caracteristicile mecanice sunt condiționate de compoziția chimică și de structura metalografică. Trebuie determinate cel puțin următoarele caracteristici: [11]

- ✓ limita de curgere, $R_{p0,2}$;
- ✓ rezistența la rupere, R_m ;
- ✓ alungirea, A_5 ;
- ✓ contracția transversală, Z ;
- ✓ energia de rupere, KV ;
- ✓ unghiul de încovoiere statică, α .

În Tabelul 1.4. sunt prezentate caracteristicile mecanice ale principalelor oțelurilor utilizate la fabricarea conductelor magistrale

Tabelul 1.4. 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 - 2000	-	min. 241	min. 413	-	-
	Determ. exp.	Longitudinal	372	494	27	69
			307	462	28	70
		Transversal	332	493	27	65
			330	500	28	63
X 52	API 5L - 2000	-	min. 358	min. 455	-	-
	Determ. exp.	Longitudinal	393	548	20	44
			396	548	20	45
		Transversal	395	547	25	61
			372	551	24	62
X 60	API 5L - 2000	-	min. 413	min. 517	-	-
	Determ. exp.	Longitudinal	505	660	25	52
			501	660	26	57
		Transversal	490	648	26	61
			488	645	24	59
X 75	API 5L - 2000	-	min. 448	min. 530	-	-
	Determ. exp.	Longitudinal	491	592	23	48
			499	590	25	49
		Transversal	502	580	25	61

--	--	--

Înșușirile fizice ale unui material de bază sunt: temperatura de topire, conductibilitatea termică și coeficientul de dilatare termică.

1.8. Analiza metalografică a oțelului X52

Din materialul de bază, X52, au fost extrase epruvete pentru analiza metalografică din zona influențată termic. Rezultatele obținute în cadrul laboratorului de încercări au fost comparate cu cele din materialele de bază și centralizate în figurile 1.3. – 1.12., astfel:

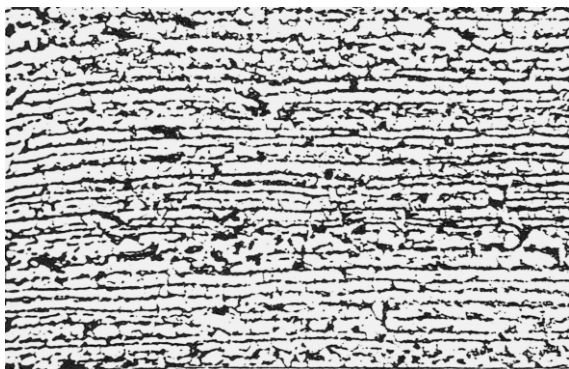


Fig. 1.3 Microstructură 100 x, MB: X 52.

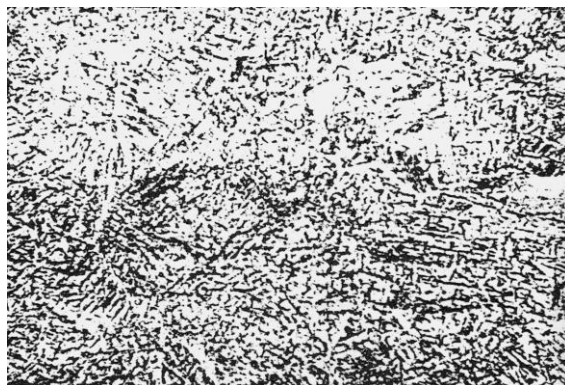


Fig. 1.4 Microstructură 100 x, ZIT: X 52,
 $T_V = 1300^{\circ}\text{C}$, $E_l = 10500 \text{ J/cm}$.

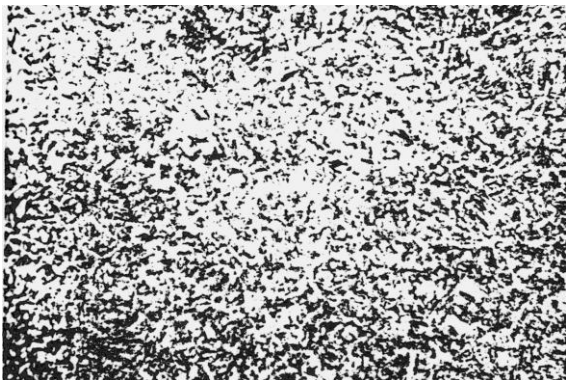


Fig. 1.5. Microstructură 100 x, ZIT: X 52,
 $T_V = 1200^{\circ}\text{C}$, $E_l = 10500 \text{ J/cm}$.

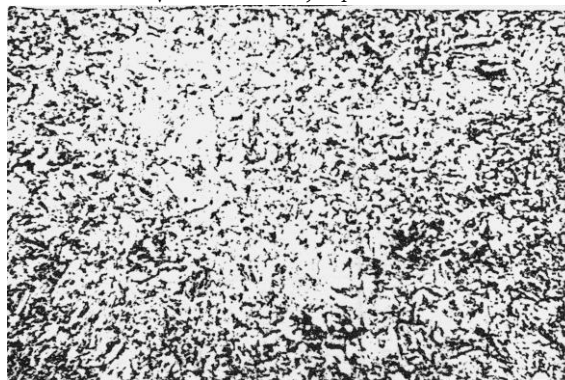


Fig. 1.6. Microstructură 100 x, ZIT: X 52,
 $T_V = 1100^{\circ}\text{C}$, $E_l = 10500 \text{ J/cm}$.

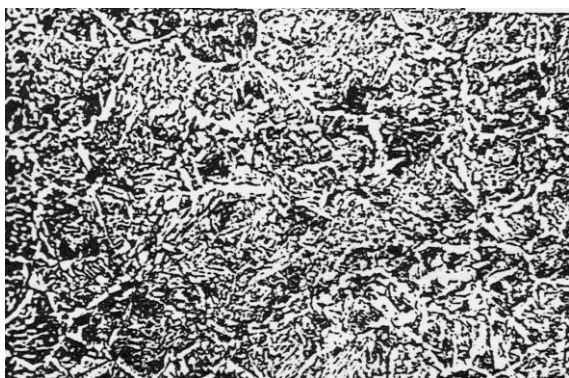


Fig. 1.7. Microstructură 100 x, ZIT: X 52,
 $T_V = 1300^{\circ}\text{C}$, $E_l = 25000 \text{ J/cm}$.

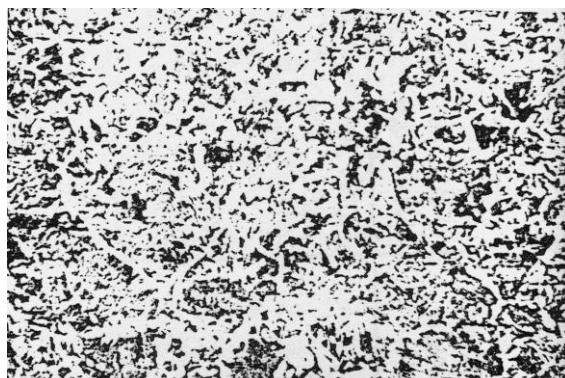


Fig. 1.8. Microstructură 100 x, ZIT: X 52,
 $T_V = 1200^{\circ}\text{C}$, $E_l = 25000 \text{ J/cm}$.

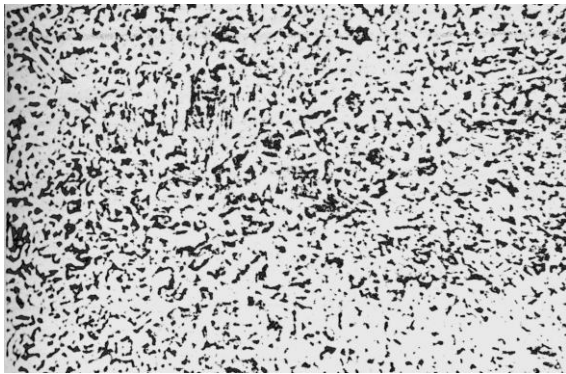


Fig. 1.9. Microstructură 100 x, ZIT: X 52,
 $T_V = 1100^{\circ}\text{C}$, $E_l = 25000 \text{ J/cm}$.

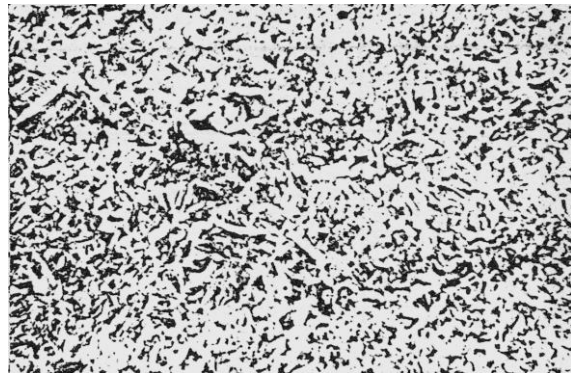


Fig. 1.10. Microstructură 100 x, ZIT: X 52,
 $T_V = 1300^{\circ}\text{C}$, $E_l = 35000 \text{ J/cm}$.

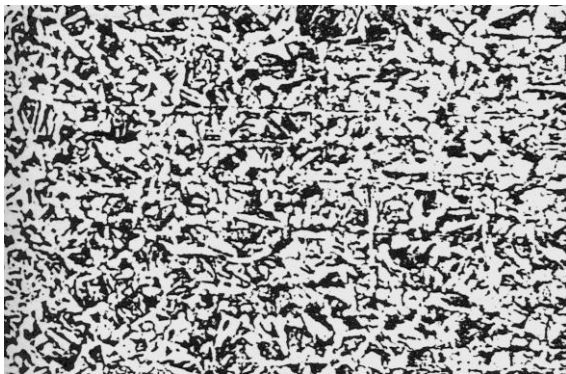


Fig. 1.11. Microstructură 100 x, ZIT: X 52,
 $T_V = 1200^{\circ}\text{C}$, $E_l = 35000 \text{ J/cm}$.

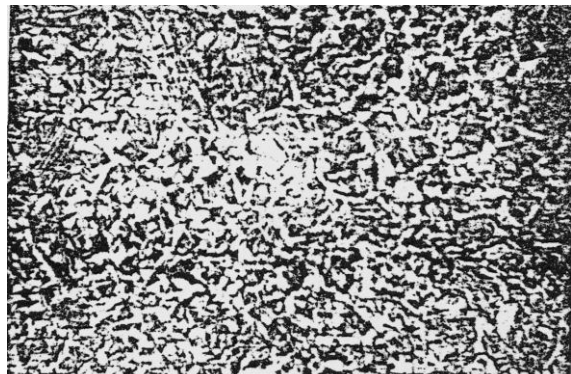


Fig. 1.12. Microstructură 100 x, ZIT: X 52,
 $T_V = 1100^{\circ}\text{C}$, $E_l = 35000 \text{ J/cm}$.

1.9. Concluzii:

- ✓ Au fost analizate diversitatea de oțeluri utilizate la construcția conductelor magistrale, caracteristicile specifice ale acestora, conform normativelor internaționale în vigoare;
- ✓ S-a prezentat oțelul X52, asupra căruia s-au îndreptat cercetările efectuate în cadrul lucrării, cu date privind caracterizarea acestuia din punct de vedere al caracteristicilor mecano - metalografice specifice, impuse de normativelor internaționale;
- ✓ oțelul X52 prezintă în structura sa ferită și perlită în șiruri cu o proporție între constituenți de aproximativ 20/80 %;
- ✓ zona influențată termic rezultată în urma simulării are o structură formată în general din perlită, ferită în rețea ferită aciculară și bainită pentru epruvetele simulate la o energie liniară de 10.500 J/cm, energie liniară corespunzătoare sudării manuale cu electrod învelit. Pentru epruvetele simulate la energii liniare caracteristice sudării sub strat de flux (25.000 J/cm, respectiv 35.000 J/cm) zona influențată termic are structura formată din perlită, ferită în rețea și ferită aciculară.

CAPITOLUL 2

PROCEDEE DE SUDARE APLICATE LA FABRICAREA CONDUCTELOR MAGISTRALE

2.1. Avantajele și dezavantajele realizării prin sudare a conductelor magistrale

Fabricarea conductelor magistrale din oțel prin sudare s-a extins mult în perioada ultimilor ani, îndeosebi în țările dezvoltate din punct de vedere industrial, ca urmare a *avantajelor* pe care le prezintă în raport cu fabricarea țevelor fără sudură și anume: [12]

- consumul de metal este mai redus;
- productivitatea mai mare;
- greutatea utilajului raportată la capacitatea de producție este de circa 2 - 3 ori mai mică;
- se pot obține conducte magistrale cu dimensiuni mai precise (toleranțe mai restrânse) și cu grosimea peretelui mai mică în raport cu diametrul;
- liniile tehnologice de conducte magistrale sudate se pretează la un înalt grad de mecanizare și automatizare;
- prețul de cost al conductelor magistrale sudate este mai scăzut față de cel al țevelor fără sudură.

Dintre *dezavantaje*, se pot menționa următoarele: [12]

- posibilitatea de a obține conducte magistrale sudate cu bune rezultate tehnice și economice numai din anumite mărci de oțeluri, cu conținuturi de carbon, elemente de aliere, sulf și fosfor limitate;
- dificultatea fabricării conductelor magistrale sudate cu pereți groși (în raport cu diametrul);
- contraindicarea folosirii conductelor magistrale sudate pentru condiții grele de exploatare.

Cu toate aceste dezavantaje, avantajele menționate anterior explică faptul că din producția mondială de țevi din oțel, circa 50 % reprezintă țevile sudate, inclusiv în țările mai dezvoltate cum sunt SUA și Japonia.

2.2. Clasificarea țevelor sudate

Clasificarea țevelor sudate se poate face după forma cordonului de sudură, după forma secțiunii și după dimensiuni. [13]

1. După forma cordonului de sudură, țevile sudate pot fi:

- sudate longitudinal (pe generatoare);
- sudate elicoidal (în spirală).
- sudate orbital;
- trase (seamless).

2. După forma secțiunii, țevile sudate pot fi:

- cu secțiunea rotundă;
- cu secțiunea pătrată sau dreptunghiulară;
- cu secțiuni de alte forme decât cele de mai sus.

3. După dimensiuni, țevile sudate se clasifică în:

- mici, cu diametrele de (5...89) mm;
- mijlocii, cu diametrele de (89...219) mm;
- mari, cu diametrele de (219...3.000) mm.

Țevile sudate longitudinal, de dimensiuni mici și mijlocii, pot fi trase ulterior la rece, obținându-se astfel țevi de precizie trase la rece.

Țevile sudate din oțeluri aliate se supun tratamentelor termice prescrise (țevile de cazane, țevile pentru industria petrolieră, etc).

De asemenea, țevile sudate care se utilizează la presiuni mai înalte (peste 25 atm), se supun tratamentului termic de normalizare, fie integral, fie numai în zona sudată, cu ajutorul inductoarelor liniare, prin curenți de înaltă și medie frecvență. [14]

2.3. Domenii de utilizare a țevelor sudate

Țevile sudate din oțel se utilizează în cea mai mare parte ca țevi de instalații, pentru transportul fluidelor cu acțiune corozivă normală (apă, gaze) etc, dar și în construcțiile metalice, construcțiile de mașini (auto, mașini agricole, pentru aspersiune, etc) sau în industria chimică și petrolieră pentru anumite condiții de exploatare. De asemenea, țevile sudate și trase la rece se folosesc ca țevi de precizie (pentru biciclete, motorete, aparatură, etc). [14]

În ultima perioadă s-a dezvoltat producția de țevi sudate în concurență cu țevile fără sudură laminate la cald. Dintre acestea se pot menționa țevile pentru construcția cazanelor de aburi, a schimbătoarelor de căldură și a altor recipiente cu condiții grele de exploatare, respectiv pentru presiuni și temperaturi ridicate, conform standardelor DIN, ASTM, etc, din oțeluri carbon și aliate de cazane. De asemenea, țevile pentru conducte și burlane de tubaj conform standardelor API, inclusiv din oțeluri slab aliate.

2.4. Metode de sudare a țevelor

Formarea semifabricatelor de țevi poate fi realizată în funcție de metoda de sudare, la temperatura mediului ambiant (formarea la rece) sau cu încălzire prealabilă a metalului (formarea la cald). Metodele de sudare ale țevelor sunt următoarele: [15]

- Sudare prin presiune
 - Sudare prin presiune la rece
 - Sudare prin frecare
 - Sudare prin forjare
 - Sudare cu gaze prin presiune
 - Sudare electrica prin presiune
 - Sudare prin presiune cu arc electric
 - Sudare prin difuzie
- Sudare prin topire
 - Sudare prin topire sub strat de flux
 - Sudare cu gaz
 - Sudare cu fascicul de electroni
 - Sudare cu arc electric
 - Sudare cu radiații luminoase

2.5. Principiul procedurii sudării sub strat de flux

Datorită geometriei dar și dimensiunilor specifice ale conductelor magistrale, din categoria procedeele de sudare prin topire ce se utilizează la fabricarea lor se distinge un procedeu de bază, de mare productivitate și anume sudarea sub strat de flux. Aceasta este o metodă automatizată de sudare prin topire, unde învelișul pulverulent existent pe suprafața electrodului este înlocuit de o pulbere fină, denumită flux, care se presară înainte de trecerea electrodului pe suprafața materialului.

Electrodul de sudare poate fi sub formă de sârmă sau bandă, ceea ce determină tipul variantei de sudare, conform clasificării SR ISO 4063-92. Arcul electric este realizat între electrod și piesa metalică fiind protejat de un strat de flux, toate variantele de sudare fiind mecanizate [16].

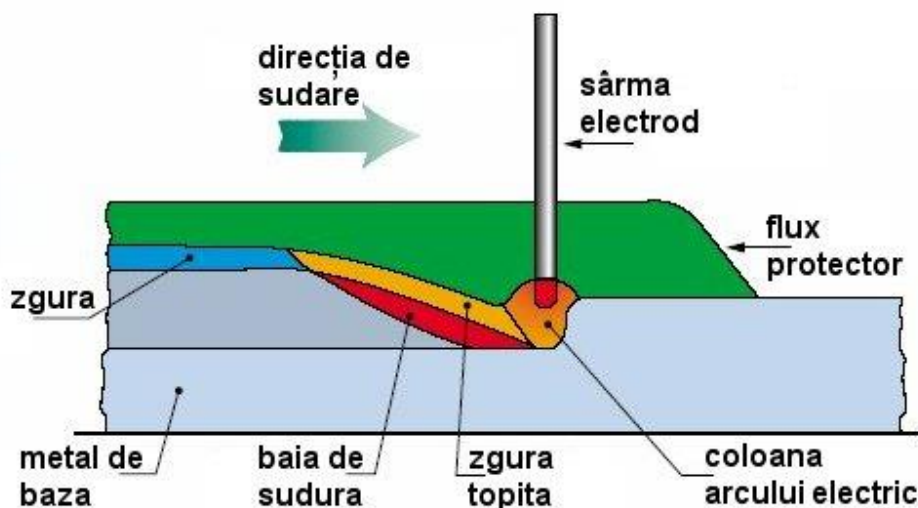


Fig. 2.1. Principiul procedurii sudării sub strat de flux [17]

Sârma electrod este condusă de un mecanism cu role antrenat de un motor electric, iar la contactul electrodului cu piesa metalică se inițiază arc electric ce arde sub stratul protector de flux. Parametrii de productivitate a acestui procedeu de sudare depind în principal de viteza de avans a sârmei electrod, respectiv de viteza de avans a tractorului de sudare. Densitatea de curent este cuprinsă între 25 și 100 A/mm² sudarea fiind posibilă atât în curent continuu cât și în curent alternativ.

Deasupra băii metalice se formează un strat topit de flux care asigură reacțiile metalurgice dintre baia de sudare și flux, realizându-se concomitent dezoxidarea și alierea băii metalice. În coloana arcului electric se degajează o cantitate mare de gaze ce formează o cameră sub stratul de flux, dar care sunt evacuate ușor datorită permeabilității ridicate la gaze a stratului de flux. La sudarea sub strat de flux, arc electric arde între electrodul fuzibil, de obicei sub forma de sarmă, și piesa de sudat, arc electric și zona sudurii fiind acoperite de un strat protector de flux. Amorsarea arcului electric se face prin atingerea sârmei de piesă. Este posibilă, de asemenea, sudarea semimecanizată, varianta care, însă, în prezent nu se mai utilizează decât în situații foarte rare. Sudarea poate fi realizată în curent continuu sau curent alternativ, sursa de sudare având caracteristica externă rigidă sau coborâtoare. În funcție de caracteristica sursei, reglarea procedurii de sudare se face prin sistem exterior sau interior (autoreglare). Datorită rapidității procesului de reglare mai ales în cazul folosirii unor sârme cu diametru sub 4 mm, se preferă folosirea surselor cu caracteristică rigidă și, deci, cu autoreglare a arcului. Sursele moderne de sudare permit însă exploatarea în ambele situații, deci atât cu caracteristică rigidă, cât și cu caracteristică coborâtoare. [18]

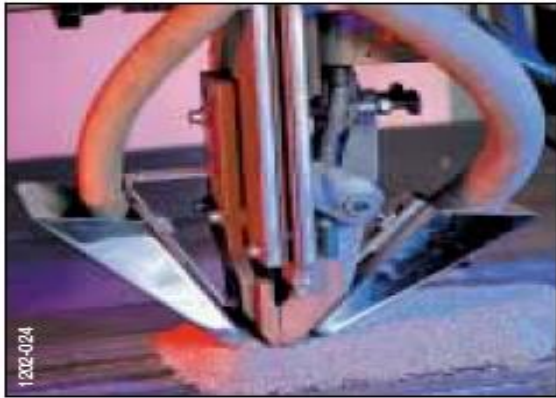


Fig. 2.2. Sudare sub strat de flux [18]

2.6. Echipamente și accesorii utilizate la sudarea sub strat de flux



Fig. 2.3. Sârmă pentru sudura sub strat de flux [19]

Fig. 2.4. Flux [20]

Sudarea sub strat de flux se remarcă prin următoarele caracteristici:

- calitatea sudurii foarte bună independentă de îndemânarea operatorului;
- existența posibilității de aliere a cusăturii prin sârmă și/sau flux;
- grad înalt de utilizare a materialului de adaos;
- posibilitatea de automatizare a procesului;
- lipsa necesității de protecție a vederii operatorului
- degajare de fum foarte redusă.

Sudarea se realizează aproape exclusiv în poziție orizontală. În cazul luării unor măsuri de precauție suplimentară poate fi efectuată și în poziție orizontală pe perete vertical. Aplicarea sudurii sub strat de flux necesită o instalație de sudare complexă. După sudare este necesară îndepărtarea zgurii. Prin contaminarea fluxului există pericolul de producere a unor defecte de sudare. Sudarea sub strat de flux se pretează pentru realizarea unor îmbinări de grosimi relativ mari, cu acces ușor la locul sudurii. Pot fi sudate oțeluri carbon, slab aliate sau aliate. Procedul nu se aplică la sudarea fontei, metalelor neferoase sau reactive. Grosimea minimă sudabilă sub strat de flux este de circa 2 mm. [20]

În tabelul 2.1. se indică domeniile în care sunt plasați parametrii de sudare:

Tabel 2.1. Parametrii de sudare

Parametrii de sudare	Domenii de valori
Curentul de sudare	200 – 1400 A
Tensiunea arcului electric	25 - 45 V
Viteza de sudare	15 - 200 cm/min

Procedeul de sudare sub strat de flux se aplică în sudarea îmbinărilor de formă liniară sau circulară, de lungimi relativ mari în poziție orizontală, în diverse domenii industriale, dintre care se remarcă fabricația de recipiente sub presiune și conducte, industria navală, construcțiile metalice.



Fig.2.5. Țevi roluite sudate longitudinal [21]

2.7. Posibilități de realizare prin sudare a conductelor magistrale

În general conductele magistrale realizate prin sudare se pot fabrica fie prin **sudare pe generatoare**, fie prin **sudare elicoidală**. [22]

2.7.1. Sudarea pe generatoare a conductelor magistrale

În acest caz se disting două situații:

- sudarea pe o singură generatoare;
- sudarea pe două generatoare.

2.7.2. Sudarea elicoidală a conductelor magistrale

În cazul realizării conductelor magistrale prin sudare elicoidală, schema procesului tehnologic de fabricație se compune în principal din:

- rulouri de table;
- sistem de derulare și îndreptare a tablelor roluite;
- sistem de îndreptare a marginilor cu curățătoare tip ghilotină;
- formarea țevii într-o matriță cu role prin împingerea benzii cu ajutorul unui dispozitiv special, acesta determinând și viteza de sudare;
- în timp ce țeava se formează în matriță se execută și sudarea interioară (sudare sub strat de flux pentru grosimi mari, respectiv MIG/MAG pentru grosimi mai mici);
- la ieșirea din matriță țeava este formată, adusă la diametrul prescris și datorită sudurii interioare este stabilită ca formă și dimensiuni;
- la exterior țeava se sudează cu două - trei arce sub flux în funcție de grosimea peretelui;
- control TVX - RX;
- proba hidrostatică.

Important pentru fabricarea conductelor prin sudare elicoidală este unghiul α format între tabla care urmează a fi formată și axa verticală. Mărimea acestui unghi este dată de relația:

$$\sin \alpha = \frac{B}{D}, \text{ unde } B \text{ este lățimea tablei, iar } D \text{ este diametrul exterior al conductei.}$$

În figura 2.6. se prezintă modul de dispunere al capetelor de sudare în raport cu axa țevii.

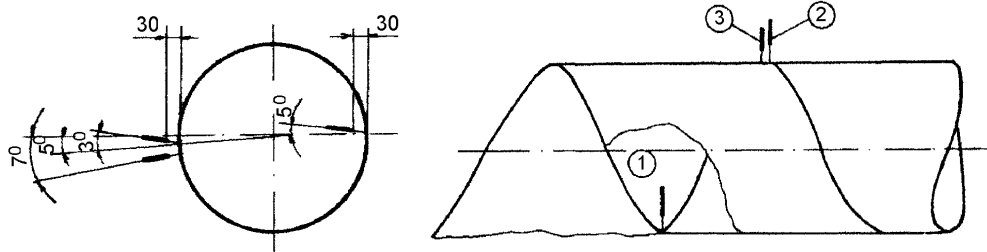


Fig. 2.6. Modul de dispunere a capetelor de sudare în raport cu axa țevii.

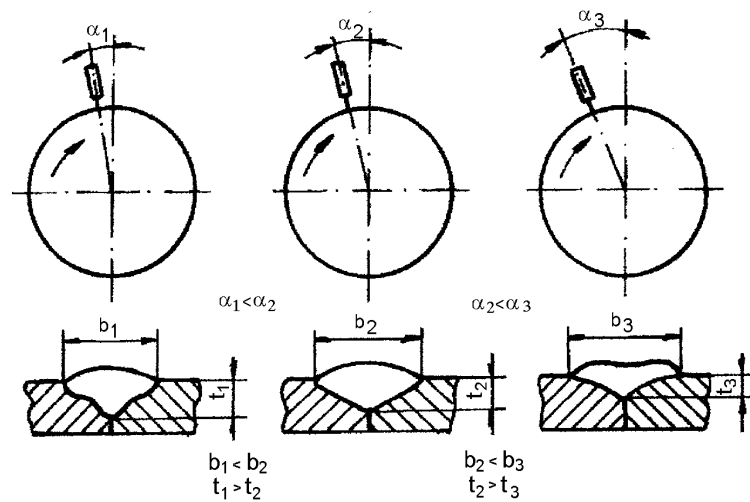


Fig. 2.7. Influența unghiului de înclinare a capului de sudare față de axa țevii (α) asupra pătrunderii (t) și lățimii (b).

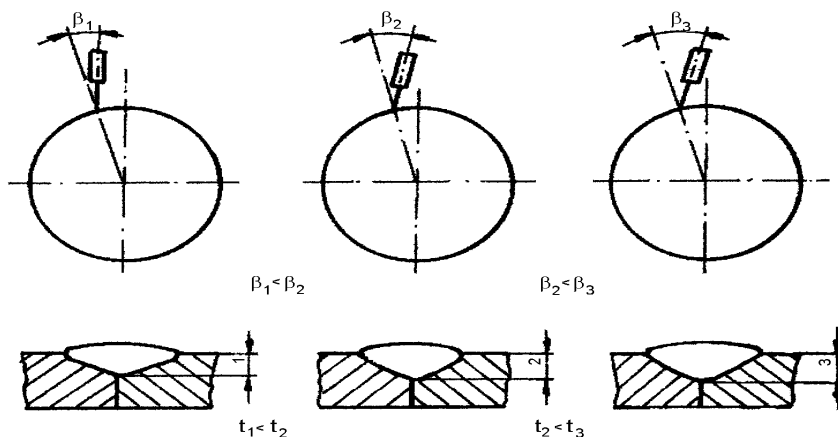


Fig. 2.8. Influența unghiului de înclinare a capului de sudare în raport cu direcția de sudare (β) asupra pătrunderii (t).

S-au executat suduri folosind diverși parametri de sudare și diferite moduri de amplasare a capetelor de sudare față de axa țevii. În urma acestor experimentări a rezultat:

➤ prin mărirea unghiului de înclinare a capetelor de sudare exterioare față de axa țevii (unghiul α) scade patrunderea (t) și se mărește lățimea sudurii (b) așa cum reiese din figura 2.7;

- prin mărirea unghiului de înclinare a capetelor de sudare în raport cu direcția de sudare (unghiului β) crește pătrunderea (t) așa cum rezultă din figura 2.8;
- sudând cu viteza de sudare și tensiunea arcului constante, prin mărirea curentului de sudare crește pătrunderea așa cum se vede din figura 2.9;
- sudând cu viteză și curent constante, supraînălțarea sudurii scade odată cu creșterea tensiunii arcului, așa cum reiese din figura 2.10.

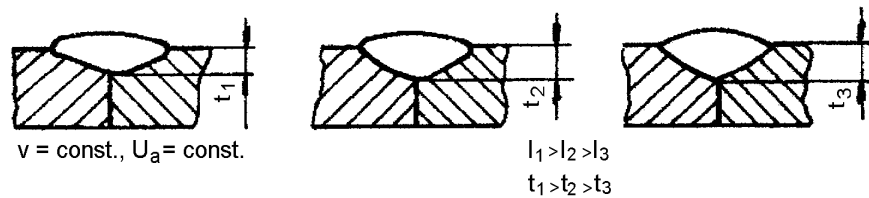
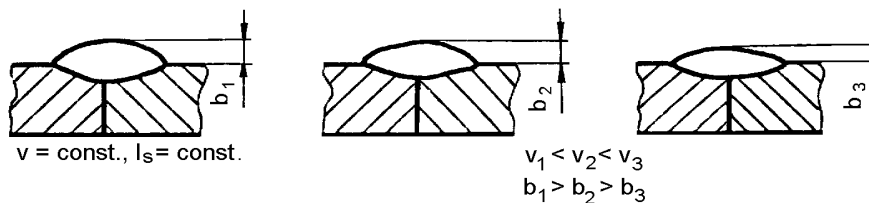


Fig. 2.9. Influența curentului de sudare (I_s) asupra pătrunderii (t) în condițiile [22]



$v_s = \text{constant}$ și $U_a = \text{constant}$.

Fig. 2.10. Influența tensiunii arcului (U_a) asupra supraînălțării (b) în condițiile

$v_s = \text{constant}$ și $I_s = \text{constant}$.

În general procesul de sudare, la conductele magistrale realizate prin sudare elicoidală se desfășoară ca și la sudarea longitudinală.

2.8. Scurtarea și prelucrarea marginilor la sudarea conductelor magistrale

Țevile sosesc de la producător cu capetele prelucrate oxigaz sau mecanic în vederea sudării la montaj pe șantier. La realizarea conductelor magistrale intervin de cele mai multe ori tronsoane mai scurte, coturi și teuri. În acest caz, este necesară scurtarea și prelucrarea tronsoanelor de țevă în vederea sudării în condiții de șantier. [23]



a



b

Fig. 2.11. Scurtarea și prelucrarea manuală oxigaz (a) și cu plasmă de aer (b) a tronsoanelor de țevă. [23]

Această operație se realizează prin procedeele oxigaz sau cu plasmă de aer, în variantă manuală, semimecanizată sau mecanizată. În cazul scurtării și prelucrării manuale a tronsoanelor de țevă, indiferent de procedeul adoptat, calitatea suprafeței depinde în mare măsură de îndemânarea operatorului (fig. 2.11).

Acest neajuns este înlăturat prin folosirea dispozitivelor semimecanizate sau mecanizate orbitale (fig. 2.12 - 2.13). Aceste dispozitive se fixează (centrează) direct pe țevă și la o singură fixare, se realizează scurtarea, prelucrarea cât și sudarea propriu-zisă cap la cap. Ele pot fi echipate cu arzătoare oxigaz, pistolete de tăiere cu jet de plasmă sau pistolete de sudare MIG - MAG.

Aceste dispozitive orbitale sunt prevăzute cu lanțuri cinematice de tip pinion-cremalieră, pinionul fiind antrenat în mișcare de rotație de către un motor de curent alternativ sau de curent continuu.

La dispozitivele orbitale acționate cu motoare de curent alternativ, reglarea vitezelor de tăiere/sudare se realizează cu ajutorul lîrelor cu roți de schimb, pentru fiecare viteză fiind necesare două roți dințate. [22]

La cele acționate cu motoare de curent continuu, reglarea vitezelor de tăiere/sudare se realizează cu ajutorul unui potențiomtru.



Fig. 2.12. Scurtarea și prelucrarea semimecanizată orbitală oxigaz a tronsoanelor de țevă. [23]

Cele mai productive sunt dispozitivele orbitale acționate cu motoare de curent continuu, prevăzute cu pistolete de tăiere cu jet de plasmă și pistolete de sudare MIG - MAG.



Fig. 2.13. Scurtarea și prelucrarea mecanizată orbitală oxigaz a tronsoanelor de țevă. [24]

Formele și dimensiunile rosturilor în cazul sudării cap la cap prin topire, dintr-o singură parte, ale țevelor de oțel, sunt reglementate de STAS 12255 – 1984.

2.9. Sudarea cap la cap a conductelor magistrale

2.9.1. Criterii tehnico - economice de selecție a procedeelor de sudare cap la cap a conductelor magistrale

Principalele criterii tehnico-economice pe care trebuie să le îndeplinească un procedeu de sudare utilizat în acest domeniu sunt următoarele:

- să asigure suduri de calitate înaltă în cele mai dificile poziții de sudare (PE- peste cap, PF- vertical ascendentă, PG- vertical descendentă și K-L00- orbitală);
- să permită utilizarea unor regimuri de sudare cât mai productive, indiferent de dificultatea poziției de sudare aplicate;
- să asigure o pătrundere completă a stratului de rădăcină prin sudare dintr-o singură parte (din exterior), deoarece resudarea la interior este posibilă numai la diametre cu valori peste 1.000 mm;
- 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 câmp liber);
- productivitatea procedurii 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 conductelor mari pot fi utilizate următoarele procedee de sudare, simbolizate conform STAS ISO 4063 - 1992: [25]

- 111- sudarea manuală cu arc electric cu electrod învelit;
- 135- sudarea cu arc electric în mediu de gaz protector cu sârmă plină;
- 136- sudarea cu arc electric în mediu de gaz protector cu sârmă tubulară;
- 141- sudarea cu arc electric în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil de W;
- 121- sudarea sub strat de flux cu electrod sârmă.

Comparând modul de îndeplinire al criteriilor impuse, se constată faptul că cele mai avantajoase procedee de sudare sunt sub strat de flux (121) și MIG - MAG cu sârmă plină (135) și cu sârmă tubulară (136).

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

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 procedeele de sudare 135, 136 și 141 se pot utiliza atât manual cât și semiautomat, 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.

Din acest motiv, considerăm că selecția procedurii de sudare mecanizată prin pendulare este soluția cea mai recomandată.

Selecția între cele două procedee de sudare în mediu de gaz protector, care au cea mai mare eficiență economică (135 și 136), trebuie făcută prin compararea avantajelor și dezavantajelor fiecăruia.

Principalele avantaje ale procedurii de sudare cu sârmă tubulară (136) față de cel cu sârmă plină (135) sunt:

➤ productivitatea superioară cu 50 %, datorită ratei de depunere prin sudare care, la sârmele tubulare este mai mare decât la cele pline, așa cum rezultă dintr-un studiu realizat de firma ELGA din Suedia;

➤ posibilitatea utilizării unor regimuri de sudare mai intensive în pozițiile cele mai dificile de sudare, datorită micșorării pericolului de curgere a băii de sudură, prin susținerea ei de către zgura cu solidificare rapidă;

➤ calitatea sudurii este net superioară, datorită dublei protecții a băii de sudură (gaz de protecție și zgură).

Singurul dezavantaj al procedeului de sudare cu sârmă tubulară este prețul sârmei tubulare, care este de trei ori mai mare decât prețul sârmei pline.

Datorită avantajelor mult mai mari, procedeul de sudare în mediu de gaz protector cu sârmă tubulară este cel mai utilizat pe plan mondial la sudarea mecanizată multistrat cu pendulare și în curent pulsant a conductelor mari de petrol și gaze naturale.

2.9.2. Sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți și sudarea MAG

În trecut, la noi în țară, sudarea cap la cap de prindere a conductelor magistrale de petrol și gaze naturale se realiza prin procedeul electric manual cu electrod învelit, Fig. 2.14., cu unu (a), doi (b) sau patru sudori simultan, însă în prezent sudarea la rădăcină pe exterior se realizează prin procedeul de sudare MAG, iar la interior și exterior automat sub strat de flux, prin care se realizează retopirea parțială a stratului de rădăcină. [26]

În figurile 2.15 - 2.16 sunt prezentate tipurile de îmbinări cap la cap realizate prin sudare electrică MAG. Se va asigura un decalaj de (30 - 50) mm între începutul unui strat și sfârșitul celui precedent.

Eventualele defecte se vor înlătura și repara înaintea aplicării stratului următor.

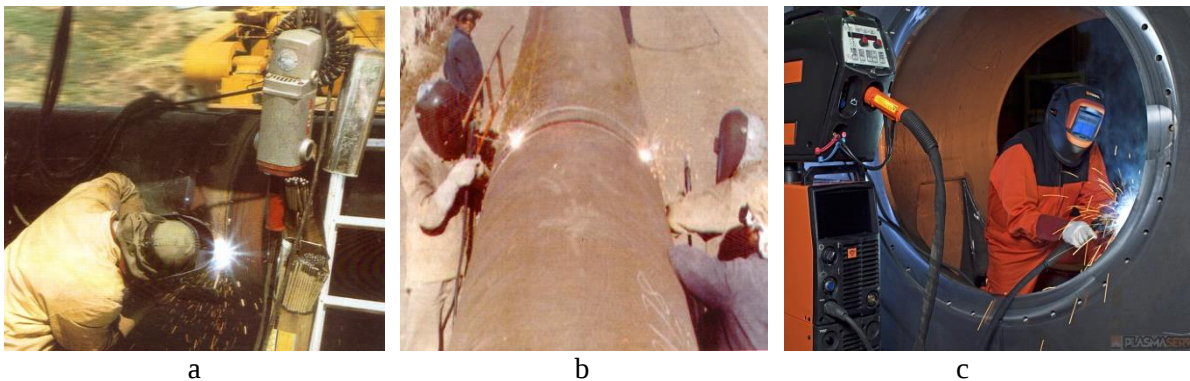


Fig. 2.14. Sudarea electrică manuală cu electrod învelit a conductelor magistrale: a- cu un sudor; b- cu doi sudori; c- sudare MAG.

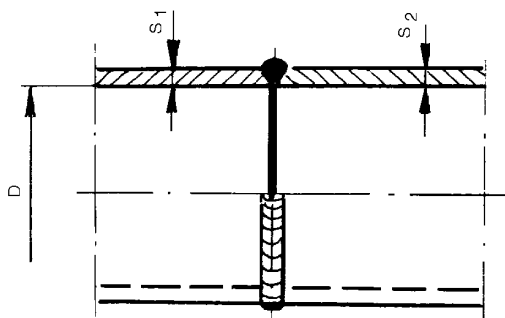


Fig. 2.15. Îmbinare sudată cap la cap.

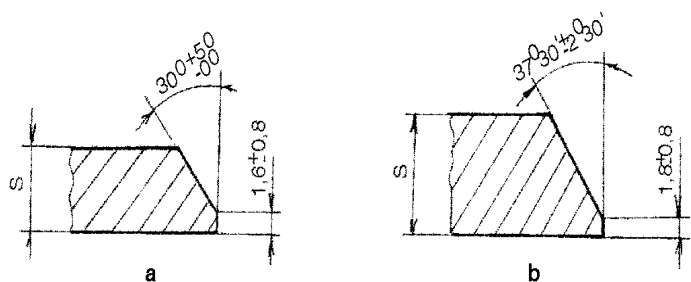


Fig. 2.16. Sanfren în V cu fațetă frontală executată mecanic: a- frecvent; b- opțional ($S \leq 22$ mm).

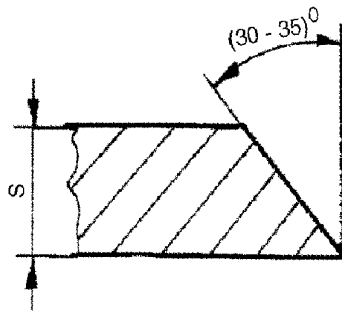


Fig. 2.17. Sanfren în V cu fațetă frontală executată oxiacetilenic.

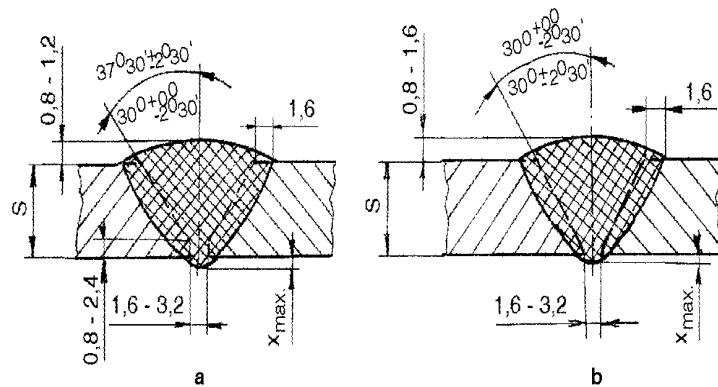


Fig. 2.18. Detalii de sudură cap la cap a țevelor: a- $x_{max} = 1,5$ mm pentru țevi cu $D_n \leq 50$ mm; b- $x_{max} = 3$ mm pentru țevi cu $D_n > 50$ mm.

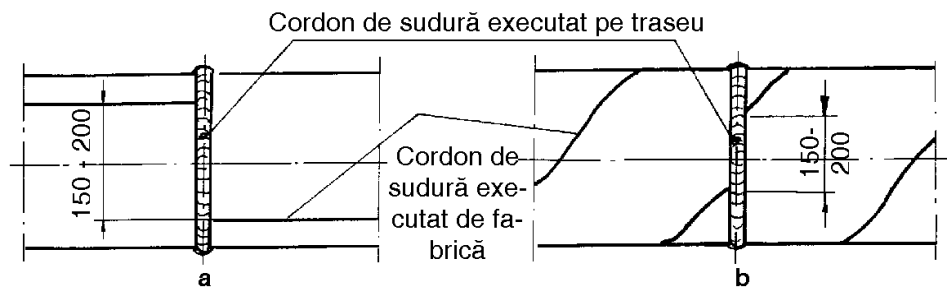


Fig. 2.19. Îmbinarea țevelor sudate: a- țevi sudate longitudinal; b- țevi sudate elicoidal.

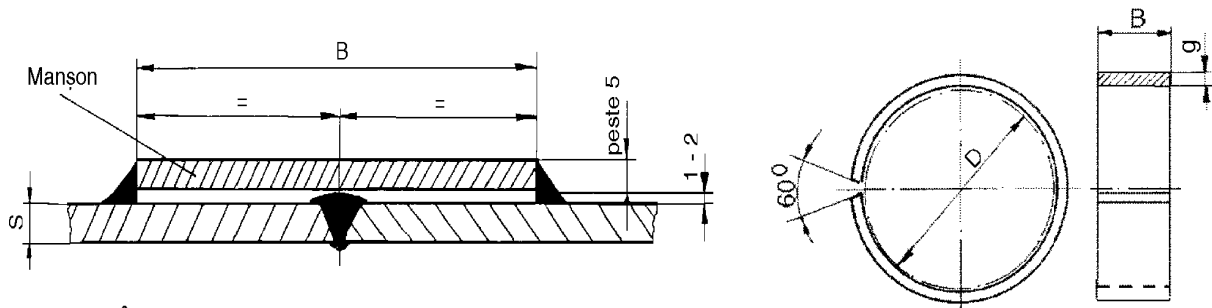


Fig. 2.20. Îmbinare cap la cap a țevelor cu manșon de întărire.

Fig. 2.21. Manșon de întărire.

Dacă se folosesc electrozi celulozici pentru sudarea primului strat, acesta se va realiza fără pendularea electrodului. Dacă se folosesc electrozi bazici, primul strat se va executa cu o ușoară pendulare a electrodului. Straturile 2, 3 și 4 se vor executa în ambele cazuri cu pendularea electrodului.



Fig. 2.22. Montarea conductelor magistrale. [27]

În figura 2.22. sunt prezentate imagini din timpul montării în condiții de șantier a conductelor magistrale de petrol și gaze naturale. [28]

2.10. Concluzii

În acest capitol s-a făcut analiza privind procedeul de sudare actual utilizat la fabricarea conductelor magistrale de mare productivitate și anume sudarea automată sub strat de flux (SAF), precum și procedeul de sudare cu electrozi înveliți și sudarea MAG.

Atât procedeul de sudare sub strat de flux cât și sudarea MAG au cea mai mare aplicabilitate în industrie, aplicându-se în regim automat de lucru, cu o flexibilitate deosebit de ridicată, permițând realizarea unei game largi de configurații constructive ale sistemului de sudare.

Sudarea automată sub strat de flux prezintă uneori restricții privind poziția de sudare - procedeul SAF putând fi aplicată pentru sudarea orizontală, aplicându-se la majoritatea materialelor metalice, cu excepția aluminiului, cu grosimi cuprinse într-o gamă foarte largă în intervalul 2-300 mm;

Firmele specializate în fabricarea de echipamente de sudare sub flux de mare productivitate, multi arc, livrează la ora actuală o gamă largă de echipamente integrate, specializate.

CAPITOLUL 3

STUDIU DE CAZ PRIVIND REMEDIEREA DEFECTELOR ÎNTÂLNITE LA TABLELE GROASE

3.1 Caracterizarea defectelor

1. ÎNGUST AJUSTAT = un defect de tăiere pe lățimea tablei, care apare în urma unor erori de măsurare.



Fig.3.1. Îngust ajustat

Tabel 3.1. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele defectului:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimină prin:
Marcaj necorespunzător	Verificarea atentă a marcajului	Nu se poate elimina defectul
Eroare de măsură operator	Verificarea prin măsură a cel puțin 3 table.	

2. ABATERI GROSIME = un defect dimensional care constă în ieșirea din toleranțele admise de normă, pozitive sau negative.



Fig.3.2. Abateri de grosime

Tabel 3.2. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele defectului:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimină prin:
Nerespectarea laminării	Respectarea schemei de laminare	Nu se poate elimina defectul

Încălzirea defectuoasă a slebului	Încălzirea corespunzătoare a slebului	Observație! Dacă tabla nu se poate reîncadra, se încadrează ca NCO abateri grosime
Nefuncționarea mașinii de măsurat grosime	Funcționarea mașinii de măsurat grosime	
Măsurare manuală greșită (compas decalibrat)	Instrumente de măsură de pe paturi calibrate	
Instrumente de măsură de pe paturi necalibrate	Măsurare manuală corectă	

3. AȘCHII = un defect de suprafață care constă în exfolieri ale suprafeței tablei.



Fig.3.3. Așchii

Tabel 3.3. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele defectului:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimină prin:
Turnare la temperaturi diferite (întreruperea turnării)	Respectarea temperaturii de turnare	Tăiere
Nerespectarea compoziției chimice	Respectarea compoziției chimice prescrise pentru calitatea oțelului	Polizare fără ieșire din toleranțe

4. CRĂPĂTURI = separări de material, neregulate, aflate în tablă.



Fig.3.4. Crăpături

Tabel 3.4. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele producerii defectului:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimina prin:
Defectele din oțel (sufluri, retasuri, porozități, segregări, incluziuni, crăpături interne),	Respectare instrucțiune de lucru (IL) de încălzire a bramelor în cuptoare.	Identificare la controlul vizual pe flux.
Tensiuni interne din încălzire a bramei;	Respectare IL de laminare;	Marcare cu cretă a locului defectului
Tensiuni interne din laminare (temperaturi pe trecerile de reducere grosime, grad de reducere pe trecere, schema de laminare necorespunzătoare)	Respectare schemă de laminare a tablei;	Polizare crăpături fără ieșire din toleranță;

5. **TREPTE** = un defect de ajustare longitudinală caracterizată printr-o variație a lățimii tablei fără a exista corespondență între cele două margini.


Fig.3.5. TrepTE

Tabel 3.5. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele producerii defectului:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimina prin:
Reglarea necorespunzătoare a distanței între cuțitele de tăiere.	Efectuarea reglajului corespunzător a ecartamentului între cuțite.	Tăiere → dacă se află pe șutaj (cap, coadă)
Necorelarea vitezei motoarelor de lucru a foarfecii.	Verificarea uzurii cuțitelor de mărunțire.	Prin polizare fără ieșire din toleranțe
Abatere de la alinierea tablei față de ghidajul fix al foarfecii	Respectarea vitezei motoarelor principale.	

6. SCURT AJUSTAT = un defect de divizare pe lungimea tablei care apare în urma unor erori de măsurare.



Fig.3.6. Scurt ajustat

Tabel 3.6. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele defectului:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimina prin:
Opritorul mobil uzat.	Eliminarea uzurilor apărute la sistemul opritorul mobil	Nu se poate elimina defectul
Marcaj necorespunzător		
Eroare măsură operator		

7. DETERIORĂRI AGREGAT = este constituit din deformări mecanice locale mai mult sau mai puțin pronunțate ale marginilor tablei. Aceasta modifică forma sau dimensiunile tablei, fără a desprinde material din el, și numai prin influența unor mișcări interioare sau exterioare.

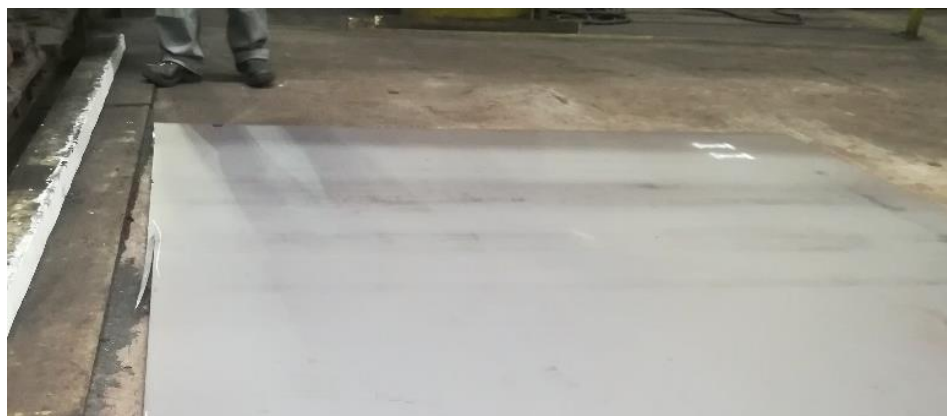


Fig.3.7. Deteriorări agregat

Tabel 3.7. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele producerii defectului:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimina prin:
Blocaj la utilajele de procesare din sector ajustaj, paturi de răcire, căi cu role, stivuitoare, răsturnătoare.	Un procent de minim 90% a lanțurilor funcționale.	Sudura numai la normele care acceptă, după care se va poliza fără a intra în toleranțele admise a tablelor.
	Reglarea curbei de tăiere a forfecelor.	Planarea este un alt mod de eliminare a defectului
	Șutajul marginal să nu fie > 25mm/ pe o latură a tablei.	Sudura numai la normele care acceptă, după care se va poliza.

8. DISCONTINUITĂȚI = sunt fisuri înguste și izolate, apărute din loc în loc pe suprafața tablei având lungimi diferite și direcții variate față de sensul de laminare.

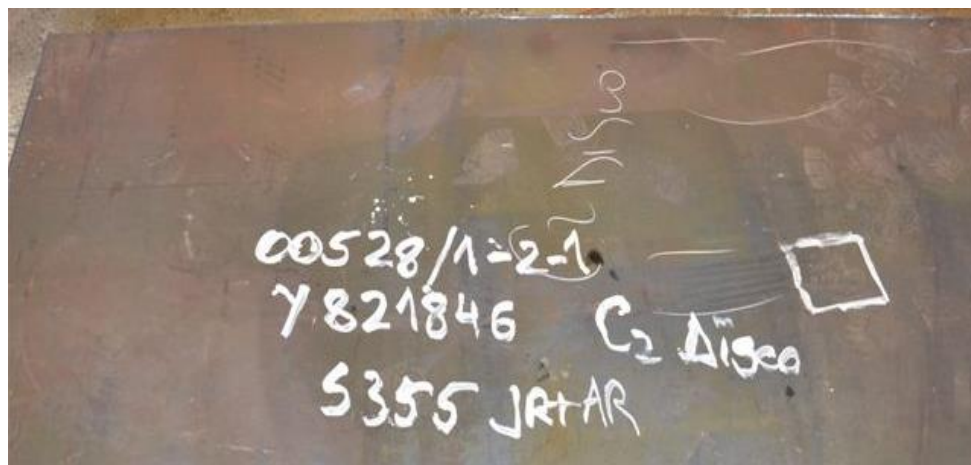


Fig.3.8. Discontinuități

Tabel 3.8. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele defectului:	Eliminarecauzelor	Eliminare :
Fisurile transversale de pe suprafața bramei de proveniență a tablei.	Evitarea formării tensiunilor termice produ-se la preîncalzirea bramei;	Inspectare suprafeței tablei;
	Respectarea parametrilor de încălzire a bramei în cuptoarele cu propulsie;	Marcare cu cretă a discontinuităților;
	Reducerea vitezei de răcire în cursul procesului de laminare al tablei.	Înlăturare cu ajutorul polizoarelor cu piatră sau bandă abrazivă.

9. ÎMPĂTURIRI = un defect de suprafață ce constă în suprapunerea capului sau a cozii tablei



Fig.3.9. Împăturiri

Tabel 3.9. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele defectului:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimină prin:
Lovirea de capătul liniarului	Atenție sporită a operatorului la liniare	Tăiere

10. IMPRIMĂRI = constau în amprente cave prin apăsare și apare periodic sau neregulat pe lungimea și lățimea produsului laminat.



Fig.3.10. Imprimări

Tabel 3.10. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele defectului:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimină prin:
Din 3 în 3m: cilindrii de laminare	Măturarea impurităților de pe tablă	Incărcare prin sudură (dacă norma permite)
Din 2 în 2 m: traibăre	Verificarea și schimbarea cilindrilor de laminare sau a setului de role de la mașina de planat	Polizare
Din 300 mm în 300 mm: de la mașina de planat	Polizare rolă	
Neregulat: de la magneți, stivuire necorespunzătoare și cupatoare cu propulsie	Verificare și polizare magneți	

11. MARGINI NATURALE = sunt un defect de suprafață care constă în marginea reieșită direct din laminare fără posibilitate de tăiere.



Fig.3.11. Margini naturale

Tabel 3.11. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele defectului:	Eliminarea cauzelor:	Eliminare prin:
Nefuncționarea sistemului de măsură de lățime brama și a liniarelor 14 G1 si G2	Asigurare funcționare sistem Trilas și a paralelismului liniarelor 14 G1 si G2	Polizare fără ieșire din toleranțe
Greșeala operator: lipsă reducere corespunzătoare pe o trecere și centrare a bramei	Atenție sporită operator la lățimea din programul de laminare	Ajustare cu flacără oxigaz
Laminare tip "seceră",	Verificarea coroaiei bramei,	

“butoi” și “os”	tablei și a paralelismului la caja finisoare	
Suprapunere datorită încălzirii neuniforme a bramei	Încălzirea uniformă a bramei	
Centrare necorespunzătoare a tablei la PC 19 și PC 20	Centrare corespunzătoare a tablei la PC 19 și PC 20	
Cuțite uzate		

12. ONDULAȚII = reprezintă un defect ce constă în abaterea de la planeitate a tablei.



Fig.3.12. Ondulații

Tabel 3.12. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauze:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimina prin:
Încălzirea necorespunzătoare a bramelor	Încălzirea corespunzătoare a bramelor	Reîncălzirea în cuptorul de tratament
Nerespectarea temperaturii de sfârșit de laminare și a temperaturii de planare	Respectarea temperaturii de sfârșit de laminare și a temperaturii de planare	Replanare
Nerespectarea reducerilor pe trecerile de laminare	Respectarea reducerilor pe trecerile de laminare	
Paralelismul necorespunzător al cajei	Paralelismul corespunzător al cajei	

13. SECERĂ = un defect care constă în curbarea tablei spre stânga sau spre dreapta sensului de laminare. Este produs la Linia de Laminare, în special de la caja finisoare.



Fig.3.13. Seceră

Tabel 3.13. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele defectului:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimina prin:
Paralelism necorespunzător al cajei	Calibrarea cajei	Divizarea tablei-mamă în table- fiice și tăierea separată a tablei- fiică
Încălzire necorespunzătoare a bramei	Încălzirea corespunzătoare a bramelor în cuptoare în funcție de calitatea și dimensiunea bramei	Tăierea cu flacără oxigaz (dacă șutajul pe partea cu secera este foarte mic)
Deschidere/închidere lineale de ghidare nereglate	Reglarea corespunzătoare a linealelor de ghidare	

14. ZGÂRIETURI = un defect de suprafață care constă în urme închise sau deschise care apar la contactul tablei cu utilaje fixe sau în mișcare.


Fig.3.14. Zgârieturi

Tabel 3.14. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauze:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimină prin:
Role blocate cu depunere de material → fata 2	Mentenanța proactivă	Polizare fără ieșire din toleranțe
Plăci de acoperire nealiniat	Inspecția la fața 2	
Așezare incorectă a tablei pe răsturnător	Așezarea corectă a tablei în răsturnător	
Depuneri de material pe rolele de la mașina de planat (cu rola blocată)	Evitarea depunerilor de material pe rolele de la mașina de planat	
Deschiderea necorespunzătoare a cutitelor de la foarfeci	Deschiderea corespunzătoare a cutitelor de la foarfeci	
Stare necorespunzătoare a brațelor răsturnătorului	Stare corespunzătoare a brațelor răsturnătorului	

15. DEFORMĂRI DIN MANIPULARE = un defect de suprafață care constă în zgârieturi, lovituri sau ondulații ale tablei, observate la inspecția vizuală din Expediție.

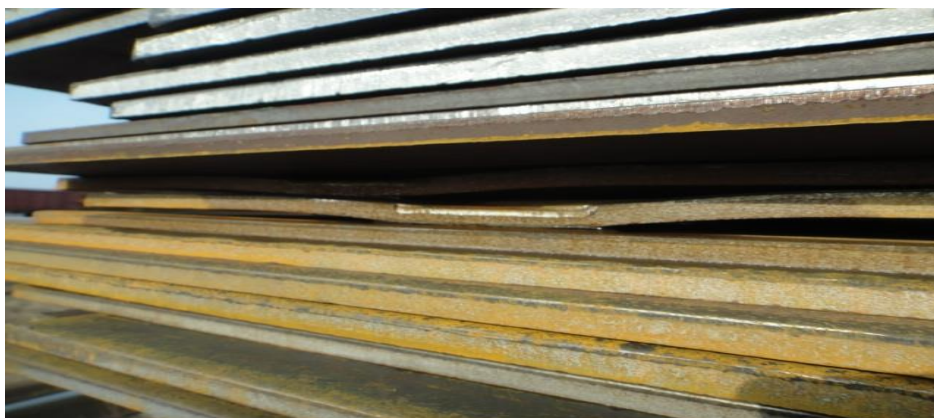


Fig.3.15. Deformări din manipulare

Tabel 3.15. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele producerii defectului:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimină prin:
Mod de prindere al tablei defectuos cu podul rulant	Atenție sporită a macaragiului la modul de prindere și manevrare al tablei	Planare
Ondulații (pe paturile de răcire) care agață în gratarul patului de răcire	Stivuirea separată a tablelor cu ondulații (pentru planare)	Debitare pe paturile de răcire dacă toleranța permite
Grătare nealiniat (paturi de răcire)	Aliniere sistematică a grătarelor	Planare
Mod de încărcare necorespunzător pe auto/tren	Sincronizare între sortator, macaragiu- încărcător	Debitare pe paturile de răcire dacă toleranța permite
Posibila stare necorespunzătoare a răsturnătorului	Îmbunătățire permanentă a stării tehnice a răsturnătorului	

16. PETE DE ULEI = defecte de suprafață apărute în urma neetanșeităților la utilajele de procesare și a podurilor rulante.



Fig.3.16. Pete de ulei

Tabel 3.16. Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Cauzele producerii defectului:	Eliminarea cauzelor:	Defectul se elimina prin:
Cilindri uzați	Schimbarea cilindrilor uzați	stergerea locala a tablei cu solvent.
Reductoare neetanșe	Etanșarea reductoarelor.	
Furtune sparte	Completarea cu cuve de reținere ulei, și golire lor la timp	
Lipsă cuve de reținere ulei	Schimbarea cilindrilor uzați	

3.2. Remedierea defectelor

Studiu de caz: Imprimările și remedierea acestora

Imprimările sunt defecte întâlnite la tablele groase, ce constau în amprente cave prin apăsare, ce apar periodic sau neregulat atât pe lungimea cât și pe lățimea produsului laminat.


Fig. 3.17. Imprimări în tablă

Cauzele defectului pot fi multiple: pornind de la cilindrii de laminare, la traibăre, până la cuțitele de la mașina de debitat. Eliminarea defectului se poate face prin verificarea și schimbarea cilindrilor de laminare sau a setului de cuțite de la mașina de debitat. Acest defect poate fi și remediat prin încărcare cu sudură și apoi polizare, asta în cazul în care norma permite; În cazul în care norma permite, tabla este dată jos de pe calea cu role cu ajutorul unei macarale urmând să se acționeze asupra ei. Expertul din zonă cheamă sudorul, și astfel se încarcă imprimarea din tablă. Ca și procedeu de sudare, se folosește sudarea electrică, și anume sudarea manuală cu electrozi înveliți.

Pentru a exemplifica întregul proces de remediere, am ales o tablă cu dimensiunile de 30x2000x12000 din oțel S355J2+N, N însemnând normalizare.

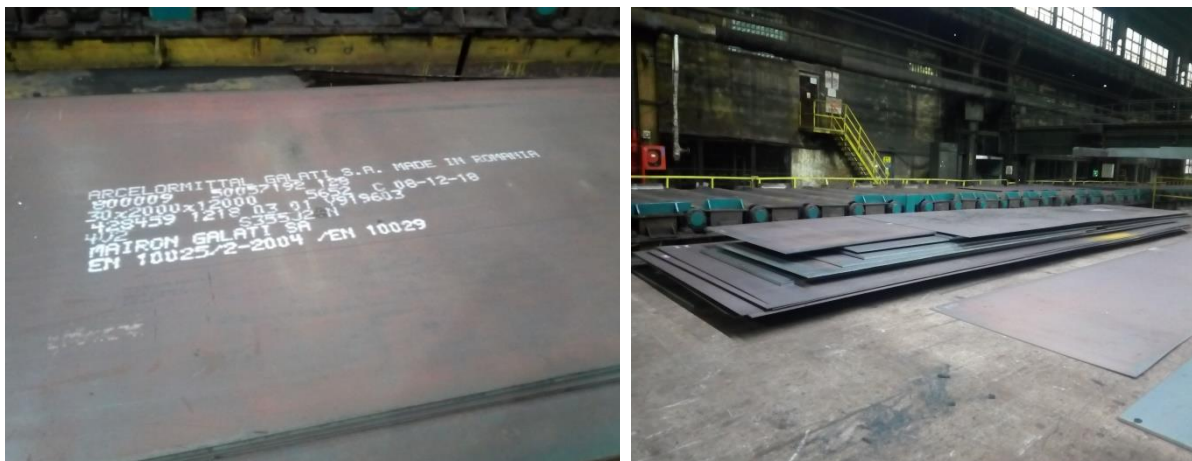


Fig. 3.18. Tablă groasă

Marca de oțel carbon S355J2 are o rezistență medie și o bună sudabilitate dar și o bună tenacitate. În Figura 3.3, sunt prezentate două table cu imprimări.



Fig. 3.19. Imprimări în tabla groasă

Imprimarea existentă într-o tablă este remediată, dacă norma permite, prin încărcare cu material de adaos, Fig. 3.20.



Fig. 3.20. Umplerea imprimărilor prin sudură cu material de adaos

După umplerea imprimării cu material de adaos, urmează polizarea. Polizarea este acțiunea în urma căreia se îndepărtează surplusul de material de adaos existent, conform Fig.3.21. Acesta se face cu ajutorul unui aparat de polizat ce utilizează piatră sau șmirghel ca și consumabil.

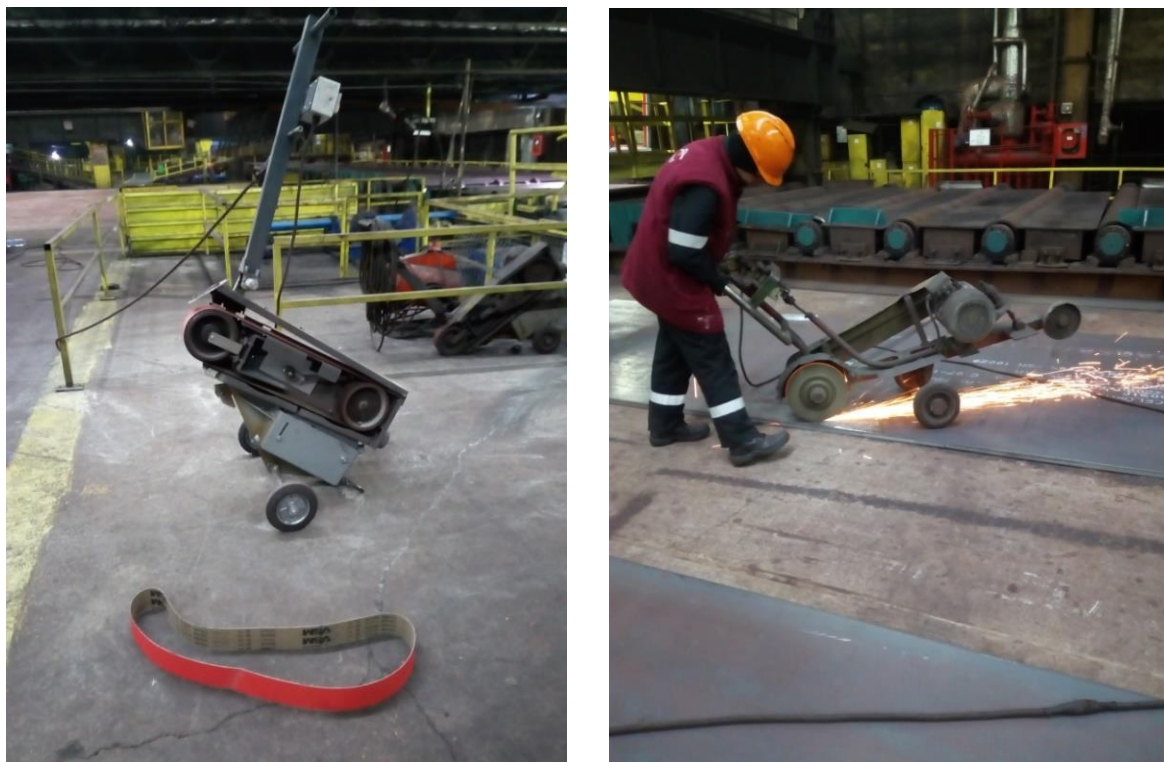


Fig.3.21. Polizarea tablelor

În final, după polizare, tabla ajunge să arate conform Figurii 3.22. , urmând să se facă din nou măsurarea de către operator, pentru a vedea dacă grosimea tablei a rămas în toleranțe.





Fig. 3.22. Tablă polizată

Dacă tabla nu a fost polizată bine și a ieșit din toleranțe, aceasta va fi dată ca defect imprimat C2, conform Fig. 3.23. În cazul în care tabla a fost polizată bine, ea va fi dată pe calea cu role până în Expediție, de unde va pleca spre client, Fig.3.24.



Fig. 3.23. Tablă cu defect C2



Fig. 3.24. Tablă acceptată

3.3. Concluzii

Având în vedere că în combinat fluxul este unul semiautomatizat, produsele finite pot fi supuse erorilor fie din nepriceperea lucratorului fie din eroarea utilajului. Important este să se identifice corect tipul defectului rezultat, astfel încât să se ia măsurile corecte privind remedierea acestuia.

CAPITOLUL 4

METODE DE CONTROL NEDISTRUCTIV APLICATE ÎN CONTROLUL CONDUCTELOR MAGISTRALE

4.1. Generalități

Defectul unui material, al unei piese sau al unei îmbinări sudate reprezintă orice abatere de la formă, dimensiuni, masă, aspect, structură, compoziție chimică sau proprietăți mecanice și fizice prescrise în standarde, norme de produs sau în documentația de execuție. Defectele conduc în final la reducerea rezistenței mecanice a obiectului respectiv sau afectează în mod nefavorabil comportarea acestuia în exploatare. Clasificarea defectelor poate fi făcută din diferite puncte de vedere datorită diversității acestora ca formă, ca mărime, ca amplasare, ca natură și nu în ultimul rând ca mod de depistare, după cum se poate vedea în Fig. 4.1. [28]:

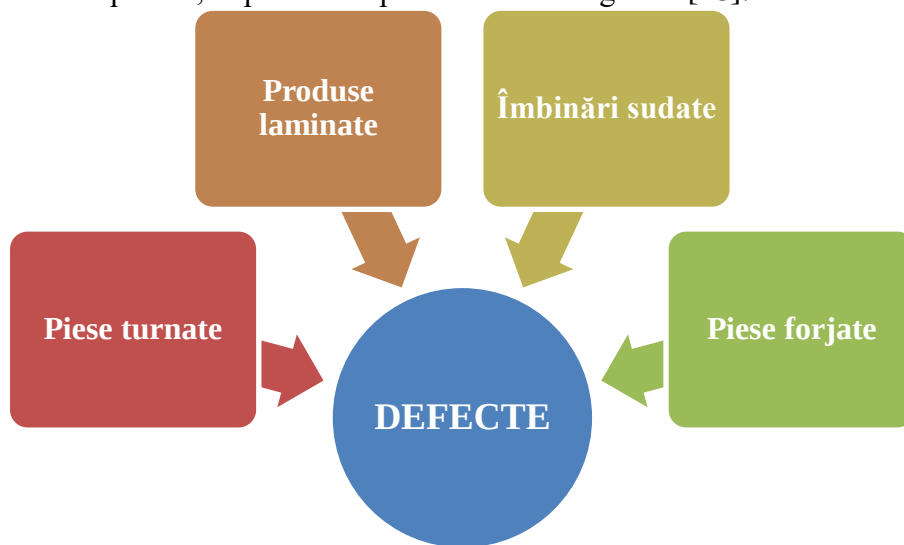


Fig. 4.1. Destinațiile defectelor [29]

Defectele îmbinărilor sudate sunt simbolizate, clasificate și descrise în STAS 7084/1-81 pentru îmbinările sudate prin topire, în STAS 7084/2-81 [30] pentru îmbinările sudate prin presiune și în STAS 12077-82 pentru îmbinările lipite. Defectele se clasifică în:

- Fisuri;
- Goluri;
- Incluziuni solide;
- Defecte de legătură (lipsă de topire, lipsă de pătrundere);
- Defecte de formă;
- Alte defecte.

Evidențierea tuturor defectelor impune și o diversitate a metodelor de control. Controlul nedistructiv, prescurtat NDT, reprezintă modalitatea de control al rezistenței unei structuri sudate, fără a fi necesară demontarea sau distrugerea acesteia. Controlul reprezintă un ansamblu de metode

ce permit caracterizarea stării de integritate a pieselor, a structurilor industriale, atât în decursul producției, cât și pe parcursul utilizării. [31]



Fig. 4.2. Control NDT în procesul de producție [32], [33]

4.2. Controlul vizual

Inspecția vizuală este cea mai utilizată metodă de control nedistructiv, fiind de obicei primul pas într-o examinare. Controlul este unul exterior simplu efectuat în toate situațiile chiar dacă urmează un control nedistructiv complex. Procedul este simplu dar indispensabil, examinarea vizuală însemnând evaluarea sistemelor și componentelor folosind sistemul senzorial uman: văz, auz, miros, pipăit. Ochiul uman are o precizie și o acuratețe mult mai mare decât o cameră video. Are o capacitate mare de focalizare, poate diferenția culori și nuanțe, și totodată este capabil să identifice dimensiuni, forme, texturi dar și diverse tipuri de discontinuități. Tot pentru controlul vizual se folosesc diferite ustensile optice precum: endoscop, lupe, oglinzi și lămpi.

Prin control vizual sunt comunicate o serie de indici legați de aspectul suprafeței metalului precum și estimarea unor defecte interne (recipiente metalice, butelii de gaze, conducte, și tuburi). Controlul vizual depistează defectele exterioare, în special defecte de formă specifice fiecărui tip de produs, în scopul remedierii acestora înainte de controlul final, nedistructiv. Odată cu controlul vizual, se pot determina și dimensiunile defectelor de îmbinare, grosimile recipientului sudat, și dimensiunile cordonului sudat [34].

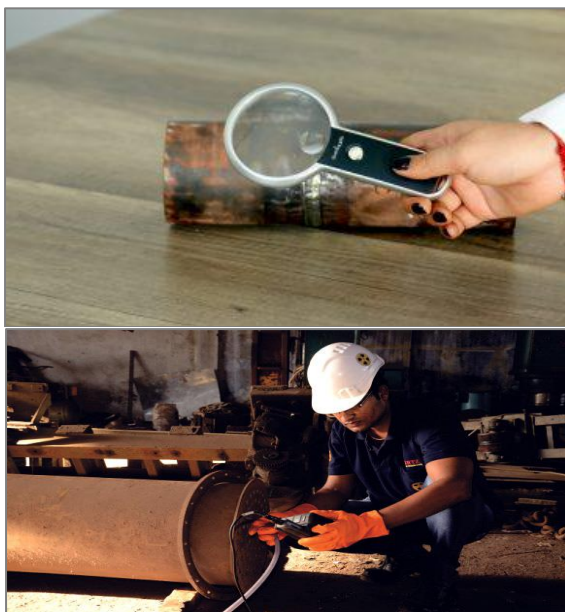


Fig. 4.3. Control vizual [35]

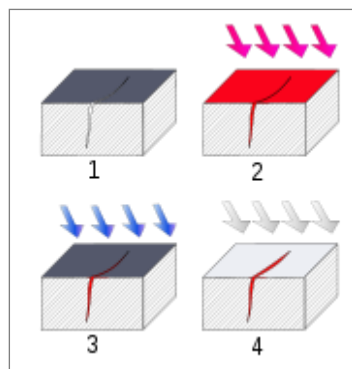
4.3. Control cu lichide penetrante

La originea acestui tip de control se află "petrolajul", una din cele mai vechi metode de control. Trucul constă în umectarea abundentă a suprafeței pieselor de controlat, lăsarea lor să se impregneze și apoi privirea suprafeței opuse. Dacă după câteva zeci de minute nu apar pete grase, se accepta piesa ca fiind bună, fără fisuri [36]. Metoda constă în aplicarea unui lichid capilar activ penetrant pe suprafața de examinare a piesei, apoi îndepărtarea penetrantului rămas în afara discontinuităților și aplicarea în cele din urmă a unui material absorbant, ce are capacitatea de a absorbi penetrantul aflat în discontinuități, punând astfel în evidență, prin contrast, defectele existente. Această metodă se aplică pentru depistarea defectelor de suprafață. După contrast, penetranții pot fi:

- PC - penetranți colorați, de regulă roșu aprins, ce conțin ca element de bază petrolul lampant și pigmentul colorat SUDAN3 sau SUDAN4 dizolvat în terebentină;
- PF – penetranți fluorescenți, având ca bază petrol lampant (75%) în care se adaugă ulei de aviație (25%).

Prin această metodă se pun în evidență fisurile de oboseală și de coroziune. Pentru controlul cu lichide penetrante trebuie inițial curățată și pregătită suprafața de examinare, etapă de care depinde sensibilitatea dar și însăși posibilitatea efectuării controlului. Suprafața trebuie să fie curățată de oxizi, zgură, stropi și în special de substanțe grase, pentru a rămâne fără impurități care să rețină penetrantul sau să obtureze defectele.

Una dintre principalele metode de pregătire a suprafețelor, de exemplu, este cea de curățare chimică prin decapare cu soluții acide adecvate materialului controlat. Operația completă constă în degresare-decapare-spălare cu apă-neutralizare-spălare cu apă și uscare. Metoda este aplicată cu succes îmbinărilor sudate, dar se poate face și înainte de sudură cu scopul de a efectua controlul tuturor suprafețelor înainte de a fi sudate [36].



- 1-Defect nevizibil
- 2-Aplicare penetrant
- 3-Îndepărtare exces penetrant
- 4-Defect vizibil

Fig. 4.4. Principiul controlului cu lichide penetrante [37]

În Figura 4.5 este prezentată examinarea cu lichide penetrante pe diferite îmbinări sudate.



Fig. 4.5. Examinare cu lichide penetrante [37], [38]

După efectuarea controlului cu lichide penetrante, suprafețele se curăță de developant și indicațiile date de penetrant prin ștergere cu o cârpă, prin spălare cu apă sau cu solvenți organici, după cum este cazul, în funcție de lichidele folosite.

4.4. Control ultrasonic

Metoda este bazată pe undele mecanice, pe ultrasunetele generate de un element piezo-magnetic având o frecvență cuprinsă de regulă între 2 și 5MHz. Controlul presupune transmiterea, reflexia, și absorbția unei unde ultrasonore ce se propagă în piesa de controlat. Fasciculul de unde emis se reflectă în interiorul piesei și pe defectele existente, după care revine către defectoscop care poate fi în același timp emițător și receptor. Poziționarea defectului se face prin interpretarea semnalelor.

Metoda prezintă avantajul de a găsi defectele în profunzime datorită rezoluției ridicate, însă este lentă datorită necesității de scanare multiplă a piesei. Uneori este necesară executarea controlului pe mai multe suprafețe ale aceleiași piese. Metoda de control prin ultrasunete este foarte sensibilă însă la detectarea defectelor netede. [39]



Fig. 4.6. Detectarea defectelor prin metoda de control NDT cu ultrasunete [39]

4.5. Control magnetic

Magnetizarea constituie elementul de bază al controlului. Trebuie să producem în interiorul materialului controlat un câmp magnetic cât mai intens. Metoda magnetografică folosește o bandă feromagnetică, flexibilă care se așează peste sudura ce trebuie examinată. Prin aplicarea unui scurt puls magnetic, prin intermediul unui acumulator ce magnetizează un jug, câmpurile de distorsiuni sunt puse în evidență prin imprimarea lor pe bandă. Banda este examinată cu ajutorul unui traductor magneto-electric, după forma indicațiilor putându-se aprecia natura defectelor din îmbinarea sudată. Echipamentul constă din jugurile pentru diferite geometrii ale îmbinărilor sudate, sursa de curent, banda feromagnetică, magneții de fixare ai benzii și traductorii magnetoelectrice [39].

Metode folosite la controlul magnetic:

- Magnetizare cu juguri;
- Magnetizare cu bobine;
- Magnetizare cu conductori;
- Magnetizare prin injecție de curent;
- Magnetizare prin inducție de curent.

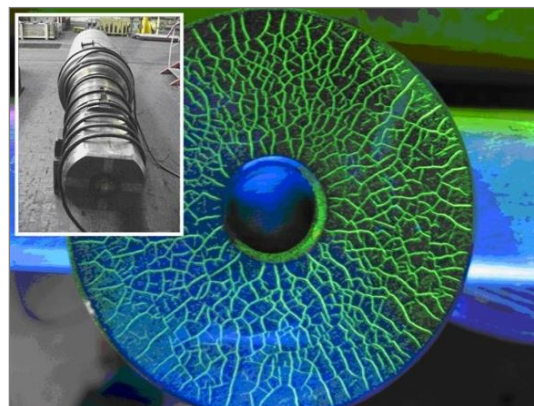
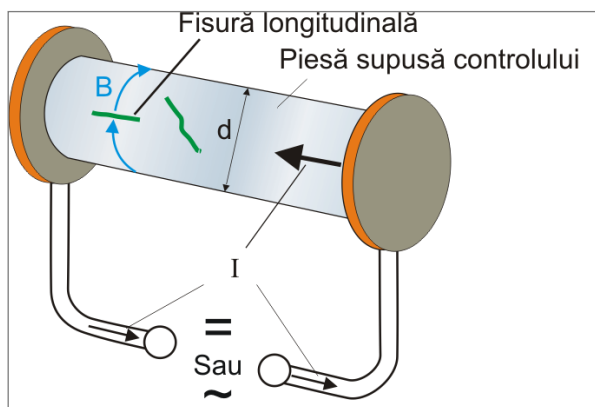


Fig.4.7. Metode magnetografice [39]

4.6. Control cu radiații penetrante

Controlul cu radiații penetrante are o utilizare largă în țara noastră și în străinătate. El se aplică la examinarea produselor turnate, laminate, forjate și sudate din fontă, oțel, neferoase, materiale plastice și altele. Metoda de examinare cu radiații penetrante sau radiografică constă din interacțiunea radiațiilor penetrante cu peliculele fotosensibile. Se poate efectua cu raze X sau raze gamma [40].

- ❖ *Examinare cu raze X* - constă în bombardarea piesei supuse controlului cu radiații X, obținându-se pe filmul radiografic imaginea structurii macroscopice interne a piesei.

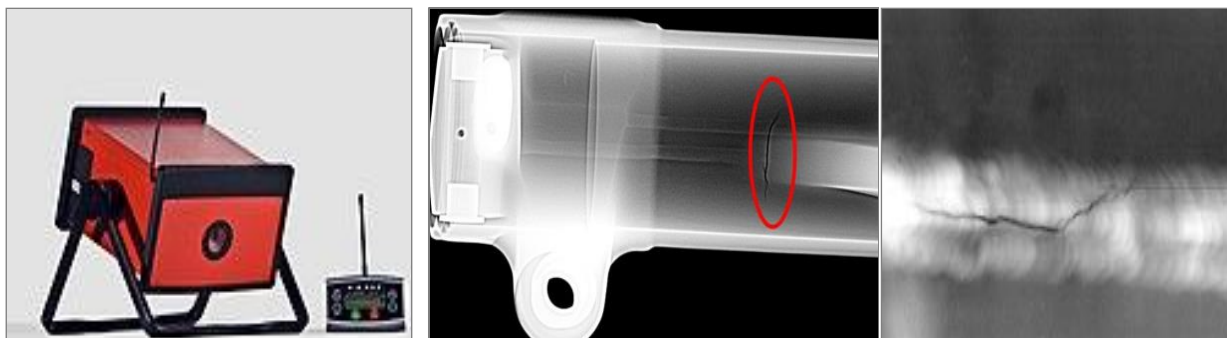


Fig.4.8. Fisură detectată prin metoda de de raze x [40]

Generatoarele de raze X, în funcție de energia ce o furnizează și de domeniul lor de utilizare pot fi:

- generatoare de energii mici (tensiuni < 300 kV) pentru controlul pieselor din oțel de grosime mică (< 70 mm);
- generatoare de energii medii (tensiuni de 300...400 kV) pentru controlul pieselor din oțel de grosime mijlocie (100...125 mm);
- generatoare de energii mari (tensiuni de peste 1...2 MV și betatroane de 15...30 MV) pentru controlul pieselor din oțel de grosime mare (200...300 mm).

- ❖ *Examinare cu raze gamma (gammagrafie)*

Gammagrafia constă în iradierea piesei supuse controlului cu radiații gamma, după care se obține pe filmul radiografic imaginea structurii macroscopice interne a piesei respective, prin acționarea asupra emulsiei fotografice. Creșterea permanentă a presiunii, temperaturii, solicitărilor mecanice, și rezistenței la coroziune, au impus examinarea cu raze gamma ca o metodă modernă de control cu grad ridicat de certitudine. Elementul de bază al gammagrafiei este sursa de radiații

gamma care, datorită proprietăților sale precum energie ridicată, masă de repaus nulă, sarcină electrică nulă, o fac deosebit de penetrantă. Principalele surse de radiații folosite în gammagrafie sunt constituie de izotopii radioactivi de Cobalt-60 pentru oțeluri cu grosime mare (>80mm), Iridiu-192 pentru oțeluri cu grosime mijlocie (10–80mm), și Tuluiu-170 pentru oțeluri cu grosime mică (<10mm) [40].

4.7. Domenii de aplicabilitate

Controlul nedistructiv este întâlnit în următoarele domenii: [41]

- industria navală;
- conducte îngropate sau submerse sub apă supuse coroziunii;
- platforme marine;
- industria energetică la reactoare, turbine, cazane de încălzire, tubulatură, etc.;
- industria aerospațială și militară;
- structuri feroviare;
- industria petrochimică.
- construcții de mașini, la piese turnate sau forjate, ansamble și subansamble.

4.8. Concluzii

În concluzie, metodele NDT (nondestructive testing) se pot aplica în toate sectoarele de producție. Alegerea metodei de control nedistructiv folosită se face în funcție de diferite criterii, legate de utilitatea piesei de controlat, de materialul din care este fabricată piesa, de amplasament, de tipul de structură, și de costuri.

În îmbinările sudate se vor controla prin metode NDT următoarele:

- sudura de prindere provizorie;
- starea de curățenie a rostului;
- forma și dimensiunile rostului ce trebuie să corespundă procedului de sudare ales;
- sudura finală.

CAPITOLUL 5

NORME DE PROTECȚIA MUNCII ȘI PSI ÎN SECȚIILE DE FABRICARE A CONDUCTELOR MAGISTRALE

5.1. Norme de protecția muncii în secțiile de fabricare a conductelor magistrale

5.1.1. Generalități

Protecția muncii sau securitate și sănătate în muncă se referă la sistemul de măsuri luate ca să controleze riscurile de vătămare și îmbolnăvire a lucrătorului, ca urmare a activității sale profesionale. [42] Normele specifice de securitate a muncii pentru fabricarea conductelor magistrale cuprind prevederi specifice de securitate a muncii pentru prevenirea accidentelor de muncă în activitățile de sudare și tăiere a metalelor.

5.1.2. Scop

Scopurile declarate ale protecției muncii sunt menținerea sănătății și a capacității de muncă a lucrătorului, prin atingerea unui nivel cât mai înalt de siguranță a acestuia, la serviciu, cât și eliminarea sau diminuarea pericolelor de accidentare existente în cadrul secțiilor. [43]

5.1.3. Domeniu de aplicare

Prezentele norme se aplică în toate unitățile economice în care se desfășoară activitate de sudare și tăiere a metalelor, indiferent de forma de proprietate asupra capitalului social și de modul de organizare a acestora. Prevederile prezentelor norme se aplică tuturor persoanelor juridice sau fizice care efectuează activități de execuție, exploatare, întreținere și reparație a conductelor pentru transportul gazelor naturale cu presiuni de regim mai mari de 6 kgf/cm² precum și la instalații aferente acestor conducte indiferent de forma de proprietate și de modul de organizare. Prevederile prezentelor norme se aplică cumulativ cu prevederile Normelor Generale de Securitate a Muncii.

Conductele și instalațiile tehnologice la care se referă prezentele norme sunt:

- stațiile de măsurarea a gazelor, stațiile de comandă vana și stațiile de măsurare și reglare a gazelor naturale aferente acestor conducte
- instalațiile de separare și filtrare a gazelor
- stațiile și instalațiile de încălzire a gazelor
- stații de comprimare a gazelor (turbocompresoare, electrocompresoare, motocompresoare).

5.1.4. Revizuirea normelor

Prezentele norme se vor revizui periodic și vor fi modificate ori de câte ori este necesar, ca urmare a schimbărilor de natura legislativă, tehnica etc., survenite la nivel național, al unităților sau proceselor de muncă.

5.1.5. Norme de protecția muncii privind repartizarea personalului pe locuri de muncă în secțiile de fabricare a conductelor magistrale

❖ Încadrarea și repartizarea personalului pe locuri de muncă în secțiile de fabricare a conductelor magistrale [44]

- Încadrarea și repartizarea personalului pe locuri de muncă se fac conform prevederilor "Normelor generale de protecție a muncii".
- Personalul de deservire a instalațiilor tehnologice aferente conductelor magistrale va fi desemnat prin decizie internă în baza atribuțiilor specifice din fișa postului.
- Execuția, exploatarea, întreținerea și repararea instalațiilor electroenergetice se execută numai de personal autorizat și care are ca sarcini de serviciu asemenea operații, menționate în autorizația de lucru scrisă.

5.1.5.1. Instruirea personalului

- Instruirea personalului care desfășoară activități de execuție a conductelor în domeniul protecției muncii se face conform prevederilor Normelor generale de protecție a muncii.

5.1.5.2. Dotarea cu echipament individual de protecție

- Acordarea echipamentului individual de protecție se face conform prevederilor normativului cadru de acordare și utilizare a echipamentului individual de protecție. Echipamentul se va verifica obligatoriu înaintea utilizării lui, înlocuindu-se cel găsit defect.
- Personalul care participă la operațiuni care se desfășoară în secții cu nivel ridicat de zgomot va utiliza antifoane.
- Lucrătorii care verifică etanșeitatea conductelor vor fi dotați cu mască izolantă cu aspirație liberă a aerului curat. Verificarea etanșeității se face de către doi lucrători, unul din ei asigurând supravegherea celuilalt.
- Sudorii care execută lucrări de întreținere conducte vor fi dotați cu costum anticaloric precum și cu centura de siguranță legată cu cordon de ajutor ținut de către două persoane.
- Procesul de sudare se va desfășura fără măsuri de protecție suplimentare în condiții atmosferice bune (lipsa curenților de aer, precipitații atmosferice) când temperatura mediului ambiant este de minim +5°C. În cazul în care condițiile atmosferice sunt neprielnice (ger) spațiul va fi încălzit.

5.2. Norme PSI în secțiile de fabricare a conductelor magistrale

5.2.1. Generalități

Normele generale de prevenire și stingere a incendiilor, denumite în continuare norme generale, stabilesc principiile, criteriile de performanță, cerințele și condițiile tehnice privind siguranța la foc pentru construcții, instalații și alte amenajări, agenții care pot interveni în caz de incendiu și pentru înlăturarea efectelor acestuia, exigențele utilizatorilor, precum și normele, regulile, recomandările și măsurile generale ce trebuie avute în vedere în scopul apărării împotriva incendiilor. [45]



5.2.2. Scop

Prezentele norme generale se aplică la proiectarea, executarea și exploatarea construcțiilor, instalațiilor și a altor amenajări, în raport cu faza de realizare în care se află și indiferent de titularul dreptului de proprietate, precum și la organizarea și desfășurarea activității de apărare împotriva incendiilor. [45]

5.2.3. Domeniu de aplicare

Prezentele norme se aplică în toate unitățile economice în care se desfășoară activitate de sudare și tăiere a metalelor, indiferent de forma de proprietate asupra capitalului social și de modul de organizare a acestora.

5.2.4. Revizuirea normelor

Prezentele norme se vor revizui periodic și vor fi modificate ori de câte ori este necesar, ca urmare a schimbărilor de natură legislativă, tehnica etc., survenite la nivel național, al unităților sau proceselor de muncă.

5.2.5. Norme de PSI privind procesul de fabricare a conductelor magistrale

- Instalațiile tehnologice aferente conductelor de transport gaze vor fi dotate cu indicatoare de avertizare cu inscripții "INTRAREA STRICT OPRITĂ", "NU UMBLAȚI CU FOC", "FUMATUL STRICT OPRIT", "PERICOL DE EXPLOZIE".
- Introducerea chibriturilor, tigărilor sau a oricarei alte surse de foc în incinta acestor instalații este interzisă.
- În cazul în care, cu ocazia controlului se depistează pierderi de gaz se vor lua următoarele măsuri de siguranță:
 - se anunță imediat șeful sectorului precum și proprietarii obiectivelor din imediata apropiere;
 - se asigură marcarea în jurul zonei de interdicere a accesului și a folosirii focului deschis pe o rază de 20 m (panouri, plăcuțe avertizoare);
 - se va asigura pază în zonă;
 - se vor aerisi încăperile;
 - nu se vor acționa întrerupătoarele electrice.
- La controlul periodic al căminelor armăturilor pentru depistarea emanațiilor de gaze se vor respecta următoarele:
 - căminul va fi aerisit cel puțin 15 minute înainte de accesul lucrătorului;
 - timpul de staționare a lucrătorului în interiorul căminelor va fi de maximum 10 minute. Dacă este necesar un timp mai îndelungat se vor intercala pauze de 20 minute pentru ieșirea lucrătorului în exterior;
- Sudorii vor fi supravegheați din exterior de două persoane care vor ține de frânghiile de ajutor ale centurii de siguranță.
- În timpul lucrului sudorii vor avea o poziție laterală față de direcția eventualelor emanații de gaze.
- Se interzice staționarea persoanelor și a utilajelor pe direcția eventualelor rateuri care se pot produce în timpul lucrului cu foc.
- În cazul lucrărilor la conductele prin care se transportă gaze cu condens este obligatorie dotarea cu mijloace de înăbușire și de stingere a incendiilor. Pentru îndepărtarea operativă a scurgerilor trebuie să se prevadă măsuri suplimentare adecvate.
- Căile de acces vor fi amenajate, astfel încât să permită intervenția rapidă a echipelor de depănare sau a formațiilor de pompieri.

- Se interzice accesul și staționarea în instalații a persoanelor care nu au legătură directă cu supravegherea acestora sau cu lucrările care se execută în instalații sau părți ale instalațiilor.
- Controlul etanșeității instalațiilor se va face numai cu detectorul de gaze sau cu emulsie de apă și săpun.
- Înainte de punerea în funcțiune a instalațiilor tehnologice precum și în timpul exploatării se va asigura ventilarea naturală a încăperilor. [46]

5.3. Concluzii

În concluzie, putem spune că statul roman are un pachet bogat de legi care reglementează asigurarea securității și sănătății în muncă, iar aplicarea lor este obligatorie, atât pentru angajat cât și pentru angajator. În cazul în care inspectorii constată că legile nu sunt respectate, angajatorul riscă fie să ia amendă, fie chiar să ajungă la închisoare.

Opis figuri

Fig. 1.1.	Pod din oțel
Fig. 1.2.	Conducte magistrale din oțel
Fig. 1.3.	Microstructură 100 x, MB: X 52
Fig. 1.4.	Microstructură 100 x, ZIT: X 52, $T_v = 1300^{\circ}\text{C}$, $E_l = 10500 \text{ J/cm}$
Fig. 1.5.	Microstructură 100 x, ZIT: X 52, $T_v = 1200^{\circ}\text{C}$, $E_l = 10500 \text{ J/cm}$
Fig. 1.6.	Microstructură 100 x, ZIT: X 52, $T_v = 1100^{\circ}\text{C}$, $E_l = 10500 \text{ J/cm}$
Fig. 1.7.	Microstructură 100 x, ZIT: X 52, $T_v = 1300^{\circ}\text{C}$, $E_l = 25000 \text{ J/cm}$
Fig. 1.8.	Microstructură 100 x, ZIT: X 52, $T_v = 1200^{\circ}\text{C}$, $E_l = 25000 \text{ J/cm}$
Fig. 1.9.	Microstructură 100 x, ZIT: X 52, $T_v = 1100^{\circ}\text{C}$, $E_l = 25000 \text{ J/cm}$
Fig. 1.10.	Microstructură 100 x, ZIT: X 52, $T_v = 1300^{\circ}\text{C}$, $E_l = 35000 \text{ J/cm}$
Fig. 1.11.	Microstructură 100 x, ZIT: X 52, $T_v = 1200^{\circ}\text{C}$, $E_l = 35000 \text{ J/cm}$
Fig. 1.12.	Microstructură 100 x, ZIT: X 52, $T_v = 1100^{\circ}\text{C}$, $E_l = 35000 \text{ J/cm}$
Fig. 2.1.	Principiul procedurii sudării sub strat de flux
Fig. 2.2.	Sudare sub strat de flux
Fig. 2.3.	Sârmă pentru sudura sub strat de flux
Fig. 2.4.	Flux
Fig. 2.5.	Țevi roluite sudate longitudinal
Fig. 2.6.	Modul de dispunere a capetelor de sudare în raport cu axa țevii
Fig. 2.7.	Influența unghiului de înclinare a capului de sudare față de axa țevii (α) asupra pătrunderii (t) și lățimii (b).
Fig. 2.8.	Influența unghiului de înclinare a capului de sudare în raport cu direcția de sudare (β) asupra pătrunderii (t).
Fig. 2.9.	Influența curentului de sudare (I_s) asupra pătrunderii (t) în condițiile
Fig. 2.10.	Influența tensiunii arcului (U_a) asupra supraînălțării (b) în condițiile $v_s = \text{constant}$ și $I_s = \text{constant}$.
Fig. 2.11.	Scurtarea și prelucrarea manuală oxigaz (a) și cu plasmă de aer (b) a tronsoanelor de țeavă
Fig. 2.12.	Scurtarea și prelucrarea semimecanizată orbitală oxigaz a tronsoanelor de țeavă
Fig. 2.13.	Scurtarea și prelucrarea mecanizată orbitală oxigaz a tronsoanelor de țeavă
Fig. 2.14.	Sudarea electrică manuală cu electrod învelit a conductelor magistrale: a- cu un sudor; b- cu doi sudori; c- cu patru sudori.
Fig. 2.15.	Îmbinare sudată cap la cap
Fig. 2.16.	Sanfren în V cu fațetă frontală executată mecanic: a- frecvent; b- opțional ($S \leq 22 \text{ mm}$).
Fig. 2.17.	Sanfren în V cu fațetă frontală executată oxiacetilenic
Fig. 2.18.	Detalii de sudură cap la cap a țevilor: a- $x_{\max} = 1,5 \text{ mm}$ pentru țevi cu $D_n \leq 50 \text{ mm}$; b- $x_{\max} = 3 \text{ mm}$ pentru țevi cu $D_n > 50 \text{ mm}$.
Fig. 2.19.	Îmbinarea țevilor sudate: a- țevi sudate longitudinal; b- țevi sudate elicoidal
Fig. 2.20.	Îmbinare cap la cap a țevilor cu manșon de întărire
Fig. 2.21.	Manșon de întărire
Fig. 2.22.	Montarea conductelor magistrale
Fig. 3.1.	Îngust ajustat
Fig. 3.2.	Abateri de grosime
Fig. 3.3.	Așchii
Fig. 3.4.	Crăpături
Fig. 3.5.	Trepte
Fig. 3.6.	Scurt ajustat
Fig. 3.7.	Deteriorări agregat
Fig. 3.8.	Discontinuități

Fig. 3.9.	Împăturiri
Fig. 3.10.	Imprimări
Fig. 3.11.	Margini naturale
Fig. 3.12.	Ondulații
Fig. 3.13.	Seceră
Fig. 3.14.	Zgârieturi
Fig. 3.15.	Deformări din manipulare
Fig. 3.16.	Pete de ulei
Fig. 3.17.	Imprimări în tablă
Fig. 3.18.	Tablă groasă
Fig. 3.19.	Imprimări în tabla groasă
Fig. 3.20.	Umplerea imprimărilor prin sudură cu material de adaos
Fig. 3.21.	Polizarea tablelor
Fig. 3.22.	Tablă polizată
Fig. 3.23.	Tablă cu defect C2
Fig. 3.24.	Tablă acceptată
Fig. 4.1.	Destinațiile defectelor
Fig. 4.2.	Control NDT în procesul de producție
Fig. 4.3.	Control vizual
Fig. 4.4.	Principiul controlului cu lichide penetrante
Fig. 4.5.	Examinare cu lichide penetrante
Fig. 4.6.	Detectarea defectelor prin metoda de control NDT cu ultrasunete
Fig. 4.7.	Metode magnetografice
Fig. 4.8.	Fisură detectată prin metoda de de raze x

Opis tabele

Tabel 1.1.	Forme de livrare și domenii de utilizare ale oțelurilor utilizate la fabricarea conductelor magistrale
Tabel 1.2.	Compozițiile chimice ale oțelurilor pentru conductelor magistrale
Tabel 1.3.	Caracteristicile mecanice ale oțelurilor pentru conductelor magistrale
Tabel 1.4.	Caracteristicile mecanice ale principalelor oțelurilor utilizate la fabricarea conductelor magistrale
Tabel 2.1.	Parametrii de sudare
Tabel 3.1.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.2.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.3.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.4.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.5.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.6.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.7.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.8.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.9.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.10.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.11.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.12.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.13.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.14.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.15.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului
Tabel 3.16.	Cauzele defectului, eliminarea cauzelor și eliminarea defectului

Bibliografie

1. <https://www.scientia.ro/tehnologie/tehnologie/346-otelul-ce-este-si-cum-este-creat.html>
2. <https://www.h-metal.ro/blog/informatii-utile-despre-sudare/>
3. https://www.google.com/search?q=otel+poduri+din+o%C5%A3el&tbm=isch&ved=2ahUKEwjavp-97LHqAhWEr6QKHfp2DGUQ2-cCegQIABAA&oq=otel+poduri+din+o%C5%A3el&gs_lcp=CgNpbWcQAzoCCAA6BAGAEb46BggAEAUQHjoGCAAQCBAeUJV-WlUvAWDOsgFoAHAAeACAACyCiAG2EpIBCDauMTUuMC4xmAEAoAEbqgELZ3dzLXdpei1pbWc&sclient=img&ei=D4v_Xpr7KITfgX67bGoBg&bih=657&biw=1366#imgsrc=WxxKsZw_zw1DnM
4. https://www.google.com/search?q=conducte+magistrale+din+otel&tbm=isch&ved=2ahUKEwjavp-97LHqAhWEr6QKHfp2DGUQ2-cCegQIABAA&oq=conducte+magistrale+din+otel&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECAAQQzoCCAA6BQgAELEDOgYIABAIEB46BAGAEbHqSBY419glmRoAHAAeACA AZ0BiAGEHplBBDAuMjiYAQCgAQGqAQtnD3Mtd2l6LWltZw&sclient=img&ei=D4v_Xpr7KITfgX67bGoBg&bih=657&biw=1366#imgsrc=TYidqAh1zpAXxM
5. http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjLrPW8jJPjAhXO-aQKHZYtDRAQFjAAegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fwww.sim.utcluj.ro%2Fstm%2Fdownload%2FSudura%2FCurs6.ppt&usg=AOvVaw2i2VlzzRS_OG7FK3aNXtm2
6. <https://www.sculesiechipamente.ro/materiale-sudura/materiale-sudura-sub-strat-de-flux/>
7. Micloși, V., Andreescu, F., Lupu, V., Echipamente pentru sudare, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984.
8. https://www.google.com/search?q=sudura+sub+strat+de+flux&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiZzNH3jZHjAhWQUIAKHefVA-YQ_AUIECgB&biw=1366&bih=638#imgsrc=bw5jA36l8pOBFM:&spf=1561894373548
9. <http://www.frg.ro/procedee-de-sudare>
10. <https://www.octalsteel.com/resources/api-5l-x52-psl2-pipe>
11. <http://www.doctorat.tuiasi.ro/doc/SUSTINERI TEZE/M/Simion%20Petru/Rezumat Simion.pdf>
12. https://www.google.com/search?q=flux+utilizat+la+sudarea+sub+strat+de+flux&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjlz7PM_JDjAhWJKFAKHbUYBt8Q_AUIECgB&biw=1366&bih=638#imgdii=iC37Cl54t6ietM:&imgsrc=RQpTtQswo1C_3M:&spf=1561889720148
13. [Catalog Ductil](#)
14. http://new.transgaz.ro/sites/default/files/uploads/users/admin/ntm_c_final_0.pdf
15. Manualul Sudorului naval, Editia 2016
16. <http://old.unitbv.ro/Portals/31/Sustineri%20de%20doctorat/Rezumat2014/MaziluRadu.pdf>
17. https://www.google.com/search?q=sudura+sub+strat+de+flux&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiZzNH3jZHjAhWQUIAKHefVA-YQ_AUIECgB&biw=1366&bih=638#imgsrc=bw5jA36l8pOBFM:&spf=1561894373548
18. <http://www.frg.ro/procedee-de-sudare>
19. <https://www.octalsteel.com/resources/api-5l-x52-psl2-pipe>
20. <https://www.csindy.com/IndyBlog/archives/2017/01/24/trump-signs-orders-to-resume-keystone-and-dakota-access-pipeline-construction>
21. <http://arhiva.strumicadenes.mk/vo-makedonija-ke-se-gradat-dva-gasovod/>
22. <http://arhiva.strumicadenes.mk/vo-makedonija-ke-se-gradat-dva-gasovod/>

23. <https://www.trenchlessromania.ro/bohrtec-subtraversari-pentru-instalarea-tevilor-cu-masini-de-foraj-orizontal-dirijat-si-nedirijat/>
24. <https://www.csindy.com/IndyBlog/archives/2017/01/24/trump-signs-orders-to-resume-keystone-and-dakota-access-pipeline-construction>
25. Machedon, T. P., Andreescu, F. G., Materiale metalice pentru produse sudate, Tom II, Vol. 1, Editura Lux Libris, Braşov, 1996.
26. <http://arhiva.strumicadenes.mk/vo-makedonija-ke-se-gradat-dva-gasovod/>
27. <http://arhiva.strumicadenes.mk/vo-makedonija-ke-se-gradat-dva-gasovod/>
28. Mocanu, D. R., Safta, V. – Încercarea materialelor, vol. 3- Controlul nedistructiv al metalelor. Editura Tehnică, Bucureşti, 1987.
29. Georgescu V., Georgescu B., Control nedistructiv. Editura Lux Libris Braşov, 2001
30. https://ro.wikipedia.org/wiki/Control_nedistructiv
31. <https://www.d-arrowinspections.com/services.html>
32. <http://www.hertzttc.com/VISUAL-TESTING.html>
33. <http://www.itindt.ae/liquid-penetrant-test-lpt/>
34. Safta, V.I., Safta V.I.- „Defectoscopie nedistructivă industrială”. Editura Sudura, Timişoara, 2001
35. <http://www.iigmonline.com/liquid.php>
36. <https://www.macleans.ca/education/the-invisible-and-high-tech-work-of-non-destructive-inspectors/>
37. http://www.wermac.org/others/ndt_ut.html
38. <http://www.solutiicnd.ro/blog/controlul-nedistructiv-al-fisurilor-cu-pulbere-magnetic%C4%83-mt/>
39. https://ro.wikipedia.org/wiki/Fi%C8%99ier:Portable_Xray_generator.jpg
40. https://www.vidisco.com/ndt_solutions/ndt_info_center/ndt_wiki_x_ray
41. https://ro.wikipedia.org/wiki/Fi%C8%99ier:Ressuage_principe_2.svg
42. <https://www.calculatorvenituri.ro/protectia-muncii-pe-intelesul-tuturor-confort-sanatate-si-siguranta-la-job>
43. <https://www.iprotectiamuncii.ro/norme-protectia-muncii/nspm-101>
44. http://cis01.central.ucv.ro/psi/norme_mec/NORME%20GENERALE%20psi.pdf
45. <https://drobetapress.ro/40-de-incendii-de-vegetatie-uscata-stinse-de-pompieri-numai-in-weekend/>
46. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/instructionalmaterial/wcms_218619.pdf