

UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" DIN GALAȚI
FACULTATEA DE INGINERIE
DEPARTAMENTUL INGINERIA FABRICAȚIEI
Specializarea Master: PROIECTARE ȘI SIMULARE ÎN INGINERIA
SUDĂRI

LUCRARE DE DISERTAȚIE

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA WIG
A ȚEVILOR DIN OȚELURI AUSTENITICE REZISTENTE LA
COROZIUNE

Absolvent,
Ing. Istudor Marian

Coordonator proiect,
Prof. dr. ing. Mihăilescu Dănuț

Promoția 2020

REZUMAT

În această lucrare se prezintă un studiu comparativ privind *Cercetările experimentale privind sudarea WIG a țevelor din oțeluri inoxidabile austenitice rezistente la coroziune*. Scopul lucrării este de a prezenta sudabilitatea și aplicabilitatea practică pentru două oțeluri apropiate ca și compoziție chimică, având grosimi diferite.

În prima parte a lucrării sunt prezentate proprietățile și clasificarea oțelurilor inoxidabile, cât și tipurile de coroziune, care pot să apară în timpul exploatării echipamentelor.

În continuare, în capitolul al doilea, sunt prezentate aspectele generale privind realizarea traseelor de țevi din oțeluri inoxidabile, cum ar fi principiul procedului de sudare, avantajele și dezavantajele sudării WIG, diferite tipuri de îmbinări sudate și semifabricate.

În capitolul al treilea al lucrării, sunt prezentate materialele de bază și de adaos, cât și echipamentele și accesoriile utilizate la realizarea îmbinărilor sudate.

Capitolul al patrulea al lucrării prezintă operațiile efectuate pentru pregătirea, sudarea și tipurile de control nedistructiv a probelor realizate. De asemenea, sunt înregistrate și valorile obținute în urma cercetărilor experimentale, realizate prin controlul distructiv a probelor sudate.

În cel de-al cincilea capitol, este prezentată realizarea îmbinărilor sudate din oțeluri inoxidabile austenitice, în condiții de șantier. Sunt descrise lucrările efectuate, cât și tipurile de coroziune apărute în timp, pentru instalația prezentată.

În încheierea acestei lucrări, sunt prezentate concluziile finale pentru *Cercetările experimentale privind sudarea WIG a țevelor din oțeluri inoxidabile austenitice rezistente la coroziune*.

SUMMARY

This study presents *The Experimental Research on WIG Welding of Corrosion Resistant Austenitic Stainless Steel Pipes*. The purpose of the study is to present the weldability and practical applicability for two similar steels as a chemical composition, with different thicknesses.

The first part of the study presents the properties and classification of stainless steels, as well as the types of corrosion that may occur during the operation of the equipment.

In the second chapter, the general aspects regarding the fabrication of stainless steel pipe routes are presented, such as the principle of the welding process, the advantages and disadvantages of WIG welding, different types of welded and pre-fabricated joints.

In the third chapter of the study, are presented the basic and additional materials, as well as the equipment and accessories used to realize the welded joints.

The fourth chapter of the study presents the operations performed for the preparation, welding and types of non-destructive testing of the samples performed. Also, the values obtained from the experimental researches, realized through the destructive control of the welded samples, are registered.

In the fifth chapter, is presented the realization of welded joints from austenitic stainless steels, under site conditions. The works performed are described, as well as the types of corrosion that appeared in time, for the presented installation.

At the end of this study, are presented the final conclusions for *The Experimental Research on WIG Welding of Corrosion Resistant Austenitic Stainless Steel Pipes*.

CUPRINS

CAPITOLUL 1. PROPRIETĂȚILE ȘI CLASIFICAREA OȚELURILOR INOXIDABILE.....	3
1.1. Rezistența la coroziune.....	3
1.2. Clasificarea și proprietățile oțelurilor inoxidabile.....	7
CAPITOLUL 2. ASPECTE PRIVIND REALIZAREA TRASEELOR DE ȚEVI DIN OȚELURI INOXIDABILE.....	9
2.1. Principiul procedeului de sudare WIG.....	9
2.2. Avantajele și dezavantajele sudării WIG.....	11
2.3. Vergele pentru sudare.....	12
2.4. Electrozi nefuzibili din wolfram.....	12
2.5. Domenii de aplicare a procedeului de sudare WIG.....	12
2.6. Varietate de sudare WIG.....	13
2.7. Exemple de aplicații industriale.....	14
2.8. Tipuri de îmbinări sudate.....	16
2.9. Tipuri de semifabricate.....	16
2.10. Debitarea și prelucrarea țevelor.....	17
2.11. Stabilirea parametrilor regimurilor de sudare manuală WIG.....	19
2.12. Accesorii pentru sudare.....	20
CAPITOLUL 3. MATERIALE ȘI ECHIPAMENTE UTILIZATE LA SUDAREA WIG A ȚEVELOR DIN OȚELURI AUSTENITICE REZISTENTE LA COROZIUNE.....	22
3.1. Materiale de bază.....	22
3.2. Materialul de adaos.....	23
3.3. Gazul de protecție.....	23
3.4. Electroductul nefuzibil de wolfram.....	25
3.5. Sursa de sudare WIG.....	26
3.5.1. Conceptul sursei de sudare.....	26
3.5.2. Principiul de funcționare.....	26
3.5.3. Domenii de utilizare.....	27
CAPITOLUL 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA WIG A ȚEVELOR DIN OȚELURI AUSTENITICE REZISTENTE LA COROZIUNE.....	29
4.1. Pregătirea în vederea sudării.....	29
4.2. Sudarea probelor.....	30
4.3. Controlul nedistructiv al probelor sudate.....	31
4.3.1. Controlul vizual și dimensional.....	31
4.3.2. Controlul cu lichide penetrante.....	32
4.3.3. Controlul cu radiații penetrante.....	32
4.4. Controlul distructiv al probelor sudate.....	33

4.4.1. Examinările macroscopice și microscopice.....	33
4.4.2. Încercările mecanice la tracțiune transversală.....	34
4.4.3. Încercările mecanice la îndoire transversală frontală.....	34
4.4.4. Încercările mecanice la încovoiere prin șoc KV.....	35
CAPITOLUL 5. LUCRĂRI EXECUTATE PENTRU SUPRAÎNCĂLZITORUL CONVECTIV DE JOASĂ PRESIUNE, UNITATEA NR. 1, CENTRALA TERMoeLECTRICĂ NASSIRIYAH - IRAQ.....	36
5.1. Descrierea echipamentului supraîncălzitor convectiv de joasă presiune, stagiul 1&2.....	36
5.2. Lucrări pregătitoare înainte de începerea lucrărilor de reparație.....	36
5.2.1. Îndepărtarea depozitelor de cenușă.....	36
5.2.2. Măsurători de grosimi ale țevelor.....	37
5.2.3. Tipuri de defecte.....	38
5.3. Lucrări de reparare a echipamentului.....	38
5.3.1. Calificarea procedurilor de sudare.....	38
5.3.2. Sudori și operatori sudori.....	39
5.3.3. Pregătirea îmbinărilor.....	39
5.3.4. Materiale consumabile pentru sudare.....	39
5.3.5. Prinderea provizorie.....	40
5.3.6. Sudarea.....	40
5.3.7. Examinări nedistructive pentru îmbinările sudate.....	41
CONCLUZII.....	42
ANEXĂ.....	43
BIBLIOGRAFIE.....	44

CAPITOLUL 1

PROPRIETĂȚILE ȘI CLASIFICAREA OȚELURILOR INOXIDABILE

1.1. Rezistența la coroziune

Grupul de materialele care formează astăzi familia oțelurilor inoxidabile își are începutul în anul 1913, la Sheffield, în Anglia. Încercând să găsească noi materialele pentru țevile de tun, Harry Brearley a observat că unele din probele pe care le pregătise nu ruginesc și sunt greu de atacat cu substanțe chimice, etapă pe care el o urma pentru a studia microstructura la microscopul optic. Toate aceste probe conțineau aproximativ 13% crom. Erau primele oțeluri inoxidabile. Pentru început din aceste oțeluri s-au fabricat cuțite, Sheffield-ul devenind faimos datorită acestora. Astăzi oțelurile inoxidabile sunt prezente peste tot în jurul nostru, tehnica modernă neputând fi concepută fără acestea.

Rezistența la coroziune a inox-ului provine de la formarea la suprafață a unui film subțire protector (Fig. 1.1). Acesta e format din oxizi care conțin crom și se formează în mod spontan în prezența oxigenului. Chiar dacă este deteriorat, fizic sau chimic, acest film protector are proprietatea de a se reface de îndată ce cauza care a generat deteriorarea este îndepărtată și suprafața e din nou expusă la acțiunea oxigenului din aer sau apă.

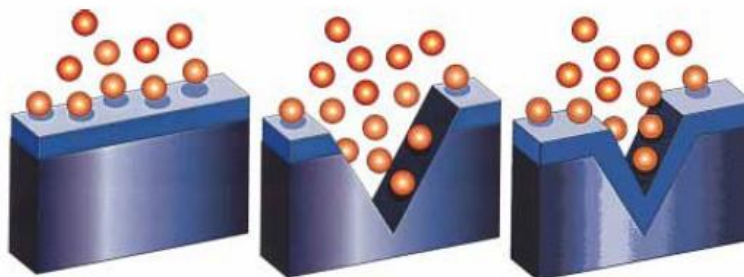


Fig. 1.1. Formarea filmului subțire protector de la suprafața oțelului inoxidabil care îi conferă rezistență la coroziune și inerție chimică [38]

În plus față de rezistența la coroziune și inerție chimică, oțelul inoxidabil are multe alte proprietăți care îl fac ideal pentru utilizarea în echipamentele din industria alimentară. Este ușor să fie prelucrat astfel încât să prezinte *suprafețe netede*, cu rugozitate scăzută. *Duritatea* sa îi permite să mențină în timp această netezime a suprafeței. Netezimea suprafeței este extrem de importantă pentru că este foarte bine demonstrat faptul că aderența alimentelor la suprafață (lucru nedorit în industria alimentară) crește cu creșterea rugozității. Având posibilitatea de a prelucra suprafața inox-ului până la netezimi extrem de bune, aceasta va rămâne curată, nu va fi încărcată cu straturi aderente de alimente care să se acumuleze în anumite zone ale

echipamentului de prelucrare și care să aducă un risc crescut privind igiena.

Oțelul inoxidabil este *rezistent în condițiile de temperaturi extrem de variate* care se utilizează în industria alimentară. Nu este alterat de încălziri, fierberi, coaceri, răcirii, congelări. Foarte important e faptul că proprietățile fizice ale inox-ului îi conferă o *prelucrabilitate* bună. În funcție de compoziție, inox-ul se prelucrează bine prin deformare, așchiere, se sudează bine, lucru care face ca echipamentele din industria alimentară să poată fi realizate în condiții de *economicitate* și cu o *funcționalitate excelentă*. Există garanția, dată de material, că acestea vor rezista la impact, oboseală, uzură, abraziune și coroziune.

E interesant de remarcat că atunci când echipamentul realizat din inox și-a încheiat ciclul de viață și trebuie înlocuit, oțelul inoxidabil încă nu-și epuizează durata de viață, el putând fi *reutilizat*. Astăzi, un echipament nou produs conține, în medie, 60% inox reciclat.

O ultimă proprietate pe care o subliniem aici și care asigură succesul inox-ului în partea de expunere a alimentelor și în mediul domestic *este aspectul său extrem de plăcut* și senzația de curățenie pe care o oferă.

Coroziunea este un proces complex de distrugere a unui material cauzat de acțiunea mediului înconjurător prin procesele chimice și electrochimice care se desfășoară la interfața metal - gaz sau metal - lichid. Atunci când distrugerea materialului metalic are loc prin acțiunea mecanică a particulelor din mediul de lucru asupra suprafeței materialului, procesul poartă denumirea de eroziune.

Coroziunea materialelor metalice, pe lângă faptul că micșorează siguranța în exploatare a mașinilor și instalațiilor, provoacă și importante pierderi de metal. Se estimează ca anual se pierde prin coroziune cantități care reprezintă 10% din producția mondială de oțel.

E bine să înțelegem că un metal se corodează într-un mediu de lucru ca urmare a *unor reacții electrochimice de oxidare și de reducere*, numite reacții electrochimice conjugate. Viteza acestor reacții depinde de potențialul de electrod. *Reacția de oxidare* corespunde dizolvării metalului (M) care trece în soluție în stare de ioni, după o reacție de forma generală [38]:



Reacția de reducere constă în reducerea unui agent oxidant capabil să primească rezultanții din ionizarea metalului și poate fi scrisă sub forma generală [38]:



în care: O_x este forma oxidată a unui constituent din mediul de lucru, R_{ed} este forma redusă a aceluiasi constituent.

Așadar, fenomenul de coroziune constă dintr-un schimb de ioni între metal și mediul de lucru și orice modificare a acestui schimb este foarte importantă. În timpul coroziunii, pe metal se stabilește un anumit potențial a cărui valoare se află între valorile standard ale potențialelor parțiale de electrod. Deplasarea celor două potențiale de echilibru la potențialul de coroziune este o consecință a fenomenului polarizației proceselor de electrod, fenomen care are loc instantaneu, odată cu apariția contactului metal - mediu de lucru.

Polarizația este deplasarea potențialului de echilibru la o nouă valoare, sub acțiunea trecerii curentului electric propriu de coroziune, produs de reacțiile electrochimice conjugate de electrod. Polarizația constituie o frână în dezvoltarea coroziunii. *Datorită polarizației viteza de corodare se poate micșora de zeci sau sute de ori față de valoarea inițială*. După o perioadă de atac se formează straturi subțiri de metal pur, de compusi chimici (săruri sau oxizi) care protejează metalul împotriva atacului mediului de lucru, adică are loc *pasivizarea metalului*.

În cazul oțelurilor inoxidabile interesează pasivizarea elementelor componente fier,

nichele, crom.

- *fierul* devine pasiv în acid azotic concentrat, în soluții acide sau neutre de azotat de argint sau de cupru, în acid cromic și sărurile lui, în soluții alcaline aerate; stabilirea pasivității fierului depinde de condițiile formării stratului protector; acest strat este ușor distrus de ioni de Cl^- [38];

- *nicheleul* devine pasiv într-o manieră asemănătoare cu fierul, dar pasivitatea lui este mai puțin stabilă și mai greu reproductibilă;

- *cromul* este mai atacabil decât fierul; sensibilitatea cromului la pasivizare este foarte mare, dar stabilă și corespunde unui potențial pozitiv mai mare decât al argintului și cuprului; pasivitatea cromului este o stare stabilă în aer, fapt care-l face interesant pentru utilizări industriale; în aliajele fier–crom, cromul contribuie la pasivizarea fierului, datorită tendinței mari de a absorbi electroni; fierul poate deveni aparent pasiv prin pierderea cel puțin a unui electron pe atom; cromul, având incomplet stratul electronic 3d, poate absorbi cinci electroni, adică poate pasiviza cinci electroni ce provin din stratul 3d al fierului; această proporție corespunde la 15,7% Cr în greutate, fapt care explică de ce conținutul de peste 12% Cr conferă oțelului o bună rezistență la coroziune.



Fig. 1.2. Reprezentare schematică a formării peliculei pasive de oxizi de crom, prin interacțiunea dintre oxigenul din mediul de lucru și cromul din componența oțelului inoxidabil [38]

În urma acestor considerente, poate greu de înțeles de nespecialiști în știința materialelor, subliniem încă o dată că rezistența la coroziune a oțelurilor inoxidabile este dată de formarea pe suprafața lor, în mod spontan, a unei pelicule pasive de oxizi de crom, rezultată din interacțiunea dintre oxigenul din mediul de lucru și cromul din componența oțelului, care e absolut necesar să fie mai mult de 10,5%. (Fig. 1.2).

Oțelurile inoxidabile prezintă, totuși, diverse forme de coroziune, care depind de: tipul oțelului, mediul de lucru și condițiile de exploatare.

Diversele tipuri de coroziune sunt dependente de mecanismul procesului de distrugere a materialului. Tipurile de coroziune întâlnite la oțelurile inoxidabile sunt [38]:

1. *Coroziunea generală și locală* se caracterizează printr-o degradare relativ uniformă a întregii suprafețe metalice expuse la mediul coroziv (Fig. 1.3. a). Acidul azotic și acidul sulfuric constituie exemple de agenți care provoacă coroziuni de acest tip. Coroziunea generală a oțelurilor inoxidabile se produce aproape exclusiv în medii puternic acide sau alcaline.

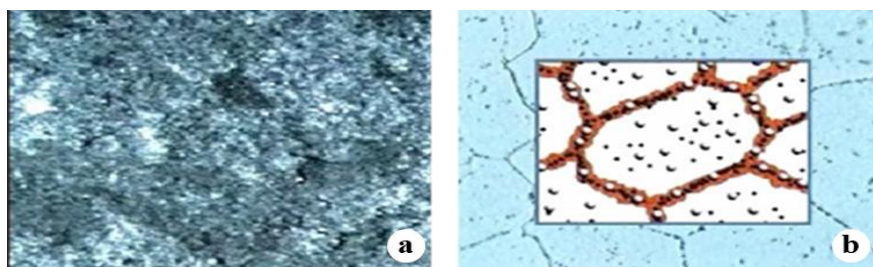


Fig. 1.3. Coroziunea generală și locală (a) și coroziunea intercristalină (b) a oțelurilor inoxidabile [38]

2. *Coroziunea intercristalină (intergranulară)* este un atac care progresează la limitele grăunților de austenită (Fig. 1.3. b). Ea este provocată de faptul că, în anumite condiții de temperatură, carburile de crom precipită la limita grăunților cristalini, formând în jurul acestora

o zonă restrânsă, sărăcită în crom. Materialul, în aceste zone, nu mai este inoxidabil și el este rapid atacat în contact cu un electrolit acid. Există soluții pentru a diminua sensibilitatea la coroziune intercristalină [38]:

- utilizarea unui oțel cu un conținut scăzut de carbon;
- întrebuițarea unui oțel stabilizat cu titan sau niobiu;
- repetarea tratamentului termic de punere în soluție.

3. *Coroziunea prin puncte (pitting)* e provocată de o serie de agenți corozivi (săruri halogenate Cl^- , Br^- și I^-) care au proprietatea de a favoriza ruperi locale ale peliculei superficiale de protecție a oțelurilor pasivate. În fiecare punct de rupere se formează un micro-anod în care densitatea electrică este foarte ridicată față de suprafața catodică, relativ mare. Aceasta diferență de potențial produce un atac punctiform, care se dezvoltă rapid în adâncime (Fig. 1.4. a).

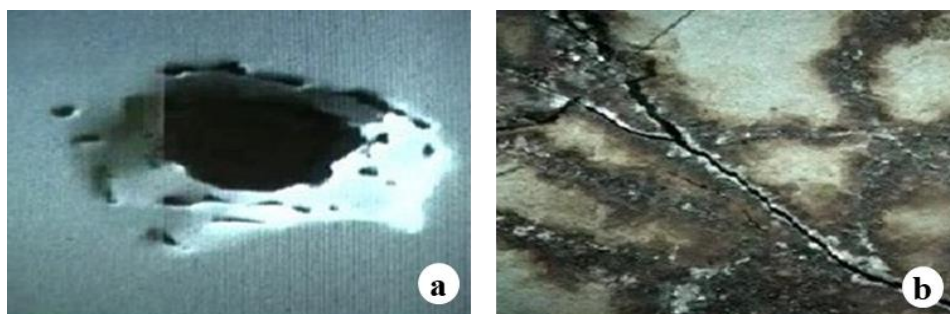


Fig. 1.4. Coroziunea prin puncte (pitting) (a) și coroziunea sub tensiune (b) a oțelurilor inoxidabile [38]

4. *Coroziunea sub tensiune* este specifică oțelurilor inoxidabile austenitice și apare atunci când mediul de lucru are acțiune specifică, când există o anumită sensibilitate a oțelului și când acesta este supus solicitărilor mecanice de tracțiune (Fig. 1.4. b). Tensiunile de tracțiune, provocate de forțe exterioare oțelului sau de tensiunile de natură reziduală în urma prelucrării mecano-termice, sunt cele mai periculoase pentru apariția coroziunii sub tensiune. Tensiunile de tracțiune provoacă alunecări în grăunții austenitici și pragurile de alunecare constituie elemente active ale coroziunii.

5. *Coroziunea cavernoasă (fisurantă)* apare la oțelurile inoxidabile mai ales în prezența clorurilor. Coroziunea cavernoasă apare sub straturile de etanșare din cauciuc sau pe suprafețele de asamblare (Fig. 1.5. a), situație în care atacul poate fi evitat prin aplicarea unui mastic de etanșare a marginile garniturii. Coroziunea cavernoasă nu se manifesta numai pe suprafața de contact dintre garniturile nemetalice și oțelul inoxidabil, ci și pe suprafețele de contact a două oțeluri inoxidabile.

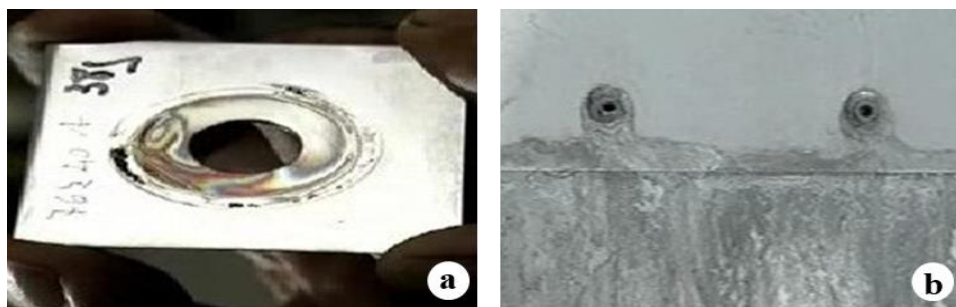


Fig. 1.5. Coroziunea cavernoasă (fisurantă) (a) și coroziunea galvanică (b) a oțelurilor inoxidabile [38]

6. *Coroziunea galvanică* se întâlnește în cazul în care două metale diferite sau un metal și un material electroconductor formează un circuit electric închis, în prezența unui electrolit (Fig. 1.5. b). Coroziunea galvanică se poate preveni prin evitarea contactului direct dintre două metale care prezintă diferențe mari de potențial electric.

1.2. Clasificarea și proprietățile oțelurilor inoxidabile

Oțelurile inoxidabile sunt aliaje fier-carbon, care conțin ca element de aliere principal minim 10,5% crom. Se cunoaște foarte bine că oțelurile obișnuite expuse condițiilor improprie de mediu ruginesc, la suprafața lor apare un strat de rugină format din oxizi care nu protejează materialul, ci se dezvoltă în adâncime, în timp ducând la compromiterea piesei respective. Dar dacă în compoziția oțelului există destul crom, mai mult de 10,5%, stratul de oxizi de la suprafață are proprietăți speciale, este extrem de subțire, protejează piesa în medii extrem de variate și ostile și se autoreface foarte ușor atunci când e îndepărtat. Acest strat e cel care dă oțelurilor caracterul de "inoxidabil" și autorefacerea lui dă superioritatea față de oțelurile obișnuite care în scopul protejării lor sunt acoperite cu straturi depuse galvanic de zinc sau cadmiu sau sunt vopsite, iar aceste acoperiri odată deteriorate nu se refac decât prin re intervenția omului, implicând noi costuri.

Alături de fier, carbon și crom, în compoziția oțelurilor inoxidabile se adaugă și alte elemente care le îmbunătățesc proprietățile sau le conferă unele noi. Conținutul crescut de carbon conferă duritate și rezistență mecanică. Adăugarea de nichel stabilizează structura austenitică, materialul este ne-magnetic și mai puțin fragil la temperaturi scăzute. Manganul acționează la fel ca nichelul, conferind materialului aceleași proprietăți, dar la un cost mai scăzut. Molibdenul crește rezistența la coroziune și la temperatură înaltă.

Din punct de vedere al structurii lor cristaline, determinate de compoziția chimică, oțelurile inoxidabile sunt clasificate în cinci tipuri [38]:

➤ *austenitice și superaustenitice*: conțin maxim 0,15% carbon, minim 16% crom și suficient nichel și/sau mangan pentru a stabiliza structura austenitică; adăugarea de nichel în oțelurile inoxidabile îmbunătățește deformabilitatea și sudabilitatea acestora; un adaos de 8...12% nichel permite inox-ului să fie laminat, presat, ambutisat și crește și rezistența la coroziune;

➤ *feritice*: conțin 10,5...18% crom și aprox. 0,05% carbon;

➤ *martensitice*: conțin aprox. 13% crom și procente ridicate de carbon (chiar peste 1%); sunt cele mai ieftine inox-uri, dar sunt greu deformabile și sudabile;

➤ *duplex*: au conținut extrem de înalt de crom (peste 22%) și aprox. 3% molibden; rezistă în mediile cele mai corozive;

La alegerea tipului de oțel inoxidabil care să fie utilizat într-o anumită aplicație trebuie avute în vedere: rezistența la coroziune, proprietățile fizice și mecanice, posibilitățile de prelucrare și costurile. Criteriul principal de selecție trebuie să fie rezistența la coroziune în mediul în care elementul realizat din inox va funcționa, urmând ca apoi să se urmărească și îndeplinirea celorlalte criterii, la un cost cât mai scăzut. Trebuie remarcat că nu este esențial aici criteriul costului minim al materialului, ci cel al costului total minim implicat de funcționarea pe întreaga durată de viață.

Elementele din inox, chiar dacă sunt mai scumpe din punct de vedere al materialului și al costurilor de prelucrare, vor evita o serie întreagă de costuri legate de reparare, reacoperire, revopsire, cedare în funcționare și necesitatea înlocuirii, implicate de alte materiale care nu rezistă la coroziune.

În Tabelul 1.1 se dau indicații generale comparative privind *proprietățile principalelor tipuri de oțeluri inoxidabile*. În Tabelul 1.2 sunt sintetizate *avantajele și dezavantajele* fiecărui tip de oțel inox și sunt date, pentru o mai bună înțelegere, și exemple de mărci de oțel.

Tabelul 1.1. Compararea proprietăților diferitelor tipuri de oțeluri inoxidabile [38]

Tipul oțelurilor inoxidabile	Rezistența la coroziune ¹⁾	Ductilitatea	Rezistența la temperatură înaltă	Rezistența la temperatură scăzută
Austenitice	înaltă	foarte înaltă	foarte înaltă	foarte înaltă
Feritice	medie	medie	înaltă	scăzută
Martensitice	medie	scăzută	scăzută	scăzută
Duplex	foarte înaltă	medie	scăzută	medie

¹⁾ variază semnificativ în funcție de marcă

Tabelul 1.1. Compararea proprietăților diferitelor tipuri de oțeluri inoxidabile (continuare) [38]

Tipul oțelurilor inoxidabile	Răspunsul magnetic	Posibilitatea de durificare	Viteza de ecruisare	Sudabilitatea
Austenitice	nu, în general	prin prelucrare la rece	foarte înaltă	foarte bună
Feritice	da	nu	medie	scăzută
Martensitice	da	prin călire+revenire	medie	scăzută
Duplex	da	nu	medie	bună

Tabelul 1.2. Avantajele și dezavantajele diferitelor tipuri de oțeluri inoxidabile [38]

Tipul oțelurilor inoxidabile	Avantaje	Dezavantaje	Exemple EN(AISI)
Austenitice	Cele mai utilizate, rezistență bună la coroziune, rezistență în condiții criogenice, deformabilitate excelentă, sudabilitate bună	Ecruisarea poate limita deformabilitatea, rezistență scăzută la coroziunea prin oboseală	1.4301(304) 1.4401 (316)
Feritice	Cost scăzut, deformabilitate bună	Rezistență la coroziune și deformabilitate mai scăzută decât inox-urile austenitice	1.400 (410S) 1.4016 (430) 1.4749 (446)
Martensitice	Duritate și rezistență mecanică ridicată, durificabile prin tratament termic, cost scăzut	Rezistență la coroziune limitată în comparație cu austeniticele, deformabilitate limitată în comparație cu feriticele, sudabilitate scăzută	1.4021 (420) 1.4057 (431)
Duplex	Rezistență excelentă la coroziune, rezistență ridicată la coroziunea prin oboseală, rezistență mecanică bună în stare caldă	Gama de temperaturi în care pot fi utilizate este mai restrânsă decât în cazul inox-urilor austenitice	1.4501 1.4462

CAPITOLUL 2

ASPECTE PRIVIND REALIZAREA TRASEELOR DE ȚEVI DIN OȚELURI INOXIDABILE

2.1. Principiul procedeului de sudare WIG

Sudarea WIG este un procedeu larg de aplicație, a cărui descriere simbolică este [1...7]:

$$WIG = m - W - DC (AC) - GI \quad (2.1)$$

și arată că el este manual, cu electrod nefuzibil (wolfram), se folosește curent continuu și mai rar curent alternativ, insuflându-se un gaz inert în spațiul arcului electric. Arcul electric este amorsat între un electrod nefuzibil din wolfram și piesa de sudat, materialul de adaos fiind introdus sub formă de vergele în coloana arcului electric (Fig. 2.1).

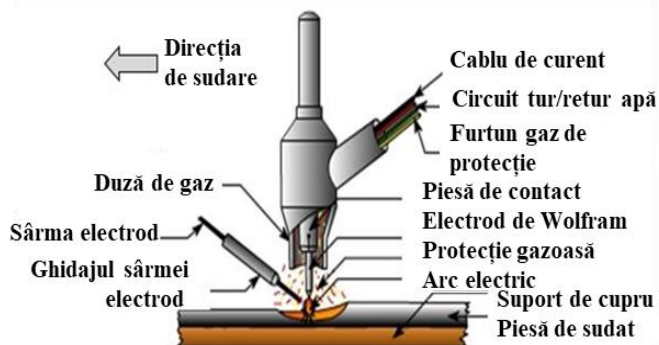


Fig. 2.1. Principiul procedeului de sudare WIG [3]

Sudarea se poate realiza cu material de adaos (Fig. 2.2. b și c) sau fără material de adaos (Fig. 2.2. a), în funcție de forma îmbinării. Aportul de material de adaos se realizează prin introducere manuală (Fig. 2.2. b) sau mecanizată (Fig. 2.2. c).

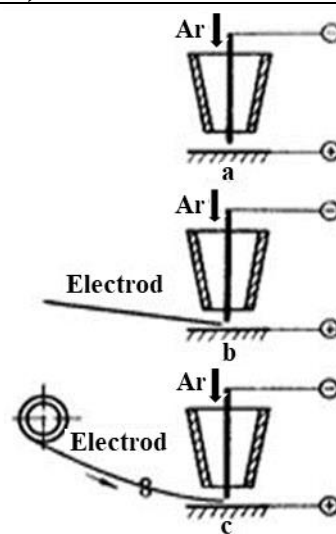


Fig. 2.2. Sisteme de alimentare cu material de adaos la procedeul de sudare WIG [3]

Procedeul de sudare WIG poate fi aplicat în variantă manuală, semimecanizată, mecanizată sau automatizată. Electroful nefuzibil din wolfram este prelucrat la vârf, forma vârfului jucând un rol important asupra stabilității arcului electric de sudare și a puterii de penetrare în materialul de bază. Pentru sudarea oțelurilor, vârful electrodului trebuie să fie ascuțit, de formă conică, iar pentru sudarea aluminiului și a metalelor ușoare, forma vârfului este semisferică.

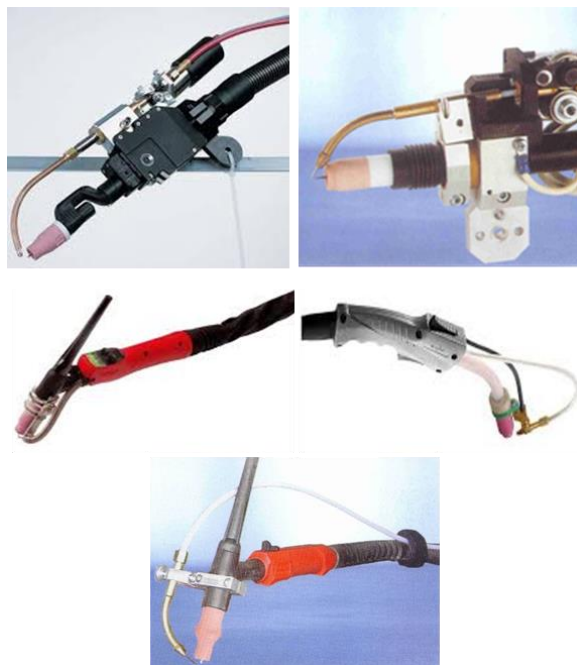
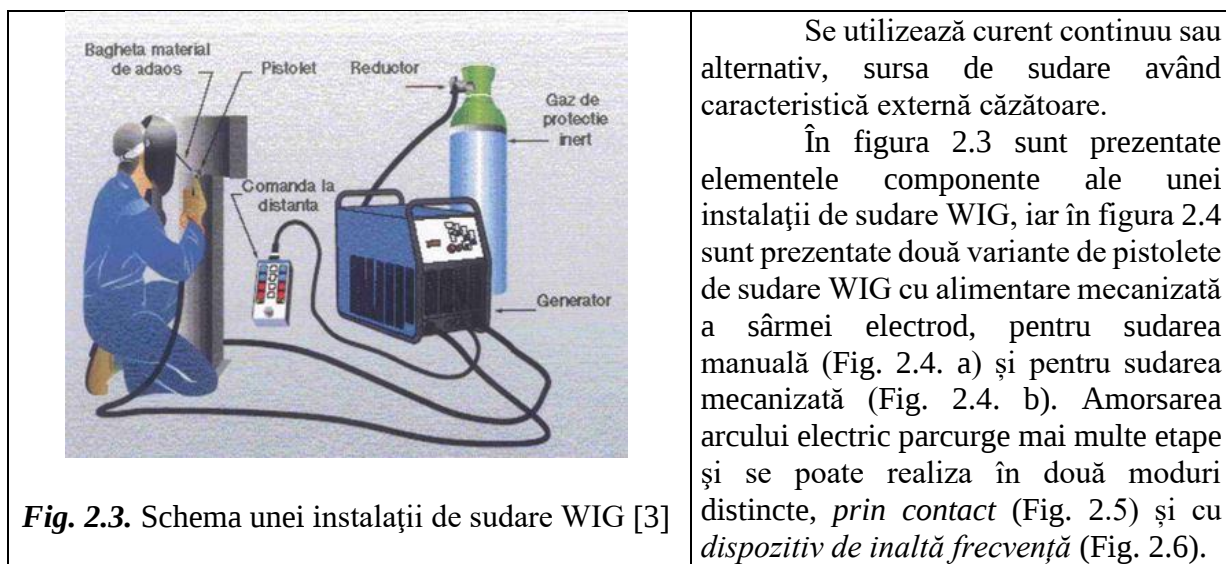


Fig. 2.4. Pistolete de sudare WIG cu alimentare mecanizată a sârmei electrod [41]

Amorsarea arcului electric parcurge mai multe etape și se poate realiza în două moduri distincte, *prin contact* (Fig. 2.5) și cu *dispozitiv de înaltă frecvență* (Fig. 2.6).

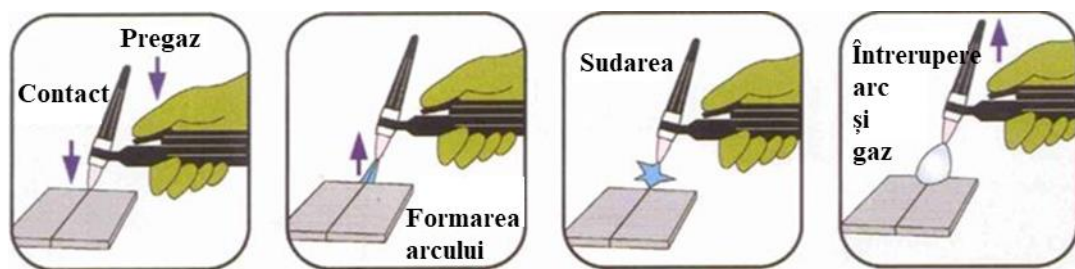


Fig. 2.5. Amorsarea arcului electric prin contact direct al electrodului de wolfram [3]

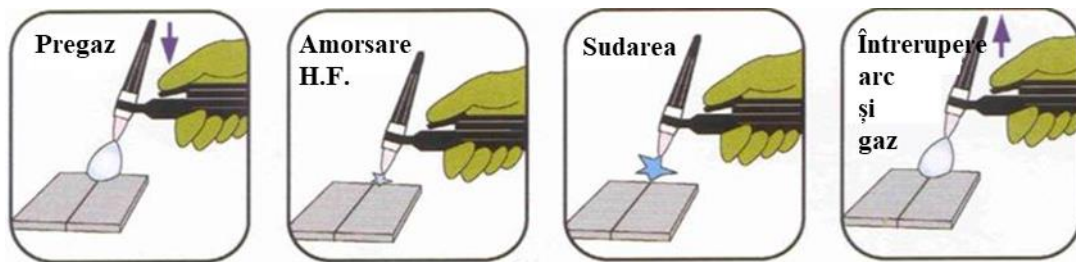


Fig. 2.6. Amorsarea arcului electric folosind dispozitiv de înaltă frecvență [3]

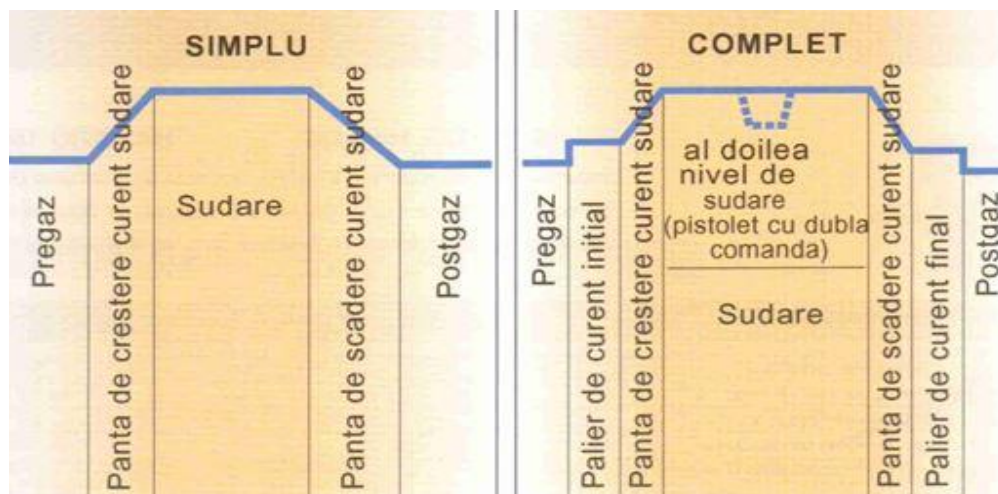


Fig. 2.7. Ciclul de sudare WIG [3]:

Ciclul de sudare WIG este prezentat detaliat în figura 2.7 și poate fi *simplic* sau *complet*.

2.2. Avantajele și dezavantajele sudării WIG

Procedeul de sudare WIG are următoarele *avantaje* [1...7]:

- calitate excelentă a îmbinării sudate datorată protecției oferite de gazul inert, fără defecte;
- lipsa stropiri, deoarece materialul de adaos nu este transferat prin arc, ci doar topit;
- posibilitatea controlului independent al sursei termice și al introducerii de material de adaos;
- nu este necesară curățarea îmbinării sudate (lipsa zgurei);
- control excelent asupra modului de formare a rădăcinii îmbinării sudate;
- control precis al parametrilor de sudare;
- se poate aplica în toate cazurile (poziții de sudare, forme și dimensiuni de îmbinări sudate, tipuri de materiale de bază);
- lipsa zgurei.

Procedeul de sudare WIG prezintă însă și *dezavantaje* [1...7]:

- coeficient de depunere mic și implicit productivitate redusă;
- pregătire corespunzătoare a operatorului sudor;
- dificultăți de asigurare a protecției gazoase în spații deschise;
- preț ridicat al gazelor inerte.



2.3. Vergele pentru sudare

Când se sudează cu material de adaos, acesta este sub formă de vergele, cu compoziția chimică similară cu cea a materialului de bază (sudare în atmosferă inertă) și diametrul în funcție de grosimea materialului de bază (Fig. 2.8).

Fig. 2.8. Vergele pentru sudarea WIG [3, 39]

2.4. Electrozi nefuzibili din wolfram



Fig. 2.9. Electrozi nefuzibili de wolfram [3, 39]

Electrozii nefuzibili se realizează din wolfram, având capacitatea de emisie electronică înaltă și temperatură de topire mare (3410°C). Prin adăugarea unor oxizi de toriu, cesiu, lantan sau zirconiu, se asigură o reducere a uzurii electrodului în timpul sudării, concomitent cu o îmbunătățire a unor caracteristici de funcționare. Diametrul electrodului nefuzibil are valori în domeniul (0,5...6 (10)) mm, iar lungimea este de (50...175) mm (Fig. 6.9). Substanțele utilizate cel mai frecvent sunt oxizii de toriu (ThO_2), de zirconiu (ZrO_2), de lantan (LaO_2) și de ceriu (CeO_2), cantitățile adăugate variind în funcție de element, 0,3...4%.

La diametru egal, electrozii care conțin adaosuri de oxizi pot rezista la o intensitate a curentului electric mai mare decât cel din wolfram

pur, este deci posibilă utilizarea unor electrozi de diametru mai mic, în condiții date ale curentului electric. Efectul adaosului de oxizi este totodată mai pronunțat în cazul electrozilor cu diametre mari, datorită creșterii suprafeței active acoperite cu un strat de substanță emisivă.

2.5. Domenii de aplicare a procedului de sudare WIG

Domenii uzuale ale parametrilor de sudare WIG sunt [1...7]:

- diametrul electrodului nefuzibil: 0,5...6,3 mm;
- curentul de sudare: 10...300 A;
- tensiunea arcului electric: 10...30 V;
- debitul de gaz protector: 5...15 l/min;
- viteza de sudare: 10...30 cm/min;
- diametrul materialului de adaos: 2...5 mm.

Procedeul WIG se pretează cu precădere la *sudarea tablelor subțiri, a țevelor și a straturilor de rădăcină* pentru componente din aluminiu, oțeluri aliate, cupru și metale reactive.

Sudarea WIG se aplică cu precădere în industria chimică, aeronautică, energetica nucleară, în construcția de autovehicule, la instalații etc.

2.6. Varietate de sudare WIG

1. *Sudarea WIG în impulsuri* se deosebește de varianta clasică prin modul de variație în timp a curentului de sudare (Fig. 2.10).

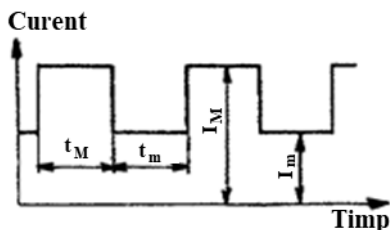


Fig. 2.10. Variația curentului de sudare la sudarea WIG în impulsuri: I_M - curent de impuls; I_m - curent de bază; t_M - timp de impuls; t_m - timp de bază [3]

Topirea materialului și formarea băii lichide au loc în timpul de impuls, în timp ce în timpul de bază se menține arderea stabilă a arcului electric, realizându-se o răcire cu solidificare parțială a băii topite.

La același curent mediu de sudare, la sudarea în impulsuri [3]:

- pătrunderea este mai mare;
- energia introdusă la sudare este mai redusă;
- caracteristicile materialului sunt mai puțin afectate de procesul de sudare;
- tensiunile și deformațiile au valori mai mici.

Alegerea frecvenței impulsurilor depinde de scopul tehnologic urmărit și distingem [3]:

- pulsarea termică ($f < 10$ Hz);
- pulsarea de transfer ($f = 10 \dots 100$ Hz);
- pulsarea metalurgică ($f > 100$ Hz ... mii Hz).

Pulsarea termică are în vedere modificarea geometriei și fluidității băii topite (modificarea pătrunderii), pulsarea de transfer are în vedere obținerea unui transfer controlat în arcul electric, iar pulsarea metalurgică are în vedere modificarea condițiilor de cristalizare primară a băii și obținerea unei granulații mai fine.

Sudarea în impulsuri se utilizează cu precădere în varianta automatizată la sudarea componentelor subțiri și la sudarea în poziție. Curentul de impuls are valori de circa (1,5...2) ori mai mare decât curentul utilizat la sudarea clasică, timpul de bază este de circa 25 % din timpul de impuls, timpul de impuls fiind de circa (0,02...1) s. Pistoletul de sudare se deplasează în timpul de bază și se menține pe loc în timpul impulsului, moment în care se introduce și materialul de adaos în baia metalică.

2. *Sudarea WIG orbitală* se aplică la sudarea mecanizată a țevelor din oțeluri feritice și austenice (țeava fixă iar pistolul de sudare se rotește pe țeavă). O atenție deosebită se acordă pregătirii rostului (prelucrare mecanică) și asamblării pentru sudare.

3. *Sudarea WIG în puncte* (electronituierea WIG) permite realizarea îmbinărilor prin suprapunere, fără găurirea prealabilă a piesei superioare. Se utilizează un pistol special (arcul electric nefiind vizibil), procedeul pretându-se la îmbinarea pieselor din oțel carbon, oțel slab aliat, aluminiu, piesa superioară având grosimea de (0,5...2) mm. Timpul de sudare are valori în domeniul (0,5...5) s.

4. *Sudarea WIG în rost îngust* se realizează utilizând un rost neprelucrat (I) sau rost prelucrat U, V, cu o teșire a marginilor foarte redusă (1...3)°, umplerea rostului realizându-se cu un număr constant de rânduri pe strat (diluție constantă pe întreaga grosime a sudurii). La sudarea WIG în rost îngust sunt necesare două tipuri de sisteme speciale de protecție gazoasă:

- sisteme la care duza se află deasupra rostului;
- sisteme la care duza de gaz este introdusă în rost.

Oscilarea transversală a arcului electric pentru asigurarea pătrunderii laterale în metalul de bază se realizează prin [3]:

- pendularea transversală a capului de sudare;
- rotirea alternativă a capului de sudare;
- deflexia magnetică a arcului electric.

Sudarea WIG în rost îngust are o productivitate relativ redusă, aplicată cu precădere la îmbinarea conductelor.

5. *Sudarea WIG cu sârmă caldă* se utilizează, în special, la realizarea sudurilor de încărcare. În acest caz, materialul de adaos este conectat într-un circuit electric, fiind încălzit prin efect Joule la o tensiune scăzută. Se mărește astfel rata depunerii și ca urmare productivitatea față de varianta clasică.

6. *Sudarea WIG cu protecție dublă* utilizează două gaze introduse separat în spațiul arcului electric [3]:

- gazul central (argon, argon cu mici adaosuri de hidrogen, heliu, amestec argon + heliu);
- gazul exterior (dioxid de carbon sau un alt amestec de gaz) care produce o concentrare a arcului electric și protejează baia topită.

Deși cunoaște un volum redus de aplicare, procedeul asigură viteze de sudare mai mari sau, în cazul aceleași viteze de sudare, pătrunderi mai mari decât la sudarea WIG convențională.

7. *Sudarea WIG hibridă* constă din focalizarea unui fascicul laser CO₂ cu puterea de 125 W...1,5 KW pe pata de ardere a arcului electric WIG de curent continuu de pe piesa de sudat. Față de sudarea WIG convențională, această variantă prezintă ca avantaje [x]:

- posibilitatea sudării cu arc electric de lungime mai mare;
- viteză de sudare mai mare;
- amorsarea fără impulsuri de înaltă tensiune;
- creșterea grosimii de material sudabil fără o pregătire a rostului.

2.7. Exemple de aplicații industriale



Fig. 2.11. Rețele de conducte realizate din oțeluri inoxidabile [39]

Sudarea WIG are aplicații industriale la realizarea construcțiilor metalice sudate de grosimi reduse, din oțeluri inoxidabile și din metale și aliaje neferoase, în diferite domenii (naval, energetic, chimic și rafinării, transporturi etc), pentru realizarea îmbinărilor sudate cap la cap și de colț (table sau țevi), în orice poziție de sudare.

În figura 2.11 sunt prezentate diferite rețele de conducte realizate din oțeluri inoxidabile, iar în figura 2.12 sunt prezentate exemple de aplicații industriale la sudarea WIG a țevelor din oțeluri inoxidabile.

Aspecte privind realizarea traseelor de țevi din oțeluri inoxidabile

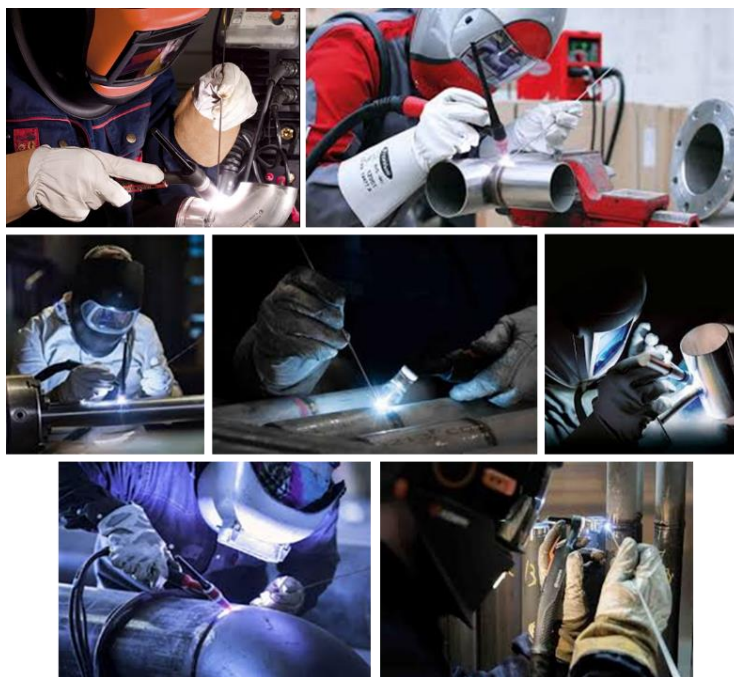


Fig. 2.12. Aplicații industriale la sudarea manuală WIG a țevelor din oțeluri inoxidabile [39]

Țevile din oțeluri inoxidabile având diametre și grosimi mici, în producția de serie mare, se pretează a fi sudate mecanizat orbital (Fig. 2.13).

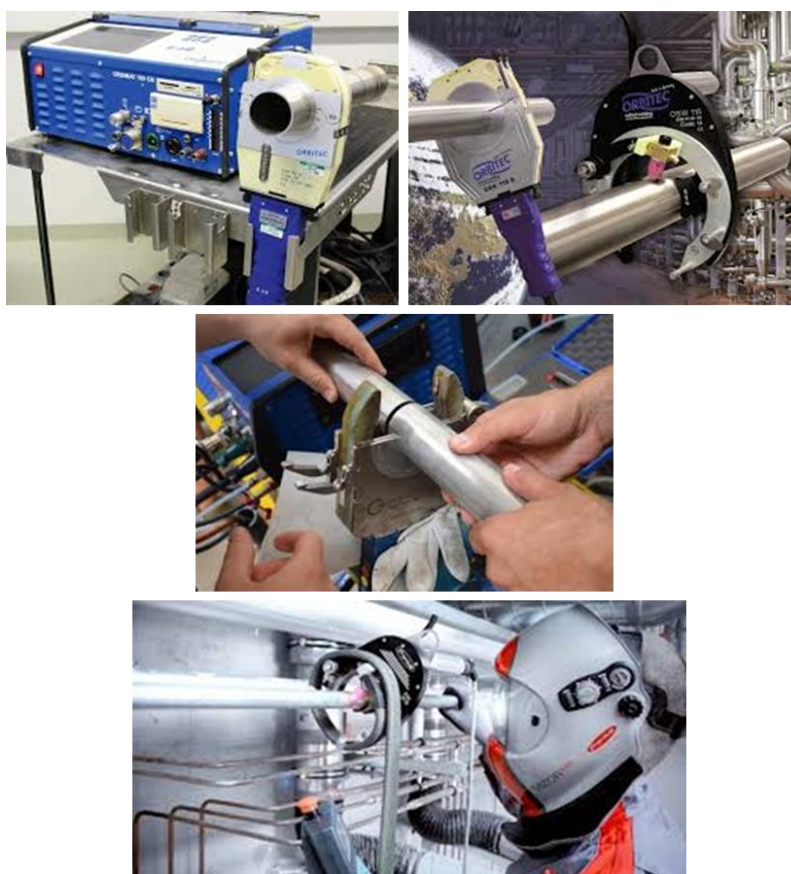


Fig. 2.13. Sudarea mecanizată orbitală WIG [39]



Fig. 2.14. Sudarea robotizată WIG [39]

Tot la sudarea cap la cap și de colț WIG se poate apela și la sudarea robotizată (Fig. 2.14).

Componentele subțiri se sudează fără material de adaos, iar pentru grosimi medii, se folosește material de adaos cu diametrul în funcție de grosimea componentelor.

În cazul componentelor groase, datorită unei productivități scăzute, procedeul de sudare WIG se pretează numai pentru realizarea stratului de rădăcină sau a primelor straturi, urmând ca restul straturilor de umplere și a stratului final să se realizeze prin procedee productive, sudarea MIG sau sub strat de flux prin alegerea corespunzătoare a cuplului sârmă-flux.

2.8. Tipuri de îmbinări sudate

Prin procedeul WIG se pot realiza atât îmbinări sudate cap la cap cât și îmbinări de colț (Fig. 2.15).



Fig. 2.15. Exemple de îmbinări sudate [39]

2.9. Tipuri de semifabricate

Pentru realizarea rețelilor de conducte din oțeluri inoxidabile pe lângă țevi se mai folosesc și fittinguri: flanșe (cu gât, oarbe, plate), reducții, teuri, coturi la diferite unghiuri (Fig. 2.16).

Aspecte privind realizarea traseelor de țevi din oțeluri inoxidabile



Fig. 2.16. Exemple de fittinguri [39]

2.10. Debitarea și prelucrarea țevelor

Debitarea țevelor din oțeluri inoxidabile termorezistente destinate industriei termoelectrice, se poate realiza prin următoarele metode: debitare cu disc abraziv (Fig. 2.17); debitare prin frezare (Fig. 2.18) și debitarea cu plasmă de aer (Fig. 2.19).



Fig. 2.17. Debitarea țevelor cu disc abraziv [8]



Fig. 2.18. Debitarea țevelor prin frezare [8]



Fig. 2.19. Debitarea țevelor cu cu plasmă de aer [8]

În figura 2.20 sunt prezentate diferite tipuri de freze utilizate la debitare prin frezare.



Fig. 2.20. Tipuri de freze [8]

Etapele prelucrării marginilor țevei în vederea sudării sunt prezentate în figura 2.21, iar în figura 2.22 sunt prezentate variante constructive de cuțite de prelucrare.

Pe țeava debitată manual cu plasmă de aer se atașează un dispozitiv pentru tăiere și pregătire a rostului în vederea sudării.

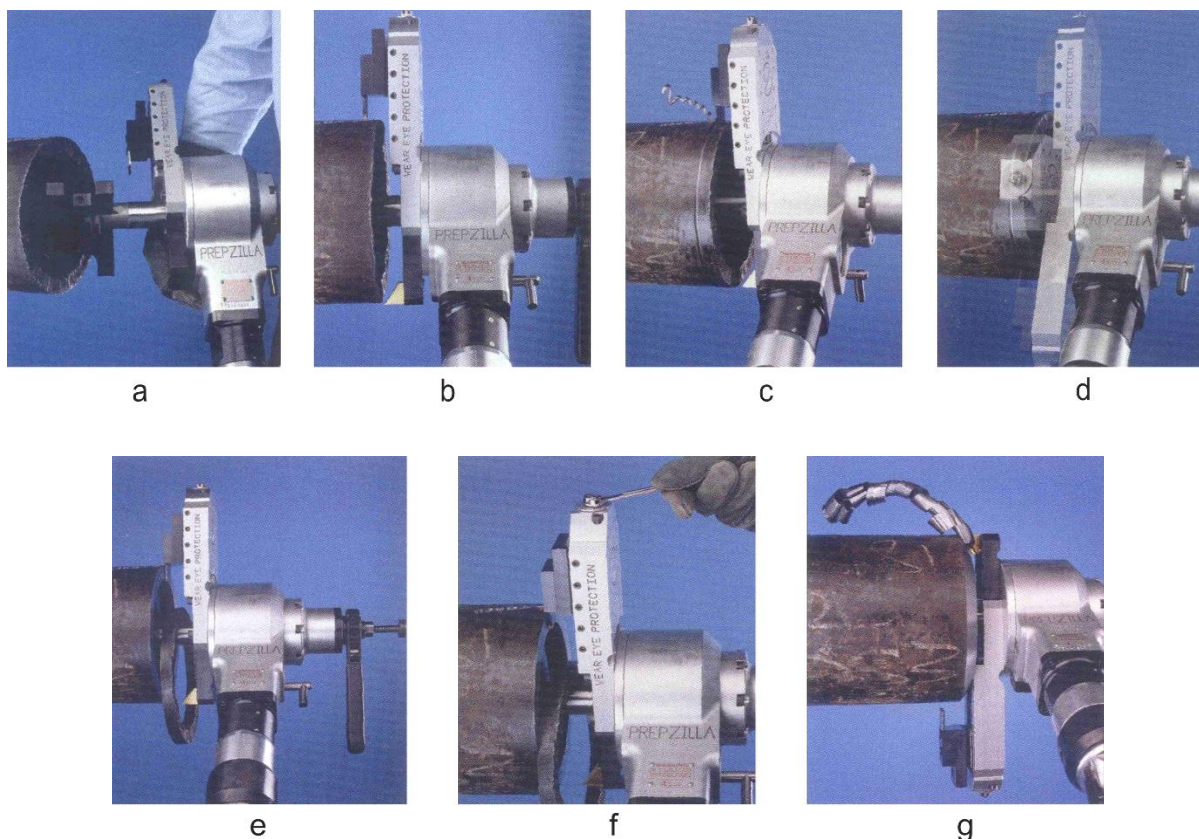


Fig. 2.21. Etapele prelucrării marginilor țevei în vederea sudării orbitale: a- fixarea dispozitivului pe țeavă; b- centrarea dispozitivului; c și d- tăierea capătului de prelucrat; e- scoaterea țevei debitate; f- fixarea cuțitului în vederea prelucrării marginii; g- prelucrarea rostului în Y [8]

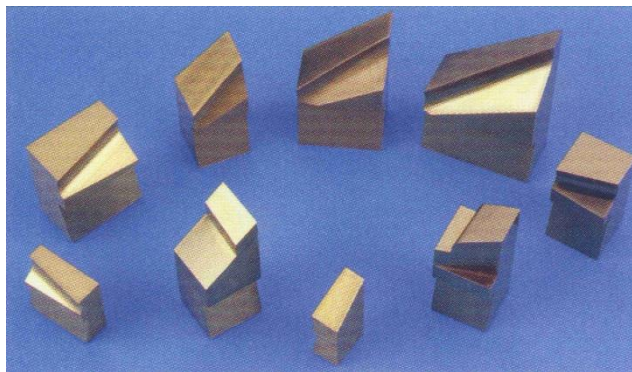


Fig. 2.22. Cuțite de prelucrare [8]

2.11. Stabilirea parametrilor regimurilor de sudare manuală WIG

Principalii parametri de sudare WIG care trebuie stabiliți sunt următorii [1...7]:

1. *Natura și polaritatea curentului de sudare*

La sudarea WIG în curent continuu cu polaritate inversă (DC^+) ionii grei de argon bombardează componentele de sudat și electronii ușori și rapizi bombardează electrozodul nefuzibil. Microsablarea metalelor de bază acoperite cu oxizi greu fuzibili înlătură operația de curățare a componentelor înainte de sudare. Bombardamentul cu electroni ușori provoacă încălzirea suplimentară a electrozodului nefuzibil și deci uzura sa prematură. Acest fenomen este evitat prin micșorarea curentului de sudare sau măbind diametrul electrozodului. În cazul sudării WIG în curent continuu cu polaritate directă (DC^-) nu se produce nici microsablarea și nici încălzirea suplimentară a electrozodului nefuzibil. Se poate suda cu un curent de sudare mai mare sau cu un diametru de electrozod mai mic. La sudarea WIG în curent alternativ arcul electric este mai puțin stabil. Datorită acestui fapt se ridică tensiunea de sudare la 100...450 V și se introduc curenți de înaltă frecvență pentru a ioniza suplimentar spațiul arcului electric. Se folosesc curenți de sudare cu 25% mai mari decât în cazul sudării DC^+ .

2. *Diametrul electrozodului de wolfram (d_e)* se determină în funcție de grosimea componentelor de sudat [1...7]:

$$d_e = -0,024 \cdot S^2 + 0,769 \cdot S + 0,242 \quad [mm] \quad (2.2)$$

în care S este grosimea componentelor de sudat, [mm].

Relația este valabilă pentru $1 \leq S \leq 15$ mm. Se va alege cea mai apropiată valoare standardizată a diametrului electrozodului de valoarea calculată (1,0; 1,2; 1,6; 2,4; 3,2; 4,8; 6,3; 9,5; 12,7 mm).

3. *Intensitatea curentului de sudare (I_s)* se stabilește în funcție de diametrul electrozodului de wolfram d_e și de natura și polaritatea curentului de sudare, astfel [1...7]:

$$(DC^+): I_s = 14 \cdot d_e - 5 \quad [A] \quad (2.3)$$

$$(DC^-): I_s = 92 \cdot d_e - 42 \quad [A] \quad (2.4)$$

$$(AC): I_s = 67 \cdot d_e - 37 \quad [A] \quad (2.5)$$

4. *Diametrul sârmei electrod (d_s)* se stabilește tot în funcție de diametrul electrodului de wolfram d_e (Tabelul 2.5).

Tabelul 2.5. Corelația între diametrul electrodului de wolfram d_e și diametrul sârmei d_s [1...7]

d_e , [mm]	1,0	1,6	2,4	3,2	4,8	6,3
d_s , [mm]	1,5...2,0	2,0...2,5	2,0...3,0	2,0...3,0	3,0...5,0	5,0...6,0

5. *Tensiunea arcului (U_a)* se stabilește funcție de intensitatea curentului de sudare cu relația [1...7]:

$$U_a = 10 + 0,04 \cdot I_s \quad [V] \quad (2.6)$$

6. *Debitul de gaz protector (D_G)* se stabilește tot în funcție de diametrul electrodului de wolfram (Tabelul 2.6).

Tabelul 2.6. Corelația între diametrul electrodului de wolfram și debitul de gaz protector (Ar) [1...7]

d_e , [mm]	1,0	1,6	2,4	3,2	4,8	6,3
D_G , [l/min]	4,0...6,0	4,0...6,0	5,0...7,0	6,0...9,0	7,0...10,0	10,0...12

În cazul folosirii heliului drept gaz protector, valorile din tabel se majorează cu 100%.

7. *Viteza de sudare (v_s)* se determină în cazul când se utilizează material de adaos cu relația [1...7]:

$$v_s = \frac{100 \cdot A_D}{6 \cdot F_t \cdot \rho} \quad [cm/min] \quad (2.7)$$

în care A_D este rata depunerii calculată cu relația [1...7]:

$$A_D = 0,192 \cdot 10^{-2} \cdot I_s + 0,148 \quad [kg/oră] \quad (2.8)$$

în care I_s este secțiunea unei treceri, [cm²];

ρ - densitatea metalului depus, [g/cm²].

2.12. Accesorii pentru sudare

La sudarea WIG, pe lângă echipamentul și dispozitivul folosit pentru sudare, se vor utiliza și o serie de accesorii [3]:

➤ echipament electro-portabil complet, pentru ascuțirea electrozilor de wolfram, TIG SHARP (Fig. 2.23. a);

➤ suport pistol de sudare WIG cu bază magnetică pentru perioadele de pauză (Fig. 2.23. b);

➤ dispozitiv pentru măsurarea debitului gazului sau amestecului de gaze de protecție inerte al pistolului de sudare WIG, FLOWELD (Fig. 2.23. c);

Aspecte privind realizarea traseelor de țevi din oțeluri inoxidabile



Fig. 2.23. Acesorii folosite la sudarea WIG [3]

- ascuțitor chimic al electrozilor de wolfram, TIG POINT (Fig. 2.23. d);
- spray pentru controlul scăpărilor de gaz sau amestec de gaze de protecție inerte (verificarea etanșeităților), 1000 BULLES (Fig. 2.23. e).

CAPITOLUL 3

MATERIALE ȘI ECHIPAMENTE UTILIZATE LA SUDAREA WIG A ȚEVILOR DIN OȚELURI AUSTENITICE REZISTENTE LA COROZIUNE

3.1. Materiale de bază

Pentru sudarea WIG, s-au folosit două tipodimensiuni de țevi din oțeluri austenitice rezistente la coroziune:

- X2CrNiMo 17-12-2, Φ 60,3 x 11,7 x 150 mm;
- X5CrNiMo 17-12-2, Φ 48,3 x 2,9 x 150 mm.

Compozițiile chimice și caracteristicile mecanice sunt conform tabelelor 3.1 și 3.2.

Tabelul 3.1. Compozițiile chimice ale oțelurilor austenitice rezistente la coroziune [13..15]

Marca de oțel		Compoziția chimică conform standard EN 10216-5, [%]				
		Compoziția chimică conform certificatelor de calitate, [%]				
Simbolizare alfanumerică	Simbolizare numerică	C max	Si	Mn	P max	S max
		N	Cr	Mo	Ni	-
X2CrNiMo 17-12-2	1.4404	0,03	≤ 1	≤ 2	0,04	0,015
		$\leq 0,11$	16,5 - 18,5	2,0 - 2,5	10 - 13	-
		0,021	0,32	1,36	0,03	0,002
		0,05	16,61	2,04	10,15	-
X5CrNiMo 17-12-2	1.4401	0,07	≤ 1	≤ 2	0,04	0,015
		$\leq 0,11$	16,5 - 18,5	2,0 - 2,5	10 - 13	-
		0,23	0,37	0,78	0,038	0,001
		0,023	16,56	2,04	11,04	-

Tabelul 3.2. Caracteristicile mecanice ale oțelurilor austenitice rezistente la coroziune [13..15]

Marca de oțel		Caracteristicile mecanice conform standard EN 10216-5			
		Caracteristicile mecanice conform certificatelor de calitate			
Simbolizare alfanumerică	Simbolizare numerică	R _{p0,2} , min, [MPa]	R _m , [MPa]	A ₅ , min, [%]	HRC, min,
X2CrNiMo 17-12-2	1.4404	190	490 - 690	40	60
		274,32	636,09	52	79
X5CrNiMo 17-12-2	1.4401	205	510 - 710	40	60
		270	580	60	72,7

3.2. Materialul de adaos

Când se sudează cu material de adaos, acesta este sub formă de vergele, cu compoziția chimică similară cu cea a materialului de bază (sudare în atmosferă inertă) și diametrul în funcție de grosimea materialului de bază.

Pentru sudarea WIG a ambelor tipuri de oțeluri s-a ales vergeaua *ER 316 L*.

Clasificare: AWS A5.9-93: ER 316 L

EN ISO 14343-A: W 19 12 3 L

Domenii de aplicare: construcții metalice, producția de automobile și electrocasnice, cazangerie inclusiv pentru industria chimică/petrolieră și fabricarea țevelor.

Poziții de sudare AWS/EN: 1G/PA, 2F/PB, 2G/PC, 3G/PF, 3G/PG, 4G/PE, 5G/PF, 5G/PG

Curent de sudare: DC

Gaz de protecție: Ar (I1) EN 439

Dimensiuni: Φ 2 x 1.000 mm

Compoziția chimică și caracteristicile mecanice sunt centralizate în tabelele 3.3 și 3.4.

Tabelul 3.3. Compoziția chimică a vergelei [16...18]

Marca vergelei	Compoziția chimică conform catalog Bohler, [%]				
	Compoziția chimică conform certificat de calitate, [%]				
	C max	Mn	Si	S max	P max
	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb
ER 316 L	$\leq 0,02$	1,8	0,5	-	-
	18,5	12,3	2,8	-	-
ER 316 L	0,01	1,6	0,4	0,009	0,002
	18,1	12,2	2,6	0,15	-

Tabelul 3.4. Caracteristicile mecanice ale vergelei [16...18]

Marca vergelei	Caracteristicile mecanice conform catalog Bohler			
	Caracteristicile mecanice conform certificat de calitate			
	R _{p0,2} , [MPa]	R _m , [MPa]	A ₅ , [%]	KV, [J] la 20 °C
ER 316 L	470	710	38	140
	470	610	38	≥ 100

3.3. Gazul de protecție

Pentru sudarea WIG se utilizează gaze inerte ca argon sau heliu precum și amestecuri argon-heliu respectiv argon-hidrogen.

În tabelul 3.5 sunt prezentate principalele caracteristici ale gazelor protectoare.

Între unitățile de măsură folosite la exprimarea cantităților pentru argon, dioxid de carbon și oxigen există interdependența prezentată în tabelul 3.6.

Tabelul 3.5. Principalele caracteristici a gazelor protectoare [3]

Gaz protector	Acțiunea chimică	Densitatea față de aer	Potențial de ionizare, [V]
Ar	Inert	1,38	15,7
He	Inert	0,137	24,5
N ₂	Parțial inert	0,967	14,5
H ₂	Reducător	0,0695	1,35
CO ₂	Oxidant	1,53	14,4
O ₂	Puternic oxidant	1,105	13,6
Aer	Oxidant	1	-

Tabelul 3.6. Interdependența dintre unitățile de măsură a principalelor gaze protectoare [3]

Unități de măsură	Ar			CO ₂			O ₂		
L	1	0,710	1,273	1	0,85	1,667	1	0,88	1,252
Kg	1,4	1	1,784	1,178	1	1,977	1,14	1	1,429
m ³	0,79	0,56	1	0,6	0,54	1	0,8	0,7	1

Comparând proprietățile argonului și cele ale heliului, se remarcă următoarele [3]:

➤ potențialul de ionizare al argonului (15,7 V) este mai mic decât cel al heliului (24,5 V). La aceiași I_s și L_a , U_a în heliu va fi mult mai mare decât în argon și ca efect puterea arcului electric în heliu și pătrunderea vor fi mai mari. La sudarea WIG în heliu se pot utiliza viteze de sudare mai mari;

➤ argonul este mai greu decât aerul, în timp ce heliu este mai ușor. De aceea la același nivel de protecție, este necesar un debit de heliu mai mare decât cel de argon;

➤ amorsarea arcului electric este mai dificilă în heliu decât în argon. La sudarea WIG în heliu se preferă amorsarea arcului electric în argon și schimbarea ulterioară a gazului de protecție;

➤ prețul argonului este mai redus decât cel al heliului;

➤ la sudarea AC în argon, apare efectul de microsablare (curățare superficială a piesei de stratul de oxid greu fuzibil), situație favorabilă în cazul sudării aluminiului.

Argonul se fabrică și se livrează în cinci tipuri (A, B, C, D și E). Tipurile A și B se utilizează la sudarea WIG și MIG, iar tipul C la sudarea MAG în amestecuri de gaze (Ar + CO₂ + O₂). Sudarea WIG în argon se utilizează la sudarea oricăror materiale metalice. Heliu sau amestecurile argon - heliu (cu până la 75% He) sunt recomandate pentru sudarea aluminiului și cuprului. Amestecurile argon-hidrogen sunt folosite la sudarea oțelurilor înalt aliate Cr - Ni și a aliajelor de nichel.

Tabelul 3.7. Influența gazului de protecție asupra unor caracteristici la sudare [3]

Gaz (amestec) de protecție	Amorsare	Stabilitatea arcului electric	Lățimea cordonului	Pătrundere	Viteza de sudare
Ar	3	3	3	2	2
Ar/He	3	3	2	2	3
He	1	1	1	3	3
He/Ar (25/75)	2	2	3	2	3
He/Ar (50/50)	1	1	2	3	3

Notă: 1- influență mică; 2- influență medie; 3- influență mare.

Materiale și echipamente utilizate la sudarea WIG a țevelor din oțeluri austenitice rezistente la coroziune

În anumite situații este necesară o protecție cu gaz a rădăcinii sudurii:

- azot + hidrogen pentru oțeluri slab aliate sau aliate;
- argon pentru oțeluri aliate, aluminiu, nichel sau materiale radioactive;
- heliu sau amestecuri argon + heliu (mai rar).

Tipul gazului (amestecului) de protecție influențează o serie de caracteristici la sudarea WIG, așa cum se arată în tabelul 3.7.

Pentru sudarea cap la cap WIG a țevelor din oțeluri austenitice rezistente la coroziune s-a utilizat *gazul de protecție inert argon (Ar)*.

3.4. Electrocul nefuzibil de wolfram

Electrozii nefuzibili se realizează din wolfram, având capacitatea de emisie electronică înaltă și temperatură de topire mare (3.410°C). Prin adăugarea unor oxizi de thoriu, cesiu, lantal sau zinconiu, se asigură o reducere a uzurii electrodului în timpul sudării, concomitent cu o îmbunătățire a unor caracteristici de funcționare.

În tabelul 3.8 se prezintă compoziția chimică a electrozilor nefuzibili pentru sudare.

Tabelul 3.8. Compoziția chimică a electrozilor nefuzibili [3]

Codificare	Compoziția chimică				Culoarea marcajului
	Adaos de oxid		Impurități, [%]	W, [%]	
	[%]	natura			
WP	-	-	≤ 0,20	99,8	Verde
WT 4	0,35...0,55	ThO ₂	≤ 0,20	rest	Albastru
WT 10	0,80...1,20	ThO ₂	≤ 0,20	Rest	Galben
WT 20	1,70...2.20	ThO₂	≤ 0,20	Rest	Roșu
WT 30	2,80...3,20	ThO ₂	≤ 0,20	Rest	Violet
WT 40	3,80...4,20	ThO ₂	≤ 0,20	Rest	Portocaliu
WZ 3	0,15...0,50	ZrO ₂	≤ 0,20	Rest	Brun
WZ 8	0,70...0,90	ZrO ₂	≤ 0,20	Rest	Alb
WZ 10	0,90...1,20	LaO ₂	≤ 0,20	Rest	Negru
WC 20	1,80...2,20	CeO ₂	≤ 0,20	Rest	Gri

Electrozii din wolfram pur cu peste 99,5% W (WP) se folosesc în special la sudarea AC a aluminiului și magneziului, arcul electric având o productivitate bună.

Electrozii din wolfram thoriat (WT) conțin (0,9...4,2)% ThO₂. Adaosul de oxid de thoriu îmbunătățește caracteristicile de amorsare, durata de viață și curentul maxim suportat de electrod. Se sudează de preferință DC.

Electrozii din wolfram zirconiat (WZ) conțin (0,3...0,9)% ZrO₂ și au caracteristici de amorsare mai slabe decât electrozii din wolfram thoriați. Se folosesc la sudarea oțelurilor pentru reactoare nucleare, sudându-se în AC.

Electrozii din wolfram lantanat (WL) conțin (0,9...1,2)% LaO₂, având o durată de viață mai lungă decât electrozii thoriați, utilizându-se mai ales la sudarea cu plasmă.

Electrozii din wolfram cesiat (WC) sunt utilizați atât în AC cât și în DC.

Diametrul electrodului nefuzibil are valori în domeniul (0,5...6(10)) mm, iar lungimea este de (50...175) mm.

Pregătirea electrodului nefuzibil pentru sudarea WIG diferă după natura și polaritatea

curentului de sudare (Fig. 3.1).

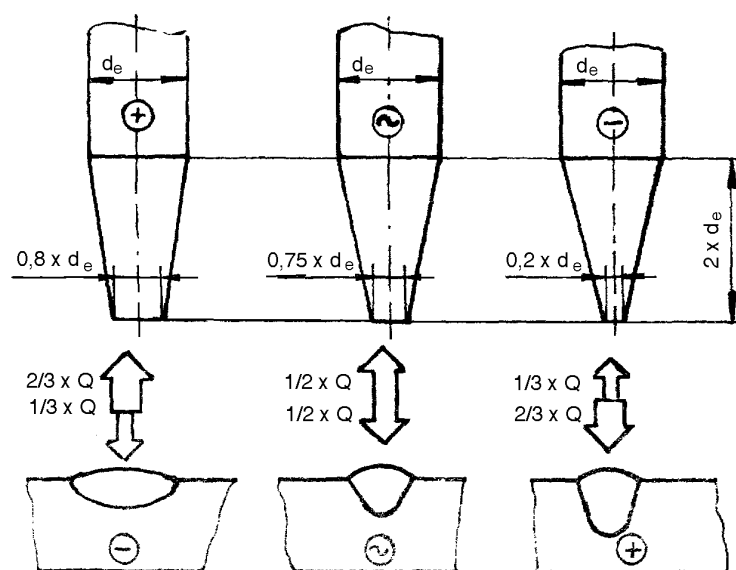


Fig. 3.1. Pregătirea electrodului nefuzibil, modul de distribuire a cantității de căldură Q și forma cusăturii care rezultă după sudarea WIG [3].

În aceeași figură este ilustrat bilanțul termic al căldurii produse în timpul sudării și forma cusăturii care se realizează. Pentru sudarea cap la cap WIG a țevelor din oțeluri austenitice rezistente la coroziune s-au utilizat *electrozi nefuzibili din wolfram thoriat (WT 20)* cu diametrul de 2,4 mm și lungimea de 175 mm.

3.5. Sursa de sudare WIG

3.5.1. Conceptul sursei de sudare

Pentru sudarea cap la cap WIG a țevelor din oțeluri austenitice rezistente la coroziune s-a utilizat *sursa de sudare WIG TransTig (TT) 3000*, sursă de curent pe bază de inverter complet digitalizată, comandată prin microprocesor. Designul modular și posibilitatea simplă de extensie a sistemului garantează un grad ridicat de flexibilitate. Conceptul de operare simplu face ca funcțiile esențiale să fie extrem de vizibile și ușor de setat.

O interfață Fronius Solar Net standardizată asigură condițiile optime pentru conectarea simplă la extensiile de sistem digitale (pistolet de sudare JobMaster TIG, pistol de sudare robotizată, telecomenzi etc). Sursa de curent poate fi alimentată și de la un generator. Prin intermediul elementelor de operare protejate și al carcasei vopsite în câmp electrostatic, ele oferă un grad ridicat de robustețe în timpul funcționării.

3.5.2. Principiul de funcționare

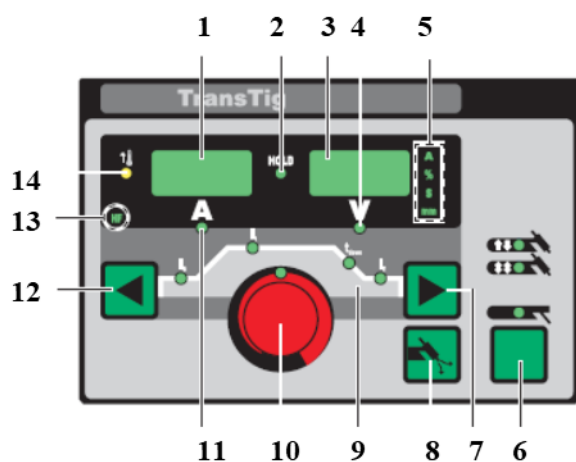
Unitatea centrală de comandă și reglare a sursei de curent este cuplată cu un procesor digital de semnal. Unitatea centrală de comandă și reglare și procesorul de semnal comandă întregul procedeu de sudare. În timpul procedurii de sudare, datele actuale sunt măsurate pe parcurs, permițând reacții prompte în cazul apariției unor modificări. Algoritmii de reglare au rolul de a menține starea nominală dorită.

De aici rezultă un procedeu de sudare de precizie, reproductibilitate exactă a tuturor rezultatelor și caracteristici de sudare excepționale.

3.5.3. Domenii de utilizare



Fig. 3.2. Sursa de sudare WIG TransTig (TT) 3000 [42]



Sursa de sudare WIG este destinată uzului meșteșugăresc și industrial, pentru aplicații WIG manuale și automatizate cu oțel nealiat și oțel slab aliat, precum și cu oțel crom-nichel înalt aliat (Fig. 3.2). În figura 3.3 este prezentat panoul frontal al sursei de sudare WIG TransTig (TT) 3000 și în tabelul 3.9 caracteristicile tehnice.

Fig. 3.3. Panoul frontal al sursei de sudare WIG TransTig (TT) 3000:

1- afișaj digital pe partea stanga; 2- afișare HOLD; 3- afișaj digital pe partea dreaptă; 4- afișare tensiune de sudare; 5- afișaje unități; 6- buton mod de funcționare; 7- buton selectare parametri dreapta; 8- buton test gaz; 9- vedere de ansamblu parametri de sudare; 10- roată de setare; 11- afișare curent de sudare; 12- buton selectare parametri stanga; 13- afișare amorsare HF; 14- afișare supratemperatură [42]

În figura 3.4 sunt prezentate racordurile, întrerupătoarele și componentele mecanice ale sursei de sudare WIG.

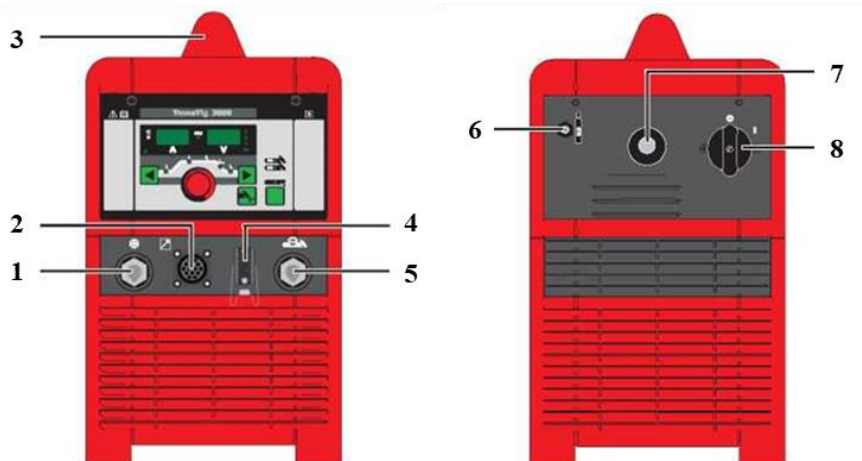


Fig. 3.4. Racordurile, întrerupătoarele și componentele mecanice ale sursei de sudare WIG: 1- borna de curent (+) cu închizător-baionetă; 2- conexiune LocalNet (telecomandă); 3- mâner; 4- racord comandă pistol; 5- borna de curent (-) cu închizător-baionetă; 6- racord de gaz de protecție; 7- cablu de rețea cu dispozitiv de detensionare; 8- întrerupător de rețea [42]

Tabelul 3.9. Caracteristicile tehnice ale sursei de curent WIG TransTig (TT) 3000 [42]

Tensiunea de rețea	3 x 400 V
Toleranța tensiunii rețelei	+/- 15%
Frecvența rețelei	50 / 60 Hz
Siguranța fuzibilă de rețea cu declanșare întârziată	16 A
Curent permanent în circuitul primar (100 % DA)	5,7 KVA
Cos φ	0,99
Domeniul curentului de sudare	
WIG	3 - 300 A
MMA	10 - 300 A
Curent de sudare la	
- 10 min / 40 °C 45 % DA	300 A
- 10 min / 40 °C 60 % DA	270 A
- 10 min / 40 °C 100 % DA	230 A
Tensiunea de mers în gol standard:	85 V
Tensiune max. la sudare	
WIG	10,1 - 22,0 V
MMA	20,1 - 32,0 V
Tensiunea de amorsare	10 KV
Clasa de protecție	IP 23
Tipul de răcire	AF
Clasa de izolație	B
Marcaj de conformitate	CE
Dimensiuni l x b x h	560 x 250 x 435 mm
Greutate	24,2 kg

CAPITOLUL 4

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA WIG A ȚEVILOR DIN OȚELURI AUSTENITICE REZISTENTE LA COROZIUNE

4.1. Pregătirea în vederea sudării

Țevile pentru probe în lungime de 200 mm s-au debitat din țevile livrate de producător în lungimi de 6.000 mm prin tăiere cu disc abraziv. După debitarea țevelor, s-a trecut la pregătirea rostului pentru sudare folosind mașină de șanfrenat țeavă DWT, model MF3iw, care poate fi utilizată atât în atelier cât și în șantier (Fig. 4.1. a).



Fig. 4.1. Etapele pregătirii rostului pentru sudare

Mașina se remarcă prin dimensiuni și greutate reduse (datorită carcasei din aliaj de aluminiu special) ceea ce o face ușor de utilizat de către un singur operator.

Mașina de șanfrenat țeavă MF3iw oferă următoarele *avantaje*:

- timp de execuție foarte scurt;
- șanfren de o calitate înaltă;
- ușor de operat;
- prindere pe țeavă rapidă și stabilă;
- costuri reduse pentru consumabile.

Principalele *caracteristici tehnice* ale mașinii de șanfrenat țeavă MF3iw sunt următoarele:

- gama de prindere pe interior: Ø 25...96 mm;
- gama de diametre: Ø 25...114 mm (opțional Ø 16...114 mm);
- grosimea peretelui țevii: max. 15 mm;
- acționare: motor electric;
- greutate: 7,0 kg;

Mașina de șanfrenat se poate utiliza pentru șanfrenarea țevelor din oțel, oțel inox și oțeluri înalt aliate, cât și pentru eliminarea cordonului de sudură la țevele sudate în placă

tubulară. După debitarea țevelor pentru probe, pe fiecare țeavă se fixează mașina de șanfrenat MF3iw (Fig. 4.1. b) și prin acționarea motorului electric se realizează rostul pentru sudare (Fig. 4.1. c).

Pregătirea rostului în vederea prinderii în puncte de sudură s-a realizat cu ajutorul dispozitivelor specifice (Fig. 4.2. a), verificându-se distanța dintre cele două componente (Fig. 4.2. b) și alinierea lor (Fig. 4.2. c).

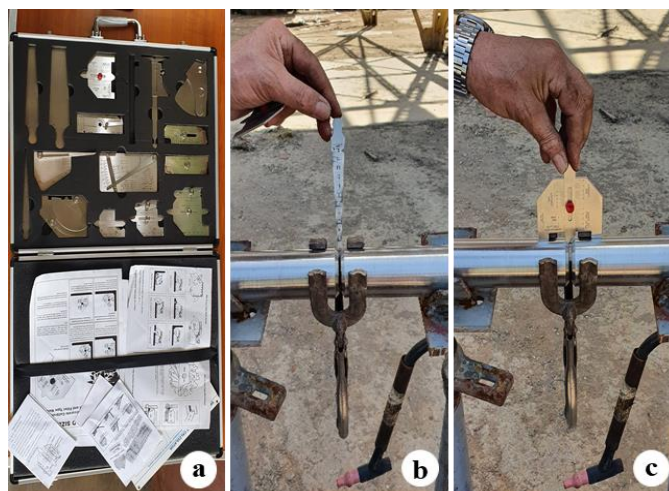


Fig. 4.2. Pregătirea rostului în vederea prinderii în puncte de sudură

În vederea prinderii în puncte de sudare se folosește un clește autoblocant cu cioc U (Fig. 4.3. a). Prinderea celor două țevi s-a realizat cu trei puncte de sudură în lungime de 10 mm dispuse la 120° (Fig. 4.3. b și c).

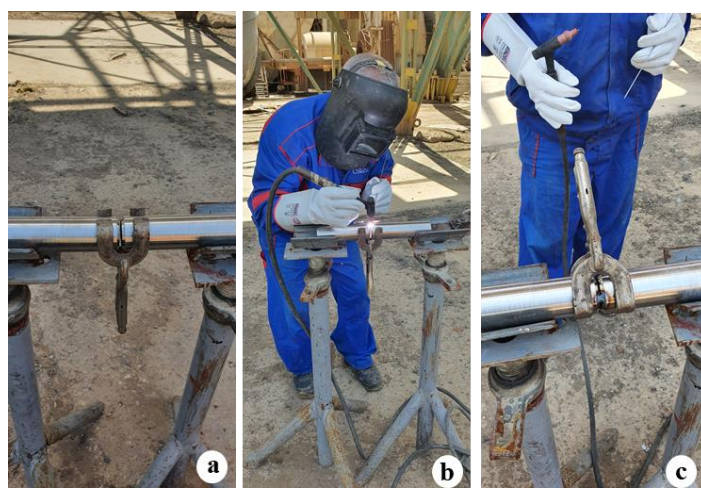


Fig. 4.3. Prinderea în puncte de sudură

4.2. Sudarea probelor

Indiferent de tipodimensiunile țevelor la sudare s-a utilizat curent continuu polaritate directă DC⁺, debitul de argon pentru sudare 10 l/min și pentru protecția rădăcinii 8 l/min. La

sudare s-au folosit vergele ER 316 L cu dimensiunile $\Phi 2 \times 1.000$ mm și electrozi nefuzibili din wolfram thoriat (WT 20) cu dimensiunile $\Phi 2,4 \times 175$ mm.

Pregătirea componentelor pentru sudare s-a realizat conform figurii 4.4, parametrii regimurilor de sudare fiind centralizați în tabelul 4.1 (axa țevei în poziția orizontal).

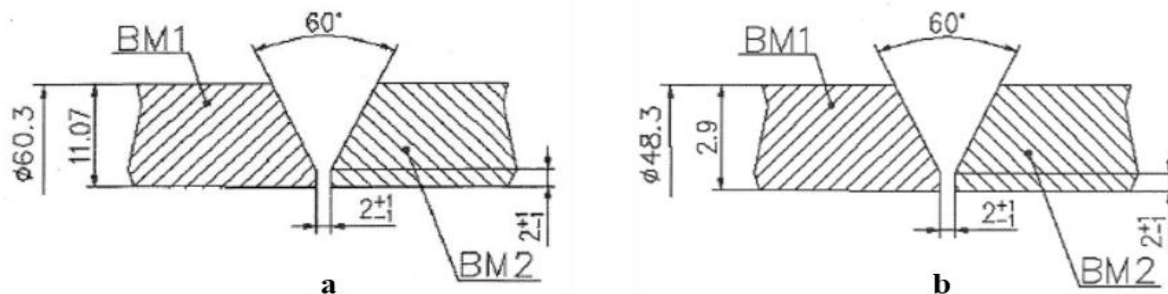


Fig. 4.4. Pregătirea componentelor pentru sudare: a- $\Phi 60,3 \times 11,07$; b- $\Phi 48,3 \times 2,9$ [19, 20]

Tabelul 4.1. Parametrii regimurilor de sudare [19, 20]

Dimensiune țeavă	Straturi depuse	I_s , [A]	U_a , [V]	v_s , [cm/min]	E_l , [KJ/mm]
$\Phi 60,3 \times 11,07$	5	80...90	12...14	~ 9	0,84
$\Phi 48,3 \times 2,9$	2	80...90	12...14	~ 9	0,84

În figura 4.5 sunt prezentate aspecte din timpul sudării probei (Fig. 4.5 a și b) și după finalizarea îmbinării (Fig. 4.5 c).

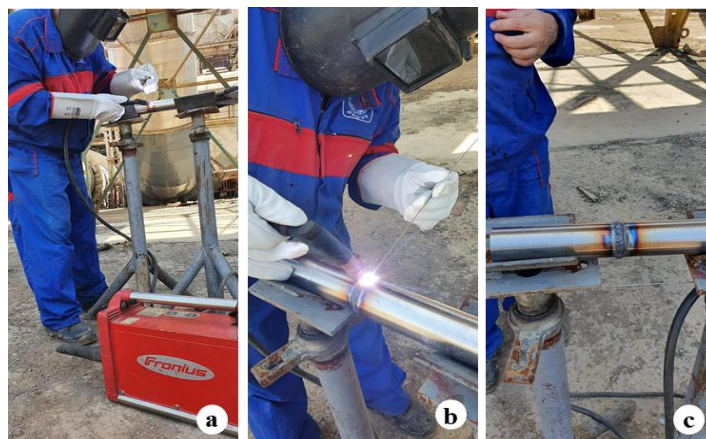


Fig. 4.5. Sudarea probei

4.3. Controlul nedistructiv al probelor sudate

4.3.1. Controlul vizual și dimensional

Controlul vizual și dimensional în cele trei etape (înainte, în timpul și după sudare) s-a realizat în cadrul SC Comes SA Săvinești. Pentru examinarea vizuală și dimensională s-au folosit ca echipamente, șublerul electronic digital cu două zecimale, calibrul pentru măsurarea dimensiunilor îmbinărilor sudate și lupa cu grosimet de 5x.

Înainte de sudarea fiecărei probe, s-au verificat: forma și dimensiunile rostului; curățarea suprafețelor de îmbinat și cele adiacente; fixarea țevelor în puncte de sudură și parametrii regimurilor de sudare. În timpul sudării probelor, s-au verificat parametrii regimurilor de sudare. După depunerea și curățarea fiecărui strat/rând, s-a verificat aspectul exterior (cu ochiul liber și cu lupa cu grosimet de 5x) și dimensiunile fiecărui strat cu șublerul electronic digital cu două zecimale și calibrul pentru sudură. Toate cele cinci probe sudate cap la cap WIG, în urma controlului vizual, au fost corespunzătoare (fără defecte de suprafață), în conformitate cu *Buletinele de control vizual și dimensional nr. 90/25.03.2019 și nr. 50/11.02.2019*, eliberate de SC Comes SA Săvinești [21, 22].

4.3.2. Controlul cu lichide penetrante



Fig. 4.6. Setul de lichide penetrante

Controlul cu lichide penetrante s-a realizat în conformitate cu SR EN 3452/1 - 2013 [23], folosind degresantul MR 85, penetrantul MR 68c și dezvoltantul MR 70, producător MR-CHEMIE, la temperatura de 18 °C, durata de penetrare fiind de 20 min și durata de dezvoltare de 30 min (Fig. 4.6). În figura 4.7 sunt prezentate etapele controlului cu lichide penetrante: a- curățarea zonei îmbinării sudate; b- aplicarea penetrantului; c- curățarea penetrantului; d- aplicarea dezvoltantului. În figura 4.7. e este prezentată proba sudată cap la cap cupă finalizarea controlului cu lichide penetrante.

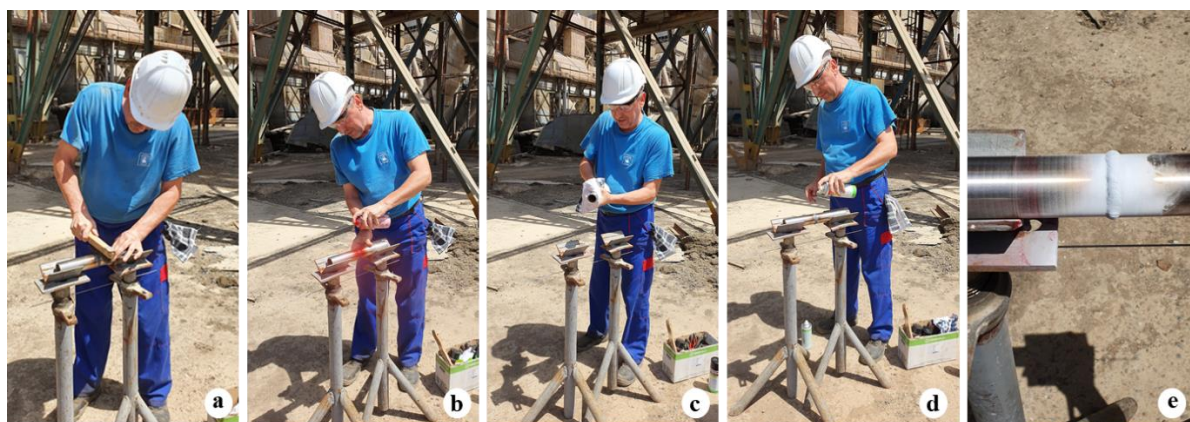


Fig. 4.7. Realizarea controlului cu lichide penetrante

Interpretarea rezultatelor controlului cu lichide penetrante s-a făcut în conformitate cu prevederile SR EN ISO 23277 - 2010 [24]. În urma controlului cu lichide penetrante probele sudate cap la cap WIG au fost corespunzătoare (fără defecte de suprafață), în conformitate cu *Buletinele de examinare cu lichide penetrante nr. 078/25.03.2019 și nr. 45/11.02.2019*, eliberate tot de SC Comes SA Săvinești [25, 26].

4.3.3. Controlul cu radiații penetrante

În final, în cadrul SC Comes SA Săvinești s-a efectuat un control nedistructiv cu radiații penetrante, utilizând instalația cu radiații X tip MXR-301. Tehnica de examinare cu radiații X a fost în conformitate cu Standardul Republican SR EN ISO 17636/1 - 2014 [27]. Condițiile de radiografiere cu radiații X sunt prezentate în tabelul 3.2. Interpretarea radiografiilor s-a făcut conform SR EN ISO 12517/1 - 2009 nivel 2 [28].

Tabelul 4.2. Condiții de execuție a examinărilor cu radiații X [29, 30]

Marcă oțel			X2CrNiMo 17-12-2	X5CrNiMo 17-12-2
Grosimea materialului de bază, [mm]			11,07	2,9
Parametri de lucru	Natura radiației		X	X
	Dimensiunea petei focale, [mm]		0,4 x 4,0	0,4 x 4,0
	Tensiunea U, [kV]		200	135
	Intensitatea I, [mA]		3,0	3,0
	Distanța focală, [mm]		360	600
	Timp de expunere, [min.]		60"	120"
	Tipul filmului		D5	D5
Ecran Pb	Material		Pb	Pb
	Grosime	Față	0,027	0,027
		Spate	0,027	0,027
Tipul ICI cu fire			10FE EN	13FE EN
Densitatea de înnegrire minimă			2,0	2,0
Sensibilitatea (Diametrul minim al firului sau găurii)			0,16	0,8
Tehnica radiografică și clasa conform SR EN ISO 17636			7.1.6 fig 11, Clasa B	7.1.6 fig 11, Clasa B

După efectuarea controlului radiografic cu radiații X, toate cele cinci probe sudate cap la cap au fost de bună calitate (admise) conform *Buletinelor de examinare cu radiații penetrante nr. 040/25.03.2019 și nr. 015/11.02.2019*, eliberate tot de SC Comes SA Săvinești [29, 30].

4.4. Controlul distructiv al probelor sudate

4.4.1. Examinările macroscopice și microscopice

Examinările macroscopice și microscopice, s-au realizat la temperatura de 20 °C și umiditatea de 50%, în conformitate cu EN ISO 15614-1/2017 + SR CEN ISO/TR 16060/2015, în cadrul SC Comes SA Săvinești. După debitarea mecanică, suprafețele frontale ale epruvetelor au fost rectificate și șlefuite, după care s-au atacat cu reactivul VILELLA, s-au spălat cu apă și s-au uscat cu aer cald.

1. *Examinarea macroscopică* s-a realizat pentru fiecare din cele două suprafețe frontale. Macrostructurile care ilustrează foarte clar zonele straturilor depuse și modul de cristalizare, sunt prezentate în figurile 4.8 și 4.9.

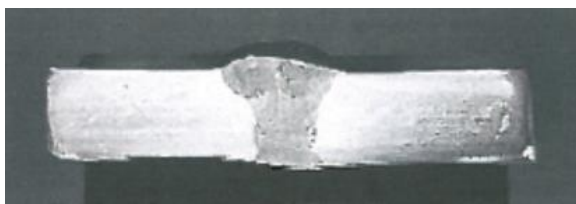


Fig. 4.8. Macrostructura epruvetei prelevate din proba din oțel X2CrNiMo 17-12-2 [31]



Fig. 4.9. Macrostructura epruvetei prelevate din proba din oțel X5CrNiMo 17-12-2 [32]

2. *Examinarea microscopică* s-a realizat pe aceleași suprafețe frontale ale epruvetelor, în cele trei zone ale îmbinărilor sudate (MB, ZIT și CUS) rezultatele fiind prezentate în figurile 4.10 și 4.11.

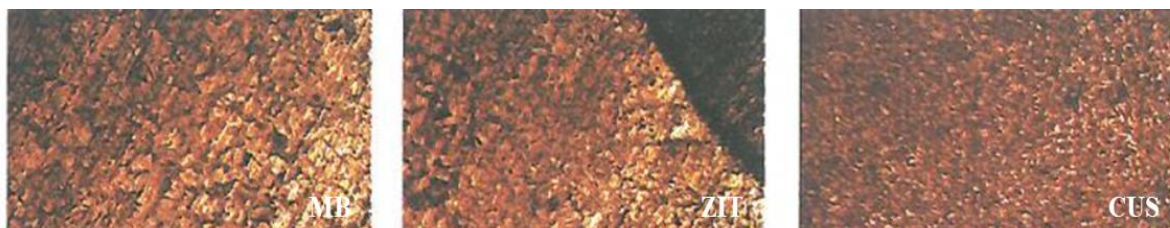


Fig. 4.10. Microstructurile epruvetei prelevate din proba din oțel X2CrNiMo 17-12-2 [31]



Fig. 4.11. Microstructurile epruvetei prelevate din proba din oțel X5CrNiMo 17-12-2 [32]

Rezultatele analizelor macroscopice și microscopice sunt conform *Buletinelor de analiză macroscopică și microscopică nr. 225/15.03.2019 și nr. 216/18.02.2019*, eliberate tot de SC Comes SA Săvinești [31, 32].

4.4.2. Încercările mecanice la tracțiune transversală

Aceste încercări mecanice de laborator, s-au realizat la temperatura ambiantă 23 ± 5 °C (20 °C), în conformitate cu SR EN 4136-2013 [33]. Rezultatele încercărilor mecanice la tracțiune transversală sunt centralizate în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3. Rezultatele încercărilor mecanice la tracțiune transversală [34, 35]

Epruveta	Dimensiune epruvetă, [mm]	Fm, [daN]	Rm, [MPa]	Observații
X2CrNiMo 17-12-2				
1	11,07 x 19,7	7373	555	Rupere în MB
2	11,07 x 19,9	7412	558	Rupere în MB
X5CrNiMo 17-12-2				
1	2,9 x 19,5	3670	649	Rupere în MB
2	2,9 x 19,8	3756	654	Rupere în MB

Rezultatele încercărilor mecanice la tracțiune transversală sunt conform *Rapoartelor de încercare nr. 309/15.03.2019 și nr. 295/18.02.2019*, eliberate tot de SC Comes SA Săvinești [34, 35].

4.4.3. Încercările mecanice la îndoire transversală frontală

Aceste încercări mecanice de laborator, s-au realizat tot la temperatura ambiantă 23 ± 5 °C (20 °C), în conformitate cu SR EN ISO 5173 - 2010 [36], cu rădăcina comprimată (FBB) și cu rădăcina întinsă (RBB). Rezultatele încercărilor mecanice la tracțiune transversală sunt conform *Rapoartelor de încercare nr. 309/15.03.2019 și nr. 295/18.02.2019*, eliberate tot de SC Comes SA Săvinești [34, 35].

Rezultatele încercărilor mecanice la îndoire transversală frontală sunt centralizate în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4. Rezultatele încercărilor mecanice la îndoire transversală frontală [34, 35]

Epruveta	Dimensiune epruvetă	Ø dorn, [mm]	Distanța între role, [mm]	Unghi de îndoire, [°]	Tipul încercării	Observații
X2CrNiMo 17-12-2						
1	11,07 x 14 mm	20	32	180	FBB	Admis
2	11,07 x 14 mm	20	32	180	FBB	Admis
3	11,07 x 14 mm	20	32	180	RBB	Admis
4	11,07 x 14 mm	20	32	180	RBB	Admis
X5CrNiMo 17-12-2						
1	2,9 x 14 mm	20	32	180	FBB	Admis
2	2,9 x 14 mm	20	32	180	FBB	Admis
3	2,9 x 14 mm	20	32	180	RBB	Admis
4	2,9 x 14 mm	20	32	180	RBB	Admis

4.4.4. Încercările mecanice la încovoiere prin șoc KV

Încercările mecanice de laborator la încovoiere prin șoc KV, s-au realizat la temperatura de - 60 °C, numai pentru țevele din oțel X2CrNiMo 17-12-2, în conformitate cu Standardul European SR EN ISO 9016 - 2013 [37]. Rezultatele încercărilor mecanice la încovoiere prin șoc KV sunt centralizate în tabelul 4.5.

Tabelul 4.5. Rezultatele încercărilor mecanice la încovoiere prin șoc KV [34]

Epruveta	Marcaj epruvetă	Dimensiune epruvetă, [mm]	Energia de rupere, [J]	Reziliența, [J/cm²]
1	D1	55 x 10 x 10	192	320
	D2	55 x 10 x 10	169	282
	D3	55 x 10 x 10	188	313
2	Z1	55 x 10 x 10	113	188
	Z2	55 x 10 x 10	104	173
	Z3	55 x 10 x 10	131	218

Rezultatele încercărilor mecanice la tracțiune transversală sunt conform *Raportului de încercare nr. 309/15.03.2019*, eliberat tot de SC Comes SA Săvinești [34].

CAPITOLUL 5

LUCRĂRI EXECUTATE PENTRU SUPRAÎNCĂLZITORUL CONVECTIV DE JOASĂ PRESIUNE, UNITATEA NR. 1, CENTRALA TERMoeLECTRICĂ NASSIRIYAH - IRAQ

5.1. Descrierea echipamentului supraîncălzitor convectiv de joasă presiune, stagiul 1&2

Supraîncălzitorul convectiv de joasă presiune este alcătuit din două stagii, cel de intrare și cel de ieșire. Cel de intrare (al doilea în sensul de trecere a gazelor arse) și cel de ieșire (primul în sensul de trecere a gazelor arse) este format din 148 de serpentine, fiecare dintre ele. Echipamentele sunt localizate în canalul de trecere a gazelor arse [4].

Fiecare serpentină a primului stagiul (stagiul de intrare), este alcătuită din șase țevi cu bucle duble având dimensiunile de $\Phi 42 \times 4$ mm, din material oțel aliat 12X1MF [4].

Fiecare serpentină din stagiul 2 (stagiul de ieșire), este alcătuită din 6 țevi cu bucle duble având dimensiunile de $\Phi 42 \times 4$ mm, din material oțel aliat 12X1MF (prima buclă) și oțel inoxidabil (a doua buclă), [4].

Parametri de funcționare a supraîncălzitorului convectiv de joasă presiune, stagiul 1&2, conform proiect sunt următorii [4]:

- consumul de abur auxiliary - 590 t/h;
- presiunea aburului secundar la intrarea în cazan - 27,8 bar;
- presiunea aburului auxiliar la ieșirea din cazan - 25,7 bar;
- temperatura aburului secundar la intrarea în cazan - 335 °C;
- temperatura aburului secundar la ieșirea din cazan - 545 °C.

5.2. Lucrări pregătitoare înainte de începerea lucrărilor de reparație

Înainte de începerea lucrărilor de reparație, au fost executate următoarele activități:

- îndepărtare depozitelor de cenușă;
- măsurători de grosimi a țevelor;
- identificarea tipurilor de defecte.

5.2.1. Îndepărtarea depozitelor de cenușă

Depozitele masive de cenușă conținând compuși de sulf, acumulate între cele două bucle a fiecărui stagiul, cu înălțimi cuprinse între 1 m și 2 m (Fig. 5.1), au fost îndepărtate în vederea pregătirii pentru inspecția serpentinelor.



Fig. 5.1. Depozite de cenușă între bucelele serpentinelor [4]



Fig. 5.2. Depozite de cenușă pe țevile serpentinelor [4]



Fig. 5.3. Depozite de cenușă petrificate [4]

Depozitele de cenușă acumulate pe țevile serpentinelor (Fig. 5.2. a) au fost îndepărtate prin metode mecanice (Fig. 5.2. b).

Din cauza pierderilor de abur a echipamentului în timpul funcționării, depozitul de cenușă a devenit petrificat.

Datorită durității mari a depozitelor de cenușă, activitățile de curățare au fost foarte dificile.

Cenușa petrificată a fost evacuată și depozitată în locuri special amenajate (Fig. 5.3).

5.2.2. Măsurători de grosimi ale țevilor

Activitățile de măsurare a grosimilor țevilor constau în următoarele metode:

- măsurători de grosimi țevi cu dispozitiv cu ultrasunete (Fig. 5.4. b). Pregătirea suprafețelor (Fig. 5.4. a) a fost realizată folosind polizoare drepte și unghiulare. Pentru curățarea și șlefuirea suprafețelor s-au folosit ca accesorii discuri și perii lamelare (Fig. 5.5);
- măsurători suplimentare de grosimi țevi cu șublerul (Fig. 5.6).



Fig. 5.4. Măsurarea grosimilor țevilor folosind aparat cu ultrasunete [4]



Fig. 5.5. Polizor și accesorii pentru curățarea suprafețelor [4]



Fig. 5.6. Măsurarea grosimilor țevelor folosind șubler electronic [4]



Fig. 5.7. Coroziuni generale ale țevelor și coturilor [4]

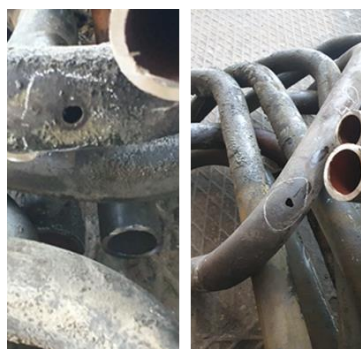


Fig. 5.8. Coroziuni în puncte (pitting) [4]

În urma efectuării măsurătorilor de grosimi, au fost găsite grosimi acceptabile a peretilor țevelor (Fig. 5.6. a), cât și grosimi sub limitele admise (Fig. 5.6. b), în baza cărora s-au stabilit tronsoanele de țevi și coturi care trebuie înlocuite.

5.2.3. Tipuri de defecte

În timpul funcționării, au apărut multe scurgeri de abur în zonele în care țevile sunt complet acoperite de depozitele de cenușă și nu au fost efectuate activități de reparație pentru acestea.

Prezența scurgerilor de abur și concentrația mare de sulf, care rezultă din arderea incompletă a combustibilului, au creat un mediu acid, care a favorizat apariția coroziunii generale pe suprafețe mari ale țevelor, în special în zona coturilor (Fig. 5.7). Din această cauză, coroziunea a fost foarte rapidă și depozitele de cenușă au devenit petrificate.

Din aceleași cauze cât și datorită calității necorespunzătoare a apei (bogată în Fe) a apărut și coroziunea în puncte (pitting), în special la partea inferioară a buclelor, între coturi (Fig. 5.8).

Chiar dacă au fost efectuate măsurători de grosimi ale materialului în zonele din vecinătatea coturilor, iar valorile s-au încadrat în limitele permise, acest tip de coroziune este foarte dificil de localizat cu precizie.

5.3. Lucrări de reparare a echipamentului

5.3.1. Calificarea procedurilor de sudare

Sudarea trebuie executată cu proceduri de sudare calificate, utilizând specificații ale procedurilor de sudare (WPS-uri) în conformitate cu părțile relevante ale EN ISO 15609 (PT ISCIR CR 7 - 2013), sau EN ISO 14555, după caz. La calificarea procedurilor de sudare conform EN ISO 15613 sau EN ISO 15614-1, se aplică condițiile din SR EN ISO 1090-2, cap. 7.4.

5.3.2. Sudori și operatori sudori

Sudorii trebuie calificați conform EN 287-1 (PT ISCIR CR 9 - 2013) și operatorii sudori conform EN 1418. Înregistrările tuturor încercărilor pentru calificarea sudorilor și operatorilor sudori trebuie păstrate și disponibile. Fiecare sudor calificat va avea un număr de identificare (poanson) pentru identificarea lucrărilor executate de acesta. Coordonarea sudării pe durata executării sudurii, trebuie asigurată prin personal calificat corespunzător pentru aceasta și cu experiență în operațiile de sudare pe care le supervizează, conform prevederilor din EN ISO 14731. În funcție de operațiile de sudare pe care le supervizează, personalul de coordonare trebuie să aibă cunoștințele tehnice conform tabelelor 14 și 15 din EN 1090-2, cap. 7.4.3.

5.3.3. Pregătirea îmbinărilor

Toate materialele aprovizionate trebuie însoțite de certificate de calitate. Tipul certificatului de calitate trebuie să corespundă reglementărilor contractului (conform SR EN 10204). Se vor controla: șarja, dimensiunile, marcajul și starea acestora.

Pregătirea îmbinării trebuie să fie corespunzătoare procedurii de sudare. Pregătirea șanfrenului pentru sudare se va face conform reglementărilor documentației de montaj și a WPS-urilor (Fig. 5.9).



Fig. 5.9. Pregătirea rostului pentru sudare [4]

Tăierea pieselor ce urmează a fi sudate se poate face prin orice procedeu mecanic sau prin tăiere cu plasmă de aer. Zona de influență termomecanică trebuie îndepărtată prin procedee mecanice.

Capetele pieselor (țevilor) care se sudează vor fi curățate la luciu metalic pe cele două părți ale îmbinării, la interior și la exterior, pe o lățime de 20 mm de la marginea șanfrenului, îndepărtându-se impuritățile (grăsime, oxizi, vopsea, umezeală), (Fig. 5.10). Alinierea (centrarea) componentelor (țevilor) care se sudează trebuie să se facă cât mai corect posibil și trebuie menținută în timpul operației de sudare.



Fig. 5.10. Curățarea capetelor pieselor (țevilor) [4]

5.3.4. Materiale consumabile pentru sudare

Toate materialele de adaos pentru realizarea îmbinărilor sudate vor fi aprovizionate având certificate de calitate conform standardelor în vigoare. Materialele de adaos trebuie păstrate în magazine încălzite, pe rafturi și trebuie păstrate în ambalajele originale.

5.3.5. Prinderea provizorie

Elementele de sudat, trebuie curățate de impurități, aliniate corect și menținute în poziție prin suduri de prindere provizorie sau prin dispozitive exterioare și blocate pe durata sudării inițiale. Elementele de sudat trebuie asamblate și menținute în poziție astfel încât să fie ușor accesibile și vizibile de către sudor.

Toate sudurile pentru prinderi provizorii trebuie executate conform WPS și trebuie efectuat un control adecvat pentru a se asigura că produsul constituent nu prezintă fisuri pe suprafața zonei de sudură provizorie. Lungimea minimă a unei suduri de prindere trebuie să fie cea mai mică valoare între de patru ori grosimea părții celei mai groase sau 50 mm, în afară de cazul în care se poate demonstra printr-o încercare că o lungime mai mică este satisfăcătoare.

Toate sudurile de prindere provizorie care nu se încorporează în sudurile finale trebuie îndepărtate. Sudurile de prindere provizorie care trebuie încorporate în sudura finală trebuie să aibă forma corespunzătoare și să fie executate de sudori calificați. Sudurile de prindere provizorie trebuie să fie fără defecte de depunere și să fie curățate cu atenție înainte de sudarea finală.

5.3.6. Sudarea

Sudarea se va realiza conform WPS-urilor specifice fiecărei lucrări de sudură (unde este cazul și conform formularului de sudură). Un exemplar din WPS și formularul de sudură (unde este cazul) se va regăsi la locul lucrării. În timpul operației de sudare se va asigura protecția împotriva intemperiilor (cum ar fi: ploaie, vânt, zăpadă etc). Dacă temperatura ambiantă este între -10 și $+5$ °C se impune preîncălzirea pieselor de îmbinat la o temperatură de cel puțin 50 °C. Când temperatura ambiantă este mai mare de $+5$ °C preîncălzirea nu este necesară decât dacă este impusă de tehnologia de sudare specifică fiecărei îmbinări.



Fig. 5.11. Realizarea îmbinărilor sudate în condiții de atelier [4]

Sudarea țevelor se poate realiza (atunci când se poate) în condiții de atelier (Fig. 5.11) sau în condiții de șantier (5.12). Viteza de răcire după sudare trebuie să fie controlată pentru a preveni apariția tensiunilor interne. Scobirea la rădăcină trebuie executată cu o adâncime suficientă pentru a asigura pătrunderea în metalul sudurii, depozitat anterior și să producă un șanț cu conturul în formă de U cu fețele sudurii ușor accesibile pentru sudare.

Îmbinările țevelor cu diametru mai mic de 133 mm se execută de către un singur sudor iar cele cu diametru mai mare de 133 mm se vor executa de către doi sudori pentru evitarea apariției tensiunilor și deformațiilor în îmbinarea sudată.

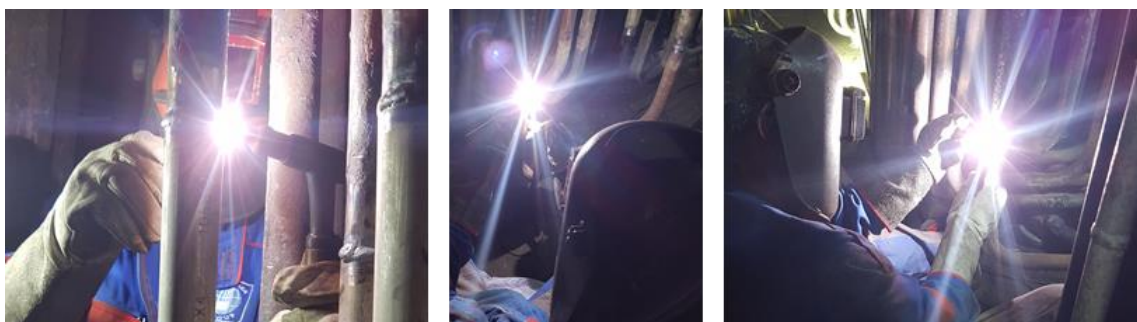


Fig. 5.12. Realizarea îmbinărilor sudate în condiții de șantier [4]

În figura 5.13 sunt prezentate exemple de îmbinări sudate în condiții de șantier.



Fig. 5.13. Îmbinări sudate în condiții de șantier [4]

Trebuie avute în vedere precauții pentru a evita urma de arc (amorse accidentale) și dacă urma de arc s-a produs, suprafața oțelului trebuie polizată ușor și verificată. Se recomandă ca verificarea vizuală să fie completată cu verificare cu lichid penetrant sau pulbere magnetică. Defecte vizibile ca fisuri, cavități și alte defecte neacceptate, trebuie eliminate după fiecare rând, înainte depunerii rândurilor următoare.

Sudarea oțelurilor inoxidabile se face conform cerințelor din SR EN 1011, la care se adaugă amendamentele din SR EN 1090-2, cap. 7.7. La terminare, sudorii vor îndepărta stropii de sudură și vor poansonă sudura pentru identificare la capetele cordonului executat și din metru în metru.

5.3.7. Examinari nedistructive pentru imbinarile sudate

Examinarea sudurilor se va face după tratamentul termic (dacă este cazul). Personalul care execută examinări nedistructive trebuie să fie calificat și certificat pentru fiecare metodă de încercare. Volumul și metodele de control nedistructiv vor fi stabilite conform recomandărilor PT ISCIR și a SR EN 12952-6 sau reglementărilor proiectului și vor fi specificate în formularele de sudură.

Controlul vizual pentru toate sudurile va urmări:

- înainte de sudare: verificarea șanfrenelor, centrajul și rostul și starea de curățenie a suprafețelor conform WPS-urilor;
- după sudare: verificarea prezenței oricărui defect și un aspect corespunzător al sudurii și al suprafeței pieselor (cratere, șanțuri marginale, fisuri, lipsă de topire, pătrundere incompletă acolo unde este posibil accesul la suprafața interioară).

Metodele de control nedistructiv trebuie selectate conform SR EN ISO 17635 de către personal calificat conform nivelului 2 definit în SR EN 473. În general încercarea cu US, sau RT se aplică sudurilor cap la cap și încercarea cu LP sau PM se aplică sudurilor în colț. Controlul nedistructiv, cu excepția examinării vizuale, trebuie efectuat de personal calificat conform nivelului 2, definit în SR EN 473. Domeniul de verificare și metodele de control nedistructiv folosite, se vor aplica conform cerințelor din SR EN 1090-2, cap. 12.4.

CONCLUZII

1. Pentru sudarea WIG, s-au folosit:
 - două tipodimensiuni de țevi din oțeluri austenitice rezistente la coroziune, X2CrNiMo 17-12-2, Φ 60,3 x 11,7 x 150 mm și X5CrNiMo 17-12-2, Φ 48,3 x 2,9 x 150 mm;
 - vergele din oțel austenitic rezistentă la coroziune ER 316 L cu dimensiunile Φ 2 x 1.000 mm;
 - gaz de protecție argon (Ar);
 - electrozi nefuzibili din wolfram thoriat (WT 20) cu dimensiunile Φ 2,4 x 175 mm;
 - sursa de sudare pe bază de inverter complet digitalizată, comandată prin microprocesor, WIG TransTig (TT) 3000.
2. Controlul nedistructiv al probelor sudate WIG s-a desfășurat în trei etape:
 - controlul vizual și dimensional;
 - controlul cu lichide penetrante;
 - controlul cu radiații penetrante.
3. Controlul nedistructiv al probelor sudate WIG nu a pus în evidență prezența defectelor exterioare și interioare.
4. Controlul distructiv al probelor sudate a cuprins:
 - examinările macroscopice și microscopice;
 - încercările mecanice la tracțiune transversală;
 - încercările mecanice la îndoire transversală frontală;
 - încercările mecanice la încovoiere prin șoc KV.
5. Examinările macroscopice și microscopice nu au pus în evidență prezența defectelor interioare (microfisuri, pori etc).
6. În urma încercărilor mecanice la tracțiune transversală, epruvetele s-au rupt la valori superioare față de valorile minime impuse, ruperile având un caracter ductil.
7. Încercările mecanice la îndoire transversală frontală au fost bune (fără fisuri pe suprafețele întinse).
8. În urma încercărilor mecanice la încovoiere prin șoc KV, au fost obținute valori individuale peste valorile minime admise.

În concluzie, rezultatele bune ale analizelor macroscopice și microscopice și ale încercărilor mecanice de laborator, fac posibile aplicarea cu succes a tehnologiilor de sudare WIG la realizarea și repararea țevelor din oțeluri austenitice rezistente la coroziune, X2CrNiMo 17-12-2, Φ 60,3 x 11,7 x 150 mm și X5CrNiMo 17-12-2, Φ 48,3 x 2,9 x 150 mm.

ANEXA - POZIȚII DE SUDARE ȚEVI

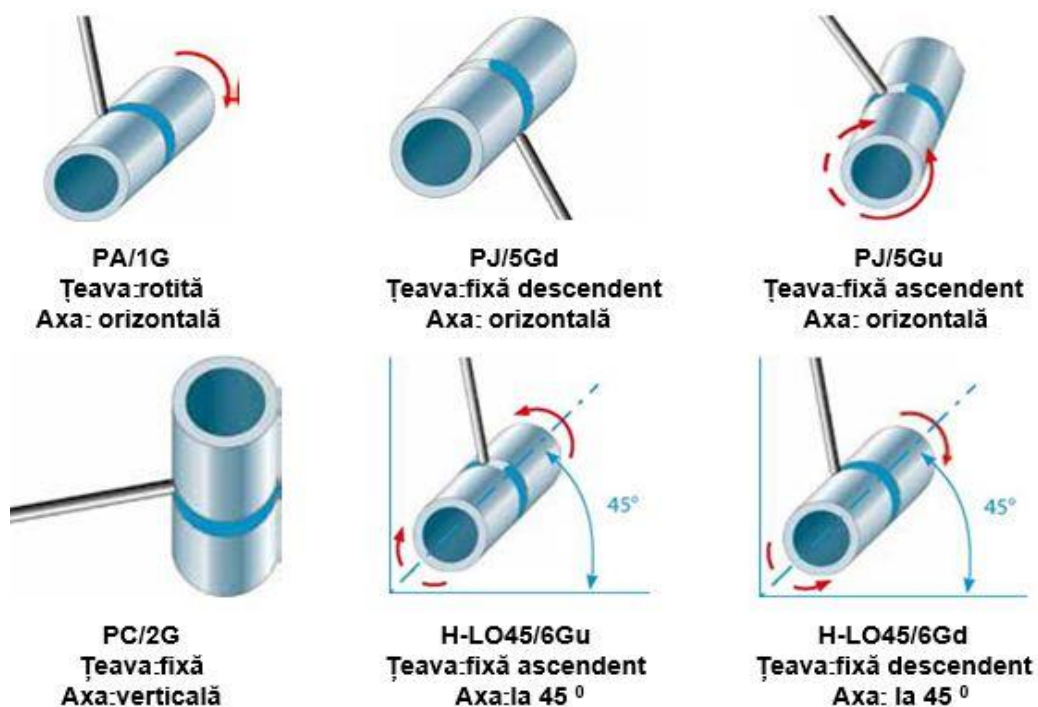


Fig. A1. Îmbinări sudate cap la cap țevi

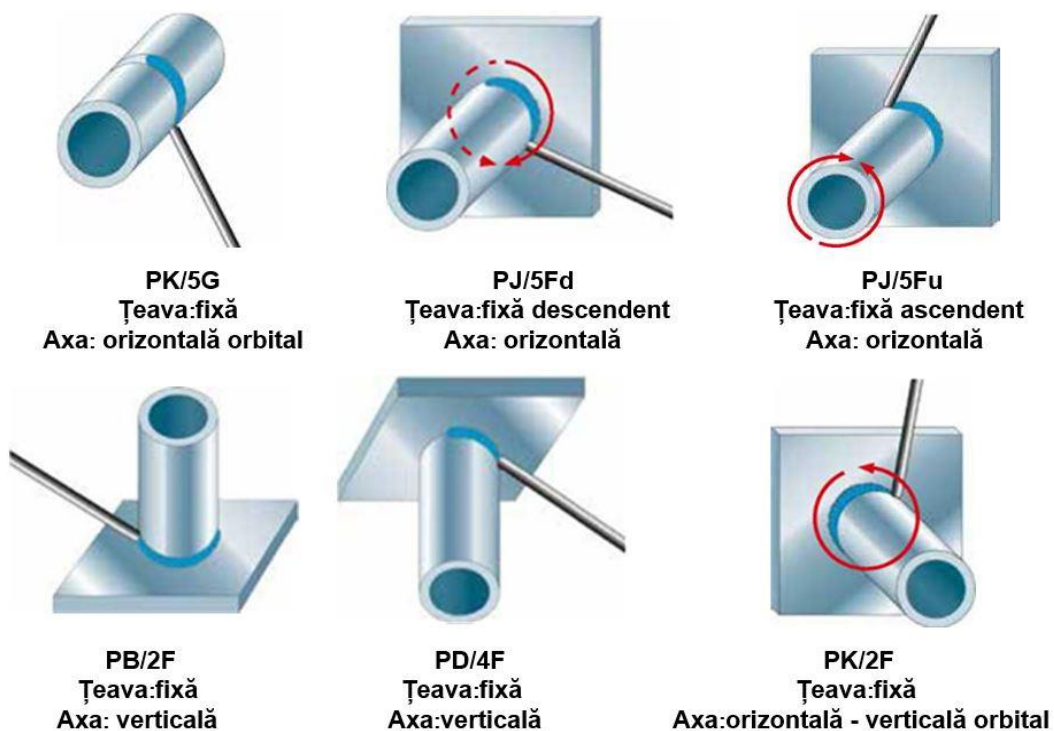


Fig. A2. Îmbinări sudate de colț țevi

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Bădescu, P.**, *Tehnologia Sudării*, Editura Sfântul Ierarh Nicolae, 2010.
- [2] **Bormambet, M.**, *Tehnologii de sudare prin topire. Noțiuni de bază. Procedee de sudare*, Ovidius University Press, Constanța, 2005.
- [3] **Gheonea, M.C., Mihăilescu D.**, *Tehnologii de sudare prin topire - Lucrări aplicative*, Editura Fundației Universitare "Dunărea de Jos" din Galați, 2020 (în curs de publicare).
- [4] **Istudor, M.**, *Raport al lucrărilor executate pentru supraîncălzitorul convectiv de joasă presiune, stagiul 1&2, unitatea nr. 1, centrala termoelectrică Nassiriyah - Iraq*, 2020.
- [5] **Machedon-Pisu, T., Machedon-Pisu, E.**, *Tehnologia sudării prin topire - Procedee de sudare*, Editura Lux Libris, Brașov, 2009.
- [6] **Mihăilescu, D.**, *Procedee conexe sudării*, Tom III, Vol. 4, Enciclopedie de Sudură, Editura Lux Libris, Brașov, 1997.
- [7] **Zgură, G., Iacobescu, G., Ronțescu, C., Cicic, D.**, *Tehnologia sudării prin topire*, Editura Politehnica Press, București, 2007.
- [8] **Zburlea, I.M.**, *Calitatea îmbinărilor sudate la conductele realizate din oțeluri termorezistente*, Teză de doctorat, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 2011.
- [9] ******* *Gaze de protecție la sudare. Dezvoltare - consultanță - utilizare*, SC Linde Gaz România SRL Timișoara.
- [11] ******* *SR EN ISO 14343-A: 2016*, Sudare și tăiere cu arc electric. Electrozi nefuzibili de wolfram. Clasificare.
- [12] ******* *SR EN ISO 14175-2008*: Materiale consumabile pentru sudare. Gaze și amestecuri de gaze pentru sudarea prin topire și procedee conexe.
- [13] ******* *SR EN 10216-5: 2014*, Țevi de oțel fără sudură utilizate la presiune. Condiții tehnice de livrare. Partea 5: Țevi de oțel inoxidabil.
- [14] ******* *Test Certificate no. ASR/MTC/TP-316/316L/106/1018 din 12.11.2018*, ASR MET TECH PVT. LTD.
- [15] ******* *Test Certificate no. QT-SHI03003/15-6 din 05.05.2015*, TUV NORD. LTD.
- [16] ******* *Catalog Voestalpine Bohler - Filler metals bestseller for joining applications*, 09/2013.
- [17] ******* *Inspection Certificate No. 2018-2001660908-50-104132-023 din 22.11.2018*, Voestalpine Bohler Welding Germany GmbH.
- [18] ******* *Inspection Certificate No. 2018-2001659514-50-104132-023 din 27.09.2018*, Voestalpine Bohler Welding Germany GmbH.
- [19] ******* *Specificația procedurii de sudare nr. 10219/18.03.2019, aprobat de SC Comes SA Săvinești.*
- [20] ******* *Specificația procedurii de sudare nr. 10113/31.01.2019, aprobat de SC Comes SA Săvinești.*
- [21] ******* *Buletin de control vizual și dimensional nr. 90/25.03.2019, eliberat de SC Comes SA Săvinești.*
- [22] ******* *Buletin de control vizual și dimensional nr. 50/11.02.2019, eliberat de SC Comes SA Săvinești.*
- [23] ******* *SR EN 3452/1 - 2013: Examinări nedistructive. Examinarea cu lichide penetrante. Partea 1: Principii generale.*

- [24] *** *SR EN ISO 23277 - 2010: Examinări nedistructive ale sudurilor. Examinarea cu lichide penetrante a sudurilor. Niveluri de acceptare.*
- [25] *** *Buletin de examinare cu lichide penetrante nr. 078/25.03.2019, eliberat de SC Comes SA Săvinești.*
- [26] *** *Buletin de examinare cu lichide penetrante nr. 045/11.02.2019, eliberat de SC Comes SA Săvinești.*
- [27] *** *SR EN ISO 17636/1 - 2013: Examinări nedistructive ale sudurilor. Examinarea radiografică. Partea 1: Tehnici care utilizează radiații X sau gama cu film.*
- [28] *** *SR EN ISO 12517/1 - 2009: Examinări nedistructive ale sudurilor. Partea 1: Evaluarea radiografică a îmbinărilor sudate din oțel, nichel, titan și aliajele acestora.*
- [29] *** *Buletin de examinare cu radiații penetrante nr. 040/25.03.2019, eliberat de SC Comes SA Săvinești.*
- [30] *** *Buletin de examinare cu radiații penetrante nr. 015/11.02.2019, eliberat de SC Comes SA Săvinești.*
- [31] *** *Buletin de analiză macroscopică și microscopică nr. 225/15.03.2019, eliberat de SC Comes SA Săvinești.*
- [32] *** *Buletin de analiză macroscopică și microscopică nr. 216/18.02.2019, eliberat de SC Comes SA Săvinești.*
- [33] *** *SR EN 4136-2013: Încercări distructive ale sudurilor din materiale metalice. Încercarea la tracțiune transversală.*
- [34] *** *Raport de încercare nr. 309/15.03.2019, eliberat de SC Comes SA Săvinești.*
- [35] *** *Raport de încercare nr. 295/18.02.2019, eliberat de SC Comes SA Săvinești.*
- [36] *** *SR EN ISO 5173 - 2010: Încercări distructive ale sudurilor din materiale metalice. Încercări la îndoire.*
- [37] *** *SR EN ISO 9016 - 2013: Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice. Încercarea la încovoiere prin șoc. Poziția epruvetei, orientarea creștăturii și examinare.*
- [38] ***
<http://magnum.engineering.upm.ro/~gabriela.strnad/CURS%20AVANSAT%20DE%20MATERIALE%20-%20curs%20masterat/2%20CURS/Oteluri%20inoxidabile.pdf>
- [39] ***
https://www.google.com/search?q=sudarea+tig&tbm=isch&ved=2ahUKEwjngPjg_pPrAhXNO-wKHc6IBd8Q2-cCegQIABAA&oeq=sudarea+tig&gs_lcp=CgNpbWcQAzIECAAQGFDY9wZYwPwGYIWFB2gAcAB4AIABrQGIAcMCkgEDMC4ymAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&sclient=img&ei=kP8yX-f4K833sAfOkZb4DQ&bih=625&biw=1366
- [40] ***
https://www.google.ro/search?source=univ&tbm=isch&q=sisteme+debitare+si+prelucrare+capete+tevi+din+otel+inoxidabile&sa=X&ved=2ahUKEwivld_U3Z_rAhWCp4sKHaQ2C1IQsAR6BAgKEAE&biw=1920&bih=888 debitare prelucrare tevi
- [41] ***
https://www.google.ro/search?q=pistolete+de+sudare+WIG+mecanizata&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjcs8LL0ajrAhWNxosKHbjBCboQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1920&bih=937 pistolete WIG mecanizata
- [42] *** <http://www.fronius.com>