

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
ELECTRICĂ MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIȚI
PE SUPORT CERAMIC ROTUND ÎN POZIȚIA DIFICILĂ
PC A OȚELULUI S355N

Absolventă,
Ing. Mihai Oana

Coordonator proiect,
Prof. dr. ing. Mihăilescu Dănuț

Promoția 2020



FACULTATEA DE INGINERIE
UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" DIN GALAȚI

Str. Domnească nr. 111,
800201 - Galați, România

Tel.: +40 336 130208
Fax: +40 236 314463
www.ing.ugal.ro

AVIZ secretariat facultate
(pentru înscriere proiect)

Nr. înregistrare/data

LUCRARE DE DISERTAȚIE

Absolventă: **MIHAI OANA**

Domeniul: INGINERIE INDUSTRIALĂ

Specializarea: PROIECTARE ȘI SIMULARE ÎN INGINERIA SUDĂRII

Promoția: 2020

Tema

**CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA ELECTRICĂ
MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIȚI PE SUPORT CERAMIC
ROTUND ÎN POZIȚIA DIFICILĂ PC A OȚELULUI S355N**

Conținut

1. STADIUL INIȚIAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ
CU ELECTROZI ÎNVELIȚI ÎN POZIȚIA DIFICILĂ PC A OȚELULUI S355N
 2. SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIȚI
 3. MATERIALE ȘI ECHIPAMENTE UTILIZATE ÎN CADRUL PROGRAMULUI
EXPERIMENTAL
 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ CU
ELECTROZI ÎNVELIȚI ÎN POZIȚIA DIFICILĂ PC
 5. REZULTATELE CERCETĂRIILOR EXPERIMENTALE
- CONCLUZII
ANEXĂ
BIBLIOGRAFIE

Director departament	Coordonator proiect	Absolventă
Prof. dr. ing. Frumușanu Gabriel	Prof. dr. ing. Mihăilescu Dănuț	Ing. Mihai Oana
		Specializarea / Anul absolvirii
		PSIS / 2020



FACULTATEA DE INGINERIE
UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS" DIN GALAȚI

Str. Domnească nr. 111,
800201 - Galați, România

Tel.: +40 336 130208
Fax: +40 236 314463

www.ing.ugal.ro

REFERAT DE APRECIERE **LUCRARE DE DISERTAȚIE**

Absolventă: MIHAI OANA
Domeniul: INGINERIE INDUSTRIALĂ
Specializarea: PROIECTARE ȘI SIMULARE ÎN INGINERIA SUDĂRII
Promoția: 2020

Tema: CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIȚI PE SUPORT CERAMIC ROTUND ÎN POZIȚIA DIFICILĂ PC A OȚELULUI S355N

Concordanța dintre conținut și tema

(foarte bună/ bună/ satisfăcătoare/ nesatisfăcătoare)

foarte bună

Corectitudinea soluțiilor

(foarte bună/ bună/ satisfăcătoare/ nesatisfăcătoare)

bună

Ritmicitatea activității

(foarte bună/ bună/ satisfăcătoare/ nesatisfăcătoare).

bună

Criterii privind estetica lucrării

(foarte bună/ bună/ satisfăcătoare/ nesatisfăcătoare)

foarte bună

Criterii privind documentarea

(foarte bună/ bună/ satisfăcătoare/ nesatisfăcătoare)

foarte bună

Execuție practică/sau dezvoltare software

(da/nu)

nu

Criterii privind contribuția studentului: soluții originale/capacitatea de a reliefa contribuțiile

(foarte bună/ bună/ satisfăcătoare/ nesatisfăcătoare)

foarte bună

Acordul conducătorului științific privind prezentarea și susținerea lucrării în fața comisiei de examinare

(DA/ NU):

DA

Locul de practică și documentare: Centrul de Cercetări Avansate în Domeniul Sudării (SUDAV)
01.09.2020

Coordonator științific:

Prof. dr. ing. Mihăilescu Dănuț

DECLARAȚIE

Subsemnata, MIHAI OANA, identificat prin CNP. 2790623170412 absolventă a Universității „Dunărea de Jos” Galați, Facultatea de Inginerie, specializarea master PROIECTARE ȘI SIMULARE ÎN INGINERIA SUDĂRII promoția 2019 declar pe proprie răspundere, cunoscând prevederile legale cu privire la falsul în declarații și dispozițiile Legii Educației Naționale nr. 1/2011 referitoare la plagiat, că lucrarea de disertație cu titlul CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIȚI PE SUPORT CERAMIC ROTUND ÎN POZIȚIA DIFICILĂ PC A OȚELULUI S355N, pe care urmează să o susțin în fața comisiei este originală, îmi aparține și îmi asum ca autor, conținutul său, în întregime.

Declar ca nu am folosit în mod tacit sau ilegal munca altora și că nici o parte din lucrare nu încalcă drepturile de proprietate intelectuală ale altcuiva, persoana fizică sau juridică. Toate sursele utilizate, inclusiv cele de pe internet, sunt indicate în bibliografia lucrării, cu respectarea regulilor de evitare a plagiatului.

Declar că lucrarea nu a mai fost prezentată sub această formă vreunei instituții de învățământ superior în vederea obținerii unui grad sau titlu științific sau didactic.

Am luat la cunoștință faptul că, în cazul în care, lucrarea va fi dovedită ca fiind plagiată, voi fi exmatriculat sau, dacă plagiatul va fi dovedit după absolvirea lucrării de licență / disertație, îmi va fi retras titlul academic obținut.

Data
01.09.2020

Semnătura

REZUMAT

În această lucrare se prezintă *Cercetările experimentale privind sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți în poziția dificilă PC*.

În prima parte a lucrării este prezentat stadiul inițial al cercetărilor privind sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți în poziția dificilă PC a oțelului S355N.

Capitolul 2 tratează în cazul sudării electrice manuale cu electrozi înveliți: principiul procedurii, avantaje și dezavantaje; electrozi înveliți; domenii de aplicare; exemple de aplicații industriale; mișcările electrodului la amorsare, sudare și întrerupere; relații de calcul a parametrilor regimurilor de sudare manuală cu electrozi înveliți și procedee de sudare cu electrozi înveliți având domeniu restrâns de aplicare.

În capitolul 3, Materiale și echipamente utilizate în cadrul programului experimental, sunt prezentate materialele (materialul de bază S355N, electrodul învelit Nibaz 55 și suportul ceramic rotund) și echipamentele pentru sudare (dispozitivul pentru sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți și sursa de sudare universală Aristo Lud 320).

Capitolul 4, Cercetări experimentale privind sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți în poziția dificilă PC, abordează: dimensiunile probei sudate cap la cap și modul de prelevare a epruvetelor; tipurile de încercări mecanice de laborator; controlul probei sudate; pregătirea componentelor în vederea sudării și condițiile de sudare.

Ultimul capitol 5, Rezultatele cercetărilor experimentale, tratează controlul nedistructiv (vizual și cu radiații gamma) și distructiv.

Lucrarea de disertație se finalizează cu concluziile desprinse din *Cercetările experimentale privind sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți în poziția dificilă PC*.

ABSTRACT

This study presents *The Experimental Research regarding the manual electric steel welding, with wrapped electrodes in PC difficult position.*

In the first Chapter it is shown the initial stage of the research regarding the manual electric steel welding with wrapped electrodes in difficult position PC.

Chapter two, regarding the manual electric welding with wrapped electrodes, discusses about: its process; the pros and cons; the wrapped electrodes; its field of application; examples of industrial applications; the electrodes' movements at priming, welding and interruption; the calculus parameters of the manual welding system and the welding processes with wrapped electrodes, having a restrained area of application.

Chapter three exemplifies the materials used in regard of this experiment such as: the basic material S335N, the wrapped electrode Nibaz 55 and the round ceramic support; and the equipment used for welding: the device used for manual wrapping and the universal source of welding, Aristo Lud 320.

Chapter four, regarding this experimental research, approaches the following arguments: the size of the butt welded sample and the way of sampling the test tubes; the types of mechanical lab attempts; the inspection of the welded sample; the constituents and the conditions in preparing the welding process.

The last Chapter, entitled *The results of experimental research*, handles the nondestructive (visual and with gamma radiations) and the destructive control.

This dissertation completes with the conclusions detached from *The Experimental Research regarding the manual electric welding with wrapped electrodes in the difficult position PC.*

CUPRINS

CAPITOLUL 1. STADIUL INIȚIAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIȚI ÎN POZIȚIA DIFICILĂ PC A OȚELULUI S355N.....		3
1.1. Descrierea constructivă a preîncălzitorului.....		3
1.2. Stadiul inițial al sudării mantalei metalice a preîncălzitorului.....		5
1.2.1. Procedee de sudare inițial.....		5
1.2.2. Proceduri de sudare actuale.....		5
1.3. Concluzii parțiale.....		8
CAPITOLUL 2. SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIȚI.....		10
2.1. Principiul procedeului, avantaje și dezavantaje.....		10
2.2. Electrozi înveliți.....		11
2.3. Domenii de aplicare.....		14
2.4. Exemple de aplicații industriale.....		15
2.5. Mișcările electrodului la amorsare, sudare și întrerupere.....		16
2.6. Relații de calcul a parametrilor regimurilor de sudare manuală cu electrozi înveliți.....		16
2.7. Procedee de sudare cu electrozi înveliți având domeniu restrâns de aplicare.....		19
CAPITOLUL 3. MATERIALE ȘI ECHIPAMENTE UTILIZATE ÎN CADRUL PROGRAMULUI EXPERIMENTAL.....		24
3.1. Materialul de bază.....		24
3.2. Materialul de adaos (electrodul învelit).....		25
3.3. Materialul auxiliar (suportul ceramic).....		26
3.4. Echipamente pentru sudare.....		29
3.4.1. Dispozitiv pentru sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți.....		29
3.4.2. Sursa de sudare universală Aristo Lud 320.....		29
CAPITOLUL 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIȚI ÎN POZIȚIA DIFICILĂ PC.....		31
4.1. Dimensiunile probei sudate cap la cap și modul de prelevare a epruvetelor.....		31
4.2. Tipuri de încercări mecanice de laborator.....		32
4.2.1. Încercarea la tracțiune transversală.....		32
4.2.2. Încercarea la rupere.....		32
4.2.3. Încercarea la îndoire.....		33
4.2.4. Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruvetă Charpy.....		34
4.2.5. Examinarea macroscopică.....		34
4.2.6. Încercarea de microdurate HV 1.....		34
4.3. Controlul probei sudate.....		35

4.3.1. Controlul vizual.....	35
4.3.2. Controlul cu radiații penetrante.....	36
4.4. Pregătirea componentelor în vederea sudării.....	36
4.5. Condiții de sudare.....	42
CAPITOLUL 5. REZULTATELE CERCETĂRIILOR EXPERIMENTALE.....	44
5.1. Controlul nedistructiv.....	44
5.1.1. Controlul vizual.....	44
5.1.2. Controlul nedistructiv cu radiații gamma.....	44
5.2. Controlul distructiv.....	45
CONCLUZII.....	48
ANEXĂ.....	49
BIBLIOGRAFIE.....	50

CAPITOLUL 1

STADIUL ÎNȚĂL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIȚI ÎN POZIȚIA DIFICILĂ PC A OȚELULUI S355N

1.1. Descrierea constructivă a preîncălzitorului

Preîncălzirea aerului suflat în domeniul siderurgic, s-a aplicat pentru prima dată în tehnica producerii fontei, cu ajutorul unui preîncălzitor de tip recuperator, în anul 1830.

Cel mai modern este preîncălzitorul cu regenerare a căldurii la care din punct de vedere constructiv, dimensiunile lui variază după volumul furnalului și anume: înălțimea: (20...50) m; diametrul: (4,5...9) m, ceea ce aduce cu sine o suprafață de încălzire de la 2.000 la 37.000 m².

Pereții preîncălzitorului se zidesc la (60...120) mm distanță față de mantaua metalică, creîndu-se în felul acesta un spațiu pentru dilatare, care se umple cu material refractar grăunțos și cu cărămidă refractară poroasă. De la nivelul superior al zidăriei pereților bolții se lasă un spațiu de (300...350) mm pentru dilatarea ansamblului zidăriei pe verticală.

La partea de jos a preîncălzitorului, pereții se zidesc până la mantaua metalică, pentru a evita în felul acesta un eventual contact a fundului mantalei cu aerul suflat, ceea ce ar conduce la bombarea acestuia din cauza presiunii. Mantaua metalică trebuie să fie etanșă, și din această cauză, după terminarea lucrărilor de montare, se face proba de presiune a mantalei fără zidărie la 0,8 bar și apoi la presiunea de regim după terminarea lucrărilor de zidărie. Transmiterea căldurii se face prin radiație și prin convecție. Dimensiunile preîncălzitorului se determină pentru condiții date de lucru și ținând seama că va trebui să funcționeze cea mai mare parte din timp, la regim maxim, în scopul reducerii consumului specific de cocs la producerea fontei în furnal. Dimensionarea preîncălzitorului are la bază un calcul termotehnic prin care se stabilesc: cantitatea de combustibil și aer de combustie necesar perioadei de încălzire, dimensiunile camerei de ardere, greutatea grătarului și suprafața necesară schimbului de căldură. În figura 1.1 sunt prezentate elementele componente ale unui preîncălzitor cu regenerator de tip modern.

Mantaua metalică a preîncălzitorului furnalului nr. 5 de pe platforma Liberty Galați are o formă cilindrică cu axa verticală, cu înălțimea de 28.857 mm și diametrul interior de 8.005 mm, fiind alcătuită din 13 virole. Primele două virole (de la bază) au grosimea de 22 mm, iar celelalte 11 virole au grosimea de 15 mm. În figura 1.2 sunt prezentate imagini din timpul lucrărilor de reparații la preîncălzitorul furnalului nr. 5 de pe platforma Liberty Galați, iar în figura 1.3 sunt prezentate modurile de prelucrare a marginilor virolelor.

Primele două virole de la bază au diametrul exterior de 8.042 mm, fiind realizate fiecare din câte 4 semivirole cu lungimea de 6.254 mm și lățimea de 2.000 mm (lungimea virolei fiind de 12.136 mm). Următoarele 9 virole au diametrul exterior de 8.035 mm, fiind realizate fiecare din câte 4 semivirole cu lungimea de 6.254 mm și lățimea de 2.283 mm (lungimea virolelor fiind tot de 12.136 mm). Ultimele virole, 12 și 13, au diametrul exterior tot de 8.035 mm, fiind realizate fiecare din câte 4 semivirole cu lungimea de 6.254 mm și lățimile de 2.500 respectiv

Cercetări experimentale privind sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți pe suport ceramic rotund în poziția dificilă PC a oțelului S355N

1.760 mm (lungimea virolelor fiind tot de 12.136 mm). Greutatea totală a mantalei preîncălzitorului este de 90,7 t.

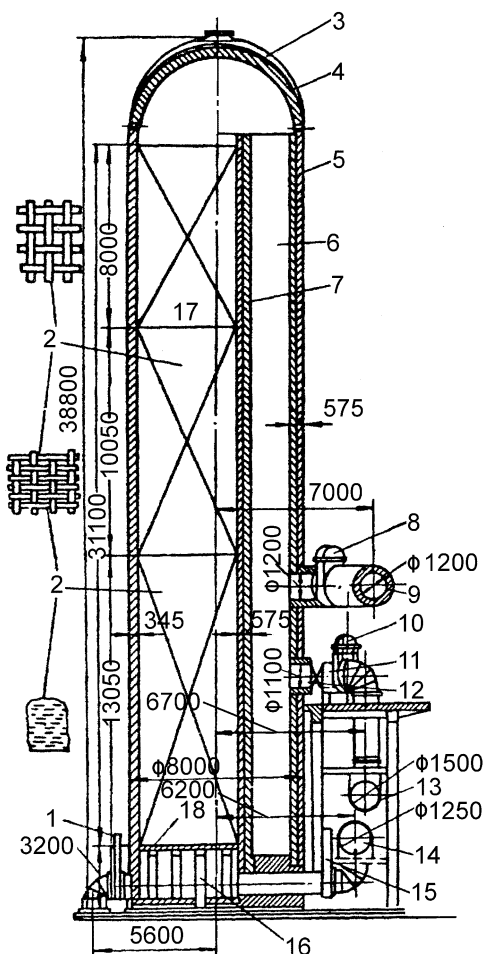


Fig. 1.1. Preîncălzitor cu regenerator de tip modern: 1- registru de gaze arse; 2- grătare refractare; 3- cupolă; 4- manta metalică; 5- zidărie refractară; 6- puț de ardere; 7- perete despărțitor; 8- registru de aer cald; 9- conductă de aer cald; 10- registru de gaze; 11- arzător; 12- registru între arzător și preîncălzitor; 13- conductă de gaze; 14- conductă de aer rece; 15- registru de aer rece; 16, 18- grătar metalic și coloanele de susținere a acestuia; 17- camera grătarelor [11, 12, 20]



Fig. 1.2. Preîncălzitorul furnalului nr. 5 de pe platforma Liberty Galați [11, 12, 20]

Virolele sunt îmbinate cap la cap în poziție orizontal pe perete vertical (de cornișă). Forma rostului pentru sudare este în X asimetric și 1/2X asimetric (Fig. 1.3. a și b). Mantaua metalică cilindrică verticală a preîncălzitorului se îmbină la partea inferioară cu placa de bază iar la partea superioară cu o cupola. Virola superioară 13 cu grosimea de 15 mm și neprelucrată la partea superioară, se îmbină în 1/2X asimetric cu cupola formată din rondea și petale având grosimea de 15 mm, prelucrată în X asimetric conform figurii 1.3. c.

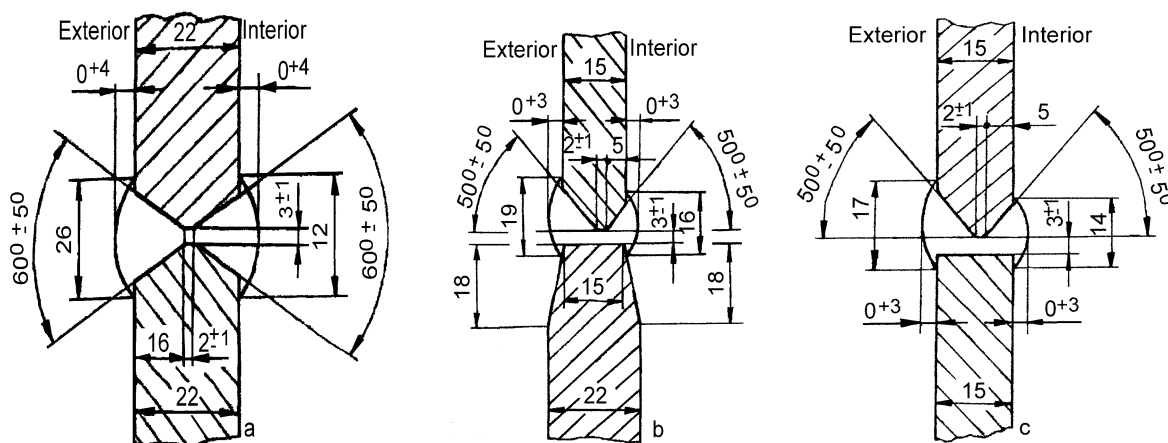


Fig. 1.3. Modurile de prelucrare a marginilor virolelor: a- virolele 1 cu 2; b- virolele 2 cu 3 (cu degroșarea marginii virolei 2); c- virolele 3 cu 4...virolele 12 cu 13 și virola 13 cu o cupola [11, 12, 20].

1.2. Stadiul inițial al sudării mantalei metalice a preîncălzitorului

1.2.1. Procedeele de sudare inițial

În prezent, pe platforma Liberty Galați dar și pe platformele altor combinate siderurgice din țară, realizarea și repararea mantalelor metalice ale preîncălzitoarelor se realizează prin *procedeul de sudare electric manual cu electrozi înveliți*.

1.2.2. Proceduri de sudare actuale

1.2.2.1. Condiții pentru sudare

1. Suprafețele care urmează a fi sudate trebuie să fie curate și lipsite de substanțe străine (unsoare, ulei, vopsele pentru marcarea etc) pe o porțiune de cel puțin 20 mm lățime, de la muchia rostului. Oxidul (rugina) trebuie să fie îndepărtat de pe suprafața care intra în contact cu metalul depus.

2. Rosturile pentru sudare se vor realiza conform cu desenele de execuție.

3. Suprafețele rostului de sudură trebuie să fie controlate înainte de sudare, cu lichide penetrante pentru verificarea existenței unor exfolieri, fisuri, etc.

4. În scopul verificării respectării procesului tehnologic de sudare stabilit, se vor executa plăci (*probe martor*) sudate în același timp și în aceleași condiții ca și sudurile supuse verificării. Sudarea plăcilor se va face prin același procedeu de sudare ca și sudurile supuse verificării și se va executa de către aceiași sudori care vor executa sudarea propriu-zisă a mantalei metalice a preîncălzitorului. Prin aceleași condiții se înțelege [11, 12, 20]:

- materialul de bază al probei va fi de aceeași marcă (materialul plăcilor de control va fi din una din sarjele de oțel utilizate efectiv la realizarea furnalului);
- grosimea nominală a materialului plăcii trebuie să fie egală cu grosimea nominală a elementelor mantalei metalice a preîncălzitorului, în cazul tablelor cu grosimi diferite, placa poate fi executată la una din grosimile de tablă folosite;
- temperatura de preîncălzire și temperatura între rândurile și straturile de sudură vor fi aceleași la sudarea mantalei metalice a preîncălzitorului și a plăcii;
- parametrii regimului de sudare a plăcii vor fi aceiași ca la sudarea mantalei metalice a preîncălzitorului;

➤ poziția de sudare în timpul sudării plăcii va fi aceeași cu poziția de sudare a îmbinărilor mantalei metalice a preîncălzitorului;

➤ materialul de adaos folosit pentru sudarea plăcii va fi același ca cel folosit la sudarea mantalei metalice a preîncălzitorului.

5. Plăcile se vor executa cu respectarea următoarelor reguli [11, 12, 20]:

❖ placa trebuie să fie cu dimensiunile 500 x 300 x S, S fiind grosimea efectivă a mantalei metalice a preîncălzitorului;

❖ pentru îmbinările circulare executate manual, placa se va suda separat de elementul sudat, dar în aceleași condiții și imediat după executarea sudurilor respective;

❖ elementele din care se execută plăcile se vor marca în prealabil, prin poansonare cu următoarele: numărul șarjei, marca oțelului, poansonul personalului de control al calității și numărul de fabricație al preîncălzitorului.

6. La executarea îmbinărilor sudate ale mantalei metalice a preîncălzitorului se vor folosi proceduri de sudare omologate.

7. Execuția îmbinărilor sudate va fi făcută de sudori autorizați ISCIR.

8. Îmbinările sudate vor purta poansoanele sudorilor autorizați ISCIR, poansoane care se vor aplica la o distanță de (20...50) mm de îmbinările sudate, la începutul și sfârșitul acestora.

9. Temperatura minimă a mediului pentru sudare va fi de + 5 °C.

10. Preîncălzirea la sudare se va face pe o lățime de 200 mm, de o parte și de alta a rostului (îmbinării) la o temperatură de 120 °C.

11. Temperatura între rândurile și straturile de sudură se limitează la 175 °C.

12. Craițuirea arc-aer a rădăcinii se va face la temperatura de preîncălzire a îmbinării sudate, după sudarea rândului 3. După craițuirea arc-aer a rădăcinii, se va poliza la material curat.

13. Toate îmbinările sudate trebuiesc marcate de către sudorii care le-au executat astfel încât să permită identificarea fără echivoc a tuturor sudorilor executanți. Modul de marcare a sudurilor se va face cu respectarea următoarelor reguli [11, 12, 20]:

➤ marcarea se va face numai la exteriorul elementului;

➤ distanța de aplicare a marcării față de marginea cusăturii va fi de (20...50) mm;

➤ fiecare îmbinare sudată circulară va fi marcată în cel puțin trei locuri; aplicarea marcajelor se va face în primul rând în apropierea intersecției cu îmbinările sudate verticale.

14. Pentru reducerea deformațiilor și a tensiunilor remanente și pentru îmbunătățirea calității îmbinărilor sudate, se va folosi metoda ciocănirii îmbinărilor sudate, recomandându-se ca ciocănirea să nu se aplice asupra rădăcinii cusăturii și asupra ultimului strat depus.

1.2.2.2. Prinderea în puncte de sudură

1. Prinderea în puncte de sudură se va executa de către aceiași sudori care vor executa îmbinarea sudată.

2. Prinderea în puncte de sudură a îmbinărilor se va face cu preîncălzire, temperatura de preîncălzire fiind aceeași la care se va suda îmbinarea (120 °C).

3. Materialul de adaos va fi același cu cel folosit pentru îmbinarea sudată.

4. Poziția de sudare va fi aceeași cu poziția de sudare a îmbinării.

5. Parametrii regimurilor de sudare vor fi aceeași ca la sudarea rădăcinii.

6. Sudurile de prindere vor fi verificate și în cazul în care prezintă defecte vor fi îndepărtate. Îndepărtarea sudurilor de prindere se va face prin craițuire arc aer cu electrozi de grafit cu diametrul de 6 mm, urmată de o polizare.

7. Nu se permite prinderea în puncte de sudură a unor îmbinări realizate printr-o centrare forțată.

8. Amorsarea arcului se va face într-un punct care urmează a fi acoperit cu sudură.

9. Craterul de încheiere va fi în mod obligatoriu umplut prin întoarcerea arcului și menținerea lui pe loc câteva secunde.

10. Diametrul electrodului folosit pentru prindere trebuie să fie la fel ca cel folosit la sudarea rândurilor 1 și 5 respectiv 1 și 3 (3,25 mm).

11. Sudura de prindere trebuie să aibă grosimea de maxim 3 mm.

12. Lungimea sudurilor de prindere trebuie să fie de maxim 70 mm.

13. Distanța între sudurile de prindere va fi de (100...150) mm.

14. Prinderea în puncte de sudură se execută din două straturi (primul strat având lungimea de 70 mm, iar al doilea, depus peste primul simetric, cu lungimea de 50 mm).

15. Se va îndepărta zgura după fiecare cordon de sudură și se va poliza ușor.

16. După prinderea în puncte de sudură, virolele vor fi măsurate și trebuie să se încadreze în clasa de toleranțe B, conform SR EN ISO 13920 - 1998.

1.2.2.3. Ordinele de depunere a rândurilor de sudură în rost

Ordinele de depunere a rândurilor de sudură în rosturile dintre componentele de sudat cap la cap, prin procedeul electric manual cu electrozi înveliți, a virolelor în poziție orizontal pe perete vertical - de cornișă (PC), pentru cele două grosimi ale tablelor de 22 mm și 15 mm sunt prezentate centralizat în figura 1.4.

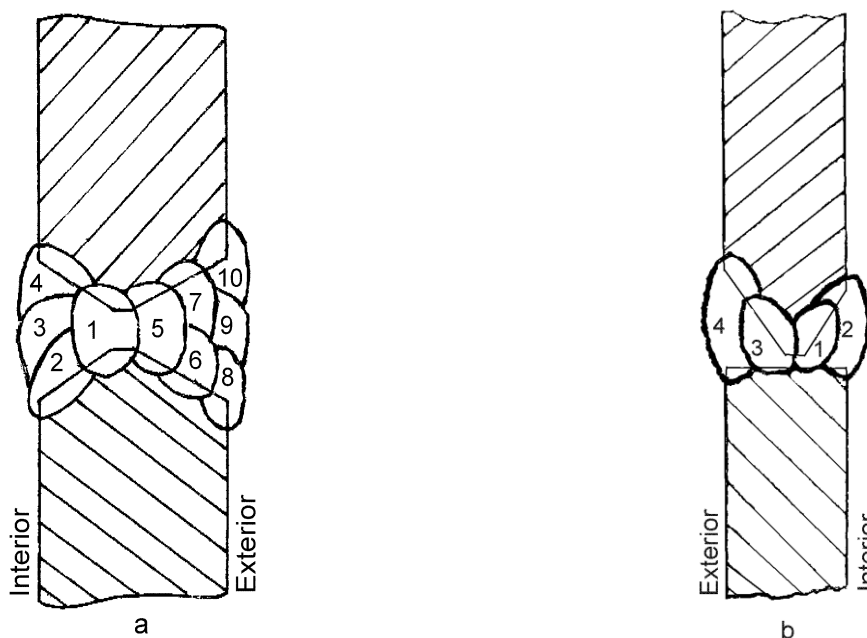


Fig. 1.4. Ordinele de depunere a rândurilor de sudură în rosturile dintre componentele de sudat cap la cap, prin procedeul electric manual cu electrozi înveliți, a virolelor în poziție orizontal pe perete vertical sau de cornișă PC: a- S = 22 mm; b- S = 15 mm [11, 12, 20]

1.2.2.4. Parametrii regimurilor de sudare

Parametrii regimurilor de sudare electrică manuală cu electrozi înveliți a virolelor în poziție orizontal pe perete vertical - de cornișă PC, pentru cele două grosimi ale tablelor de 22 mm și 15 mm sunt prezentați centralizat în tabelele 1.1...1.2.

Tabelul 1.1. Parametrii regimurilor de sudare cap la cap a virolelor în poziție orizontal pe perete vertical PC, S = 22 mm (PC - 22) [11, 12, 20]

Rând de sudură	d_e , [mm]	I_s , [A]	U_a , [V]	Tip curent/polaritate
1 și 5	3,25	125 - 130	23 - 25	DC ⁺
2 - 4 și 6 - 10	4,0	170 - 175	23 - 25	DC ⁺

Tabelul 1.2. Parametrii regimurilor de sudare cap la cap a virolelor în poziție orizontală pe perete vertical PC, S = 15 mm (PC - 15) [11, 12, 20]

Rând de sudură	d _e , [mm]	I _s , [A]	U _a , [V]	Tip curent/polaritate
1 și 3	3,25	125 - 130	23 - 25	DC ⁺
2 și 4	4,0	170 - 175	23 - 25	DC ⁺

În timpul sudării, se vor lua următoarele măsuri [11, 12, 20]:

1. Se va respecta procesul tehnologic de sudare.
2. În cazul sudării cap la cap a virolelor, datorită lungimii mari a îmbinărilor sudate, acestea se vor împărți în 8 segmente egale, realizate fiecare simultan de câte un sudor.
3. Sudarea fiecărui segment, se va executa de la dreapta spre stânga, în segmente având lungimea egală cu lungimea depusă cu câte un electrod învelit, în poziție orizontal pe perete vertical - de cornișă PC.
4. După fiecare cordon se va bate zgura, iar suprafața lui va fi polizată ușor.
5. Umplerea rostului se va face aproximativ în același timp de toți sudorii care sudează virolele între ele.
6. După sudare se va proteja cordonul astfel încât răcirea lui să se facă cât mai lent.
7. Electrozii vor fi calcinați și păstrați în cutii etanșe în timpul sudării.

1.2.2.5. Controlul după sudare

1. După sudare, îmbinarea dintre virole trebuie controlată și verificată conform SR EN ISO 13920 - 1998, clasa de calitate B.
2. Clasa de calitate a îmbinării sudate trebuie să fie C conform SR EN 25817 - 1993.
3. Controlul cu lichide penetrante a ultimului strat de sudură se va face 100%.
4. Îmbinarea sudată va fi examinată nedistructiv cu radiații X, 25%. Porțiunile care vor fi gamagrafiate vor fi [11, 12, 20]:
 - toate nodurile successive de sudură a îmbinării virolelor, filmele vor fi așezate pe cât posibil, alternativ în lungul îmbinării circulare.
 - restul de filme până la 25% din cordon, vor fi indicate pe planul de examinare nedistructivă care se anexează la documentația tehnică.
5. Porțiunile examinate prin gamagrafiere se vor marca prin poansonare cu numere de ordine la circa 20 mm de marginea cusăturii.
6. Probele martor vor fi supuse la încercări mecanice conform pct. 7.6. din C4/2 - 2013 ISCIR.
7. Remedierea cordoanelor se va face cu respectarea tuturor condițiilor impuse la realizarea îmbinării sudate, iar controlul se va face respectând instrucțiunile tehnologice de sudare.

1.3. Concluzii parțiale

Deoarece 82% din virolele preincălzitorului sunt mai subțiri, în cadrul programelor experimentale, se vor utiliza table din oțeluri de construcții sudabile, cu granulație fină, în stare normalizată, marca S355N cu grosimea de 15 mm.

Conform punctului 5.4.2 din cerințele tehnice privind omologarea procedurilor de sudare folosite pentru executarea lucrărilor la instalațiile mecanice sub presiune și la instalațiile de ridicat PT CR 7/1 - 2013, omologarea prin verificarea procedurii de sudare pentru o grosime S include omologarea pentru grosimile din domeniile următoare prezentate în tabelul 1.3.

Tabelul 1.3. Domeniul de valabilitate al omologării în funcție de grosime
(dimensiuni în milimetri) [11, 12]

Grosimea probei S, mm	Domeniul de valabilitate al omologării ^{1) 2)}	
	Îmbinare sudată cap la cap, în T și racorduri la țevi pentru o singură trecere sau o singură trecere pe ambele părți	Îmbinare sudată cap la cap, în T și racorduri la țevi pentru sudare cu mai multe trecuri
$S \leq 3$	0,8 S până la 1,1 S	S până la 2 S
$3 < S \leq 12$	0,8 S până la 1,1 S	3 până la 2 S
$12 < S \leq 100$	0,8 S până la 1,1 S	0,5 S până la 2 S (max. 150 mm)
$S > 100$	0,8 S până la 1,1 S	0,5 S până la 1,5 S
1) Pentru verificări pe probe cu grosimea sub limita de 6 mm pentru table și sub limita de 12 mm pentru țevi, sub care nu se cere efectuarea încercării de încovoiere prin șoc, omologarea este valabilă și pentru grosimi peste 6 mm respectiv 12 mm, fără încercarea la încovoiere prin șoc		
2) Domeniul de valabilitate poate fi redus prin WPS și WPAR sau la cererea inspectorului de specialitate ISCIR - INSPECT pentru a evita fisurarea la hidrogen.		

Prescripția tehnică PT CR 7/1 - 2013 este în conformitate cu SR EN 288-3+A1 - 1999 și se aplică cu condiții suplimentare, specifice instalațiilor mecanice sub presiune și instalațiilor de ridicat supuse regimului de supraveghere și verificare tehnică ISCIR.

În concluzie, omologarea prin verificarea procedurii de sudare pentru grosimea de 15 mm include omologarea pentru grosimile din domeniul $(0,5 \times S - 2 \times S)$ adică (7,5 - 30,0) mm, deci și pentru grosimea de 22 mm [11, 12].

CAPITOLUL 2

SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIȚI

2.1. Principiul procedeului, avantaje și dezavantaje

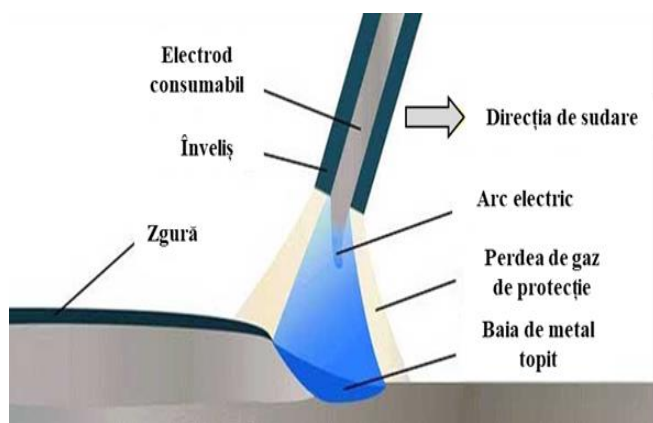


Fig. 2.1. Principiul sudării cu electrozi înveliți [6]

Sudarea cu electrozi înveliți se desfășoară în majoritatea situațiilor în variantă manuală (Fig. 2.1). Arcul electric este amorsat între un electrod învelit și componentele de sudat. Electrocul fiind fuzibil, este necesară o mișcare de înaintare spre componente cu viteza v_e și o deplasare în lungul rostului cu viteza de sudare v_s .

Baia metalică care se formează prin topirea materialului componentelor de sudat și a vârfului electrodului învelit, este protejată de acțiunea atmosferei prin stratul de zgură lichidă și gazele generate prin arderea învelișului electrodului. Sudarea poate fi executată în curent continuu (DC^- sau DC^+) sau în curent alternativ (AC), sursa de curent având o caracteristică căzătoare.

Procedeul de sudare electrică manuală cu electrozi înveliți, prezintă următoarele *avantaje* [1, 2, 6...10, 17]:

- grad înalt de universalitate;
- cheltuieli reduse cu achiziționarea și întreținerea utilajului de sudare;
- calitate bună a îmbinărilor sudate;

- varietate mare de electrozi înveliți;
- accesibilitate ușoară la toate cordonale de sudură a unei structuri sudate.

Procedeul de sudare electrică manuală cu electrozi înveliți prezintă însă și o serie de *dezavantaje* [1,2, 6...10, 17]:

- grad redus de utilizare a materialului de adaos;
- productivitate redusă;

➤ pregătire, îndemânare și conștiinciozitate deosebită din partea sudorului, care conduc la o continuă scădere a volumului de aplicare a procedurii, locul său fiind luat de procedeele semimecanizate și mecanizate de sudare.

2.2. Electrozi înveliți

Electrozii înveliți sunt formați dintr-o vergea metalică, acoperită cu un înveliș depus prin presare sau prin imersie (Fig. 2.3).

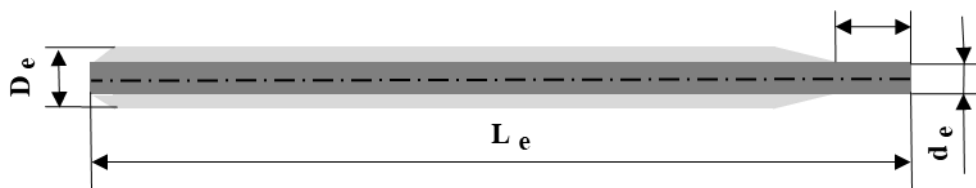


Fig. 2.3. Elementele geometrice ale electrodului învelit: d_e - diametrul vergelui; l - lungimea vergelui fără înveliș pentru prinderea în cleștele portelectrod; D_e - diametrul exterior al electrodului învelit; L_e - lungimea electrodului învelit [6]

Pentru prinderea electrodului în port-electrod, la un capăt este îndepărtat învelișul pe o distanță l de 25 mm.

Celălalt capăt al electrodului, pentru facilitarea amorsării, are învelișul periat conic, astfel încât să asigure contactul vergelui metalice cu piesa, utilizând și proprietățile învelișului, care favorizează amorsarea.

Funcțiile învelișului electrodului [1, 2, 6...10, 17]:

Funcția electrică:

- amorsare ușoară a arcului;
- ardere stabilă a arcului electric (funcția de ionizare) - fiecare tip de înveliș are un anumit potențial de ionizare care influențează amorsarea și stabilitatea arcului. Tensiunea de amorsare trebuie să fie mai mică decât tensiunea de mers în gol: ($U_0 = 70 \dots 90$ V în AC; $U_0 = 50 \dots 70$ V în DC),

Funcția metalurgică:

- protejează baia de metal topit împotriva pătrunderii oxigenului, hidrogenului și azotului din aer prin formarea unei atmosfere protectoare de gaz;
- alierea cu elemente de aliere din învelișul electrodului, introduse intenționat: Ni, Mo, Cr, Cu etc;
- formează o zgură mai ușoară decât metalul topit care asigură o răcire mai lentă, protecția împotriva gazelor atmosferice precum și o degazare și curățare a băii de sudură;
- creșterea randamentului de depunere (pentru învelișurile cu pulberi de fier) peste 100%.

Funcția mecanică și tehnologică:

În timpul procesului de sudare, la capătul electrodului se formează un crater, marginile acestuia ajutând la susținerea băii, mai ales la sudarea în poziție verticală și peste cap.

Caracteristicile unui electrod învelit, adică atât caracteristicile sale în timpul sudării cât și caracteristicile mecanice ale metalului depus, sunt influențate într-o mare măsură de înveliș.

Acest amestec omogen de substanțe conține următoarele *componente principale*:

- materiale pentru formarea zgurii;
- materiale dezoxidante;

Cercetări experimentale privind sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți pe suport ceramic rotund în poziția dificilă PC a oțelului S355N

- materiale pentru formarea gazului de protecție;
- agenți ionizanți;
- lianți;
- elemente de aliere;
- suplimentar se poate adăuga pulbere de fier pentru creșterea randamentului, ceea ce poate afecta caracteristicile pentru sudarea de poziție.

Compoziția chimică a învelișurilor, cât și grosimea lor influențează [1, 2, 6...10, 17]:

- tenacitatea îmbinării sudate;
- amorsarea arcului electric;
- tipul curentului (DC sau AC);
- utilizarea în diferite poziții de sudare;
- aspectul îmbinării sudate;
- modul de transfer al picăturilor de metal topit prin coloana arcului electric.

Electrozii înveliți se livrează la *dimensiuni standardizate* astfel [1, 2, 6...10, 17]:

- diametrul vergelei metalice: 1,6; 2,0; 2,5; 3,25; 4,0; 5,0; 6,0 mm;
- lungimea vergelei: 200; 250; 300; 350; 450 mm (valorile subliniate fiind cele mai frecvent utilizate).

Electrozii înveliți *se clasifică în funcție de următoarele criterii* [1, 2, 6...10, 17]:

- *mărimea raportului dintre diametrul învelișului (diametrul exterior) și diametrul vergelei* [1, 2, 6...10, 17]:

- înveliș subțire: raport sub 1,4;
- înveliș mediu: raport 1,4...1,6;
- înveliș foarte gros: raport peste 1,6.

Grosimea învelișului influențează forma geometrică a sudurii, mărimea curentului de sudare I_s și a transferul de metal de la electrodul învelit la metalul de bază.

- *destinație*, electrozi pentru sudarea oțelurilor [1, 2, 6...10, 17]:

- carbon și slab aliate de mică rezistență ($R_m \leq 540$ MPa);
- carbon și slab aliate de înaltă rezistență ($R_m > 540$ MPa);
- slab aliate rezistente la temperaturi până la 600 °C;
- înalt aliate, inoxidabile, anticorozive și refractare;

- electrozi pentru încărcarea prin sudare a pieselor din metale cu proprietăți speciale.

- *compoziția învelișului*:

Electrozii înveliți se livrează în cutii de carton, ambalate în pungi de material plastic sudate, sau în cutii metalice (Fig. 2.4).

În timpul transportului de la producător la beneficiar se vor lua măsuri de protejare împotriva intemperiilor (ploaie, viscol etc).

Depozitarea la beneficiar se va realiza în încăperi uscate ferite de pericolul inundării.



Fig. 2.4. Ambalarea electrozilor înveliți [6]

În tabelul 2.1, sunt prezentate principalele componente ale învelișurilor și caracterizarea comportării la sudare a electrozilor înveliți în funcție de tipul învelișului, precum și simbolizarea acestora.

Tabelul 2.1. Simbolizarea electrozilor după tipul învelișului, componentele principale și caracterizarea generală [1, 2, 6...10, 17]

Tipul învelișului		Componente principale	Caracterizarea generală
Simbol	Denumirea		
0	1	2	3
A	Acid	oxizi de fier, siliciu, feromangan și alți dezoxidanți	Electrozii formează zgură cu caracter acid, care se solidifică sub formă de fagure și se desprinde ușor. Viteza de topire este ridicată și pătrunderea la sudare mare. Acest tip de electrozi se folosesc în general la sudarea în poziție orizontală, în curent alternativ sau în curent continuu dar poate fi folosit și pentru alte poziții. Comportarea la sudare este bună, dar există pericolul de fisurare la cald, în special la sudarea de poziție, atunci când conținutul de carbon depășește 0,24%.
AR	Acid rutilic	idem cu tipul A, cu conținut de max. 35% oxid de titan (TiO ₂)	Caracteristicile similare cu tipul A, cu zgură mai fluidă.
B	Bazic	carbonat de calciu (CaCO ₃) sau alți carbonați bazici	Electrozii sunt higroscopici, necesitând uscarea lor înainte de sudare. Ei formează o zgură cu caracter bazic și densă, iar prin solidificare, aceasta ia un aspect sticlos. Zgura se desprinde ușor și în general, nu produce incluziuni în metalul depus, datorită faptului că se ridică ușor la suprafața băii. Acest tip de electrozi produce un arc cu pătrundere medie și poate fi folosit pentru toate pozițiile de sudare, utilizând curent continuu cu polaritate inversă DC ⁺ . Metalul depus este foarte rezistent la fisurare la cald sau la rece.
C	Celulozic	materii organice	Electrozii formează zgură subțire și în cantitate redusă care se desprinde ușor. Cantitatea mare de gaze dezvoltată, datorită arderii materiilor organice din înveliș, permite folosirea electrozilor pentru toate pozițiile de sudare. Acest tip de electrod produce un arc cu pătrundere adâncă și o viteză de topire relativ ridicată.
G	Grafitic	grafit, carbomați, fluorină, pulberi de fier, feroaliaje	Electrozii formează zgură puțină care se desprinde ușor, electrozii fiind destinați cu precădere pentru sudarea la cald.

Tabelul 2.1. Continuare

0	1	2	3
O	Oxidant	oxizi de fier cu sau fără oxizi de mangan	Electrozii formează zgură cu caracter oxidant care se solidifică sub formă de fagure fiind groasă și compactă, în mod obișnuit aceasta se autodesprinde. Acest tip de electrod produce o baie de topire fluidă și este utilizată în special în cazuri când aspectul sudurii este mai important decât rezistența.
R	Rutilic (grosime medie)	oxizi de titan TiO ₂ min. 35%, celuloza max.15%	Electrozii formează o zgură cu caracter acid care se solidifică sub formă de fagure. Acest tip de electrod învelit este destinat în general sudării în pozițiile verticală și peste cap sau de plafon. Învelișul formează o zgură mai densă care se desprinde mai ușor.
RR	Rutilic (grosime mare)	oxizi de titan TiO ₂ min. 35%, celuloza max. 5%	
S	Pe bază de săruri	săruri ale metalelor alcaline, alcalino-pământoase, combinații ale borului	Electrozii sunt higroscopici, necesitând uscarea lor înainte de sudare. Se poate suda în curent continuu sau în curent alternativ.
V	Alte tipuri	-	Electrozii ai căror înveliș nu se încadrează în tipurile B, G sau S.

Înainte de utilizare, electrozii înveliți bazici trebuie uscați la o temperatură recomandată de producător, timp de 1...2 ore. *Alegerea electrodului învelit* se efectuează în funcție de următoarele elemente [1, 2, 6...10, 17]:

- compoziția chimică a metalului de bază;
- caracteristicile mecanice cerute pentru metalul depus prin sudare;
- riscul de fisurare al sudurii;
- poziția de sudare;
- tipul îmbinării sudate;
- existența surselor de curent continuu sau alternativ.

În general, se urmărește ca metalul depus cu electrozii înveliți, să prezinte compoziție chimică și caracteristici mecanice cât mai apropiate de cele corespunzătoare materialului de bază.

2.3. Domenii de aplicare

Domeniile parametrilor de sudare electric manual cu electrozi înveliți sunt [1, 6...10]:

- diametrul electrodului învelit: 1,5...5 mm;
- curentul de sudare: 25...500 A;
- tensiunea arcului electric: 15...35 V;
- viteza de sudare: 10...30 cm/min.

Sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți

Prin procedeul electric manual cu electrozi înveliți *se pot suda practic toate metalele și aliajele metalice* (oțeluri, fonte, cuprul și aliajele sale, aluminiul și aliajele sale, titanul și aliajele sale, nichelul și aliajele sale, magneziul și aliajele sale, plumb), *în orice poziție*.

Grosimea minimă a componentelor de sudat depinde de îndemânarea sudorului (1,0...1,5 mm), iar grosimea maximă este limitată practic de considerente economice.

2.4. Exemple de aplicații industriale

Sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți are cele mai multe aplicații industriale, folosindu-se la realizarea construcțiilor metalice sudate în diferite domenii (naval, energetic, chimic și rafinării, transporturi etc), pentru realizarea îmbinărilor sudate cap la cap și de colț.

În figura 2.8 sunt prezentate exemple de aplicații industriale ale sudării electrice manuale cu electrozi înveliți:



Fig. 2.8. Aplicații industriale ale sudării electrice manuale cu electrozi înveliți [6]

a- sudarea cap la cap a tablelor în poziție orizontală PA;

b- sudarea cap la cap a tablelor în poziție orizontală pe perete vertical (cornișă) PC;

c- sudarea de colț a tablelor în poziția orizontal-vertical PB;

d- sudarea cap la cap a țevelor (axa țevii fixă în poziția orizontal) ascendent sau descendent în poziția PJ.

La sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți, pe lângă echipamentul și dispozitivul folosit pentru sudare, se utilizează și o serie de accesorii care contribuie la îmbunătățirea calității îmbinărilor sudate:



Fig. 2.9. Accesorii pentru uscarea și păstrarea electrozilor înveliți [6]

➤ cuptoare pentru uscarea electrozilor înveliți cu înveliș bazic, minim 2 ore la o temperatură indicată de producătorul de electrozi înveliți (Fig. 2.9. a);

➤ cuptoare pentru păstrarea electrozilor uscați în apropierea locurilor de muncă din hala industrială (Fig. 2.9. b și c);

➤ etuve pentru păstrarea electrozilor înveliți calzi la locul de muncă, alimentate la o tensiune nepericuloasă de 42 V (Fig. 2.9 d, e și f).

2.5. Mișcările electrodului la amorsare, sudare și întrerupere

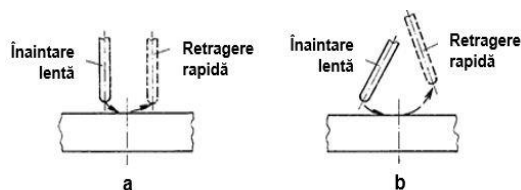


Fig. 2.10. Schema mișcării electrodului pentru amorsarea arcului [1, 6, 7, 15]

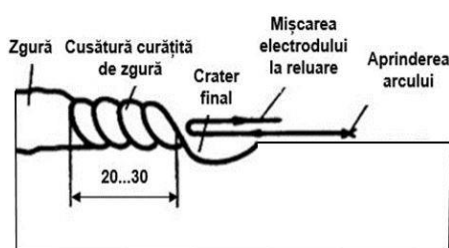


Fig. 2.11. Modul de amorsare a arcului electric la schimbarea electrodului [1, 6]

Amorsarea arcului electric se face prin aducerea electrodului în contact cu piesa și retragerea rapidă la o distanță de 2...5 mm, comparabilă cu diametrul electrodului, fie perpendicular pe piesă (Fig. 2.10. a), fie înclinat (Fig. 2.10. b). Această amorsare a arcului electric se face în rost și nu pe metalul de bază, iar la schimbarea electrodului, reamorsarea arcului se va face conform figurii 2.11.

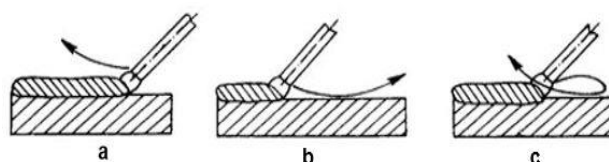


Fig. 2.12. Tehnica de întrerupere a arcului electric pentru umplerea craterului final al sudurii [1, 6, 7, 15]

La întreruperea arcului electric de sudare, se va urmări umplerea craterului final prin întoarcerea corespunzătoare a electrodului (Fig. 2.12): a- alunecare înapoi; b- alunecare înainte; c- întoarcerea electrodului în jurul capătului cusăturii.

2.6. Relații de calcul a parametrilor regimurilor de sudare manuală cu electrozi înveliți

Principalii parametri tehnologici care trebuie stabiliți sunt următorii [1, 6, 7, 15]:

1. *Natura și polaritatea curentului de sudare*

Stabilirea lor se face respectând indicațiile producătorului de electrozi înveliți.

2. *Diametrul electrodului (d_e)* se alege în funcție de grosimea componentelor în cazul sudării cap la cap (Tabelul 2.2), sau în funcție de calibrul sudurii în cazul sudării de colț (Tabelul 2.3).

Tabelul 2.2. Alegerea diametrului electrodului în funcție de grosimea componentelor [6, 15]

S, [mm]	1,5...2	3	4...8	9...12	13...15	16...20
d_e , [mm]	1,6...2	3,25	4	4...5	5	5

Tabelul 2.3. Alegerea diametrului electrodului în funcție de calibrul sudurii [6, 15]

a, [mm]	2	3...3,5	4...6
d_e , [mm]	3,25	4	5

Sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți

Sudarea stratului de rădăcină la tablele groase, se execută în general cu electrozi înveliți având diametrul sub 4 mm, pentru a putea asigura pătrunderea în rostul pregătit în vederea sudării.

3. *Intensitatea curentului de sudare (I_s)* se stabilește în funcție de tipul și diametrul electrodului învelit cu relațiile:

➤ pentru electrozi înveliți destinați sudării oțelurilor carbon și slab aliate (fără pulbere de fier în înveliș) [1, 6, 7, 15]:

$$I_s = 2,5 \cdot d_e^2 + 35,5 \cdot d_e - 18 \quad [\text{A}] \quad (2.1)$$

➤ pentru electrozi înveliți destinați sudării oțelurilor aliate:

$$I_s = 2,7 \cdot d_e^2 + 25 \cdot d_e - 11 \quad [\text{A}] \quad (2.2)$$

➤ pentru electrozi înveliți cu pulbere de fier în înveliș:

$$I_s = 62,5 \cdot d_e - 50 \quad [\text{A}] \quad (2.3)$$

4. *Tensiunea arcului (U_a)* se stabilește cu relația:

$$U_a = 0,05 \cdot I_s + 10 \quad [\text{V}] \quad (2.4)$$

5. *Viteza de sudare (v_s)* se determină cu relația [1, 6, 7, 15]:

$$v_s = \frac{\alpha_d \cdot I_s}{\rho \cdot F_t} \quad [\text{cm/min}] \quad (2.5)$$

în care: α_d este coeficientul de depunere al electrodului învelit, $[\text{g/A} \cdot \text{min}]$;

I_s - intensitatea curentului de sudare, $[\text{A}]$;

ρ - densitatea metalului depus, $[\text{g/cm}^3]$;

F_t - secțiunea unei treceri, $[\text{cm}^2]$.

Când toate trecerile se realizează cu același diametru de electrod, secțiunea unei treceri se determină cu relația [1, 6, 7, 15]:

$$F_t = \frac{F_r}{n_t} \quad [\text{cm}^2] \quad (2.6)$$

în care: F_r este secțiunea totală a cordonului, $[\text{cm}^2]$ și n_t - numărul de treceri.

În mod frecvent, prima trecere de rădăcină se realizează cu un electrod de diametru mai mic și celelalte cu electrozi cu diametru mai mare (în funcție de grosimea componentelor sau în funcție de calibrul sudurii). În acest caz, secțiunea unei treceri se stabilește cu relația [6, 15]:

$$F_{ti} = \frac{F_r - F_{t1}}{n_t - 1} \quad (i = 2 \dots 4) \quad [\text{cm}^2] \quad (2.7)$$

în care: F_{t1} este secțiunea primei treceri, $[\text{cm}^2]$.

În cazul general, îmbinările sudate executate prin topire, se realizează prin treceri succesive ale arcului electric prin rostul de sudare. Numărul de treceri n_{te} necesar realizării unei îmbinări sudate se poate estima cu următoarea relație, în care A_{MD} este secțiunea totală a

materialului depus iar A_{te} este secțiunea estimată a unei treceri [1, 6, 7, 15]:

$$n_{te} = \frac{A_{MD}}{A_{te}} \quad (2.8)$$

Sub aspect economic, sudarea cu arcul electric trebuie realizată cu un număr de treceri minim, respectiv cu arii ale trecerilor cât mai mari posibile. Sunt totuși oțeluri și aliaje metalice la care încălzirea excesivă trebuie limitată, pentru a nu se înrăutăți proprietățile fizico-mecano-metalurgice. Din acest punct de vedere va trebui mărit numărul trecerilor și micșorat aria trecerilor. La oțelurile tratate termic, la oțelurile inoxidabile și la fonte, sudarea se face printr-un număr de treceri cât mai mare, respectiv prin arii ale trecerilor cât mai mici, pentru a nu afecta structura metalului de bază în măsură prea mare.

În cazul componentelor groase, se va prevedea de regulă un strat de rădăcină și mai multe straturi de completare. Este de preferat ca straturile de completare să fie egale. Trecerile cu arii egale dau și posibilitatea unui calcul mai ușor al ariilor cordonelor [1, 6, 7, 15]:

$$A_{MD} = A_{tr} + (n_t - 1) A_{tu} \quad [\text{cm}^2] \quad (2.9)$$

în care: A_{tr} este aria trecerii de rădăcină, $[\text{cm}^2]$;

n_t - numărul de treceri;

A_{tu} - aria trecerii de umplere, $[\text{cm}^2]$.

În cazul îmbinărilor de colț cu rost neprelucrat, secțiunea totală a cordonului se stabilește cu relația [1, 6, 7, 15]:

$$F_r = 10^{-2} \cdot k_y \cdot a^2 \quad [\text{cm}^2] \quad (2.10)$$

în care, k_y este un coeficient de supraînălțare a calibrului sudurii stabilit în funcție de calibrul sudurii din tabelul 2.4.

Tabelul 2.4. Alegerea coeficientului de supraînălțare în funcție de calibrul sudurii [6, 15]

a, [mm]	2...3	3,5...4	5...7	8...14	14...20	21
k_y , [mm]	1,5	1,35	1,25	1,15	1,1	1,05

În cazul îmbinărilor sudate de colț cu rost prelucrat, secțiunea totală a cordonului se stabilește din considerentele geometrice. În tabelul 2.5 sunt prezentate intervalele în care se încadrează secțiunile unei treceri (minim-maxim), pentru diferite procedee de sudare.

Tabelul 2.5. Secțiunile minime și maxime ale unei treceri prin diferite procedee de sudare [1, 6, 7, 15]

Procedeele de sudare	Maxim			Minim		
	d_e , [mm]	v_s , [cm/min]	A_{tmax} , $[\text{cm}^2]$	d_e , [mm]	v_s , [cm/min]	A_{tmin} , $[\text{cm}^2]$
SE (fpf)	6,0	10,0	0,602	2,5	50,0	0,050
SE (cpf)	6,0	10,0	1,032	2,5	50,0	0,053
MIG-MAG (short-arc)	2,4	30,0	0,205	1,2	100,0	0,021
MIG-MAG (spray-arc)	2,4	30,0	0,425	1,2	100,0	0,062
SF	6	25,0	2,487	2,0	150,0	0,052

În tabelul 2.5 s-au folosit următoarele notații: SE (fpf)- sudare manuală cu electrozi înveliți fără pulbere de fier în înveliș; SE (cpf)- sudare manuală cu electrozi înveliți cu pulbere de fier în înveliș; MIG-MAG (short-arc)- sudare MIG-MAG cu transfer short-arc; MIG-MAG (spray-arc)- sudare MIG-MAG cu transfer spray-arc și SF- sudare cu arc electric sub strat de flux.

6. *Energia liniară (E_l)* se determină cu relația [1, 6, 7, 15]:

$$E_l = 60 \cdot \eta \cdot \frac{U_a \cdot I_s}{v_s} \quad [\text{j/cm}] \quad (2.11)$$

în care: η este randamentul procedeului de sudare manuală cu electrozi înveliți ($\eta = 0,8$);

U_a - tensiunea arcului, [V];

I_s - intensitatea curentului de sudare, [A];

v_s - viteza de sudare, [cm/min].

2.7. Procede de sudare cu electrozi înveliți având domeniu restrâns de aplicare

Procedeele de sudare cu electrozi înveliți având domeniu restrâns de aplicare sunt:

1. *Sudarea cu arc electric și electrozi cu înveliș gros*

Procedeul diferă de SE prin faptul că în învelișul electrozilor se introduc pulberi metalice, mai ales pulberi de fier, depunându-se mai mult metal decât cu electrozi obișnuiți. Datorită grosimii mari a învelișului, este dificilă sau chiar imposibilă sudarea în rosturi adânci și rosturi strâmte. Din acest motiv, procedeul se folosește la trecerile de umplere, după ce rădăcina și câteva treceri de adâncime au fost realizate cu electrozi obișnuiți. Deasemenea, procedeul se mai folosește și pentru trecerile ultimului strat, deoarece pulberile metalice din înveliș produc o cusătură netedă și regulată, obținându-se un aspect plăcut al cusăturii. La acest procedeu de sudare se obțin coeficienți de depunere în domeniul (1,0...3,0) g/s.

2. *Sudarea cu arc înecat*

La sudarea cu arc înecat se folosesc electrozi cu înveliș gros, având caracterul învelișului acid, rutilic sau titanic și cu pulbere de fier în înveliș, care asigură o pătrundere mare. Electrocul învelit se sprijină pe suprafața piesei și se înclină cu un unghi de $(70...75)^\circ$ conform figurii 2.13.

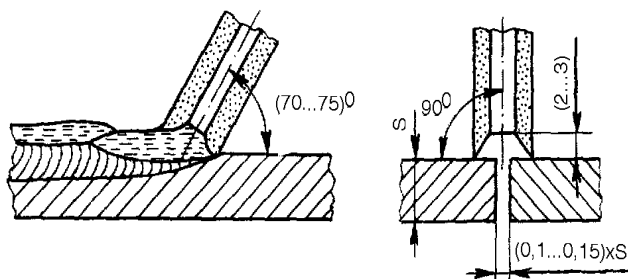


Fig. 2.13. Poziția electrodului învelit la sudarea cu arc înecat [1, 6, 7, 15]

de (8...12) mm, cu rost în I, fără prelucrarea marginilor. Pentru îmbinări sudate de colț, valoarea

Învelișul gros favorizează formarea unui crater având o formă tronconică cu o înălțime de (2...3) mm, arc electric menținându-se stabil și cu lungime constantă.

Topirea învelișului formează un nor de gaze care asigură o bună protecție a arcului electric față de acțiunea mediului exterior.

Pătrunderea bună de (3...4) mm, permite realizarea îmbinărilor sudate cap la cap a componentelor cu grosimi

pătrunderii este de (2...4) mm față de 1 mm la cele executate prin procedeul obișnuit.

Sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți cu arc înecat asigură obținerea unor rezistențe la oboseală a cusăturilor majorate cu până la 50%. Din analiza vitezelor de sudare cu arc înecat, se observă o creștere de câteva ori a productivității muncii, comparativ cu sudarea electrică manuală clasică (Tabelul 2.23).

Tabelul 2.23. Comparație între sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți obișnuită și cu arc înecat [1, 6, 7, 15]

Sudare obișnuită				Sudare cu arc înecat				
Cateta, [mm]	d _e , [mm]	I _s , [A]	v _s , [m/h]	Cateta, [mm]	d _e , [mm]	I _s , [A]	v _s , [m/h]	Creșterea, [%]
6	5	220	9,3	5	5	250	18,0	195
8	6	300	7,2	6	6	340	19,1	265
10	6	320	4,5	8	8	550	18,0	400

Deoarece pătrunderea este mai mare, cateta îmbinării de colț poate fi mai mică pentru aceleași caracteristici de rezistență ale îmbinării, îndeosebi la sudarea în poziție orizontală și în jgheab.

Sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți cu arc înecat prezentând ca avantaje [1, 6, 7, 15]:

- reducerea consumului de metal;
- eliminarea prelucrării marginilor;
- mărirea productivității muncii,

se aplică cu succes la realizarea construcțiilor metalice cu grosimi mari, echipamentelor termoeenergetice și siderurgice, precum și la construcții cu caracter special.

3. Sudarea cu fascicul de electrozi

Mărirea productivității muncii la sudarea manuală cu electrozi înveliți prin majorarea curentului de sudare, are ca efect arderea învelișului electrodului, intensificarea pierderilor prin stropi sau arderea metalului de bază. La majoritatea surselor pentru sudare durată activă de serviciu nu permite lucrul la curenți mari în regim de lungă durată.

La sudarea cu fascicul de electrozi se utilizează un fascicul realizat din 2, 3 sau mai mulți electrozi, fixat în cleștele port-electrod. Fasciculul poate fi realizat numai din electrozi înveliți, sau combinat, folosind electrozi înveliți și neînveliți. În variantă combinată, electrozii vor avea înveliș gros, pentru ca zgura să fie în cantitate suficientă pentru protecția cusăturii. Folosirea electrozilor neînveliți (sârme) mărește cantitatea de metal depus, iar în anumite cazuri, poate influența pozitiv anumite procese metalurgice din baia de sudură prin aliere (Fig. 2.14).

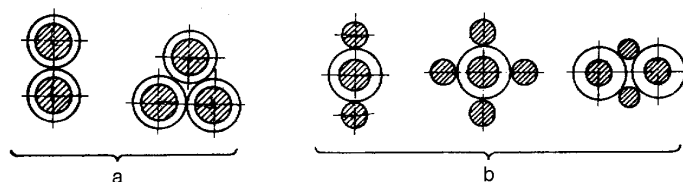


Fig. 2.14. Alcătuirea fasciculelor de electrozi:
a- numai din electrozi înveliți; b- din electrozi înveliți și neînveliți [1, 6, 7, 15]

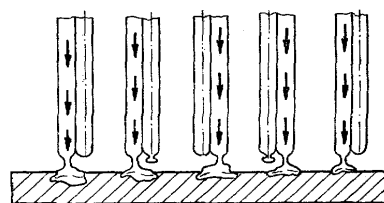


Fig. 2.15. Sudarea cu fascicul de electrozi. [1, 6, 7, 15]

Pentru a realiza poziția relativă a electrozilor în fascicul, ei se prind în puncte de sudură în capătul neînvelit, capătul unui electrod servind pentru prinderea în cleștele port-electrod.

Asigurarea stabilității fascicului se face prin legarea în două-trei locuri cu inele din sârmă subțire din oțel carbon. Axa fascicului de electrozi se dispune în axa cusăturii. Amorsarea arcului electric se realizează la electrodul din fascicul care atinge primul cu vârful piesa de sudat. Pe măsura topirii electrodului, arc electric format se lungește și la un moment dat se stinge fiind concomitent transferat la electrodul alăturat din fascicul cu capătul mai apropiat de piesă (Fig. 2.15). Condițiile de ionizare fiind deja create de primul electrod, amorsarea se realizează instantaneu. Concomitent, electrozii din fascicul sunt încălziți prin căldura degajată de arc electric. Arcul electric fiind transferat de la un electrod la altul, curenții de sudare străbat succesiv electrozii, iar procesul de supraîncălzire al acestora este diminuat, având ca efect diminuarea pierderilor prin stropi. Se lucrează cu densități mari de curent de până la 20 A/mm², față de (12...14) A/mm² la sudarea cu un singur electrod. Parametrii regimurilor de sudare cu fascicul de electrozi sunt prezentați în tabelul 2.24.

Tabelul 2.24. Parametrii regimurilor de sudare cu fascicul de electrozi [1, 6, 7, 15]

Număr de electrozi din fascicul	d _e , [mm]	Secțiunea electrodului sau a fascicului, [mm ²]	I _s , [A]	Densitatea de curent, [A/mm ²]	Timpul de topire pe electrod sau fascicul, [s]
1	4	12,5	135	10,8	56
1	5	19,6	180	9	67
1	6	28,2	300	10,4	90
3	4 + 4 + 4	37,5	350	28	77
2	5 + 5	39,2	350	18	96
3	5 + 5 + 5	58,8	400	20	106

Temperatura capătului electrodului la sfârșitul topirii fascicului este de (400...420) °C, în timp ce folosind un singur electrod acesta ajunge la 750 °C. Căldura degajată de arc electric este mai bine utilizată, astfel că timpul de topire al unui electrod este mai redus.

4. Sudarea cu electrozi culcați

În acest caz se utilizează electrozi cu înveliș gros de lungime mare (1.000...2.000) mm, culcați în rostul dintre componente și acoperiți cu șine (patine) din cupru prevăzute cu un canal longitudinal, cu rază de curbură apropiată de raza exterioară a învelișului electrodului (Fig. 2.16).

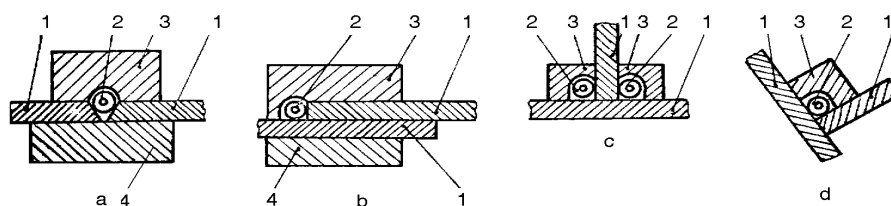


Fig. 2.16. Variante de sudare cu arc electric și electrozi culcați: a- îmbinare cap la cap; b- îmbinare de colț cu margini suprapuse; c- îmbinare de colț în T bilaterală; d- îmbinare de colț în jheab; 1- componente de sudat; 2- electrod înveliș culcat; 3- patină de cupru; 4- placă suport [1, 6, 7, 15]

Amorsarea arcului electric se realizează prin punerea în contact a capătului liber al electrodului cu componentele de sudat prin intermediul unui electrod de grafit. Creșterea pătrunderii poate fi realizată prin direcționarea arcului electric sub un unghi mai mare, prin utilizarea unor vergele prevăzute cu un canal în U (Fig. 2.17).

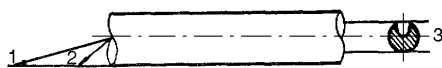


Fig. 2.17. Direcționarea arcului electric la sudarea cu electrod culcat: 1- direcția arcului electric la electrozi normali; 2- direcția arcului electric la electrozi având secțiunea 3 [1, 6, 7]

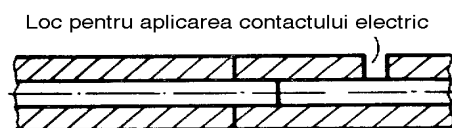


Fig. 2.18. Îmbinarea electrozilor înveliți în lanț [1, 6, 7, 15]

Realizarea cusăturilor lungi se face prin utilizarea unui lanț de electrozi înveliți, așezați unul după altul, capetele lor fiind bine curățate și strânse între ele, pentru ca topirea să se facă în mod continuu (Fig. 2.18). În același timp, pentru a nu avea o prea mare variație a curentului de sudare prin scurtarea lanțului format de electrozi, alimentarea se face prin contacte puse din loc în loc și care intră automat în funcțiune pe măsură ce arcul electric progresează în lungul îmbinării (Fig. 2.19).

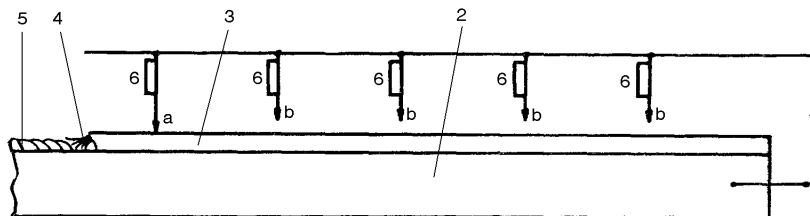


Fig. 2.19. Alimentarea prin contacte electrice succesive a lanțului de electrozi înveliți: 1- sursa de sudare; 2- piesă; 3- lanț de electrozi înveliți culcați; 4- arc electric; 5- cusătură; 6- rezistențe electrice crescătoare pentru a compensa scăderea lungimii circuitului electric; a- contact în lucru; b- contacte ce vor intra în lucru [1, 6, 7, 15]

Sudarea componentelor subțiri se realizează în curent continuu, polaritatea curentului depinzând de tipul învelișului electrodului. Sudarea componentelor groase se realizează în curent alternativ, pentru a evita fenomenul de suflu al arcului electric. Aplicarea acestei metode se poate face numai dacă rostul de sudare se găsește în poziție orizontală sau orizontală în jgheab.

5. Sudarea gravitațională

Această metodă de sudare diferă de sudarea electrică manuală cu electrod învelit prin faptul că, electrodul este introdus într-un dispozitiv care îl menține înclinat față de componentele de sudat și pe măsură ce electrodul se consumă, el se deplasează în lungul cusăturii, datorită unei culise care alunecă pe un ghidaj (Fig. 2.20. a).

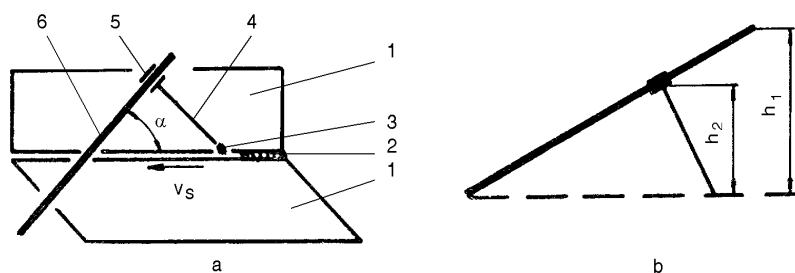


Fig. 2.20. Desfășurarea procesului de sudare gravitațională: 1- componente de sudat; 2- cordon; 3- arc electric; 4- electrod învelit; 5- culisă; 6- ghidajul dispozitivului; a- principiul procedurii; b- mărimi care se modifică în timpul sudării [1, 6, 7, 15]

Sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți

Metoda se aplică numai la îmbinări sudate de colț poziționate orizontal, un singur operator sudor putând supraveghea trei până la cinci posturi (dispozitive) de sudare. Prin aceasta productivitatea sudării crește față de sudarea manuală (de până la 5 ori), cantitatea de metal depus fiind de $(1,5 \dots 7,0)$ g/s. Electrozii sunt cu înveliș rutilic sau bazic special, ce pot fi utilizați în curent alternativ, pentru a evita suflul magnetic. Ei au lungimea cuprinsă în domeniul $(600 \dots 800)$ mm și diametrul de $(4,0 \dots 6,0)$ mm.

Curentul de sudare se alege mai mic cu $(10 \dots 15)\%$ decât cel recomandat la diametrul respectiv prin procedeul SE, datorită lungimii mai mari a electrozilor înveliți.

Poziționarea electrodului învelit în momentul începerii sudării este determinată prin mărimile h_1 și h_2 (Fig. 2.20. b).

Reglarea curentului de sudare se face cu aceleași mărimi (h_1 și/sau h_2). Când h_1 și/sau h_2 scade, I_s scade și durata topirii electrodului crește. Reglarea vitezei de sudare se face prin modificarea unghiului α (când α se modifică între 20° și 70° , v_s se modifică între $0,15$ și $0,40$ m/min).

CAPITOLUL 3

MATERIALE ȘI ECHIPAMENTE UTILIZATE ÎN CADRUL PROGRAMULUI EXPERIMENTAL

3.1. Materialul de bază

Mantalele metalice ale preîncălzitoarelor furnalelor de pe platforma Liberty Galați sunt confecționate *din table din oțel de construcții sudabile, cu granulație fină, în stare normalizată*, în conformitate cu standardul republican SR EN 10113-1/2004, *marca S355N*, având compoziția chimică pe oțel lichid și caracteristicile mecanice conform tabelelor 3.1...3.2. În aceste tabele sunt prezentate și compoziția chimică și caracteristicile mecanice conform certificatului de calitate emis de producător (ArcelorMittal SA Galați).

Tabelul 3.1. Compozițiile chimice ale materialului de bază [18, 27]

Materialul de bază	Compozițiile chimice, %							Obsevații
	C	Mn	Si	S	P	Nb	V	
	Al	Ti	Ni	Mo	Cu	Cr	Alte elem.	
S355N	max. 0,20	0,90-1,65	max. 0,5	max. 0,030	max. 0,035	max. 0,05	max. 0,12	SR EN 10113-1/2004
	min. 0,02	max. 0,03	max. 0,05	max. 0,10	max. 0,35	max. 0,015	-	
S355N, S = 15 mm	0,17	1,45	0,28	0,016	0,020	0,001	0,001	Certificat de calitate nr. 20201399 din 12.11.2007
	0,045	0,003	0,02	0,005	0,01	0,085	-	

Tabelul 3.2. Caracteristicile mecanice ale materialului de bază [18, 27]

Materialul de bază	Caracteristicile mecanice					Obsevații
	R _m , MPa	R _{p0,2} , MPa	A ₅ , %	KV, J	T, °C	
S355N	470 - 630	min. 345	min. 24	min. 40	- 20	SR EN 10113-1/2004
S355N, S = 15 mm	528	362	25	58, 62, 64	- 20	Certificat de calitate nr. 20201399 din 12.11.2007

Examinarea microscopică a materialului de bază s-a realizat în cadrul Laboratorului de Încercări Metalografice-LAMET din Universitatea "Politehnica" București, după un atac cu

reactivul Nital 2 % a suprafeței frontale a epruvetei, utilizând microscopul Olympus GX51, conform procedurii de măsurare UPB-PO-05.03.02 (temperatura 28 °C și umiditatea 41 %), figura 3.1.

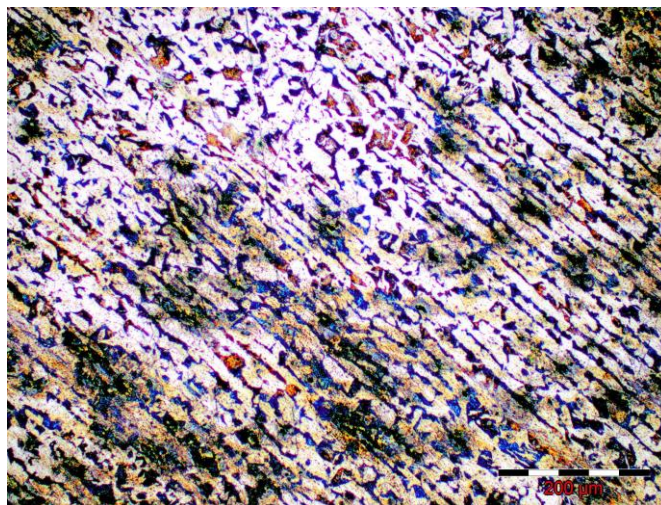


Fig. 3.1. Microstructura materialului de bază (oțel S355N, S = 15 mm), mărire 100 x, atac Nital 2 %: structură ferito-perlitică în șiruri, cu grăunți alungiți proveniți din deformarea plastică de la laminare, faza predominantă fiind cea feritică (culoare deschisă), alternând cu grăunți de perlită (culoare brun închisă) [11, 12]

3.2. Materialul de adaos (electrodul învelit)

Alegerea electrodului învelit s-a efectuat în funcție de următoarele criterii [1, 6, 7, 15]:

- compoziția chimică a materialului de bază;
- caracteristicile mecanice cerute pentru metalul depus prin sudare;
- riscul de fisurare a sudurii;
- pozițiile de sudare;
- tipurile îmbinărilor sudate;
- existența surselor de curent continuu sau alternativ.

În funcție de aceste criterii, pentru sudarea electrică manuală a mantalelor metalice ale preîncălzitoarelor, s-a ales *electrodul învelit marca Nibaz 55*, $d_e = 3,2 \text{ mm}$, produs de Air Liquide Welding - France și achiziționat de la SC Ductil SA Buzău. Acest electrod învelit este utilizat și în prezent în lucrările de reparații ale mantalelor metalice ale preîncălzitoarelor în cadrul SC ICMRS SA Galați [17].

Clasificare: AWS A5.5: E 8018-G;

EN 499: E 42 4 1 Ni B 42 H5.

Autorizare: TÜV, DB, ANR, GL, BV.

Caracteristici principale: Electrod bazic cu înveliș gros destinat în special la structurile sudate solicitate dinamic din oțeluri slab aliate cu limită de curgere ridicată, de granulație fină, puternic solicitate, exploatate la temperaturi până la - 50 °C. Se recomandă pentru oțeluri ca [17]:

- OL 52.4 - STAS 500/2;
- OCS 52.6a; OCS 55.6a - STAS 902;

- S 275; S 355 - EN 10025;
- S 275; S 355; S 420, S 460 - EN 10113-2;
- L 290; L 360; L 415; L 445 - EN 10028/2.

Comportarea la sudare este specifică electrozilor cu înveliș bazic, arcul arde stabil. Bun aspect al cordonului cu stropire redusă. Zgura acoperă bine rândul de sudură, iar după solidificare se desprinde ușor. Conținutul de hidrogen difuzibil este de max. $5 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$ MD. Randamentul nominal efectiv este de 113 % [17].

Domenii de aplicare: industria constructoare de mașini, construcții civile și industriale, platforme marine, recipiente sub presiune.

Poziții de sudare [17]:

- EN: PA, PB, PC, PF, PG, PE,
- AWS: 1G, 2F, 2G, 3Gup, 3Gdown, 4G,

Curent: DC⁺

Depozitare - calcinare: A se păstra în locuri uscate la temperatura camerei. Înainte de sudare electrozii se vor usca în mod obligatoriu timp de 2 ore la (250...300) °C.

Curenții de sudare [17]:

d _e , mm	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0
I _s , A	40...70	65...90	130...150	160...190	200...250

Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale metalului depus cu electrozi înveliți marca Nibaz 55 cu diametrul d_e = 3,2 mm, utilizați în cadrul programului experimental privind sudarea electrică manuală de poziție, sunt prezentate în tabelele 3.3...3.4.

Tabelul 3.3. Compoziția chimică a metalului depus cu electrozi înveliți marca Nibaz 55 [11, 12, 19]

Compoziția chimică, %						
C	Mn	Si	S	P	Nb	V
Al	Ti	Ni	Mo	Cu	Cr	Alte elemente
0,054	1,020	0,45	0,006	0,017	0,003	0,005
-	-	1,10	0,013	0,017	0,048	-

Tabelul 3.4. Caracteristicile mecanice ale metalului depus cu electrozi înveliți marca Nibaz 55 [11, 12, 19]

Caracteristicile mecanice				
R _m , Mpa	R _{p0,2} , Mpa	A ₅ , %	KV, J	T, °C
565	495	27	108, 138, 142	- 40

3.3. Materialul auxiliar (suportul ceramic)

La realizarea construcțiilor metalice sudate de mari dimensiuni, de foarte multe ori, se impune folosirea unor suporturi de susținere a băii de metal lichid, în timpul formării băii și până la răcirea acesteia, pentru evitarea curgerii metalului lichid din rost.

Aceste suporturi sunt amplasate în partea opusă a arcului electric și trebuie să aibă o anumită formă, care să corespundă cerințelor dimensionale impuse cordonului și anumite caracteristici fizico-chimice (Fig. 3.2).

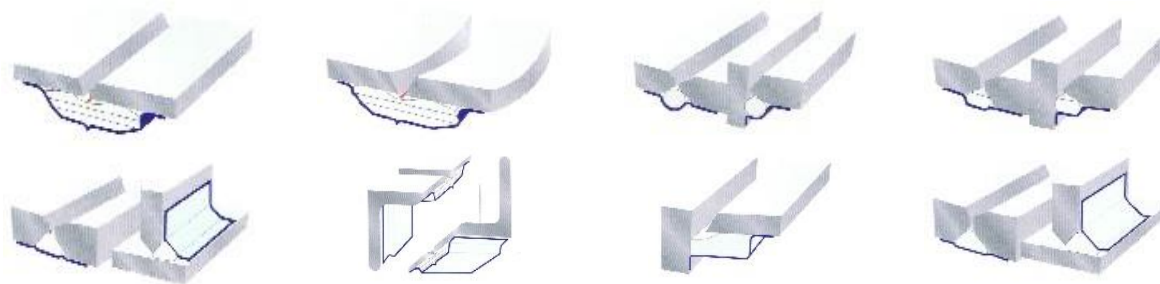


Fig. 3.2. Tipuri constructive de suporturi ceramice [11, 12]

Foarte important de menționat este faptul că, avantajele folosirii suportului de rădăcină poate fi anulat în cazul în care, suportul interacționează cu baia de metal lichid, sub formă de reacții chimice sau metalurgice între suport și baie, toate acestea conducând la influențe negative asupra caracteristicilor mecanice ale îmbinării sudate. Rolul său de susținere a băii de metal topit, asigură realizarea unei îmbinări sudate, cu pătrundere pentru orice poziție de sudare. Principalul avantaj al acestor tipuri de suporturi, este că, prezintă o temperatură de topire foarte ridicată, evitându-se astfel riscul topirii și amestecării cu baia de metal lichid. În cazul utilizării suporturilor ceramice, suprafața care necesită pregătire este mult mai mică, având în vedere faptul că este necesară pregătirea exclusivă a suprafeței pe care se va lipi partea cu adeziv. Un exemplu de suport ceramic este prezentat în figura 3.3, în care [41]: 1- folie de aluminiu cu adeziv; 2, 5- componente de sudat; 3- pistol de sudare MIG - MAG; 4- arc electric și 6- suport ceramic.

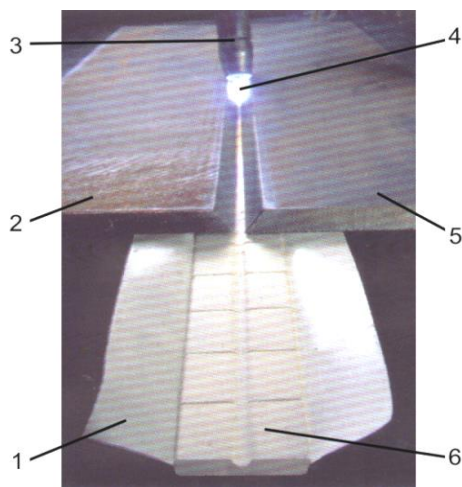


Fig. 3.3. Elementele componente ale unui suport ceramic [11, 12]

Pentru a răspunde condițiilor de la sudare, suporturile ceramice trebuie să corespundă anumitor cerințe, ca de exemplu [11, 12]:

1. *Stabilitate termică*, prin acesta înțelegând:

- capacitatea de a rezista la temperatura concretă a băii topite, fără pierderea caracteristicilor de rezistență mecanică, formă, dimensiuni sau alte reacții chimice care să altereze baia de metal;
- capacitatea de a rezista șocului termic la care este supus materialul ceramic respectiv, prin expunere la arc electric sau baia de metal în mod brusc, precum și la răcirea ulterioară, relativ rapidă.

2. *Stabilitate chimică*, în sensul de a nu introduce în baia de metal topit gaze sau alți componenți de descompunere ai suportului ceramic, respectiv o stabilitate a suportului ceramic față de zgura rezultată la sudare, precum și la atmosfera din mediul învecinat sudării;

3. *Accesibilitatea tehnologică și economică*, respectiv posibilitatea fabricării acestor suporturi ceramice refractare, prin procedee industriale și la un preț de cost cât mai scăzut. Suporturile ceramice pot fi realizate în diverse forme și dimensiuni, existând mai mult de 30 de tipuri.

Forma și dimensiunile suporturilor ceramice, precum și canalul acestora se aleg în funcție de procedeul de sudare care se aplică la executarea stratului de rădăcină, tipul îmbinării (cap la cap sau de colț), grosimea componentelor ce urmează a fi sudate, forma și dimensiunile rostului, precizia asamblării, traiectoria liniară sau circumferențială și accesul unilateral sau bilateral.

Utilizarea suporturilor ceramice are următoarele *avantaje* economice [11, 12]:

- asigurarea calității stratului de rădăcină eliminând operațiile de crăițuire, polizare, completare la rădăcină (resudare);
- posibilitatea sudării unilateral cu pătrundere, eliminând astfel, costurile suplimentare aferente sudării bilaterale cu pătrundere;
- se poate suda cu procedee de sudare și materiale de aport cu rată mare de depunere (diametre mai mari ale materialului de adaos), inclusiv pentru primul strat, ceea ce determină creșterea productivității;
- permite, pentru grosimile mari, inclusiv pentru primul strat, utilizarea curenților mari de sudare, obținându-se astfel o foarte bună pătrundere și minimizarea până la eliminare a riscului de lipsă de topire;
- scăderea costurilor și a timpilor necesari pentru pregătirea componentelor, datorită faptului că suprafața care necesită pregătire este limitată la zona în care urmează să fie fixat suportul;
- prezintă o temperatură de topire foarte ridicată, evitându-se astfel riscul topirii și amestecării cu baia de metal lichid.

Suporturile ceramice se utilizează cu precădere la sudarea construcțiilor metalice de mari dimensiuni, puternic solicitate în exploatare (nave, poduri, boilere etc), figura 3.4.



Fig. 3.4. Domenii de utilizare a suporturilor ceramice [11, 12]

Suportul ceramic permite obținerea unor îmbinări sudate cu o foarte bună pătrundere în aplicații manuale, semimecanizate, mecanizate și robotizate, în orice poziție, eliminând operațiile de crăițuire, polizare, completare la rădăcină (resudare). Această soluție este recomandabilă atât pentru obținerea unei bune calități a rădăcinii sub aspectul formei și al structurii metalografice, cât și pentru creșterea productivității și pentru simplificarea tehnologiei de sudare.



Fig. 3.5. Suport ceramic rotund model VB 8063, $d_e = 7$ mm [11, 12]

Pentru cercetările experimentale privind sudarea MAG de poziție s-a ales suportul ceramic rotund pe bandă de aluminiu auto-adezivă model VB 8063, $d_e = 7$ mm, produs de firma Intersafe din Olanda și aciziționat de la SC Intersafe România SRL Galați (Fig. 3.5).

3.4. Echipamente pentru sudare

Pentru realizarea programului experimental, s-a realizat în cadrul Centrului de Cercetări Avansare în Domeniul Sudării - SUDAV din Departamentul Ingineria Fabricației a Facultății de Inginerie a Universității "Dunărea de Jos" din Galați, un *dispozitiv pentru sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți*.

3.4.1. Dispozitiv pentru sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți

În figura 3.6 este prezentat dispozitivul folosit în cadrul cercetărilor experimentale la sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți. Acest dispozitiv permite sudarea în pozițiile: orizontală PA, vertical ascendentă PF, vertical descendentă PG, peste cap PE și orizontal pe perete vertical - cornișă PC.



Fig. 3.6. Dispozitiv pentru sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți în poziția PC: 1- probă de sudat; 2- bride cu șurub; 3- consolă; 4- montant; 5- placă de bază [11, 12]

Acesta este constituit din placa de bază 5, montantul 4, consola 3 și două bride cu șurub 2, care permit fixarea probei de sudat 1. Bridele cu șurub 2 se pot deplasa și fixa pe consola 3, în funcție de poziția de sudare și dimensiunile probei de sudat. Aceste bride permit fixarea probelor cu grosimea de maxim 25 mm. Fixarea bridelor pe consolă și a probei de sudat în cele două bride se realizează prin intermediul unor șuruburi M10. Consola 3 culisează pe montantul 4 și se fixează pe acesta prin intermediul unui șurub M10, tot în funcție de poziția de sudare și dimensiunile probei de sudat.

Acest dispozitiv permite și realizarea probelor sudate cap la cap, la care

materialele de bază necesită aplicarea preîncălzirii.

3.4.2. Sursa de sudare universală Aristo Lud 320

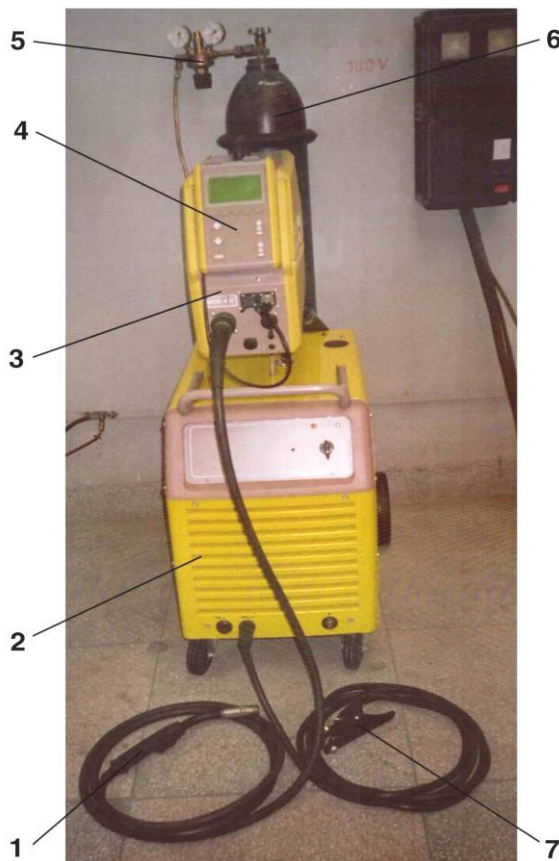


Fig. 3.7. Sursă de sudare universală Aristo Lud 320: 1- pistol de sudare; 2- redresor de sudare; 3- mecanism de avans sârmă electrod MEK 4C; - pupitru electronic de comandă PUA 1; 5- reductor de presiune cu debitmetru; 6- butelie gaz protecție; 7- clemă de masă [22]

Sursa de sudare universală Aristo Lud 320 produsă de firma suedeză ESAB facilitează sudarea prin trei procedee, manual cu electrozi înveliți (SE) și în medii de gaze protectoare cu electrod fuzibil (MIG-MAG) sau nefuzibil (WIG), este alimentată la 380 v și are următoarele caracteristici tehnice (Fig. 3.7) [22]:

- Tensiune de alimentare: 400 V, 3 ~, 50/60 Hz;
- DA 100 %: 270 A/30,8 V;
- DA 60 %: 320 A/32,8 V;
- Plaja de reglare (MIG-MAG): 15 A/15 V (8 V) - 320 A/30 V;
- Plaja de reglare (MMA): 16 A/20 V - 320 A / 32,8 V;
- Plaja de reglare (TIG): 4 A/10 V - 320 A/22,7 V;
- Tensiune de mers în gol (MIG-MAG): (65 - 80) V;
- Tensiune de mers în gol (MMA - TIG): (50 - 60) V;
- Putere consumată la mersul în gol: 520 W;
- Randament (MIG - MAG): 82%;
- Randament (MMA): 84,5%;
- Randament (TIG): 82%;
- Factor de putere (MIG-MAG): 0,85;
- Factor de putere (MMA): 0,85;
- Factor de putere (TIG): 0,80;
- Greutate: 96/110 Kg;
- Dimensiuni: 910 x 642 x 835 mm.

CAPITOLUL 4

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ CU ELECTROZI ÎNVELIȚI ÎN POZIȚIA DIFICILĂ PC

4.1. Dimensiunile probei sudate cap la cap și modul de prelevare a epruvetelor

Dimensiunile probei sudate cap la cap și modul de prelevare a epruvetelor pentru încercările mecanice de laborator sunt prezentate în figura 4.1.

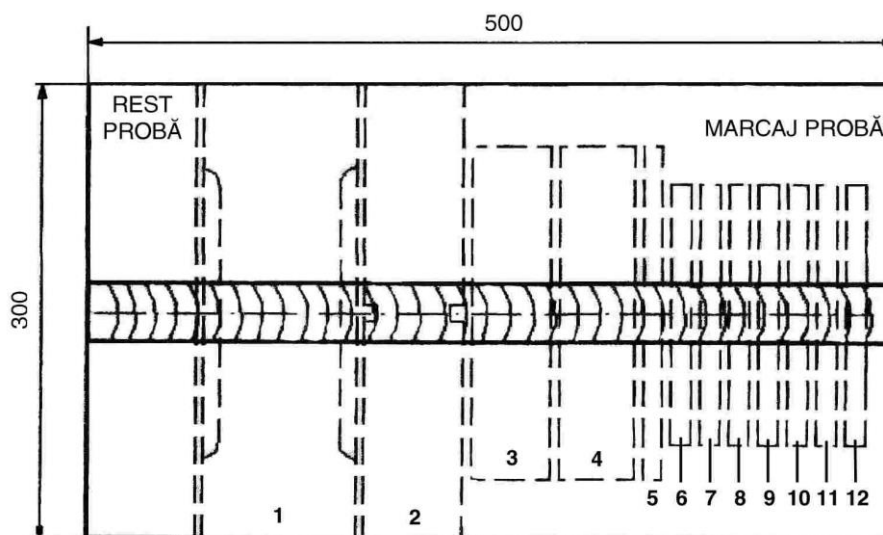


Fig. 4.1. Dimensiunile probei sudate cap la cap și modul de prelevare a epruvetelor [11, 14]

Din proba sudată cap la cap au fost prelevate prin mijloace mecanice următoarele epruvete [11, 14]:

- o epruvetă plată cu porțiunea calibrată pentru încercarea la tracțiune (nr. 1);
- o epruvetă plată cu creștătură în dreptul cusăturii pentru încercarea de rupere (nr. 2);
- două epruvete plate pentru încercarea la îndoire transversală frontală (cu rădăcina întinsă nr. 3 și cu rădăcina comprimată nr. 4) pe un dorn cu diametrul de 45 mm la un unghi de 180°;
- o epruvetă plată pentru încercarea la îndoire transversală laterală (nr. 5);
- trei epruvete pentru încercare la încovoiere prin șoc pe epruvetă Charpy cu creștătură în V în axa cordonului, la - 20 °C (nr. 6, 7 și 8);
- trei epruvete pentru încercare la încovoiere prin șoc pe epruvetă Charpy cu creștătură în V în ZIT, la - 20 °C (nr. 9, 10 și 11);

➤ o epruvetă transversală pentru încercarea de microduritate Vickers HV 1, analiză macroscopică și microscopică (nr. 12).

4.2. Tipuri de încercări mecanice de laborator

În cadrul programului experimental s-au executat următoarele încercări mecanice ale îmbinărilor sudate cap la cap [11, 14]:

- încercarea la tracțiune transversală;
- încercarea de rupere;
- încercarea la îndoire;
- încercarea la încovoire prin șoc pe epruvete Charpy V;
- încercarea de microduritate Vickers HV 1;
- examinarea macroscopică și microscopică;
- analiza compoziției chimice din cordon.

4.2.1. Încercarea la tracțiune transversală

Încercarea la tracțiune transversală constă în aplicarea unei forțe de tracțiune asupra unei epruvete, în general, până la rupere, pentru determinarea uneia sau a mai multor caracteristici mecanice, de cele mai multe ori rezistența la tracțiune - R_m (MPa), limita de curgere convențională - $R_{p0,2}$ (MPa), coeficientul de gătuire - Z (%) și alungirea procentuală după rupere - A_5 (%). În cazul îmbinărilor sudate pentru încercarea la tracțiune transversală prezintă interes numai rezistența la tracțiune. Această încercare se realizează la temperatura ambiantă (23 ± 5) °C în conformitate cu SR EN ISO 4136 - 2013 [30]. Epruveta prelucrată trebuie să aibă o zonă de racordare între capetele de prindere și porțiunea calibrată, când acestea sunt de dimensiuni diferite. În conformitate cu SR EN ISO 4136 - 2013 [30] epruveta se prelevează pe direcție transversală din îmbinarea sudată astfel încât, după prelucrare, axa sudurii să rămână în mijlocul porțiunii calibrate a epruvetei. Procedeele mecanice sau termice utilizate pentru debitarea epruvetei nu trebuie să modifice în nici un fel proprietățile epruvetei. Etapele finale de pregătire se realizează prin prelucrare mecanică sau prin rectificare, luându-se precauțiunile necesare pentru evitarea durificării superficiale a materialului.

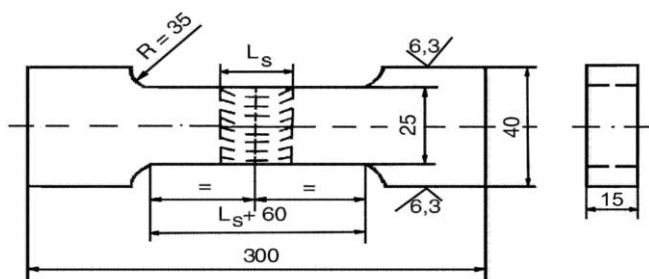


Fig. 4.2. Dimensiunile epruvetei plate cu porțiunea calibrată pentru încercarea la tracțiune [11, 14, 30]

la tracțiune sunt prezentate în figura 4.2. Încercările la tracțiune s-au efectuat în cadrul Laboratorului de Încercări Mecanice din ArcelorMittal SA Galați, folosind mașina de tracțiune UFP 400.

4.2.2. Încercarea la rupere

Standardul European SR EN 1320 - 2000 [37] stabilește dimensiunile epruvetelor și procedurile de utilizare în cazul încercărilor de rupere pentru a obține informații despre

Suprafețele nu trebuie să prezinte zgârieturi sau creștături perpendiculare pe direcția porțiunii calibrate a epruvetei, excepție făcând creștăturile, care nu trebuie eliminate decât dacă se solicită în standardul de aplicație.

În conformitate cu Standardul European SR EN ISO 4136 - 2013 [30], dimensiunile epruvetei plate cu porțiunea calibrată pentru încercarea

tipurile, dimensiunile și distribuția imperfecțiunilor interne cum sunt suflurile, fisurile, lipsa de topire, lipsa de pătrundere și incluziunile solide pe suprafața de rupere. Această încercare se realizează tot la temperatura ambiantă (23 ± 5) °C. Îmbinarea se rupe prin metalul depus cu scopul de a examina suprafața rupturii. Ruperea poate fi provocată printr-o sarcină constantă sau dinamic, prin îndoire sau prin întindere. Pentru suduri cap la cap încercarea de rupere se poate efectua prin șocuri dinamice (cu un ciocan), aplicând o sarcină prin apăsare într-un dispozitiv, mașină de îndoit sau o presă de atelier sau aplicând o sarcină prin tracțiune. Epruveta se decupează prin tăiere termică sau prin mijloace mecanice perpendicular pe sudură, axa sudurii rămânând în mijlocul epruvetei. Ruperea îmbinării sudate poate fi favorizată prin unul sau mai multe din următoarele procedee: eliminarea supraînălțării sudurii, creșterea la două extremități ale sudurii (creștere laterală și creștere pe supraînălțare (creștere longitudinală)). Se pot folosi creștături cu fund plat, curbat sau în unghi ascuțit.

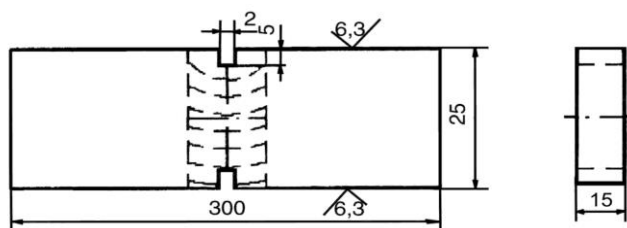


Fig. 4.3. Dimensiunile epruvetei pentru încercarea de rupere [11, 14, 37]

Adâncimea creștăturii trebuie să fie suficientă pentru ca ruperea să se producă în sudură.

Dimensiunile epruvetei pentru încercarea de rupere sunt prezentate în figura 4.3. Încercările de rupere s-au efectuat în cadrul Laboratorului de Încercări Mecanice din ArcelorMittal SA Galați, folosind tot mașina de tracțiune UFP 400.

4.2.3. Încercarea la îndoire

Încercarea la îndoire se realizează în conformitate cu Standardul European SR EN ISO 5173 - 2010 [31] pe o epruvetă cu secțiunea circulară, pătrată, *dreptunghiulară* sau poligonală, care este supusă unei deformări plastice prin îndoire fără inversarea sensului în timpul încercării, îndoirea fiind condusă până la un anumit unghi. Încercarea la îndoire se realizează tot la temperatura ambiantă (23 ± 5) °C, pe dispozitive de îndoire: pe suporturi cu dorn; în matriță în V sau în menghină.

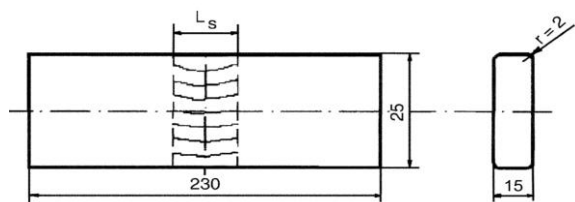


Fig. 4.4. Dimensiunile epruvetei pentru încercarea la îndoire frontală cu rădăcina comprimată sau întinsă [11, 14, 31]

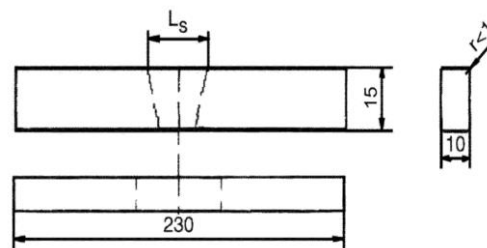


Fig. 4.5. Dimensiunile epruvetei pentru încercarea la îndoire transversală laterală [31]

Pentru îmbinări sudate cap la cap, Standardul European SR EN ISO 5173 - 2010 [31] stabilește metoda pentru realizarea încercărilor la îndoire transversală frontală cu rădăcina comprimată (FBB) sau întinsă (RBB) și laterală (SBB) în scopul evaluării ductilității și/sau absenței imperfecțiunilor pe/sau în apropierea suprafeței îmbinării. Epruveta se decupează prin tăiere termică sau prin mijloace mecanice, perpendicular pe sudură, axa sudurii rămânând în mijlocul epruvetei. Dimensiunile epruvetelor pentru încercarea la îndoire conform Standardul European Standardul European SR EN ISO 5173 - 2010 [31], sunt prezentate în figurile 4.4 și 4.5. Încercările la îndoire transversală frontală cu rădăcina comprimată (FBB)

Cercetări experimentale privind sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți pe suport ceramic rotund în poziția dificilă PC a oțelului S355N

sau întinsă (RBB) și laterală (SBB) s-au efectuat în cadrul Laboratorului de Încercări Mecanice din ArcelorMittal SA Galați, folosind tot mașina de tracțiune UFP 400.

4.2.4. Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruvetă Charpy

Metoda de încercare la încovoiere prin șoc pe epruvetă Charpy (cu creștătură în U și în V) este reglementată de Standardul European SR EN ISO 9016 - 2013 [32]. Încercarea constă în ruperea dintr-o singură lovitură cu un ciocan - pendul a unei epruvete cu o creștătură în mijloc, așezată liber pe două reazeme, determinându-se energia absorbită în jouli.

Epruveta are lungimea de 55 mm cu secțiunea pătrată cu latura de 10 mm și la mijlocul lungimii sale are o creștătură: în V la 45° cu adâncimea de 2 mm și cu raza la baza creștăturii de 0,25 mm, sau în U, sau în cheie cu adâncimea de 5 mm și cu raza la baza creștăturii de 1 mm.

Poziția epruvetei și orientarea creștăturii sunt reglementate prin Standardul European SR EN ISO 9016 - 2013 [32]. Creștătura se poate realiza în metalul depus (W) sau în zona influențată termic (H), respectiv paralelă cu suprafața probei (S) sau perpendiculară pe suprafața probei (T).

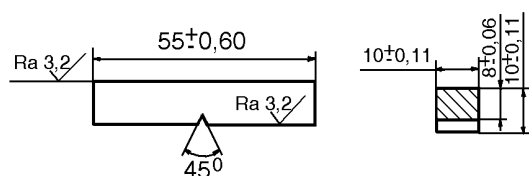


Fig. 4.6. Dimensiunile epruvetei pentru încercarea la încovoiere prin șoc pe epruvetă Charpy cu creștătură în V [11, 14, 32]

Dimensiunile epruvetei pentru încercare la încovoiere prin șoc pe epruvetă Charpy cu creștătură în V conform Standardul European SR EN ISO 9016 - 2013 [32], sunt prezentate în figura 4.6. Încercările la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy cu creștătură în V transversal pe îmbinarea sudată, s-au realizat la temperatura de -20°C , în cadrul Laboratorului de Încercări Mecanice din ArcelorMittal SA Galați, folosind ciocanul pendul marca VEB.

4.2.5. Examinarea macroscopică

Examinarea macroscopică și microscopică este folosită pentru a pune în evidență caracteristicile macroscopice și microscopice ale unei îmbinări sudate și se efectuează de obicei pe secțiuni transversale. Ea se realizează în conformitate cu Standardul European SR EN ISO 17639 - 2014 [33]. Reactivii pentru examinarea macroscopică și microscopică sunt prezentați pe grupe de materiale în Standardul European SR CR 12361+AC - 1999 [38].

Examinarea macroscopică s-a realizat cu ochiul liber sau cu o lupă cu o mărire ușoară, pentru fiecare din cele 10 suprafețe frontale ale epruvetelor atacate cu reactivul Nital 3 %, în cadrul Laboratorului de Studiul Materialelor din Facultatea de Inginerie a Universității "Dunărea de Jos" din Galați.

Examinarea microscopică s-a realizat în cadrul Laboratorului de Încercări Metalografice - LAMET din Universitatea "Politehnica" București, după un atac cu reactivul Nital 2% a suprafețelor frontale ale epruvetelor, utilizând microscopul Olympus GX51, conform procedurii de măsurare UPB-PO-05.03.02 (temperatura 28°C și umiditatea 41%). Această examinare s-a realizat în metalul depus (metal depus neinfluențat termomecanic și metal depus multiplu influențat termomecanic) și în zona influențată termomecanic (zonă simplu influențată termomecanic și zonă multiplu influențată termomecanic).

4.2.6. Încercarea de microduritate HV 1

Încercarea de microduritate a îmbinărilor sudate se efectuează pe secțiunile transversale ale îmbinărilor sudate în conformitate cu Standardul European SR EN ISO 9015/2 - 2016 [32].

Epruveta se prelevează prin tăiere mecanică perpendicular pe îmbinarea sudată, fața de

încercat pregătindu-se în mod corespunzător și de preferință atacată cu reactivi pentru a permite măsurarea exactă a diagonalei amprentelor în diferite zone ale îmbinării sudate. Încercările de microduritate HV 1 se realizează tot la temperatura ambiantă (23 ± 5) °C sub formă de șiruri de amprente (R), distanța recomandată dintre amprente pentru metale feroase fiind de 0,5 mm.

Încercările de microduritate ale îmbinărilor sudate cap la cap s-au realizat în cadrul Laboratorului de Încercări Metalografice - LAMET din Universitatea "Politehnica" București, după un atac cu reactivul Nital 2% a suprafețelor frontale ale epruvetelor, conform Standardului European SR EN 1043-2/1999 [35], și a procedurii de măsurare UPB-PO-05.03.03.

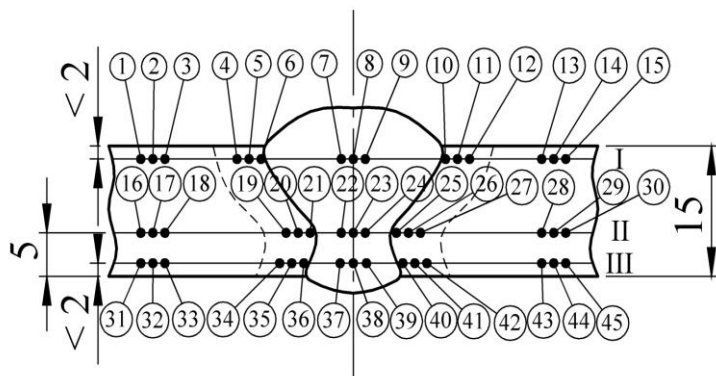


Fig. 4.7. Modul de amplasare a amprentelor de microduritate Vickers HV 1 (I, II, III- direcții de măsurare) [11, 14]

Determinările s-au realizat folosind microdurimetrul SHIMADZU HMV 2T, cu măsura etalon de duritate HV 1 seria 08-245, certificat de etalonare 3.28.215/2008 (temperatura 28 °C, umiditatea 44%, forța aplicată 0,1 Kg ~ 980 N, timpul de măsurare 10 secunde).

Citirile s-au efectuat în linie cu deplasări fixe. În figura 4.7 este prezentat modul de amplasare a amprentelor de microduritate Vickers HV 1, pe cele trei direcții de investigare.

4.3. Controlul probei sudate

4.3.1. Controlul vizual

Standardul Republican SR EN ISO 17637 - 2011 [28] se referă la examinarea vizuală a îmbinărilor sudate prin topire din materiale metalice. Examinarea se referă în mod normal pe suduri în stare brută după sudare, dar în mod excepțional, când se cere printr-un standard de aplicație sau prin acord între părți, examinarea poate fi efectuată în alte stadii ale fabricației prin sudare.

Iluminarea suprafeței piesei trebuie să fie de minim 350 lx recomandându-se utilizarea unei intensități de 500 lx. Pentru efectuarea examinării directe, accesul trebuie să fie suficient pentru amplasarea ochiului la cel puțin 600 mm de suprafața de examinat și la un unghi nu mai mic de aproximativ 30°.

1. *Examinarea vizuală prealabilă a îmbinării sudate (examinarea vizuală a pregătirii îmbinării)* se realizează pentru a ne asigura că [11, 14]:

➤ forma și dimensiunile pregătirii îmbinării satisfac condițiile din specificația procedurii de sudare;

➤ suprafețele de îmbinat și cele adiacente au fost curățate;

➤ tablele de îmbinat prin sudare sunt fixate unele față de altele în puncte de sudură.

2. *Examinarea vizuală în timpul sudării* se realizează pentru a ne asigura că [11, 14]:

❑ fiecare trecere sau strat de metal topit este curățat înainte de a fi acoperit cu o altă trecere, acordându-se atenție joncțiunii dintre metalul topit și metalul de bază;

❑ nu sunt imperfecțiuni vizibile (fisuri sau porozități); dacă se observă astfel de imperfecțiuni ele trebuie remediate înainte de efectuarea trecerii următoare;

❑ forma racordării între treceri și între sudură și metalul de bază să fie astfel încât să se poată obține o topire corespunzătoare a trecerii următoare.

3. *Examinarea vizuală a îmbinărilor sudate terminale* se realizează pentru a obține asigurarea că [11, 14]:

❖ zgura a fost îndepărtată prin mijloace manuale sau mecanice în scopul evitării mascării imperfecțiunilor;

❖ nu sunt urme de scule sau de lovituri;

❖ profilul sudurii și înălțimea supraînălțării respectă standardul de acceptare;

❖ suprafața sudurii este regulată, forma și solzii prezintă un aspect vizual uniform și satisfăcător;

❖ lățimea sudurii este constantă pe toată lungimea îmbinării și rostul este umplut complet;

❖ pătrunderea, retasura la rădăcină, străpungerile sau creștăturile la rădăcină sunt în limitele specificate în standardul de acceptare pentru întreaga îmbinare;

❖ creștăturile sunt în limitele standardului de acceptare;

❖ orice imperfecțiune (fisuri, porozități, defecte pe suprafața sudurii sau în ZIT), utilizând mijloace optice dacă este necesar, îndeplinesc criteriile de acceptare.

Controlul vizual în cele trei etape s-a realizat în cadrul Centrului de Cercetări Avansare în Domeniul Sudării - SUDAV din Departamentul Ingineria Fabricației, a Facultății de Inginerie din Universității "Dunărea de Jos" din Galați.

Pentru examinarea vizuală s-au folosit ca echipamente: ruleta; șublerul, lupa cu grosisment de 5x, calibrul în spirală și calibrul cu utilizări multiple. Înainte de sudarea fiecărei probe s-a verificat forma și dimensiunile rostului, curățarea suprafețelor de îmbinat și cele adiacente, precum și fixarea tablelor în puncte de sudură.

După depunerea și curățarea fiecărui strat s-a verificat aspectul exterior (cu ochiul liber și cu lupa cu grosisment de 5x).

4.3.2. Controlul cu radiații penetrante

Principiile generale pentru examinarea radiografică cu radiații X și gamma a materialelor metalice în scopul detectării defectelor utilizând tehnici cu film sunt cuprinse în Standardul Republican SR EN ISO 17636/1 - 2013 [29]. În final (după răcirea, curățarea și marcarea probei) s-a efectuat pe toată lungimea probei, un control nedistructiv cu radiații penetrante, în cadrul SC Moldovulcan SA Galați, utilizând instalația de gamma-defectoscopie tip GDP - U5, proba sudată ne prezentând defecte interioare.

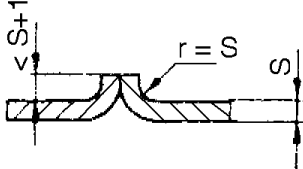
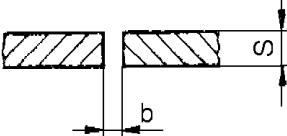
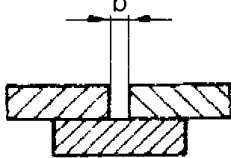
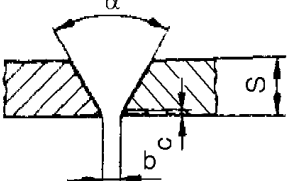
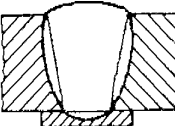
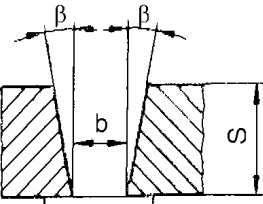
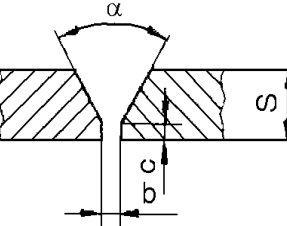
4.4. Pregătirea componentelor în vederea sudării

Standardului Republican SR EN ISO 9692-1: 2014 recomandă tipurile de pregătire a pieselor de îmbinat pentru sudarea manuală cu arc electric cu electrod învelit, sudarea cu arc electric cu electrod fuzibil în mediu de gaz protector, sudarea cu gaze, sudarea WIG și sudarea cu fascicule de energie a oțelurilor.

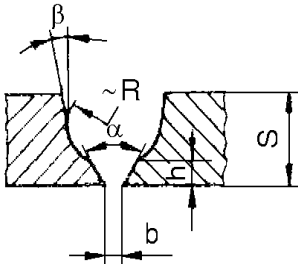
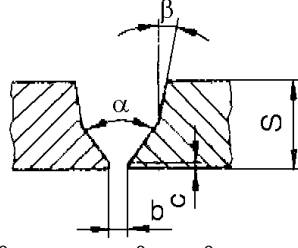
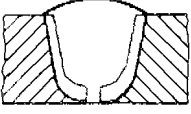
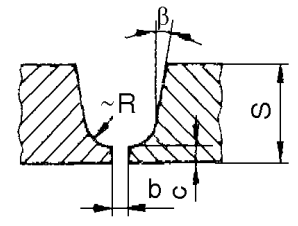
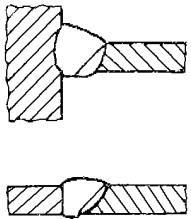
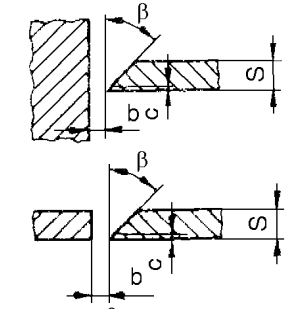
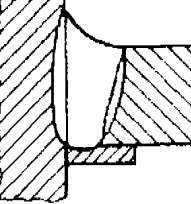
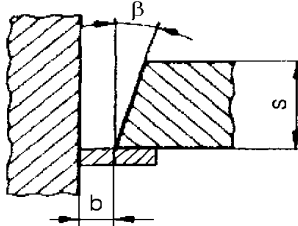
Aceste recomandări sunt centralizate pe tipuri de îmbinări sudate (cap la cap și în colț) și în funcție de modul de executare a îmbinării sudate (dintr-o singură parte sau din ambele părți).

În tabelele 4.1 și respectiv 4.2 sunt prezentate pregătirile pieselor de îmbinat pentru suduri cap la cap executate dintr-o singură parte respectiv din ambele părți.

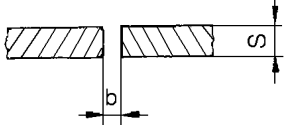
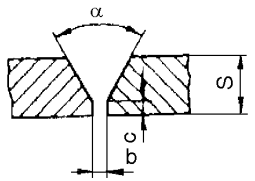
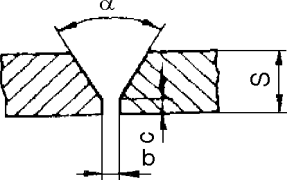
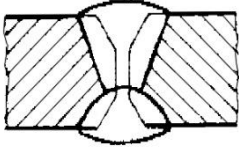
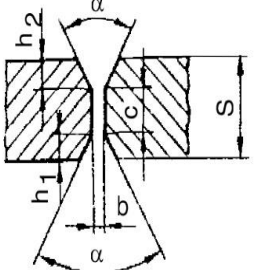
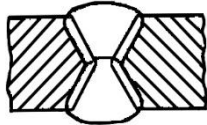
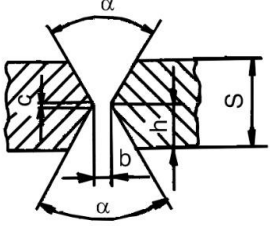
Tabelul 4.1. Pregătirea pieselor de îmbinat pentru suduri cap la cap executate dintr-o singură parte [6]

Sudură		Pregătirea piesei de îmbinat
Denumire/Grosimea piesei, [mm]	Reprezentare	Secțiune/(Dimensiuni), Procedee de sudare recomandate
0	1	2
Sudură cu margini răsfrânte $S \leq 2$ (în general fără metal de adaos)		 (3; 111; 141; 131; 135)
Sudură în I $S \leq 4$		 $b = S$ (3; 111; 141)
Sudură în I $3 < S \leq 8$ (cu suport la rădăcină permanent)		 $6 \leq b \leq 8$ (131; 135; 141)
Sudură în V $3 \leq S \leq 10$ (dacă este cazul, cu suport la rădăcină permanent)		 $35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$; $2 \leq b \leq 4$; $1 \leq c \leq 2$ (111; 131; 135; 141)
Sudură în V în rost îngust $S > 16$ (cu suport la rădăcină)		 $5^\circ \leq \beta \leq 20^\circ$; $5 \leq b \leq 15$ (111; 131; 135)
Sudură în Y $5 \leq S \leq 40$		 $\alpha \approx 60^\circ$; $1 \leq b \leq 4$; $2 \leq c \leq 4$ (111; 131; 135; 141)

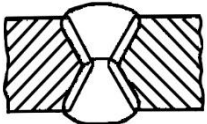
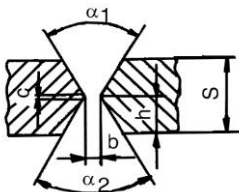
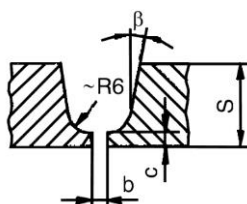
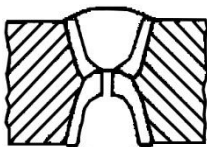
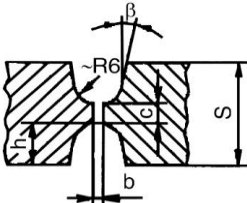
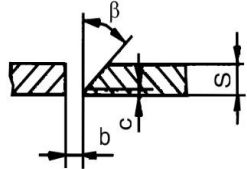
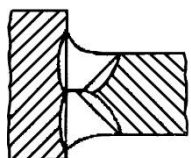
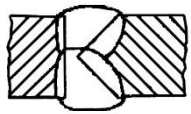
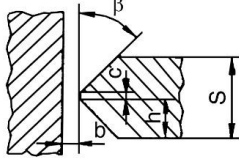
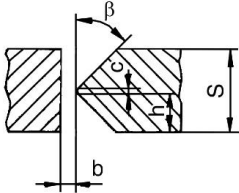
Tabelul 4.1. Continuare

0	1	2
Sudură în U cu rădăcină în V $S > 12$ ($R = 6$ până la 9)		 $60^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}; 8^{\circ} \leq \beta \leq 12^{\circ};$ $1 \leq b \leq 3; h \approx 4$ (111; 131; 135; 141)
Sudură în V cu rădăcină în V $S > 12$		 $70^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}; 10^{\circ} \leq \beta \leq 15^{\circ};$ $2 \leq b \leq 4; c \approx 3$ (111; 131; 135; 141)
Sudură în U $S > 12$		 $8^{\circ} \leq \beta \leq 12^{\circ}; 1 \leq b \leq 4; c \approx 3$ (111; 131; 135; 141)
Sudură în 1/2V $3 < S \leq 10$ (acest tip de pregătire a pieselor de îmbinat poate fi realizat asimetric, în mod similar cu cea de la sudura în V pe ambele părți asimetrice)		 $35^{\circ} \leq \beta \leq 60^{\circ}; 2 \leq b \leq 4; 1 \leq c \leq 2$ (111; 131; 135; 141)
Sudură în 1/2V în rost îngust $S > 16$ (cu suport la rădăcină permanent)		 $15^{\circ} \leq \beta \leq 30^{\circ}; 6 \leq b \leq 12$ (111) $15^{\circ} \leq \beta \leq 30^{\circ}; b \approx 12$ (131; 135)

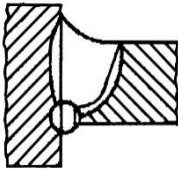
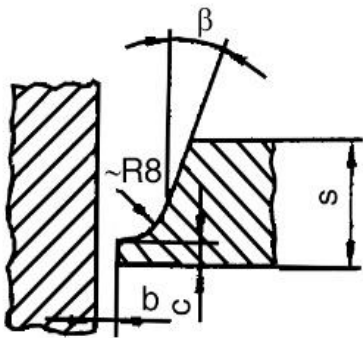
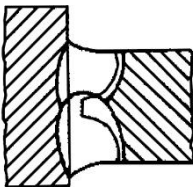
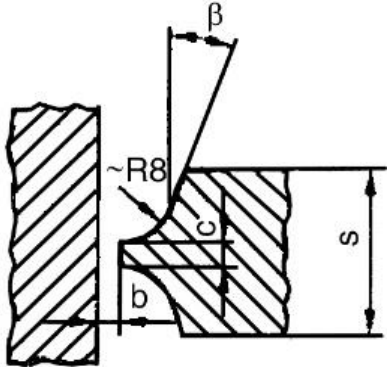
Tabelul 4.2. Pregătirea pieselor de îmbinat pentru suduri cap la cap executate din ambele părți [6]

Sudură		Pregătirea piesei de îmbinat
Denumire/Grosimea piesei, [mm]	Reprezentare	Secțiune/(Dimensiuni), Procedee de sudare recomandate
0	1	2
Sudură în I $S \leq 8$		 $b \approx S/2$ (111; 141) $b \leq S/2$ (131; 135)
Sudură în V cu completare la rădăcină $3 \leq S \leq 40$		 $b = S$ (111; 141) $6 \leq b \leq 8$ (131; 135)
Sudură în Y cu completare la rădăcină $S > 10$ (în cazuri speciale posibilă pentru grosimi mici ale pieselor)		 $\alpha \approx 60^\circ$; $1 \leq b \leq 3$; $2 \leq c \leq 4$ (111; 141) $40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$; $1 \leq b \leq 3$; $2 \leq c \leq 4$ (131; 135)
Sudură în Y pe ambele părți $S > 10$		 $\alpha \approx 60^\circ$; $1 \leq b \leq 4$; $2 \leq c \leq 6$; $h_1 = h_2 = (S - c)/2$ (111; 141) $40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$; $1 \leq b \leq 4$; $2 \leq c \leq 6$; $h_1 = h_2 = (S - c)/2$ (131; 135)
Sudură în V pe ambele părți (sudură în X) $S > 10$		 $\alpha \approx 60^\circ$; $1 \leq b \leq 3$; $c \leq 2$; $h = S/2$ (111; 141) $40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$; $1 \leq b \leq 3$; $c \leq 2$; $h = S/2$ (131; 135)

Tabelul 4.2. Continuare

0	1	2
Sudură în V pe ambele părți asimetrică $S > 10$		 $\alpha_1 = \alpha_2 \approx 60^\circ; 1 \leq b \leq 3; c \leq 2;$ $h = S/3 \text{ (111; 141)}$ $40^\circ \leq \alpha_1, \alpha_2 \leq 60^\circ; 1 \leq b \leq 3; c \leq 2;$ $h = S/3 \text{ (131; 135)}$
Sudură în U cu completare la rădăcină $S > 12$		 $8^\circ \leq \beta \leq 12^\circ; 1 \leq b \leq 3; c \approx 5;$ $h = (S - c)/2 \text{ (111; 131; 135; 141)}$
Sudură în U pe ambele părți $S \geq 30$ (acest tip de pregătire a pieselor de îmbinat poate fi realizat asimetric, în mod similar cu cea de la sudura în V pe ambele părți asimetrice)		 $8^\circ \leq \beta \leq 12^\circ; b \leq 3; c \approx 3;$ $h = (S - c)/2 \text{ (111; 131; 135; 141)}$
Sudură în 1/2 V cu completare la rădăcină $3 < S \leq 30$		 $35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ; 1 \leq b \leq 4; c \leq 2$ $\text{(111; 131; 135; 141)}$
Sudură în 1/2 V pe ambele părți (sudură în K) $S > 10$ (acest tip de pregătire a pieselor de îmbinat poate fi realizat asimetric, în mod similar cu cea de la sudura în V pe ambele părți asimetrice)	 	  $35^\circ \leq \beta \leq 60^\circ; 1 \leq b \leq 4; c \leq 2;$ $h = S/2 \text{ sau } h = S/3$ $\text{(111; 131; 135; 141)}$

Tabelul 4.2. Continuare

0	1	2
Sudură în 1/2 U cu completare la rădăcină $S > 16$		 $10^0 \leq \beta \leq 20^0$; $1 \leq b \leq 3$; $c \geq 2$ (111; 131; 135; 141)
Sudură în 1/2 U pe ambele părți $S > 30$ (acest tip de pregătire a pieselor de îmbinat poate fi realizat asimetric, în mod similar cu cea de la sudura în V pe ambele părți asimetrice)		 $10^0 \leq \beta \leq 20^0$; $b \leq 3$; $c \geq 2$ (111; 131; 135; 141)

Conform Standardului Republican SR EN ISO 9692 - 1: 2014, pentru pregătirea pieselor de îmbinat cap la cap din oțel cu grosimea $S = 15$ mm, executate din ambele părți, prin procedeul de sudare manuală cu electrozi înveliți, se recomandă următoarele rosturi [11]:

- în V cu completare la rădăcină ($3 \leq S \leq 40$);
- în Y cu completare la rădăcină ($S > 10$);
- în Y pe ambele părți ($S > 10$);
- în V pe ambele părți (sudură în X, $S > 10$);
- în V pe ambele părți asimetrică (sudură în X asimetrică, $S > 10$);
- în U cu completare la rădăcină ($S > 12$);
- în 1/2V cu completare la rădăcină ($3 \leq S \leq 30$);
- în 1/2V pe ambele părți (sudură în K, $S > 10$).

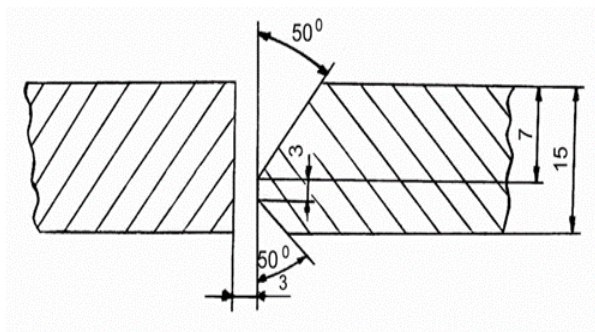


Fig. 4.8. Pregătirea rostului pentru sudarea manuală cu electrozi înveliți în poziția dificilă PC [11, 14]

În cadrul programului de cercetări experimentale privind sudarea manuală cu electrozi înveliți în poziția dificilă PC, tablele pentru probe din oțel S355N cu grosimea de 15 mm, au fost prelucrate mecanic în vederea sudării conform figurii 4.8.

4.5. Condiții de sudare

Pentru programul experimental privind sudarea cap la cap a probei în poziția dificilă PC s-au utilizat, dispozitivul pentru sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți (Fig. 3.6) și sursa de sudare universală Aristo Lud 320 (Fig. 3.7). Pentru sudare, s-au utilizat electrozi înveliți bazici marca Nibaz 55, cu diametrul de 3,25 mm, produși de SC Ductil SA Buzău, uscați în mod obligatoriu în cuptor timp de 2 ore la temperatura de (250...300) °C.

În figura 4.9. a și b sunt prezentate imagini din timpul sudării cap la cap a probei în poziția dificilă PC. În figura 4.10 este prezentată cutia termoizolantă cu capac pentru păstrarea electrozilor înveliți uscați. Înainte de sudare (după prinderea în puncte de sudură), proba a fost preîncălzită oxigaz la temperatura de 150 °C, preîncălzirea verificându-se cu creioane Thermocrom (Fig. 4.11). Temperatura între rândurile și straturile de sudură (temperatura interpas) a fost limitată la 200 °C, temperatura verificându-se tot cu creioane Thermocrom.

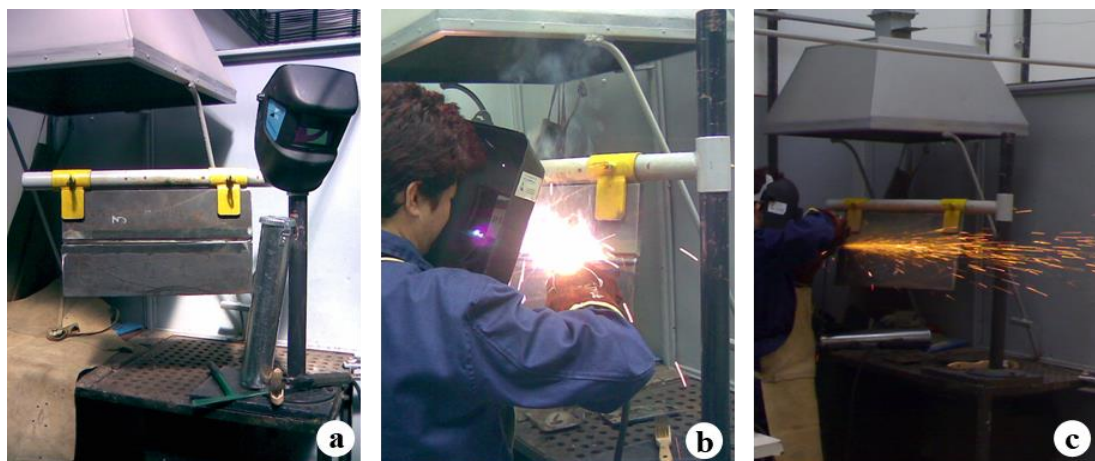


Fig. 4.9. Aspecte din timpul sudării cu arc electric și electrod învelit a probei în poziția orizontal pe perete vertical - cornișă PC [11, 14]



Fig. 4.10. Cutie termoizolantă cu capac pentru electrozi înveliți [11, 14]



Fig. 4.11. Creioane Thermocrom [11, 14]

După depunerea fiecărui cordon de sudură, acesta s-a curățat de zgură și stropi cu ajutorul ciocanului de zgură și a periei de sârmă.

După depunerea primelor trei cordoane în rostul prelucrat pe grosimea de 5 mm (față), înainte de sudarea în rostul prelucrat pe grosimea de 10 mm (spate), s-a realizat o polizare a primelor rânduri de rădăcină (Fig. 4.9. c).

În tabelul 4.3 sunt prezentați parametrii regimurilor de sudare în poziția orizontal pe perete vertical - cornișă PC.

Tabelul 4.3. Parametrii regimurilor de sudare [11, 14]

Nr. rând ¹⁾	Nr. cordon	$I_{s\ cit}^{2)}$, [A]	$U_{a\ cit}^{2)}$, [V]	$v_s^{3)}$, [cm/min]	$E_l^{4)}$, [KJ/mm]
1 față	1	110	22	0,86	2,25
2 față	2 - 3	115	23	4,12	0,51
3 față	4 - 5	115	23	4,88	0,43
Polizare rădăcină					
4 spate	6	115	23	2,75	0,77
5 spate	7 - 8	115	23	4,27	0,49
6 față	9 - 10	115	23	5,18	0,40
7 față	11 - 13	115	23	4,94	0,43
8 față	14 - 16	115	23	5,61	0,38
9 spate	17 - 20	120	24	5,26	0,44
10 față	21 - 25	120	24	6,25	0,37

Notă: ¹⁾ față- rost prelucrat 5 mm, spate- rost prelucrat 10 mm; ²⁾ $I_{s\ cit}$ și $U_{a\ cit}$ sunt valorile medii vizualizate pe ecranul pupitrului electronic de comandă PUA 1 al sursei de sudare universală Aristo Lud 320; ³⁾ v_s a fost determinat raportând lungimea cordonului depus cu un electrod învelit în cm la timpul de topire al electrodului învelit în min; ⁴⁾ energia liniară s-a determinat conform SR EN 1011/1 - 2001, cu formula: $E_l = k \cdot U_a \cdot I_s \cdot 10^{-3} \cdot v_s^{-1}$ [Kj/mm] unde k este un coeficient ($k = 0,8$ pentru procedeul 111), U_a este în V, I_s este în A și v_s este în mm/s.

În figura 4.12 sunt prezentate aspectele vizuale (a- prelucrare pe grosimea de 10 mm; b- prelucrare pe grosimea de 5 mm) ale probei sudate cap la cap manual cu arc electric și electrod învelit în poziția dificilă PC.



Fig. 4.12. Aspectele vizuale ale probei sudate cap la cap manual cu arc electric și electrod învelit în poziția dificilă PC [11, 14]

CAPITOLUL 5

REZULTATELE CERCETĂRIILOR EXPERIMENTALE

5.1. Controlul nedistructiv

5.1.1. Controlul vizual

Controlul vizual s-a realizat în cadrul Halei Sisteme și Echipamente de Sudare, Sala HS 02, Centrul de Cercetări Avansate în Domeniul Sudării (SUDAV), Departamentul Ingineria Fabricației, Facultatea de Inginerie, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați. Acest control nu a pus în evidență prezența defectelor de suprafață.

După controlul vizual, s-au măsurat (la capete și pe mijloc) cu ajutorul unui șubler electronic digital (Fig. 5.1), lățimile b_1 și supraînălțările pătrunderilor h_1 la rădăcină și a ultimului strat depus b_2 respectiv h_2 (Tabelul 5.1).



Fig. 5.1. Șubler electronic digital [11, 14]

Tabelul 5.1. Valorile individuale și medii ale lățimilor și supraînălțărilor pătrunderilor la rădăcină și a ultimelor straturi depuse [11, 14]

Valorile individuale și medii ale lățimilor b și supraînălțărilor h , [mm]							
Spate				Față			
b_1				b_2			
h_1				h_2			
stânga	mijloc	dreapta	medie	stânga	mijloc	dreapta	medie
15,87	15,71	15,78	15,77	17,10	17,27	17,29	17,22
2,70	2,86	2,73	2,76	2,22	2,34	2,41	2,32

Lățimile și supraînălțările pătrunderilor la rădăcină și a ultimelor straturi depuse pentru s-au situat în limitele admise.

5.1.2. Controlul nedistructiv cu radiații gamma

Control nedistructiv cu radiații penetrante s-a realizat în cadrul SC Moldovulcan SA Galați, utilizând instalația de gamma-defectoscopie tip GDP - U5. Controlul nedistructiv cu radiații gamma a probei sudate cap la cap electric manual cu electrozi înveliți în poziția incomodă PC, nu au pus în evidență prezența unor defecte interioare (Tabelul 5.2).

Tabelul 5.2. Rezultatele controlului nedistructiv cu radiații gamma [11, 14]

Dimensiunea filmului, [mm]	Indicativul filmului	Rezultatul
240 x 100	PF - 1	Admis (fără defecte interioare)
240 x 100	PF - 2	Admis (fără defecte interioare)

5.2. Controlul distructiv

a. *Rezultatele încercării la tracțiune* pe epruveta plată cu porțiunea calibrată nr. 1, prelevată din proba sudată cap la cap electric manual cu electrozi înveliți, sunt centralizate în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3. Rezultatele încercărilor la tracțiune [11, 14]

Dimensiuni epruvetă (B ₀ x S ₀), [mm]	Aria secțiunii, [mm ²]	Forța de rupere, [KN]	Locul ruperii	R _{p0,2} , [MPa]	R _m , [MPa]	A ₅ , [%]
25,83 x 14,33	370,14	213,56	MB	397,66	576,96	32

b. *Rezultatele încercărilor de rupere a epruvetei plate cu creștătură în dreptul cusăturii* nr. 2, prelevată din proba sudată cap la cap electric manual cu electrozi înveliți, sunt prezentate centralizat în tabelul 5.4.

Tabelul 5.4. Rezultatele încercărilor de rupere [11, 14]

Dimensiuni epruvetă (B ₀ x S ₀), [mm]	Aria secțiunii, [mm ²]	Forța de rupere, [KN]	R _m , [MPa]	Rezultatele examinării suprafețelor rupturii
14,04 x 14,30	200,77	144	717,23	bună (fără defect)

c. *Rezultatele încercărilor la îndoire transversală frontală cu rădăcina comprimată (FBB) sau întinsă (RBB) și laterală (SBB)* pe epruvetele prelevate nr. 3, 4 și 5 prelevate din proba sudată cap la cap electric manual cu electrozi înveliți, sunt centralizate în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5. Rezultatele încercărilor la îndoire transversală frontală cu rădăcina comprimată (FBB) sau întinsă (RBB) și laterală (SBB) [11, 14]

Rezultatele încercărilor la îndoire transversală frontală cu rădăcina		Rezultatele încercărilor la îndoire transversală laterală (SBB)
comprimată (FBB)	întinsă (RBB)	
3 bună (fără defect)	4 bună (fără defect)	5 bună (fără defect)

d. *Rezultatele încercărilor la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy cu creștătură în V în MD și în ZIT* (nr. 6, 7 și 8, respectiv nr. 9, 10 și 11), prelevate din proba sudată cap la cap electric manual cu electrozi înveliți, la temperatura de - 20 °C, sunt centralizate în tabelul 5.6.

e. *Rezultatele încercărilor mecanice de microdurate Vickers HV 1* pe epruveta nr. 12, prelevată din proba sudată cap la cap electric manual cu electrozi înveliți, sunt prezentate în tabelul 5.7.

În tabelul 5.8 sunt prezentate valorile medii ale microduratețelor Vickers HV 1 în metalul depus și în zona de influență termomecanică.

Tabelul 5.6. Rezultatele încercărilor la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy V cu creștătură în V în MD și în ZIT11, 14]

Rezultatele încercărilor la încovoiere prin șoc la - 20 °C, J							
MD				ZIT			
Valori individuale			Medie	Valori individuale			Medie
CE5-6	CE5-7	CE5-8	77,3	CE5-9	CE5-10	CE5-11	114,7
60	78	94		119	117	108	

Tabelul 5.7. Rezultatele încercărilor mecanice de microdurate Vickers HV 1[11, 14]

Zona de măs.	Nr. amp r.	Rez.	Zona de măs.	Nr. amp r.	Rez.	Zona de măs.	Nr. ampr.	Rez.
I-I	1	185	II-II	16	181	III-III	31	182
	2	181		17	177		32	188
	3	194		18	184		33	191
	4	244		19	209		34	218
	5	258		20	219		35	225
	6	263		21	225		36	237
	7	218		22	212		37	217
	8	227		23	211		38	217
	9	212		24	201		39	209
	10	226		25	212		40	214
	11	233		26	214		41	219
	12	236		27	208		42	215
	13	196		28	185		43	191
	14	181		29	185		44	187
	15	184		30	187		45	186

Tabelul 5.8. Valorile medii ale microdurate Vickers HV 1 în metalul depus și în zona de influență termomecanică [11, 14]

Valorile medii ale microdurate Vickers HV 1			
ZIT stânga	MD	ZIT dreapta	ZIT
233,11	213,77	219,66	226,38

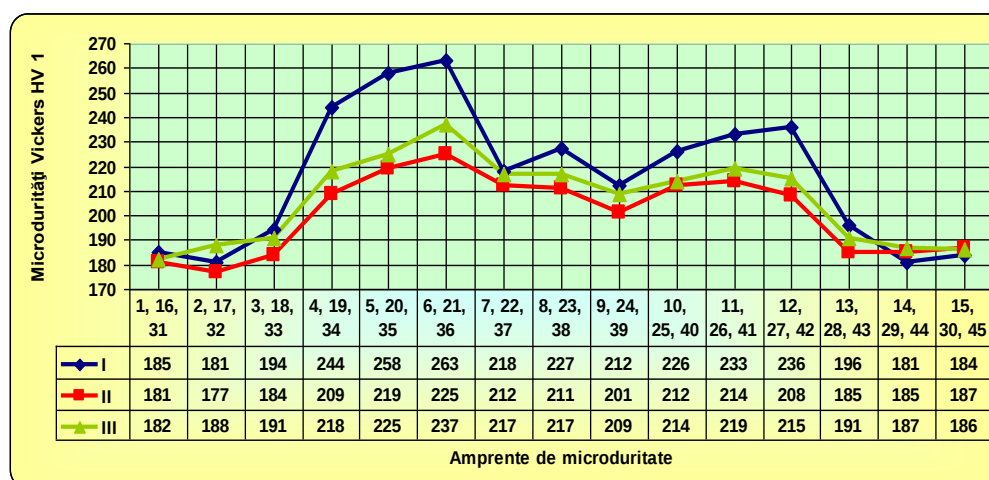
**Fig. 5.2.** Variațiile microdurate Vickers HV 1 pe cele trei direcții de investigare [11, 14]



Fig. 5.3. Macrostructura îmbinării sudate [11, 14]

Variațiile microdurităților Vickers HV 1 în zonele îmbinărilor sudate pe cele trei direcții de investigare, sunt prezentate în figura 5.2.

f. Macrostructura și microstructurile în zonele îmbinărilor sudate (ZIT și MD) la primele rânduri și la ultimele rânduri, realizate tot pe epruveta nr. 12, prelevată din proba sudată cap la cap electric manual cu electrozi înveliți, sunt prezentate în figurile 5.3...5.7.

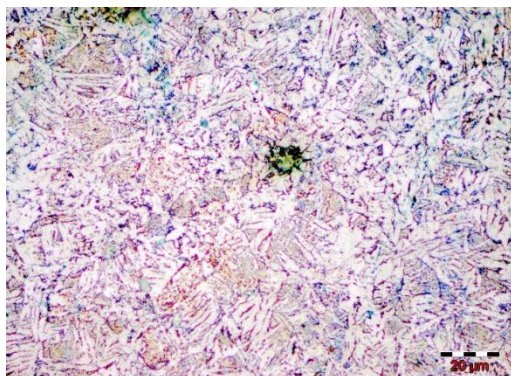


Fig. 5.4. Microstructura ZIT, primul rând, (mărire 1000x, atac Nital 2 %): ferită aciculară alotriomorfă și perlită [11, 14]

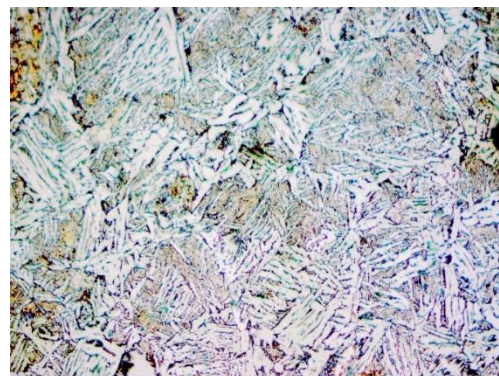


Fig. 5.6. Microstructura ZIT, ultimul rând, (mărire 1000x, atac Nital 2 %): ferită aciculară și perlită, granulație mare [11, 14]

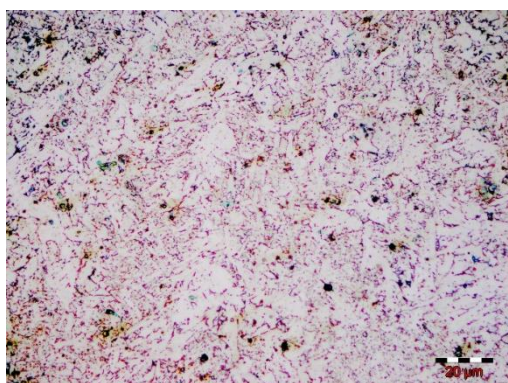


Fig. 5.5. Microstructura MD, primul rând, (mărire 1000x, atac Nital 2 %): ferită aciculară fină și perlită [11, 14]

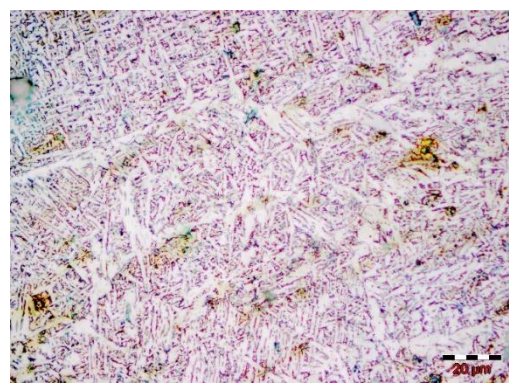


Fig. 5.7. Microstructura MD, ultimul rând, (mărire 100 x, atac Nital 2 %): ferită Widmanstätten grosolană [11, 14]

CONCLUZII

În urma realizării îmbinării sudate cap la cap electric manual cu electrozi înveliți în poziția dificilă PC și a încercărilor mecanice de laborator, se pot contura următoarele concluzii:

➤ Comportarea la sudare a electrodului învelit marca Nibaz 55 cu diametrul de 3,2 mm a fost specifică electrozilor cu înveliș bazic, arcul fiind stabil. Aspectele cordoanelor depuse au fost bune, cu o stropire redusă. Zgura a acoperit bine rândurile de sudură, iar după solidificare s-a desprins ușor, cu excepția primelor rânduri de rădăcină;

➤ În urma controlului vizual și gamma, proba sudată a fost de calitate bună (fără defecte);

➤ Epruveta de tracțiune îmbinare sudată s-a rupt în materialul de bază ($R_m = 576,96$ MPa), la o valoare superioară față de rezistența de rupere a materialului de bază achiziționat ($R_m = 528$ MPa);

➤ În urma efectuării încercării de rupere, rezistența de rupere în metalul depus ($R_m = 717,23$ MPa) a fost superioară rezistenței de rupere a materialului de bază achiziționat ($R_m = 528$ MPa). Examinarea suprafeței rupturii după încercarea de rupere a epruvetei plate cu creștătură în dreptul cusăturii, nu a pus în evidență prezența unor defecte precum sufluri, fisuri, lipsă de topire, lipsă de pătrundere și incluziuni solide;

➤ Rezultatele încercărilor de îndoire transversală frontală cu rădăcina comprimată sau întinsă și laterală, au fost bune (fără defecte);

➤ Valorile cele mai mari ale încovoierilor prin șoc pe epruvete Charpy cu creștătură în V la $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, s-au obținut în zona de influență termomecanică (ZIT). Valoarea medie a încovoierilor prin șoc în ZIT în poziția PF este superioară cu 51,56 % față de valoarea medie a încovoierilor prin șoc în MD. Valoarea medie a încovoierilor prin șoc în ZIT în poziția PC este superioară cu 48,38 % față de valoarea medie a încovoierilor prin șoc în MD;

➤ Valorile maxime ale microdurităților Vickers HV1 s-au obținut pe direcțiile I - I, medii pe direcția III - III și minime pe direcția II - II. Valorile cele mai mari s-au obținut în zona influențată termomecanic, în subzona de supraîncălzire, pe direcția I - I, în dreptul ultimului rând depus;

➤ Analiza macroscopică nu a pus în evidență prezența defectelor interioare de tipul porilor, incluziunilor de zgură sau a fisurilor;

➤ Microscopic, s-au obținut ferită aciculară și perlită, grăunții fiind alungiți și orientați pe direcția fluxului termic - structuri fine în cazul primului rând depus.

ANEXA - POZIȚII DE SUDARE TABLE

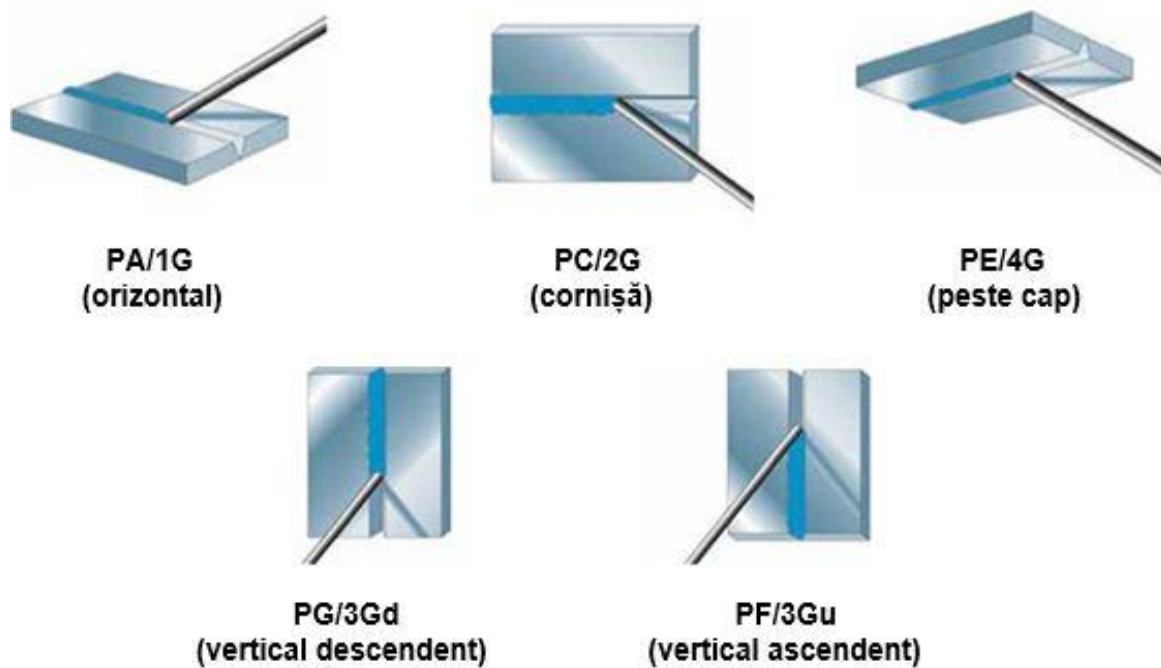


Fig. A1. Îmbinări sudate cap la cap table

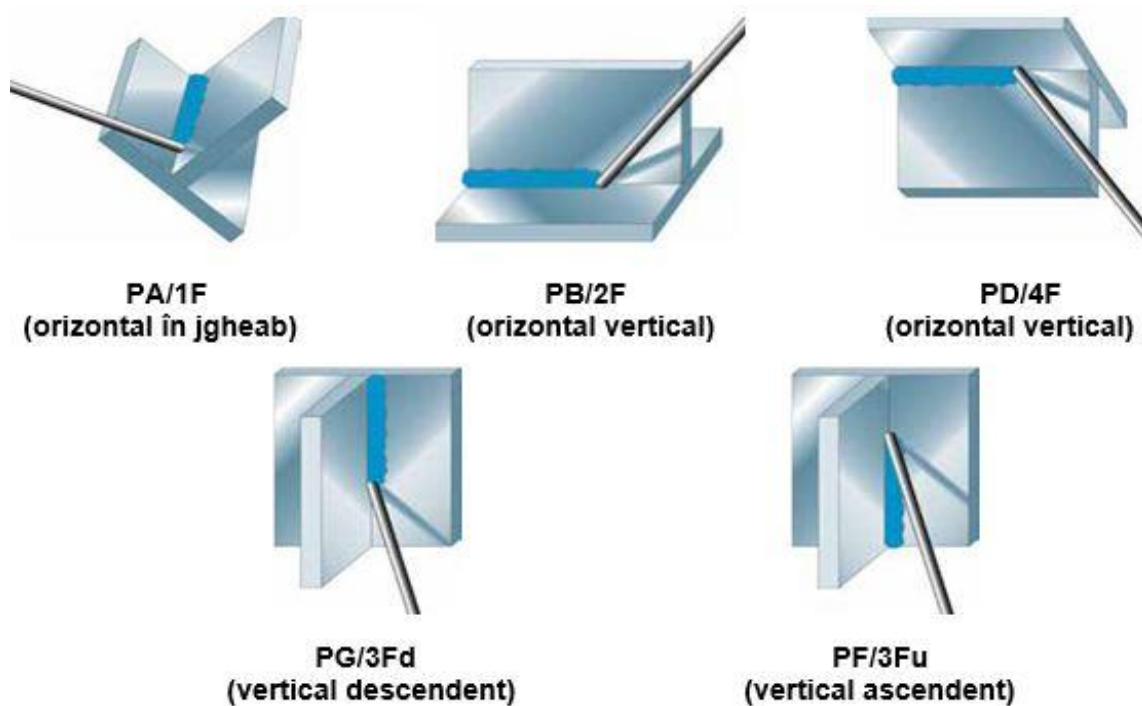


Fig. A2. Îmbinări sudate de colț table

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Constantin, E.**, *Tehnologia sudării prin topire, Partea II - Tehnologia procedeelor de sudare*, Universitatea din Galați, 1994.
- [2] **Dehelean, D.**, *Sudarea prin topire*, Editura Sudura, Timișoara, 1997.
- [3] **Iordăchescu, D., Constantin, E., Georgescu, V.**, *Sudarea antigravitațională*, Editura Tehnică, București, 1994.
- [4] **Iordăchescu, D.**, *Contribuții la sudarea antigravitațională*, Teză de doctorat, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 1995.
- [5] **Gherghe L., Nanu M., Calmuc M.D., Silion V.G., Popa C.**, *Manualul sudorului naval*, Șantierul Naval Damen Galați, 2016.
- [6] **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).
- [7] **Machedon-Pisu, T., Machedon-Pisu, E.**, *Tehnologia sudării prin topire - Procedee de sudare*, Editura Lux Libris, Brașov, 2009.
- [8] **Mihăilescu D., Mihăilescu A., Lupu G.**, *Tehnologia sudării prin topire - Îndrumar de proiectare*, Editura Fundației Universitare "Dunărea de Jos" Galați, 2004.
- [9] **Șerban, D., Găvan, E.**, *Tehnologii de asamblare și sudare a corpului navei*, Editura Evrika, Brăila, 2001.
- [10] **Sârbu, I.**, *Tehnica sudării prin topire*, Editura Tehnica - Info, Chișinău, 2000.
- [11] **Stanciu, L.**, *Contribuții la sudarea antigravitațională în domeniul siderurgic*, Teză de Doctorat, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 2009.
- [12] **Stanciu, L.**, *Stadiul actual al sudării antigravitaționale*, Referat I doctorat, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 2008.
- [13] **Stanciu, L.**, *Echipamente destinate sudării mecanizate antigravitaționale*, Referat II doctorat, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 2008.
- [14] **Stanciu, L.**, *Rezultate experimentale privind sudarea mecanizată antigravitațională*, Referat III doctorat, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 2009.
- [15] **Vișan, D.**, *Tehnologii de sudare, Curs și îndrumări de laborator*, Editura Fundației Universitare "Dunărea de Jos" din Galați, 2008.
- [16] **Zgură, G., Iacobescu, G., Roșescu, C., Cicic, D.**, *Tehnologia sudării prin topire*, Editura Politehnica Press, București, 2007.
- [17] *** *Catalog consumabile sudare SAF - FRO*, SC Ductil SA Buzău.
- [18] *** *Certificat de calitate nr. 20201399* din 12.11.2007, Eliberat de SC ArcelorMittal SA Galați (tablă S355N, 15 x 2.000 x 12.000 mm).
- [19] *** *Certificat de calitate nr. 2051500460003191* din 22.10.2007, Eliberat de Air Liquide Welding - France (electrozi înveliți Nibaz 55, Φ 3,2 x 450 mm).
- [20] *** *Proces tehnologic de sudare electrică manuală cu electrozi înveliți a mantalei preîncălzitoarelor*, ICMRS SA Galați.
- [21] *** *Prescripția Tehnică PT CR 7/1: 2013*, Cerințe tehnice privind omologarea procedurilor de sudare folosite pentru executarea lucrărilor la instalațiile mecanice sub presiune și la instalațiile de ridicat, Partea 1: Oțel, Colecția inspecției de stat pentru controlul cazanelor, recipientelor sub presiune și instalațiilor de ridicat.

- [22] *** *Prospect sursă de sudare Aristo Lud 320*, ESAB AB, Suedia.
- [23] *** *Prospect tractor de sudare Railtrac FW 1000*, ESAB AB, Suedia.
- [24] *** *SR EN ISO 13920-1998*: Sudare. Toleranțe generale pentru construcții sudate. Dimensiuni pentru lungimi și unghiuri.
- [25] *** *SR EN 25817-1993*: Îmbinări sudate cu arc electric din oțel. Ghid pentru nivelurile de acceptare a defectelor.
- [26] *** *SR EN 288-3+A1 - 1999*: Specificația și calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice. Partea 3: Verificarea procedurii de sudare cu arc electric a oțelurilor.
- [27] *** *ER EN 10113/1-2004*: Produse laminate la cald din oțeluri de construcții sudabile, cu granulație fină, Partea 1: Compoziția chimică și caracteristicile mecanice.
- [28] *** *SR EN ISO 17637-2011*: Examinări nedistructive ale sudurilor. Examinarea vizuală a îmbinărilor sudate prin topire.
- [29] *** *SR EN ISO 17636/1-2013*: Examinări nedistructive ale sudurilor. Examinarea radiografică. Partea 1: Tehnici care utilizează radiații X sau gama cu film.
- [30] *** *SR EN ISO 4136-2013*: Încercări distructive ale sudurilor din materiale metalice. Încercarea la tracțiune transversală.
- [31] *** *SR EN ISO 5173-2010*: Încercări distructive ale sudurilor din materiale metalice. Încercări la îndoire.
- [32] *** *SR EN ISO 9016-2013*: Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice. Încercarea la încovoiere prin șoc. Poziția epruvetei, orientarea creștăturii și examinare.
- [33] *** *SR EN ISO 17639-2014*: Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice. Examinarea macroscopică și microscopică a îmbinărilor sudate.
- [34] *** *SR EN ISO 9015/2-2016*: Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice. Încercarea de duritate. Partea 2: Încercarea de microduritate a îmbinărilor sudate.
- [35] *** *SR EN 1043-2/1999*: Încercări distructive ale imbinarilor sudate din materiale metalice. Încercarea de duritate. Partea 2: Încercarea de microduritate a imbinarilor sudate.
- [36] *** *SR EN ISO 4063: 2011, Sudare și procedee conexe. Nomenclatorul procedeelor și numere de referință.*
- [37] *** *SR EN 1320-2000*: Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice. Încercarea de rupere.
- [38] *** *SR EN 12361+AC/1999*: Încercări distructive ale sudurilor din materiale metalice. Reactivi pentru examinarea macroscopică și microscopică.
- [39] ***
https://www.google.ro/search?q=aplicatii+sudare+electrica>manuala+cu+electrozi+in+veliti&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiIr7-u16jrAhXR2KQKHdAuATYQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1920&bih=937