

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

*Doctorand,  
Ing. OCTAVIAN FRÎNCU*

**TEZĂ DE DOCTORAT  
(REZUMAT)**

**CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND  
SUDAREA MECANIZATĂ MAG PE SUPT CERAMIC  
FOLOSIND SÂRME TUBULARE ECOLOGICE**

*Conducător științific,  
Prof. dr. ing. DĂNUȚ MIHĂILESCU*



**ROMÂNIA**  
**UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS”**  
**DIN GALAȚI**



MINISTERUL  
EDUCAȚIEI  
CERCETĂRII  
TINERETULUI  
ȘI SPORTULUI

Către

Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați vă face cunoscut că în data de 20.09.2012, ora 11.00, în sala B14 a Facultății de Mecanică, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată: "CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA MECANIZATĂ MAG PE SUPORT CERAMIC FOLOSIND SĂRME TUBULARE ECOLOGICE", elaborată de domnul/doamna FRÎNCU OCTAVIAN, în vederea conferirii titlului științific de doctor în Domeniul de doctorat - Inginerie industrială.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

- 1. Președinte:** Prof.univ.dr.ing. Elena MEREUȚĂ  
*Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați*
- 2. Conducător de doctorat:** Prof.univ.dr.ing. Dănuț MIHĂILESCU  
*Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați*
- 3. Referent oficial:** Cercet.st.pr.gr.I dr.ing. Doru-Romulus PASCU  
*Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale-ISIM Timișoara, Membru Corespondent al Academiei de Științe Tehnice din România*
- 4. Referent oficial:** Prof.univ.dr.ing. Iacob-Nicolae TRIE  
*Universitatea TRANSILVANIA Brașov*
- 5. Referent oficial:** Prof.univ.dr.ing. Elena SCUTELNICU  
*Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați*

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

**RECTOR,**

*Prof.univ.dr.ing. Iulian Gabriel BÎRSAN*



## CUPRINS

	Pag.	
	Tez.	Rez.
<b>INTRODUCERE</b> .....	5	5
<b>CAP. 1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND SUDAREA MECANIZATĂ MAG PE SUPORT CERAMIC</b> .....	7	7
1.1. Principiul procedeeului, avantaje, dezavantaje și domenii de utilizare.....	7	7
1.2. Sârme tubulare pentru sudare.....	8	-
1.3. Gaze și amestecuri de gaze de protecție active.....	10	-
1.4. Tipuri de moduri de transfer .....	16	-
1.5. Susținerea băii de metal topit pe suporturi ceramice.....	16	8
1.6. Cercetări privind sudarea MAG pe suport ceramic.....	23	8
<b>CAP. 2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND NOXELE DIN PROCESUL DE SUDARE MAG CU SÂRME TUBULARE</b> .....	25	9
2.1. Potențialul de risc la sudare.....	25	9
2.2. Principalele gaze rezultate în urma operațiilor de sudare prin topire.....	26	9
2.3. Fumuri rezultate în urma operațiilor de sudare prin topire.....	27	11
2.3.1. Formarea fumului în operațiile de sudare.....	27	11
2.3.2. Producerea fumului la anumite procese de sudare.....	27	11
2.3.3. Rata de formare și compoziția fumului.....	28	11
2.3.4. Mărirea microparticulelor fumului.....	28	11
2.3.5. Conținutul metalic ai fumului rezultat la sudare.....	28	11
2.4. Efectele energilor radiante .....	31	-
2.5. Elaborarea de sârme tubulare cu emisii reduse de fum.....	32	12
2.6. Cercetări privind determinarea substanțelor poluante care apar la sudarea MAG.....	36	14
2.7. Măsuri pentru protejarea sudorului.....	60	32
<b>CAP. 3. CONCLUZII ȘI DIRECȚII DE CERCETARE</b> .....	67	32
3.1. Concluzii.....	67	-
3.1.1. Concluzii desprinse din stadiul actual al cercetărilor privind sudarea mecanizată MAG pe suport ceramic.....	67	-
3.1.2. Concluzii desprinse din stadiul actual al cercetărilor privind noxele din procesul de sudare MAG cu sârme tubulare.....	69	-
3.2. Direcții de cercetare.....	72	32
<b>CAP. 4. MATERIALE ȘI ECHIPAMENTE PENTRU SUDARE</b> .....	73	24
4.1. Materialul de bază.....	73	24
4.2. Materiale de adaos.....	74	24
4.3. Materiale auxiliare.....	74	24
4.3.1. Gaze și amestecuri de gaze de protecție.....	74	24
4.3.2. Suportți ceramici.....	76	25
4.4. Stand pentru cercetările experimentale preliminare privind sudarea mecanizată MAG.....	76	25
4.5. Stand pentru cercetările experimentale privind sudarea mecanizată MAG.....	77	25
4.6. Stand pentru cercetările experimentale privind determinarea noxelor la sudarea mecanizată MAG.....	77	25
4.7. Sursa de sudare universală.....	79	-
4.8. Tractorul de sudare.....	79	-
<b>CAP. 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRELIMINARE PRIVIND SUDAREA MECANIZATĂ MAG</b> .....	82	26

5.1. Prelevarea tabelor pentru programele experimentale.....	82	-
5.2. Determinarea caracteristicilor de topire și de depunere ale sârmelor tubulare standard și ecologice.....	82	-
5.3. Cercetări experimentale privind influențele parametrilor de proces la sudarea mecanizată MAG.....	86	26
5.3.1. Depunerea cordoanelor de sudură.....	86	26
5.3.2. Influențele parametrilor de proces asupra geometriilor cordoanelor depuse.....	91	31
5.3.3. Influențele parametrilor de proces asupra dimensiunilor ZIT.....	92	31
5.4. Concluzii.....	98	-
<b>CAP. 6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA MECANIZATĂ MAG CU SĂRME TUBULARE STANDARD ȘI ECOLOGICE PE SUPT CERAMIC.....</b>	100	31
6.1. Cercetări privind stabilirea parametrilor tehnologici de sudare și de pendulare ale straturilor de sudură în rostul dintre componente.....	100	-
6.2. Simbolizarea numărului de probe sudate cap la cap.....	101	31
6.3. Pregătirea componentelor în vederea sudării.....	102	32
6.4. Condiții de sudare.....	102	32
6.5. Determinarea dimensiunilor îmbinărilor sudare.....	106	34
6.6. Controlul probelor sudate.....	106	35
6.6.1. Controlul vizual.....	106	-
6.6.2. Controlul cu radiații penetrante.....	107	-
6.7. Dimensiunile probelor sudate cap la cap și modul de prelevare a epruvetelor.....	108	35
6.8. Tipuri de încercări mecanice de laborator.....	109	36
6.8.1. Încercarea la tracțiune transversală.....	109	-
6.8.2. Încercarea de rupere.....	110	-
6.8.3. Încercarea la îndoire.....	111	-
6.8.4. Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy.....	111	-
6.8.5. Examinarea macroscopică și microscopică.....	112	-
6.8.6. Încercarea de duritate Vickers HV10.....	113	-
6.9. Rezultatele încercărilor mecanice de laborator.....	113	36
6.10. Concluzii privind sudarea mecanizată MAG pe suport ceramic.....	126	-
<b>CAP. 7. DETERMINAREA NOXELOR ȘI MODELAREA MATEMATICĂ A CONCENTRAȚIILOR DE CO ȘI DE MICROPARTICULE LA SUDAREA MECANIZATĂ MAG.....</b>	128	40
7.1. Materiale și echipamente pentru sudare.....	128	-
7.2. Programele experimentale.....	128	40
7.2.1. Determinarea emisiilor de gaze.....	128	40
7.2.2. Determinarea concentrațiilor de microparticule.....	134	42
7.3. Concluzii privind determinarea noxelor la sudarea mecanizată MAG.....	142	-
7.4. Modelarea matematică a concentrațiilor de CO și de microparticule la sudarea mecanizată MAG în funcție de viteza de avans a sărmei electrod.....	143	43
7.4.1. Considerații teoretice privind optimizarea prin diferențiere.....	143	43
7.4.2. Variația liniară.....	144	-
7.4.3. Variația parabolică.....	146	-
7.4.4. Modelarea matematică a concentrațiilor de CO la sudarea mecanizată MAG în funcție de viteza de		

avans a sârmei electrod.....	149	44
7.4.5. Modelarea matematică a concentrațiilor de microparticule la sudarea mecanizată MAG în funcție de viteza de avans a sârmei electrod.....	154	46
7.5. Concluzii privind modelarea matematică a concentrațiilor de CO și de microparticule la sudarea mecanizată MAG în funcție de viteza de avans a sârmei electrod.....	160	-
<b>CAP. 8. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE.....</b>	161	49
8.1. Concluzii finale.....	161	49
8.2. Contribuții originale .....	164	52
8.2.1. Contribuții pe plan teoretic.....	164	53
8.2.2. Contribuții pe plan experimental.....	165	53
8.2.3. Valorificarea rezultatelor cercetării.....	165	53
8.3. Direcții viitoare de cercetare.....	166	54
ANEXE A1 - A10.....	167	-
ANEXE B1 - B8.....	176	-
ANEXA C.....	184	-
SEMNIFICAȚIA NOTAȚIILOR.....	194	-
BIBLIOGRAFIE.....	197	54

## INTRODUCERE

De foarte multe ori, în producție, la sudarea unor oțeluri și nu numai, 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 au ca principal scop să nu permită metalului lichid să se scurgă din rost.

Prezenta teză de doctorat abordează aspectele teoretice și experimentale privind *sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice, pe suport ceramic plat*, a îmbinărilor cap la cap de poziție din domeniul naval în spațiu închis, precum și noxele (emisiile de gaze și concentrațiile de microparticule) din procesul de sudare MAG cu sârme tubulare.

\* \* \*

Teza de doctorat reprezintă rodul activității teoretice și practice de trei ani a autorului, cuprinzând un număr de 207 pagini, fiind structurată pe 8 capitole și 3 anexe. Această lucrare conține un număr de 52 relații matematice, 196 figuri și 47 tabele.

În realizarea tezei de doctorat au fost studiate 199 referiri bibliografice, din care 9 lucrări științifice sunt elaborate de autor în domeniul tezei de doctorat (1 ca prim autor).

Pornind de la o bogată bibliografie realizată pe plan național și internațional, în capitolul introductiv 1, *Stadiul actual al cercetărilor privind sudarea mecanizată MAG pe suport ceramic*, am tratat principiul procedeului, avantajele, dezavantajele și domeniile de utilizare, sârmele tubulare pentru sudare, gazele și amestecurile de gaze de protecție active, tipurile de moduri de transfer, susținerea băii de metal topit pe suporturi ceramice și cercetările privind sudarea MAG pe suport ceramic.

În capitolul 2, *Stadiul actual al cercetărilor privind noxele din procesul de sudare MAG cu sârme tubulare*, am abordat ca principale probleme după un studiu bibliografic potențialul de risc la sudare, principalele gaze rezultate în urma operațiilor de sudare prin topire, fumul rezultat în urma operațiilor de sudare prin topire, efectele energiilor radiante rezultate în urma

operațiilor de sudare prin topire asupra sudurilor, elaborarea de sârme tubulare cu emisii reduse de fum, cercetări privind determinarea substanțelor poluante care apar la sudarea MAG și măsuri pentru protejarea sudorului.

Pe baza stadiului actual dezvoltat în primele două capitole, se prezintă în următorul capitol 3 *Concluzii și direcții de cercetare*, concluziile privind sudarea mecanizată MAG pe suport ceramic, concluziile privind noxele din procesul de sudare MAG cu sârme tubulare, concluziile finale privind stadiul actual și direcțiile de cercetare.

Capitolul 4, *Materiale și echipamente pentru sudare*, prezintă informațiile detaliate referitoare la materialul de bază, materialele de adaos și auxiliare, standul pentru cercetările experimentale preliminare privind sudarea mecanizată MAG, standul pentru cercetările experimentale privind sudarea mecanizată MAG, standul pentru cercetările experimentale privind determinarea noxelor la sudarea mecanizată MAG, sursa de sudare universală Aristo Lud 320 și tractorul de sudare Railtrac FW 1000.

În capitolul 5, *Cercetări experimentale preliminare privind sudarea mecanizată MAG* am abordat trei probleme, prelevarea tabelelor pentru programele experimentale, determinarea caracteristicilor de topire și de depunere ale sârmelor tubulare standard și cu emisii reduse de fum și cercetările experimentale privind influențele parametrilor de proces la sudarea mecanizată MAG.

Capitolul 6, *Cercetări experimentale privind sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare standard și ecologice pe suport ceramic*, tratează cercetările privind stabilirea parametrilor tehnologici de sudare și de pendulare ale straturilor de sudură în rostul dintre componente, simbolizarea numărului de probe sudate cap la cap, pregătirea componentelor în vederea sudării, condițiile de sudare, determinarea dimensiunilor îmbinărilor sudare, controlul probelor sudate, dimensiunile probelor sudate cap la cap și modul de prelevare a epruvetelor, tipurile de încercări mecanice de laborator, rezultatele încercărilor mecanice de laborator și concluziile privind sudarea mecanizată MAG pe suport ceramic.

În capitolul 7, *Determinarea noxelor și modelarea matematică a concentrațiilor de CO și de microparticule la sudarea mecanizată MAG*, sunt descrise materialele și echipamentele pentru sudare, programele experimentale (determinările emisiilor de gaze și a concentrațiilor de microparticule) și modelarea matematică a concentrațiilor de CO și de microparticule în funcție de viteza de avans a sârmei electrod.

Lucrarea se încheie cu ultimul capitol 8, *Concluzii finale, contribuții originale și direcții viitoare de cercetare*.

\* \* \*

Îmi exprim speranța că lucrarea de față va suscita interes în cercurile de specialiști, iar contribuțiile tezei își vor dovedi utilitatea în domeniul reducerii noxelor în procesele de sudare prin topire în spații închise.

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

Doresc să mulțumesc membrilor comisiei de doctorat, *D-lui Cercetător Științific Principal Gr. I dr. ing. Doru Romulus Pascu, Membru Corespondent al Academiei de Științe Tehnice din România*, de la Institutului Național de Cercetare Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale - ISIM Timișoara, *D-lui Prof. dr. ing. Iacob Nicolae Trif* de la Universitatea "Transilvania" din Brașov și *D-nei Prof. dr. ing. Elena Scutelnicu* de la Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați pentru observațiile deosebit de utile formulate pe parcursul elaborării și finalizării tezei de doctorat.

Mulțumesc, pe această cale, cadrelor didactice și personalului tehnic din cadrul Departamentului Construcții de Mașini, Robotică și Sudare a Universității "Dunărea de Jos" din Galați, personalului S.C. RAC S.R.L. Năvodari, specialiștilor din cadrul societăților comerciale și celorlalți colaboratori pentru sprijinul acordat la realizarea bazei materiale de cercetare și a vastului program experimental.

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

Galați, septembrie 2012

Autorul

\* Notațiile din rezumat corespund celor din teza de doctorat în extenso.

## CAPITOLUL 1

### STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND SUDAREA MECANIZATĂ MAG PE SUPORT CERAMIC

#### 1.1. Principiul procedurii, avantaje, dezavantaje și domenii de utilizare

Procedul de sudare MAG poate înlocui toate procedeele de sudare, datorită următoarelor *avantaje* [11], [20], [27], [30], [60], [126]:

- productivitatea mare asigurată de puterea ridicată de topire a arcului, pătrunderea mare la sudare, posibilitatea sudării cu viteze de sudare mari și eliminarea unor operații auxiliare;

- conducerea și supravegherea ușoară și cu exactitate a procesului de sudare, arcul electric fiind vizibil;

- sudura rămâne curată, fără zgură, datorită lipsei învelișului sau a fluxului;

- flexibilitate mare în direcția mecanizării, automatizării sau robotizării (antrenarea mecanizată a sârmei electrod, protecția cu gaz, ușurința reglării și controlului parametrilor tehnologici de sudare și gabarit redus al pistolului de sudare);

- posibilitatea sudării în orice poziție;

- grad înalt de utilizare a materialului de adaos (90 - 95 %);

- cantitate redusă de fum;

- tensiuni și deformații mici la sudare (energie liniară mică).

*Dezavantajele* procedurii sunt următoarele [11], [20], [27], [30], [60], [126]:

- ❖ echipamente de sudare scumpe și complicate;

- ❖ pierderi de material de adaos prin stropi (5 - 10 %);

- ❖ sensibilitate la curenți de aer;

- ❖ limitat la grosimi de componente peste 1 mm;

- ❖ probabilitate mare de apariție a defectelor (pori și lipsă de topire).

*Domeniile valorilor uzuale ale parametrilor de sudare MAG* sunt următoarele [11], [20], [27], [30], [60], [126]:

- o diametrul sârmei electrod: 0,6 - 2,4 mm;

- o curentul de sudare: 60 - 500 A;

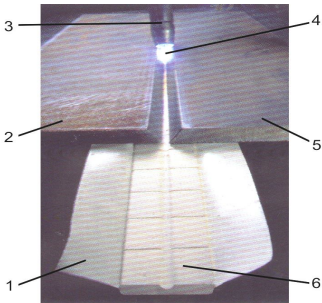
- o tensiunea arcului: 15 - 35 V;

- o viteza de sudare: 15 - 150 cm/min;

- o debitul de gaz protector: 8 - 20 l/min.

Sudarea prin procedul MAG are un grad mare de universalitate, aplicându-se în toate cazurile atât ca poziție de sudare, cât și ca forme și dimensiuni de sudură. Acest procedeu de sudare este cel mai răspândit în industrie, pretându-se la sudarea pieselor cu grosimea peste 1 mm din oțeluri nealiate și slab aliate [11], [20], [27], [30], [60], [126].

## 1.5. Susținerea băii de metal topit pe suporturi ceramice



**Fig. 1.3.** Elementele componente ale unui suport ceramic: 1- folie de aluminiu cu adeziv; 2, 5- componente de sudat; 3- pistol de sudare MIG-MAG; 4- arc electric; 6- suport ceramic [197].

Un exemplu de suport ceramic este prezentat în figura 1.3. Pentru a răspunde condițiilor de la sudare, suportii ceramici trebuie să corespundă anumitor cerințe cum sunt:

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 arcul 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 mediu învecinat sudurii în timpul executării acesteia.

3. *Accesibilitatea tehnologică și economică*, respectiv posibilitatea fabricării, acestor suportii ceramici refractari prin procedee industriale și la un preț de cost cât mai scăzut.

Utilizarea suportilor ceramici are următoarele *avantaje* economice:

- asigurarea calității stratului de rădăcină eliminând operațiile de craițuire, polizare, completare la rădăcină (resudare);
- posibilitatea sudării unilateral cu pătrundere, emiminand 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 ca pentru grosimile mari, chiar și pentru primul strat, să se folosească curenți mari de sudare, obținându-se o foarte bună pătrundere cu minimizarea până la eliminare a riscului de lipsă de topire;
- scăderea costurilor și timpilor necesari cu pregătirea componentelor datorită faptului că nu se mai impune o pregătire a suprafeței ci numai în zona în care se va fixa suportul;
- prezintă o temperatură de topire foarte ridicată, evitându-se astfel riscul topirii și amestecării cu baia de metal lichid.

## 1.6. Cercetări privind sudarea MAG pe suport ceramic

În Șantierului Naval Damen S.A. Galați, colectivul Laboratorului de Sudură în colaborare cu secțiile de corp I și IA, au trecut la extinderea sudării semimecanizate și mecanizate MAG - M în amestec de gaze protectoare ușor oxidant Corgon 18 (82%Ar + 18%CO<sub>2</sub>). În acest sens, s-au folosit atât sârme pline (IS 10 - ISAF Italia) cât și sârme tubulare (OK E71T-1 - ESAB Suedia) cu diametrele de 1,2 mm. Susținerea la rădăcină s-a realizat cu suport ceramic rotund Elga AB tip P8567, sau plat Elga AB tip P8497 și tip CBM 8061 - Suedia.

La Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați s-au realizat în cadrul Centrului de Cercetări Avansate în Domeniul Sudurii - SUDAV din Departamentul de Construcții de Mașini, Robotică și Sudare, cercetări care au vizat înlocuirea sudurii electrice manuale cu electrozi înveliți cu sudarea mecanizată MAG pe suport ceramic în domeniul siderurgic.



## CAPITOLUL 2

### STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND NOXELE DIN PROCESUL DE SUDARE MAG CU SÂRME TUBULARE

#### 2.1. Potențialul de risc la sudare

Riscurile la care sunt supuși sudorii în mediul de lucru, sunt prezentate în tabelul 2.1.

**Tabelul 2.1.** Surse de risc pentru sudori [98]

Fum (microparticule)	Gaze	Energii radiante	Alte riscuri
Aluminiu	Dioxid de carbon	Ultraviolete	Căldură
Cadmiu	Monoxid de carbon	Vizibile	Zgomot
Crom	Oxid de azot	Infraroșii	Vibrații
Cupru	Bioxid de azot	Ionizate	Electrocutare
Fluor	Ozon troposferic		Arsuri
Mangan	Bioxid de sulf		
Molibden	Oxid de sulf		
Magneziu	Oxizi de alte metale		
Nichel			
Siliciu			
Titan			
Zinc			

#### 2.2. Principalele gaze rezultate în urma operațiilor de sudare prin topire

Conform literaturii de specialitate, procesul de sudare cu arc electric generează o multitudine de gaze toxice, dintre acestea făcând parte și ozonul troposferic, oxizii de azot, monoxidul de carbon și dioxidul de carbon. De asemenea, datorită substanțelor chimice de degresare (clorurile și hidrocarburile) folosite pentru a asigura curățarea suprafețelor materialelor de bază înainte de sudare, prin ardere dau naștere unor gaze, care pot pune în pericol sănătatea operatorilor sudori

Potențialele surse ale gazelor rezultate în urma operației de sudare prin topire, sunt gazele protectoare, materialele de adaos, reacțiile ce se desfășoară în arcul electric cu constituenții atmosferici, reacția dintre lumina ultravioletă și gazele atmosferice, precum și descompunerea agenților de degresare și a învelișurilor organice de pe materialele de bază.

##### 1. Ozonul troposferic

Ozonul este un alotrop al oxigenului care se produce în timpul procesului de sudare din oxigenul atmosferic într-o reacție fotochimică cu radiația ultravioletă a arcului electric. Reacția are loc în două faze până la radiația undelor mai mică de 210 nm. Sub efectul radiației ultraviolete a arcului electric, oxigenul atmosferic în combinație cu CO, participă la formarea unui exces de ozon O<sub>3</sub>, în troposferă, după reacțiile [98]:



în care: h este constanta lui Planch ( $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J/s}$ );

v - frecvența radiației ultraviolete.

Rata de formare a ozonului depinde de undele și de intensitatea luminii ultraviolete generate în arcul electric, de materialul de bază, de tipul materialului de adaos, de gazul de protecție, de procedeul de sudare, de parametrii regimului de sudare (tensiunea arcului electric, de intensitatea curentului de sudare și de lungimea arcului). Efectul produs de ozonul troposferic asupra sudorilor este unul sever iritant respirator.

### 2. Oxizii de azot

Oxizii de azot se formează în timpul procesului de sudare prin oxidarea azotului atmosferic, la temperaturi înalte produse de arcul electric sau de flacăra oxigaz. Prima reacție care are loc în formarea oxidului de azot dintre azotul existent în materialul de adaos și oxigenul atmosferic este de forma [98]:



Rata de formare a oxidului de azot este nesemnificativă sub temperatura de 1.200 °C, dar se mărește odată cu creșterea temperaturii.

După diluarea cu aerul, oxidul de azot poate reacționa mai departe cu oxigenul pentru a forma dioxidul de azot, după relația [98]:



Sub efectul radiației arcului electric, dioxidul de azot (NO<sub>2</sub>), în prezența compușilor organici și a oxidului de carbon, participă la formarea unui exces de ozon în atmosferă, după reacțiile [98]:



Inhalarea oxizilor de azot are ca efect iritația ochilor, a mucoasei nazale și a plămânilor. Expunerea la concentrații foarte mari poate cauza iritații pulmonare severe și edem. Expunerea cronică poate afecta mecanismul funcționării plămânilor. Este cunoscut faptul că nivelul dioxidului de azot în zona de sudare poate fi de maxim 7 ppm în timpul sudării cu sârmă tubulară. În interiorul măștii de protecție, nivelurile măsurate au fost de 2 ppm, demonstrând astfel faptul că masca asigură sudorului un anumit grad de protecție față de efectele acestui gaz rezultat la sudare. Valorile prevăzute de Organizația Mondială a Sănătății pentru concentrația maximă de NO<sub>2</sub> în aer sunt: 400 μg/m<sup>3</sup>, pentru o durată de expunere de o oră și 150 μg/m<sup>3</sup>, pentru o durată de expunere de 8 ore.

### 3. Dioxidul de carbon și monoxidul de carbon

Dioxidul de carbon CO<sub>2</sub> și monoxidul de carbon CO se formează prin descompunerea compușilor organici și a carburilor anorganice din materialele de adaos. Monoxidul de carbon este deseori întâlnit la sudarea oțelului, în cazul utilizării electrozilor cu înveliș pe bază de carbonat de calciu CaCO<sub>3</sub>, sau la procedeele de sudare în medii protectoare de gaze precum dioxidul de carbon sau un amestec de argon și dioxid de carbon. La temperaturile înalte din arcul electric și la suprafața metalului topit, dioxidul de carbon este redus la mult mai stabilul monoxid de carbon. Inhalarea monoxidului de carbon are ca efect formarea carboxihemoglobinei în sânge, fapt care afectează capacitatea acestuia de a transporta oxigenul la diferite țesuturi ale organismului.

În cazul în care nivelul carboxihemoglobinei ajunge la 50%, aceasta poate avea ca efect apariția stării de inconștiență. Deși măsurătorile efectuate în zone care nu se aflau în proximitatea arcului de sudură au indicat niveluri scăzute ale monoxidului de carbon, măsurătorile efectuate în zona arcului de sudare au indicat niveluri ridicate, în cazul utilizării protecției cu dioxid de carbon.

De asemenea, cercetările au relevat faptul că valorile concentrațiilor de monoxid de carbon din apropierea arcului electric au fost de opt ori mai mari la sudarea în spații închise decât la cea în spații deschise [98].

## 2.3. Fumuri rezultate în urma operațiilor de sudare prin topire

### 2.3.2. Producerea fumului la anumite procese de sudare

Dintre procedeele de sudare prin topire, se poate remarca faptul că, sudarea automată sub strat de flux are cea mai mică rată de formare a fumului.

În cazul procedurii de sudare în mediu de gaz protector cu electrod fuzibil, pentru situația în care se folosește dioxid de carbon gaz de protecție, rezultă o rată mai mare de formare a fumului decât atunci când se folosește argon sau heliu pe post de gaz protector. Oxigenul sau dioxidul de carbon când sunt adăugați în gazul protector au un efect stabilizator asupra arcului electric, dar adăugarea lor conduce la o creștere a ratei de apariție a fumului. Totuși, mici cantități de dioxid de carbon împreună cu argonul sau heliul, conduc la o mai scăzută rată de formare a fumului. Cantitatea de fum rezultată în urma tăierii sau sudării cu plasmă este, în general, mai mare decât cea rezultată la sudarea în medii protectoare de gaze. Procedeele speciale de sudare generează cantități reduse de fum.

### 2.3.3. Rata de formare și compoziția fumului

Atât rata de formare a fumului cât și compoziția chimică a acestuia sunt influențate de parametrii regimului de sudare și de tipul aplicației. Cei mai importanți factori, a căror participare s-a demonstrat că influențează rata formării fumului și compoziția chimică a acestuia sunt [98]:

- căderea de tensiune din arcul electric de sudare care depinde de menținerea lungimii acestuia;
- polaritatea;
- curentul de sudare;
- unghiul dintre electrod și piesa de sudat;
- poziția și tipul sudării;
- temperatura arcului, care este direct legată de puterea arcului și invers proporțională cu viteza de sudare.

Rata de formare a fumului variază în funcție de lungimea arcului, care, la rândul său, poate fi influențată de experiența sudorului. În general, experimentele au demonstrat faptul că rata de formare a fumului crește direct proporțional cu valorile curentului de sudare, cu cele ale tensiunii și cu lungimea arcului. Rata de formare a fumului poate fi măsurată în g/min, g/kg material de adaos sau g/kg material deșeu la sudare.

### 2.3.4. Mărimea microparticulelor fumului

Mărimea microparticulelor de fum este mai mică decât 1  $\mu\text{m}$ , dar când se produc, au tendința de a crește în mărime datorită aglomerației, însemnând unirea a două sau mai multe microparticule. Particulele cu mărime între 1 - 7  $\mu\text{m}$  apar în timp. Particulele cu dimensiunile de 1 - 7  $\mu\text{m}$  constituie cel mai mare pericol la adresa sănătății datorită abilității lor de a penetra adânc în interiorul plămânilor. Particulele vizibile din fum sunt de obicei cele mai grele particule, care vor precipita rapid pe suprafețele adiacente și sunt cunoscute sub denumirea generală *căderea de praf*. Particulele din zona de respirație a sudorilor au de obicei mărimea de 2  $\mu\text{m}$  sau mai puțin, aceste particule mai fine și mai mici pot rămâne în aer pentru câteva ore dacă nu sunt îndepărtate prin ventilare [98].

### 2.3.5. Conținutul metalic al fumului rezultat la sudare

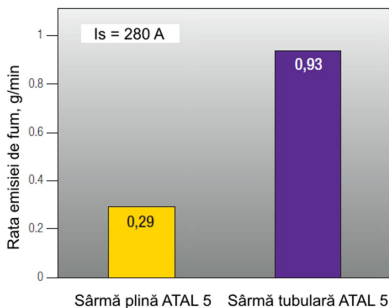
Fumul se referă la metalul solid suspendat în aer ce se formează când metalul vaporizat se condensează în particule foarte mici (dimensiuni mai mici de 2  $\mu\text{m}$ ). Metalul vaporizat se oxidează când intră în contact cu oxigenul din aer, astfel încât componentele majore ale fumului sunt oxizii de metale folosite la fabricarea materialelor de adaos ce se consumă la sudare. Unii conținutul metalic al fumului rezultat la sudare pot prezenta riscuri mai mari decât alții, acest lucru depinzând de toxicitatea lor inerentă.

Fumurile rezultate în urma operațiilor de sudare sunt cauzate sau pot conține o serie de elemente chimice după cum urmează [98]: microparticule de crom; microparticule de nichel; microparticule de fier; microparticule de mangan; microparticule de siliciu; microparticule de fluor; microparticule de zinc; microparticule de aluminiu; microparticule de cupru; microparticule de cadmiu; microparticule de plumb; microparticule de molibden;

microparticule de cobalt; microparticule de vanadiu; microparticule de silicați; microparticule de fluoruri și microparticule de alte metale.

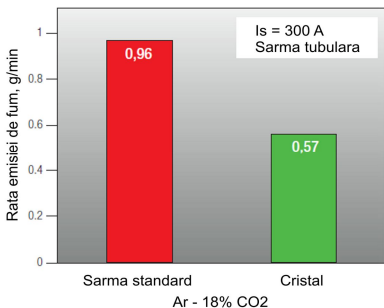
## 2.5. Elaborarea de sârme tubulare cu emisii reduse de fum

Utilizarea sârmelor tubulare tinde să se extindă, în detrimentul utilizării electrozilor cu înveliș. Cu toate acestea, deși sârmele tubulare nu generează un nivel semnificativ mai ridicat de fum în comparație cu electrozii cu înveliș, rezultatele se referă la cantitatea de metal depozitat, productivitatea lor crescută conducând la o rată de emisie pe unitate de timp care, câteodată, reprezintă o piedică pentru utilizarea lor. În plus, rata emisiei de fum pentru sârmele tubulare standard este considerabil mai mare decât cea a procesului de sudare MAG cu sârmă plină în condiții standard (Fig. 2.1).

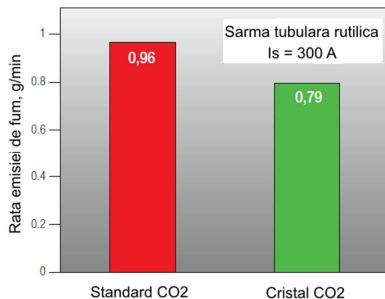


**Fig. 2.1.** Influența tipului de sârmă asupra ratei emisiei de fum [136].

Caracteristicile de exploatare ale sârmei tubulare sunt influențate atât de gazul de protecție utilizat, cât și de natura "ingredientelor" conținute de miez. În comparație cu sârma plină, avem așadar un câmp suplimentar de activitate, ceea ce a permis luarea în considerare a elaborării unor noi combinații de sârme de sudură și gaze de protecție, care ar putea îmbunătăți mediul de lucru al sudorului.



**Fig. 2.2.** Rata emisiei de fum pentru sârma tubulară cu pulberi metalice Cristal comparativ cu sârma tubulară cu pulberi metalice standard ( $\Phi = 1,2$  mm, amestec de gaze de protecție Ar + 18%CO<sub>2</sub>) [136].

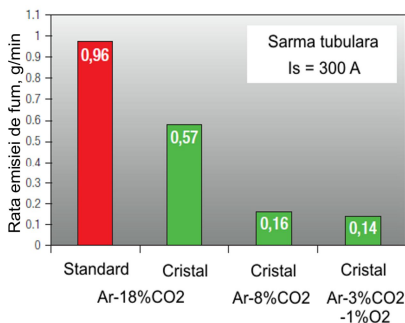


**Fig. 2.3.** Rata emisiei de fum pentru sârma tubulară rutilică Cristal comparativ cu sârma tubulară rutilică standard ( $\Phi = 1,2$  mm, gaz de protecție CO<sub>2</sub>) [136].

Emisiile de fum ale sârmelor tubulare din gama Cristal sunt prezentate în figurile 2.2 și 2.3, în comparație cu sârmele tubulare standard echivalente și arată reduceri semnificative (de la 20 și până la 40%) față de produsele convenționale utilizate cu aceleași tipuri de gaze de protecție.

Aceste măsurători au fost realizate utilizând sârme tubulare cu un diametru de 1,2 mm, la 300 A cu 20 mm distanță de contact.

Figura 2.4 ilustrează influența gazului de protecție asupra ratei de emisie a fumului la utilizarea sârmei tubulare cu pulbere metalică.



**Fig. 2.4.** Influența gazului de protecție asupra emisiei de fum pentru sârma tubulară cu pulberi metalice Cristal [136].

Gazul de protecție Arcal 21 (Ar + 8 %CO<sub>2</sub>), consacrat în industrie, face posibilă reducerea emisiilor de fum cu până la 70 % în comparație cu Atal 5. Gazul de protecție Arcal 14 (Ar + 3%CO<sub>2</sub> + 1%O<sub>2</sub>) face posibilă obținerea unor emisii de fum chiar mai reduse, o reducere cu 85% a emisiei de fum în comparație cu sârma tubulară standard utilizată în combinație cu gazul de protecție Atal 5 A. Una dintre direcțiile de cercetare și dezvoltare ale Grupului Air Liquide Welding o reprezintă realizarea unor noi game de consumabile pentru sudare (electrozi înveliți și sârme tubulare) care să asigure protecția mediului de lucru unde își desfășoară activitatea operatorul sudor.

Ca urmare, a apărut necesitatea dezvoltării unei noi game de sârme tubulare cu emisii scăzute de fum (ecologice), gama Cristal. Conform normelor în vigoare referitoare la clasificarea fumului, respectiv rata emisiilor de fum și valoarea limită a fumului de sudare, în tabelele 2.2 și 2.3 se evidențiază clasificarea consumabilelor pentru sudare (EN ISO 15011 - 4/2003).

**Tabelul 2.2.** Clasificarea consumabilelor pentru sudare în funcție de rata emisiilor de fum [136]

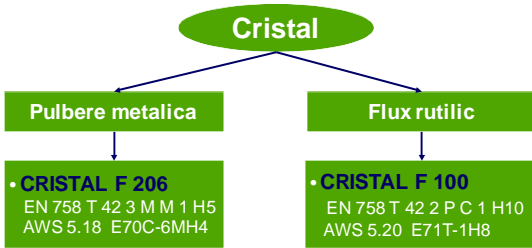
Valoare limită a fumului de sudare (mg/m <sup>3</sup> )	Rata emisiilor de fum (mg/s)	< 3	3 - 8	8 - 15	15 - 25	> 25
	Clasificarea consumabilelor pentru sudare	a	b	c	d	e
> 4,5	5	5a	5b	5c	5d	5e
3,5 - 4,5	4	4a	4b	4c	4d	5e
2,5 - 3,5	3	3a	3b	3c	3d	4e
1,5 - 2,5	2	2a	2b	2c	2d	3e
0,5 - 1,5	1	1a	1b	1c	1d	2e
< 0,5	0	0a	0b	0c	0d	1e

**Tabelul 2.3.** Clasele de fum [136]

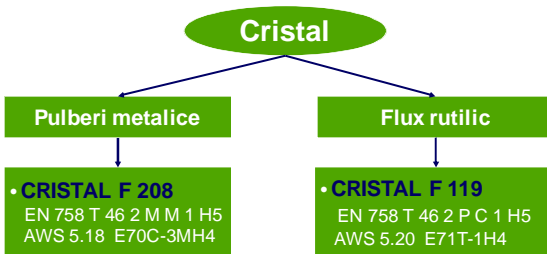
Clasa fum	NHL (m <sup>3</sup> /h)
1	0 - 3000
2	3000 - 7000
3	7000 - 15000
4	15000 - 35000
5	35000 - 60000
6	60000 - 100000
7	≥ 100000

Gama de sârme tubulare Cristal include patru tipuri de sârme, două mărci de sârme cu

inserție de pulberi metalice (una fabricată cu tehnologie Chemetron - tub deschis și una fabricată cu tehnologie Oerlikon - tub închis) și două mărci de sârme cu inserție de flux rutilic, fabricate cu cele două tipuri de tehnologii (Fig. 2.5 și Fig. 2.6). În tabelul 2.4 sunt prezentate comparativ, sârmele tubulare cu pulberi metalice și cu flux rutilic, standard și ecologice.



**Fig. 2.5.** Sârmele tubulare cu emisii reduse de fum fabricate după tehnologie Chemetron [136].



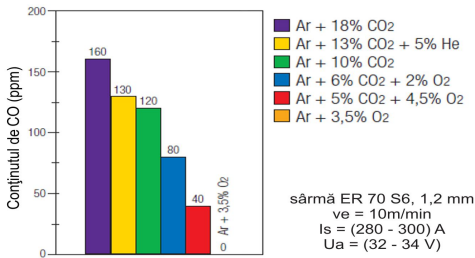
**Fig. 2.6.** Sârmele tubulare cu emisii reduse de fum fabricate după tehnologie Oerlikon [136].

**Tabelul 2.4.** Clasificarea sârmele tubulare cu pulberi metalice și cu flux rutilic, standard și ecologice [182], [183]

Sârma tubulară	Clasificare	NHL
Cristal F 206	5c	3
Sârmă standard	5c	3
Cristal F 208	5c	3
Sârmă standard	5d	4
Cristal F 100	5c	3
Sârmă standard	5c	3
Cristal F 119	5c	3
Sârmă standard	5d	4

## 2.6. Cercetări privind determinarea substanțelor poluante care apar la sudarea MAG

Emisiile de gaz sunt în principal formate din ozon, monoxid de carbon și oxizi de azot, NOx. Ozonul este generat de acțiunea radiației ultraviolete emisă de arcul electric de sudare în oxigenul aflat în mediul înconjurător.

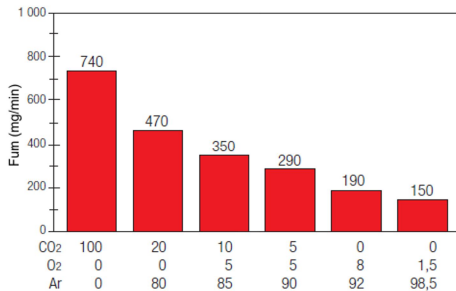


**Fig. 2.7.** Influența conținutului de CO<sub>2</sub> din amestecul de gaze de protecție asupra emisiei de CO la sudarea MAG [136].

Oxizii de azot NO<sub>x</sub> generați se găsesc în principal sub forma bioxidului de azot NO<sub>2</sub>. Oxizii de azot sunt rezultatul interacțiunii dintre N<sub>2</sub> și O<sub>2</sub> în apropierea arcului electric, datorită radiației ultraviolete și a temperaturilor ridicate.

Oxidul nitric NO, se combină cu ozonul rezultând NO<sub>2</sub>. S-a demonstrat faptul că emisiile de NO<sub>x</sub> la sudarea cu arc electric sunt foarte scăzute în comparație cu operațiile de tăiere cu oxiacetilenă sau cu plasmă.

La sudarea MIG - MAG pe lângă radiațiile ultraviolete, emisiile de fum reprezintă principalul efect nociv. Ca o primă aproximare, aceasta reprezintă o funcție crescătoare a potențialului de oxidare a gazului de protecție (Fig. 2.8).



**Fig. 2.8.** Emisia de fum în funcție de atmosfera gazoasă de protecție la sudarea MAG [136].

În figura 2.9, elementele evidențiate sunt: (a) I<sub>cc</sub> max, reprezentând fluxul maxim la care este posibilă realizarea unui transfer prin scurt-circuit; (b) linia CC' indicând tensiunea maximă la care acest tip de transfer poate avea loc; în practică, sudorii ajustează tensiunea la o valoare ușor mai scăzută decât cea maximă (zona de culoare portocaliu-închis a diagramei); (c) I<sub>s</sub> min reprezentând curentul minim la care transferul prin pulverizare axială poate avea loc și (d) segmentul SS' care indică valoarea minimă a tensiunii la care transferul poate fi realizat prin pulverizare axială, sudorii lucrând, în general, cu o valoare ușor mai ridicată.

Limitele exacte ale acestor domenii de transfer în diagrama U = f(I) sunt caracteristice pentru anumite combinații de sârmă/gaz sau amestec de gaze de protecție. Ele variază atât în funcție de natura gazului de protecție cât și în funcție de diametrul sârmei utilizate.

În general, se pare că orice adaos de CO<sub>2</sub> și/sau oxigen în Argon mărește diametrul câmpului circular prin micșorarea I<sub>cc</sub> și mărirea I<sub>s</sub> (Fig. 2.10), în timp ce o creștere a diametrului sârmei produce la rândul său o creștere a intensității I<sub>s</sub>, I<sub>cc</sub> rămânând practic neschimbat.

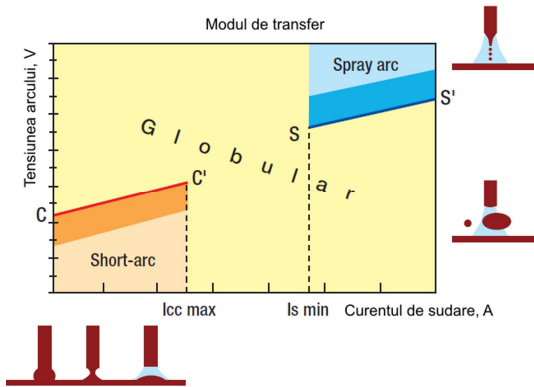
Cel mai semnificativ gaz poluant rezultat la sudarea MAG în timpul sudării oțelurilor nealiat, utilizând gaze de protecție conținând în special CO<sub>2</sub>, este monoxidul de carbon.

Cantitatea de CO emisă este proporțională cu cea de CO<sub>2</sub> conținută în gazul de protecție (Fig. 2.7).

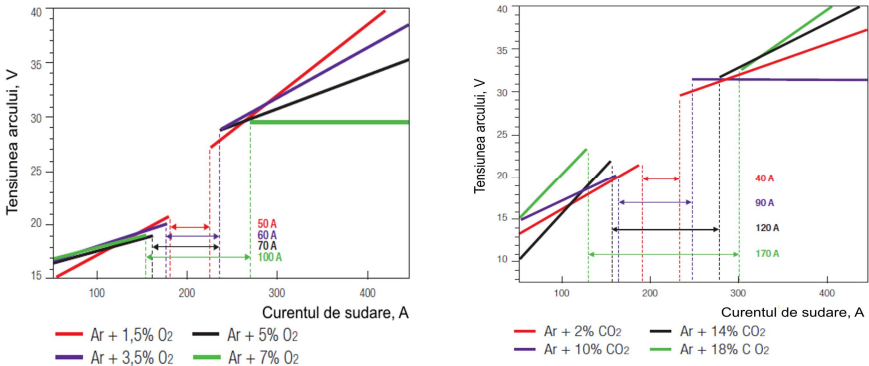
Cu toate acestea, este dificilă eliminarea completă a acestui adaos din gazul de protecție, datorită efectelor pe care le are asupra caracteristicilor de exploatare.

Această reprezentare relativ simplă poate fi totuși eronată în timpul măsurătorilor comparative ale emisiilor de fum efectuate la parametri electrici constanți. După cum se știe, sudarea MIG - MAG este caracterizată prin numeroasele moduri de transfer al metalului, și care sunt dependente de parametri utilizați (diagrama U = f(I), figura 2.9).

La curenți de sudare mici, transferul metalului de la sârmă la baia de sudare se realizează prin "scurt-circuit" (transferul în arc scurt).



**Fig. 2.9.** Modul de transfer al picăturilor de metal topit în funcție de parametrii la sudarea MIG - MAG [136].



**Fig. 2.10.** Influența conținuturilor de O<sub>2</sub> și CO<sub>2</sub> din amestecurile cu Ar în cazul transferului globular la sudarea MAG [136].

Este interesantă prezentarea caracteristicilor acestor tipuri de transfer și a efectelor nocive pentru sănătatea sudorului și a stării mediului de lucru, a emisiilor de fum și stropi. Aceasta este exemplificată de figura 2.11, corespunzând amestecului ternar Arcal 14 (Ar + 3%CO<sub>2</sub> + 1%O<sub>2</sub>).

Se poate vedea că, pentru un anumit flux, emisia de fum are un punct minim în raport cu tensiunea, de îndată ce aceasta din urmă depășește valoarea corespunzătoare liniei SS'.

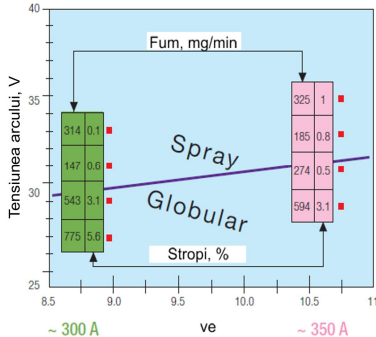
În mod similar, odată depășită această linie, rezultatul este o scădere semnificativă a cantității de stropi.

Cu alte cuvinte, se pare că, în situația sudării cu un flux ce determină cuplul sârmă/gaz să realizeze un transfer prin pulverizare axială, rata emisiei de fum și cantitatea de stropi descresc în condițiile creșterii tensiunii până la obținerea unui transfer stabil prin pulverizare axială. Dincolo de această valoare, o creștere a tensiunii nu va mai avea ca rezultat modificarea transferului de metal ci va provoca doar o alungire a arcului care, la rândul său, va cauza o creștere a ratei de volatilizare a elementelor metalice și în consecință o creștere a emisiei de fum.

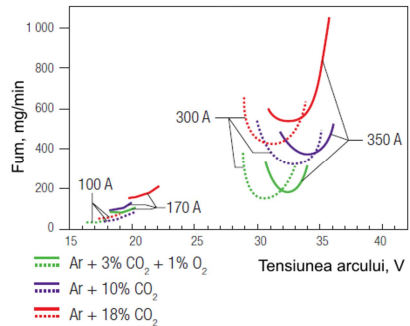


Procesul prezentat este general, indiferent de amestecul de gaz folosit. Prin urmare utilizarea unui gaz de protecție cu un potențial de oxidare cât mai scăzut, și care să fie compatibil cu cerințele de exploatare, poate fi întotdeauna benefică (Fig. 2.12).

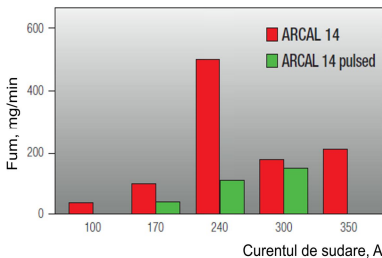
Din acest punct de vedere, amestecul Arcal 14 (Ar + 3%CO<sub>2</sub> + 1%O<sub>2</sub>) reprezintă o soluție excelentă atât pentru metoda convențională (Fig. 2.12) cât și pentru procedeul de sudare în curent pulsat (Fig. 2.13).



**Fig. 2.11.** Legătura între emisiile de fum, stropi și modulile de transfer (sârmă ER 70 S6,  $\Phi = 1,2$  mm, amestec de gaze de protecție Arcal 14) [136].



**Fig. 2.12.** Influența amestecului de gaze de protecție și a parametrilor de sudare MAG asupra ratei emisiilor de fum (sârmă ER 70 S6,  $\Phi = 1,2$  mm) [136].



**Fig. 2.13.** Influența curentului de puls asupra ratei emisiilor de fum (sârmă ER 70 S6,  $\Phi = 1,2$  mm) [136].

Procedeul de sudare în curent pulsat face posibilă evitarea transferului globular atunci când este ajustat corespunzător, ca de exemplu atunci când amperajul și tensiunea curentului de vârf sunt mai ridicate decât valorile standard, făcând posibil transferul metalului prin pulverizare axială (punctul S în figura 2.9) iar durata acestui vârf este suficientă pentru a permite transferul unei picături de metal topit.

În aceste condiții, se obține o reducere semnificativă a emisiilor de fum, precum și o reducere a cantității de stropi de metal topit.

Cercetătorii australieni au analizat noxele care apar la sudarea MAG folosind o sârmă cu diametrul de 1,2 mm, cu compoziția chimică 0,08%C, 1,16%Mn și 0,7%Si și

diverse tipuri de amestecuri de gaze de protecție.

În tabelul 2.5 sunt prezentate rezultatele pentru Rata de Formare a Fumului (FFR), indicele oxigen și rezultatele compozițiilor chimice.

Pentru determinarea valorii FFR, timpul de arc a fost limitat la 20 de secunde pentru a preveni colmatarea hârtiei de filtru. Au fost utilizate filtre de fibră de sticlă de tip Pall A/E, cu pori având dimensiunea nominală de 1  $\mu$ m și o grosime caracteristică de 330  $\mu$ m. Pentru a determina cantitatea de fum generată la cinci zecimale, a fost utilizată o balanță Sartorius (Model CP225D) pentru cântărirea hârtiei de filtru înainte și după realizarea testului.

Indicele oxigen a fost calculat cu ajutorul formulei empirice IWV (Institutul Internațional de Sudură), (%O<sub>2</sub> x 0,5%CO<sub>2</sub>), care a fost utilizată pentru a estima "efectul oxidant" al gazului de protecție.

În literatura de specialitate, acest “efect oxidant” este cunoscut sub numele de “potențialul de oxigen”.

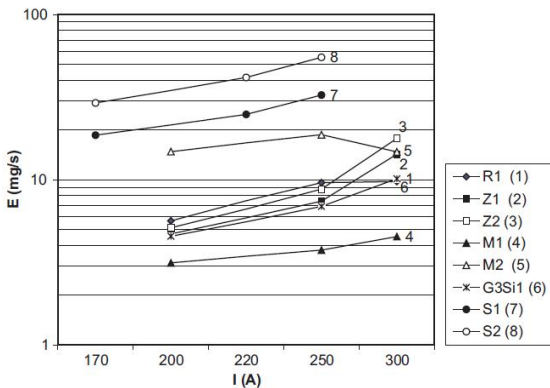
**Tabelul 2.5.** Amestecurile de gaze de protecție utilizate pentru sudarea robotizată MAG, rezultatele FFR, indicele O<sub>2</sub> și compoziția medie a microparticulelor [23]

Amestecul de gaze de protecție	FFR, g/min	Indicele O <sub>2</sub> , %	Compoziția medie a microparticulelor, %			
			O	Si	Mn	Fe
Ar-5 %O <sub>2</sub>	0,274	5,0	27,5	0,9	8,7	62,8
Ar-5 %CO <sub>2</sub>	0,246	2,5	27,5	0,7	7,0	64,8
Ar-10 %CO <sub>2</sub>	0,298	5,0	27,4	0,3	5,9	66,4
Ar-18 %CO <sub>2</sub>	0,396	9,0	28,1	1,3	4,2	66,3
Ar-5 %CO <sub>2</sub> -2 %O <sub>2</sub>	0,242	4,5	27,5	0,6	7,4	64,5
Ar-12 %CO <sub>2</sub> -2 %O <sub>2</sub>	0,312	8,0	27,8	1,0	5,8	65,3
Ar-18 %CO <sub>2</sub> -2 %O <sub>2</sub>	0,392	11,0	28,4	2,3	7,0	62,3
Ar-5 %CO <sub>2</sub> -5 %O <sub>2</sub>	0,352	7,5	28,1	1,6	6,1	64,2
Ar-12 %CO <sub>2</sub> -4 %O <sub>2</sub>	0,318	10,0	28,1	1,6	6,1	64,2
Ar-12 %CO <sub>2</sub> -6 %O <sub>2</sub>	0,332	12,0	-	-	-	-
Ar-20 %He-12 %CO <sub>2</sub>	0,279	-	28,1	1,3	4,0	66,6
Ar-30 %He-6 %CO <sub>2</sub>	0,273	-	27,7	0,8	6,1	65,4
Ar-30 %He-10 %CO <sub>2</sub>	0,277	-	27,7	0,8	4,8	66,8

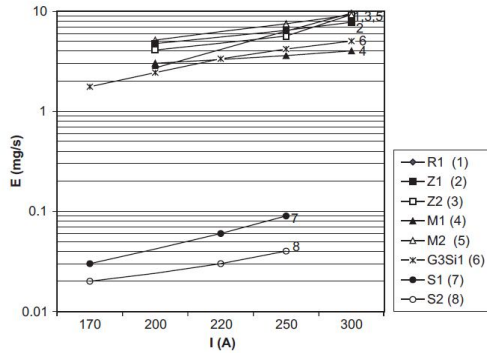
Înstitutul de Sudură din Polonia a efectuat cercetări pentru a determina, din punct de vedere cantitativ și calitativ, emisiile de microparticule și gaze emanate în timpul operațiunilor de sudare cu sârmă tubulară a oțelului.

Testele au inclus sârme tubulare (cu flux bazic, cu flux rutilic, cu pulbere metalică și cu autoprotecție) fabricate de producători renumiți, precum Lincoln Electric (USA), Böhler (Germania, Austria), ESAB (Suedia) și Drahtwarenfabrik Stein (Germania) [61]. Figurile 2.20 - 2.23 prezintă o analiză comparativă a indicilor emisiilor poluante în timpul sudării cu sârme tubulare cu autoprotecție și cu sârme pline a oțelului, în mediu protector de gaz.

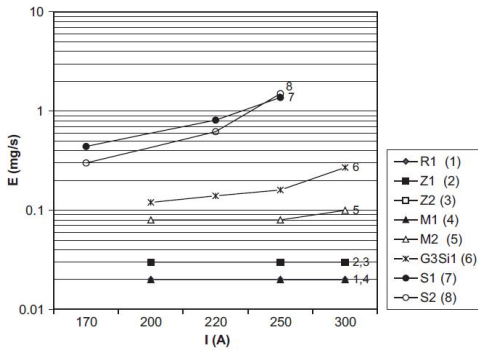
Emisiile de oxizi de azot în timpul sudării cu sârmă tubulară au fost de câteva ori (chiar de 10 ori) mai scăzute decât în cazul sudării cu sârmă plină G3Si1 (Tabelul 2.11, Fig. 2.22).



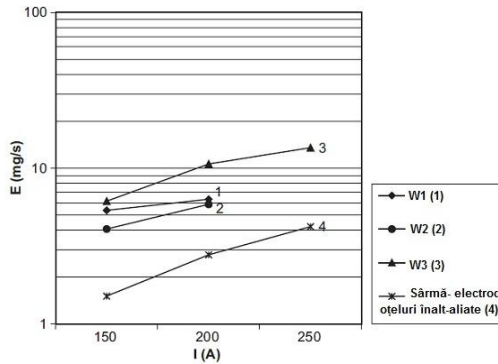
**Fig. 2.20.** Emisiile de microparticule în timpul sudării cu arc electric și sârme tubulare [61].



**Fig. 2.21.** Emisiile de monoxid de carbon (CO) în timpul sudării cu arc electric și sârme tubulare [61].



**Fig. 2.22.** Emisiile de oxizi de azot (NOx) în timpul sudării cu arc electric și sârme tubulare [61].



**Fig. 2.23.** Emisiile de microparticule în timpul sudării cu arc electric și sârme tubulare a oțelurilor înalt aliate [61].

**Tabelul 2.10.** Emisiile de microparticule și monoxid de carbon în timpul sudării utilizând sârme tubulare ( $I_s = 300$  A, gaze de protecție  $CO_2$  și Corgon 18) [61]

Tipul de sârmă tubulară	Emisii totale de microparticule, mg/s		Emisii $CO$ , mg/s	
	$CO_2$	Corgon 18	$CO_2$	Corgon 18
Sârmă tubulară cu flux rutilic R1	14,86	9,75	16,88	9,58
Sârmă tubulară cu flux basic Z2	21,10	17,79	14,47	9,28
Sârmă tubulară cu flux basic Z1	19,60	14,37	13,00	7,78

**Tabelul 2.11.** Emisiile de oxizi de azot în timpul sudării cu sârmă tubulară și sârmă plină [61]

Tipul de sârmă tubulară	Emisii $NO_x$ , mg/s
Sârmă tubulară cu flux rutilic R1	0,02 - 0,05
Sârmă tubulară cu flux basic Z1, Z2	0,02 - 0,05
Sârmă tubulară cu pulberi metalice M1, M2	0,02 - 0,10
Sârmă plină (G3Si1)	0,14 - 0,62

Valorile emisiilor poluante pentru diferitele tipuri de sârme tubulare la două valori ale curentului de sudare, prezentate în tabelul 2.12, confirmă faptul că emisiile sunt predominant influențate de parametrii curentului utilizat în proces. Este problematic de evaluat în ce măsură compoziția chimică a sârmei electrod afectează emisiile poluante.

În condiții de sudare la curenți mici, sârmele tubulare sunt caracterizate de emisii mai ridicate de microparticule decât în cazul sârmelor cu flux rutilic sau basic.

Emisiile de microparticule și monoxid de carbon în timpul sudării cu sârme tubulare cu protecție, sunt mai ridicate decât în cazul sârmelor pline (G3Si1; Tabelul 2.13, Fig. 2.20 - 2.21).

**Tabelul 2.12.** Emisiile totale de microparticule și monoxid de carbon în timpul sudării cu diferite tipuri de sârme tubulare și amestec de gaze de protecție Corgon 18 [61]

Tipul de sârmă tubulară	Emisii totale de microparticule, mg/s		Emisii $CO$ , mg/s	
	$CO_2$	Corgon 18	$CO_2$	Corgon 18
Sârmă tubulară cu flux rutilic R1	5,54	9,75	2,72	9,58
Sârmă tubulară cu flux basic Z2	5,12	17,79	4,10	9,28
Sârmă tubulară cu pulberi metalice M2	14,78	14,74	5,15	9,21

Compoziția chimică a microparticulelor este influențată în principal de compoziția fluxului sârmei tubulare.

Tabelul 2.14 prezintă o comparație între procentajele constituenților anumitor microparticule generate în timpul sudării cu diferite sârme tubulare, sârme pline (G3Si1) și electrozi înveliți (ER 146, EB 146).

**Tabelul 2.13.** Emisiile totale de microparticule și monoxid de carbon în timpul sudării cu sârme tubulare și sârme pline [61]

Tipul de sârmă tubulară	Emisii totale de microparticule, mg/s	Emisii CO, mg/s
Sârmă tubulară cu flux rutilic R1	7,29 - 14,86	7,10 - 16,88
Sârmă tubulară cu flux basic Z2	5,59 - 21,10	7,56 - 14,47
Sârmă tubulară cu pulberi metalice M2	14,74 - 18,75	5,15 - 9,21
Sârmă plină (G3Si1)	1,39 - 10,15	1,19 - 5,04

**Tabelul 2.14.** Compoziția chimică a microparticulelor (%) generate în timpul sudării cu sârme tubulare, sârme pline și electrozi înveliți [61]

Tipul de sârmă și electrod	Mn	Si	F	Cr	Ni
Sârmă tubulară cu flux rutilic	11,2	4,5	6,2	0,02	0,01
Sârmă tubulară cu flux basic	8,7	2,6	14,2	0,02	0,03
Sârmă tubulară cu pulberi metalice	17,2	3,2	6,5	0,80	1,68
Sârmă tubulară cu flux rutilic pentru sudarea oțelurilor austenitice	5,2	3,4	12,0	7,68	1,23
Sârmă tubulară cu flux rutilic - oțeluri austenitice	8,5	3,3	-	8,25	2,50
Sârmă plină	11,00	3,5	-	0,03	0,03
Electrod rutilic ER 146	6,3	8,2	1,1	-	-
Electrod bazic EB 146	4,2	2,2	11,5	-	-

Cercetătorii japonezi au realizat măsurători de laborator ale microparticulelor și gazelor nocive într-un punct corespunzător zonei de respirație a sudorului.

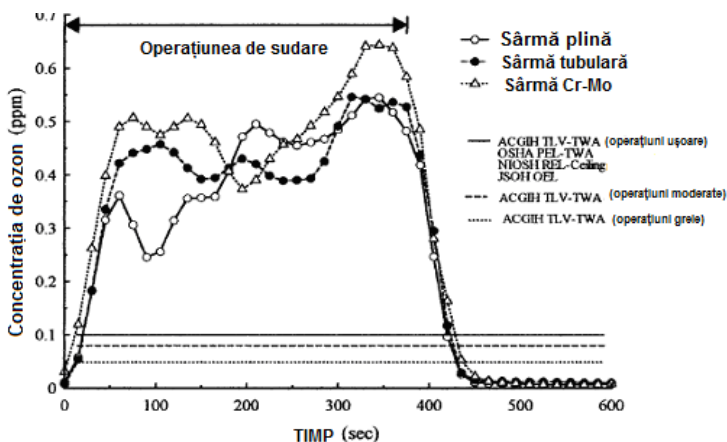
**Fig. 2.25.** Schimbările în timp a concentrației O<sub>3</sub> într-un punct de eșantionare corespunzător zonei de respirație a lucrătorului [101].

Figura 2.25 prezintă schimbările în timp ale concentrației medii de  $O_3$  în timpul operațiunii de sudare cu trei tipuri de sârme electrod, într-un punct de eșantionare corespunzător zonei de respirație a sudorului. Concentrația de  $O_3$  a crescut brusc la 0,4 - 0,6 ppm imediat după începerea operațiunii de sudare, a atins apoi un nivel maxim, după care a scăzut rapid în momentul încetării operațiunii.

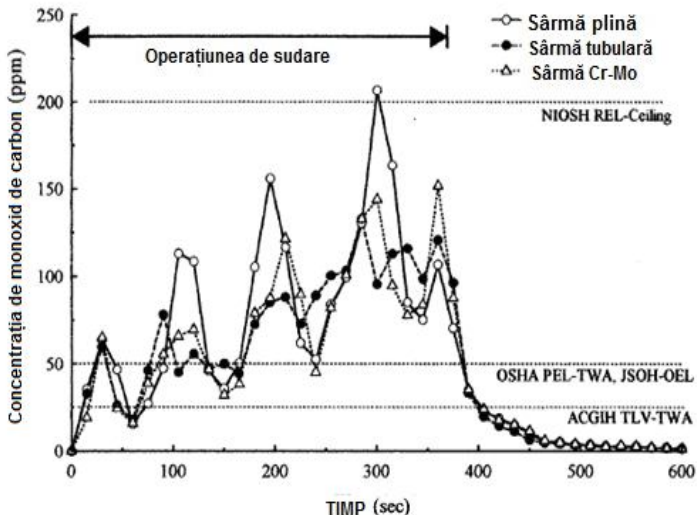
Așa cum este prezentat și în tabelul 2.16, concentrația medie în timp de  $O_3$  a variat între 0,4 - 0,5 ppm pe o durată de 6,3 min în timpul operațiunii de sudare, indiferent de tipul de sârmă utilizat, nefiind înregistrate diferențe statistice în concentrațiile de  $O_3$  ale celor trei tipuri de sârmă.

**Tabelul 2.16.** Valorile medii în timp ale concentrațiilor de  $O_3$ , CO și NO în timpul operațiunii de sudare [101]

Tipul sârmei	$O_3$ , ppm	CO, ppm	NO, ppm
Sârmă plină	$0,42 \pm 0,15$	$89,9 \pm 36,0$	$1,69 \pm 0,66$
Sârmă tubulară	$0,44 \pm 0,18$	$79,7 \pm 37,8$	$1,88 \pm 1,21$
Sârmă Cr - Mo	$0,50 \pm 0,22$	$78,8 \pm 35,4$	$1,18 \text{ v } 1,24$

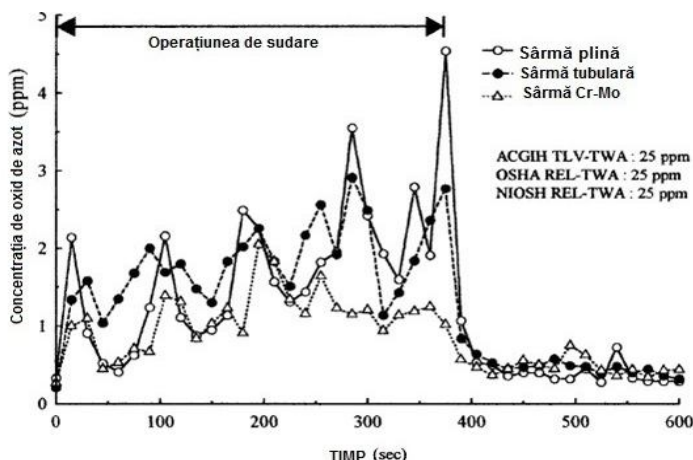
Figura 2.26 prezintă variația în timp a concentrației medii de CO în timpul procesului de sudare cu cele trei tipuri de sârmă. Concentrațiile de CO au înregistrat tendințe de creștere graduală și periodică în timpul desfășurării operațiunii de sudare.

Concentrația medie de CO în timp s-a aflat în intervalul 78,8 - 89,9 ppm pentru toate cele trei tipuri de sârmă, indicând faptul că nu au fost observate diferențe statistice privind concentrațiile CO indiferent de tipul de sârmă utilizat.



**Fig. 2.26.** Schimbările în timp ale concentrației CO într-un punct de eșantionare corespunzător zonei de respirație a lucrătorului [101].

Schimbările în timp ale concentrației medii de NO în timpul operațiunii de sudare cu cele trei tipuri de sârmă sunt prezentate în figura 2.27, concentrația de NO crescând asemenea celei de CO.



**Fig. 2.27.** Schimbările în timp ale concentrației NO într-un punct de eșantionare corespunzător zonei de respirație a lucrătorului [101].

## 2.7. Măsuri pentru protejarea sudorului

La lucrările de sudare a secțiilor și a blocsecțiilor navelor fluviale sau maritime, realizate în cadrul secțiilor de corp sau la montajul acestora în docul uscat respectiv pe căile de lansare, cu precădere în cazul sudării la interior în spații închise, se acumulează cantități mari de fum, gaze, praf, particule în suspensie, etc. Aceste noxe rezultate în timpul procesului de sudare afectează grav sănătatea sudorului operator.

Pentru protejarea operatorului sudor, se apelează și la următoarele metode:

➤ extragerea noxelor concomitent cu introducerea de aer curat în spațiile de lucru închise;

- folosirea măștilor de sudură cu auto-obscurizare și aport de aer;
- folosirea aspiratoarelor de noxe prevăzute de preferință și cu filtre;
- folosirea pistolletelor de sudare cu aspirația fumului și a gazelor.

# CAPITOLUL 3

## CONCLUZII ȘI DIRECȚII DE CERCETARE

### 3.2. Direcții de cercetare

1. Proiectarea, realizarea și experimentarea unor standuri, destinate realizării cercetărilor experimentale preliminare, a probelor sudate cap la cap pe suport ceramic și a determinării noxelor la sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare standard și ecologice.

2. Cercetări experimentale privind determinarea coeficienților de topire și de depunere la sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare standard și ecologice.

3. Cercetări experimentale privind influențele parametrilor de proces (viteza de avans a sârmei electrod  $v_e$ , viteza de sudare  $v_s$  și tensiunea arcului  $U_a$ ), la sudarea mecanizată MAG -

C cu sârme tubulare rutilice (standard și ecologice), asupra geometriilor cordoanelor depuse (lățimea b, supraînălțarea h și pătrunderea p) și a dimensiunilor zonelor influențate termic.

4. Cercetări experimentale privind influențele parametrilor de proces (viteza de avans a sârmei electrod  $v_e$ , viteza de sudare  $v_s$ , tensiunea arcului  $U_a$  și curentul de puls  $I_p$ ), la sudarea mecanizată MAG - M cu sârme tubulare cu pulbere (standard și ecologice), asupra geometriilor cordoanelor depuse (lățimea b, supraînălțarea h și pătrunderea p) și a dimensiunilor zonelor influențate termic.

5. Stabilirea dimensiunilor probelor sudate cap la cap, a modului de prelevare a epruvetelor pentru încercările mecanice de laborator și a analizelor macroscopice și microscopice.

6. Cercetări experimentale privind stabilirea parametrilor tehnologici de sudare și de pendulare ale straturilor de sudură în rostul dintre componente.

7. Cercetări experimentale privind sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice pe suport ceramic.

8. Cercetări experimentale privind determinarea emisiilor de gaze la sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice.

9. Cercetări experimentale privind determinarea concentrațiilor de microparticule la sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice.

10. Modelarea matematică a concentrațiilor de CO la sudarea mecanizată MAG în funcție de viteza de avans a sârmei electrod.

11. Modelarea matematică a concentrațiilor de microparticule la sudarea mecanizată MAG în funcție de viteza de avans a sârmei electrod.

## CAPITOLUL 4

### MATERIALE ȘI ECHIPAMENTE PENTRU SUDARE

#### 4.1. Materialul de bază

În cadrul cercetărilor experimentale privind sudarea mecanizată MAG pe suport ceramic folosind sârme tubulare standard și ecologice, s-au folosit table din oțel naval de înaltă rezistență marca D32 cu grosimea de 13,4 mm.

#### 4.2. Materiale de adaos (sârme tubulare)

În cadrul cercetărilor experimentale privind sudarea mecanizată MAG pe suport ceramic folosind sârme tubulare, s-au folosit comparativ, sârme tubulare standard (rutilică- Fluxofil 14HD și cu pulberi metalice- Fluxofil M8) și sârme tubulare ecologice (rutilică- Cristal F 100 și cu pulberi metalice- Cristal F 206) cu diametrul de 1,2 mm.

#### 4.3. Materiale auxiliare

##### 4.3.1. Gaze și amestecuri de gaze de protecție

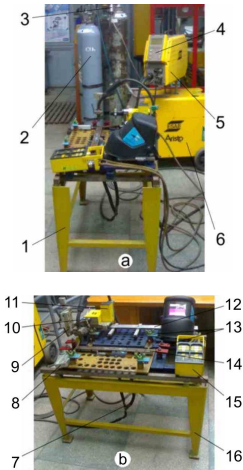
În cadrul realizării cercetărilor experimentale privind sudarea mecanizată MAG pe suport ceramic folosind sârme tubulare standard și ecologice, s-au folosit  $CO_2$  și amestecul M21 cunoscut sub denumirea de Corgon 18 (82%Ar + 18% $CO_2$ ) care combină avantajele  $CO_2$  pur cu stropirea redusă a amestecurilor Ar +  $O_2$ , ambele conform SR EN 439 - 1996.

##### 4.3.2. Suport ceramic

Pentru cercetările experimentale s-a ales suportul ceramic plat pe bandă de aluminiu auto-adezivă model VB 8061, produs de firma Intersafe - Olanda și aciziționat de la S.C. Intersafe România S.R.L. Galați.



#### 4.4. Stand pentru cercetările experimentale preliminare privind sudarea mecanizată MAG

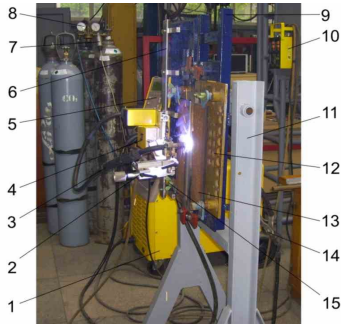


Standul experimental a fost proiectat și realizat în scopul realizării cercetărilor experimentale preliminare privind sudarea mecanizată MAG folosind sârme tubulare standard și ecologice (Fig. 4.2).

**Fig. 4.2.** Stand pentru cercetările experimentale preliminare privind sudarea mecanizată MAG: a- imagine de ansamblu; b- imagine detaliată a zonei de sudare; 1- zona de sudare; 2- butelii gaze și amestecuri de gaze de protecție; 3- reductor de presiune; 4- pupitru electronic de comandă PUA 1; 5- mecanism de avans sârmă MEK 4C; 6- sursă universală de sudare Aristo - Lud 320; 7- cablu de masă; 8- comanda la distanță a echipamentului de sudare; 9- sistem de pendulare; 10- pistolul de sudare PSF 315; 11- tractor de sudare Railtrac FW 1000; 12- șină de ghidare cărucior; 13- bride cu șurub; 14- șină de cupru; 15- programator digital; 16- masă suport dispozitiv [39].

#### 4.5. Stand pentru cercetările experimentale privind sudarea mecanizată MAG

În cadrul cercetărilor experimentale privind sudarea mecanizată MAG folosind sârme tubulare standard și ecologice a fost utilizat standul prezentat detaliat în figura 4.3.



**Fig. 4.4.** Stand pentru cercetările experimentale privind sudarea mecanizată MAG: 1- sursă universală de sudare Aristo - Lud 320; 2- sistem de pendulare; 3- pistolul de sudare PSF 315; 4- tractor de sudare Railtrac FW 1000; 5- programator digital; 6- șină de ghidare cărucior; 7- încălzitor CO<sub>2</sub>; 8- reductor de presiune gaz protecție; 9- suport dispozitiv de sudare; 10- pupitru electronic de comandă PUA 1; 11- cadru metalic; 12- placă port probă; 13- proba de sudat; 14- cablu sudură; 15- bride cu șurub [39].

#### 4.6. Stand pentru cercetările experimentale privind determinarea noxelor la sudarea mecanizată MAG

Pentru determinarea noxelor la sudarea mecanizată MAG, a fost necesară realizarea unei incinte etanșe în care să se desfășoare procesul de sudare.

Pentru aceasta, s-a pornit de la instalația de sudare subacvatică și hiperbarică la presiune medie, realizată în cadrul Centrului de Cercetări Avansate în Domeniul Sudării - SUDAV din Departamentul de Construcții de Mașini, Robotică și Sudare a Facultății de Mecanică din Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați.



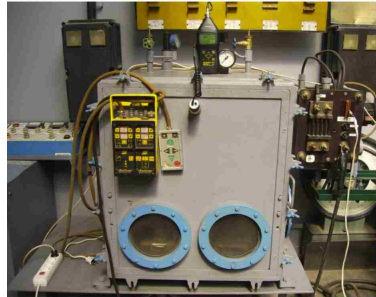
a



b



c



d

**Fig. 4.6.** Instalația pentru determinarea noxelor la sudarea mecanizată MAG: a- vedere din față; b- vedere din stânga; c- vedere incintă cu rama demontabilă montată pentru determinările gazelor; d- vedere incintă cu rama demontabilă montată pentru determinările microparticulelor [39].

## CAPITOLUL 5

### CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRELIMINARE PRIVIND SUDAREA MECANIZĂ MAG

#### 5.3. Cercetări experimentale privind influențele parametrilor de proces la sudarea mecanizată MAG

##### 5.3.1. Depunerea cordoanelor de sudură

Influențele parametrilor de proces la sudarea mecanizată MAG folosind sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice au fost analizate sub două aspecte: geometriile cordoanelor depuse și dimensiunile zonelor influențate termic.

Pentru analiza influențelor parametrilor de proces la sudarea mecanizată MAG, au fost depuse cordoane de sudură pe table în poziție orizontal PA, folosind standul experimental prezentat detaliat în capitolul 4.

În figura 5.5 este prezentat standul experimental înainte de începerea cercetărilor și modul de trasare a caroiajului cu cretă albă pe fiecare tablă.



**Fig. 5.5.** Standul experimental înainte de începerea cercetărilor: a- vedere din față; b- vedere din lateral [39], [68], [69].

Pentru studiul influențelor parametrilor la sudarea mecanizată MAG - C, o parte dintre parametrii au fost menținuți constanți (Tabelul 5.3), iar restul parametrilor au fost modificați pe rând (viteza de avans a sârmei electrod  $v_e$ , viteza de sudare  $v_s$  și tensiunea arcului electric  $U_a$ ), pentru fiecare cordon în parte (Tabelul 5.5).

Pentru studiul influențelor parametrilor la sudarea mecanizată MAG - M cu arc pulsant, o parte dintre parametrii au fost menținuți constanți (Tabelul 5.4), iar restul parametrilor au fost modificați pe rând (viteza de avans a sârmei electrod  $v_e$  și viteza de sudare  $v_s$ , tensiunea arcului electric  $U_a$  și curentul de puls  $I_p$ ), pentru fiecare cordon în parte (Tabelele 5.6 și 5.7).

**Tabelul 5.3.** Parametrii tehnologici menținuți constanți pe tot timpul experimentărilor la sudarea MAG - C [39], [68], [69]

Nr. crt.	Parametrii tehnologici de sudare	Valoarea constantă	Nr. crt.	Parametrii tehnologici de sudare	Valoarea constantă
1.	Timpul pre-gaz ( $t_{preg}$ ), s	3	3.	Distanța duză-cordon ( $h_{D-C}$ ), mm	15
2.	Timpul post-gaz ( $t_{postg}$ ), s	3	4.	Debitul de gaz de protecție ( $Q_G$ ), l/min	16

**Tabelul 5.4.** Parametrii tehnologici menținuți constanți pe tot timpul experimentărilor la sudarea MAG - M cu arc pulsant [39], [68], [69]

Nr. crt.	Parametrii tehnologici de sudare	Valoarea constantă	Nr. crt.	Parametrii tehnologici de sudare	Valoarea constantă
1.	Timpul de puls ( $t_p$ ), ms	2,5	4.	Timpul post-gaz ( $t_{postg}$ ), s	3
2.	Curentul de bază ( $I_b$ ), A	80	5.	Distanța duză-cordon ( $h_{D-C}$ ), mm	15
3.	Timpul pre-gaz ( $t_{preg}$ ), s	3	6.	Debitul de gaz de protecție ( $Q_G$ ), l/min	16

Pentru fiecare placă, din fiecare set de cordoane depuse s-au prelevat mecanic (pe freză) câte o epruvetă transversală cu lățimea de 10 mm (pentru aspectul vizual și pentru macrostructurile cordoanelor depuse). După prelevare, suprafețele transversale ale epruvetelor au fost rectificat, șlefuite și atacate cu Nital 2%, în vederea analizei macroscopice.

**Tabela 5.5.** Parametrii de sudare MAG - C modificați, geometriile cordoanelor depuse, valorile individuale și valorile medii ale lățimilor zonelor influențate termic [39], [68], [69]

Nr. cordon depus	V <sub>s</sub> , m/min	V <sub>s</sub> , cm/min	U <sub>s</sub> , V	Geometriile cordoanelor depuse, mm			Valorile individuale ale lățimilor ZIT, mm			Val. medii ale lățimilor ZIT în plan orizontal (A + B + C)/2, mm	Val. mediate lățimilor ZIT (A + B + C)/2, mm
				Lățimea, b	Suprainălțarea, h	Pătrunderea, p	A	B	C		
<b>Sărmă tubulară rutlică standard Fluxofil 14HD</b>											
<b>Influența vitezei de avans a sărmei electrod</b>											
a.1.	4,0			8,10	2,01	0,8	1,53	2,13	1,58	1,51	1,74
a.2.	4,5	35	28	8,43	2,16	0,87	1,21	1,98	1,26	1,23	1,45
a.3.	5,0			8,69	2,31	0,92	0,90	1,84	0,97	0,93	1,23
a.4.	5,5			9,02	2,49	1,05	0,66	1,71	0,61	0,63	0,99
<b>Influența vitezei de sudare</b>											
b.1.		25		9,54	2,41	1,09	1,46	2,37	1,37	1,41	1,73
b.2.		30	28	8,91	2,23	0,92	1,31	2,14	1,25	1,28	1,56
b.3.	4,5	35		8,25	2,05	0,77	1,09	1,86	1,15	1,12	1,36
b.4.		40		7,59	1,91	0,65	0,90	1,63	1,01	0,95	1,18
<b>Influența tensiunii arcului electric</b>											
c.1.			24	8,17	1,87	0,97	1,35	2,43	1,28	1,31	1,68
c.2.		35	26	8,62	1,82	0,82	1,17	2,26	1,25	1,21	1,56
c.3.	4,5		28	9,03	1,77	0,61	1,15	2,07	1,03	1,09	1,41
c.4.			30	9,54	1,73	0,46	0,85	1,81	0,89	0,87	1,18
<b>Sărmă tubulară rutlică ecologică Cristal F100</b>											
<b>Influența vitezei de avans a sărmei electrod</b>											
a.1.	4,0			8,52	1,53	0,74	1,40	2,43	1,53	1,46	1,78
a.2.	4,5	35	28	8,77	1,68	0,81	1,38	2,21	1,29	1,33	1,62
a.3.	5,0			8,95	1,81	0,92	1,19	2,05	1,26	1,22	1,50
a.4.	5,5			9,31	1,98	1,01	1,05	1,81	1,09	1,07	1,31
<b>Influența vitezei de sudare</b>											
b.1.		25		11,90	1,91	1,03	1,43	2,71	1,35	1,39	1,83
b.2.		30	28	11,21	1,85	0,88	1,32	2,51	1,25	1,28	1,69
b.3.	4,5	35		10,59	1,71	0,74	1,22	2,40	1,19	1,20	1,60
b.4.		40		9,94	1,64	0,62	1,14	2,25	1,05	1,09	1,48
<b>Influența tensiunii arcului electric</b>											
c.1.			24	8,27	1,61	0,87	1,25	2,56	1,16	1,20	1,65
c.2.		35	26	8,65	1,53	0,73	1,11	2,41	1,15	1,13	1,55
c.3.	4,5		28	9,09	1,49	0,57	0,98	2,23	1,05	1,01	1,42
c.4.			30	9,48	1,44	0,44	0,95	2,11	0,86	0,95	1,30

**Tabelul 5.6. Parametrii de sudare MAG - M cu sârmă tubulară cu pulberi metalice standard Fluxofil M8 modificați, geometriile cordoanelor depuse, valorile individuale și valorile medii ale lățimilor zonelor influențate termic [39], [68], [69]**

Nr. cordon depus	V <sub>e</sub> , m/min	V <sub>s</sub> , cm/min	U <sub>a</sub> , V	I <sub>p</sub> , A	Geometriile cordoanelor depuse, mm			Valorile individuale ale lățimilor ZIT, mm			Val. medii ale lățimilor ZIT în plan orizontal (A + C)/2, mm	Val. medii ale lățimilor ZIT (A + B + C)/2, mm
					Lățimea, b	Supraînălțarea, h	Suprăînlățirea, p	A	B	C		
Influența vitezei de avans a sărmei electrod												
a.1.	4.0				8.38	1.82	0.73	1.02	1.61	1.04	1.03	1.22
a.2.	4.5	35	28	240	8.81	2.08	0.81	0.95	1.54	0.89	0.92	1.12
a.3.	5.0				9.23	2.21	0.92	0.80	1.48	0.82	0.81	1.03
a.4.	5.5				9.72	2.47	1.07	0.69	1.42	0.71	0.70	0.94
Influența vitezei de sudare												
b.1.	25				9.88	2.38	1.18	1.29	1.91	1.33	1.31	1.51
b.2.	30				9.27	2.25	1.01	1.18	1.68	1.19	1.17	1.35
b.3.	35		28	240	8.58	2.11	0.85	1.00	1.45	1.06	1.03	1.17
b.4.	40				7.96	1.96	0.73	0.91	1.22	0.87	0.89	1.00
Influența tensiunii arcului electric												
c.1.			24		6.38	2.80	1.02	0.93	1.61	1.01	0.97	1.18
c.2.			26		7.55	2.53	0.81	0.86	1.56	0.90	0.88	1.10
c.3.		35	28	240	8.73	2.25	0.63	0.77	1.51	0.81	0.79	1.03
c.4.	4.5		30		9.96	2.02	0.49	0.68	1.46	0.72	0.70	0.95
Influența curentului de puls												
d.1.				160	8.12	2.71	0.38	0.79	1.38	0.83	0.81	1.00
d.2.			28	200	8.61	2.51	0.61	0.89	1.52	0.97	0.93	1.12
d.3.	4.5	35		240	9.29	2.28	0.85	1.05	1.66	1.09	1.07	1.26
d.4.				280	9.71	2.04	1.13	1.19	1.80	1.23	1.21	1.40



**Tabelul 5.7.** Parametrii de sudare MAG - M cu sârmă tubulară cu pulberi metalice ecologică Cristal F206 modificați, geometriile cordoanelor depuse, valorile individuale și valorile medii ale lățimilor zonelor influențate termic [39], [68], [69]

Nr. cordon depus	V <sub>e</sub> , m/min	V <sub>s</sub> , cm/min	U <sub>a</sub> , V	I <sub>p</sub> , A	Geometriile cordoanelor depuse, mm			Valori individuale ale lățimilor ZIT, mm			Val. medii ale lățimilor ZIT în plan orizontal (A + C)/2, mm	Val. medii ale lățimilor ZIT (A + B + C)/2, mm
					Lățimea, b	Supraînălțarea, h	Pătrunderea, p	A	B	C		
Influența vitezei de avans a sărmei electrod												
a.1.	4.0				8.24	1.94	0.69	0.93	1.59	0.99	0.96	1.27
a.2.	4.5	35	28	240	8.63	2.05	0.82	0.88	1.45	0.82	0.85	1.15
a.3.	5.0				9.01	2.21	0.91	0.75	1.31	0.77	0.76	1.08
a.4.	5.5				9.47	2.36	1.04	0.63	1.17	0.68	0.65	0.91
Influența vitezei de sudare												
b.1.		25			8.94	2.69	1.13	1.22	1.83	1.28	1.25	1.54
b.2.	4.5	30	28	240	8.57	2.53	1.01	1.10	1.70	1.14	1.12	1.41
b.3.		35			8.25	2.4	0.81	1.00	1.57	1.02	0.99	1.28
b.4.		40			7.88	2.27	0.67	0.83	1.44	0.89	0.86	1.15
Influența tensiunii arcului electric												
c.1.			24		5.97	2.41	0.95	0.86	1.52	0.92	0.89	1.20
c.2.	4.5	35	26	240	6.81	2.25	0.75	0.79	1.46	0.83	0.81	1.13
c.3.			28		7.73	2.15	0.60	0.70	1.40	0.76	0.73	1.06
c.4.			30		8.56	2.07	0.41	0.68	1.34	0.62	0.65	0.99
Influența curentului de puls												
d.1.				160	5.80	1.93	0.35	0.74	1.37	0.78	0.76	1.06
d.2.	4.5	35	28	200	6.37	1.74	0.59	0.85	1.49	0.91	0.88	1.18
d.3.				240	6.85	1.53	0.86	0.99	1.61	1.03	1.01	1.31
d.4.				280	7.42	1.38	1.07	1.09	1.74	1.15	1.12	1.43

### 5.3.2. Influențele parametrilor de proces asupra geometriilor cordoanelor depuse

În tabelele 5.5 - 5.7 sunt prezentate rezultatele influențelor parametrilor de proces la sudarea MAG - C (viteza de avans a sârmei electrod  $v_e$ , viteza de sudare  $v_s$  și tensiunea arcului electric  $U_a$ ), și respectiv MAG - M (viteza de avans a sârmei electrod  $v_e$ , viteza de sudare  $v_s$ , tensiunea arcului electric  $U_a$  și curentul de puls  $I_p$ ), asupra geometriilor cordoanelor depuse (lățimea  $b$ , supraînălțarea,  $h$  și pătrunderea,  $p$ ).

### 5.3.3. Influențele parametrilor de proces asupra dimensiunilor ZIT

Pentru a analiza influențele parametrilor de proces la sudarea MAG - C (vitezele de avans a sârmei electrod  $v_e$ , vitezele de sudare  $v_s$  și tensiunile arcului electric  $U_a$ ) și MAG - M cu arc pulsat (vitezele de avans a sârmei electrod  $v_e$ , vitezele de sudare  $v_s$ , tensiunile arcului electric  $U_a$  și curenții de puls  $I_p$ ) asupra dimensiunilor zonelor influențate termic, s-au determinat prin măsurători, dimensiunile ZIT ale fiecărui cordon depus.

Rezultatele măsurătorilor experimentale, valorile individuale din zonele de măsurare A, B și C, mediile valorilor obținute în plan orizontal  $(A + C)/2$  și mediile valorilor  $(A + B + C)/2$  ale zonelor influențate termic sunt centralizate tot în tabelele 5.5 - 5.7.

## CAPITOLUL 6

### CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA MECANIZATĂ MAG CU SÂRME TUBULARE STANDARD ȘI ECOLOGICE PE SUPT CERAMIC

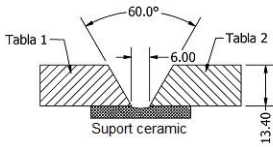
#### 6.2. Simbolizarea numărului de probe sudate cap la cap

În cadrul programelor experimentale privind sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice cu diametrele de 1,2 mm, folosind dioxid de carbon și amestecul Corgon 18 (82%Ar + 18%CO<sub>2</sub>) au fost realizate un număr de 6 probe cap la cap în poziție vertical ascendent PF (poziție de sudare în care se realizează majoritatea îmbinărilor sudate în condiții de montaj), simbolizate conform tabelului 6.1.

**Tabelul 6.1.** Simbolizarea probelor sudate MAG cap la cap cu sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice [39]

Nr. crt.	Simbolizare probe	Modul de realizare a probelor (sârmă tubulară/gaz de protecție)	
		Stratul de rădăcină	Straturile de umplere și finale
1	PSA1	Sârmă tubulară cu pulberi metalice standard Fluxofil M8/82%Ar + 18%CO <sub>2</sub>	
2	PEA1	Sârmă tubulară cu pulberi metalice ecologică (50%) Cristal F 206/82%Ar + 18%CO <sub>2</sub>	
3	PRSA1C1	Sârmă tubulară cu pulberi metalice standard Fluxofil M8/82%Ar + 18%CO <sub>2</sub>	Sârmă tubulară rutilică standard Fluxofil 14HD/CO <sub>2</sub>
4	PREA1C1	Sârmă tubulară cu pulberi metalice ecologică (50%) Cristal F 206/82%Ar + 18%CO <sub>2</sub>	Sârmă tubulară rutilică ecologică (30%) Cristal F 100/CO <sub>2</sub>
5	RSC1	Sârmă tubulară rutilică standard Fluxofil 14HD/CO <sub>2</sub>	
6	REC1	Sârmă tubulară rutilică ecologică (30%) Cristal F 100/CO <sub>2</sub>	

### 6.3. Pregătirea componentelor în vederea sudării



**Fig. 6.4.** Pregătirea componentelor în vederea sudării mecanizate MAG [37], [38], [67].

În cadrul acestui vast program de cercetări experimentale privind sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice, tablele pentru probe din oțel naval marca D32 cu grosimea de 13,4 mm, au fost prelucrate oxigaz și polizate, conform figurii 6.4.

### 6.4. Condițiile de sudare

Pentru cercetările experimentale s-au utilizat, standul experimental pentru sudarea mecanizată MAG (Fig. 4.6), sursa de sudare universală Aristo Lud 320 și tractorul de sudare Railtrac FW 1000.

Pentru sudarea mecanizată MAG a celor șase probe, s-au utilizat patru mărci de sârme tubulare (Fluxofil 14HD, Cristal F 100, Fluxofil M8 și Cristal F 206) cu diametrele de 1,2 mm și două tipuri de gaze și amestecuri de gaze de protecție ( $\text{CO}_2$  și  $82\%\text{Ar} + 18\%\text{CO}_2$ ).

Înainte de sudare (după prinderea în puncte de sudură, aplicarea pe spate a suportului ceramic plat și fixarea în dispozitiv paralel cu șina de ghidare a tractorului de sudare), s-a montat tractorul de sudare pe șina de ghidare și s-a verificat paralelismul dintre șină și probă.

Sudarea mecanizată sinergică MAG - C ( $\text{CO}_2$ ) s-a realizat cu arc spray, iar sudarea MAG - M ( $82\%\text{Ar} + 18\%\text{CO}_2$ ) s-a realizat cu arc pulsant, folosind în ambele cazuri curent continuu polaritate inversă ( $\text{DC}^+$ ).

**Tablelul 6.2.** Parametrii tehnologici variabili ai regimurilor de sudare mecanizată MAG-M [37]

Nr. strat	Felul stratului	Sârmă tubulară/ amestec de gaze de protecție	Parametrii regimurilor de sudare					
			$I_{s \text{ cit}}, A$	$U_{a \text{ cit}}, V$	$V_s \text{ regl}, \text{cm/min}$	$V_e \text{ regl}, \text{m/h}$	$L_p \text{ regl}, \text{mm}$	$E_l^{-1}, \text{KJ/mm}$
<b>Proba PSA1</b>								
1	rădăcină	Fluxofil M8/ Corgon 18	150	29	30	4,5	8	0,194
2	umplere		140	28	35	4,0	12	0,150
3			140	28	35	4,0	14	0,150
4	final		140	28	35	4,0	16	0,150
<b>Proba PEA1</b>								
1	rădăcină	Cristal F 206/ Corgon 18	125	31	30	4,5	8	0,172
2	umplere		120	30	35	4,0	12	0,138
3			120	30	35	4,0	14	0,138
4	final		120	30	35	4,0	16	0,138

**Notă:** <sup>1</sup>energia liniară s-a determinat conform Standardului Republican SR EN 1011/1 - 2001, cu formula:  $E_l = k \cdot U_a \cdot I_s \cdot 10^{-3} / V_s$  (KJ/mm) unde k este un coeficient (k = 0,8 pentru procedeul 136),  $U_a$  este în V,  $I_s$  este în A și  $v_s$  este în mm/s.



**Tabelul 6.3.** Parametrii tehnologici variabili ai regimurilor de sudare mecanizată MAG - M (stratul de rădăcină) și MAG - C (straturile de umplere și stratul final) [37], [67]

Nr. strat	Felul stratului	Sârmă tubulară/gaz (amestec de gaze) de protecție	Parametrii regimurilor de sudare					
			$I_s$ cit, A	$U_a$ cit, V	$V_s$ regl, cm/min	$V_e$ regl, m/h	$L_p$ regl, mm	$E_l$ '), KJ/mm
<b>Proba PRSA1C1</b>								
1	rădăcină	Fluxofil M8/ Corgon 18	150	29	30	4,5	8	0,194
2	umplere	Fluxofil 14HD/ CO <sub>2</sub>	135	21,5	35	4,0	12	0,111
3			135	21,5	35	4,0	14	0,111
4	final		135	21,5	35	4,0	16	0,111
<b>Proba PREA1C1</b>								
1	rădăcină	Cristal F 206/ Corgon 18	125	31	30	4,5	8	0,172
2	umplere	Cristal F 100/ CO <sub>2</sub>	130	21,5	35	4,0	12	0,107
3			130	21,5	35	4,0	14	0,107
4	final		130	21,5	35	4,0	16	0,107

Notă: ')energia liniară s-a determinat conform Standardului Republican SR EN 1011/1 - 2001, cu formula:  $E_l = k \cdot U_a \cdot I_s \cdot 10^{-3} / v_s$  (KJ/mm) unde k este un coeficient (k = 0,8 pentru procedeul 136),  $U_a$  este în V,  $I_s$  este în A și  $v_s$  este în mm/s.

**Tabelul 6.4.** Parametrii tehnologici variabili ai regimurilor de sudare mecanizată MAG - C [38]

Nr. strat	Felul stratului	Sârmă tubulară/gaz de protecție	Parametrii regimurilor de sudare					
			$I_s$ cit, A	$U_a$ cit, V	$V_s$ regl, cm/min	$V_e$ regl, m/h	$L_p$ regl, mm	$E_l$ '), KJ/mm
<b>Proba RSC1</b>								
1	rădăcină	Fluxofil 14HD/ CO <sub>2</sub>	145	22,5	30	4,5	8	0,145
2	umplere		135	21,5	35	4,0	12	0,111
3			135	21,5	35	4,0	14	0,111
4	final		135	21,5	35	4,0	16	0,111
<b>Proba REC1</b>								
1	rădăcină	Cristal F 100/ CO <sub>2</sub>	135	22,5	30	4,5	8	0,135
2	umplere		130	21,5	35	4,0	12	0,107
3			130	21,5	35	4,0	14	0,107
4	final		130	21,5	35	4,0	16	0,107

Notă: ')energia liniară s-a determinat conform Standardului Republican SR EN 1011/1 - 2001, cu formula:  $E_l = k \cdot U_a \cdot I_s \cdot 10^{-3} / v_s$  (KJ/mm) unde k este un coeficient (k = 0,8 pentru procedeul 136),  $U_a$  este în V,  $I_s$  este în A și  $v_s$  este în mm/s.



**Fig. 6.5.** Sudarea mecanizată MAG pe suport ceramic plat a probelor cap la cap în poziția PF.

Pe timpul sudării mecanizate MAG, o parte dintre parametrii tehnologici au fost menținuți constanți: debitul de gaz de protecție  $Q_G = 16$  l/min; timpul pre-gaz  $t_{preg} = 3$  s; timpul post-gaz  $t_{posg} = 3$  s; viteza de pendulare  $v_p = 5$  mm/s și distanța duză-cordon deșus  $h_{d-c} = 15$  mm).

În tabelul 6.2 sunt prezentați centralizat parametrii tehnologici variabili ai regimurilor de sudare mecanizată MAG - M, în tabelul 6.3 sunt prezentați centralizat parametrii tehnologici variabili ai regimurilor de sudare mecanizată MAG - M (stratul de rădăcină) și MAG - C (straturile de umplere și stratul final), iar în tabelul 6.4 sunt prezentați centralizat parametrii tehnologici variabili ai regimurilor de sudare mecanizată MAG - C.

În figura 6.5 sunt prezentate imagini din timpul sudării cap la cap a probelor în poziția PF.

### 6.5. Determinarea dimensiunilor îmbinărilor sudare

**Tabelul 6.5.** Valorile individuale și medii ale lățimilor și supraînălțărilor pătrunderilor la rădăcină și a ultimelor straturi depuse pentru probele sudate mecanizat MAG - C și MAG - M [37], [39], [67]

Nr. probă	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
PSA1	21,95	21,73	21,68	21,78	9,95	9,94	9,96	9,95
	2,45	2,61	2,42	2,49	0,51	0,49	0,51	0,50
PEA1	24,14	24,31	23,95	24,13	9,97	9,96	9,98	9,97
	2,15	1,97	2,03	2,05	0,47	0,49	0,51	0,49
PRSA1C1	23,89	24,14	23,85	23,96	9,99	9,97	9,98	9,98
	2,41	2,64	2,55	2,53	0,50	0,49	0,51	0,50
PREA1C1	21,53	21,44	21,61	21,52	9,97	9,98	9,98	9,97
	3,52	3,48	3,61	3,53	0,51	0,48	0,51	0,50
RSC1	25,06	24,88	24,67	24,87	9,76	9,85	9,87	9,82
	0,78	0,83	0,91	0,84	0,45	0,47	0,48	0,46
REC1	23,87	23,94	24,17	23,99	9,79	9,83	9,92	9,84
	1,01	0,97	0,85	0,94	0,47	0,45	0,44	0,45

Pentru fiecare probă sudată cap la cap mecanizat MAG - C, MAG - M și MAG - M (stratul de rădăcină) și MAG - C (straturile de umplere și stratul final), pe suport ceramic plat, s-au măsurat (la capete și pe mijloc) lățimile  $b_1$  și supraînălțările pătrunderilor  $h_1$  la rădăcină și a ultimului strat depus  $b_2$  respectiv  $h_2$ .

Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate centralizat în tabelul 6.5.

## 6.6. Controlul probelor sudate

După efectuarea celor 6 probe sudate cap la cap, fiecare probă a fost examinată vizual (cu ochiul liber) și nedistructiv (cu radiații gamma), toate fiind de bună calitate (admise), conform tabelului 6.6.

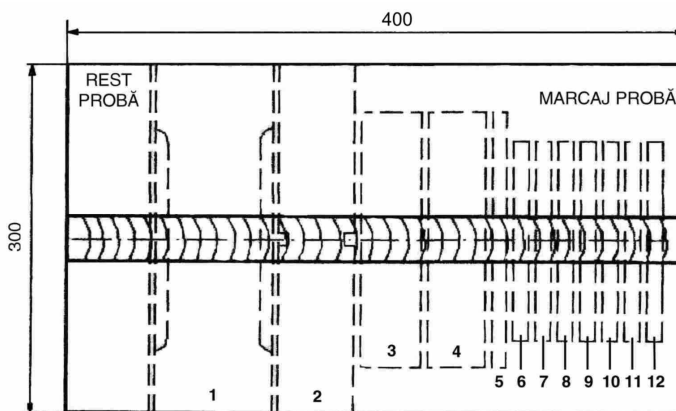
**Tabelul 6.6.** Rezultatele controalelor nedistructive (cu radiații gamma) [39]

Proba	Rezultatul
PSA1	(Aa) Admis
PEA1	Admis
PRSA1C1	Admis
PREA1C1	Admis
RSC1	(Aa, Ba) Admis
REC1	(Ba) Admis

Notă: Aa- por; Ba- incluziune zgură.

## 6.7. Dimensiunile probelor sudate cap la cap și modul de prelevare a epruvetelor

Dimensiunile probelor sudate cap la cap și modul de prelevare a epruvetelor pentru încercările mecanice de laborator sunt prezentate în figura 6.13.



**Fig. 6.13.** Dimensiunile probelor sudate cap la cap și modul de prelevare a epruvetelor [37], [39], [67].

Din fiecare probă sudată cap la cap au fost prelevate prin mijloace mecanice următoarele epruvete [36], [39], [67]:

- ❖ o epruvetă plată cu porțiunea calibrată pentru încercarea la tracțiune (nr. 1);
- ❖ o epruvetă plată cu creștătură în dreptul sudurii 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  $180^{\circ}$ ;
- ❖ o epruvetă plată pentru încercarea la îndoire transversală laterală (nr. 5);
- ❖ trei epruvete pentru încercare la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy cu creștătură în V în axa sudurii, la  $-20^{\circ}\text{C}$  (nr. 6, 7 și 8);
- ❖ trei epruvete pentru încercare la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy cu creștătură în V în ZIT, la  $-20^{\circ}\text{C}$  (nr. 9, 10 și 11);
- ❖ o epruvetă transversală pentru încercarea de duritate Vickers HV10, analiză macroscopică și microscopică (nr. 12).

## 6.8. Tipuri de încercări mecanice de laborator

În cadrul cercetărilor experimentale s-au executat următoarele încercări mecanice ale îmbinărilor sudate cap la cap [37], [39], [67]: încercarea la tracțiune transversală; încercarea de rupere; încercarea la îndoire; încercarea la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy V; încercarea de duritate Vickers HV10 și examinarea macroscopică și microscopică.

## 6.9. Rezultatele încercărilor mecanice de laborator

a. *Rezultatele încercărilor la tracțiune pe epruvetele plate cu porțiunea calibrată nr. 1, prelevate din probele sudate cap la cap, sunt centralizate în tabelul 6.7.*

**Tabelul 6.7.** Rezultatele încercărilor la tracțiune pe epruvetele plate cu porțiunea calibrată [37], [39]

Nr. epruvetă	Dimensiuni epruvetă ( $B_0 \times S_0$ ), mm	Aria secțiunii, $\text{mm}^2$	Forța de curgere, N	$R_{p0.2}$ , MPa	Forța de rupere, N	$R_m$ , MPa	Locul rupei
PSA1	13,34 x 24,02	320,4	105.754	330	151.320	472	MB
PEA1	13,37 x 25,60	342,3	109.745	320	160.025	467	MB
PRSA1C1	13,34 x 25,53	340,6	114.293	335	160.686	472	MB
PREA1C1	13,37 x 24,52	327,8	108.327	330	153.807	469	MB
RSC1	13,36 x 24,65	329,3	114.394	345	156.761	476	MB
REC1	13,37 x 24,53	328,0	109.158	335	154.312	470	MB

b. *Imagini ale suprafețelor rupturilor în urma efectuării încercărilor de rupere ale epruvetelor plate cu creștătură în dreptul sudurii nr. 2, prelevate din probele sudate cap la cap, sunt prezentate în figura 6.26.*

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, din probele sudate cap la cap, sunt centralizate în tabelul 6.8.*

d. *Rezultatele încercărilor la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy cu creștătură în V în SUD și în ZIT (nr. 6, 7 și 8, respectiv nr. 9, 10 și 11), prelevate din probele sudate cap la cap, la temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$ , sunt centralizate în tabelul 6.9.*



**Fig. 6.26.** Imagini ale suprafețelor rupturilor [37], [39], [67].

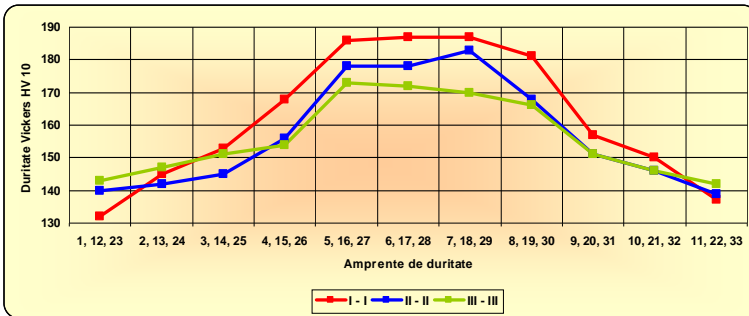
**Tabelul 6.8.** Rezultatele încercărilor la îndoire transversală frontală cu rădăcina comprimată (FBB) sau întinsă (RBB) și laterală (SBB) [37], [39], [67]

Îndoire transversală frontală cu rădăcina		Îndoire transversală laterală (SBB)
comprimată (FBB)	întinsă (RBB)	
PSA1-3 bună (fără defect)	PSA1-4 bună (fără defect)	PSA1-5 bună (fără defect)
PEA1-3 bună (fără defect)	PEA1-4 bună (fără defect)	PEA1-5 bună (fără defect)
PRSA1C1-3 bună (fără defect)	PRSA1C1-4 bună (fără defect)	PRSA1C1-5 bună (fără defect)
PREA1C1-3 bună (fără defect)	PREA1C1-4 bună (fără defect)	PREA1C1-5 bună (fără defect)
RSC1-3 bună (fără defect)	RSC1-4 bună (fără defect)	RSC1-5 bună (fără defect)
REC1-3 bună (fără defect)	REC1-4 bună (fără defect)	REC1-5 bună (fără defect)

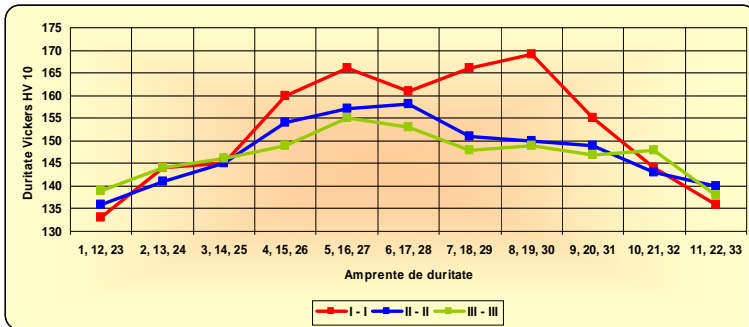
**Tabelul 6.9.** Rezultatele încercărilor la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy cu creștătură în V în SUD și în ZIT, la temperatura de - 20°C [37], [39], [67]

Încovoiere prin șoc KV la - 20°C, J							
SUD				ZIT			
Valori individuale			Medie	Valori individuale			Medie
PSA1-6	PSA1-7	PSA1-8		76,00	PSA1-9	PSA1-10	
77	77	74	236		248	234	
PEA1-6	PEA1-7	PEA1-8	116,33	PEA1-9	PEA1-10	PEA1-11	251,00
138	104	107		247	248	258	
PRSA1C1-1-6	PRSA1C1-7	PRSA1C1-8	83,66	PRSA1C1-9	PRSA1C1-10	PRSA1C1-11	255,33
93	85	73		263	255	248	
PREA1C1-1-6	PREA1C1-7	PREA1C1-8	101,66	PREA1C1-9	PREA1C1-10	PREA1C1-11	244,66
105	105	95		242	240	252	
RSC1-6	RSC1-7	RSC1-8	114,00	RSC1-9	RSC1-10	RSC1-11	251,00
101	110	131		248	252	253	
REC1-6	REC1-7	REC1-8	87,66	REC1-9	REC1-10	REC1-11	251,00
85	89	89		243	259	251	

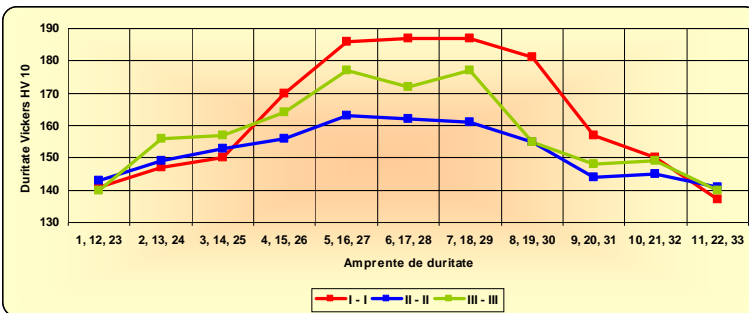
e. Rezultatele încercărilor mecanice de duritate Vickers HV10 realizate pe epruvetele nr. 12 prelevate din probele sudate cap la cap, sunt prezentate în figurile 6.27 - 6.32.



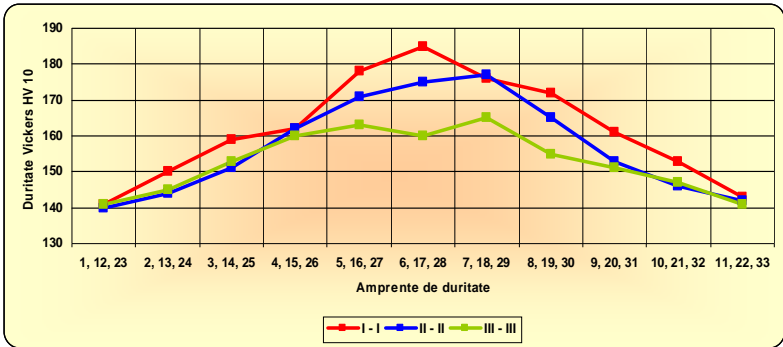
**Fig. 6.27.** Variațiile durităților Vickers HV10 în zonele îmbinărilor sudate, pe cele trei direcții de investigare, pentru epruveta PSA1-12 [37], [39].



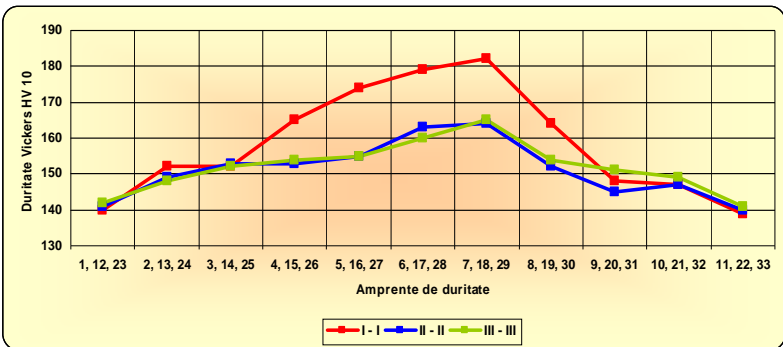
**Fig. 6.28.** Variațiile durităților Vickers HV10 în zonele îmbinărilor sudate, pe cele trei direcții de investigare, pentru epruveta PEA1-12 [37], [39].



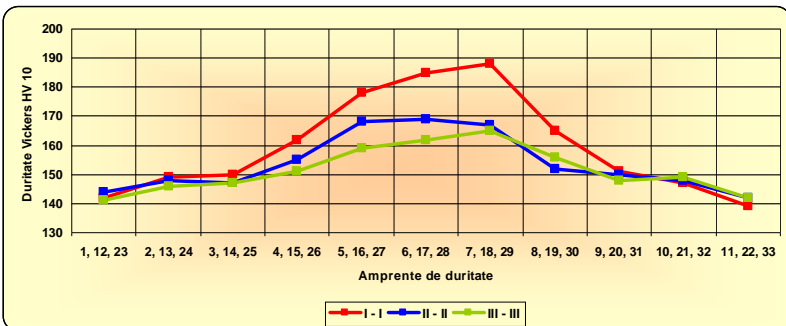
**Fig. 6.29.** Variațiile durităților Vickers HV10 în zonele îmbinărilor sudate, pe cele trei direcții de investigare, pentru epruveta PRSA1C1-12 [39].



**Fig. 6.30.** Variațiile durităților Vickers HV10 în zonele îmbinărilor sudate, pe cele trei direcții de investigare, pentru epruveta PEA1C1-12 [39].



**Fig. 6.31.** Variațiile durităților Vickers HV10 în zonele îmbinărilor sudate, pe cele trei direcții de investigare, pentru epruveta RSC1-12 [39], [67].



**Fig. 6.32.** Variațiile durităților Vickers HV10 în zonele îmbinărilor sudate, pe cele trei direcții de investigare, pentru epruveta REC1-12 [39], [67].

## CAPITOLUL 7

### DETERMINAREA NOXELOR ȘI MODELAREA MATEMATICĂ A CONCENTRAȚIILOR DE CO ȘI DE MICROPARTICULE LA SUDAREA MECANIZATĂ MAG

#### 7.2. Programe experimentale

Programele experimentale privind determinarea noxelor la sudarea mecanizată MAG, s-au desfășurat pe două direcții principale:

- determinarea emisiilor de gaze;
- determinarea concentrațiilor de microparticule;

##### 7.2.1. Determinarea emisiilor de gaze

În standul pentru cercetările experimentale privind determinarea noxelor la sudarea mecanizată MAG, înainte de depunerea cordoanelor de sudare, s-au verificat paralelismul dintre șina tractorului și tablă, distanța duză gaz - tablă și s-a asigurat iluminarea interioară a incintei. În cadrul programului experimental au fost depuse pe două table un număr de 12 cordoane, executate DC<sup>+</sup> pendulat, sinergic, în poziție orizontal PA.

Pentru fiecare pereche sârmă tubulară - gaz de protecție, au fost depuse câte trei cordoane, cu trei viteze de avans a sârmei electrod (4,0; 4,5 și 5,0 m/min).

În timpul depunerilor ( $t_s = 60$  s), s-au determinat valorile efective ale intensităților curenților de sudare  $I_s$  și ale tensiunilor arcului electric  $U_a$ , citite pe panoul pupitrului electronic de comandă PUA 1 a echipamentului de sudare Aristo Lud 320.

După depunerea fiecărui cordon, au fost citite și listate valorile gazelor rezultate după sudare (la partea superioară - s, Fig. 7.1. a și la partea inferioară - i, Fig. 7.1. b) folosind computerul pentru analiza gazelor Multilyzer NG prezentat în figura 7.2.



**Fig. 7.1.** Instalația pentru determinarea noxelor și a emisiilor sonore la sudarea mecanizată

MAG: a- montarea sondei analizorului de gaze la partea superioară a incintei;

b- montarea sondei analizorului de gaze la partea inferioară a incintei [39], [64], [66].

După un timp de 60 de secunde de funcționare a ventilatorului interior, acesta s-a oprit și s-au recitit și listat valorile gazelor rezultate după sudare (la partea superioară - sv și la partea inferioară - iv). Pentru depunerea următorului cordon, s-a demontat rama demontabilă și s-a repornit ventilatorul din interiorul incintei. În scopul unei bune ventilări interioare, a fost utilizat un ventilator suplimentar de uz casnic, ambele lăsate să funcționeze timp de 60 de secunde.

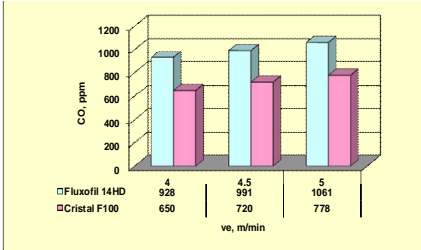
După depunerea fiecărui cordon, a fost demontată rama metalică a incintei, pentru a elimina gazele și fumul rezultate la sudare, folosind două ventilatoare, unul interior și unul



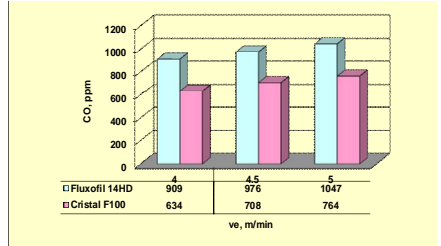
exterior.

În figurile 7.5 - 7.12 sunt prezentate pentru cele patru tipuri de sârme tubulare, cele trei viteze de avans a sârmei și în cele patru condiții de determinare, concentrațiile în CO (ppm). Indiferent de tipul sârmei tubulare, se observă o creștere a concentrațiilor de CO (ppm) odată cu creșterea vitezei de avans a sârmei.

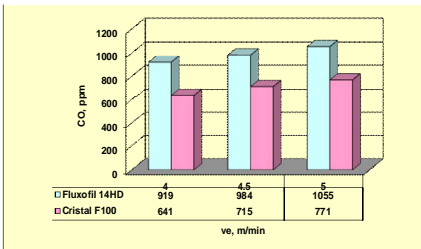
Computerul pentru analiza gazelor Multilyzer NG a permis determinarea următoarelor gaze din procesele de sudare MAG cu sârme tubulare standard și ecologice: CO (ppm), NO (ppm), NO<sub>x</sub> (ppm), CO<sub>2</sub> (%) și O<sub>2</sub> (%).



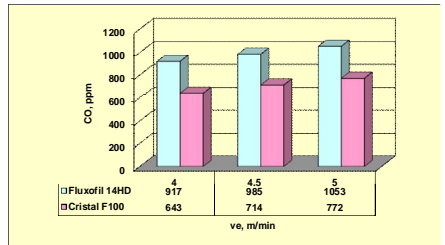
**Fig. 7.5.** Concentrațiile în CO (ppm) determinate la partea superioară a incintei, fără ventilație [39], [64].



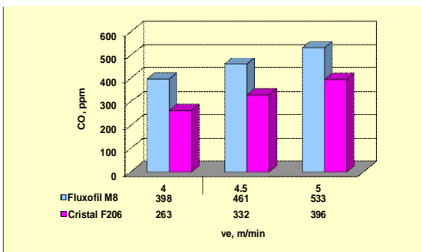
**Fig. 7.6.** Concentrațiile în CO (ppm) determinate la partea inferioară a incintei, fără ventilație [39], [64].



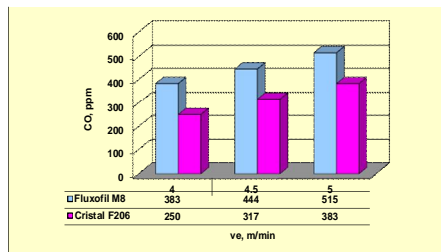
**Fig. 7.7.** Concentrațiile în CO (ppm) determinate la partea superioară a incintei, cu ventilație [39], [64].



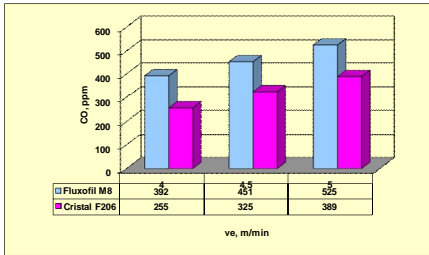
**Fig. 7.8.** Concentrațiile în CO (ppm) determinate la partea inferioară a incintei, cu ventilație [39], [64].



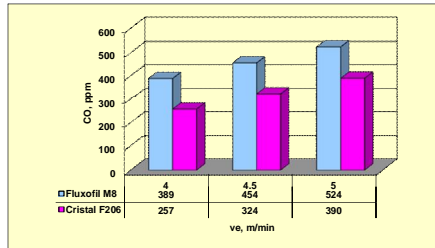
**Fig. 7.9.** Concentrațiile în CO (ppm) determinate la partea superioară a incintei, fără ventilație [39], [66].



**Fig. 7.10.** Concentrațiile în CO (ppm) determinate la partea inferioară a incintei, fără ventilație [39], [66].



**Fig. 7.11.** Concentrațiile în CO (ppm) determinate la partea superioară a incintei, cu ventilație [39], [66].



**Fig. 7.12.** Concentrațiile în CO (ppm) determinate la partea inferioară a incintei, cu ventilație [39], [66].

### 7.2.2. Determinarea concentrațiilor de microparticule

În cadrul programului experimental a fost depus tot pe două table un număr de 12 cordoane, executate DC<sup>+</sup> pendulat, sinergic, în poziție orizontal PA, aplicând aceiași parametri constanți pe timpul experimentărilor.



a



b

**Fig. 7.13.** Instalația pentru determinarea noxelor la sudarea mecanizată MAG: a- montarea sondei aparatului MicroDust Pro; b- determinarea efectivă a concentrațiilor de microparticule [39].

Pentru fiecare pereche sârmă tubulară - gaz de protecție, au fost depuse tot câte trei cordoane de sudură, cu aceleași valori ale vitezei de avans a sârmei electrod (4,0; 4,5 și 5,0 m/min). În timpul depunerilor ( $t_s = 60$  s), s-au determinat valorile efective ale intensităților curenților de sudare  $I_s$  și ale tensiunilor arcului electric  $U_a$ , citite pe panoul pupitrului electronic de comandă PUA 1 a echipamentului de sudare Aristo Lud 320 și au fost înregistrate concentrațiile de microparticule (Fig. 7.13) utilizând aparatul MicroDust Pro (Fig. 7.14).

În figura 7.15 este prezentată o imagine interioară a incintei în timpul determinărilor.

Folosind un PC și software-ul aplicației WinDustPro 1.2.1 se obține pentru fiecare determinare variația în timp a concentrațiilor de microparticule, pentru cele patru tipuri de sârme tubulare și cele trei viteze de avans a sârmei.

În tabelul 7.3 sunt prezentate valorile maxime ale concentrațiilor de microparticule, pentru cele patru tipuri de sârme tubulare și cele trei viteze de avans a sârmei.



**Fig. 7.14.** Aparatul MicroDust Pro [39].



**Fig. 7.15.** Vedere interioară a incintei în timpul determinărilor [39].

**Tabelul 7.3.** Concentrațiile de microparticule la sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare standard și ecologice [39]

Nr. crt.	Sârma tubulară	Viteza de avans a sârmei electrod, $v_e$ , m/min	Concentrația de microparticule, $C_p$ , mg/m <sup>3</sup>
2	rutilică standard Fluxofil 14 HD	4,0	124,98
3		4,5	143,27
4		5,0	158,06
6	rutilică ecologică Cristal F100	4,0	93,906
7		4,5	99,858
8		5,0	108,13
10	cu pulberi metalice standard Fluxofil M 8	4,0	143,17
11		4,5	150,54
12		5,0	157,49
14	cu pulberi metalice ecologică Cristal F206	4,0	129,74
15		4,5	131,24
16		5,0	133,58

## 7.4. Modelarea matematică a concentrațiilor de CO și de microparticule la sudarea mecanizată MAG în funcție de viteza de avans a sârmei electrod

### 7.4.1. Considerații teoretice privind optimizarea prin diferențiere

În acest capitol se urmărește stabilirea corelațiilor între concentrațiile de CO și respectiv concentrațiile de microparticule, în funcție de vitezele de avans a sârmei electrod, pentru cele patru tipuri de sârme tubulare. În majoritatea investigațiilor experimentale, rezultatele se prezintă sub forma unei mulțimi de puncte  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, n$ , între numerele  $x_i$  și  $y_i$  existând o dependență funcțională de forma [125]:

$$y = f(x) \quad (7.2)$$

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

➤ variație liniară:  $y = ax + b$  (7.3)

➤ variație parabolică:  $y = ax^2 + bx + c$  (7.4)

➤ variație cubică:  $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$  (7.5)

➤ variație pătratică:  $y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$  (7.6)

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

**7.4.4. Modelarea matematică a concentrațiilor de CO la sudarea mecanizată MAG în funcție de viteza de avans a sârmei electrod**

Pentru stabilirea corelațiilor între concentrațiile de CO, în funcție de viteza de avans a sârmei electrod, pentru cele patru tipuri de sârme tubulare, s-a pornit de la rezultatele experimentale obținute (Tabelul 7.4).

**Tabelul 7.4.** Concentrațiile de CO în funcție de viteza de avans a sârmei electrod pentru diferite mărci de sârme tubulare [39]

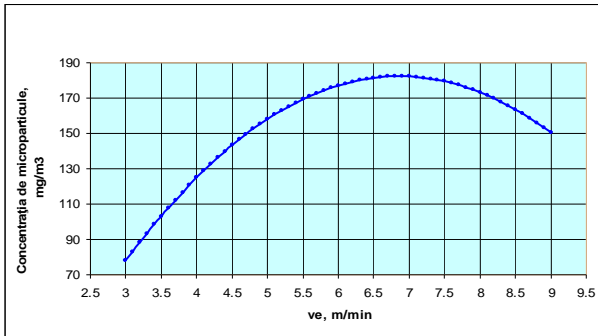
Nr. crt.	Sârma tubulară	Viteza de avans a sârmei electrod, $v_{e,}$ m/min		Concentrația de CO, $C_{co,}$ ppm	
1	rutilică standard Fluxofil 14 HD	$v_{e0}$	0	$C_{cors0}$	141
2		$v_{e4}$	4,0	$C_{cors4}$	928
3		$v_{e4,5}$	4,5	$C_{cors4,5}$	991
4		$v_{e5}$	5,0	$C_{cors5}$	1061
5	rutilică ecologică Cristal F100	$v_{e0}$	0	$C_{core0}$	141
6		$v_{e4}$	4,0	$C_{core4}$	650
7		$v_{e4,5}$	4,5	$C_{core4,5}$	720
8		$v_{e5}$	5,0	$C_{core5}$	778
9	cu pulberi metalice standard Fluxofil M 8	$v_{e0}$	0	$C_{cops0}$	141
10		$v_{e4}$	4,0	$C_{cops4}$	398
11		$v_{e4,5}$	4,5	$C_{cops4,5}$	461
12		$v_{e5}$	5,0	$C_{cops5}$	533
13	cu pulberi metalice ecologică Cristal F206	$v_{e0}$	0	$C_{cope0}$	141
14		$v_{e4}$	4,0	$C_{cope4}$	263
15		$v_{e4,5}$	4,5	$C_{cope4,5}$	332
16		$v_{e5}$	5,0	$C_{cope5}$	396

**7.4.4.1. Modelarea matematică a concentrațiilor de CO la sudarea mecanizată MAG - C cu sârmă tubulară rutilică standard Fluxofil 14HD în funcție de viteza de avans a sârmei electrod**

Concentrația de CO pentru o anumită viteză de avans a sârmei tubulare rutilice standard Fluxofil 14 HD, în funcție de concentrația de CO când nu se sudează și viteza de avans a sârmei, variază după relația [39]:

$$C_{cors}(v_e) = 141 \times (0.0992907798 \times v_e^2 + 0.0496453913 \times v_e + 4.7943262383) \quad (7.39)$$

În figura 7.29 este prezentată distribuția concentrației de CO pentru sârma tubulară rutilică standard Fluxofil 14 HD, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare.

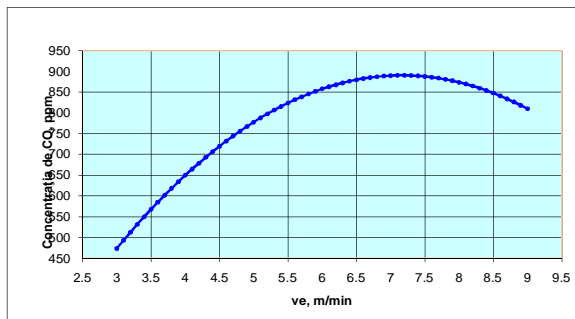


**Fig. 7.29.** Distribuția concentrației de CO pentru sârma tubulară rutilică standard Fluxofil 14 HD, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare [39].

**7.4.4.2. Modelarea matematică a concentrațiilor de CO la sudarea mecanizată MAG - C cu sârma tubulară rutilică ecologică Cristal F100 în funcție de viteza de avans a sârmei electrod**

Concentrația de CO pentru o anumită viteză de avans a sârmei tubulare rutilice ecologice Cristal F100, în funcție de concentrația de CO când nu se sudează și viteza de avans a sârmei, variază după relația [39]:

$$C_{core}(v_e) = 141 \times (-0.1702127656 \times v_e^2 + 2.4397163121 \times v_e - 2.4255319051) \quad (7.40)$$



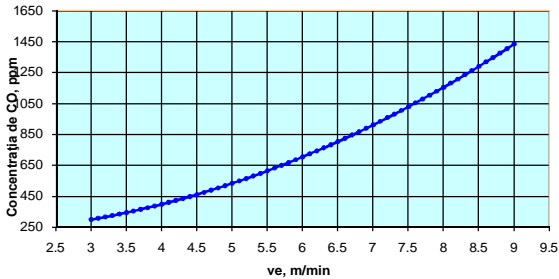
**Fig. 7.30.** Distribuția concentrației de CO pentru sârma tubulară rutilică ecologică Cristal F100, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare [39].

În figura 7.30 este prezentată distribuția concentrației de CO pentru sârma tubulară rutilică ecologică Cristal F100, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare.

**7.4.4.3. Modelarea matematică a concentrațiilor de CO la sudarea mecanizată MAG - M cu sârma tubulară cu pulberi metalice standard Fluxofil M8 în funcție de viteza de avans a sârmei electrod**

Concentrația de CO pentru o anumită viteză de avans a sârmei tubulare cu pulberi metalice standard Fluxofil M8, în funcție de concentrația de CO când nu se sudează și viteza de avans a sârmei, variază după relația [39]:

$$C_{cops}(v_e) = 141 \times (0.1276595745 \times v_e^2 - 0.1914893612 \times v_e + 1.5460992921) \quad (7.41)$$



**Fig. 7.31.** Distribuția concentrației de CO pentru sârma tubulară cu pulberi metalice standard Fluxofil M8, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare [39].

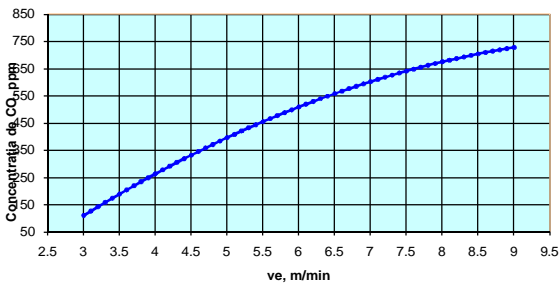
În figura 7.31 este prezentată distribuția concentrației de CO pentru sârma tubulară cu pulberi metalice standard Fluxofil M 8, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare.

#### **7.4.4.4. Modelarea matematică a concentrațiilor de CO la sudarea mecanizată MAG - M cu sârma tubulară cu pulberi metalice ecologică Cristal F206 în funcție de viteza de avans a sârmei electrod**

Concentrația de CO pentru o anumită viteză de avans a sârmei tubulare cu pulberi metalice ecologice Cristal F206, în funcție de concentrația de CO când nu se sudează și viteza de avans a sârmei, variază după relația [39]:

$$C_{\text{cope}}(v_e) = 141 \times (-0.0709219860 \times v_e^2 + 1.5815602830 \times v_e - 3.3262411337) \quad (7.42)$$

În figura 7.32 este prezentată distribuția concentrației de CO pentru sârma tubulară cu pulberi metalice ecologică Cristal F206, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare.



**Fig. 7.32.** Distribuția concentrației de CO pentru sârma tubulară cu pulberi metalice ecologică Cristal F206, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare [39].

#### **7.4.5. Modelarea matematică a concentrațiilor de microparticule la sudarea mecanizată MAG în funcție de viteza de avans a sârmei electrod**

Pentru stabilirea corelațiilor între concentrațiile de microparticule, în funcție de viteza de avans a sârmei electrod, pentru cele patru tipuri de sârme tubulare, s-a pornit de la rezultatele experimentale obținute (Tabelul 7.5).

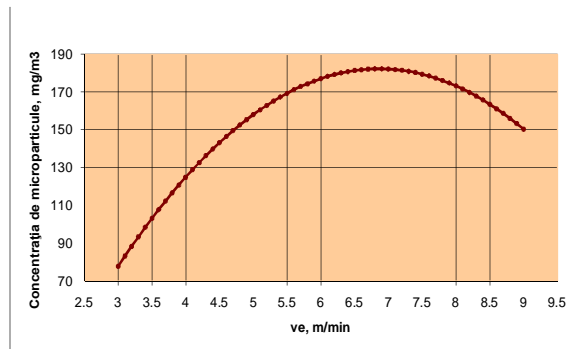
**Tabelul 7.5.** Concentrațiile de microparticule la sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare [39]

Nr. crt.	Sârma tubulară	Viteza de avans a sârmei electrod, $v_e$ , m/min	Concentrația de microparticule, $C_p$ , mg/m <sup>3</sup>		
1	rutilică standard Fluxofil 14 HD	$v_{e0}$	0	$C_{prs0}$	1,031
2		$v_{e4}$	4,0	$C_{prs4}$	124,98
3		$v_{e4,5}$	4,5	$C_{prs4,5}$	143,27
4		$v_{e5}$	5,0	$C_{prs5}$	158,06
5	rutilică ecologică Cristal F100	$v_{e0}$	0	$C_{prf0}$	1,031
6		$v_{e4}$	4,0	$C_{prf4}$	93,906
7		$v_{e4,5}$	4,5	$C_{prf4,5}$	99,858
8		$v_{e5}$	5,0	$C_{prf5}$	108,13
9	cu pulberi metalice standard Fluxofil M 8	$v_{e0}$	0	$C_{pps0}$	1,031
10		$v_{e4}$	4,0	$C_{pps4}$	143,17
11		$v_{e4,5}$	4,5	$C_{pps4,5}$	150,54
12		$v_{e5}$	5,0	$C_{pps5}$	157,49
13	cu pulberi metalice ecologică Cristal F206	$v_{e0}$	0	$C_{ppf0}$	1,031
14		$v_{e4}$	4,0	$C_{ppf4}$	129,74
15		$v_{e4,5}$	4,5	$C_{ppf4,5}$	131,24
16		$v_{e5}$	5,0	$C_{ppf5}$	133,58

#### 7.4.5.1. Modelarea matematică a concentrațiilor de microparticule la sudarea mecanizată MAG - C cu sârmă tubulară rutilică standard Fluxofil 14HD în funcție de viteza de avans a sârmei electrod

Concentrația de microparticule pentru o anumită viteză de avans a sârmei tubulare rutilice standard Fluxofil 14 HD, în funcție de concentrația de microparticule când nu se sudează și viteza de avans a sârmei, variază după relația [39]:

$$C_{prs}(v_e) = 1,031 \times (-6.7895247303 \times v_e^2 + 93.1910765916 \times v_e - 142.9097962379) \quad (7.44)$$



**Fig. 7.34.** Distribuția concentrației de microparticule pentru sârma tubulară rutilică standard Fluxofil 14 HD, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare [39].

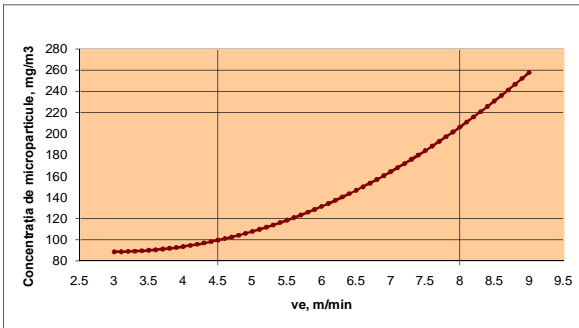
În figura 7.34 este prezentată distribuția concentrației de microparticule pentru sârma tubulară rutilică standard Fluxofil 14 HD, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare.

**7.4.5.2. Modelarea matematică a concentrațiilor de microparticule la sudarea mecanizată MAG - C cu sârmă tubulară rutilică ecologică Cristal F100 în funcție de viteza de avans a sârmei electrod**

Concentrația de microparticule pentru o anumită viteză de avans a sârmei tubulare rutilice ecologice Cristal F100, în funcție de concentrația de microparticule când nu se sudează și viteza de avans a sârmei, variază după relația [39]:

$$C_{pre}(v_e) = 1,031 \times (4.5004849546 \times v_e^2 - 26.7080504447 \times v_e + 125.9068865776) \quad (7.45)$$

În figura 7.35 este prezentată distribuția concentrației demicroparticule pentru sârma tubulară rutilică ecologică Cristal F100, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare.

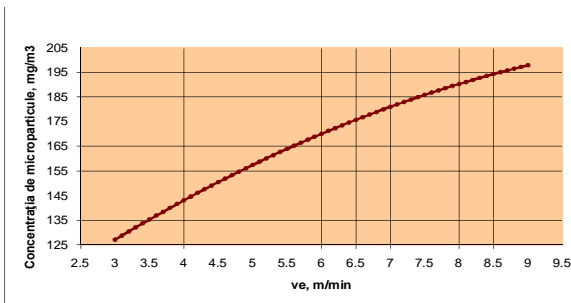


**Fig. 7.35.** Distribuția concentrației de microparticule pentru sârma tubulară rutilică ecologică Cristal F100, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare [39].

**7.4.5.3. Modelarea matematică a concentrațiilor de microparticule la sudarea mecanizată MAG - M cu sârmă tubulară cu pulberi metalice standard Fluxofil M8 în funcție de viteza de avans a sârmei electrod**

Concentrația de microparticule pentru o anumită viteză de avans a sârmei tubulare cu pulberi metalice standard Fluxofil M8, în funcție de concentrația de de microparticule când nu se sudează și viteza de avans a sârmei, variază după relația [39]:

$$C_{pps}(v_e) = 1,031 \times (-0.8147429638 \times v_e^2 + 21.2221144587 \times v_e + 67.0126091242) \quad (7.46)$$



**Fig. 7.36.** Distribuția concentrației de microparticule pentru sârma tubulară cu pulberi metalice standard Fluxofil M8, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare [39].

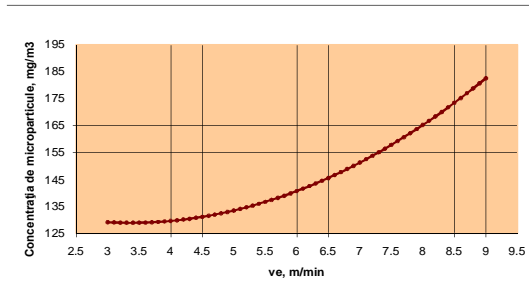


În figura 7.36 este prezentată distribuția concentrației de microparticule pentru sârma tubulară cu pulberi metalice standard Fluxofil M8, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare.

#### 7.4.5.4. Modelarea matematică a concentrațiilor de microparticule la sudarea mecanizată MAG - M cu sârmă tubulară cu pulberi metalice ecologică Cristal F206 în funcție de viteza de avans a sârmei electrod

Concentrația de microparticule pentru o anumită viteză de avans a sârmei tubulare cu pulberi metalice ecologice Cristal F206, în funcție de concentrația de microparticule când nu se sudează și viteza de avans a sârmei, variază după relația [39]:

$$C_{ppe}(v_e) = 1,031 \times (1.6294859312 \times v_e^2 - 10.9408341944 \times v_e + 143.5305529237) \quad (7.47)$$



**Fig. 7.37.** Distribuția concentrației de microparticule pentru sârma tubulară cu pulberi metalice ecologice Cristal F206, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare [39].

În figura 7.37 este prezentată distribuția concentrației de microparticule pentru sârma tubulară cu pulberi metalice ecologică Cristal F206, în funcție de viteza de avans a sârmei tubulare.

## CAPITOLUL 8

### CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

#### 8.1. Concluzii finale

În urma cercetărilor experimentale privind sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice (standard și ecologice) pe suport ceramic și determinarea noxelor, incluzând cele mai actuale metode de investigare, se evidențiază următoarele concluzii finale, grupate distinct pe cele trei cazuri de studii și analize întreprinse.

A. *Rezultatele cercetărilor experimentale preliminare privind sudarea mecanizată MAG* au condus la formularea următoarelor concluzii importante:

1. Pe baza determinărilor caracteristicilor de topire și de depunere ale sârmelor tubulare rutilice, standard și ecologice, pot fi formulate concluzii privind productivitatea procedurii de sudare MAG - C:

➤ la depunerile pe cele două plăci, indiferent de tipul sârmei tubulare rutilice, s-a constatat o bună stabilitate a arcului electric, urmată de o desprindere ușoară a zgurii;

➤ pentru aceeași lungime (10.000 mm), masa sârmei tubulare rutilice ecologice Cristal F100 a fost mai mică cu 2,67% față de cea a sârmei tubulare rutilice standard Fluxofil 14HD. Acest lucru a condus la obținerea unei mase a metalului depus și a unui randament nominal în

cazul sârmei tubulare rutilice ecologice mai mici cu 6,07% și respectiv 6,06% față de valorile obținute cu sârmă tubulară rutilică standard;

➤ coeficienții de topire, respectiv de depunere ai sârmei tubulare rutilice ecologice, au fost mai mari cu 9,67% și respectiv 3,70% față de cei ai sârmei tubulare rutilice standard;

➤ coeficientul de pierdere a sârmei tubulare rutilice ecologice a fost mai mare cu 38,46% față de cel a sârmei tubulare rutilice standard;

➤ viteza de depunere a sârmei tubulare rutilice ecologice a fost mai mică cu 6,08% față de cea a sârmei tubulare rutilice standard, în condițiile unor viteze de topire egale (32,20 g/min).

2. Pe baza determinărilor caracteristicilor de topire și de depunere ale sârmelor tubulare cu pulberi metalice, standard și ecologice, pot fi formulate concluzii privind productivitatea procedurii de sudare MAG - M:

➤ la depunerile pe cele două plăci, indiferent de tipul sârmei tubulare cu pulberi metalice, s-a constatat o bună stabilitate a arcului electric, urmată de o desprindere ușoară a urmelor de zgură;

➤ pentru aceeași lungime (10.000 mm), masa sârmei tubulare cu pulberi metalice ecologice Cristal F206 a fost mai mică cu 3,53% față de cea a sârmei tubulare cu pulberi metalice standard Fluxofil M8. Acest lucru a condus la obținerea unei mase a metalului depus, în cazul sârmei tubulare cu pulberi metalice ecologice, mai mică cu 2,33% față de valoarea obținută cu sârmă tubulară cu pulberi metalice standard;

➤ în ambele cazuri, randamentele nominale a sârmelor tubulare au fost de 100%, motiv pentru care coeficienții de pierdere au fost zero;

➤ coeficienții de topire și de depunere în cazul sârmei tubulare cu pulberi metalice ecologice au fost mai mari cu 7,9% față de sârma tubulară cu pulberi metalice standard;

➤ vitezele de topire și de depunere a sârmei tubulare cu pulberi metalice ecologice au fost ambele mai mici cu 2,38% față de cazul în care s-a utilizat sârma tubulară cu pulberi metalice standard.

3. În urma analizei influențelor parametrilor tehnologici de sudare asupra elementelor geometrice ale cordoanelor depuse (lățimea  $b$ , supraînălțarea  $h$  și pătrunderea  $p$ ), la sudarea MAG - C, pot fi formulate următoarele concluzii:

➤ creșterea vitezei de avans a sârmei electrod  $v_e$  conduce la creșterea ariei cordonului de sudură depus (crește lățimea cordonului  $b$  și supraînălțarea  $h$ ). Pătrunderea  $p$  variază nesemnificativ;

➤ creșterea vitezei de sudare  $v_s$  conduce la micșorarea ariei cordonului depus (scade lățimea cordonului  $b$  și supraînălțarea  $h$ ). Pătrunderea  $p$  se micșorează;

➤ creșterea tensiunii arcului electric  $U_a$  are o influență majoră asupra lățimii cordonului de sudură depus ( $b$  crește semnificativ). Celelalte elemente geometrice se modifică nesemnificativ, supraînălțarea  $h$  și pătrunderea  $p$  se micșorează.

4. În urma analizei influențelor parametrilor tehnologici de sudare asupra elementelor geometrice ale cordoanelor de sudură depuse (lățimea  $b$ , supraînălțarea  $h$  și pătrunderea  $p$ ), la sudarea MAG - M cu arc pulsant, pot fi formulate aceleași concluzii și, în plus, se poate observa influența majoră pe care creșterea curentului de puls  $I_b$  o are asupra pătrunderii ( $p$  crește semnificativ). Celelalte elemente geometrice se modifică nesemnificativ, lățimea cordonului  $b$  și supraînălțarea  $h$  se micșorează.

5. În urma analizei influențelor parametrilor tehnologici de sudare (viteza de avans a sârmei electrod  $v_e$ , viteza de sudare  $v_s$  și tensiunea arcului electric  $U_a$ ), asupra dimensiunilor zonelor influențate termic la sudarea MAG - C, pot fi formulate următoarele concluzii:

➤ creșterea valorilor vitezei de avans a sârmei electrod  $v_e$  conduce la creșterea dimensiunilor băilor de metal depus și implicit la reducerea dimensiunilor zonelor influențate termic;

➤ creșterea valorilor vitezei de sudare  $v_s$  conduce la reducerea dimensiunilor băilor de metal depus și a timpilor de staționare a arcului electric pe tablă, ambele fenomene conducând la reducerea dimensiunilor zonelor influențate termic;

➤ creșterea valorilor tensiunii arcului electric  $U_a$  conduce la creșterea lățimilor băilor metalice, deci implicit la reducerea dimensiunilor zonelor influențate termic;

➤ creșterea respectiv micșorarea dimensiunilor zonei influențate termic este sesizată atât în plan orizontal, cât și în plan vertical.

6. În urma analizei influențelor parametrilor tehnologici de sudare (viteza de avans a sârmei electrod  $v_e$ , viteza de sudare  $v_s$ , tensiunea arcului electric  $U_a$  și curentul de puls  $I_p$ ), asupra dimensiunilor zonelor influențate termic la sudarea MAG - M cu arc pulsat, pot fi formulate aceleași concluzii și, în plus, se poate observa modul în care creșterile valorilor curentului de puls  $I_p$  acționează în sensul creșterii temperaturii băii de metal depus, deci și a măririi dimensiunilor zonelor influențate termic.

B. *Rezultatele cercetărilor experimentale privind sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare standard și ecologice pe suport ceramic* au condus la următoarele concluzii:

7. În timpul realizării probelor cap la cap, arcul electric a fost stabil, obținându-se un bun aspect al cordoanelor, cu o stropire redusă și fină la probele sudate MAG - M, comparativ cu probele sudate MAG - C, caz în care stropirea a fost mai accentuată și cu stropi de dimensiuni mai mari. La sudarea MAG - C zgura a acoperit bine rândurile și straturile de sudură, iar după solidificare s-a desprins ușor. Aspectul cordoanelor de sudură a fost mai uniform în cazul sudării MAG - M.

8. În urma controlului vizual și gamma, cele șase probe sudate cap la cap mecanizat MAG în poziția dificilă PF au fost acceptate.

9. Lățimile și supraînălțările pătrunderilor la rădăcină și a ultimelor straturi depuse pentru cele șase probe sudate cap la cap mecanizat MAG în poziția dificilă PF s-au situat în limitele admise.

10. Cele șase epruvete de tracțiune îmbinare sudată s-au rupt în materialul de bază la valori apropiate (472 MPa pentru proba PSA1; 467 MPa pentru proba PEA1; 472 MPa pentru proba PRSA1C1, 469 MPa pentru proba PREA1C1, 476 MPa pentru proba RSC1 și 470 MPa pentru proba REC1), valori superioare față de rezistența de rupere a materialului de bază achiziționat (461 MPa).

11. Examinarea suprafețelor rupturii după încercarea de rupere a epruvetelor plate cu creștătură în dreptul sudurii, nu evidențiat prezența unor defecte precum sufluri, fisuri, lipsă de topire, lipsă de pătrundere și incluziuni solide.

12. Rezultatele încercărilor de îndoire transversală frontală cu rădăcina comprimată sau întinsă și laterală, efectuate pe cele 18 epruvete, nu au evidențiat prezența unor defecte.

13. Valorile cele mai mari ale încovoierilor prin șoc pe epruvete Charpy cu creștătură în V la -20°C s-au obținut în zonele influențate termic (ZIT). Valorile medii ale încovoierilor prin șoc în ZIT sunt superioare cu (16,24% pentru proba PSA1; 5,48% pentru proba PEA1; 10,88% pentru proba PRSA1C1, 11,71% pentru proba PREA1C1, 9,47% pentru proba RSC1 și 13,27% pentru proba REC1) față de valorile medii ale încovoierilor prin șoc în SUD.

14. Valorile maxime ale durităților Vickers HV10 s-au obținut pe direcțiile I - I, medii pe direcția II - II și minime pe direcția III - III. Indiferent de protecția arcului electric de sudare (CO<sub>2</sub> sau Corgon 18), dar și de tipul sârmelor tubulare, rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice, valorile maxime ale durităților Vickers HV10 s-au obținut în SUD.

15. Analiza microscopică nu a scos în evidență prezența defectelor interioare de tipul porilor, incluziunilor de zgură sau a fisurilor.

16. Analiza microscopică a indicat aceiași constituenți structurali, indiferent de protecția arcului electric de sudare (CO<sub>2</sub> sau Corgon 18) și de tipul sârmelor tubulare, rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice.

C. *Determinarea noxelor și modelarea matematică a concentrațiilor de CO și de microparticule la sudarea mecanizată MAG* au condus la formularea următoarelor concluzii:

17. Indiferent de tipul sârmei tubulare, valorile cele mai mari ale concentrațiilor de CO (ppm) s-au obținut la partea superioară fără ventilație, urmate în mod descrescător de partea superioară cu ventilație partea inferioară cu ventilație și de partea inferioară fără ventilație.

18. În cazul utilizării sârmelor tubulare rutilice standard Fluxofil 14HD comparativ cu varianta utilizării sârmelor tubulare rutilice ecologice Cristal F100, creșterea vitezei de avans cu 0,5 m/min în domeniul 4,0 - 5,0 m/min a condus la partea superioară fără ventilație (situație concretă întâlnită în practică în cazul sudării în spații închise) la creșteri ale concentrațiilor de CO (ppm) cu 6,78% și cu 7,06% comparativ cu 10,76%, respectiv cu 8,05%. În concluzie,

utilizarea sârmelor tubulare rutilice ecologice are ca efect reducerea concentrațiilor de CO (ppm) în medie cu 27,69% comparativ cu utilizarea sârmelor tubulare rutilice standard. Valorile noxelor obținute în cazul celor trei gaze au fost aproximativ constante (NO: 1 - 2 ppm, NO<sub>x</sub>: 1 - 2 ppm, O<sub>2</sub>: 19,8 - 20,6%), și nu a fost semnalată prezența dioxidului de carbon.

19. În cazul utilizării sârmelor tubulare cu pulberi metalice standard Fluxofil M8 comparativ cu varianta utilizării sârmelor tubulare cu pulberi metalice ecologice Cristal F206, creșterea vitezei de avans cu 0,5 m/min în domeniul 4,0 - 5,0 m/min, a condus la creșteri ale concentrațiilor de CO (ppm) cu 15,82% și cu 15,61% comparativ cu 26,23% respectiv cu 19,27%, pentru partea superioară fără ventilație (situație concretă întâlnită în practică în cazul sudării în spații închise). În concluzie, utilizarea sârmelor tubulare cu pulberi metalice ecologice are ca efect reducerea concentrațiilor de CO (ppm) în medie cu 19,03% comparativ cu utilizarea sârmelor tubulare cu pulberi metalice standard. Valorile noxelor obținute CO<sub>2</sub> și O<sub>2</sub> au fost aproximativ constante, (0,3 - 0,4%, respectiv 20,3 - 20,5%) și lipsa NO și NO<sub>x</sub>.

20. În cazul utilizării sârmelor tubulare rutilice standard Fluxofil 14HD comparativ cu utilizarea sârmelor tubulare rutilice ecologice Cristal F100, creșterea vitezei de avans cu 0,5 m/min în domeniul 4,0 - 5,0 m/min a condus la creșteri ale concentrațiilor de microparticule cu 14,63% și cu 19,32%, comparativ cu 6,33%, respectiv cu 8,28%. În concluzie, utilizarea sârmelor tubulare rutilice ecologice are ca efect reducerea concentrațiilor de microparticule (mg/m<sup>3</sup>) în medie cu 28,92%, comparativ cu utilizarea sârmelor tubulare rutilice standard.

21. În cazul utilizării sârmelor tubulare cu pulberi metalice standard Fluxofil M8 comparativ cu utilizarea sârmelor tubulare cu pulberi metalice ecologice Cristal F206, creșterea vitezei de avans cu 0,5 m/min în domeniul 4,0 - 5,0 m/min, a condus la creșteri ale concentrațiilor de microparticule cu 5,14% și cu 4,61%, comparativ cu 1,15%, respectiv 1,78%. În concluzie, utilizarea sârmelor tubulare cu pulberi metalice ecologice are ca efect reducerea concentrațiilor de microparticule (mg/m<sup>3</sup>) în medie cu 12,41% comparativ cu utilizarea sârmelor tubulare cu pulberi metalice standard.

22. Între concentrațiile de CO și concentrațiile de microparticule în funcție de viteza de avans a sârmei electrod, pentru cele patru tipuri de sârme tubulare și concentrațiile de CO și concentrațiile de microparticule când nu se sudează, există dependențe approximate prin funcția cu variație parabolică.

23. Aplicând una dintre cele mai des utilizate metode pentru modelarea matematică a datelor experimentale, s-au obținut relații pentru aproximarea analitică a concentrațiilor de CO și a concentrațiilor de microparticule în funcție de viteza de avans a sârmei electrod, pentru cele patru tipuri de sârme tubulare și concentrațiile de CO și concentrațiile de microparticule când nu se sudează.

24. Pentru oricare din cele patru tipuri de sârme tubulare, pentru care cunoaștem concentrațiile de CO și concentrațiile de microparticule când nu se sudează, modificarea vitezei de avans a sârmei electrod face posibilă estimarea concentrației de CO și a concentrației de microparticule pentru o anumită viteză de avans a sârmei electrod.

## 8.2. Contribuții originale

Prin derularea cercetărilor experimentale privind probele cap la cap pe suport ceramic și determinarea noxelor la sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice (standard și ecologice) se evidențiază o serie de contribuții originale în domeniu, atât în plan teoretic, cât și în plan experimental.

### 8.2.1. Contribuții pe plan teoretic

Pentru analiza sudării mecanizate MAG pe suport ceramic, folosind sârme tubulare ecologice, se pot evidenția următoarele contribuții originale pe plan teoretic:

1. Stadiul actual al cercetărilor privind sudarea mecanizată MAG pe suport ceramic, cu accent deosebit pe tipurile de moduri de transfer, susținerea băii de metal topit pe suporturi ceramice și cercetările privind sudarea MAG pe suport ceramic în domeniul naval și siderurgic.

2. Stadiul actual al cercetărilor privind noxele din procesul de sudare MAG cu sârme

tubulare, cu accent deosebit pe principalele gaze și fumuri rezultate în urma operațiilor de sudare prin topire, efectele energiilor radiante rezultate în urma operațiilor de sudare prin topire asupra sudorilor, elaborarea de sârme tubulare ecologice, cercetările privind determinarea substanțelor poluante care apar la sudarea MAG și măsurile pentru protejarea sudorului.

3. Stabilirea dimensiunilor probelor sudate cap la cap, a modului de prelevare a epruvetelor pentru încercările mecanice de laborator și a analizelor macroscopice și microscopice.

4. Considerații teoretice privind optimizarea prin diferențiere.

5. Modelarea matematică a concentrațiilor de CO la sudarea mecanizată MAG în funcție de viteza de avans a sârmei electrod.

6. Modelarea matematică a concentrațiilor de microparticule la sudarea mecanizată MAG în funcție de viteza de avans a sârmei electrod.

### **8.2.2. Contribuții pe plan experimental**

Pentru analiza sudării mecanizate MAG pe suport ceramic, folosind sârme tubulare ecologice, contribuțiile originale pe plan experimental se referă la:

3. Proiectarea, realizarea și experimentarea unor standuri destinate realizării cercetărilor experimentale preliminare, a probelor sudate cap la cap pe suport ceramic și a determinării noxelor la sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare standard și ecologice.

4. Determinarea coeficienților de topire și de depunere la sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare standard și ecologice.

3. Cercetări experimentale privind influențele parametrilor de proces (viteza de avans a sârmei electrod  $v_e$ , viteza de sudare  $v_s$ , tensiunea arcului  $U_a$  și curentul de sudare  $I_s$ ) la sudarea mecanizată MAG - C cu sârme tubulare rutilice (standard și ecologice), asupra geometriilor cordoanelor de sudură depuse (lățimea  $b$ , supraînălțarea  $h$  și pătrunderea  $p$ ) și a dimensiunilor zonelor influențate termic.

4. Cercetări experimentale privind influențele parametrilor de proces (viteza de avans a sârmei electrod  $v_e$ , viteza de sudare  $v_s$ , tensiunea arcului  $U_a$  și curentul de puls  $I_p$ ) la sudarea mecanizată MAG - M cu sârme tubulare cu pulberi metalice (standard și ecologice), asupra geometriilor cordoanelor de sudură depuse (lățimea  $b$ , supraînălțarea  $h$  și pătrunderea  $p$ ) și a dimensiunilor zonelor influențate termic.

5. Cercetări experimentale privind stabilirea parametrilor tehnologici de sudare și de pendulare pentru realizarea straturilor de sudură în rostul dintre componente.

6. Cercetări experimentale privind sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice pe suport ceramic.

7. Cercetări experimentale privind determinarea emisiilor de gaze la sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice.

8. Cercetări experimentale privind determinarea concentrațiilor de microparticule la sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare rutilice și cu pulberi metalice, standard și ecologice.

### **8.2.3. Valorificarea rezultatelor cercetării**

O parte dintre cercetările teoretice și experimentale cuprinse în cadrul tezei de doctorat au fost comunicate în cadrul manifestărilor științifice naționale și internaționale organizate, în țară și în străinătate, și au fost valorificate în *9 lucrări științifice (1 ca prim autor)*.

## **8.3. Direcții viitoare de cercetare**

Cercetările teoretice și experimentale în domeniul sudării mecanizate MAG pe suport ceramic folosind sârme tubulare standard și ecologice, rămân în continuare deschise, în următoarele direcții viitoare de cercetare:

1. Continuarea cercetărilor experimentale pe alte mărci și grosimi de oțeluri navale.

2. Continuarea cercetărilor experimentale, folosind alte tipuri de sârme tubulare, dar și sârme pline, precum și sârme tubulare cu autoprotecție.

3. Utilizarea în cadrul cercetărilor experimentale, a pistolulelor de sudare cu aspirația fumului și a gazelor, dar și a aspiratoarelor de noxe fixe sau mobile.

4. Analiza calitativă a microparticulelor la sudarea mecanizată MAG cu sârme pline, tubulare și cu autoprotecție.

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

## BIBLIOGRAFIE

3. Alexandrina, M., Solomon, Ghe., Cicic, D. T., *Studiul influenței suporturilor ceramice asupra calității îmbinărilor sudate folosite în construcțiile navale*, Conferința Internațională ASR, Sudarea în România în pragul aderării la Uniunea Europeană, Galați, 28 - 30 septembrie 2005, ISSN 1843 - 4738, pag. 194 - 204.

10. Antonini, J. M., Krishna Murthy G. G., Rogers, R. A., Albert, R., Eagar, T. W., Ulrich, G. D., Brain, J. D., *How Welding Fumes Affect the Welder*, Welding Journal, 1998, pag. 55 - 59.

20. Burcă, M., Negoieșcu, S., *Sudarea MIG - MAG*, Editura Sudura, Timișoara, 2004.

23. Carpenter, K. R., Monaghan, B. J., Norrish, J., *Analysis of Fume Formation Rate and Fume Particle Composition for Gas Metal Arc Welding (GMAW) of Plain Carbon Steel Using Different Shielding Gas Compositions*, ISI J. International, 2009, Vol. 49, No. 3, pag. 416 - 420.

29. Deam, R. T., Simpson, S. W., Haidar, J., *A semi-empirical Model of the Fume Formation from Gas Metal Arc Welding*, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 33, No. 11, June 2000, pag. 1393 - 1402.

37. Frîncu, O., Mihăilescu, D., *Mechanized MAG - M Welding with Standard and Ecological Rutile Cored Wire*, The Annals of Dunărea de Jos University of Galați, Fascicle XII, Welding Equipment and Technology, Year XXIII, 2012, ISSN 1221 - 4639, pag. 10 - 14.

38. Frîncu, O., *Cercetări experimentale privind sudarea mecanizată MAG pe suport ceramic cu sârme tubulare standard și cu emisii reduse de fum*, Raport de cercetare științifică I, Universitatea Dunărea de Jos din Galați, 2011.

39. Frîncu, O., *Cercetări experimentale privind determinarea noxelor la sudarea MAG cu sârme tubulare standard și cu emisii reduse de fum*, Raport de cercetare științifică II, Universitatea Dunărea de Jos din Galați, 2011.

45. Hewitt, P., Hirst, A., *Development and Validation of a Model to Predict the Metallic Composition of Flux Cored Arc Welding Fumes*, International Institute of Welding, Commission VIII - Health and Safety, (Document No. VIII - 1635 - 1992), Roissy, France.

52. Jenkins, N. T., Eagar, T. W., *Chemical Analysis of Welding Fume Particles*, Supliment to the Welding Journals, June 2005, pag. 87 - 93.

58. Lu, L., Zhang, L., Li, G., Guo, W., Liang, W., Zheng, W., *Alteration of Serum Concentrations of Manganese, Iron, Ferritin and Transferrin Receptor Following Exposure to Welding Fumes Among Career Welders*, Neuro Toxicology, 2005, pag. 257 - 265.

61. Matusiak, J., Rams, B., *Emission of Dust and Gases in Tubular Cored Wire Welding of Steel*, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (Jose), 2003, Vol. 9, No. 3, pag. 333 - 350.

63. Mendez, P. F., Jenkins, N. T., Eagar, T. W., *Effect of Electrode Droplet Size on Evaporation and Fume Generation in GMAW*, Gas Metal Arc Welding for the 21<sup>st</sup> Century, Orlando, FL, American Welding Society, December 6 - 8, 2000, pag. 325 - 332.

64. Mihăilescu, D., Belcin, V., Frîncu, O., Mihăilescu, A., *The comparative Analysis of the Welding Gaz Emissions to MAG - M Machine Welding with Metal Powders Cored Wire*, Sudura, An XXII, Nr. 2, 2012, ISSN 1453 - 0384, pag. 13 - 19.

65. Mihăilescu, D., Frîncu, O., *Mechanized MAG - M Welding with Standard and*

*Ecological Metal Powders Cored Wire*, Proceeding of The 16<sup>th</sup> International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation, ModTech - New face of TMCR, Iași - Chișinău - Belgrad, Volume II, 24 - 26 May 2012, Sinaia, Romania, ISSN 2069 - 6736, pag. 561 - 564.

66. Mihăilescu, D., Belcin, V., **Frîncu, O.**, Mihăilescu, A., *The Comparative Analysis of the Welding Gas Emissions to MAG Machine Welding with Rutile Cored Wire*, Conferința Internațională ASR 2012, Cluj Napoca, 25 - 27 aprilie 2012, Editura Sudura, Timișoara, ISSN 1843 - 4738, pag. 105 - 112.

67. Mihăilescu, D., **Frîncu, O.**, *Cercetări experimentale privind sudarea mecanizată MAG cu sârme tubulare rutilice standard și ecologice*, Conferința Internațională - Probleme actuale ale sudării în contextul globalizării economiei, 13 - 14 octombrie, 2011, Chișinău, Republica Moldova, ISSN 1843 - 4738, pag. 108 - 114.

68. Mihăilescu, D., Merticaru, V., Belcin, V., **Frîncu, O.**, *Determining the Coefficients of Fusion and Weld Deposition at Mechanized MAG Welding with Rutile Cored Wire*, Proceedings of The 15<sup>th</sup> International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation, ModTech 2011, New face of TMCR, 25 - 27 May 2011, Vadul lui Voda, Chișinău, Republic of Moldova, Volume II, ISSN 2069 - 6736, pag. 657 - 660.

69. Mihăilescu, D., Merticaru, V., Belcin, V., **Frîncu, O.**, *Influences of the Parameters at Mechanized MAG Welding with Rutile Cored Wire Upon Haz Dimensions*, Proceedings of The 15<sup>th</sup> International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation, ModTech 2011, New face of TMCR, 25 - 27 May 2011, Vadul lui Voda, Chișinău, Republic of Moldova, ISSN 2069 - 6736, Volume II, pag. 653 - 656.

70. Mihăilescu, D., Belcin, V., Mihăilescu, A., **Frîncu, O.**, *Determinarea coeficienților de topire și de depunere la sudarea mecanizată MAG cu arc pulsat și sârme tubulară cu pulbere*, Conferința ASR Sudura - 2011, Tradiție și artă în construcția echipamentelor energetice, Reșița, 06 - 08 aprilie 2011, Editura Sudura, Timișoara, ISSN 1843 - 4738, pag. 11 - 17.

71. Mihăilescu, A., Mihăilescu, D., Belcin, V., **Frîncu, O.**, *Influențele parametrilor la sudarea mecanizată MAG cu arc pulsat și sârme tubulară cu pulbere asupra dimensiunilor ZIT*, Conferința ASR Sudura - 2011, Tradiție și artă în construcția echipamentelor energetice, Reșița, 06 - 08 aprilie 2011, Editura Sudura, Timișoara, ISSN 1843 - 4738, pag. 18 - 26.

97. Pires, I., Quintino, L., Miranda, R. M., Gomes, J. F. P., *Fume Emissions During Gas Metal Arc Welding*, Toxicological & Environmental Chemistry, July - September 2006, 88(3), pag. 385 - 394.

101. Saito, H., Ojima, J., Takaya, M., Iwasaki, T., Hisanaga, N., Tanaka, S., Arito, H., *Laboratory Measurement of Hazardous Fumes and Gases at a Point Corresponding to Breathing Zone of Welder During a CO<sub>2</sub> Arc Welding*, Industrial Health, 2000, pag. 69 - 78.

107. Scutelnicu, E., *Bazele proceselor de sudare*, Editura Fundației Universitare „Dunărea de Jos”, Galați, 2007.

122. Voiculescu, I., Rontescu, C., Dondea, L. I., *Metalografia îmbinărilor sudate*, Editura Sudura, Timișoara, ISBN 978 - 973 - 8359 - 58 - 1, 2010.

126. Zgură, G., Iacobescu, G., Rontescu, C., Cacic, D., *Tehnologia sudării prin topire*, Editura Politehnica Press, București, ISBN 978 - 973 - 7838 - 57 - 5, 2007.

135. \*\*\* *Improvement of the Welder's Environment Through Consumable Product Development*, The Technical Journal of Oerlikon Welding and Cutting Expertise, No. 1, May 2007, pag. 5 - 15.

140. \*\*\* *European Directive 86/642/CEE*, Regarding the Worker's Protection Against Risks of Exposure to Chemical, Physical and Biological Agents During Work Activities.

141. \*\*\* *European Directive 91/322/CEE*, Regarding the Worker's Protection Against Risks of Exposure to Chemical, Physical and Biological Agents During Work Activities.

156. \*\*\* *ISO 15011/1 - 2009*: Health and Safety in Welding and Allied Processes - Laboratory Method for Sampling Fume and Gases. Part 1: Determination of Fume Emission Rate During Arc Welding and Collection of Fume for Analysis.

157. \*\*\* *ISO 15011/2 - 2009*: Health and Safety in Welding and Allied Processes - Laboratory Method for Sampling Fume and Gases. Part 2: Determination of the Emission Rates of Carbon Monoxide (CO), Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>), Nitrogen Monoxide (NO) and Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) During Arc Welding, Cutting and Gouging.

158. \*\*\* *SR EN ISO 15011/2 - 2004: Igienă și securitate la sudare și procedee conexe. Metoda de laborator pentru prelevarea fumului și gazelor generate la sudarea cu arc electric. Partea 2: Determinarea gradului de emisie a gazelor, cu excepția ozonului.*
159. \*\*\* *ISO 15011/3 - 2009: Health and Safety in Welding and Allied Processes - Laboratory Method for Sampling Fume and Gases. Part 3: Determination of Ozone Emission Rate During Arc Welding.*
160. \*\*\* *SR EN ISO 15011/3 - 2003: Igienă și securitate la sudare și procedee conexe. Metodă de laborator pentru prelevarea fumului și gazelor generate la sudarea cu arc electric. Partea 3: Determinarea concentrației de ozon prin măsurare în puncte fixe.*
161. \*\*\* *ISO 15011/4 - 2006: Health and Safety in Welding and Allied Processes - Laboratory Method for Sampling Fume and Gases. Part 4: Fume Data Sheets.*
162. \*\*\* *ISO/TS 15011/5 - 2006: Health and Safety in Welding and Allied Processes - Laboratory Method for Sampling Fume and Gases. Part 5: Identification of Thermal-degradation Products Generated when Welding or Cutting Through Products Composed Wholly or Partly of Organic Materials.*
163. \*\*\* *AWS F1.2 - 92: Laboratory Method for Measuring Fume Generation Rates and Total Fume Emission of Welding and Allied Processes, American Welding Society, Miami, Florida; 1992.*
164. \*\*\* *Instrucțiuni tehnologice Nr. 2339 privind sudarea în mediu de gaz protector MAG cu sârmă tubulară și amestec de gaze, Șantierul Naval Damen S.A. Galați.*
165. \*\*\* *Sudarea cu suport ceramic, Praktiker, Nr. 7, 1995, pag. 330 - 332.*
166. \*\*\* *Gaze de protecție la sudare. Dezvoltare - consultanță - utilizare, Linde Gaz România S.R.L. Timișoara.*
168. \*\*\* *Reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub> este o necesitate vitală, Revista Partener, Nr. 22, 2009, pag. 9 - 11.*
172. \*\*\* *Ghidul sudorului. Cum poți controla noxele de la sudare, polizare, tăiere?, Revista Partener, Nr. 21, 2009, pag. 10 - 11.*
176. \*\*\* *Formarea substanțelor toxice în urma proceselor de tăiere cu oxigen, plasmă și laser, Revista Partener, Nr. 16, 2008, pag. 8 - 9.*
181. \*\*\* *Cristal™ E - A New Generation of Stainless Steel MMA Electrodes - The Future of Welding is Clear, Air Liquide Welding.*
182. \*\*\* *Cristal™ F100 - F 206 - A New Generation of Flux Cored Wires - The Future of Welding is Clear, Air Liquide Welding.*
183. \*\*\* *Cristal™ F 119 - F 208 - A New Generation of Seamless Flux Cored Wires - The Future of Welding is Clear, Air Liquide Welding.*
186. \*\*\* *Catalog consumabile sudare SAF - FRO, S.C. Ductil S.A. Buzău.*
188. \*\*\* *Prospect tractor de sudare Railtrac FW 1000, ESAB A.B, Suedia.*
189. \*\*\* *Prospect sursă de sudare Aristo Lud 320, ESAB A.B, Suedia.*
190. \*\*\* *Prospecte ale unor firme producătoare de echipamente pentru sudare (Esab, Kemppi, Ductil, Lincoln Electric, Fronius, Miller, Oerlikon, Cloos, Gulco, Bug - O System etc).*
192. <http://www.kemper.eu/en>.
193. <http://www.nederman.com>.
194. <http://www.airliquide.com>.
195. <http://www.saf-fro.com>.
196. <http://www.oerlikon-welding.com>.
197. <http://www.rocfly.com/pdfend/CeramicBacking.pdf>.
198. <http://www.linde-gaz.ro>.