OPTIMIZAREA PROCESULUI DE ÎNCĂRCARE PRIN SUDARE ÎN MEDIU DE GAZ PROTECTOR CU RATĂ MARE DE DEPUNERE - ÎNCĂRCAREA PRIN SUDARE MAG CU ELECTROD BANDĂ

Teză destinată obţinerii
titlului ştiinţific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timişoara
în domeniul INGINERIE INDUSTRIALĂ
de către

Ing. Corina-Dana June

Conducător ştiinţific: Prof.dr.ing. Dorin DEHELEAN
Referenţi ştiinţifici: Prof.dr.ing.d.h.c. Dieter Böhme
Prof.dr.ing. Emil Constantin
Prof.dr.ing. Livius Miloş

Ziua susţinerii tezei: 28.09.2007

UNIV. "POLITEHNICA"
TIMIŞOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ
Nr. volum 655.372
Dulap_____ Lit._____

BUPT

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

1. Automatică
2. Chimie
3. Energetică
4. Ingineria Chimică
5. Inginerie Civilă
6. Inginerie Electrică
7. Inginerie Electronică şi Telecomunicaţii
8. Inginerie Industrială
9. Inginerie Mecanică
10. Ştiinţa Calculatoarelor
11. Ştiinţa şi Ingineria Materialelor

Universitatea „Politehnica" din Timişoara a iniţiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoştinţelor şi rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul şcolii doctorale a universităţii. Seriile conţin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susţinute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timişoara, 2006

Această publicaţie este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicaţii, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustraţiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare şi permisiunea pentru utilizare obţinută în scris din partea Universităţii „Politehnica" din Timişoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timişoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

BUPT

Cuvânt înainte

Prezenta lucrare este rezultatul cunoştinţelor dobândite de-a lungul anilor de formare ca inginer în cadrul Facultăţii de Mecanică din Timişoara, a activităţii prestate în cadrul ISIM Timişoara şi a cunoştiintelor practice dobândite în perioada de stagiului la SLV München.

În această teză s-a abordat studiul particularităţilor variantei de încărcare prin sudare MAG cu electrod bandă în scopul utilizării acesteia pentru operaţii de încărcare prin sudare.

Pentru realizarea actualei lucrări doresc să aduc alese mulţumiri Prof. Dr. Ing. d. h.c Dieter Böhme, pentru facilitarea realizării părţii practice a tezei în cadrul Institutului de Sudura din München şi pentru sprijinul acordat pe întreaga perioadă a elaborării tezei.

La realizarea actualei lucrări autoarea a beneficiat de îndrumarea, grija şi observaţiile conducătorului ştiintific, Prof. Dr. Ing. Dorin Dehelean – directorul Institutului de Sudură - ISIM Timişoara.

Îmi exprim întreaga consideraţie faţă membrii comisiei de doctorat, domnul preşedinte al comisiei prof. dr. ing. Nicolae NEGUŢ decanul Facultăţii de Mecanică al Universităţii „Politehnica" din Timişoara şi domnii prof. dr. ing. d. h. c. Dieter BÖHME de la Institutul de Sudură SLV München din Germania, prof. dr. ing. Emil CONSTANTIN prorector al Universitaţii „Dunărea de Jos" din Galaţi şi prof. dr. ing. Livius MILOŞ de la Facultatea de Mecanică a Universităţii „Politehnica" din Timişoara, care au răspuns solicitării de a face parte din comisia de analiză a tezei, pentru observaţiile făcute şi pentru timpul acordat lucrării.

Nu în ultimul rând, doresc să mulţumesc domnilor Viorel Deaconu şi Dr. Ing. Horia Materiu de la ISIM Timişoara pentru sprijinul acordat la elaborarea subcapitolului de simulare.

Mulţumesc de asemenea familiei mele care m-a susţinut şi sprijinit pe tot parcursul anilor de studiu.

Timişoara, septembrie 2007 Corina - Dana JUNE

BUPT

In memóriam

MAIER MARIA

JUNE TITUS

JUNE, Corina-Dana

Optimizarea procesului de încărcare prin sudare în mediu de gaz protector cu rată mare de depunere – ÎNCĂRCAREA PRIN SUDAREA MAG CU ELECTROD BANDĂ

Teze de doctorat ale UPT, Seria 8, Nr. 5 , Editura Politehnica, 2007, 234 pagini, 160 figuri, 12 tabele.

ISSN: 1842-8967

ISBN: 978-973-625-501-4

Cuvinte cheie:

MAG de înalta productivitate, încărcare prin sudare, electrod bandă straturi rezistente la coroziune, rată mare a depunerii, diluţie mică

Rezumat:

Creşterea productivităţii reprezintă un obiectiv important al tuturor firmelor care produc structuri sudate, inclusiv a firmelor în care sudura reprezintă unul din procedeele de fabricaţie.

Astfel că, în ultimii ani s-a urmărit dezvoltarea unor variante tehnologice de sudare ale procedeelor cunoscute care să ofere o productivitate cât mai mare la sudare în condiţii de calitate similare sau superioare.

La începutul anilor 90 au fost dezvoltate şi aplicate în producţie diverse variante tehnologice MIG/MAG de mare productivitate, obţinute pe baza a diferite concepte de realizare. Unul dintre aceste concepte de obţinere a unei rate mari a depunerii a constat în utilizarea unor sârme electrod cu diametre mari sau a unor electrozi cu o suprafaţă transversală mai mare decât a sârmelor uzual folosite.

Teza de doctorat a urmărit cercetarea particularitatilor acestei variante noi de sudare MAG pentru cazul utilizării în operaţii de încărcare prin sudare. Această tematica este de actualitate ştiinţifică şi tehnică, ea regăsindu-se în tematica de cercetare a unor institute de cercetare în sudură recunoscute din strainatate ca, de exemplu, Institutul de Sudură SLV München sau Institutul de Sudură SLV Halle din Germania, procedeul respectiv nefiind încă aplicat industrial la operaţii de încărcare prin sudare.

BUPT

CUPRINS

	Cuprins	5
	Notaţii în cadrul tezei	7
	Introducere	9
Cap 1.	**Sudarea MAG de înaltă productivitate**	11
	1.1 Consideraţii generale	11
	1.2 Tendinţe mondiale în sudarea MIG/MAG	11
	1.3 Variante de sudare MIG/MAG de înaltă productivitate	13
	1.3.1 Sudarea MAG - IP cu o sârma electrod	15
	1.3.2 Sudarea MAG – IP cu mai multe sârme electrod	20
	1.4 Sudarea TIME	21
	1.5 Sudarea RAPID ARC şi RAPID MELT	23
	1.6 Sudarea LINFAST	24
	1.7 Sudarea MIG/MAG-IP cu două sârme TWIN-ARC şi MIG/MAG-IP cu două sârme în TANDEM	26
	1.7.1 Sudarea MIG/MAG - IP cu două sârme TWIN-ARC	26
	1.7.2 Sudarea MAG/MIG – IP cu două sârme în TANDEM	28
	1.8 Sudarea MAG cu electrod bandă – MAG-EB	31
	1.9 Încărcarea prin sudare MAG cu electrod bandă - MAG-EB	34
Cap 2.	**Prezentarea obiectivelor şi a programului de cercetare al tezei de doctorat**	37
	2.1 Obiective. Mod de soluţionare propus. Rezultate preconizate	37
	2.2 Prezentarea montajului experimental C	38
	2.3 Prezentarea montajului experimental F	40
	2.4 Materialele pentru sudare	44
	2.4.1 Materiale de bază	44
	2.4.2 Materiale de adaos. Electrozi bandă	45
	2.4.3 Materiale de adaos. Gazul de sudare	46
	2.5 Experimentări de sudare	48
	2.5.1 Influenţa parametrilor de sudare asupra procesului de încărcare prin sudare MAG-EB	48
	2.5.2 Stabilirea parametrilor de sudare MAG-EB pentru obţinerea unor straturi depuse rezistente la coroziune	53
	2.5.3 Prezentarea variantelor constructive ale duzelor de contact	56
	2.5.4 Evidenţierea gradului de uzură apărut la piesele de ghidare a sârmelor plate	59

BUPT

Cap 3. **Fenomene fizice şi metalurgice la sudarea MAG-EB** 61
3.1 Noţiuni generale 61
3.2 Caracteristicile geometrice ale unui depuneri prin sudare MAG-EB 62
3.3 Calculul diluţiei la încărcarea prin sudare MAG-EB – p_{MB} [%] 64
3.4 Simularea ciclului termic la sudarea MAG – EB 67

Cap 4. **Optimizarea procesului de încărcare prin sudare MAG-EB** 78
4.1 Noţiuni despre optimizare 78
4.2 Influenţa tipului constructiv al duzei de contact asupra încărcării prin sudare MAG-EB 79
4.3 Influenţa poziţionării pistoletului de sudare asupra procesului de încărcare prin sudare MAG-EB 83
4.4 Influenţa distanţei dintre rândurile depuse asupra pătrunderii şi diluţiei 89
4.5 Influenţa poziţionării electrodului plat în raport cu direcţia de sudare asupra procesului de încărcare prin sudare MAG-EB 91
4.6 Influenţa modului de transfer al picăturii la încărcarea prin sudare MAG-EB asupra pătrunderii şi diluţiei 94
4.7 Influenţa calităţii sârmei plate asupra stabilităţii sudării MAG-EB 97
4.8 Influenţa debitului de gaz din duza adiţională de protecţie asupra sudării MAG-EB 98

Cap 5. **Metode de examinare a stratului depus** 100
5.1 Examinări nedistructive 100
5.1.1 Examinarea vizuală 100
5.1.2 Examinarea cu lichide penetrante 103
5.2 Încercări distructive 107
5.2.1 Examinarea macroscopică şi microscopică 107
5.2.2 Încercarea la îndoire 112
5.2.3 Încercarea de duritate 114
5.2.4 Încercarea la coroziune 116
5.2.5 Încercarea la torsiune 121
5.2.6 Analiza chimică 122

Cap 6. **Comparaţie între sudarea MAG cu două sârme în varianta TANDEM şi MAG cu electrod bandă** 124

Cap 7. **Concluzii şi contribuţii personale** 128

Bibliografie 134

Anexa A 142
Anexa B 146
Anexa C 148
Anexa D 168
Anexa E 185

BUPT

Notaţii în cadrul tezei:

MAG - EB	Sudare MAG cu electrod bandă
MAG - IP	Sudare MAG de înaltă productivitate
v_e [m/min]	Viteza de avans a sârmei
v_s [cm/min]	Viteza de sudare
Ad [kg/h]	Rata depunerii
Is [A]	Curentul de sudare
p_{MB} [%]	Diluţia
L_l [mm]	Lungimea liberă a capătului sârmei
Q [l/min]	Debitul gazului de protecţie
BM	Baie metalică
MB	Material de bază
MD	Material depus
MA	Material de adaos
MPR	Mecanisme de poziţionare - rotire
DAS	Dispozitiv de avans sârmă
DA	Durata activă de lucru
PA	Sudare orizontală cap la cap sau orizontală în jgheab – conform ISO 6947
PB	Sudare orizontală cu perete vertical – conform ISO 6947
PC	Sudare orizontală pe perete vertical – conform ISO 6947
PF	Sudare verticală descendentă - conform ISO 6947
PD	Sudare orizontală peste cap - conform ISO 6947
ST	Sistemul tehnic

BUPT

E(ST)	Eficienţa sistemului tehnic
Rab	Distanţa între rândurile depuse prin sudare
IF	Îndoire frontală conform EN 910
IL	Îndoire laterală conform EN 910
Ib [A]	Curentul de bază
Ip [A]	Curentul de puls
tp [ms]	Timpul de puls
fp [Hz]	Frecvenţa pulsurilor
Hc [mm]	Înălţimea cusăturii depuse prin sudare MAG-EB
Lc [mm]	Lăţimea cusăturii depuse prin sudare MAG-EB
L_{BM} [mm]	Lungimea băii metalice depuse la sudarea MAG-EB
j_d [A/mm^2]	Densitatea de curent la sudarea MAG-EB
SF	Sudare sub strat de flux protector
LP	Lichide penetrante
p_c [mm]	Pătrunderea metalului depus în metalul de bază
SRA	Sistem de reglare automat
ZIT	Zona influenţată termic
HL1, HL2	Direcţii de amplasare a amprentelor pe suprafaţa probelor macroscopice
S 5923	SG-NiCr23Mo16 – denumire de firmă
S 6020	SG-NiCr21Mo9Nb – denumire de firmă
1.4370	X 15CrNiMn 18 8 – denumire de firmă
S 7030	SG-CuNi30Fe – denumire de firmă
S 9604	SG-NiTi4 – denumire de firmă
1.4842	X 12CrNi 25 20 – denumire de firmă

BUPT

Introducere

În prezent, sudarea în mediu de gaz protector cu electrod fuzibil, sudarea MAG, cunoaşte o largă aplicare, fiind, la nivel mondial, procedeul de sudare cu cel mai mare volum de utilizare. Peste 60% din materialul depus prin sudare în ţările industrializate (UE, SUA, Japonia) este depus prin acest procedeu de sudare. Ajuns la maturitate, procedeul de sudare MAG este şi în prezent un subiect actual de cercetare al celor mai puternice centre de cercetare din domeniul sudării. Lucrările actuale de cercetare sunt orientate în mod prioritar spre îmbunătăţirea modului de transfer al materialului la sudare şi controlul procesului de sudare, respectiv spre identificarea unor noi soluţii pentru creşterea eficienţei procesului de sudare.

Una dintre posibilităţile de îmbunătăţire a eficienţei procesului de sudare MAG o constituie înlocuirea sârmei de sudare cu o bandă şi crearea variantei de sudare MAG cu electrod bandă, prescurtat sudare MAG – EB.

Teza de doctorat urmăreşte cercetarea particularităţilor acestei variante noi de sudare MAG pentru cazul utilizarii în operaţii de încărcare prin sudare. Această tematică este de actualitate ştiinţifică şi tehnică, ea regăsindu-se în tematica de cercetare a unor institute de cercetare în sudură recunoscute din străinătate ca, de exemplu, Institutul de Sudură SLV München sau Institutul de Sudură SLV Halle din Germania, procedeul respectiv nefiind încă aplicat industrial la operaţii de încărcare prin sudare. Tematica respectivă interesează, de asemenea, producători consacraţi de echipamente sau materiale de sudare.

Prezenta teza de doctorat îşi propune realizarea unui studiu teoretic şi practic asupra particularităţilor procedeului de sudare MAG cu electrod bandă şi aplicarea acestuia pentru lucrări de încărcare prin sudare. În mod special, teza îşi propune:

- determinarea modurilor de transfer al picăturii prin spaţiul arcului, modelarea câmpului termic la sudare, evaluarea diluţiei prin sudare
- determinarea unei variante constructive optime a sistemului de antrenare a electrodului bandă, prin cercetarea în mod special a influenţei configuraţiei duzei de contact şi a procesului de uzură la nivelul elementelor de ghidare a electrodului
- studiul influenţei parametrilor de sudare asupra procesului de încărcare prin sudare
- determinarea unor tehnologii de încărcare prin sudare MAG-EB pentru obţinerea unor straturi rezistente la coroziune.

La baza tezei stă o cercetare bibliografică care a cuprins un număr de 100 de referinţe bibliografice din ţară şi străinatate.

Pe durata realizării tezei de doctorat, autoarea a activat ca şi cercetator ştiintific la Institutul Naţional de Cercetare Dezvoltare în Sudură şi Încercări de Materiale - ISIM Timişoara. Pentru realizarea părţii experimentale a tezei de doctorat autoarea a beneficiat de un stagiu de durată la Institutul de Sudura SLV München participând la un proiect de cercetare finantat de AIF. Desfăşurarea părţii experimentale a tezei de doctorat s-a bucurat de sprijinul unor firme industriale producătoare de electrod bandă, respectiv de surse de sudare MAG şi duze de contact.

Partea teoretică şi practică a tezei de doctorat este structurată pe 7 capitole şi 5 anexe conţinând explicaţii suplimentare faţă de materialul tezei.

Având în vedere că partea practică a tezei de doctorat s-a realizat în Germania, examinările nedistructive şi încercările distructive s-au efectuat în

BUPT

conformitate cu standardele europene cât şi după procedurile interne ale firmelor germane implicate în cadrul proiectului de cercetare.

Notaţiile utilizate în cadrul tezei de doctorat sunt sintetizate la finalul tezei.

Autoarea acestei teze de doctorat îşi exprimă gratitudinea faţă de Prof. Dr. Ing. d.h.c. Dieter Böhme, pentru facilitarea realizării părţii practice a tezei în cadrul Institutului de Sudură din München, Dr. Ing. Heidi Cramer – conducătoarea departamentului de Cercetare – Dezvoltare al SLV München şi implicit faţă de colectivul de cercetare al SLV: Pommer Stefan, Baum Ludwig şi Siegfried Hölldobler.

Autoarea s-a bucurat în formarea sa profesionala ca cercetător ştiinţific în domeniul sudării de sprijinul ISIM Timisoara şi de îndrumarea, grija şi observaţiile conducătorului ştiinţific, Prof. Dr. Ing. Dorin Dehelean – directorul institutului de sudură.

Domnilor Dr. Ing. Horia Materiu şi Ing. Viorel Deaconu le sunt adresate sincere mulţumiri din partea doctorandei pentru suportul oferit la realizarea subcapitolului "Simularea câmpului termic la sudarea cu electrod bandă".

Doctoranda îşi exprimă de asemenea recunoştiinţa fata de profesorii Universităţii "Politehnica" Timişoara – Facultatea de Mecanică de la care a dobândit cunoştiinţe necesare la formarea sa ca inginer în decusul anilor de studiu.

Nu în ultimul rând autoarea îşi exprimă sincera recunoştiinţă faţă de familia sa care a sprijinit-o financiar şi moral de-a lungul anilor de studiu. Autoarea mulţumeşte de asemenea familiei J. Szladek pentru suportul oferit pe perioada practicii realizate la SLV München.

BUPT

Cap 1. Sudarea MAG de înaltă productivitate

1.1. Consideraţii generale

Productivitatea reprezintă o problemă importantă a zilelor noastre care se manifestă la nivelul tuturor domeniilor de activitate şi care prin intermediul factorului economic dictează strategiile de dezvoltare ale firmelor.

Direcţiile de dezvoltare a firmelor producătoare de echipamente, materiale, structuri sudate, inclusiv a firmelor în care sudarea reprezintă unul din procedeele de fabricaţie (ex: industria constructoare de autovehicule, navală, chimică sau energetică) sunt trasate de către factorul economic. Astfel că, în ultimii 15 ani în ţările industrializate s-a urmărit dezvoltarea de variante tehnologice de sudare ale procedeelor cunoscute care să ofere o productivitate cât mai mare în condiţii de calitate similare sau superioare.

Sudarea MIG/MAG a reprezentat una dintre direcţiile de studiu importante în vederea creşterii productivităţii, datorită avantajelor pe care le oferă aceasta: flexibilitate la sudare în diferite poziţii, productivitate, posibilitate de sudare a multor tipuri de materiale, accesibilitate mare, posibilitatea de automatizare a procedeului, etc. În tabelul 1.1 se indică domeniile uzuale de valori ale parametrilor de sudare MIG/MAG în varianta clasică [21].

Tabel 1.1 – Domeniile de variaţie a parametrilor de sudare utilizaţi la sudarea MIG/MAG clasica [21]

Parametrul	Domeniul de valori
Diametrul sârmei [mm]	0,8 – 2,4
Curentul de sudare [A]	60 – 500
Tensiunea arcului [V]	20 – 30
Viteza de sudare [cm/min]	20 – 150
Debitul gazului [l/min]	8 - 20
Rata de depunere [kg/h]	4 - 8

1.2. Tendinţe pe plan mondial în sudarea MIG/MAG

În ultima perioada de timp (cca 30 ani) în ţările industrializate se constată o creşterea a volumului de aplicare al sudării MIG/MAG mai ales în detrimentul sudării cu electrozi înveliţi. Evoluţia volumului de aplicare al principalelor procedee de sudare prin topire în trei regiuni industrializate ale lumii – UE, SUA si Japonia - este ilustrată în figura 1.1, [53]. Aprecierea are la bază volumul total de metal depus prin sudare.

BUPT

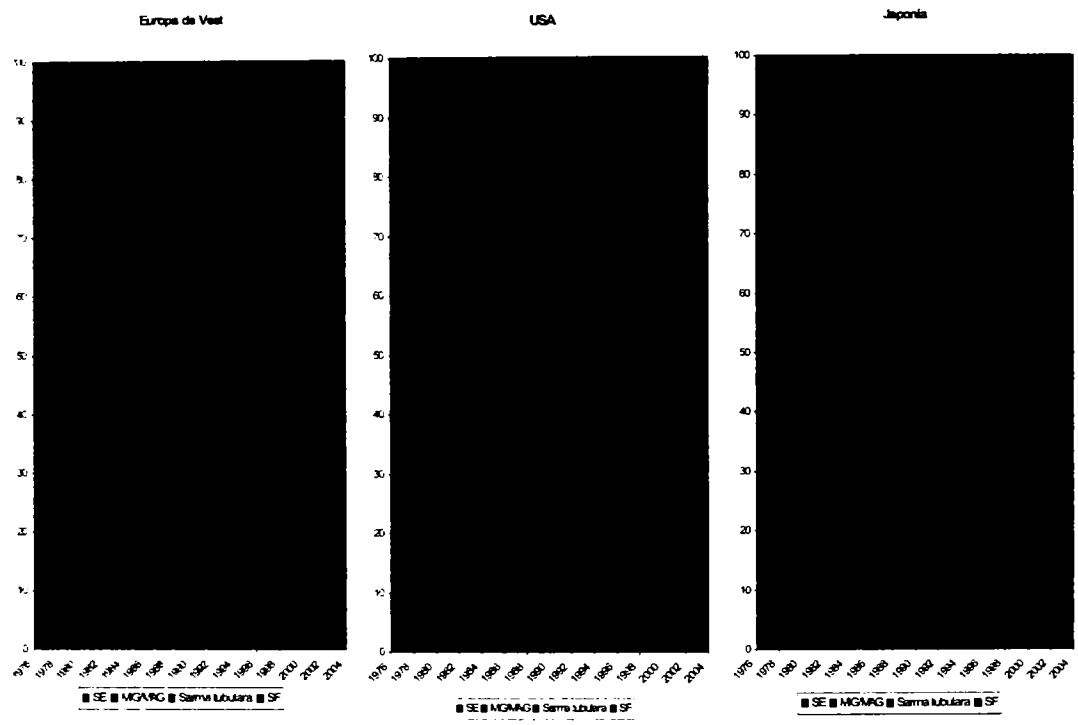


Figura 1.1 – Situaţia metalului depus prin sudare în perioada 1976 - 2004

Din figura 1.1 rezultă urmatoarele ponderi de aplicare a diverselor procedee de sudare la nivelul anului 2004:

- sudare MIG/MAG → 54 - 75%
- sudare cu sarmă tubulară ST → 8 - 27%
- sudare sub strat de flux SF → 5 – 6%
- sudare cu electrozi înveliţi → 12 - 16%.

În ceea ce priveşte tendinţele mondiale de dezvoltare viitoare ale sudării MIG/MAG, se are în vedere, cu precădere, dezvoltarea următoarelor variante tehnologice [53] [22]:

- Sudarea MIG/MAG de mare productivitate cu două sârme TWIN ARC şi TANDEM;
- Sudarea prin transfer rece (CMT – cold metal transfer);
- Sudarea hibridă Plasma – MIG;
- Sudarea hibridă Laser – MIG.

Un deziderat important al fabricaţiei prin sudare este îmbunătăţirea eficienţei sudării. Creşterea eficienţei în activităţile de sudare MIG/MAG se poate realiza pe două căi: fie prin obţinerea unui cost redus al sudării MIG/MAG, fie prin creşterea productivităţii procedeului şi dezvoltarea unor variante tehnologice de sudare care să permită acest deziderat. Prima modalitate de obţinere a eficienţei prin utilizarea unei forţe de muncă cu cost redus este specifică mai ales tarilor Est-Europene si din Asia, în timp ce ţările vestice Europene, SUA şi Japonia au adoptat în special cea de-a doua metodă având în vedere costul ridicat al forţei de muncă.

BUPT

1.3. Variante de sudare MIG/MAG de înaltă productivitate

La începutul anilor 90 au fost dezvoltate şi aplicate în producţie diverse variante tehnologice MIG/MAG de mare productivitate, obţinute pe baza a diferite concepte de realizare, [99] [77] [51]. La aceste variante creşterea productivităţii se realizează prin:

- creşterea vitezei de sudare sau a ratei depunerii ca urmare a utilizării unor combinaţii speciale de gaze de protecţie şi a creşterii intensităţii curentului de sudare;
- creşterea ratei depunerii ca urmare a măririi numărului de sârme la sudare;
- utilizarea sârmelor tubulare în locul sârmelor pline, ceea ce are ca efect creşterea ratei depunerii şi obţinerea unor cusături cu caracteristici mecanice şi fizice superioare situaţiei utilizării sârmelor pline;
- folosirea unor sârme electrod cu diametru mare sau cu o suprafaţă transversală mai mare decât a sârmelor uzual folosite la sudarea clasică MIG/MAG, în scopul creşterii ratei depunerii.

Dezvoltarea variantei MIG/MAG de înaltă productivitate denumită sudarea TIME a avut la bază ideea utilizării unui amestec special de 4 gaze, care să permită creşterea substanţială a vitezei de sudare şi implicit a ratei depunerii pană la aproximativ 25 kg/h, [77].

Ulterior, având la baza ideea TIME - de utilizare a unor amestecuri speciale de gaze care să permită creşterea productivităţii prin influenţarea fizicii arcului - au fost dezvoltate de către producătorii de gaze alte variante de sudare MIG/MAG de mare productivitate: RAPID ARC, RAPID MELT si LINFAST, [8], [21], [74].

RAPID ARC este denumirea de firmă a arcului scurt de mare productivitate – notat AS – IP [8]. Varianta de sudare RAPID ARC utilizează viteze de avans ale sârmei similare vitezelor din domeniul spray arc, însă tensiunea arcului este mai mică şi lungimea libera a sârmei este mai mare decât la sudarea MAG clasică spray, astfel se obţine un arc scurt, stabil la viteze ridicate ale electrodului.

Varianta de sudare MAG denumită RAPID MELT este tot o denumire de firmă, data arcului spray de înaltă productivitate – notat SA-IP [21]. Sudarea RAPID MELT se caracterizează printr-o rată mare a depunerii (până la 20 kg/h) obţinută ca urmare a utilizării unor valori ridicate ale vitezei de avans sârmă (> 22 m/min) şi a unei combinaţii speciale de gaze care a permis obţinerea unui arc stabil, [8].

Sudarea LINFAST a apărut ca reacţie a concurenţei la apariţia pe piaţă a conceptului RAPID PROCESSING (RAPID ARC şi RAPID MELT). Principial conceptul LINFAST este similar conceptului RAPID PROCESSING şi urmăreşte creşterea ratei depunerii şi/sau a vitezei de sudare ca urmare a utilizării unor amestecuri speciale de gaze formate din: Ar, He şi CO_2 sau Ar, He şi O_2. Influenţând fizica arcului prin aceste amestecuri de gaze, conceptul LINFAST oferă stabilitatea arcului pentru variantele de transfer de mare productivitate la curenţi de intensitate mare (spray arc de înaltă productivitate SA-IP şi arcul rotitor AR), [74].

Cercetătorii au schimbat apoi optica în ceea ce priveşte obţinerea ratelor mari de depunere (> 8 kg/h) prin realizarea unor noi variante de sudare MIG/MAG de mare productivitate ce se bazează pe utilizarea mai multor sârme la sudare (minim 2 sârme electrod). A apărut astfel sudarea MIG/MAG cu două sârme în varianta TANDEM sau sudarea MIG/MAG cu două sârme TWIN ARC. Prin aplicarea variantei de sudare MIG/MAG cu două sârme în TANDEM au fost obţinute rezultate deosebite: rata depunerii Ad ≥ 15 kg/h şi viteza de sudare până la 5 m/min pentru o sârmă cu diametrul de ϕ_e = 1,2 mm.

BUPT

Cercetările ulterioare întreprinse pentru obţinerea de variante MIG/MAG de mare productivitate s-au axat apoi pe utilizarea sârmelor tubulare. Rezultatele oferite de acest nou concept, au permis obţinerea unor rate de depunere de până la 15 kg/h şi a unor viteze de sudare v_s până la 1m/min. Figura 1.2 prezintă o comparaţie între valorile ratei depunerii obţinute prin utilizarea sârmelor pline de diametre ϕ1,2 şi 1,6 mm cu sârme tubulare cu aceeaşi valoare a diametrelor [70].

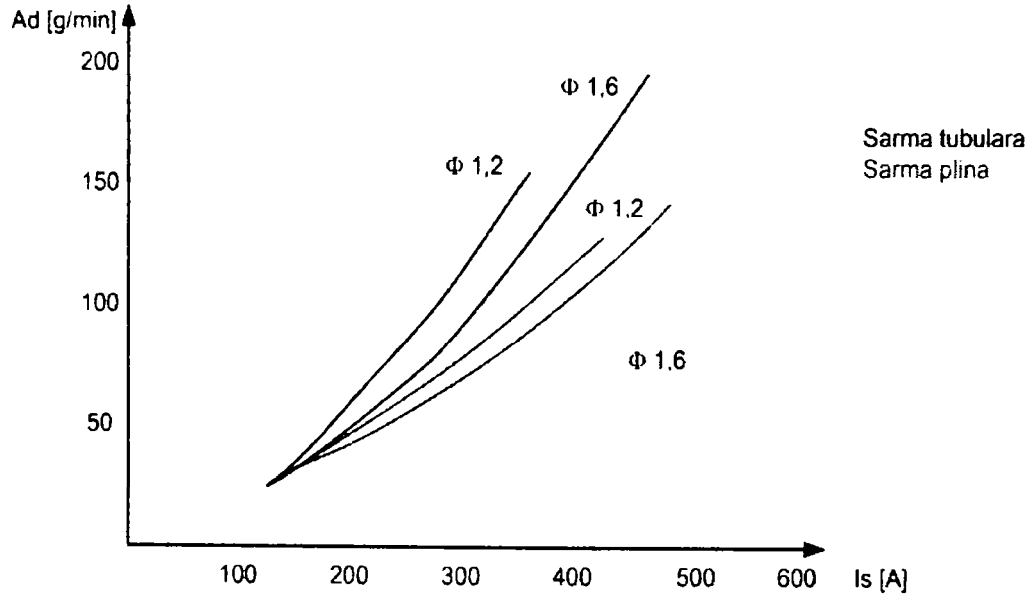


Figura 1.2 – Comparaţie între rata depunerii la sudarea cu sârmă plină şi sârmă tubulară

În anul 2001 a fost dezvoltată prin similitudine cu sudarea sub strat de flux o nouă variantă MIG/MAG de mare productivitate. Acestă variantă utilizează un electrod tip bandă şi doreşte să ofere rezultate similare în ceea ce priveşte rata depunerii sau viteza de sudare şi să elimine problemele specifice apărute la sudarea MIG/MAG cu două sârme (problemele legate de menţinerea poziţiilor sârmei principale în raport cu cea secundară (mai ales la sudarea suprafeţele curbe).

Primul pistolet special creat pentru sudarea de înaltă productivitate MAG cu electrod bandă a apărut în cadrul Expoziţiei de la Essen din anul 2001. Ulterior, ideea creşterii productivităţii procesului de sudare MIG/MAG prin mărirea suprafeţei transversale a electrodului – a introducerii sudării MAG cu un electrod bandă - a fost preluată de o serie de firme producătoare de echipamente sau consumabile pentru sudare.

În figura 1.3 este prezentată o comparaţie între productivitatea sudării MAG clasice şi variantele tehnologice de sudare MIG/MAG de mare productivitate anterior menţionate: TIME, LINFAST, RAPID ARC, MIG/MAG cu două sârme în varianta TANDEM, sârmă tubulară precum şi sudarea MAG cu electrod bandă.

BUPT

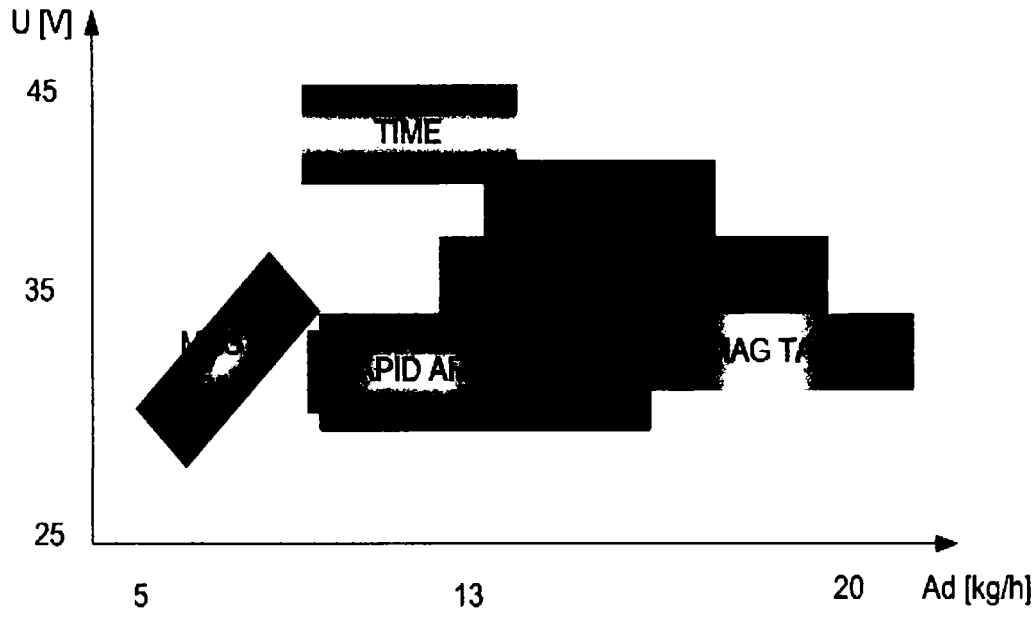


Figura 1.3 - Comparaţie între valorile ratei depunerii pentru variantele de sudare MIG/MAG de mare productivitate şi sudarea clasică MAG

Conform [86] se definesc ca variante MIG/MAG de mare productivitate – variante care se vor nota MIG/MAG – IP – acele variante de procedee de sudare în medii de gaze protectoare cu una sau mai multe sârme pline cu diametre de 1,0 mm sau 1,2 mm la care viteza de avans a sârmei v_e (în cazul în care se sudează cu o singură sârmă) sau suma vitezelor de avans a sârmelor (în cazul în care se sudeaza cu mai multe sârme) depăşeşte 15 m/min. Documentul [86] mai menţionează ca variante MIG/MAG de mare productivitate, acele variante MIG/MAG la care diametrul sârmei (sau suprafaţa măsurată a sârmei) este diferită de valorile anterior menţionate sau utilizează sârmă tubulară şi pentru care se obţine o rată a depunerii Ad > 8 kg/h.

Din punct de vedere practic, creşterea vitezei de avans a sârmei v_e >15 m/min, faţă de varianta MIG/MAG clasică, poate avea ca efect una din cele 2 situaţii:

- creşterea vitezei de sudare v_s în cazul menţinerii aceluiaşi volum al sudurii,
- creşterea secţiunii sudurii în cazul menţinerii vitezei de sudare v_s constantă.

În cadrul figurii 1.4 sunt clasificate, variantele de procedee de sudare MIG/MAG de mare productivitate posibile – notate prin MIG/MAG - IP - funcţie de numărul de sârme electrod utilizate şi respectiv tipurile de arce intâlnite.

1.3.1 Sudarea MAG - IP cu o sârmă electrod

Principial sudarea MAG - IP cu o sârmă electrod se realizează similar sudării clasice MAG, valorile vitezei de avans a sârmei sunt însă superioare valorii de 15 m/min. Datorită acestui fapt, sudarea MAG de înaltă productivitate - MAG – IP - este aplicată exclusiv în varianta mecanizată.

BUPT

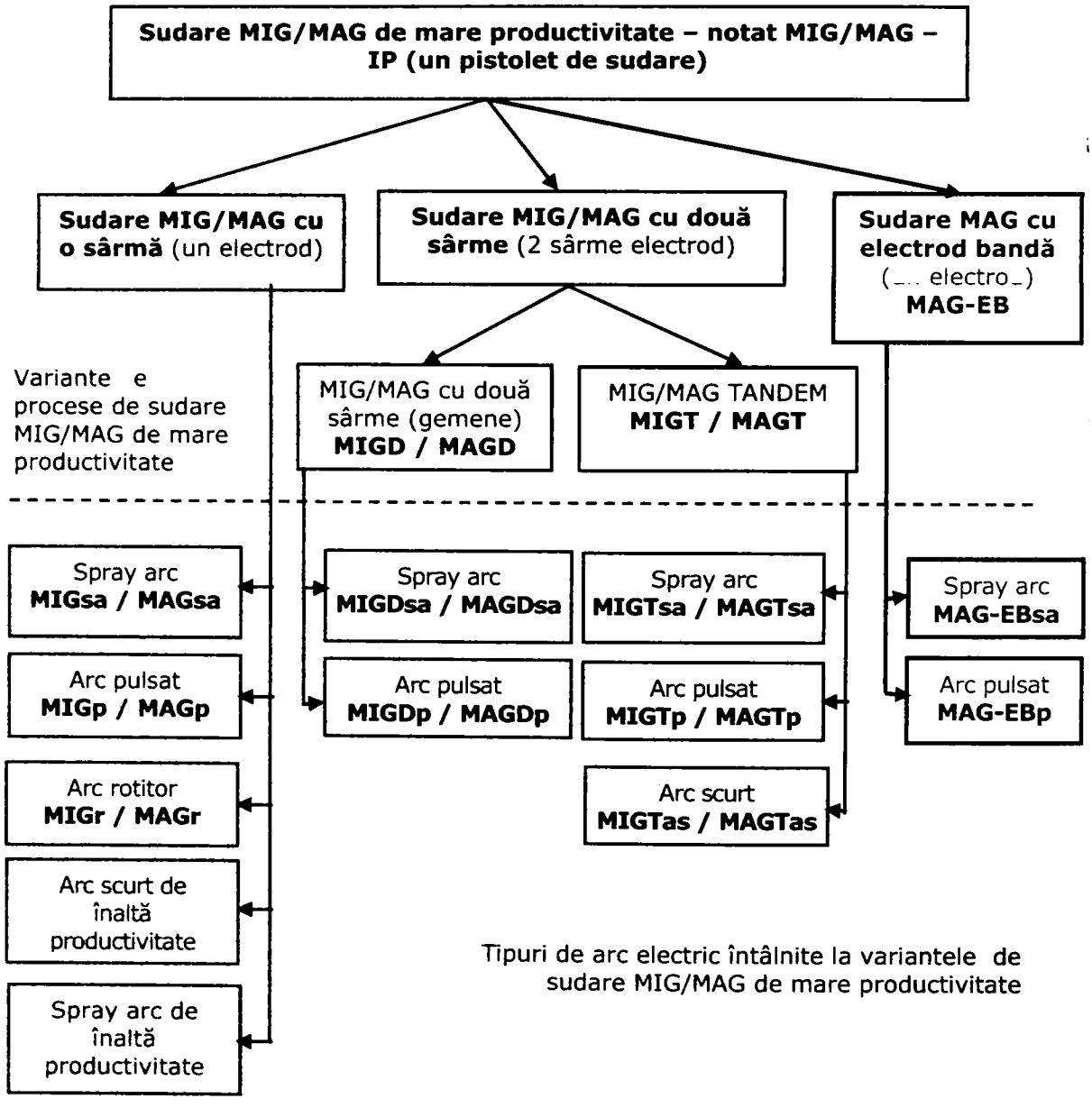


Figura 1.4 - Clasificarea variantelor de sudare MIG/MAG de mare productivitate

Echipamentul de sudare utilizat la varianta de sudare MAG – IP cu o sârmă electrod trebuie să fie capabil să ofere atât valori ridicate ale vitezei de avans a sârmei (v_e > 15 m/min), cât şi ale curentului de sudare Is.

BUPT

Figura 1.5. prezintă o comparaţie între tipurile de arc electric întâlnite la sudarea MAG clasică şi a tipurilor de arc electric specifice sudarii MAG – IP în funcţie de viteza de avans a sârmei şi de tensiunea arcului [45].

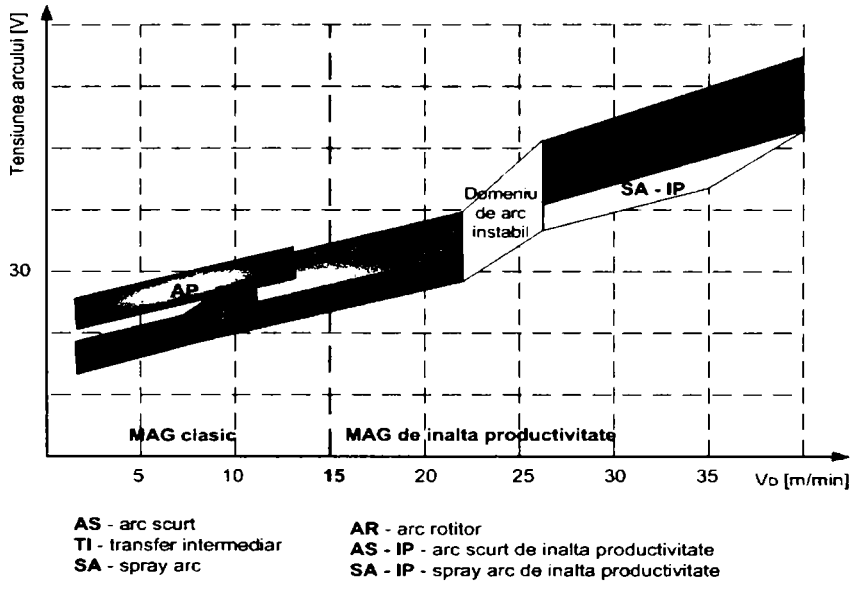


Figura 1.5 – Comparaţie între tipurile de arc electric specifice

MAG - IP tipuri de arc electric

Arcul spray clasic – notat SA în figura 1.5 - se obţine la viteze de avans a sârmei aflate în domeniul $v_e \in (15 - 22)$ m/min. Arcul spray se produce la sudarea în amestecuri bogate în argon (peste 80% Ar) iar transferul materialului se realizează axial, fără scurtcircuite şi fără stropiri, prin picături fine asemeni unui sirag de mărgele – vezi figura 1.6 [89].

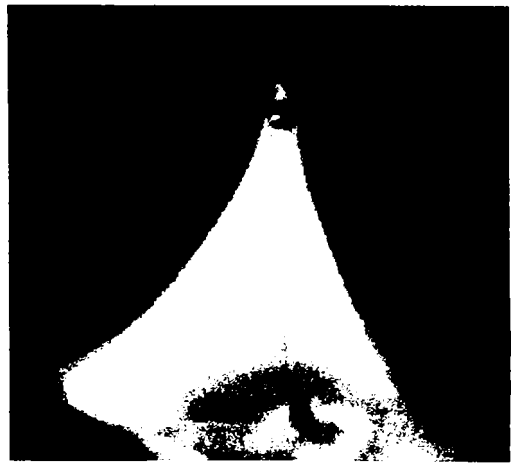


Figura 1.6 – Arc spray SA

Figura 1.7 – Arc scurt de înalta productivitate AS-IP

655.372
...TEHNICA"
...IMIŞOARA
...BLIOTECA CENTRALĂ

BUPT

Arcul scurt de mare productivitate – notat AS-IP în figura 1.5 - se obţine la viteze de avans a sârmei cuprinse în domeniul $v_e \in (12 - 22)$ m/min (similar sudării convenţionale MAG spray) în amestecuri bogate în Ar, prin reducerea valorii tensiunii arcului şi creşterea lungimii libere a sârmei până la aproximativ 40 mm [86]. Datorită lungimii mari a capătului liber al sarmei, se produce încălzirea masivă şi înmuierea capătului sârmei şi începe o mişcare uşoara de rotire a sârmei – vezi figura 1.7 [62]. Deviaţia capătului liber al sârmei fată de axa sârmei ajunge la aproximativ 1 – 2 mm şi datorită rotirii capătului sârmei se produc scurtcircuitări periodice cu pereţii rostului [86]. Viteza de sudare poate ajunge până la 2,5 m/min în funcţie de poziţia de sudare şi de grosimea MB.

Arcul rotitor - notat AR în figura 1.5 - se obţine la viteze de avans a sârmei electrod cuprinse în domeniul $v_e \in (22 - 50)$ m/min, datorită valorii mari a lungimii libere a sârmei $L_l \in (25 - 35)$ mm şi valorii ridicate a curentului de sudare. Rotaţia arcului este un efect al valorilor mari ale curentului de sudare precum şi al forţelor dezvoltate în arc. Devierea capătului liber al sârmei faţă de axa sârmei este de câţiva milimetri, ea putând fi observată cu ochiul liber.

Datorită acestei rotaţii, suprafaţa transversală a arcului rotitor este mult marită faţă de suprafaţa altor tipuri de arce, AR este mai zgomotos şi are un sunet distinct faţă de arcul spray. Important de menţionat este valoarea mărită a ratei depunerii, a pătrunderii şi posibilitatea ridicată de topire a metalului de baza – MB - datorită miscării de rotaţie a capătului liber al sârmei.

Arcul rotitor - AR (figura 1.8 [89]) se obţine în amestecuri de gaze pe bază de Ar cu 2 pana la 4 componente şi în general continând până la 30% He.

Figura 1.8 - Arc rotitor - AR

Figura 1.9 – Arc spray de înaltă productivitate SA - IP

Din figura 1.5 se poate observa existenţa unui domeniu de instabilitate la trecerea dinspre domeniul arcului spray înspre domeniul arcului rotitor.

Arcul spray de înaltă productivitate – notat SA-IP în figura 1.5 - se obţine la valori ale vitezei de avans a sârmei de peste 23 m/min şi lungimi mari ale capătului liber al sârmei [74].

BUPT

Caracteristic SA-IP este obţinerea unei coloane a plasmei arcului foarte concentrată - figura 1.9 [74] - şi transferul axial al picăturii de dimensiuni mari (mai mare decât dimensiunea diametrului sârmei), acesta putând fi comparat cu transferul picăturii de la sudarea în arc pulsat.

În figura 1.10 se prezintă principial formarea şi transferul picăturii prin coloana arcului la sudarea în SA – IP:

- Faza 1 este caracterizată prin formarea coloanei de plasma a arcului foarte concentrată;
- Faza 2 - se produce înmuierea capătului sârmei şi reducerea lungimii arcului, simultan cu lărgirea coloanei de plasmă faţă de faza 1;
- Faza 3 – formarea punţii de metal topit între picătura topită şi capătul solid al sârmei; constrângerea punţii de metal topit datorită forţei Pinch şi largirea dimensiunii coloanei de plasmă faţă de faza 2;
- Faza 4 - dacă dimensiunea punţii de metal topit dintre capătul sârmei şi picatură este suficient de redusă, se formează plasma în jurul punţii de metal topit.

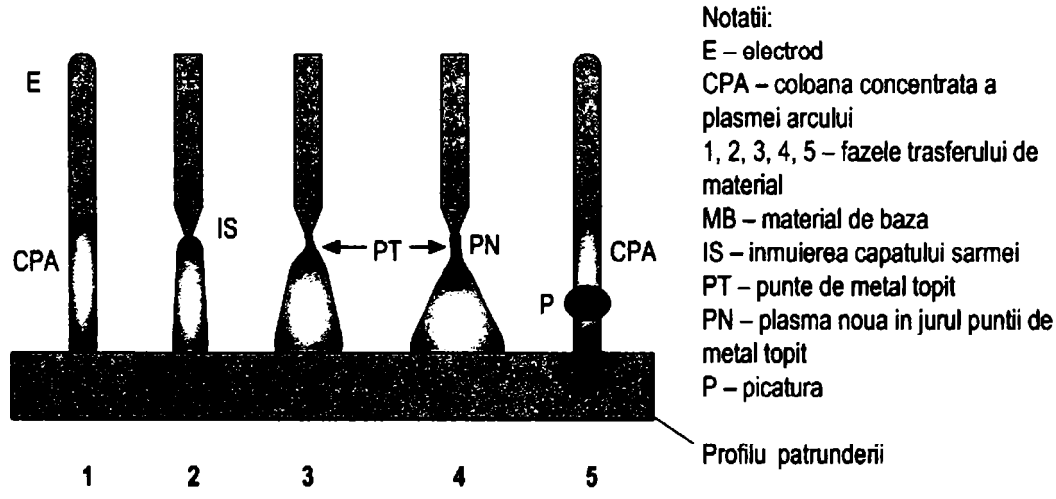


Figura 1.10 – Fazele de transfer ale picăturii la sudarea în spray arc de mare productivitate SA-IP

- Faza 5 - În momentul în care se rupe această punte se produce reaprinderea arcului şi trecerea picături prin coloana de plasma concentrată. Se observă din figura 1.10 faza 5, dimensiunea mărită a picături faţă de dimensiunea electrodului, precum şi forma profiului pătrunderii.

Datorită concentrării puternice a arcului spray de mare productivitate se obţine o adâncime mare de pătrundere a sudurii.

Gazele de protecţie utilizate la această variantă sunt amestecuri pe bază de Ar cu 2 până la 4 componente, în general contiând aproximativ 30% He [7].

Dupa cum se observă din figura 1.5, domeniul AS - IP este situat parţial în domeniul arcului instabil.

BUPT

1.3.2 Sudarea MAG – IP cu mai multe sârme electrod

Sudarea cu mai multe sârme (minim 2) se poate realiza doar în varianta complet mecanizată sau automatizată. Sudarea cu două sârme este caracterizată prin existenţa a două arce separate şi protejate de acţiunea mediului înconjurator cu acelaşi gaz de protecţie. Sârmele fiind poziţionate în aceeaşi duză de gaz. Topirea celor două sârme şi transferul picăturilor se realizează în aceaşi baie metalică. Viteza de avans a celor două sârme poate fi identică sau diferită, influenţând astfel rata depunerii, adâncimea de pătrundere precum şi forma sudurii.

Distanţa dintre cele două sârme poate varia între 5 – 8 mm [86]. O valoare mică a distanţei între cele două sârme duce la instabilitatea procesului datorită interacţiunii magnetice, iar o valoare mare a distanţei între cele două sârme obligă la reducerea vitezei de sudare în vederea obţinerii unei băii metalice comune.

În figura 1.11 [86] se prezintă o comparaţie între domeniile valorilor vitezei de avans a sârmei v_e, ratei depunerii Ad şi a vitezei de sudare v_s pentru sudarea MAG clasica, MAG-IP cu o sârmă şi respectiv MAG-IP cu două sârme de diametre ϕ1,0 mm şi 1,2 mm.

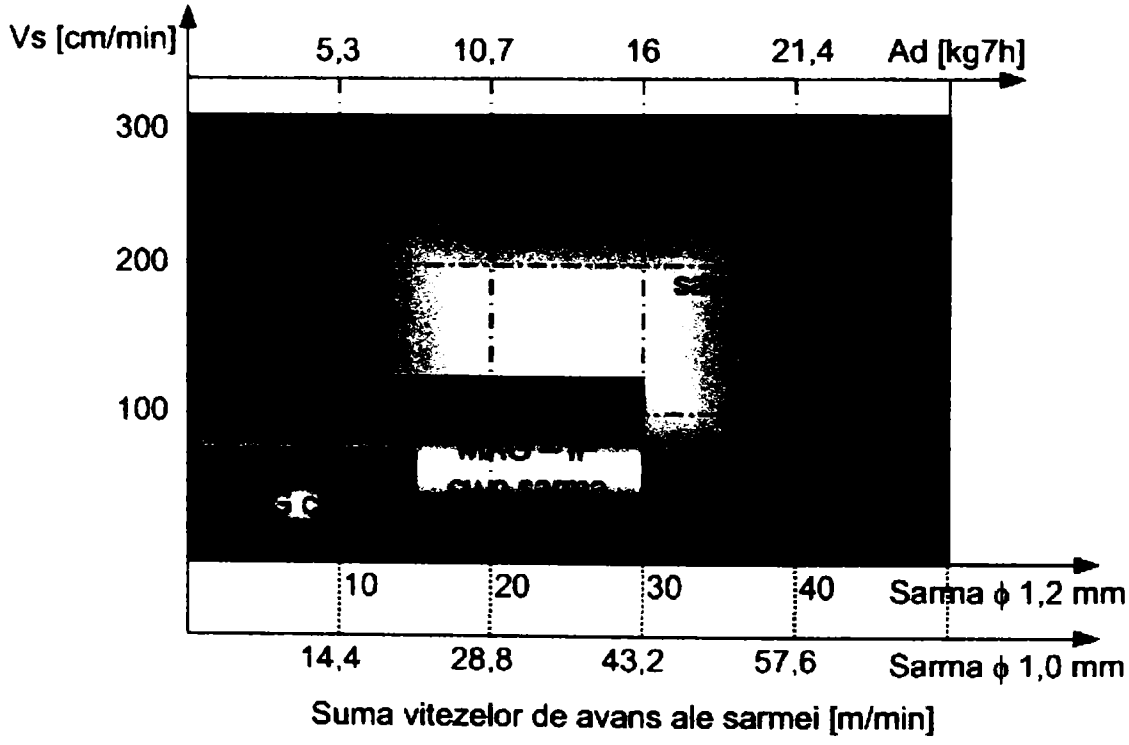


Figura 1.11 – Comparaţie între valorile ratei depunerii pentru sudarea MAG clasică, MAG –IP cu o sârmă şi respectiv MAG cu două sârme

Tipurile de arce posibile pentru sudarea MAG – IP cu mai multe sârme sunt: arc scurt, arc spray sau arc pulsat. Arcul rotitor sau arcul spray de înaltă productivitate nu au fost studiate pentru sudarea cu mai multe sârme.

BUPT

În figura 1.4 sunt prezentate tipurile de arce posibile pentru sudarea MAG cu două sârme (notată cu MAGD pe figura menţionată), respectiv MAG cu două sârme în varianta TANDEM (notată prin MAGT).

Sudarea MAG cu două sârme – MAGD – se caracterizează prin topirea simultană a două sârme de diametre reduse (1,0 mm; 1,2 mm sau 1,6 mm) în aceeaşi baie metalica şi avand aplicate aceleaşi potenţiale pe ambele sârme.

La sudarea MAG cu două sârme în varianta TANDEM - MAGT – se topesc de asemenea două sârme de diametre reduse în aceaşi baie metalică, potenţialele aplicate pe cele două sârme sunt însă diferite.

1.4 Sudarea TIME

Sudarea TIME - Transferred Ionized Molten Energy – este rezultatul a douazeci de ani de cercetări efectuate de cercetătorii canadieni [70] şi se bazează pe utilizarea unui amestec special de gaze pe bază de Ar. Principial sudarea TIME este similară sudarii MAG, singura deosebire fiind gazul utilizat la sudarea TIME şi care presupune dozarea exacta a următoarei compoziţii chimice:

$$65\%\ Ar + 26{,}5\ \%He + 8\%\ CO_2 + 0{,}5\%\ O_2$$

Utilizarea acestui amestec de gaze permite obţinerea unui proces de sudare MAG stabil la o valoare ridicată a vitezei de avans a sârmei, a curentului de sudare şi care oferă o productivitate foarte ridicată a procesului de sudare.

Ideea de bază a amestecului de gaze patentat de cercetătorii J. G. Church şi H. Imaizumi în 1990 [70], se bazează pe influenţarea fizicii arcului prin intermediul compoziţiei chimice a gazului de protecţie, respectiv pe îmbinarea favorabilă a caracteristicilor celor patru gaze utilizate, astfel:

- O_2 şi CO_2 scad tensiunea superficială a picăturilor şi a băii topite;
- Ar şi He duc la creşterea tensiunii de ionizare şi a tensiunii arcului.

Adăugarea cantităţii de 26,5% He în gazul de protecţie, duce la creşterea conductivităţii termice şi a potenţialului de ionizare şi implicit creşterea tesiunii arcului. Datorită creşterii tensiunii arcului, arcul este mai puternic, transferul de material fiind stabil, se obţine o adâncime mare de pătrundere a sudurii.

Pe langă scaderea tensiunii superficiale la nivelul picăturilor, adăugarea de O_2 duce la scaderea potentialului de ionizare a amestecului gazos. Adaugarea a $8\%CO_2$ are ca efect creşterea puterii arcului şi implicit a adâncimii de pătrundere a sudurii.

Pentru această variantă MAG de înalta productivitate, se necesită un echipament de sudare capabil să ofere viteze ridicate a sârmei la sudare şi valori mari ale curenţilor (ex: max 500A/44V pentru 100%DA sau 760A/60V pentru 60%DA).

Variantele de tipuri de arc care se pot întâlni în cazul sudarii TIME sunt:

- Sudare în spray arc - pentru viteze ale sârmei de până la 25 m/min;
- Sudare cu arc rotitor – pentru viteze ale sârmei între 25 – 50 m/min.

Datorită vitezei mari a sârmei se utilizează varianta semi mecanizată pentru o viteză de până la v_e = 20 m/min sau varianta complet mecanizată la v_e =25 - 50 m/min.

Sudarea cu viteze de avans a sârmei de până la 50 m/min, permite obţinerea unei rate de depunere de 27 kg/h la un diametru de sârmă de 1,2 mm [70].

Se menţionează că primele cercetări referitoare la arcul rotitor au fost efectuate începând cu 1970 pentru placarea componentelor de reactor utilizând o sârmă de diametru 0,8 mm şi o viteză de avans a sârmei v_e de până la 64 m/min. Din păcate cercetarile au fost stopate datorită instabilităţii procesului de sudare [8].

BUPT

Lungimea liberă a sârmei utilizate la sudarea TIME se înscrie în domeniul (20 – 40 mm), acestă valoare mare a lungimii libere a sârmei contribuie la obţinerea unei rate mari a depunerii. În figura 1.12, se prezintă variaţia ratei depunerii în funcţie de lungimea liberă a sârmei pentru o sârmă de diametru ϕ1,6 mm sudată TIME [70].

Deşi se sudează cu lungimi mari ale capătului liber al sârmei, se obţine o calitate a sudurilor comparabilă cu cea a sudării clasice [21], deformaţiile şi tensiunile introduse în piese fiind însa mai mici deoarece viteza de sudare are valori ridicate.

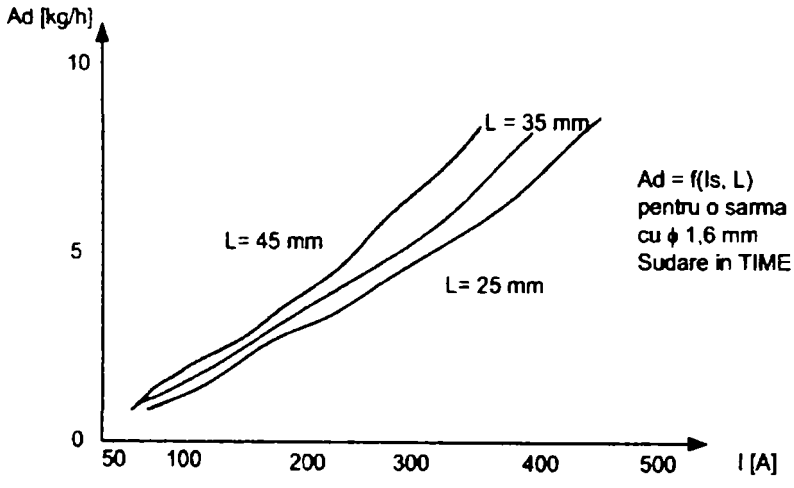


Figura 1.12 – Dependenţa ratei depunerii de valoarea lui Is şi a lungimii libere a sârmei L_l, la sudarea TIME

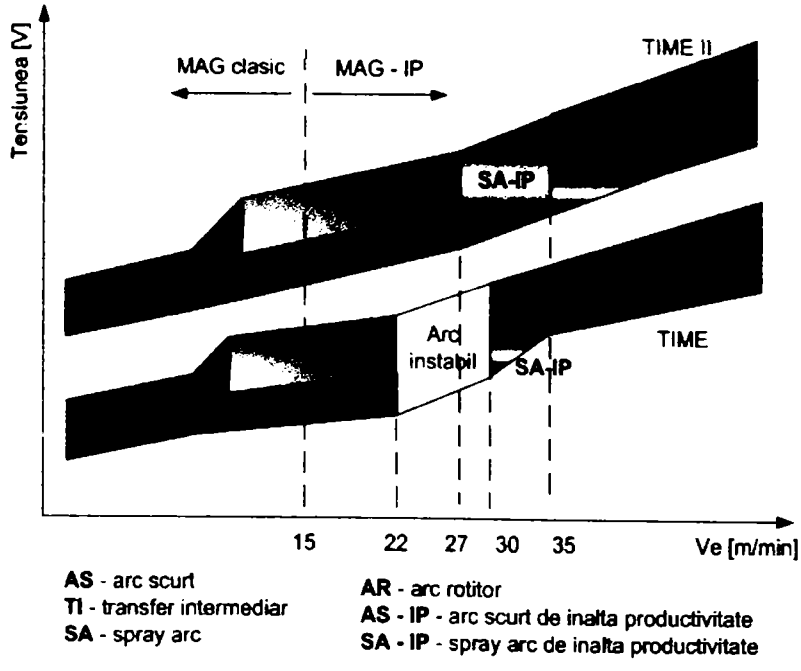


Figura 1.13 – Efectul gazelor TIME şi TIME II asupra stabilităţii diferitelor tipuri de arc

Procedeul se pretează pentru sudare în orice poziţie [21].

Marele dezavantaj al acestei variante de sudare MAG - IP îl constituie valoarea ridicată a preţului de achiziţie a amestecului de gaze.

Bazat pe principiul TIME, ulterior s-a realizat un nou amestec de gaz, denumit TIME II şi care conţine tot Ar, He, O_2 şi CO_2, însă proporţia celor 4 gaze este diferită de compoziţia chimică utilizată pentru TIME. Compoziţia chimică a lui TIME II [89] este:

46,5%Ar + 26,5%He + 25%CO_2 + 2%O_2

Figura 1.13 prezintă efectul gazelor TIME şi TIME II asupra stabilităţii diferitelor tipuri de arce întâlnite.

Din figura 1.13 [89] se observă că la sudarea cu gaz TIME II, arcul rotitor se obţine la valori ale vitezei de avans sârmă > 35 m/min.

Utilizarea lui TIME II ajută la evitatea domeniului de arc instabil existent

BUPT

între 22 – 30 m/min prin mărirea domeniului sudării cu spray arc de înaltă productivitate SA-IP, a domeniul spray arc şi a celui AS-IP.

Varianta de sudare TIME se poate aplica în construcţia de vehicole pentru calea ferată, la construcţii navale, în construcţia automobilelor şi a utilajelor de excavat, la construcţia de reţele de transport, recipiente sub presiune, etc. [35], [31].

1.5 Sudarea RAPID ARC şi RAPID MELT

În cursul anilor 90 [70] având la bază ideea TIME, s-au dezvoltat de către producătorii de gaze alte variante de sudare MAG de mare productivitate. Pe baza concepţiei de utilizare a unor amestecuri speciale de gaze de protecţie care să influenţeze fizica arcului şi să permită obţinerea unor viteze mari de sudare şi a unor rate mari de depunere Ad > 8kg/h s-au dezvoltat variantele: RAPID ARC, RAPID MELT şi LINFAST.

Conceptul RAPID PROCESSING cuprinde 2 variante de sudare MAG de mare productivitate:

- Varianta RAPID ARC care urmăreşte creşterea vitezei de sudare;
- Varianta RAPID MELT care urmăreşte creşterea ratei depunerii.

Principial conceptul RAPID PROCESSING este similar sudării clasice MAG, diferenţa constând în amestecul de gaze utilizat la sudare şi format din Ar şi o cantitate redusă de CO_2 şi în modificarea lungimii libere a sârmei sau a tensiunii arcului [100]. Datorită conţinutului redus de CO_2 se obţine un arc stabil, cu stropiri reduse, cu o convexitate scăzută a depunerii, o bună trecere între materialul de bază MB şi cel depus MD şi o oxidare scazută a suprafeţei cusăturii.

Se foloseşte, de regulă, un amestec Ar + 8% CO_2.

Acest amestec de gaze permite în cazul variantei RAPID ARC creşterea vitezei de sudare până la dublarea acesteia (funcţie de aplicaţie) prin utilizarea unei viteze de avans a sârmei de până la 25 m/min şi printr-o lungime liberă a sârmei mai mare faţă de varianta clasica [86].

În tabelul 1.2 se prezintă o comparaţie între rata de depunere Ad, viteza de avans a sârmei şi respectiv viteza de sudare pentru diverse variante de procedee de sudare [100].

Tabelul 1.2 – Comparaţie între valorile ratei de depunere, vitezei de avans a sârmei şi a vitezei de sudare pentru mai multe tipuri de procedee de sudare

Exemplu Oţel slab aliat Grosimea MB 8 mm Pozitie PA	Diametrul electrodului ϕ [mm]	Rata depunerii Ad [kg/h]	Viteza de avans a sârmei v_e [m/min]	Viteza de sudare v_s [cm/min]
Sudare SE cu electrod bazic	5	2,6		22
Sudare SE cu electrod rutilic de mare productivitate	5	5,7		49
Sudare MAG cu sârma plină în CO_2	1,2	4,2	8	36
Sudare MAG cu sârmă plină în 18%Ar + 82%CO_2	1,2	5,8	11	50
RAPID ARC, cu sârmă plina în Ar + 8%CO_2 + 0,03%NO	1,2	9,5	18	81

BUPT

RAPID ARC este o denumire de firmă, dată arcului scurt de mare productivitate - AS - IP [8] şi care se obţine în domeniul de valori al vitezei de avans a sârmei similar sudării spray arc, prin reducerea tensiunii arcului, obtinându-se o lungime mai redusă a arcului.

Sursa de sudare utilizată pentru această varianta MAG de înaltă productivitate este o sursă obişnuită, ea putând fi utilizată atât în varianta mecanizată cât şi în varianta semimecanizată.

RAPID MELT utilizează un amestec de gaze format din Ar şi CO_2, rezultatul fiind creşterea ratei depunerii de până la 20 kg/h prin utilizarea unei viteze de avans a sârmei de până la 40 m/min [100].

Datorită gazului de protecţie se obţine un arc rotitor stabil, evitându-se astfel domeniul de instabilitate existent la limita între domeniul arcului spray clasic şi domeniul arcului rotitor - vezi figura 1.14 [100].

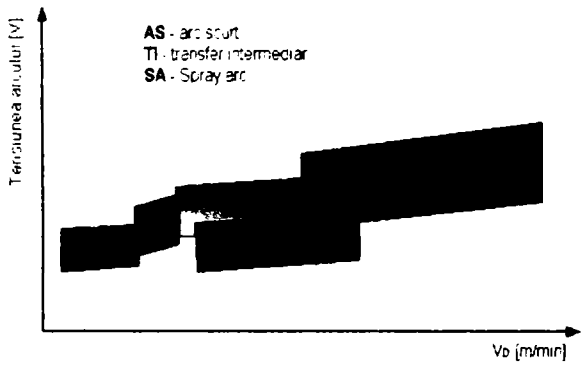


Figura 1.14 - Efectul RAPID PROCESSING

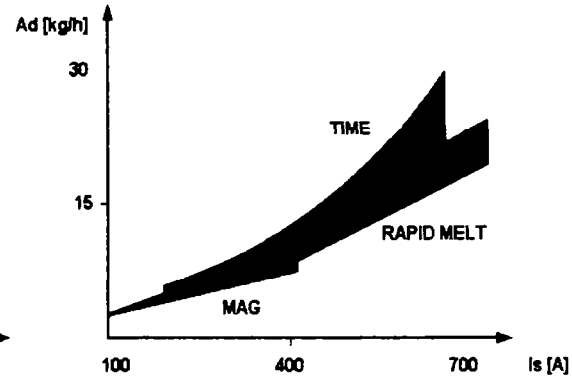


Figura 1.15 - Comparaţia Ad pentru MAG clasic, TIME şi RAPID MELT

Această varianta MAG de mare productivitate necesită investiţii în ceea ce priveşte sursa de sudare, cât şi dispozitivul de avans sârmă DAS. Sursa de sudare trebuie să fie de mare putere, capabilă să ofere valori mari ale curenţilor de sudare, iar dispozitivul de antrenare a sârmei - DAS - să fie capabil să ofere valori ridicate ale vitezei de avans a sârmei.

RAPID MELT se utililizează doar în varianta mecanizată sau robotizată.

În figura 1.15 este prezentată o comparaţie din punct de vedere a ratei depunerii între sudarea MAG convenţională şi variantele MAG de mare productivitate: TIME şi RAPID MELT [70]

1.6 Sudarea LINFAST

Ultima dintre variantele MAG - IP dezvoltate pe ideea TIME, a fost conceptul LINFAST [70]. Acesta este bazat de asemenea pe principiul procedeului MAG, gazul de protecţie utilizat fiind obţinut prin amestecarea a 3 tipuri de gaze: Ar, He şi CO_2 sau Ar, He şi O_2.

BUPT

LINFAST se poate utiliza în combinaţie cu o sârmă sau două sârme, oferind creşterea ratei depunerii şi/sau creşterea vitezei de sudare. Se foloseşte în general pentru aplicaţii complet mecanizate.

Tinând cont de faptul că compoziţia gazului influenţează caracteristicile arcului, transferul materialului prin arc, adâncimea de pătrundere cât şi caracteristicile sudurii, pentru sudarea LINFAST a fost dezvoltată o gama de amestecuri de gaze bazate pe Ar:

M 21 (1)	CORGON He 25C	Ar + 25%He + 25%CO_2
M 22 (1)	CORGON He 25S	Ar + 25%He + 3,1%O_2
M 21 (1)	CORGON He 30	Ar + 30%He + 10%CO_2

Alături de Ar, heliul reprezintă un element esenţial în gama de amestecuri de gaze create, deoarece în combinaţie cu Ar (un alt gaz inert), He poate fi utilizat ca gaz de protecţie la sudarea oricărui tip de material. Utilizarea He duce la creşterea energiei arcului pe baza valorii ridicate a conductivităţi termice şi la creşterea valorii căldurii introduse în materialul de bază. Astfel se poate creşte viteza de sudare, obţinându-se o reducere a timpului de sudare, deci o creştere a productivităţii.

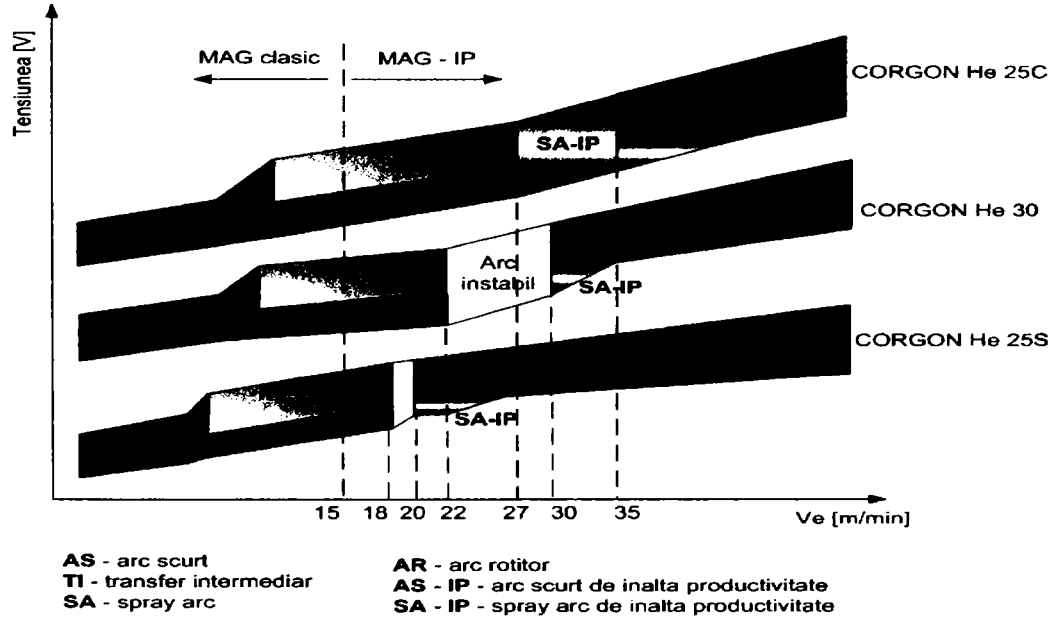


Figura 1.16 – Efectul tipului de gaz de protecţie asupra stabilităţii diferitelor tipuri de arc

BUPT

Adăugarea de CO_2 sau O_2 are ca efect stabilizarea arcului, creşterea puterii arcului şi implicit a adâncimii de pătrundere a sudurii. În cazul utilizării CO_2 datorită fluidităţii mai ridicate a băii metalice BM, oxidările sunt mai reduse decât în cazul utilizării O_2, iar cantitatea de zgură formată la suprafaţa cusăturii este de asemenea mai redusă. Valoarea creşterii tensiunii arcului este de asemenea mai ridicată în cazul utilizării unui amestec de CO_2.

În figura 1.16 [89] se prezintă o comparaţie a efectelor gazelor Ar + 25%He + 25%CO_2; Ar + 25%He + 3,1%O_2 şi Ar + 30%He + 10%CO_2 asupra tipurilor de arc.

Se poate observa din figura 1.16 că utilizând Ar + 25%He + 25%CO_2 şi Ar + 25%He + 3,1%O_2 se evită domeniul de arc instabil existent în domeniul 22 – 30 m/min.

Utilizând Ar + 25%He + 3,1%O_2 se măreşte domeniul arcului rotitor, acesta putând apare de la valori ale vitezei de avans sârmă de 20 m/min. Se poate sesiza de asemenea şi coborârea domeniului spray arc de înaltă performanţa SA-IP la valori ale vitezei de avans între 20 – 27 m/min.

Din figura 1.16 se constată mărirea domeniului spray arc - SA şi a domeniului arcului scurt de înaltă performanţă – AS-IP - până la 27 m/min în cazul utilizării gazului de protecţie Ar + 25%He + 25%CO_2.

Domeniul arcului spray de înaltă performanţă – AS-IP - se extinde între 27 – 35 m/min în cazul utilizării gazului Ar + 25%He + 25%CO_2, micşorându-se astfel domeniul arcului rotitor, care apare doar la valori ale vitezei de avans sârmă de peste 35 m/min.

În cazul utilizării gazului de protecţie Ar + 30%He + 10%CO_2, domeniul spray arc şi domeniul arcului scurt de înaltă performanţă sunt obţinute până la viteze de avans sârmă de 22 m/min.

1.7 Sudarea MIG/MAG - IP cu două sârme TWIN-ARC şi MIG/MAG - IP cu două sârme în TANDEM

1.7.1 Sudarea MIG/MAG - IP cu două sârme TWIN-ARC

Variantele MIG/MAG de mare productivitate – notate cu MIG/MAG-IP pe figura 1.4 - se pot obţine nu doar prin utilizarea unor combinaţii speciale de gaze de protecţie care să ofere posibilitatea utilizării unor viteze mari de sudare sau a unei rate mari de depunere, ci şi prin creşterea numărului de sârme electrod implicate în procesul de sudare.

Utilizând două sârme electrod se pot obţine două variante de procedeu de sudare MIG/MAG de mare productivitate: MIG/MAG-IP cu două sârme TWIN-ARC (notate prin MAGD/MIGD pe figura 1.4) şi MIG/MAG-IP cu două sârme în TANDEM (notate prin MAGT/MIGT pe figura 1.4).

În figura 1.17 este prezentat principiul procedeului de sudare MAG – IP cu două sârme TWIN-ARC. Acesta constă în topirea simultană a două sârme de diametre reduse (1,0 mm; 1,2 mm sau 1,6 mm) în aceeaşi baie metalică, ele fiind alimentate de la o sursă de sudare sau de la două surse de sudare, în această situaţie însă este necesar ca potenţialele aplicate celor două sârme să fie identice.

BUPT

Din figura 1.17 se poate observa că sârmele trec prin aceeaşi duză de gaz şi aceeaşi duză de contact, fiind protejate de acelaşi tip de gaz de protecţie (vezi figura 1.17).

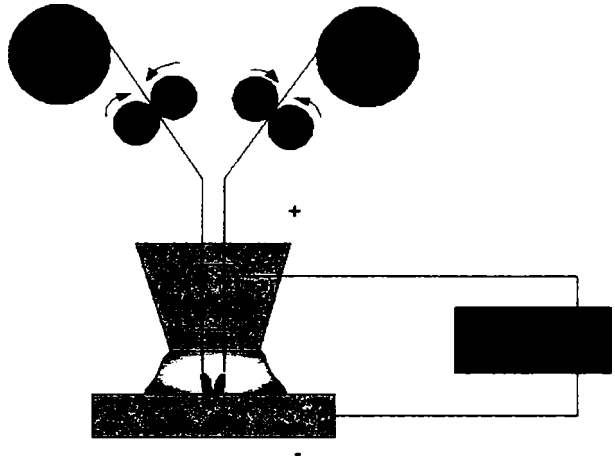


Figura 1.17 – Principiul sudării MIG/MAG TWIN-ARC

Cele două sârme sunt alimentate de la două dispozitive avans sârmă complet separate şi au acelaşi potential.

Datorită distanţei foarte reduse dintre cele două sârme (între 5 – 8 mm) şi a trecerii curentului de sudare, între cele două arce electrice formate apare o interacţiune. Dacă cei doi curenţi au acelaşi sens, între cele două arce apare o forţă de atracţie, iar daca polarităţile celor doi curenţi sunt diferite, între cele două arce apare o forţă de respingere.

Transferul materialului prin spaţiul arcelor electrice se poate realiza în varianta spray arc sau pulsat. Important de menţionat este faptul că ambele sârme au acelaşi mod de transfer.

Cea mai utilizată variantă de transfer la sudarea MAG cu două sârme TWIN-ARC, este sudarea cu ambele sârme în arc pulsat.

Stabilitatea procesului de sudare se obţine prin existenţa unui mecanism de antrenare a dispozitivului de avans sârmă format din 4 role de antrenare (2 antrenoare şi 2 presoare) şi a unui sistem de avans al sârmei tip push-pull pentru asigurarea unei viteze de avans a sârmei constantă.

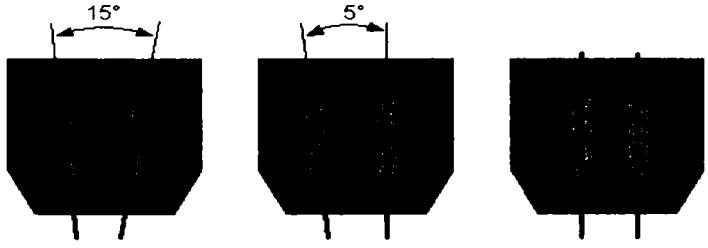


Figura 1.18 – Poziţionarea relativa a sârmelor

Poziţionarea celor două sârme una în raport cu cealaltă, se realizează la o distanţa de 5 – 8 mm în paralel sau sub un anumit unghi (între 5° - 15°) – vezi figura 1.18 [86].

Poziţionarea sârmelor în raport cu direcţia de sudare se poate face în linie (desen 1 - figura 1.19), sub un unghi cuprins între (10° - 30°) (desen 2 - figura 1.19) sau în paralel (desen 3 - figura 1.19) [86].

Se aplică sudarea TWIN ARC la construcţii navale, în construcţia de autovehicole, la construcţia de reţele de transport şi recipiente, etc.

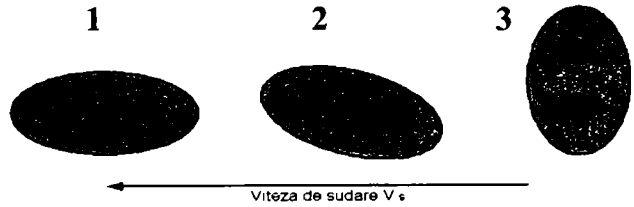


Figura 1.19 – Poziţionarea sârmelor în raport cu direcţia de sudare

BUPT

În cazul încărcării prin sudare este recomandată poziţionarea sârmelor în paralel, iar pentru sudurile de îmbinare este recomandată poziţionarea sârmelor în linie.

Pentru obţinerea unei diluţii mici şi implicit a unei pătrunderi de valoare mica în MB, valoarea unghiului de înclinare a capului de sudare în direcţia sudării este de aproximativ 20° [13].

Lungimea liberă a sârmei utilizată pentru sudarea MAG cu două sârme TWIN-ARC este cuprinsă în domeniul 15 – 20 mm [86].

Debitul de gaz necesar la sudarea MAG cu două sârme TWIN-ARC este de aproximativ (18 – 20 l/min), iar datorită dimensiunilor mari ale băii metalice şi a vitezelor mari de sudare, uneori este necesară o protecţie suplimentară a BM printr-o duză de gaz adiţională şi folosind ca gaz de protecţie adiţional Ar.

Se sudează MIG/MAG – IP cu două sârme TWIN-ARC în poziţiile:

- orizontală sau orizontală în jgheab - notată PA conform ISO 6947 - fără probleme deosebite;
- orizontală cu perete vertical - notată PB conform ISO 6947 - fără probleme deosebite;
- orizontală pe perete vertical (în cornişă) – notată PC conform ISO 6947 - cu restricţii [86].

Utilizarea altor poziţii de sudare impune limitarea v_e datorită dimensiunilor mari ale băii metalice.

1.7.2 Sudarea MAG/MIG – IP cu două sârme în TANDEM

În figura 1.20 este prezentat principiul sudării MAG – IP cu două sârme în TANDEM, iar în figura 1.21 este prezentat capul de sudare.

Se poate observa din figurile 1.20, respectiv 1.21 că protecţia spaţiului de lucru, a celor două arce, a băii metalice şi a celor două sârme se realizează simultan prin intermediul unei singure duze de gaz; se poate constata însă existenţa a două duze de contact complet separate – figura 1.21.

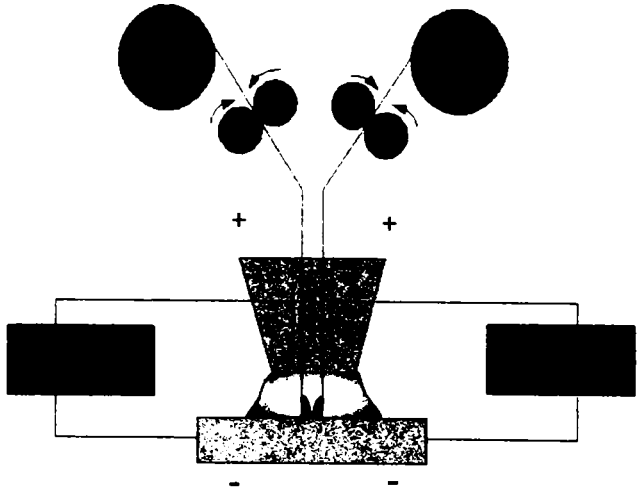


Figura 1.20 – Principiul sudării MIG/MAG cu două sârme în TANDEM

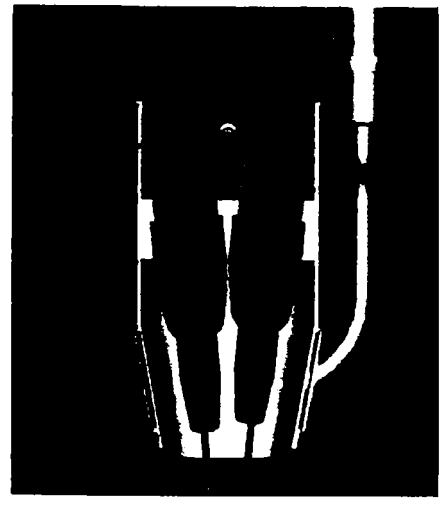


Figura 1.21 – Cap de sudare pentru TANDEM [29]

BUPT

Poziţionarea celor două duze de contact în duza de gaz se poate realiza paralel sau sub diferite unghiuri (5° sau 15° - figura 1.18). Important de menţionat este necesitatea unei răciri abundente a duzei de gaz datorită valorilor ridicate ale curenţilor de sudare, respectiv a temperaturilor ridicate dezvoltate.

Un alt element specific al acestei variante de mare productivitate este existenţa a două potenţiale distincte pe cele două sârme electrod şi a două surse de sudare.

Cele două surse de sudare lucrează în regim master–slave, existând un electrod principal (conducător) şi un electrod secundar (condus). Viteza de avans a celor două sârme poate fi diferită, astfel că arcul electrodului principal poate fi mai puternic decât cel al electrodului secundar, deci electrodul principal (electrodul conducător) controlează rata depunerii şi adâncimea de pătrundere, în timp ce electrodul secundar (electrodul condus) controlează forma sudurii.

Modurile de transfer aplicabile acestei variante MIG/MAG – IP sunt: spray arc, arc scurt sau pulsat. Existenţa a două potenţiale diferite oferă posibilitatea combinării modurilor de transfer, astfel este posibilă combinarea transferului pulsat la una din sârme cu transferul spray pentru cea de-a doua sârmă, putându-se astfel influenţa pătrunderea, diluţia şi geometria sudurii.

În general se utilizează varianta pulsat pe electrodul principal, iar pe electrodul condus spray arc pentru depuneri prin sudare sau în cazul în care se doreşte obţinerea de viteze mari de sudare. În cazul în care se doresc valori mari ale pătrunderii, se utilizează varianta spray arc pentru primul electrod, în timp ce pentru cel de-al doilea electrod se utilizează varianta pulsat.

La sudarea MIG/MAG – IP cu două sârme în regim pulsat variantele de sudare posibile sunt:

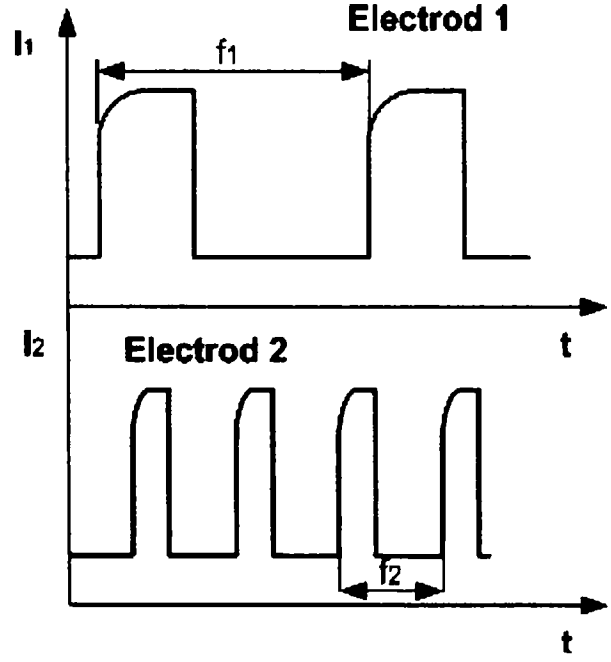


Figura 1.22 – Sudare MAG-IP cu două sârme în TANDEM varianta asincronă

- Pulsaţie asincronă ($f_1 \neq f_2$) figura 1.22;
- Pulsaţie sincronă şi defazată ($f_1 = f_2$) figura 1.23 a;
- Pulsaţie sincronă şi în fază ($f_1 = f_2$) figura 1.23 b.

În figura 1.23 sunt prezentate principial sudarea MIG/MAG – IP cu două sârme în TANDEM pentru varianta pulsat sincronă şi în fază, respectiv pulsat sincronă şi cu pulsurile defazate.

Distanţa între cele două sârme este cuprinsă între 5 – 8 mm, iar lungimea liberă a sârmei poate ajunge până la 40 mm. Lungimea liberă a sârmei în interiorul duzei de gaz poate ajunge până la 10 mm [86].

Se sudează MIG/MAG – IP cu două sârme în TANDEM în poziţiile: PA şi PB (conform ISO 6947) fără probleme deosebite. Utilizarea altor poziţii de sudare

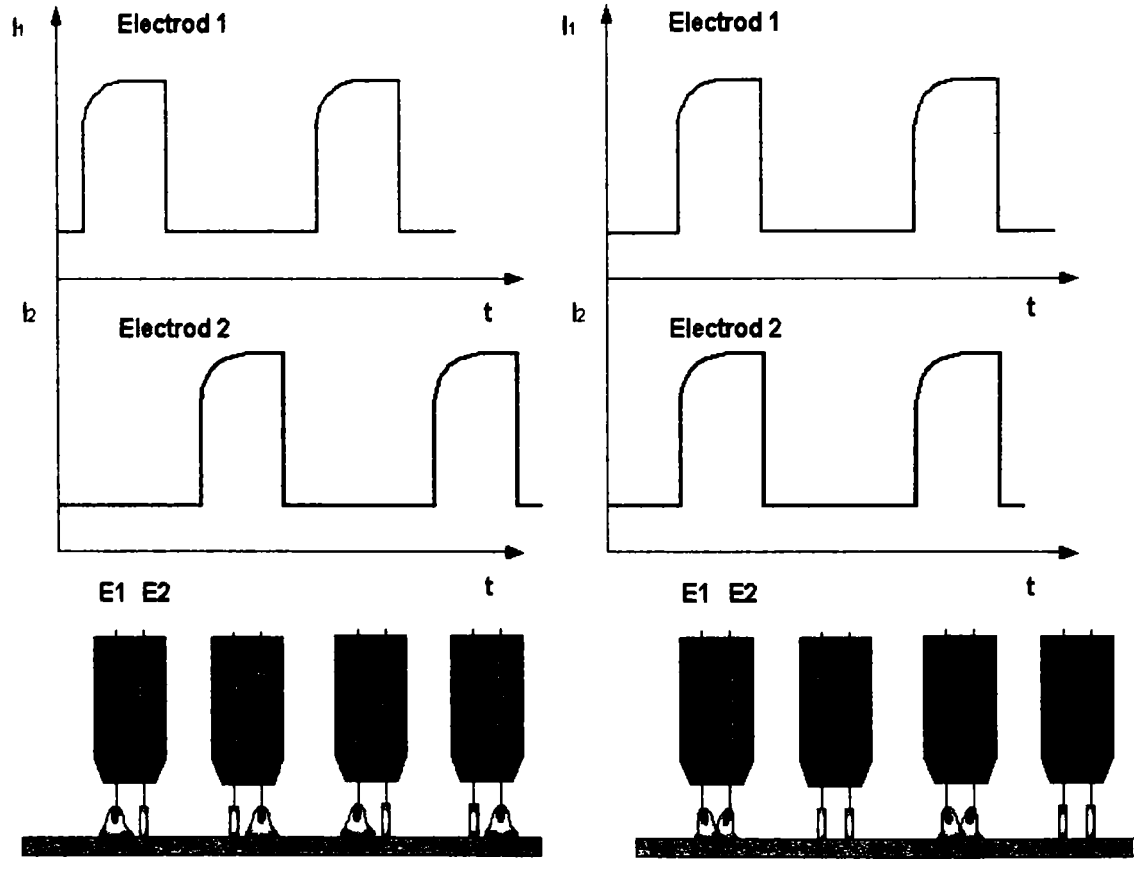
BUPT

impune limitarea vitezei de avans sârmă datorită dimensiunilor mari ale băii metalice. Poziţiile PF şi PD (conform ISO 6947) sunt nerecomandate.

Poziţionarea celor două sârme în raport cu direcţia de sudare se poate realiza în paralel, sub un unghi între 10° - 30° sau în linie, asemeni figurii 1.19. În cazul în care se realizează suduri de îmbinare cu adâncime mare de pătrundere, poziţionarea sârmelor se face în linie (desen 1), iar pentru încărcarea prin sudare se recomandă poziţionarea în paralel a celor două sârme (desen 3).

Pentru obţinerea unei diluţii mici şi implicit a unei pătrunderi de valoare mică în MB, valoarea unghiului de înclinare a capului de sudare în direcţia sudării este de aproximativ 20° [13].

Sârmele utilizate la încarcare pot fi pline sau tubulare cu diametre cuprinse în gama 1,0 – 1,6 mm. Experimental s-a demonstrat obţinerea unor rate de depunere de 17 kg/h utilizând sârme cu diametre de 1,2 mm, respectiv obţinerea unor rate de depunere de 21 kg/h pentru sârme cu diametru de 1,6 mm [13].



(a) (b)

Figura 1.23 – Sudare MAG-IP cu două sârme în TANDEM în varianta pulsat sincron defazat (a) şi respectiv pulsat sincron în fază (b)

BUPT

Un alt avantaj al variantei MIG/MAG – IP cu două sârme în TANDEM este viteza mare de sudare care poate ajunge până la valori de 3 m/min, respectiv obţinerea unei rate mari a depunerii de 24 kg/h pentru o viteză de sudare de 80 cm/min [13]. Utilizarea unei viteze mari de sudare are două efecte importante: reducerea deformaţiilor pieselor şi necesitatea robotizării procesului.

În acelaşi timp, reducerea numărului de treceri ca urmare a valorii mari a ratei depunerii contribuie la reducerea deformaţiilor pieselor sudate.

Sudarea în TANDEM se aplică la construcţii navale, în construcţia de autovehicole rutiere, la construcţia de reţele de transport şi componente circulare, recipiente sub presiune, în construcţia de vehicole şi componente pentru calea ferată, etc. [99] [35].

1.8 Sudarea MAG cu electrod bandă – MAG-EB

Sudarea MAG cu electrod bandă a apărut ca urmare a dezvoltării conceptului de creştere a productivităţii procesului de sudare prin mărirea secţiunii transversale a electrodului.

Apariţia pe piaţă a primului pistolet pentru sudarea MAG cu electrod bandă (denumită "GMAW with strip electrode", "GMAW with flat wire electrode" sau „MSG mit Flachdrahtelektrode" în literatura de specialitate) se semnalează în cadrul Expoziţiei de la Essen din 2001. Primele cercetări însa, cu privire la acesta variantă de sudare MAG s-au realizat mai demult în fosta RDG [79].

Aceste prime cercetări realizate cu varianta de procedeu MAG cu electrod bandă, au fost însă temporar stopate datorită problemelor de ordin tehnic apărute la acea dată şi legate de necesitatea existenţei:

- unor valori ridicate a curentului de sudare – Is;
- a unei viteze de avans a sârmei constantă - v_e;
- a stabilităţii arcului şi implicit a procesului de sudare.

Actualmente, datorită progresului tehnic din domeniul electronicii, este posibilă realizarea unor surse de sudare de mare putere, capabile să ofere valori mari ale curentului de sudare Is şi stabilitatea necesară procesului de sudare.

Sârmele electrod utilizate pentru sudarea MAG – EB sunt obţinute prin tăiere sau prin laminare şi uzual au următoarele dimensiuni: 3,75 x 0,5 mm; 4,0 x 0,5 mm; 4,0 x 0,6 mm sau 4,5 x 0,5 mm.

Electrozii bandă obţinuţi prin laminare sunt preferaţi celor obţinuţi prin tăiere, deoarece se pot antrena mai bine de către dispozitivul de avans sârmă DAS, iar uzura rolelor este redusă datorită muchiilor rotunjite ale electrozilor [67]. Din punct de vedere al calităţii la sudare însă, electrozii bandă obţinuţi prin tăiere sunt preferabili celor obţinuţi prin laminare [58].

În figura 1.24 se prezintă comparaţia între valorile ratei depunerii oferite de sudarea MAG clasică şi MAG-IP cu electrod sârmă de diametrele ϕ1,2 şi 1,6 mm respectiv electrod bandă de dimensiunile 3,75 x 0,5 mm şi 4,5 x 0,5 mm [45].

BUPT

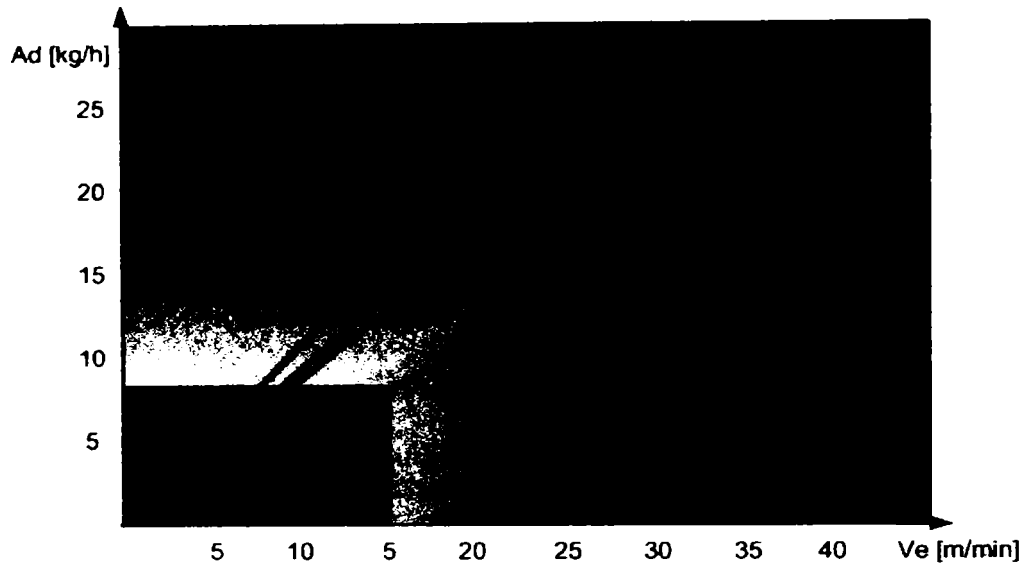


Figura 1.24 – Comparaţie între sudarea MAG clasică şi MAG-IP cu electrod sârmă şi bandă

Se observă din tabelul 1.3 că în cazul utilizării unui electrod dreptunghiular cu dimensiunile 3,75 x 0,5 mm aria secţiunii transversale este apropiată de aria electrodului circular cu diametru de ϕ1,6 mm. Datorită acestui fapt rata depunerii oferită de sudarea MAG-EB este apropiată ca valoare de rata depunerii oferită de sudarea MAG cu electrod circular de ϕ1,6 mm.

Tabel 1.3 – Aria secţiunilor transversale ale electrozilor circulari şi dreptunghiulari

Dimensiune electrod	ϕ1,2	ϕ1,6	3,75 x 0,5	4,5 x 0,5
Aria secţiunii [mm^2]	1,131	2,01	1,875	2,25

Noile cercetări realizate începand cu anul 2000, au pus în evidenţă o serie de avantaje oferite de varianta de sudare MAG cu electrod bandă [58]. Avantajele oferite de varianta de sudare MAG–EB sunt:

- obţinerea unei rate a depunerii ≅ 11 kg/h, încadrându-se deci în categoria procedeelor de sudare de mare productivitate (rata depunerii Ad > 8 kg/h);
- posibilitate de creştere a vitezei de sudare cu aproximativ 30% faţă de varianta uzuală de sudare MAG cu electrod sârmă (pentru oţel până la 160 cm/min);
- capacitate bună de umectare, deci posibilitate de umplere facilă a diferitelor tipuri de rosturi;
- existenţa unei băii metalice mai "calde" (cu vâscozitate mai redusă) datorită densităţii mari de curent şi a căldurii concentrate;

BUPT

- datorită formei dreptunghiulare a electrodului, se realizează o bună degazare a băii metalice alungită, ceea ce conduce la scăderea imperfecţiunilor de tip pori sau a fisurilor;
- posibilitatea îmbunătăţirii caracteristicilor mecanice şi reducerea tensiunilor interne a îmbinărilor sudate ca urmare a controlului căldurii introduse în îmbinare datorită sudării în curent pulsat;
- toleranţă mare de pregătire a rosturilor datorită vâscozităţii reduse a băii metalice.

În tabelul 1.4 se prezintă informativ domenile de variaţie a principalilor parametri de sudare în cazul utilizării variantei MAG-EB şi a unor sârme tip G3Si1 (EN 440) respectiv AlMg4.5Mn pentru varianta pulsat şi/sau spray [88].

Variantele de transfer a materialului de adaos prin spaţiul arcului recomandate a se utiliza la sudarea MAG cu electrod bandă sunt: transferul pulsat sau transferul în spray arc.

Cerinţele obligatorii pentru utilizarea variantei de sudare MAG - EB sunt:

- folosirea unei surse de sudare de mare putere, capabilă să ofere curenţi mari de sudare - Is - la varianta de sudare în curent pulsat, un curent de puls de până la 1000 – 1200 A pentru sudarea pieselor din oţel, respectiv un curent de puls de până la 500 A pentru sudarea pieselor din Al la DA=100% [58];
- utilizarea unui dispozitiv de avans sârmă – DAS cu role de antrenare adaptate formei dreptunghiulare a electrodului bandă;
- utilizarea unui pistolet de sudare cu duza de contact adaptată formei electrodului şi a unui sistem de antrenare tip push-pull;
- utilizarea unei protecţii adiţionale a băii metalice, ca urmare a dimensiunilor mari ale acesteia.

Tabel 1.4 – Parametrii utilizaţi la sudarea MAG-EB cu electrozi tip G3Si1 şi AlMg4.5Mn

Tipul materialului de adaos	G3Si1	G3Si1	AlMg4.5Mn
Tipul gazului de protecţie	82%Ar + 18%CO_2	82%Ar + 18%CO_2	Ar
Viteza de avans a sârmei	2,0 – 10,5 m/min	2,0 – 10,5 m/min	6,0 – 9,0 m/min
Dimensiunea electrodului	4,5 x 0,5 mm	4,5 x 0,5 mm	4,0 x 0,6 mm
Tipuri de arc	Arc pulsat	Arc spray	Arc pulsat
Curentul de sudare Is	90 – 420 A	140 – 550 A	170 – 260 A
Tensiunea arcului Ua	20 – 28 V	16 – 30 V	20 – 22 V
Rata depunerii Ad	2,1 – 11,3 kg/h	2,1 – 11,3 kg/h	2,5 – 3,6 kg/h

Cercetările realizate au scos la iveală o serie de probleme legate atât de antrenarea sârmei, cât şi de uniformitatea vitezei de avans a sârmei, astfel că, este esenţială utilizarea sistemului push-pull pentru obţinerea unei viteze de avans a sârmei constantă.

Datorită valorilor mari ale curenţilor de sudare Is, precum şi a vitezelor mari de sudare posibile de 100 – 160 cm/min, se recomandă sudarea în variantă automatizată. Se recomandă montarea pistoletului de sudare pe braţul unui robot şi manipularea pieselor de lucru să se faca cu ajutorul mecanismelor de poziţionare-rotire.

BUPT

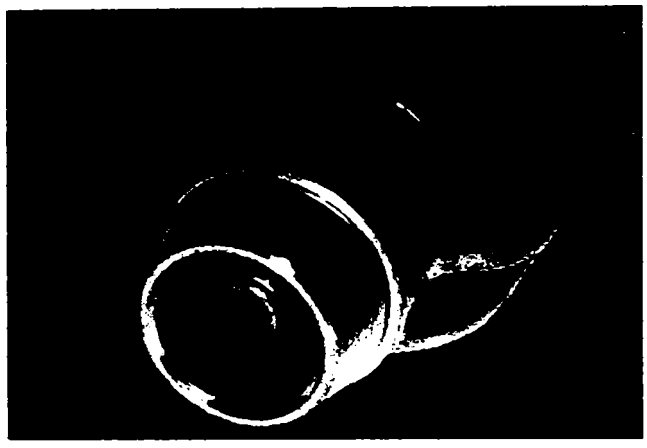


Figura 1.25 – Cap de sudare MAG - EB

În figura 1.25 este prezentat capul de sudare destinat sudării MAG cu electrod bandă.

Dezavantajele majore ale variantei de sudare MAG cu electrod bandă sunt legate de:

- preţul mare de cost al electrodului bandă în raport cu preţul electrodului de sârmă obişnuit;
- preţul ridicat al duzelor de contact, având în vedere utilizarea limitată a variantei de sudare MAG-EB.

Începând cu 2001 s-a realizat introducerea sudării MAG - EB în producţia de masă din industria constructoare de automobile, varianta însa se poate aplica cu succes nu numai în industria constructoare de automobile sau vehicule, ci şi la construcţia avioanelor, în cadrul construcţiilor navale, etc. [58] [67].

1.9 Încărcarea prin sudare MAG cu electrod bandă – MAG-EB

Datorită solicitărilor din exploatare, în timp piesele sunt supuse la diferite forme de uzură (abraziune, eroziune, cavitaţie, şoc, coroziune), care de cele mai multe ori se manifestă în variantă combinată. Se menţionează faptul că doar în SUA costul total anual al coroziunii metalice este estimat la 280 mil $ [53]. Pentru remedierea defectelor aparute în exploatare sau îmbunătăţirea proprietăţilor suprafeţelor pieselor, se utilizează varianta încărcării prin sudare.

Încărcarea prin sudare – conform ISO 857-1 / 1998 – consta în depunerea unui strat metalic prin sudare pe o piesă (material de bază MB) în vederea obţinerii proprietăţilor sau dimensiunilor dorite. Încărcarea prin sudare se poate utiliza atât pentru activităţi de reparare, cât şi în construcţia de piese noi.

În tabelul 1.5 se face o clasificare a încărcării prin sudare în funcţie de scopul pentru care aceasta se realizează: reparare, obţinere de straturi rezistente la uzură sau coroziune şi depunere de strat tampon. Tabelul oferă de asemenea informaţii referitoare la particularităţile tipurilor de operaţii de încărcare, şi în special la alegerea tipului de metal de adaos – MA astfel încât să satisfacă scopul dorit.

Încărcarea se poate realiza prin orice procedeu de sudare SE, MIG/MAG, SF, iar de-a lungul timpului s-au utilizat toate, într-o măsură mai mare sau mai mică. Se preferă însă pentru încărcare procedeele de sudare caracterizate prin diluţie mică. Având în vedere însă importanţa reducerii costurilor de fabricaţie, este important ca procedeul de sudare utilizat să ofere o productivitate cât mai ridicată (masurată printr-un timp de fabricaţie cât mai redus), o rată a depunerii cât mai mare şi o calitate bună a suprafeţelor depuse.

BUPT

Datorită valorilor reduse ale ratei depunerii sau ale vitezei de sudare oferite de procedeele convenţionale SE sau MIG/MAG (vezi tabelul 1.2), s-au dezvoltat în timp, variante de încărcare prin sudare derivate din procedeele de sudare de mare productivitate.

Tabel 1.5 - Clasificarea încărcării prin sudare

Scopul încărcării prin sudare	Particularităţii
Încărcare pentru reparare	Presupune refacerea geometriei iniţiale a piesei şi modificarea suprafeţelor uzate prin reparare. Metalul depus este identic cu metalul de bază - MB.
Încărcare cu straturi dure	Oferă posibilitatea obţinerii unei suprafeţe rezistente la uzură, abraziune sau eroziune prin depunerea unui material diferit de materialul de bază şi care satisface aceste cerinţe.
Placare prin sudare	Obţinerea unei suprafeţe rezistente la coroziune sau oxidare prin depunerea unui material care să satisfacă aceste cerinţe. MA este diferit de MB.
Încărcare cu strat tampon	Depunerea unui strat tampon în vederea realizării unei suduri între două metale incompatibile la sudare directă.

Toate variantele de sudare MIG/MAG - IP menţionate în cursul acestui capitol, se pot utiliza cu succes pentru operaţii de încărcare. Este cunoscută rata mare de depunere oferită de încărcarea prin sudare MIG/MAG cu două sârme în varianta TANDEM. Însă problemele legate de ghidarea capului de-a lungul suprafeţelor curbe, precum şi problemele legate de menţinerea poziţiilor relative ale sârmelor (sârma principală, în raport cu cea secundară) de-a lungul sudării MIG/MAG în varianta TANDEM, au impus căutarea unor noi variante de încărcare prin sudare MIG/MAG cu rată mare de depundere.

Una dintre posibilităţile actuale de încărcare prin sudare MAG cu rată mare de depunere este încărcarea prin sudare MAG cu electrod bandă - notată MAG-EB.

Din 2001 până în prezent s-a încercat introducerea sudării MAG-EB în producţia de serie, cu şanse de reuşită mai mari sau mai mici, însă informaţiile referitoare la utilizarea acestei variante tehnologice de sudare MAG de mare productivitate pentru operaţii de încărcare erau inexistente la momentul realizării părţii practice a tezei de doctorat.

Având în vedere interesul comun al producătorilor de echipamente de sudare, a producătorilor de consumabile de sudare, al posibililor utilizatori din industrie în prelungirea duratei de viaţa a pieselor, actualmente, au fost demarate la nivel european cercetări pentru stabilirea limitelor şi avantajelor aplicării acestei noi alternative de încărcare prin sudare MAG. Astfel, la Institutul de Sudură SLV München a fost derulat în premieră un program de cercetare referitor la aplicarea variantei de sudare MAG-EB pentru operaţii de încărcare [101].

BUPT

Încărcarea prin sudare MAG cu electrod bandă ar putea constitui o alternativă favorabilă pentru încărcarea sub strat de flux cu electrod bandă, deoarece se aşteaptă:

- o diluţie mai mică decât în cazul sudării sub strat de flux SF,
- un număr mai redus de rânduri necesare la sudarea multistrat,
- cheltuieli mai reduse de achiziţie a instalaţiei de sudare,
- economie de material de adaos ca urmare a reducerii numărului de straturi depuse,
- reducerea consumurilor energetice şi a timpilor de execuţie,

deşi se estimează obţinerea unei valori mai reduse a ratei depunerii la încărcarea prin sudare MAG-EB faţă de situaţia încărcării prin sudare SF cu electrod bandă (12 – 40 kg/h) [70].

BUPT

Cap 2. Prezentarea obiectivelor şi a programului de cercetare al tezei de doctorat

2.1. Obiective. Mod de soluţionare propus. Rezultate preconizate

Teza de doctorat îşi propune cercetarea şi optimizarea procesului de sudare MAG cu electrod bandă MAG-EB pentru fundamentarea aplicării acestei variante de sudare MAG pentru operaţii de încărcare de mare productivitate.

Astfel, obiectivele propuse ale tezei au fost:

- determinarea particularităţilor procesului de încărcare prin sudare MIG/MAG cu electrod bandă, determinarea modurilor de transfer al picăturii prin spaţiul arcului, modelarea câmpului termic la sudare, evaluarea diluţiei prin sudare;
- determinarea unei variante constructive optime a sistemului de antrenare a electrodului bandă, prin cercetarea în mod special a influenţei configuraţiei duzei de contact şi a procesului de uzură la nivelul elementelor de ghidare a electrodului;
- studiul influenţei parametrilor de sudare asupra procesului de încărcare prin sudare, în mod special prin:
    - evidenţierea influenţei modului de poziţionare a pistoletului de sudare asupra variantei tehnologice de încărcare prin sudare MAG-EB,
    - evidenţierea influenţei distanţei dintre rândurile depuse asupra pătrunderii şi diluţiei la încărcarea prin sudare MAG-EB,
    - determinarea influenţei poziţionării electrodului plat în raport cu direcţia de sudare asupra pătrunderii şi diluţiei,
    - evidenţierea influenţei modului de transfer al picăturii asupra valorilor pătrunderii şi diluţiei de la încărcarea prin sudare MAG-EB;
- Determinarea unor tehnologii de încărcare prin sudare MAG-EB pentru obţinerea unor straturi rezistente la coroziune.

Pentru realizarea obiectivelor menţionate s-a efectuat o analiză teoretica şi s-a conceput şi derulat un program experimental folosind echipamente de sudare experimentale puse la dispoziţie de doi producători consacraţi de echipamente de sudare. În felul acesta, programul experimental s-a desfăşurat utilizând două montaje experimentale diferite ce au fost simbolizate C şi F şi au avut următoarea componentă:

- Montajul experimental C – este compus din sursa de sudare tip C, curent maxim 400 A la DA 100%, mecanismul de deplasare longitudinală a pistoletului de sudare, sistemul de ventilaţie şi de eliminare a noxelor, precum şi osciloscopul necesar pentru vizualizarea formelor de undă a curentului de sudare Is, respectiv a tensiunii Ua;
- Montajul experimental F - este compus din echipamentul de sudare F, curent maxim de puls 900 A la DA 100%, mecanismul de deplasare longitudinală a pistoletului de sudare, duza de protecţie suplimentară, sistemul de ventilaţie şi de eliminare a noxelor, precum şi echipamentul de oscilografiere necesar pentru vizualizarea formelor de undă a curentului de sudare Is, respectiv a tensiunii Ua.

BUPT

Parametrii tehnologici luaţi în considerare la încărcarea prin sudare MAG-EB au fost curentul de puls, timpul de puls şi/sau frecvenţa pulsurilor cu vizualizarea simultană a formelor de undă ale curentului de sudare şi a tensiunii.

Având la dispoziţie 3 tipuri de variante constructive de duze de contact de la 3 producători, s-a realizat un program de cercetare care a vizat determinarea variantei constructive optime a duzei prin studierea duratei de viaţa a celor 3 tipuri de variante constructive de duze.

Realizarea unui program de cercetare care are ca obiectiv determinarea gradului de uzură a pieselor de ghidare a sârmei plate şi a avut în vedere importanţa acestor piese asupra stabilităţii procesului de sudare.

Studierea modului de poziţionare optim al capului de sudare s-a realizat prin înclinări succesive ale capului şi studierea valorii pătrunderii metalului depus în materialul de bază. Obţinerea unei pătrunderi minime şi a unei estetici corespunzătoare a rândurilor depuse au fost criteriile avute în vedere la determinarea poziţiei optime a capului de sudare la încărcarea prin sudare MAG-EB.

Influenţa distanţei dintre rândurile depuse şi a modului de poziţionare a sârmei plate în raport cu direcţia de sudare a fost studiată prin intermediul valorilor diluţiei şi pătrunderii. La încărcarea prin sudare valorile diluţiei şi pătrunderii trebuie să fie minime.

Programul de cercetare ce a vizat studiul modului de transfer al picăturii prin spaţiul arcului a urmărit obţinerea unei valori minime a pătrunderii MD în MB.

2.2 Prezentarea montajului experimental C

Figura 2.1 – Vedere de ansamblu a montajului experimental C

D.sp...ivul de a.an. .â.mă .AS al montajului experimental C, după cum se poate vedea din figura 2.1, are o poziţie fixa, el fiind fixat pe un cadru metalic în apropierea mecanismului de pozitionare. Datorită acestei poziţii fixe a DAS-ului, în timpul sudări pot apărea probleme legate de asigurarea unei viteze de avans a sârmei constantă şi implicit probleme legate de stabilitatea procesului de sudare.

Mecanismul de antrenare al dispozitivului de avans sârmă, este format din 4 role de antrenare (2 role antrenoare şi 2 role presoare) în vederea asigurării unei viteze constante de avans sârmă.

Valoarea maximă a curentului de sudare oferit de sursa tip C este de 400A pentru o DA=100%.

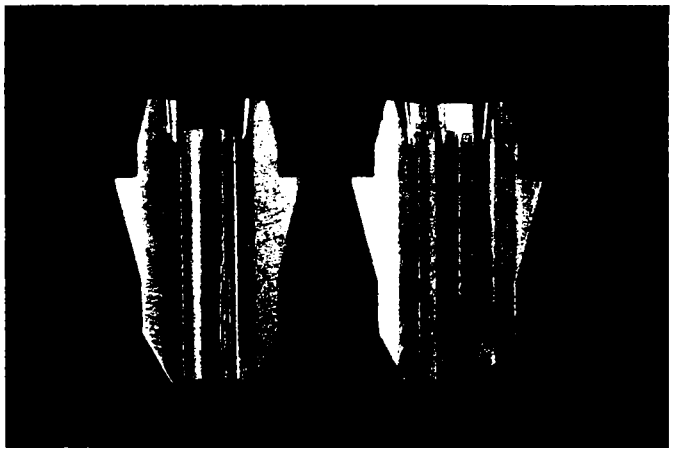
Sursa de sudare C utilizată în cadrul programului experimental C este de ti U/I i asi ură stabilitatea procesului de sudare şi a arcului prin intermediul fenomenului de autoreglare.

BUPT

Capul de sudare al sursei C s-a montat pe braţul unui sistem automatizat de deplasare longitudinală, datorită cantităţii mari de caldură dezvoltată în spaţiul de lucru cât şi a vitezelor mari de sudare utilizate în timpul programului experimental, după cum se poate vedea din figura 2.1.

Pistoletul de sudare aferent sursei C este dotat cu un sistem de antrenare a sârmei tip push-pull, sistem care permite obţinerea unei viteze de avans a sârmei constantă. Rolele de antrenare a sârmei din cadrul sistemului push-pull, prezintă striaţiuni transversale pe suprafaţa de antrenare.

Piesele de ghidare a sârmei atât de la nivelul DAS-ului şi cele de la nivelul pistoletului de sudare au poziţie fixă.



Tubul de ghidare a sârmei electrod este plasat în interiorul pachetului de cabluri, el având o formă dreptunghiulară similară cu cea a formei electrodului bandă. Dimensiunile exterioare ale tubului de ghidare a sârmei sunt de 8 x 4 mm, iar cele interioare 5,5 x 1,5 mm.

Duza de contact tip C este alcătuită din două piese – rezentate în fi ura 2.2.

Figura 2.2 – Duza de contact tip C

Secţiunea canalului de trecere a sârmei electrod prin duza de contact este adaptată formei dreptunghiulare a electrodului bandă. Dimensiunea canalului dreptunghiular este de 4,45 x 0,7 mm şi este formată din două semi-canalele dreptunghiulare practicate pe ambele părţi ale duzei de contact.

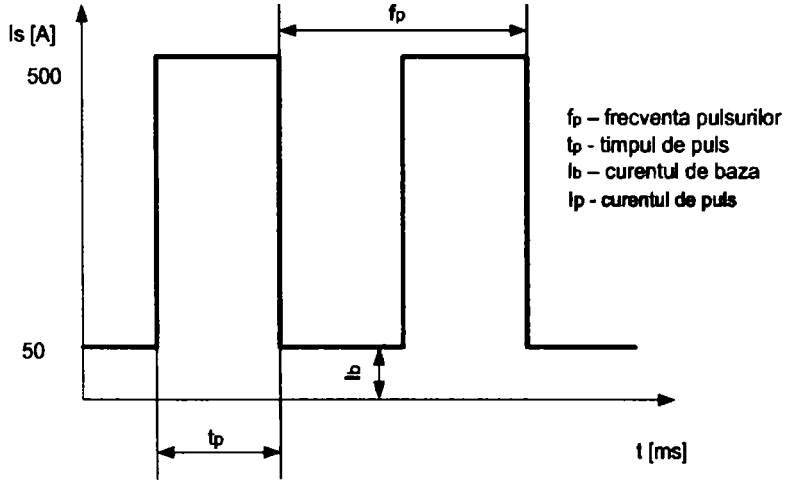


Figura 2.3 – Forma pulsului oferită de sursa C

Datorită variantei constructive alese de producător pentru duza de contact tip C, dimensiunea canalului dreptunghiular de trecere a sârmei electrod nu poate fi modificată de utilizator.

Forma pulsului oferit de sursa C, este forma clasică, dreptunghiulară. În figura 2.3 este prezentată forma pulsurilor, precum şi mărimile care caracterizează acestă formă de puls:

BUPT

frecvenţa pulsurilor fp, timpul de puls tp, curentul de baza Ib şi curentul de puls Ip.

Poziţionarea probelor în timpul experimentelor s-a realizat prin intermediul mesei de poziţionare-rotire.

Sistemul de ventilaţie este legat la braţul mecanismului de deplasare longitudinal a capului de sudare prin intermediul unui braţ portabil şi permite eliminarea noxelor apărute în timpul operaţiei de sudare.

Înregistrarea formelor de undă a curentului de sudare Is şi a tensiunii Ua s-a realizat prin intermediul unui osciloscop.

2.3 Prezentarea montajului experimental F

Echipamentul de sudare al montajului experimental F (figura 2.4) este compus din:

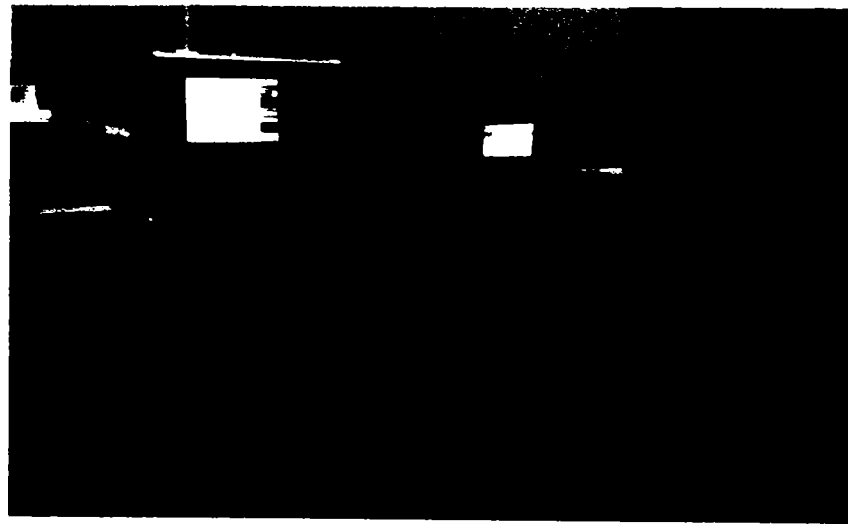


Figura 2.4 – Vedere de ansamblu a montajului experimental F

- sursa de sudare F, formată din două surse legate în paralel;
- dispozitivul mobil de avans sârmă – DAS;
- pistoletul de sudare cu sistemul push-pull de antrenare a sârmei;
- sistemul de control de la distanţă.

BUPT

Sursa de sudare din figura 2.4 oferă un curent maxim de sudare de 900 A pentru DA=100%.

Modul de operare a celor două surse legate în paralel este reglat prin intermediul unei inductanţe de echilibru (balancing inductance) şi a unei legături LHSB (Local High Speed Bus). Stabilitatea procesului de sudare pentru cele două surse se asigură conform principiilor I/I, prin existenţa unui sistem de reglare automată SRA (sistem de reglare automat).

Sincronizarea celor două surse şi schimbul rapid de informaţii între cele două surse se face prin intermediul unui legături LHSB cu o rată de transfer de 10 MB/s.

Important de menţionat este existenţa tubului de ghidare al sârmei în afara pachetului de cabluri – spre deosebire faţă de montajul experimental C unde acesta era poziţionat în interiorul pachetului de cabluri. Plasarea tubului de ghidare a sârmei în afara pachetului de cabluri are ca rezultat creşterea stabilităţii procesului de sudare ca urmare a facilitării traseului de trecere a sârmei plate de pe tambur spre pistoletul de sudare.

Tubul de ghidare la varianta constructivă F, are o secţiune circulară cu diametrul exterior de ϕ_e=9,5 mm, iar cel interior fiind de $\phi_i \approx$ 8mm.

Dispozitivul de avans sârma este mobil, el putându-se roti în jurul unei axe verticale în funcţie de cerinţele utilizatorului. Mobilitatea DAS-ului va avea ca rezultat obţinerea unei viteze constante de avans sârmă şi creşterea stabilităţii procesului de sudare datorită eliminării răsucirilor la care este supus pachetul de cabluri şi tubul de ghidare al sârmei.

Mecanismul de antrenare al dispozitivului de avans a sârmei DAS are cele 4 role de antrenare (2 presoare şi 2 antrenoare) adaptate formei dreptunghiulare a sârmei. Mecanismul a fost proiectat astfel încât să asigure o viteză constantă de avans a sârmei şi o forţă de apasare reglabilă în funcţie de tipul sârmelor antrenate. Forma canalului rolelor de antrenare este dreptunghiulară şi similară ca dimensiuni pe ambele perechi de role. Piesele de ghidare a sârmei din interiorul DAS-lui sunt reglabile ca poziţie, mobilitatea acestora permite reducerea fenomenului de uzură longitudinală care apare de obicei la nivelul lor, ca urmare a vitezelor mari de antrenare a sârmelor.

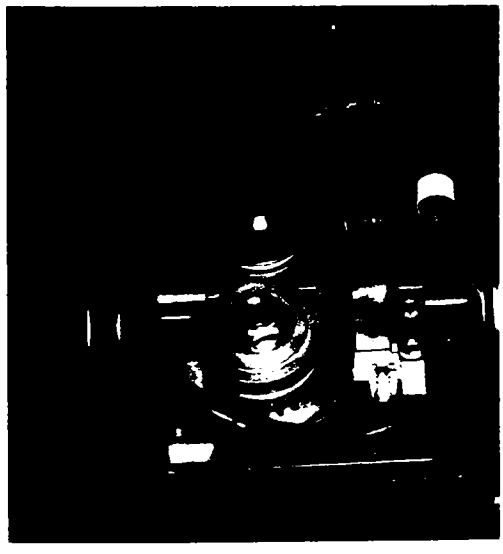


Figura 2.5 – Detaliu al sistemului de antrenare al pistoletului tip F

Capul de sudare se montează pe braţul unui robot sau a unui sistem automatizat. Având în vedere problemele cunoscute şi apărute la antrenarea sârmelor plate, în special a celor moi (a aliajelor de Al), producătorul a optat pentru utilizarea unui sistem push-pull. Prezenţa acestuia asigură o viteză de avans a sârmei constantă şi stabilitatea procesului de sudare.

Figura 2.5 prezintă varianta constructivă a sistemului push-pull. Pentru facilitarea antrenării sârmei plate, rola liberă are striaţiuni transversale pe suprafaţa de antrenare, în timp ce canalul rolei fixe are formă dreptunghiulară asemeni formei sârmei electrod. Din aceeaşi figură se mai poate vedea existenţa şurubului pentru reglarea forţei de apăsare a rolei libere pe suprafaţa

BUPT

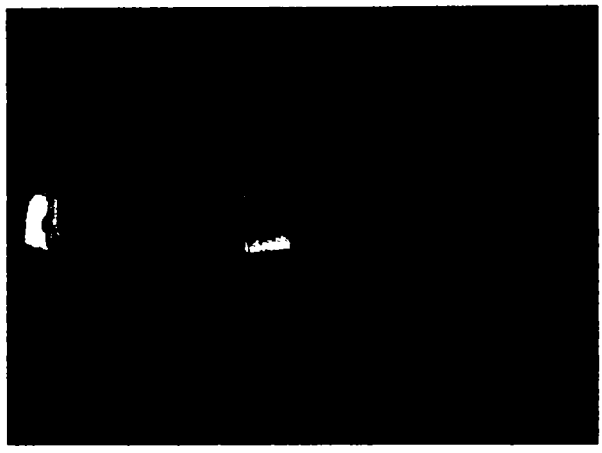


Figura 2.6 - Calitatea suprafeţei electrodului afectată ca urmare a forţei de apăsare a rolei libere necorespunzătoare

sârmei funcţie de tipul materialului sârmei electrod.

Posibilitatea de reglare a forţei de apăsare este foarte importantă atât pentru optimizarea avansului sârmei, cât şi pentru calitatea suprafeţei sârmei. În figura 2.6 este prezentată suprafaţa cu striaţiuni a sârmei electrod constatate în timpul experimentelor cu sursa C, în cazul utilizării unei valori necorespunzătoare a forţei de apăsare a rolei libere.

În figura 2.7 se prezintă varianta constructivă a duzei de contact. Se poate remarca existenţa canalului dreptunghiular practicat doar la nivelul componentei 3 a duzei de contact, în timp ce componenta 1 are suprafaţa de contact plană.

Sistemul de control de la distanţă - RCU, permite controlul şi reglarea parametrilor de la distanţă, oferind în acelaşi timp posibilitatea de optimizare a caracteristicilor de sudare şi de memorare a unui mare număr de programe (până la 1000 job-uri). Soft-ul integrat al RCU permite utilizarea unui număr de 180

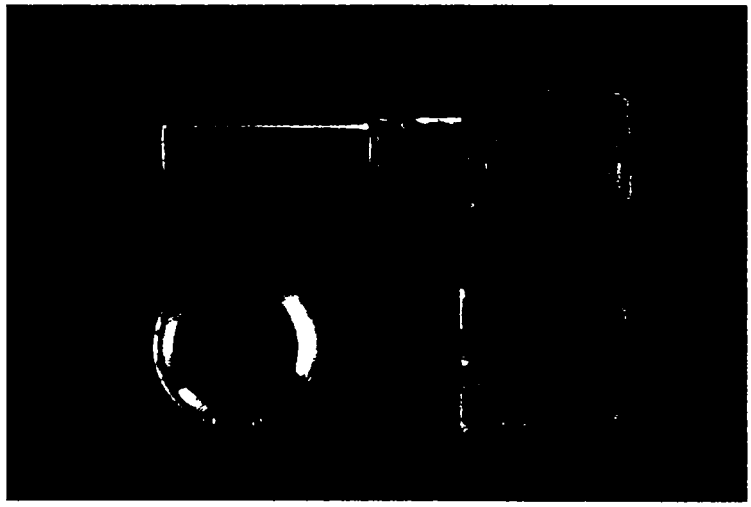


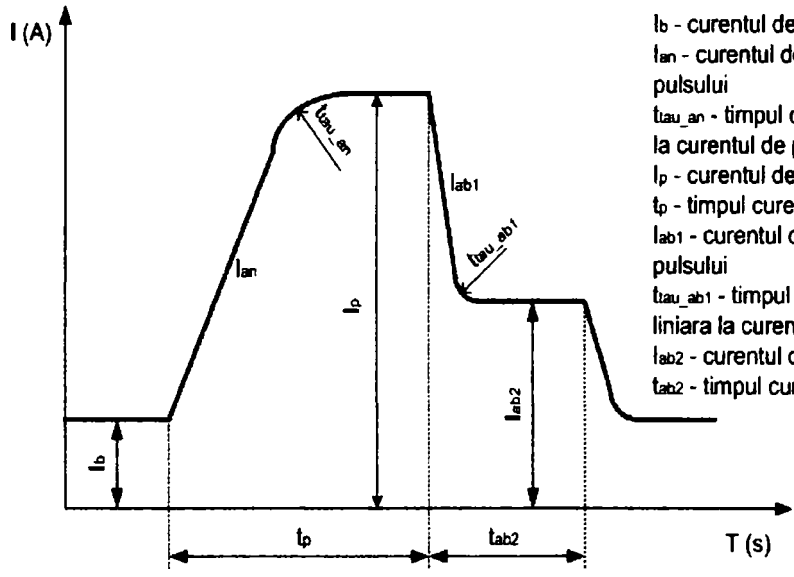
Figura 2.7 – Elemente componente ale duzei de contact tip F

sinergice pre-programate, posibilitatea de conectare şi update a software-ului, precum şi posibilităţi de prevenire a accesului neautorizat.

Soft-ul RCU permite utilizarea sursei de sudare atât în varianta I/I, dar şi U/I (opţional). Important de menţionat, de asemenea, este posibilitatea de modificare a formei pulsului (figura 2.8) prin intermediul sistemului de control de la distanţă conform cerinţelor utilizatorului.

Varianta constructivă a sursei de sudare tip I/I are caracteristica externă brusc coborâtoare atât pe curentul de puls cât şi pe curentul de bază, iar stabilitatea arcului electric se asigură prin intermediul unui sistem de reglare automată. Acesta actionează asupra curentului mediu de sudare prin modificarea frecvenţei pulsurilor şi eventual a curentului de bază [15].

BUPT



I_b - curentul de baza
I_{an} - curentul de crestere de la inceputul pulsului
t_{tau_an} - timpul de trecere de la rampa liniara la curentul de puls
I_p - curentul de puls
t_p - timpul curentului de puls
I_{ab1} - curentul de coborare de la sfarsitul pulsului
t_{tau_ab1} - timpul de trecere de la rampa liniara la curentul de detasare a picaturii
I_{ab2} - curentul de detasare a picaturii
t_{ab2} - timpul curentului de detasare

Figura 2.8 – Forma pulsului oferită de sursa F

Sursele de sudare tip U/I sunt surse cu caracteristică externă rigidă pentru curentul de puls şi caracteristică externă brusc coborâtoare pentru curentul de bază. Stabilitatea acestui tip de surse este asigurată prin fenomenul de autoreglare.

În figura 2.8 se poate remarca existenţa unui puls secundar I_{ab2} , care facilitează desprinderea picăturii astfel încât puterea arcului să fie redusă în momentul atingerii băii de sudare de către picătură. Există, astfel, posibilitatea eliminării stropirilor din baia metalică şi, ca efect, obţinerea unor picături de aceeaşi dimensiune.

Este recomandat ca valoarea curentului de detaşare a picăturii I_{ab2} să fie cât mai redusă (însă superioară valorii curentului de bază I_b). Astfel, desprinderea picăturii se va realiza la o valoare apropiată de cea a curentului de bază (diferenţa dintre I_b şi I_{ab2} este indicat să fie cât mai mică posibilă).

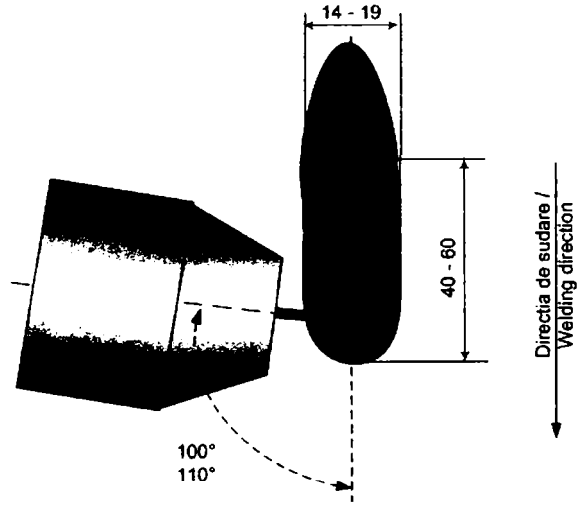


Figura 2.9 – Forma băii de sudare

S-a observat în timpul cercetărilor efectuate pe montajul experimental C, că datorită lungimii mari a băii metalice - între 40 – 60 mm (vezi figura 2.9) este necesară asigurarea unei protecţii suplimentare a acesteia în vederea evitării oxidării suprafeţei cusăturii.

Această protecţie suplimentară s-a realizat

BUPT

prin intermediul montării unei duze de gaz adiţionale plasate în urma capului de sudare, pe braţul mecanismului de deplasare longitudinală a pistoletului. Duza de gaz adiţională se deplasează astfel concomitent cu pistoletul de sudare cu viteza de sudare (vezi figura 2.10).

Figura 2.11 prezintă înregistrarea formelor de undă a curentului de sudare Is şi a tensiunii Ua realizată prin intermediul osciloscopului şi a soft-ului WeldAnalyst 4.3.0.

Figura 2.10 – Plasarea duzei adiţionale de gaz pe braţul mecanismului de deplasare în urma capului de sudare

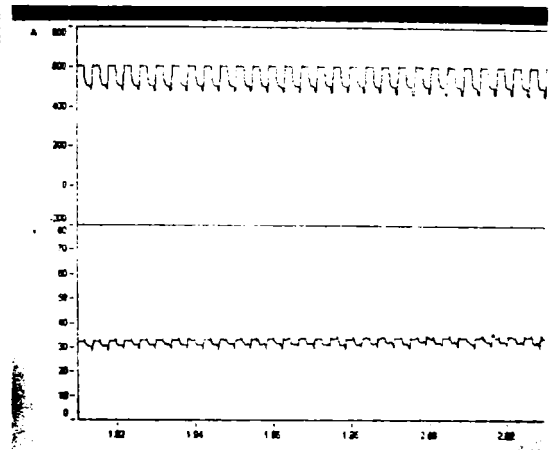


Figura 2.11 – Înregistrarea formelor de undă a curentului de sudare Is şi a tensiunii U

Sistemul de ventilaţie a fost legat de braţul mecanismului de deplasare longitudinal a capului de sudare prin intermediul unui braţ portabil şi a permis eliminarea noxelor apărute în timpul operaţiei de sudare. Existenţa acestui sistem de ventilaţie este extrem de importantă în cazul realizării de depuneri cu electrozi bandă înalt aliaţi cu Ni sau Cu datorită efectelor nocive pe care aceştia le pot avea asupra personalului sudor ca urmare a conţinutului mare de Ni sau Cu.

2.4. Materialele pentru sudare

2.4.1 Materiale de bază

Alegerea materialelor de bază pentru programul experimental s-a realizat având în vedere în primul rând o largă posibilitate de aplicare a variantei de încărcare prin sudare MAG-EB, cât şi considerente de ordin economic. Astfel s-au ales materiale de bază care sunt des întâlnite în practică, au caracteristici mecanice uzuale, sunt nepretenţioase şi au un preţ de achiziţie redus.

Alegerea tipului de material de bază nu este importantă pentru lucrarea de faţă, astfel pentru realizarea de experimente s-au ales oţeluri de uz general tip S 235 sau S 355 (conform EN 10027-1), pe care s-au realizat depuneri utilizând electrozi bandă tip CrNi, NiCr şi CuNi.

În tabelul 2.1 se prezintă compoziţiile chimice ale materialelor de bază utilizate. Compoziţia chimică şi concentraţia elementelor de aliere (din tabelul 2.1) a fost determinată prin analiză chimică în cadrul laboratorului SLV München.

BUPT

Tabel 2.1 – Compoziţia chimică a materialelor de bază

MB conform EN 10027-1	MB conform EN 10027-2	Fe	C	Mn	Si	P	S	Cu	Alte elemente
S 235JRG2	1.0038	98,084	0,101	0,848	0,496	0,0108	0,0193	0,245	Rest
S 235J2G3	1.0116	98,863	0,149	0,605	0,16	0,0135	0,0233	0,028	Rest
S 355J2G3	1.0570	98,204	0,111	1,148	0,187	0,007	0,001	0,126	Rest

Tabelul 2.2 oferă informaţii legate de caracteristicile mecanice ale materialelor de bază conform SR EN 10025, [90].

Tabel 2.2 – Caracteristici mecanice ale materialelor de bază

MB conform EN 10027-1	MB conform EN 10027-2	Limita de curgere minimă R_{eH} [N/mm^2]	Rezistenţa la tracţiune Rm [N/mm^2]	Alungirea procentuală minimă [%]	Energia de rupere minimă [J]
S 235JRG2	1.0038	225	340 - 470	26	27
S 235J2G3	1.0116	225	340 - 470	26	27
S 355J2G3	1.0570	345	490 - 630	22	27

Pentru experimentări au fost utilizate materialele de bază sub formă de plăci cu dimensiunile de 300 x 350 x 20 mm sau 300 x 300 x 20 mm, suprafaţa materialelor de bază fiind prelucrată prin rabotare înainte de realizarea depunerilor.

2.4.2 Materiale de adaos. Electrozi bandă

Alegerea tipurilor de electrozilor bandă utilizaţi s-a realizat astfel încât să satisfacă scopurilor tezei: determinarea particularităţilor variantei de încărcare prin sudare MAG-EB, determinarea unor tehnologii de încărcare prin sudare MAG-EB astfel încât să se obţină straturi depuse rezistente la coroziune, cât şi determinarea avantajelor oferite de încărcarea prin sudare MAG-EB în raport cu încărcarea prin sudare MAG cu două sârme în varianta TANDEM.

Au fost utilizate pentru electrozii bandă următoarele materiale: aliaje NiCr, oţeluri înalt aliate cu Ni, aliaj CuNi şi oţeluri inoxidabile austenitice pe bază de CrNi cu două nivele de aliere: 18/8 si 25/20.

În tabelul 2.3 se găsesc prezentate tipurile de electrozii bandă utilizate, precum şi principalele elemente de aliere ale acestora. Dimensiunea electrozilor bandă utilizaţi a fost de 4,0 x 0,5 mm .

BUPT

Tabel 2.3 - Compoziţia chimică a electrozilor bandă utilizaţi

Tipul electrodului bandă	Electrod conform	C	Cr	Cu	Ni	Mn	Si	Mo	Fe	Alte elemente
SG-NiCr23Mo16	DIN 1736	0.004	22.65	0.01	60.68	0.16	0.04	15.4	0.63	Rest
SG-NiCr21Mo9Nb	DIN 1736	0.017	22.15	0.02	63.96	0.06	0.07	9.1	0.65	Rest
SG-CuNi30Fe	DIN 1736	0.027		67.7	30.6	0.7	0.06		0.48	Rest
SG-NiTi4	DIN 1736	0.003		0.01	95.9	0.3	0.4		0.04	Rest
X 15CrNiMn 18 8	DIN 8556	0.048	19.63	0.063	9.31	4.93	0.893	0.108	64.81	Rest
X 12CrNi 25 20	DIN 8556	0.08	24.31	0.029	21.17	2.84	0.953	0.059	50.43	Rest

Compoziţia chimică integrală a electrozilor bandă utilizaţi este prezentată în tabelul A.1 – anexa A.

2.4.3 Materiale de adaos. Gazul de sudare

S-au ales gaze de protecţie la sudare cu diferite nivele de oxidare şi având ca şi componente principale argon şi heliu pentru creşterea energiei arcului, iar adaosul de dioxid de carbon şi oxigen a urmărit creşterea stabilităţii arcului electric.

Compoziţiile chimice ale tipurilor de gaze de protecţie utilizate în timpul cercetărilor sunt prezentate în tabelul 2.4 [94].

Datorită conţinutului ridicat în argon, putem afirma că toate cele 4 gaze oferă o amorsare uşoară a arcului. Prezenţa heliului în compoziţia chimică a două din aceste gaze utilizate în timpul experimentelor oferă o mai mare putere arcului şi permite, deci, utilizarea unor viteze mai mari de sudare.

Utilizarea hidrogenului are ca efect creşterea puterii arcului şi implicit a pătrunderii cusăturii, iar la sudarea oţelurilor inoxidabile, reducerea oxidărilor.

Tabel 2.4 – Compoziţia chimică a gazelor de protecţie utilizate

Tipul gazului de protecţie conform EN 439	Compoziţie chimică [%]
M 12	Ar +2,5%CO_2
M 13	99%Ar + 1%O_2
M 13 (1)	Ar + 30%He + 0,03%O_2
M 11 (1)	Ar + 30%He + 2%H_2 + 0,055%CO_2
I 1	100% Ar

Adăugarea unui procent foarte redus de dioxid de carbon sau oxigen asigură o stabilitate mai mare a arcului decât în cazul utilizării doar a argonului pur, reducând tensiunea superficială şi îmbunătăţind transferul picăturii. Utilizarea în componenţa gazului de protecţie, a unei valori foarte reduse de oxigen (1 – 3)% sau dioxid de carbon (2 – 4)% la sudarea oţelurilor inoxidabile, ajută la stabilizarea petei catodice şi la creşterea stabilităţii arcului electric şi reducerea stropiriilor.

BUPT

La utilizarea electrozilor bandă din oţel inoxidabil austenitic tip 18/8 şi 25/20 s-au folosit ca gaze de protecţie amestecuri pe bază de argon - oxigen sau argon – dioxid de carbon.

Probele depuse cu electrozi bandă din oţeluri înalt aliate cu Ni sau aliajele CuNi au necesitat utilizarea unor amestecuri pe bază de argon + heliu şi continând o cantitate redusă de dioxid de carbon sau oxigen în vederea creşterii stabilităţii arcului.

Debitul de gaz utilizat în timpul programului de cercetare încărcare prin sudare MAG-EB s-a încadrat în domeniul Qgaz $\in$ (18 – 20) l/min. Un debit de gaz mai mare de 20 l/min duce la apariţia unor turbulenţe, iar un debit mai redus de 18 l/min nu oferă protecţia necesară spaţiului arcului.

După cum s-a menţionat deja în cadrul capitolului 2, având în vedere dimensiunile mărite ale băii metalice s-a necesitat asigurarea unei protecţii adiţionale a băii metalice în timpul sudării. Gazul de protecţiei utilizat pentru duza adiţională de gaz prezentată în figura 2.10, a fost argon 100%.

Utilizarea argonului ca gaz de protecţie adiţional are la bază faptul că fiind un gaz inert, nu oxidează şi nu afectează compoziţia chimică a depunerii.

În tabelul 2.5 se prezintă o sinteză a combinaţiilor material de bază – material de adaos – gaze de protecţie utilizate în timpul programului experimental desfaşurat.

Tabel 2.5 – Sinteza programului experimental efectuat

Tip electrod bandă	Gaz de protecţie						Gaz auxiliar de protecţie Ar		Material de bază		
	Ar+30%He+2%H_2+ 0,055%CO_2	Ar+30%He+0,03%O_2	99%Ar + 1%O_2	Ar+2,5%CO_2	Debitul gazului Q = 18 [l/min]	Debitul gazului Q = 20 [l/min]	Debitul gazului Q = 15 [l/min]	Debitul gazului Q = 25 [l/min]	S 235JRG2	S 235J2G3	S 355J2G3
SG-NiCr23Mo16		■				■	■		■		
SG-NiCr21Mo9Nb	■	■				■	■		■		
SG-CuNi30Fe	■				■						■
SG-NiTi4	■	■			■	■		■	■		
X 15CrNiMn 18 8			■	■	■	■	■			■	■
X 12CrNi 25 20				■	■			■		■	■

BUPT

Poziţiile de sudare experimentate s-au caracterizat prin unghiuri de 35° - 40° faţă de planul orizontal, respectiv 100° - 110° faţă de direcţia de sudare, valori determinate în cadrul unor experimentări preliminare.

2.5. Experimentări de sudare

Utilizând cele două montaje experimentale C si F s-au realizat cercetări experimentale în vederea stabilirii particularităţilor variantei de încărcare prin sudare MAG-EB, a determinării unor tehnologii de încărcare care să permită obţinerea unor depuneri rezistente la coroziune şi a stabilirii avantajelor pe care le prezintă încărcarea prin sudare MAG-EB în raport cu încărcarea prin sudare prin varianta MAG cu două sârme în TANDEM. Planificarea programului de cercetare experimentală a avut în vedere următoarele obiective:

- Cercetarea influenţei parametrilor de sudare MAG cu electrod bandă asupra procesului de încărcare prin sudare;
- Determinarea variantei constructive optime a duzei de contact;
- Evidenţierea gradului de uzură apărut la nivelul pieselor de ghidare a sârmelor plate;
- Stabilirea parametrilor de sudare MAG-EB pentru obţinerea unor straturi depuse rezistente la coroziune;
- Optimizarea poziţionării pistoletului de sudare şi a alegerii parametrului denumit "distanţă dintre rândurile depuse";
- Optimizarea poziţionării electrodului bandă în raport cu direcţia de sudare;
- Determinarea influenţei transferului picăturii prin spaţiul de arc asupra pătrunderii MD în MB şi a diluţiei;
- Evaluarea influenţei calităţii suprafeţei sârmei plate asupra stabilităţii procesului de sudare şi a debitului de gaz asupra încărcării prin sudare MAG-EB.

Având în vedere puţinele informaţii existente în literatura de specialitate, referitoare la sudarea MAG cu electrod bandă şi lipsa informaţiilor referitoare la utilizarea acestei variante de sudare pentru operaţii de încărcare (situaţie existentă la momentul realizării părţii practice a tezei de doctorat), s-a decis ca prima etapă a programului experimental să urmărească influenţa parametrilor de sudare asupra procesului de încărcare prin sudare.

Determinarea tehnologiilor de depunere a avut în vedere alegerea vitezei de avans sârma, a gazului şi a tipului de material al electrodului bandă, iar prin modificări succesive ale curentului de puls şi / sau ale timpului de puls şi /sau ale frecvenţei pulsurilor s-au obţinut parametrii de sudare cautaţi.

Stabilitatea procesului de încărcare a fost evidenţiată prin vizualizarea formelor de undă ale curentului de sudare şi a tensiunii cu ajutorul unui osciloscop.

2.5.1 Influenţa parametrilor de sudare asupra procesului de încărcare prin sudare MAG-EB

Utilizându-se sursa C în timpul programului experimental C s-au modificat parametrii de sudare: viteza de avans a sârmei v_D, valoarea tensiunii, frecvenţa pulsurilor, curentul de bază Ib şi valoarea timpului de puls tp. Alegând forma de puls oferită de tipul de panta 1 (forma dreptunghiulară a pulsului), domeniile de valori în care s-au modificat parametrii de sudare sunt menţionate în figura 2.12.

BUPT

În timpul programului experimental C s-au utilizat valori ale vitezei de sudare cuprinse în domeniul $v_s \in (40 - 90)$ cm/min.

La începutul programului experimental C, capul de sudare a fost poziţionat la 90° faţă de poziţia orizontală a piesei, însă s-a constatat o valoarea mare a pătrunderii materialului depus în materialul de bază de aproximativ (2,5 – 3) mm, astfel că s-a decis înclinarea pistoletului în vederea reducerii pătrunderii.

Obţinerea unei valori mari a pătrunderii ar avea ca urmare reducerea rezistenţei la coroziune a stratului depus ca urmare a participării materialului de bază; datorită acestui fapt s-a urmărit reducerea la maxim posibil a valorii pătrunderii MD în MB.

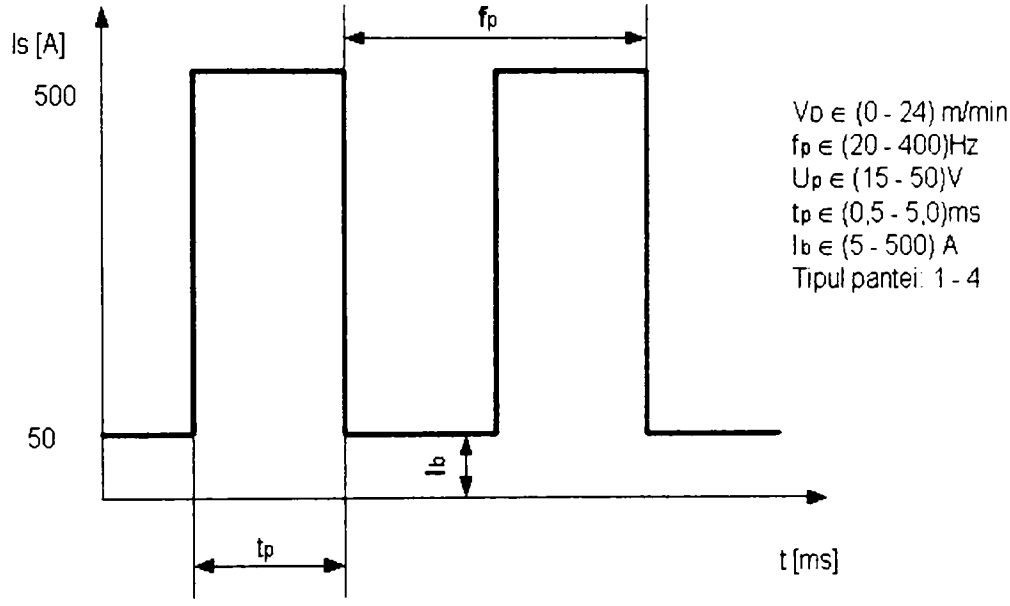


Figura 2.12 – Domeniile de variaţie a parametrilor de sudare, program C

Astfel, s-a realizat înclinarea pistoletului de sudare la 45° faţă de poziţia orizontală şi 100° (90°+10°) împins faţă de direcţia de sudare (figura 2.13), obţinându-se o valoare mai redusă a pătrunderii de aproximativ (1,5 – 2) mm.

Lungimea liberă a capătului sârmei pentru această poziţie a capului de sudare, a fost de 25 mm (figura 2.13).

În timpul programului experimental C s-au utilizat sârme tip: X 15CrNiMn 18 8, SG-NiCr23Mo16, SG-NiCr21Mo9Nb şi s-au realizat încărcări prin sudare MAG-EB într-un singur strat.

În tabelul 2.6 sunt prezentate valorile reprezentative ale parametrilor de sudare determinaţi.

Materialul de bază folosit pentru programul experimental C a fost oţelul S 355 (conform EN 10027-1) cu dimensiunile de 300 x 300 x 20 mm.

Materialele de adaos X 15CrNiMn 18 8, SG-NiCr21Mo9Nb şi SG-NiCr23Mo16 au fost puse la dispoziţie de către producătorul de materiale de adaos ca materiale experimentale ce nu se fabrică în serie.

BUPT

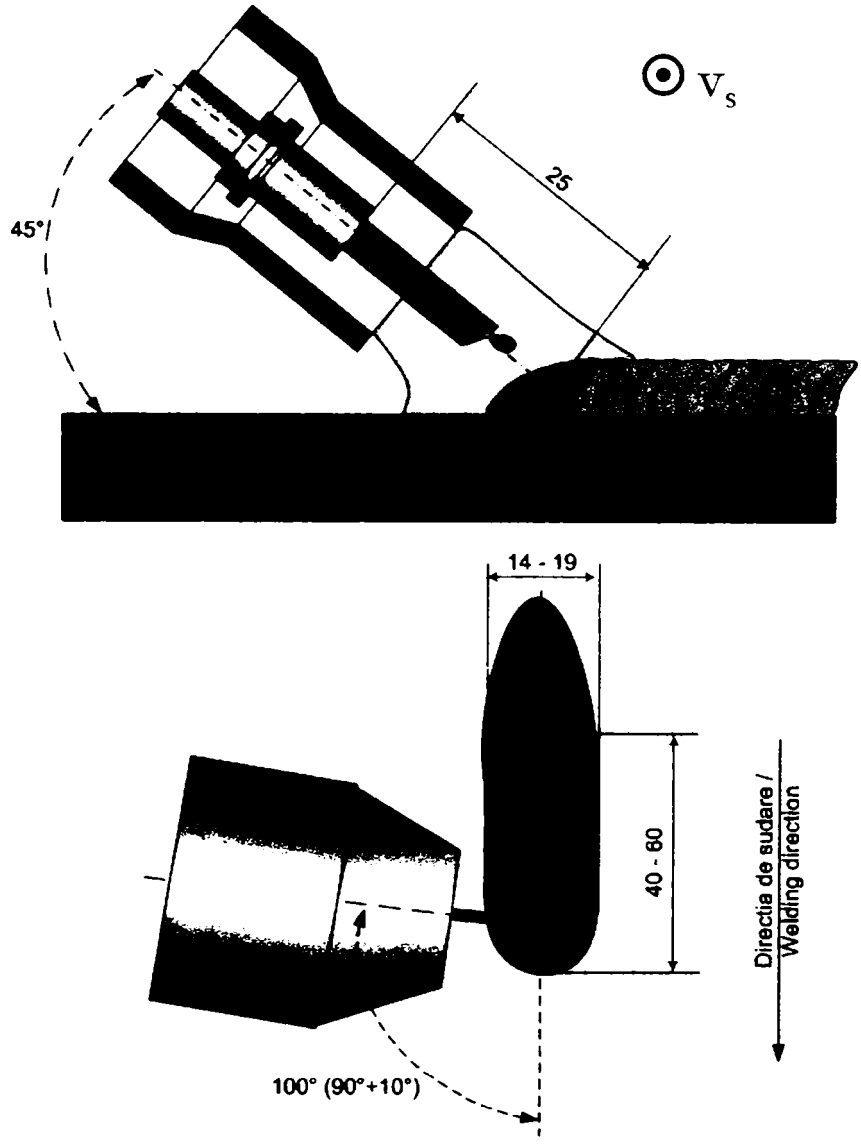


Figura 2.13 – Poziţionarea capului de sudare C în timpul programului experimental C

Distanţa dintre rândurile depuse a variat de la 4 la 5 mm, urmărindu-se stabilitatea procesului de sudare, estetica suprafeţei rândului depus, variaţia adâncimii de pătrundere a depunerii MD, valoarea diluţiei, precum şi liniaritatea interfetei MD – MB la modificarea acesteia.

Valorile parametrilor de sudare din tabelul 2.6 s-au determinat prin modificări sucesive ale vitezei de avans sârmă (8; 9 sau 9,5 m/min) şi /sau a timpului de puls şi a frecvenţei pulsurilor, având ca obiective obţinerea unei valori reduse a diluţiei (p_{MB} < 10%).

BUPT

Tabel 2.6 – Parametrii de încărcare prin sudare MAG cu electrod bandă utilizaţi în cazul sursei C

Tipul sarmei plate electrod			**X 15CrNiMn 18 8**	**SG-NiCr23Mo16**	**SG-NiCr21Mo9Nb**
Dimensiunea sârmei	mm		4,0 x 0,5		
Poziţia de sudare / Poziţia de lucru			45° 100° (împins 10°)		
Gazul de protecţie			Ar+2,5%CO_2	Ar+30%He+0,03%O_2	Ar+30%He+0,03%O_2
Parametrii de lucru					
Tensiunea arcului	V	U	36	39	41
Viteza de avans a sârmei electrod	m/min	v_e	9,5	9	9,5
Tipul transferului			puls		
Debitul gazului de protecţie	l/min	Q	20	20	20
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	80	80
Curent de bază	A	Ib	35	37	49
Timpul curentului de puls	ms	t_p	1,85	2,4	2
Frecvenţa pulsurilor	Hz	f_p	300	250	260
Distanţa între rânduri	mm	Rab	4	4	5
Lungimea liberă a sârmei	mm	L_l	25	25	25
Temperatura între depuneri	°C		< 120°C	< 120°C	< 120°C
Rata depunerii	kg/h	Ad	9,006	9,288	9,69
Diluţia	%	p_{MB}	9,6	1,8	0,8

Aprecierea calităţii regimurilor de încărcare prin sudare MAG-EB s-a realizat pe baza valorilor diluţiei (urmărindu-se $p_{MB} < 10\%$).

Utilizând viteze de avans a sârmei de 8; 9 şi 9,5 m/min, precum şi frecvenţe cuprinse în domeniul 250 – 300 Hz, s-a urmărit vizual apariţia fenomenului de uzură la nivelul duzei de contact C şi a pieselor de ghidare ale sârmei de la nivelul DAS-ului C.

Varianta constructivă a duzei de contact tip C a putut fi folosită doar în combinaţie cu instalaţia de sudare C, ea neputând fi adaptată pentru a fi utilizată cu instalaţia de sudare tip F.

Utilizând valorile regimurilor din tabelul B1 – anexa B şi a valorilor din WPS 1 – 20 – anexa C s-au trasat graficele din figurile 2.14 – 2.18:

- Figura 2.14 – Prezintă variaţia ratei depunerii funcţie de energia liniară şi tipul MA;
- Figura 2.15 – Variaţia diluţiei funcţie de distanţa dintre rânduri;
- Figura 2.16 – Variaţia ratei depunerii funcţie de frecvenţa pulsurilor;
- Figura 2.17 – Variaţia înălţimii rândului depus funcţie de frecvenţa pulsurilor;
- Figura 2.18 – Variaţia lăţimii rândului depus funcţie de frecvenţa pulsurilor.

BUPT

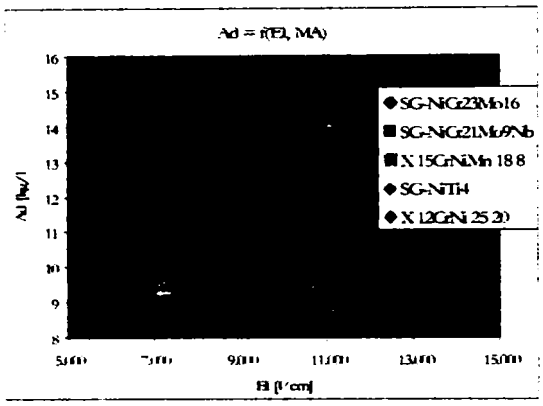


Figura 2.14 – Variaţia ratei depunerii funcţie de energia liniară şi materialul de adaos

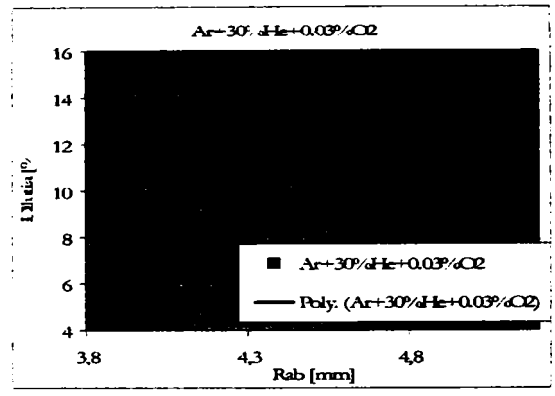


Figura 2.15 – Variaţia diluţiei funcţie de distanţa dintre rânduri

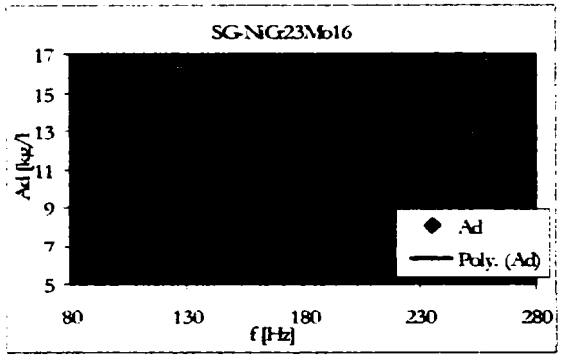


Figura 2.16 – Variaţia ratei depunerii funcţie de frecvenţa pulsurilor

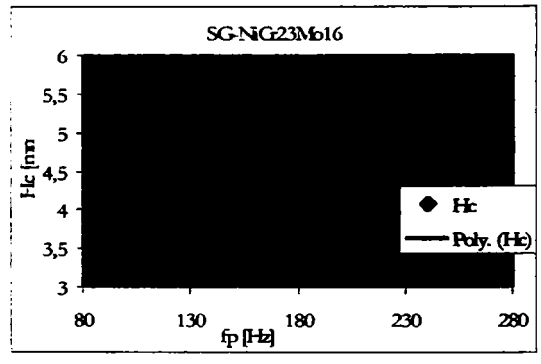


Figura 2.17 – Variaţia înălţimii rândului depus funcţie de frecvenţa pulsurilor

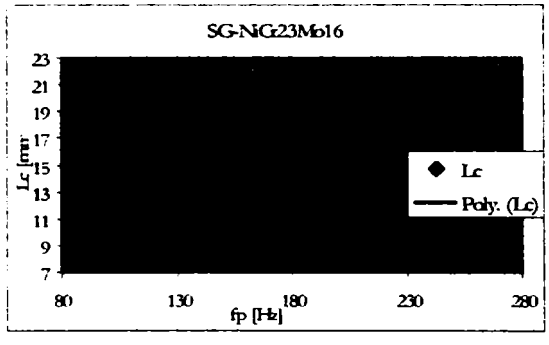


Figura 2.18 – Variaţia lăţimii rândului depus funcţie de frecvenţa pulsurilor

Se observă din figura 2.14 că rata depunerii creşte odată cu creşterea energiei liniare şi această creştere este dependentă de tipul materialului de adaos.

Creşterea distanţei dintre rânduri – Rab – duce la creşterea diluţiei, aceasta fiind independentă de tipul materialului de adaos şi regimul de sudare folosit - figura 2.15.

BUPT

Se observă că creşterea frecvenţei pulsurilor duce la: creşterea ratei depunerii – figura 2.16, creşterea înălţimii rândului depus – figura 2.17 şi la creşterea lăţimii rândului depus – figura 2.18.

2.5.2 Stabilirea parametrilor de sudare MAG-EB pentru obţinerea unor straturi depuse rezistente la coroziune

În urma cercetărilor realizate în timpul programului experimental F s-a delimitat domeniul valorilor unghiulare recomandate de poziţionare a capului de sudare şi pentru care se obţine o estetica bună a rândurilor depuse, o pătrundere şi o diluţie minimă, la:

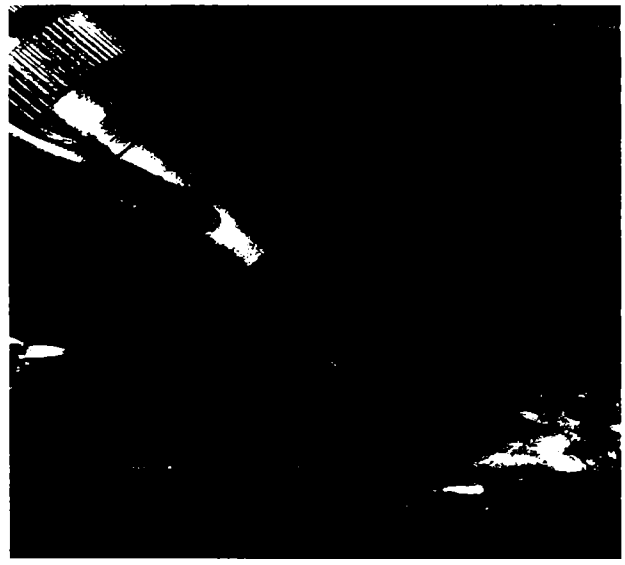


Figura 2.19 – Poziţionarea capului de sudare F la 40° - 35° faţă de poziţia orizontală şi 100° (90°+10°) faţă de direcţia de sudare

- 40° - 35° faţă de poziţia orizontală (figura 2.19);
- 100° (90° + 10°) respectiv 110° (90° + 20°) faţă de direcţia de sudare.

S-au realizat experimente privind poziţionarea capului de sudare şi la valorile unghiulare de 50° şi 30° faţă de orizontală şi 25° împins faţă de direcţia de sudare, însă rezultatele obţinute nu au fost mulţumitoare datorită fie unei valori prea mari a pătrunderii (>1,5 mm), fie datorită stropirilor abundente rezultate din baia metalică.

Lungimea capătului liber al sârmei a fost de 20 - 22 mm.

În timpul programului experimental F depunerile s-au realizat la distanţe între rânduri de 3; 3,5; 4; 4,5 respectiv 5 mm funcţie de tipul sârmei utilizate şi de parametrii tehnologici de sudare aleşi. Sârmele utilizate în cadrul acestui program experimental au fost: SG-NiCr23Mo16, SG-NiCr21Mo9Nb, X 15CrNiMn 18 8, X 12CrNi 25 20, SG-NiTi4 şi SG-CuNi30Fe.

Stabilitatea procesului de sudare s-a apreciat prin lipsa sau abundenţa stropirilor, cât şi prin înregistrările formelor de undă ale curentului prin intermediul osciloscopului.

Programul experimental F a cuprins realizarea de probe depuse într-un singur strat, excepţie de la această situaţie a făcut doar sârma SG-NiCr21Mo9Nb pentru care s-au realizat încărcări într-un strat, cât şi încărcăre în două straturi.

S-a optat pentru realizarea depunerilor într-un singur strat datorită faptului că:

- problemele majore în cazul încărcării prin sudare apar la interfaţa metal de bază – metal depus ca urmare a caracteristicilor mecanice diferite ale celor două materiale utilizate;
- pătrunderea metalului depus în metalul de bază este de dorit să fie minimă încă din primul strat;
- s-a urmărit realizarea unei soluţii cu eficienţă economică mare.

BUPT

Varianta experimentală de încărcare prin sudare în două straturi a avut ca scop urmărirea modului de variaţie a valorii diluţiei în cazul depunerii unui al doilea strat prin sudare MAG-EB.

În tabelul 2.7 se prezintă valori ale principalilor parametri de sudare utilizaţi în timpul programului experimental de sudare F. În cadrul WPS-urilor 1 – 20 – anexa C sunt oferite integral datele referitoare la tehnologiile de încărcare prin sudare MAG-EB experimentate cu sursa F.

Valorile parametrilor de sudare s-au determinat prin modificări sucesive ale vitezei de avans sârma şi a curentului de puls şi/sau a curentului de bază şi /sau a timpului de puls şi a frecvenţei pulsurilor. În tabelul B.1 – anexa B sunt prezentate diverse variante de tehnologii de încărcare experimentate în timpul programului.

În timpul programului experimental utilizând sursa F s-a utilizat, varianta de încărcare prin sudare în arc pulsat. S-au realizat însă şi experimentări de încărcare prin sudare MAG-EB prin pulverizare.

Tipurile de gaze de protecţie utilizate în cadrul programului F sunt indicate în tabelul 2.4, iar în tabelul 2.5 se prezintă combinaţiile de sârmă-gaz utilizate.

Tabelul 2.7 – Parametrii de încărcare prin sudare MAG cu electrod bandă obtinuţi pe sursa F

Tipul sârmei plate electrod			**SG-NiCr23Mo16**	**SG-NiCr21Mo9Nb**	**X 15CrNiMn 18 8**
Dimensiunea sârmei	mm		4,0 x 0,5	4,0 x 0,5	4,0 x 0,5
Poziţia de sudare / Poziţia de lucru			40° 100°(împins 10°)	40° 100° (împins 10°)	40° 110° (împins 20°)
Gazul de protecţie			Ar+30%He+0,03%O_2	Ar+30%He+0,03%O_2	Ar+2,5%CO_2
Material de bază conform EN 10027-1 / Grosimea MB			S 235JRG2 20 mm	S 235JRG2 20 mm	S 235J2G3 20 mm
Parametrii de lucru					
Curentul de sudare	A	I_s	413	540	550
Tensiunea arcului	V	U	36,7	32	28,5
Viteza de avans a sârmei electrod	m/min	v_e	10	15	15
Tipul transferului			puls	puls	puls
Debitul gazului de protecţie	l/min	Q	20	20	18
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	85	85
Energia liniară	J/cm	E	11.362	12.198	11.065
Distanta între rânduri	mm	Rab	4; 4,5	4	5
Lungimea liberă a sârmei	mm	L_l	20	20	20
Temperatura între depuneri	°C		< 120°C	< 120°C	< 120°C
Rata depunerii	kg/h	Ad	10,32	15,3	14,22
Diluţia	%	p_{MB}	0,99	0,48	3,77

BUPT

În timpul programului experimental F s-a urmărit vizual apariţia uzurii la nivelul pieselor de ghidare a sârmei şi la nivelul duzelor de contact tip F, respectiv durata de viaţă a acestora.

În timpul experimentelor cu electrodul tip X 15CrNiMn 18 8, la poziţionarea pistoletului de sudare la 40° sau 35° faţă de orizontală şi 100° faţă de direcţia de sudare s-a constatat devierea accentuată a arcului electric ca urmare a apariţiei unui puternic suflaj magnetic datorită MB feromagnetic. Intensitatea deflecţiei arcului este direct proporţională cu valoarea curentului electric fiind accentuată la sfarşitul cusăturilor sau la materiale cu grosime mare.

Debitul de Ar din duza adiţională a variat între 15 - 25 l/min, funcţie de tipul materialului de adaos utilizat.

Figura 2.20 prezintă apariţia unui canal longitudinal realizat în interiorul canalului de trecere a sârmei prin duza de contact.

În urma analizei microscopice s-a concluzionat că formarea acestui canal longitudinal s-a datorat antrenării în interiorul canalului de trecere a sârmei a unui strop de pe suprafaţa frontală a duzei de contact – figura 2.21 - în momentul deplasării sârmei înapoi pe tambur.

Figura 2.20 – Canal longitudinal format ca urmare a antrenării unui strop de pe suprafaţa frontală a duzei

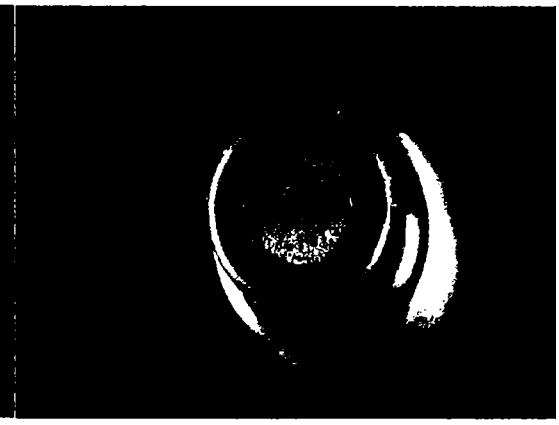


Figura 2.21 – Stropi depuşi pe suprafaţa transversală a duzei tip B

În figura 2.21 se observă încărcarea suprafeţei frontale a duzei de contact B cu stropi rezultaţi în timpul procesului de sudare.

În tabelul 2.8 se prezintă caracteristicile depunerilor obţinute cu parametrii menţionaţi în tabelul 2.7.

Protecţia personalului sudor în timpul programului experimental F s-a realizat în funcţie de materialul electrodului bandă utilizat prin intermediul:

- Sistemului de ventilaţie legat la braţul mecanismului de deplasare longitudinal a capului de sudare prin intermediul unui braţ portabil; sistemul permite eliminarea noxelor apărute în timpul operaţiei de sudare.

BUPT

Tabel 2.8 Caracteristicile depunerilor MAG-EB

Tipul sârmei electrod şi tipul gazului de protecţie	Viteza de avans a sârmei	Curentul de bază	Curentul de puls	Timpul curentului de puls	Frecvenţa pulsurilor	Observaţii	Poziţia de sudare	Poziţia de lucru
	m/min	A	A	ms	Hz		°	°
	v_e	I_b	I_p	t_p	f_p			
SG-NiCr23Mo16 şi Ar+30%He+0,03%O_2	10	80	600	3	207	Hc 5mm; Lc 20,5mm; arc scurt; rând regulat; stropiri reduse; Vs =70 cm/min	40°	100°
SG-NiCr21Mo9Nb şi Ar+30%He+0,03%O_2	15	80	710	2,9	215	Hc aprox 5mm; Lc aprox 22mm; stropi fini; rând regulat; Vs = 85 cm/min	40°	100°
X 15CrNiMn 18 8 şi 99%Ar + 1%O_2	15	300	630	3	230	Hc aprox 6,3 mm; Lc aprox 14mm; Rab = 5mm	40°	110°

- Existenţa unei protecţii individuală suplimentară a personalului din incinta de sudare, prin aplicarea unor măşti speciale în cazul experimentărilor realizate cu electrozi bandă înalt aliaţi cu Ni sau Cu ca urmare a efectelor nocive asupra personalului sudor datorate conţinutului mare de Ni sau Cu.
- În cazul depunerilor realizate prin sudare MAG-EB cu electrod tip SG-CuNi30Fe - datorită conţinutului mare de Cu (>70%Cu), adiţional măştilor de protecţie individuale ale aparatului respirator al personalului sudor, s-au utilizat măşti de sudură speciale cu cristale lichide şi cu aer condiţionat.

2.5.3 Prezentarea variantelor constructive ale duzelor de contact

Datorită problemelor apărute în timpul programelor experimentale C, respectiv F legate de stabilitatea arcului electric şi a procesului de sudare evidenţiate prin intermediul osciloscopului s-a acordat o atenţie deosebită duzelor de contact. Atenţia a fost axată în special asupra formei lor constructive, luându-se în considerare 3 variante constructive de duze de contact: duza adiţională sursei C, duza de contact adiţională sursei F şi o varianta constructivă independentă de cele două surse de sudare utilizate şi denumită duză de contact tip B.

Cercetările efectuate asupra duzelor de contact au urmărit în principal stabilitatea arcului electric, deci stabilitatea procesului de sudare, gradul de uzură al duzelor de contact, precum şi durata de viaţă a acestora şi imperfecţiunile survenite la nivelul depunerilor ca urmare a unei funcţionări neadecvate a duzei de contact.

BUPT

Stabilitatea arcului a fost urmărită la osciloscop pe înregistrările curentului şi tensiunii. Aria suprafeţei afectate de fenomenul de uzură la nivelul duzelor de contact a constituit parametrul de apreciere a gradului de uzură. Timpul de utilizare a duzei de contact oferă valoarea parametrului durată de viaţă.

În figurile 2.22, 2.23 respectiv 2.24 sunt prezentate în vedere de ansamblu, în secţiune, cât şi în vedere frontală variantele constructive ale duzelor tip C, F şi B.

Dimensiunea canalului dreptunghiular de trecere a electrodului în varianta constructivă C este de 4,45 x 0,7 mm. Din figura 2.22 se poate observa practicarea canalului dreptunghiular de trecere a sârmei pe ambele feţe ale duzei de contact şi faptul că, datorită modului de concepţie a duzei, dimensiunea canalului este constantă. Astfel, înălţimea acestuia nu poate fi modificată de utilizator în scopul îmbunătăţirii contactului electric dintre duza şi electrodul bandă.

Figura 2.22 – Duza de contact tip C; dimensiune canal trecere sârmă 4,45 x 0,7 mm

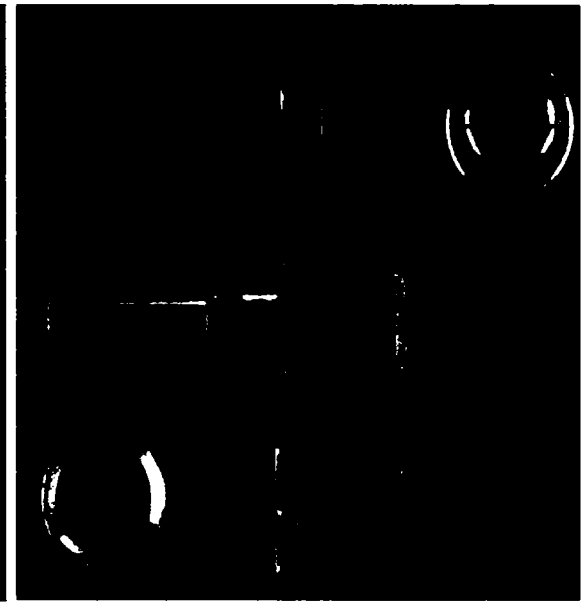


Figura 2.23 – Duza de contact tip F; dimensiune canal de trecere al sârmei 4,2 x 0,8 mm

La varianta constructivă F a duzei de contact (figura 2.23) dimensiunea canalului dreptunghiular este de 4,2 x 0,8 mm. Asemeni variantei constructive a duzei de contact tip C, duza F are înălţimea canalului dreptunghiular constantă. Diferit însă de varianta constructivă C este practicarea canalului dreptunghiular de trecere al sârmei doar pe una dintre cele două suprafeţe ale duzei de contact tip F (piesa redusă în dimensiuni a duzei de contact prezentată în secţiune – vezi figura 2.23) cealaltă suprafaţă fiind plană.

S-a constatat în timpul experimentărilor individuale C şi F că, datorită variantelor constructive nemodificabile ale canalelor de trecere ale sârmei prin duzele de contact tip C şi F, sârma electrod are contacte aleatoare cu suprafaţa canalului de trecere. Aceasta se datorează unei mişcării de rotaţie a sârmei care se produce în interiorul canalului dreptunghiular.

BUPT

O stabilitate mai bună a arcului şi a procesului de sudare, precum şi o durată mai lungă de viaţă s-a constatat la utilizarea duzei de contact tip B – figura 2.24.

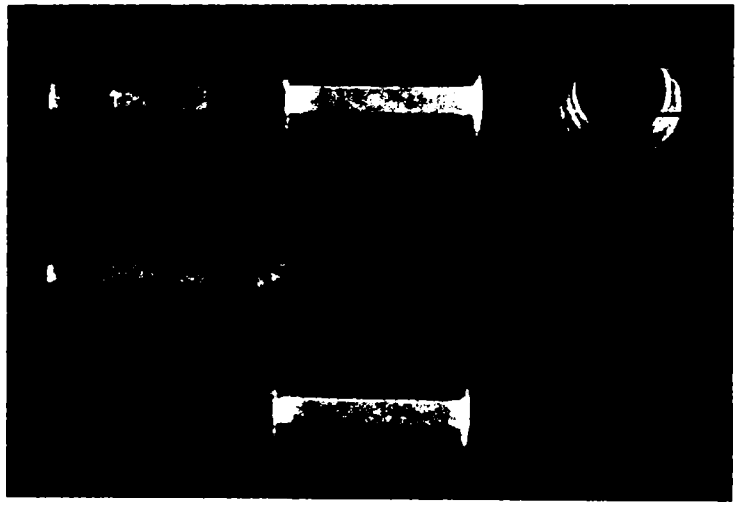


Figura 2.24 - Duza de contact tip B; dimensiunea canalului de trecere al sârmei 4,07 x 0,7 mm

Canalul de trecerea al sârmei la duza B deşi are tot formă dreptunghiulară – cu dimensiunile 4,07 x 0,7 mm – înălţimea acestuia se poate modifica datorită formei constructive.

Datorită faptului că lamelele sunt elastice şi libere la una dintre extremităţi, dimensiunea dintre lamelele interioare poate fi realizată în funcţie de grosimea electrodului bandă, putându-se astfel mări suprafaţa de contact duză de contact – electrod, îmbunătăţindu-se astfel contactul electric, respectiv stabilitatea procesului de sudare.

Datorită vitezelor mari de deplasare a sârmei prin interiorul duzelor de contact $v_e \in (9 - 15)$ m/min, combinate cu contactul aleator al sârmei cu pereţii duzei de contact se produce la nivelul duzelor de contact o uzură interioară a suprafeţei canalului dreptunghiular. În timp, suprafaţa canalului de trecere nu mai are formă dreptunghiulară – vezi figura 2.25.

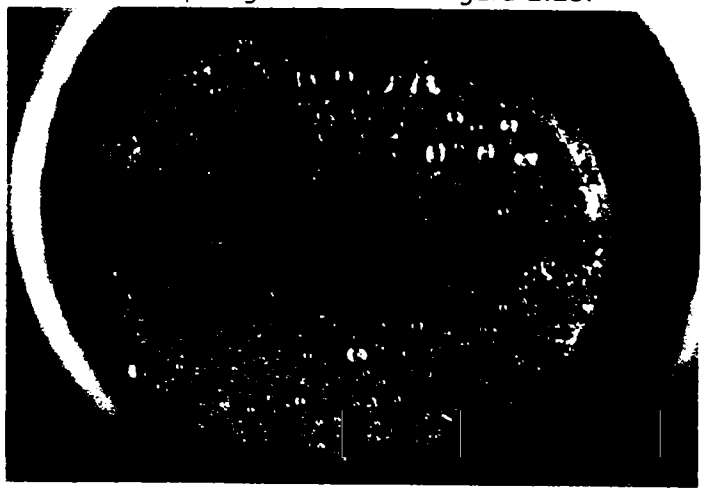


Figura 2.25 – Uzură a canalului de trecere a sârmei la nivelul duzei F

Acest canal dreptunghiular odată deformat condiţionează poziţia electrodului în interiorul canalului în funcţie de forma lui deformată şi de gradul de uzură al acestei suprafeţe, modificând astfel unghiul de poziţionare al electrodului faţă de direcţia de sudare.

În figura 2.25 este prezentată fotografia unui caz real de uzură a canalului de trecere a sârmei întâlnit la nivelul duzei de contact tip F după 3 ore de funcţionare.

Evidenţierea fenomenului de uzură la nivelul duzei de contact s-a constatat şi în cazul duzelor tip B, asemeni situaţiei întâlnite la duzele de contact tip F şi C.

Gradul de uzură aparut însa la nivelul duzelor B a fost mult mai redus, fiind repartizat aproximativ uniform pe întreaga suprafaţă a lamelelor elastice de contact

BUPT

ale duzei B (vezi figura 2.20), astfel că poziţionarea electrodului rămâne la valoarea prescrisă, iar stabilitatea arcului şi implicit a procesului de sudare este mai mare.

Această uzură a canalului de trecere al sârmei are o mare importanţă în aprecierea duratei de viaţă a duzelor de contact, între cele două elemente existând o relaţie inversă de dependenţă. Cu cât gradul de uzură al duzei de contact este mai mare, arcul electric fluctuează ca lungime, ajungând în final să se lungească şi să topească suprafaţa frontală a duzei de contact.

2.5.4 Evidenţierea gradului de uzură apărut la piesele de ghidare a sârmelor plate

Având în vedere probleme de uzură longitudinală aparute la nivelul pieselor de ghidare ale electrodului plat al sursei C s-a realizat un program combinat C şi F de urmărire a gradului de uzură ce apare la nivelul acestor piese de ghidare.

S-a menţionat anterior faptul că piesele de ghidare ale sârmei sunt fixe ca poziţie la nivelul DAS-ul tip C, în timp ce la nivelul DAS-ului tip F sunt mobile.

S-a constatat practic apariţia fenomenului de uzură la nivelul ambelor piese de ghidare a sârmei specifice celor două surse de sudare C şi F, după cum se poate vedea din figurile 2.26, 2.27, 2.28 şi 2.29. Gradul de uzură al pieselor de ghidare este mai ridicat în cazul pieselor de ghidare fixe ale sursei C, decât la piesele de ghidare mobile ale sursei F.

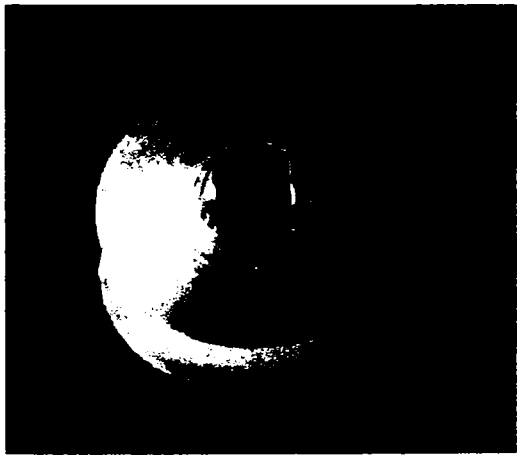


Figura 2.26 – Uzură longitudinală înregistrată la nivelul piesei de ghidare a sârmei tip C

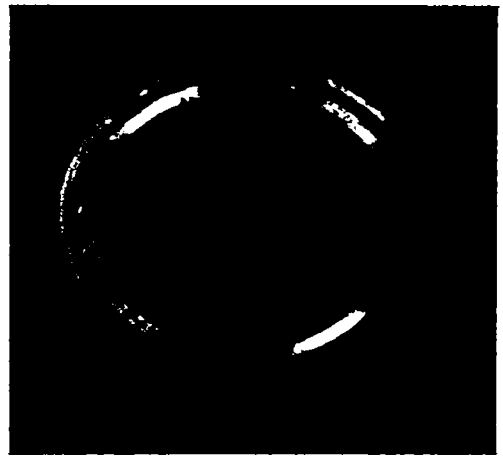


Figura 2.27 – Apariţia uzurii la nivelul piesei de ghidare a sârmei sursei C

Efectul fenomenului de uzură la nivelul pieselor de ghidare a fost apariţia unor tăieturi logitudinale pe direcţia de antrenare a sârmei. În figurile 2.26, 2.27 se prezintă fotografii ale acestor tăieturi longitudinale la nivelul pieselor de ghidare ale sursei C.

În figurile 2.28 şi 2.29 se poate constata apariţia unui fenomen de uzură în fază incipientă la piesele de ghidare ale sursei F. Acest grad de uzură al pieselor de ghidare mobile ale sursei F s-a înregistrat după aproximativ 250 ore de funcţionare de la punerea în funcţie a acestei surse.

BUPT

Figura 2.28 – Uzură longitudinală incipientă la nivelul piesei de ghidare a sârmei sursei F

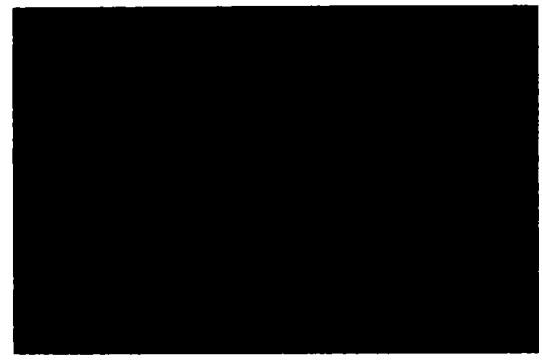


Figura 2.29 – Uzură înregistrată la nivelul piesei de ghidare a sârmei tip F

În ambele situaţii (atât pentru sursa C, cât şi pentru F) viteza ridicată de avans a sârmei este elementul responsabil pentru apariţia acestei uzuri longitudinale la nivelul pieselor de ghidare.

Există însa şi alte elemente care trebuie luate în considerare atunci când se face analiza uzurii de la nivelul suprafeţelor piesele de ghidare. În figura 2.30 se poate observa c˘ apariţia fenomenului de uzură s-a datorat frecărilor care au apărut între electrodul bandă şi piesele de ghidare, la avansul sârmei cu v_e. Se poate observa în figură existenţa şpan-ului depus şi a unor spirale filiforme metalice care se formează la intrarea în piesa de ghidare ca urmare a existenţei unei suprafeţe transversale nenetede a electrodului.

Figura 2.30 – Spirale filiforme formate la intrarea electrodului în piesa de ghidare tip F

La o analiza la microscop a suprafeţei laterale a sârmei electrod s-a constatat o calitate redusă a acesteia, cu mici deformaţii care la contactul cu piesele de ghidare au dus la dislocări de material de pe suprafaţa transversală a sârmei. Rezultatul dislocarilor de material a fost apariţia şpan-ului, a spiralelor filiforme de pe suprafaţa electrodului bandă, precum şi a unor zgârieturi longitudinale pe suprafaţa transversală a electrodului.

BUPT

Cap 3. Fenomene fizice şi metalurgice la sudarea MAG-EB

3.1 Noţiuni generale

Aprecierea fenomenelor care au loc la interfata metal de bază – metal depus MB – MD este foarte importanta în cazul depunerilor prin sudare, deoarece în general, încărcarea este o sudură eterogenă, iar pe o grosime mica de ordinul zecilor de μm, apar variaţii importante ale conţinuturilor elementelor componente. În afara acestei zone concentraţiile elementelor de aliere se apropie de concentraţiile specifice din MB sau MD.

S-a demonstrat analitic în cazul sudării sub strat de flux că, după un număr de 3 straturi depuse, influenţa MB asupra MD este neglijabilă, [71]. Concentraţia teoretică a elementelor din cusatură la încărcare putându-se determina matematic cu ajutorul diluţiei.

Este importantă estimarea compoziţiei chimice a primului strat – în special – şi a următoarelor straturi înaintea realizării practice a încărcărilor prin sudare. Această estimare se poate realiza cu ajutorul legii aliajului. Se necesită însă cunoaşterea în prealabil a valorilor concentraţiilor chimice ale elementelor în MB şi MA şi a valorii diluţiei – p_{MB} [%].

Diluţia se defineşte ca fiind participarea procentuală a materialului de bază la formarea sudurii şi se determină conform relaţiei (3.1) [21]

$$p_{MB} = A_2 / (A_1 + A_2) \qquad (3.1)$$

Se notează cu:

p_{MB} [%] – diluţia metalului depus MD în metalul de bază MB

A_1 – aria porţiunii din sudură datorată aportului materialului de bază

A_2 – aria porţiunii din sudură datorată aportului materialului de adaos

Utilizând diagrama Schäffler se poate aprecia structura metalurgică a depunerii cu ajutorul „liniei directoare de diluţie" [56] care uneşte punctele definite de Cr_{ech} şi Ni_{ech} calculate pentru MB, respectiv MA şi ţinând cont de valoarea diluţiei.

Aflarea punctelor corespunzătoare MB şi MA pe diagrama Schäffler (figura 3.1) se realizează cu ajutorul relaţiilor de calcul a mărimilor Cr_{ech} (3.2) şi a Ni_{ech} (3.3):

$$Cr_{ech} = \%Cr + \%Mo + 1{,}5*\%Si + 0{,}5*\%Nb + 2*\%Ti \qquad (3.2)$$

$$Ni_{ech} = \%Ni + 30*\%C + 0{,}5*\%Mn + 30*\%N \qquad (3.3)$$

BUPT

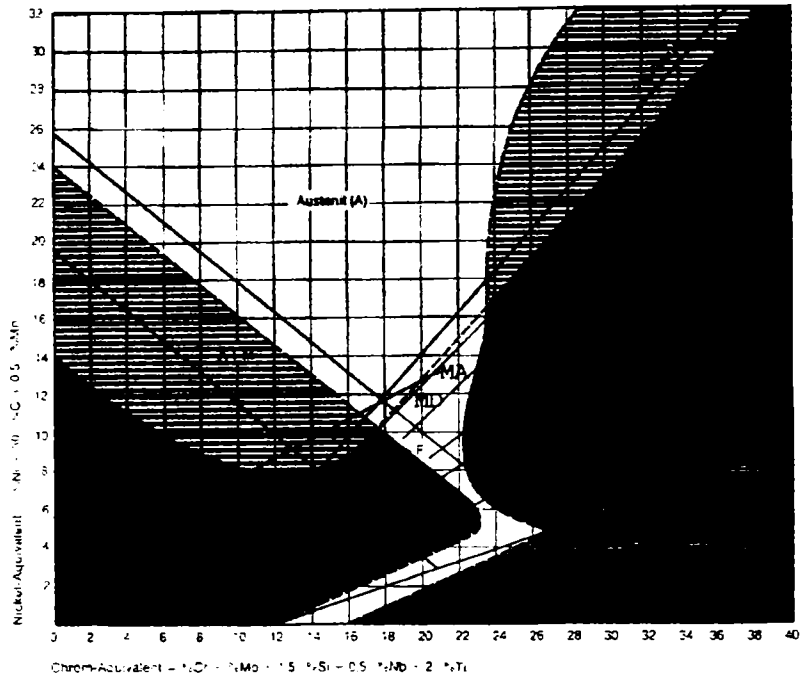


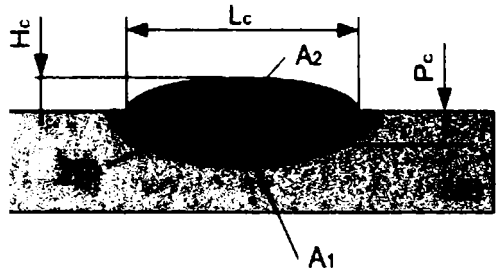
Figura 3.1 – Diagrama Schäffler

Invers, daca în urma realizării practice a probelor sudate se face analiza spectrală a unor eşantioane prelevate din MB, MA şi MD, se vor cunoaşte valorile concentraţiilor chimice ale elementelor din materialul de bază – MB, din materialul de adaos – MA, din metalul depus – MD şi se va putea calcula valoarea diluţiei – p_{MB} [%].

3.2 Caracteristicile geometrice ale unei depuneri prin sudare MAG-EB

Alături de caracteristicile mecanice, caracteristicile geometrice ale sudurii joacă un rol important în cazul utilizării sudării MAG-EB pentru încărcare, iar valorile acestora depind de parametrii tehnologici aleşi pentru sudare.

În figura 3.2. sunt prezentate principial caracteristicile geometrice ale unei depuneri prin sudare.



n e:

Lc – latimea sudurii
Pc – patrunderea sudurii
Hc – suprainaltarea sudurii
A1 – aria datorata aportului materialului de baza MB
A2 – aria datorata aportului materialului de adaos MA

Figura 3.2 – Caracteristicile geometrice ale unei depuneri prin sudare MAG-EB

BUPT

Tabelul 3.1 şi WPS-urile 1 – 20 - anexa C, respectiv tabelul B.1 – anexa B prezintă valorile caracteristicilor geometrice obţinute în timpul programului experimental F.

Regimurile prezentate în cadrul tabelului 3.1 au fost determinate prin modificări sucesive ale curentului de puls şi / sau ale timpului de puls şi /sau ale frecvenţei pulsurilor pentru o anumită combinaţie a vitezei de avans sârma, a gazului şi a tipului de material al electrodului bandă.

Tabel 3.1 – Valorile caracteristicilor geometrice ale depunerilor realizate prin sudare MAG-EB

Probă depusă prin sudare	Număr WPS	Laţimea Lc [mm]	Supraînăltarea Hc [mm]
SG-NiCr23Mo16 şi un gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 Qgaz = 20 l/min; v_e = 12 m/min; v_s = 100 cm/min Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 580 A; f_p = 200 Hz	2	17	4
SG-NiCr21Mo9Nb şi un gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 Qgaz = 20 l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 80 cm/min Rab = 4 mm; Ib = 130 A; Ip = 670 A; f_p = 110 Hz	8	18	5
X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 650 A; f_p = 230 Hz	13	16	6
X 12CrNi 25 20 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 630 A; f_p = 180 Hz	14	17	6
SG-NiTi4 şi un gaz tip Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 4 mm; Ib = 460 A; Ip = 640 A; f_p = 195 Hz	17	18	5,5

În tabelul 3.1 se prezintă valori ale caracteristicilor geometrice ale încărcării prin sudare MAG-EB. Tabelul B.1 – anexa B prezintă toate valorile caracteristicilor geometrice obţinute funcţie de valorile parametrilor de sudare. Pe baza datelor obţinute se poate concluziona că valoarea lăţimii sudurii se încadrează în domeniul (14 – 19) mm, lungimea băii metalice $L_{BM} \in$ (40 – 60) mm şi supraînălţarea între Hc $\in$ (4 – 6) mm.

BUPT

3.3 Calculul diluţiei la încărcarea prin sudare MAG-EB – p_{MB} [%]

Se cunoaşte faptul că diluţia reprezintă o caracteristică importantă a proceselor de sudare şi în special a încărcării prin sudare. Valoarea diluţiei la încărcarea prin sudare este recomandată să fie cât mai mică posibil.

Tinând cont de relaţia (3.1) şi notând cu:

p_{MB} [%] – diluţia metalului depus MD în metalul de bază MB
A_1 – aria datorată aportului materialului de bază
A_2 – aria datorată aportului materialului de adaos
X_{MD} – concentraţia în elementul "X" a metalului depus MD
X_{MA} – concentraţia în elementul "X" a materialului de adaos MA
X_{MB} – concentraţia în elementul "X" a materialului de bază MB
rezultă:

$$A_1 * X_{MB} + A_2 * X_{MA} = X_{MD} * (A_1 + A_2) \tag{3.4}$$

$$X_{MD} = X_{MB} * \frac{A_1}{A_1 + A_2} + X_{MA} * \frac{A_2}{A_1 + A_2} \tag{3.5}$$

însă:
$$p_{MB} = \frac{A_1}{A_1 + A_2} * 100 = \frac{A_1 + A_2 - A_2}{A_1 + A_2} * 100 \tag{3.6}$$

$$\frac{A_2}{A_1 + A_2} = 1 - \frac{p_{MB}}{100} \tag{3.7}$$

Deci:
$$X_{MD} = X_{MB} * \frac{p_{MB}}{100} + X_{MA} * \left(1 - \frac{p_{MB}}{100}\right) \tag{3.8}$$

$$\frac{p_{MB}}{100}(X_{MB} - X_{MA}) + X_{MA} = X_{MD} \tag{3.9}$$

$$p_{MB} = \frac{(X_{MD} - X_{MA})}{(X_{MB} - X_{MA})} * 100 \tag{3.10}$$

Utilizând relaţia (3.10), au fost calculate valorile diluţiilor din tabelul 3.2 şi tabelele A.7, A.8 şi A.10 – anexa A.

BUPT

Tabel 3.2 – Valorile diluţiei încărcării prin sudare MAG-EB calculate prin formula (3.10)

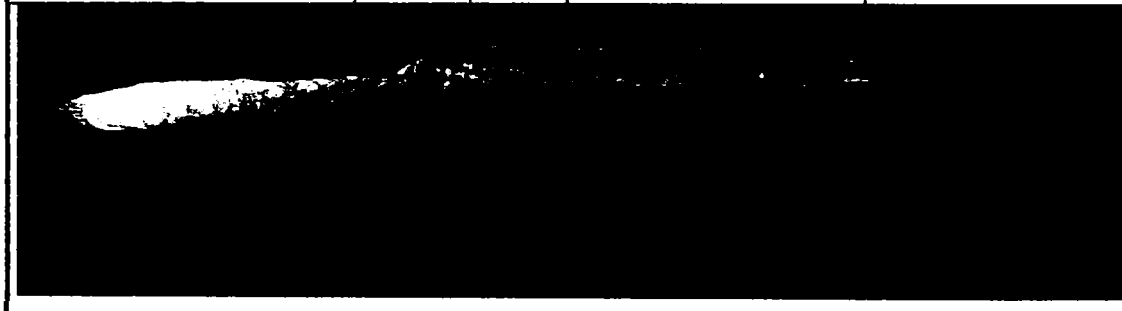
Probă depusă prin sudare	X_{MB}	X_{MA}	X_{MD}	Număr WPS	p_{MB} [%]
SG-NiCr23Mo16 şi un gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 Qgaz = 20 l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 80 cm/min Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 600 A; f_p = 207 Hz	98,09	0,472	1,44	1	0,99
SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar + 30%He + 2%H_2 + 0,055%CO_2 Qgaz = 20 l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 70 cm/min Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 670 A; f_p = 126 Hz	98,09	0,56	8,9	7	8,55
SG-NiTi4 şi un gaz Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 4 mm; Ib = 460 A; Ip = 640 A; f_p = 195 Hz	98,9	0,04	1,1	17	1,07
X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 650 A; f_p = 230 Hz	98,9	65,3	66,6	13	3,77
X 12CrNi 25 20 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 630 A; f_p = 180 Hz	98,9	50,7	54,8	14	8,48

Aplicarea formulei (3.10) se poate face şi la calculul diluţiei în cazul încărcării prin sudare MAG-EB realizate în mai multe straturi. Astfel, s-au determinat valorile diluţiei pentru o proba depusă prin sudare MAG-EB în 2 straturi utilizând o sârmă tip SG-NiCr21Mo9Nb şi un gaz de protecţie tip M 13 (1). În urma analizei spectrale a probelor prelevate din MD s-au regasit valorile concentraţiilor elementelor X_{MD} = {7,6; 0,9}% şi prezentate în cadrul tabelului A.5 – anexa A.

Parametrii utilizaţi la sudare se regăsesc parţial prezentaţi în tabelul 3.3 sau integral în cadrul WPS 8 – anexa C. În tabelul 3.3 sunt prezentate valorile diluţiilor pentru cele 2 straturi depuse şi se observă faptul că valoarea diluţiei din stratul doi este semnificativ mai mică decat cea din stratul 1.

BUPT

Tabel 3.3 – Parametrii de sudare utilizaţi la încărcarea prin sudare MAG-EB în două straturi

Tipul sârmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**SG-NiCr21Mo9Nb**
Dimensiunea sârmei	mm		4,0 x 0,5	4,0 x 0,5
Poziţia de sudare / Poziţia de lucru			40° 100°(împins 10°)	40° 100°(împins 10°)
Gazul de protecţie			Ar+30%He+0,03%O_2	Ar+30%He+0,03%O_2
Material de bază conform EN 10027-1 / Grosimea MB			S 235JRG2 20 mm	S 235JRG2 20 mm
Numărul stratului			Strat 1	Strat 2
				
Parametrii de lucru				
Curentul de sudare	A	I_s	324	310
Tensiunea arcului	V	U	32,18	32
Viteza de avans a sârmei electrod	m/min	v_e	10	10
Tipul transferului			puls	puls
Debitul gazului de protecţie	l/min	Q	20	20
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	80
Energia liniară	J/cm	E	7.819,74	7.440
Distanţa între rânduri	mm	Rab	4	4,5
Lungimea liberă a sârmei	mm	L_l	20	20
Temperatura între depuneri	°C		< 120°C	< 120°C
Număr WPS			8	8
Diluţia	%	p_{MB}	7,22	0,35
Rata depunerii	kg/h	Ad	10,2	10,2

Din tabelul 3.3 se observă că dacă valoarea diluţiei primului strat este 7,22%, atunci participarea MB la MD este neglijabilă încă din stratul 2 (0,35%). Putem afirma că numărul de straturi după care participarea MB la MD este neglijabilă este influenţat de valoarea diluţiei din primul strat.

În concluzie, în timpul programului experimental F, s-a constatat că în cazul unei diluţii de aproximativ 7% în primul strat, valoarea diluţiei din stratul al doilea

BUPT

este semnificativ mult mai mică (< 1%). Se poate aprecia deci, că participarea materialului de bază la MD în cazul utilizării aceleaşi tehnologii de sudare MAG cu electrod bandă în ambele straturi este neglijabilă încă din stratulul 2 de depunere.

Se cunoaşte faptul că în cazul încărcării prin sudare sub flux cu electrod bandă participarea MB la MD este neglijabilă începând cu cel de-al 3 strat depus, deci utilizarea variantei de încărcare prin sudare cu electrod bandă va duce la reducerea costurilor ca umare a:

- economiei de material de adaos utilizat (MA cu costuri ridicate);
- reducerii consumurilor energetice;
- reducerii costurilor de execuţie prin reducerea timpilor de execuţie a straturilor depuse.

3.4 Simularea ciclului termic la sudarea MAG – EB

Analiza cu elemente finite FEA este modalitatea prin care se pot simula condiţiile de încărcare ale unui model (sistem, piesă) şi determina condiţiile de răspuns ale acestuia. Pentru studiu, modelul este discretizat în elemente (blocuri).

Pentru fiecare element (bloc) se formulează ecuaţii care descriu cum va răspunde acesta la o anumită încărcare. Suma tuturor răspunsurilor elementelor din model oferă răspunsul general al modelului. Astfel cu cât numărul elementelor în care se poate descompune modelul este mai mare, cu atât soluţia finală oferită, se apropie mai mult de realitate.

ANSYS reprezintă unul dintre software-urile moderne FEA care permit studiul virtual al modelelor din punct de vedere: structural, termic, electromagnetic, al dinamicii fluidelor, electric şi electrostatic. Soft-ul ANSYS Multiphysics are capabilitatea includerii tuturor acestor aspecte în studiul unui model.

Utilizând soft-ul ANSYS Multiphysics s-a realizat o analiză termică în vederea determinării distribuţiei temperaturii în timpul procesului de sudare MAG - EB şi compararea valorilor temperaturilor atinse la sudarea MAG - EB cu temperaturile atinse la sudarea MAG cu electrod din sârmă plină de ϕ 1,6 mm. Simularea ciclului termic la sudare a cuprins următoarele etape:

- Introducerea valorilor caracteristicilor mecanice şi termice ale MB şi MA;
- Crearea modelului fizic al depunerilor;
- Discretizarea modelului fizic al depunerilor într-o reţea de elemente;
- Modelarea deplasării sursei termice de-a lungul MB;
- Postprocesarea analizei cu evidenţierea rezultatelor.

În tabelele 3.4 şi 3.5 sunt prezentate valorile caracteristicilor mecanice şi termice ale materialului de bază S235 şi ale electrodului bandă X 12CrNi 25 20 în funcţie de temperatură.

BUPT

Tabel 3.4

Caracteristici mecanice si termice ale S235																	
Temperaturi [°C]	ANSYS	21	93	100	204	316	427	500	538	649	760	800	871	982	1000	1093	1204
10^{11} x E [N/m^2]	EX	2.07	1.9650		1.8617		1.66893		1.1722	0.5520	0.0690					0.0690	
10^{8} * Rp0,2 [N/m^2]	SIG	2.4822			2.379		2.241			0.758	0.138						
K [W/m * °C]	KXX	64	62,5		54.7	49.37	44.34		39.3	34.5	30.2		28.1	27.3		28.2	
10^{-5} * α [1/°C]	ALPX	1.1	1,17		1.226	1.298	1.352		1.407	1.461	1.407		1.352				
c [J/kg * °C]	c	502	511,5		577.8		680		750	880	1160		620	660		700	720
ρ [kg/m^3]		7850	7850														
10^{7} * I [J/m^3]	ENTH	50	80		90		180		210	255	330		400	540		650	810
υ [-]	NUXY	0.29	0.3		0.31		0.31		0.32	0.32	0.33					0.32	

Tabel 3.5

Caracteristici mecanice si termice ale X 12CrNi 25 20																	
Temperaturi [°C]	ANSYS	21	93	100	204	316	427	500	538	649	760	800	871	982	1000	1093	1204
10^{11} x E [N/m^2]	EX	2.69	1.9650		1.8617		1.66893		1.1722	0.5520	0.0690					0.0690	
10^{8} * Rp0,2 [N/m^2]	SIG	3.15			3		2.8			1	0.15						
K [W/m * °C]	KXX	22.6		23.8	25.5		28.5					35.1			38		
10^{-5} * α [1/°C]	ALPX	1.42		1.42				1.72				1.8			1.88		
c [J/kg * °C]	c	502	511,5		577.8		634.6		691.4	748.3	861.9		1137	1137		1134	1134
ρ [kg/m^3]		7900	7900														
10^{7} * I [J/m^3]	ENTH	50	80		90		180		210	255	330		400	540		650	810
υ [-]	NUXY	0.29	0.3		0.31		0.31		0.32	0.32	0.33					0.32	

BUPT

În tabele s-au făcut următoarele notaţii:

- E → Modulul de elasticitate longitudinal - modulul lui Young - [N/m^2 = 10^6 N/mm^2 = 10^6 MPa]
  E_{S235} = 2.07 * 10^5 N/mm^2 = 2.07 * 10^{11} N/m^2 la 20° C
- $R_{p0,2}$ → Limita de curgere – [N/m^2 = 10^6 N/mm^2 = 10^6 Mpa]
  $R_{p0,2}$ = 248 N/mm^2 = 2.48 * 10^8 N/m^2 la 20° C pentru S235
- K → Conductivitatea termică – [W/m * °C]
- C → Căldura specifică – [J/kg * °C]
- α → Coeficientul de dilatare termică [1/°C]
- ρ → Densitatea [kg/m^3]
- I → Entalpia – [J/m^3]
- υ → Coeficientul lui Poisson [-].

Utilizând ANSYS Multiphysics / PlotCtrl / Capture Image, s-au realizat capturi ale variaţiilor caracteristicilor mai sus menţionate funcţie de temperatură. Aceste variaţii ale caracteristicilor mecanice şi termice sunt prezentate în figurile următoare:

- Figura 3.3 şi 3.4 – variaţia coeficientului de dilatare termică (α) funcţie de temperatură a MB şi MA;
- Figura 3.5 şi 3.6 – variaţia modulului de elasticitate (E) funcţie de temperatură a MB şi MA;
- Figura 3.7 – variaţia coeficientului lui Poisson (υ) funcţie de temperatură a MA şi MB;
- Figura 3.8 – variaţia densităţii (ρ) funcţie de temperatură;
- Figura 3.9 – variaţia căldurii specifice (c) funcţie de temperatură;
- Figura 3.10 – variaţia entalpiei (I) funcţie de temperatură;
- Figura 3.11 şi 3.12 – variaţia conductivităţii termice (K) funcţie de temperatură a MB şi MA;
- Figura 3.13 şi 3.14 – variaţia limitei de curgere ($R_{p0,2}$) funcţie de temperatură a MB şi MA.

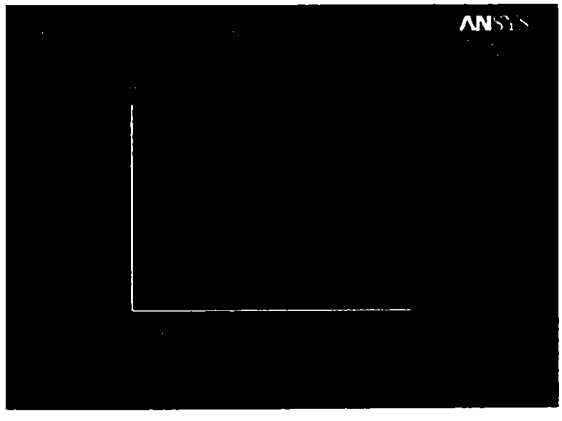


Figura 3.3 - Variaţia coeficientului de dilatare termică (α) funcţie de temperatură - MB

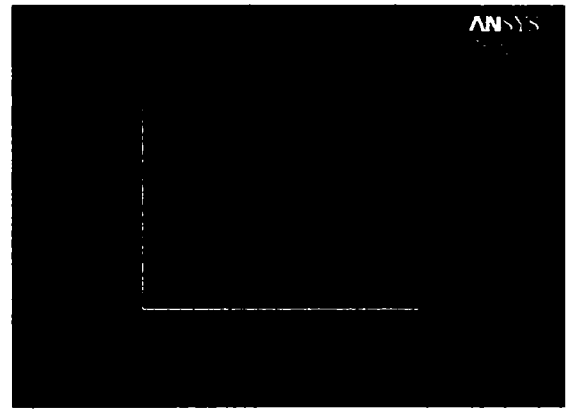


Figura 3.4 - Variaţia coeficientului de dilatare termică (α) funcţie de temperatură - MA

BUPT

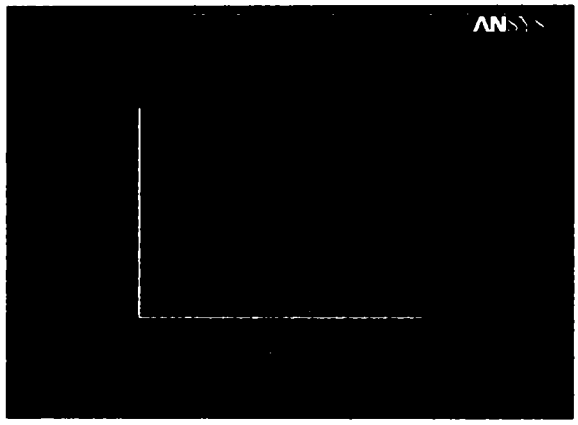


Figura 3.5 - Variaţia modulului de elasticitate (E) funcţie de temperatură - MB

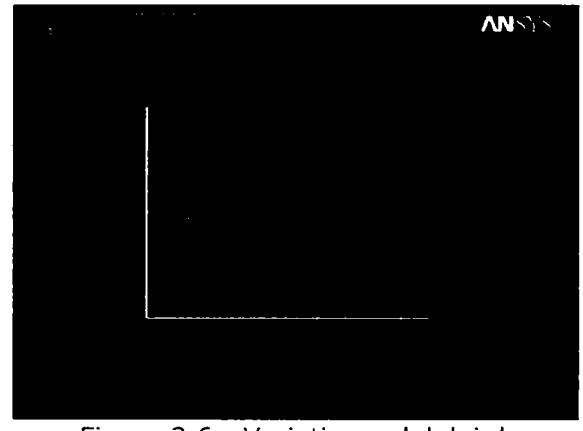


Figura 3.6 - Variaţia modulului de elasticitate (E) funcţie de temperatură - MA

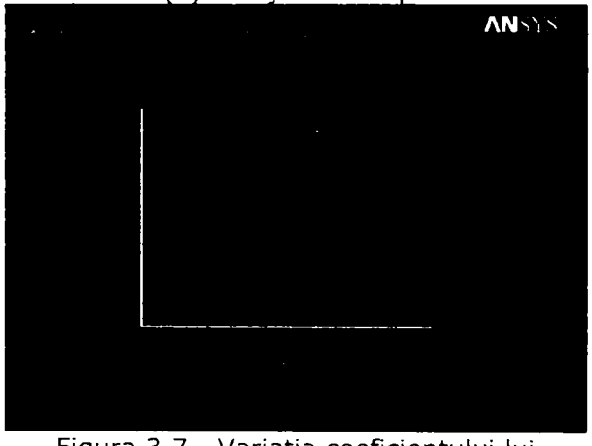


Figura 3.7 - Variaţia coeficientului lui Poisson (υ) funcţie de temperatură - MB-MA

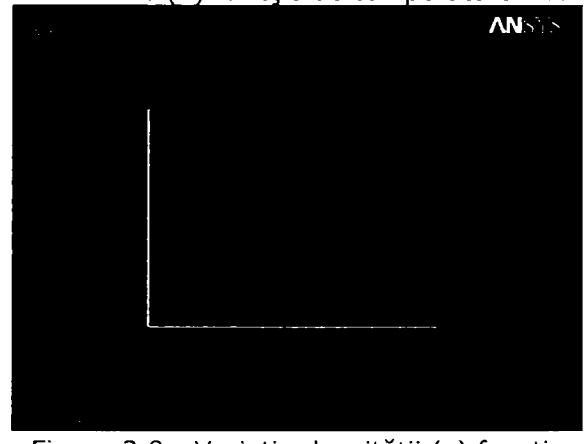


Figura 3.8 - Variaţia densităţii (ρ) funcţie de temperatură - MB

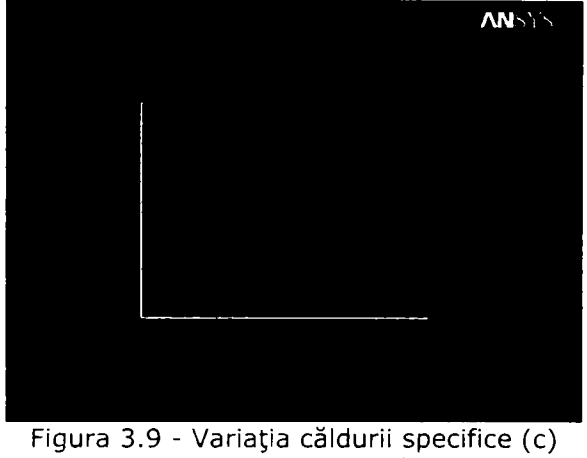


Figura 3.9 - Variaţia căldurii specifice (c) funcţie de temperatură - MA

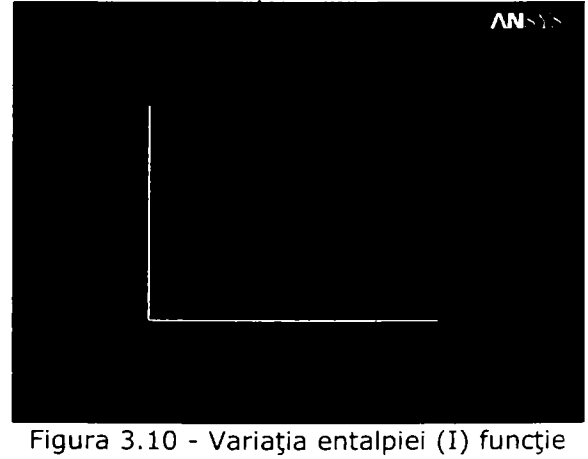
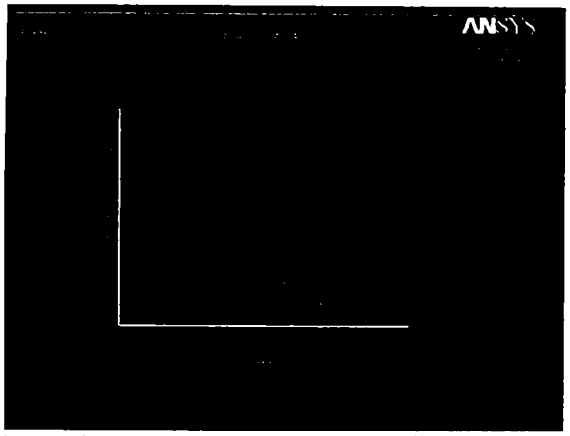


Figura 3.10 - Variaţia entalpiei (I) funcţie de temperatură - MB-MA

BUPT



igura 3.11 - Variaţia conductivităţii termice (K) funcţie de temperatură - MB

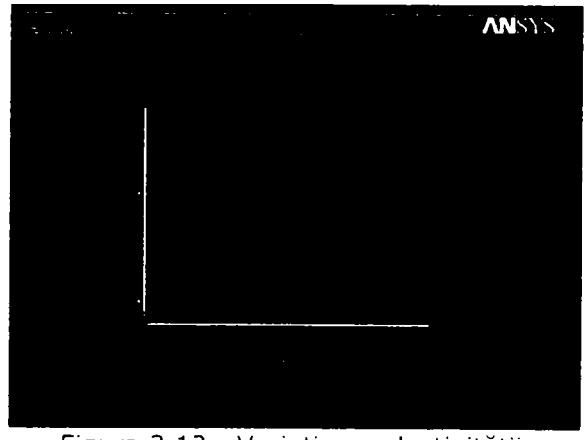


Figura 3.12 - Variaţia conductivităţii termice (K) funcţie de temperatură - MA

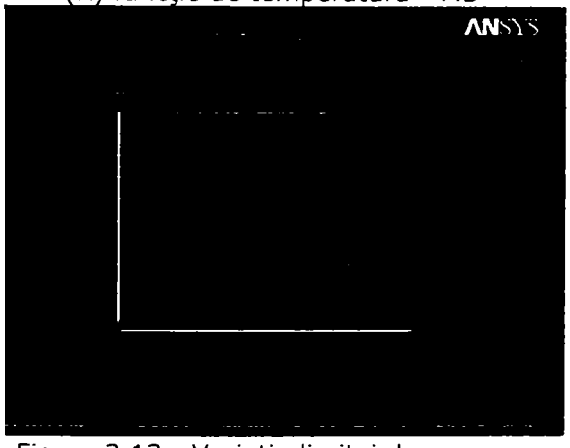


Figura 3.13 - Variaţia limitei de curgere ($R_{p0,2}$) funcţie de temperatură - MB

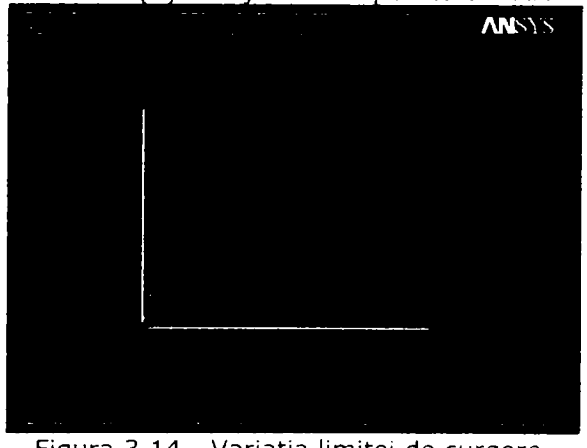


Figura 3.14 - Variaţia limitei de curgere ($R_{p0,2}$) funcţie de temperatură - MA

Variaţia coeficientului de dilatare termică al MB funcţie de temperatură arată că acesta creşte până la 650°C şi apoi scade, în timp ce coeficientul de dilatare termică al MA creşte continu şi la 1000°C.

Valoarea modulului de elasticitate scade odată cu creşterea temperaturii până la aproximativ 750°C, când valoarea sa devine aproape 0 atât pentru MA cât şi MB.

Variaţia coeficientului lui Poisson (υ) este crescătoare până în apropierea temperaturii de 750°C, ca mai apoi să scadă - atât pentru MB cât şi MA.

Variaţia conductivităţii termice (K) funcţie de temperatură este descrescătoare la MB – figura 3.11, în timp ce conductivitatea termică creşte odată cu temperatura pentru MA – figura 3.12.

Variaţia limitei de curgere ($R_{p0,2}$) funcţie de temperatură este similară la MB şi MA, diferită fiind doar valoarea maximă a acesteia la 21°C:

- $R_{p0,2} = 3.15 * 10^8$ [N/m^2] pentru MA
- $R_{p0,2} = 2.4822 * 10^8$ [N/m^2] pentru MB.

BUPT

Crearea modelului fizic

Următoarea etapă pentru simularea ciclului termic, este crearea modelului fizic. Astfel în vederea creări modelului fizic, utilizând comenzile soft-ului ANSYS, s-au realizat următoarele faze:

- s-a desenat forma dreptunghiulară a materialului de bază cu dimensiunile de 350 x 300 x 20 mm;
- ulterior creării blocului MB s-a trecut la desenarea unui semi-cerc la capătul MB prin ştergerea unei jumătăţi dintr-un cerc creat cu raza de 10 mm;
- s-a multiplicat de-a lungul axei X a MB acest semicerc şi s-a realizat modelul unei cusături sudate;
- repetând etapele de creare a semicercului şi multiplicare a acestuia de-a lungul axei X s-a realizat o nouă cusatură sudată.

Utilizând comenzile ANSYS, etapele de creare a modelului fizic au fost:

- Modeling/Create/Volumes/Block/ By dimensions
- Create block from

X1, X2	X coordinates	0; .35
Y1, Y2	Y coordinates	0; .30
Z1, Z2	Z coordinates	0; .020

- Se selecteaza puncte din 20 în 20 mm de-a lungul axei Y
- WorkPlane/Offset WorkPlane to keypoints - se mută sistemul de axe de lucru în fiecare punct creat
- Se roteşte sistemul - de axe de-a lungul lui Y cu 90°
- Solid Aria Circle - se crează cercul de coordonate (0; 0; .01)
- Divide by line - aria cercului creat
- Delete aria only - se şterge aria din MB
- Extrude along line – se crează cordonul din jumătatea de cerc rămasă, de-a lungul axei X

În figura 3.15 se găseşte captura modelului fizic creat.

Faza ulterioară crearii modelului fizic este discretizarea acestuia în cât mai multe elemente.

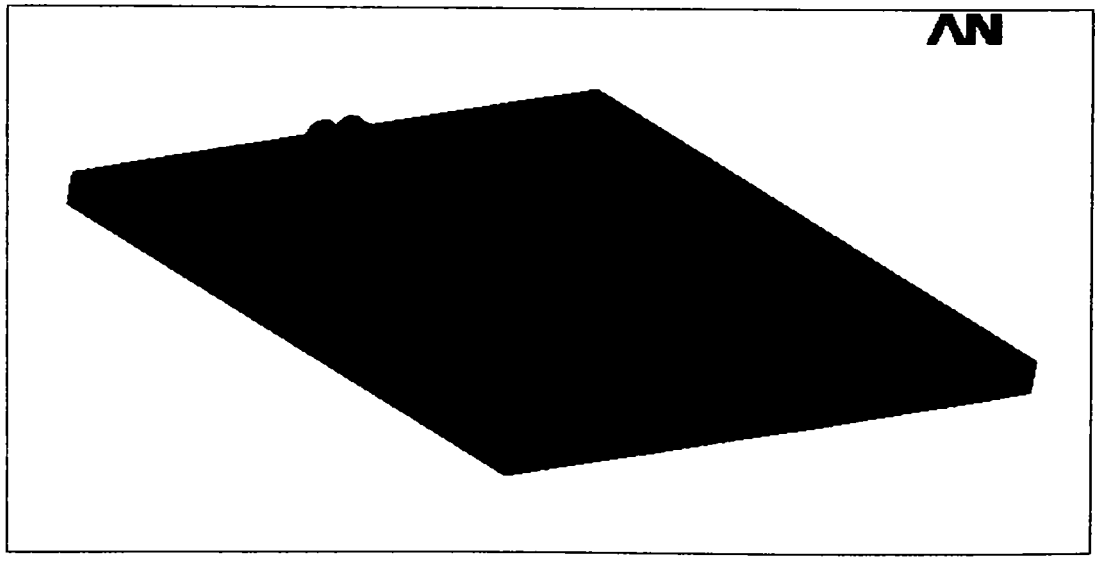


Figura 3.15 - Modelul fizic

BUPT

Având în vedere complexitatea procesului de simulare şi timpul îndelungat de procesare în cazul utilizării unui număr mare de rânduri depuse, s-a decis simularea ciclului termic doar pentru două cordoane depuse prin sudare MAG – EB sau MAG cu sârmă plină de ϕ 1,6 mm.

Discretizarea modelului fizic într-o reţea de elemente

Discretizarea modelului fizic anterior creat s-a realizat prin: definirea celor două elemente studiate (MA şi MB), stabilirea dimensiunii elementelor finite EF hexaedrice create şi aplicarea acestei dimensiuni MD, MB şi interfeţei MD-MB.

Utilizând comenzile ANSYS, etapele procedurii de discretizare a modelului fizic au fost:

- Meshing/Mesh Tool/Smart Size/Element Atributtes/Set/Element type number 1 – MB/Solid 98/ Size element edge lenght 0.008
- Meshing/Mesh Tool/Smart Size/Element Atributtes/Set/Element type number 2 – MB/Solid 98/ Size element edge lenght 0.008
- Mesh/Volumes/Refine at: All Elements/Shape: hexaedrice
- Se selecteaza fiecare cusătură, MB şi interfaţa MD-MB.

În figura 3.16 se prezintă captura imaginii modelului fizic discretizat în elemente hexaedrice.

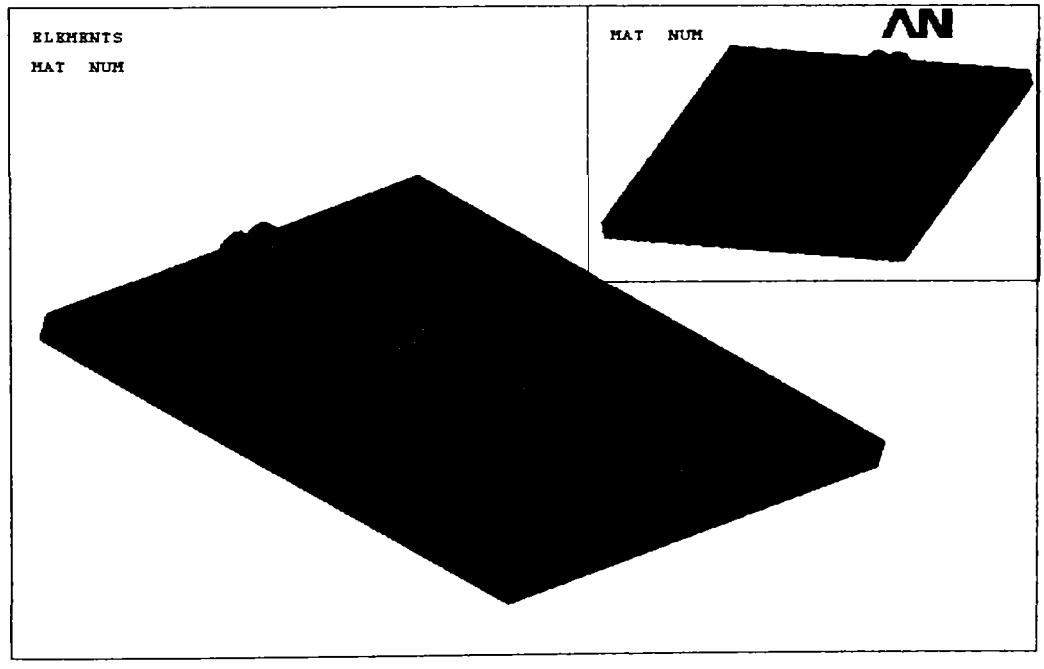


Figura 3.16 – Discretizarea modelului fizic într-o reţea de elemente

În urma procesării analizei s-au evidenţiat următoarele rezultate:

- figura 3.17 – variaţia câmpului termic la sudarea MAG – EB a primului rând în momentul atingerii jumătăţii rândului depus cu v_s = 80 cm/min;

BUPT

- figura 3.18 – variaţia câmpului termic după sudarea unui rând şi depunerea prin sudare a celui de-al doilea rând, la momentul atingerii mijlocului celui de-al doilea rând;
- figura 3.19 – câmpul termic după realizarea a două rânduri depuse prin sudare MAG-EB;
- figura 3.20 - câmpul termic dupa sudarea a două cordoane depuse şi după o răcire de aproximativ $t_{rac} \cong 6$ min = 360 s.

Se observă din figura 3.19 că după un număr de două rânduri depuse încălzirea MB şi a MD este semnificativă. Daca temperatura MB variază între 40°C – 170°C, temperatura MD ajunge până la 300°C – 520°C.

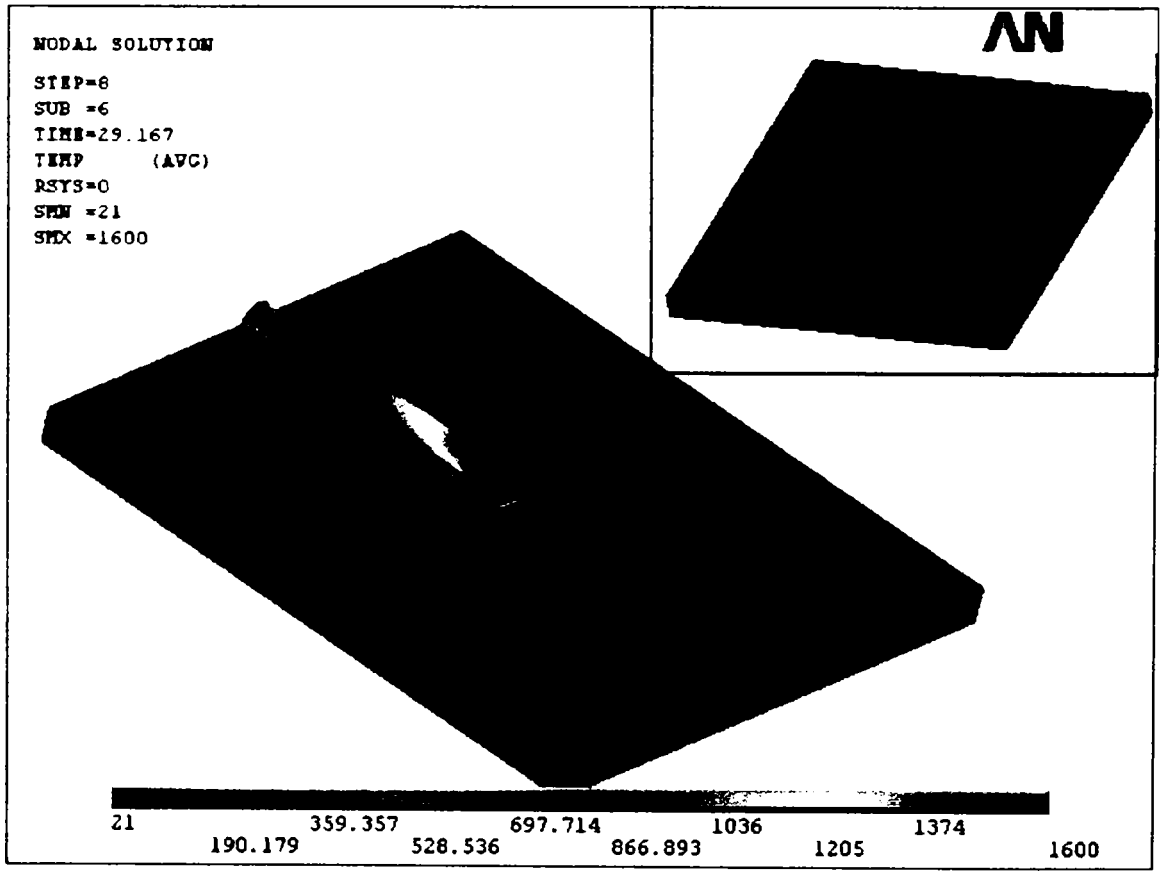


Figura 3.17 – Distribuţia câmpului termic la sudare în momentul atingerii mijlocului primului rând depus

BUPT

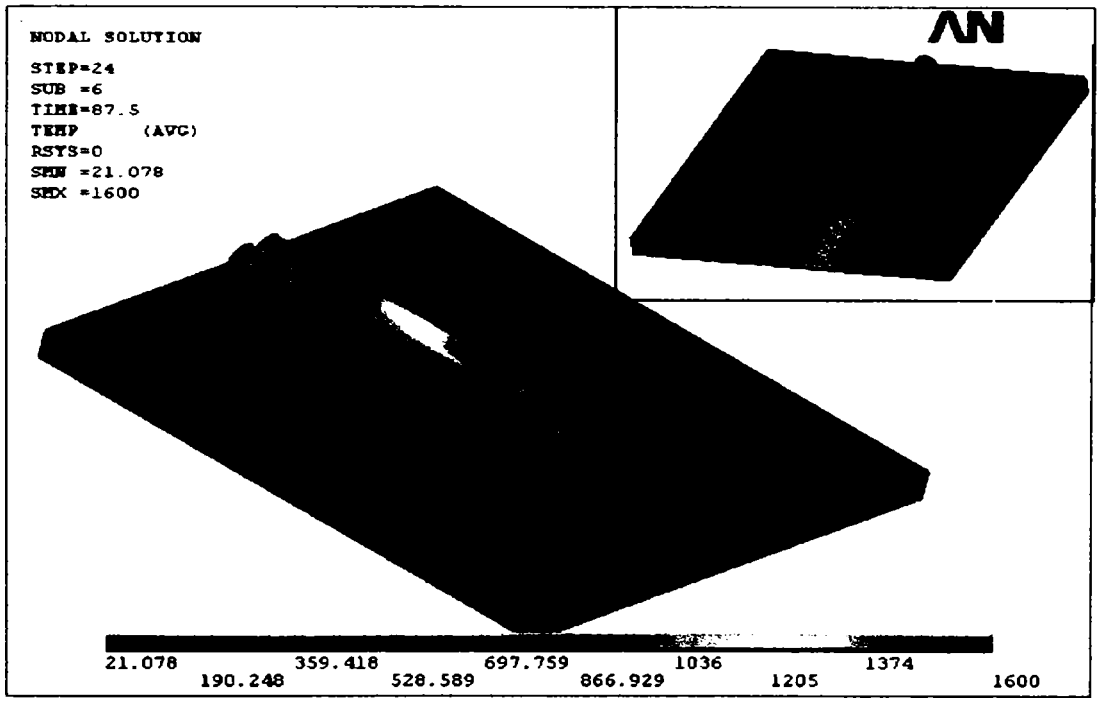


Figura 3.18 – Distribuţia câmpului termic la sudare – în momentul atingerii mijlocului celui de-al doilea rând depus

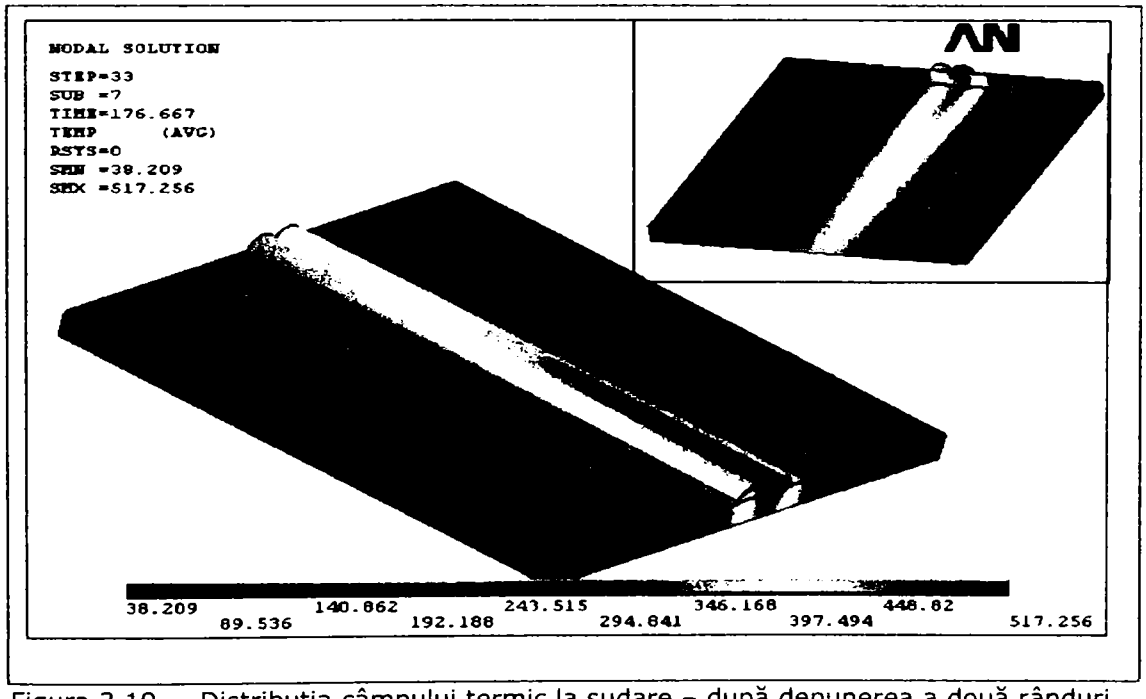


Figura 3.19 – Distribuţia câmpului termic la sudare – după depunerea a două rânduri

BUPT

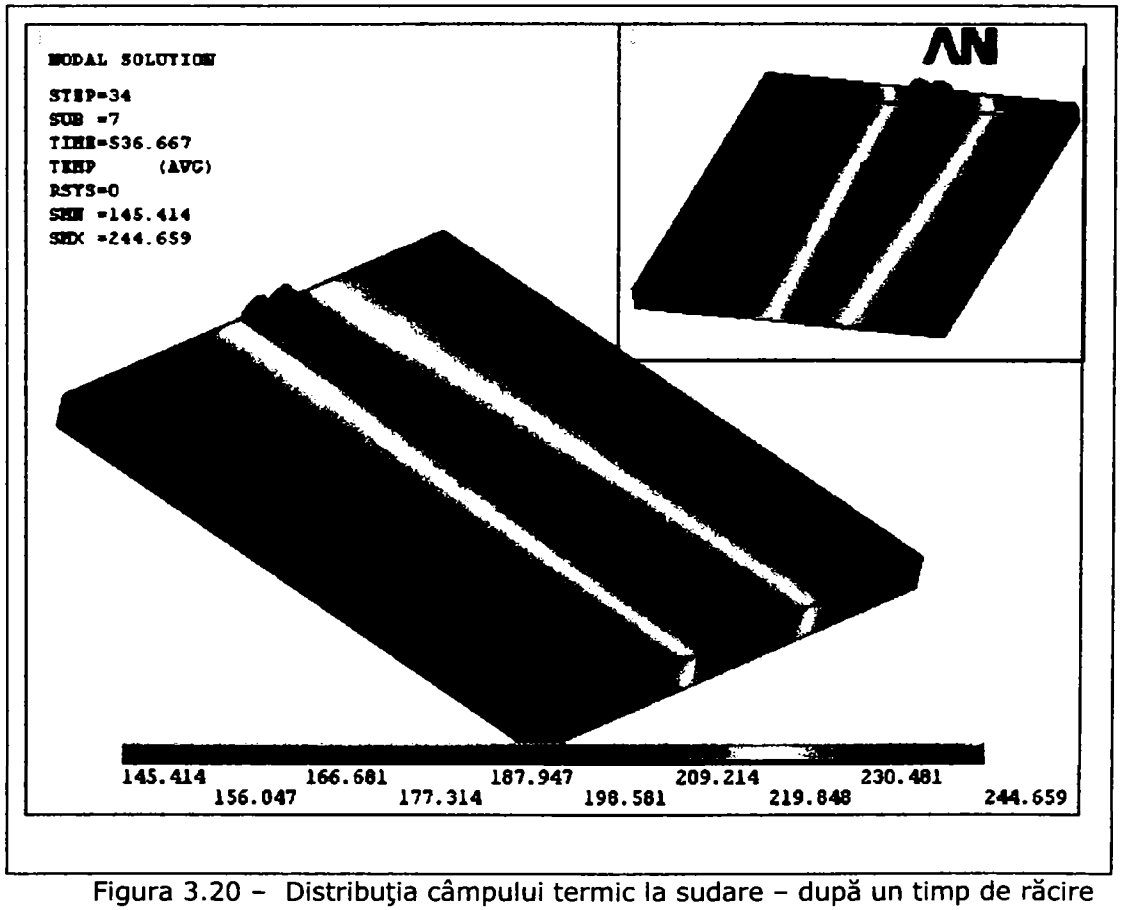


Figura 3.20 – Distribuţia câmpului termic la sudare – după un timp de răcire de 6 min de la depunerea a două rânduri

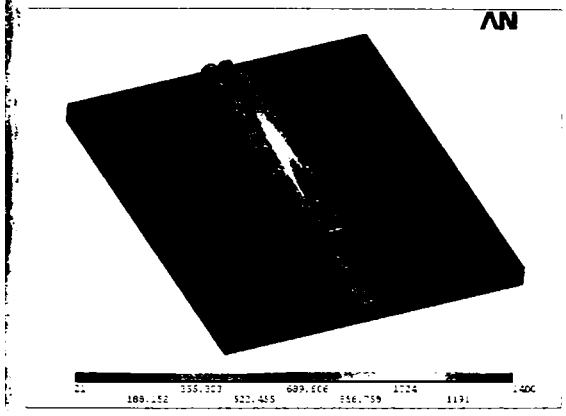
După un timp de răcire de 6 min deşi temperatura MD ajunge la aproximativ 250°C, temperatura MB variază între 150°C – 200°C, după cum se observă din figura 3.20.

În figurile 3.21 şi 3.22 se prezintă o comparaţie între câmpul termic la încărcarea prin sudarea MAG – EB cu vs = 80 cm/min şi încărcarea prin sudare MAG cu sârmă plină de ϕ 1,6 mm.

Figurile 3.23 şi 3.24 prezintă curbele de variaţie ale temperaturilor într-un punct P1 şi P2 aflat pe suprafaţa inferioara a MB la începutul randului (P1) şi la mijlocul rândului depus (P2). Se observă din variaţia curbelor din figurile 3.23 şi 3.24 că valorile temperaturilor la sudarea MAG-EB sunt superioare valorilor de la sudarea MAG cu sârmă plină cu ϕ 1,6 mm.

În tabelele E.1 şi E.2 din anexa E se regăsesc valorile temperaturilor pe baza cărora au fost construite graficele 3.23 şi 3.24 ale punctelor P1 şi P2. În tabelele anterior menţionate se găsesc de asemenea valori ale temperaturilor punctului P3 situat la capătul rândului depus.

BUPT



gura 3.21 – Distribuţia temperaturii la sudarea MAG – EB cu v_s = 80 cm/min

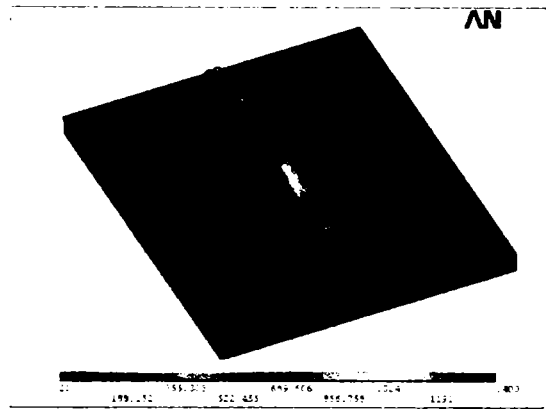


Figura 3.22 – Distribuţia temperaturii la sudarea MAG cu electrod sârmă plină cu ϕ1,6 mm

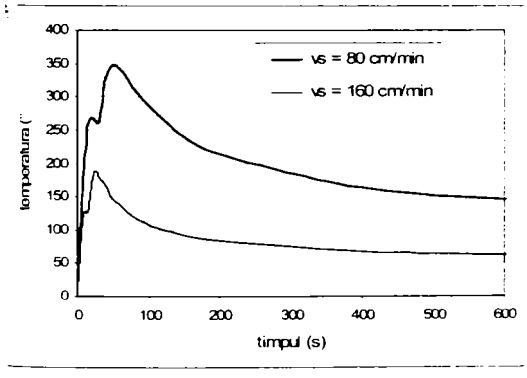


Figura 3.23 – Curbele de variaţie ale temperaturilor într-un punct P1 la începutul sudurii

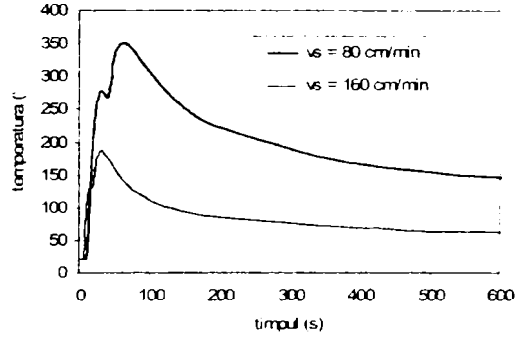


Figura 3.24 – Curbele de variaţie ale temperaturilor într-un punct P2 la mijlocul cordonului de sudură

Estimările anterioare potrivit cărora această variantă tehnologică de sudare dezvoltă o cantitate mare de căldură la nivelul MB şi a MD faţă de sudarea MAG cu electrod sârmă plină de ϕ 1,6 mm, au fost confirmate prin realizarea simulărilor ciclurilor termice la sudare.

În concluzie, prin simularea ciclului termic la sudare, s-a putut evidenţia necesitatea optimizării procesului de sudare MAG-EB astfel încât să se reducă semnificativ cantitatea de căldura introdusă la nivelul MD şi MB.

BUPT

Cap. 4 Optimizarea procesului de încărcare prin sudare MAG-EB

4.1 Noţiuni despre optimizare

Conform Dicţionarului explicativ al limbii române noţiunea de a optimiza se defineşte prin: a face ca randamenul unei maşini, al unui sistem tehnic să fie optim, adică să corespundă unor exigenţe sporite.

În general, un sistem reprezintă un ansamblu de componente interconectate şi destinate realizării unui scop bine definit şi în funcţie de numărul componentelor interconectate, ele pot fi foarte simple sau complicate.

Sistemele tehnice în general au o complexitate mare, pentru studiul lor recomandându-se descompunerea lor în componente simple care sunt guvernate de legi fizice bine definite şi al căror studiu şi cunoaştere duc la posibilitatea optimizării.

Orice sistem tehnic presupune existenţa a două mărimi: o mărime de intrare Xi şi o mărime de ieşire Yj. În figura 4.1 este reprezentat schematic un astfel de sistem, iar mărimea E(ST) reprezintă eficienţa sistemului şi este dată de relaţia (4.1).

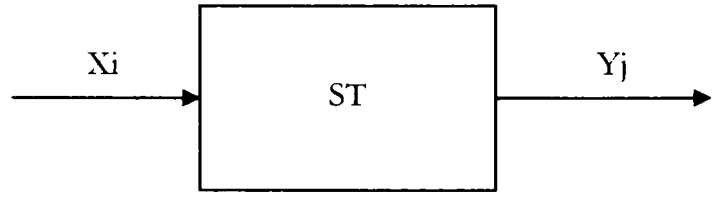


Figura 4.1 – Reprezentarea schematică a unui sistem tehnic (ST)

$$E(ST) = {Yj}/{Xi} \qquad (4.1)$$

unde i = 1, 2, ... , n
j = 1, 2, 3, ... , m

Optimizarea sistemului (ST) – din punct de vedere tehnic – presupune alegerea şi aplicarea soluţiei optime din mai multe posibile.

Din punct de vedere matematic, prin optimizarea unui sistem se înţelege determinarea valorilor maxime sau minime ale funcţiei ce defineşte acel sistem, printr-un raţionament de calcul.

Sistemul (ST) poate fi optimizat în următoarea situaţie:

$$E(ST) = {Yj}/{Xi} \rightarrow \max, \qquad \text{dacă} \qquad \begin{cases} Yj \rightarrow \max, \text{pentru } Xi = const. \\ Xi \rightarrow \min, \text{pentru } Yj = const. \end{cases}$$

BUPT

Optimizarea sistemelor se poate face doar în cazul în care o parte din componentele interconectate sunt variabile, adică există alternative de studiu. În literatura de specialitate se menţionează că în cadrul unui sistem există 3 tipuri de variabile [60]: variabile decizionale; variabile aleatorii şi variabile legate.

Variabilele decizionale aparţin unui domeniu dat şi pot lua orice valori din cadrul domeniului respectiv.

Variabilele legate depind de existenţa celor decizionale şi nu pot fi controlate decât prin intermediul variabilelor decizionale.

Variabilele aleatorii, apar mai rar în cadrul sistemelor tehnice şi modul lor de manifestare nu se poate defini.

Există diferite strategii de optimizare a sistemelor [62]:

- ***Optimizarea indirectă*** se face prin realizarea unui model matematic al sistemului investigat şi găsirea „soluţiei optime"(SO);
- ***Optimizarea secvenţională – directă*** - se face alegând un punct, ales pe baza experinţei investigatorului, studiul comportării sistemului în jurul punctului ales şi alegerea celui mai bun rezultat. Pasul următor se începe din acest nou punct determinat urmând aceeaşi metodologie de aflare a unui nou punct mai aproape de „soluţia optimă"(SO).

Soluţia optimă (SO) se defineşte ca

$$SO = \begin{cases} \max F(Xi) \\ \min F(Xi) \end{cases}$$

unde ***funcţia obiectiv*** - F(Xi) – reprezintă eficienţa sistemului E(ST) (4.1) exprimată printr-o funcţie matematică şi cuprinde toate variabilele sistemului.

Funcţia obiectiv - F(Xi) - mai este cunoscută sub denumirea de funcţie scop şi reprezintă expresia matematică a criteriului sau parametrului de optimizare Yj. Alegerea ei este decisivă pentru rezolvarea oricărei probleme de optimizare.

Determinarea SO implică implementarea sa în practică, astfel încât sistemul să fie optimizat, dar şi urmărirea şi reciclarea sa periodică astfel încât sistemul să se adapteze continuu la schimbările survenite. Obiectivul optimizării poate fi: minimizarea costurilor anumitor produse, maximizarea beneficiului pentru un produs dat, reducerea deformaţiilor, creşterea calităţii unor produse, reducerea timpilor de răspuns, reducerea timpilor de execuţie, etc.

În concluzie a optimiza un sistem – în marea majoritate a cazurilor – înseamnă alegerea celei mai bune soluţii, care să satisfacă cerinţele din exploatare ale sistemului dat având la bază un raţionament bine ales, bazat atât pe studiul sistemului în sine, a componentelor lui cât şi pe experienţa investigatorului.

4.2 Influenţa tipului constructiv al duzei de contact asupra încărcării prin sudare MAG-EB

Modurile de proiectare distincte ale celor 3 duze de contact reprezintă 3 alternative de studiu şi au permis alegerea variantei constructive optime a duzei de contact în funcţie de un număr de variabile anterior stabilite:

- înălţimea canalului dreptunghiular de trecere a sârmei;
- aria suprafeţei uzate de pe suprafaţa componentelor duzei;
- durata de viaţă a duzei de contact exprimată prin numărul de ore de funcţionare.

BUPT

În cadrul subcapitolului de prezentare 2.4 au fost prezentate detaliat, dimensiunile şi variantele constructive ale duzelor de contact utilizate.

Astfel, există trei variante constructive distincte de duze de contact:

- duze care au canale dreptunghiulare practicate pe ambele componente ale duzei (varianta C) şi la care înălţimea canalului dreptunghiular de trecere a sârmei este nemodificabilă – figura 2.22;
- duze la care canalul dreptunghiular este practicat doar pe una dintre componentele duzei (varianta F) şi la care înălţimea canalului dreptunghiular este nemodificabilă – figura 2.23;
- duze de contact tip B la care nu există practicat nici un canalul deptunghiular pe una dintre componentele duzei, el fiind format datorită asamblării dintre lamelele elastice şi piesa cilindrică. La această variantă constructivă înălţimea canalului dreptunghiular poate fi modificată de către utilizatorul sudor.

În figura 4.2, desen A se prezintă elementele componente ale duzei de contact tip B:

- componenta principală 1 având 2 lamelele elastice libere la una dintre extremităţi şi
- componenta cilindrică 2 - lamele elastice se pot apropia funcţie de grosimea sârmei electrod utilizată.

În momentul introducerii componentei 1 în componenta cilindrică 2, distanţa dintre extremităţile libere ale lamelelor elastice devine mai mică. Desenul B al figurii 4.2 prezintă o prima modificare a distanţei dintre cele două lamele cu unghiul α.

Această posibilitate de modificare a distanţei dintre lamele elastice ale componentei 1 a duzei B face posibilă modificarea dimensiunilor canalului dreptunghiular la o înălţime apropiată de grosimea benzii electrod de 0,5 mm.

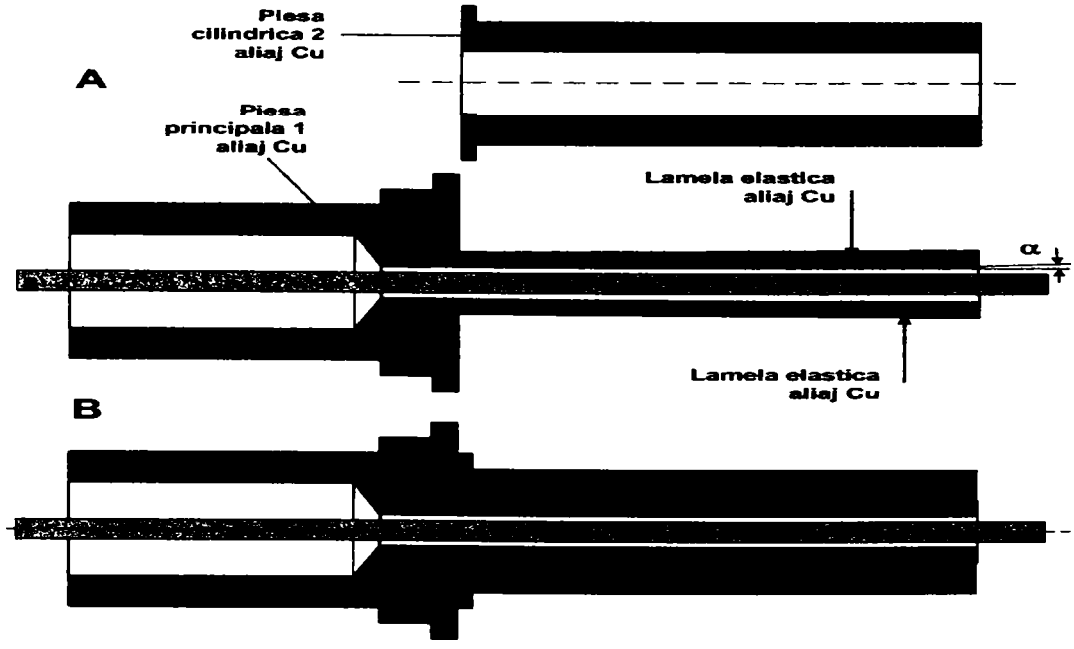


Figura 4.2 – Elementele componente ale duzei de contact tip B (desen A). Ansamblu duză tip B (desen B)

BUPT

S-a constatat însă că înălţimea canalului dreptunghiular poate fi micşorată adiţional prin aplicarea unei forţe de strângere F, asupra celor două lamele elastice.

În figura 4.3 este prezentată fotografia suprafeţei frontale a unei duze de contact tip B a cărei înălţime a canalului dreptunghiular a fost modificată prin aplicarea unei forţe adiţionale F. Se poate observa deplasarea în plan vertical a lamelei superioare.

Dupa cum s-a menţionat în cadrul capitolului 2 - datorită variantei constructive alese - în interiorul canalelor dreptunghiulare nemodificabile ale duzelor tip C şi F s-a constatat o mişcare de rotire a sârmei electrod. Această mişcare duce la contacte aleatoare ale sârmei electrod cu pereţii canalului dreptunghiular al duzei de contact. Figura 4.4 prezintă (din punct de vedere principial) modul de mişcare al sârmei din interiorul canalului dreptunghiular, precum şi punctele de contact dintre sârmă şi suprafaţa canalului dreptunghiular.

Această oscilaţie a sârmei combinată cu valorile ridicate ale vitezelor de avans sârmă utilizate în timpul programului de cercetare $v_e \in (9 - 15)$ m/min a condus la uzura inegală a suprafeţei dreptunghiulare a duzei de contact. Această uzură a avut ca rezultat final instabilitatea arcului, a procesului de sudare şi, desigur, reducerea duratei de viaţă a duzei de contact. Instabilitatea procesului de sudare duce, de asemenea, la apariţia de imperfecţiuni în depuneri.

În figurile 4.5, 4.6 şi 4.7 sunt evidenţiate efectele fenomenului de uzură abrazivă la nivelul duzelor F, C şi B.

Figura 4.5 prezintă fotografia suprafeţei frontale a unei duze de contact tip F având o modificare a formei canalului dreptunghiular.

Figura 4.3 – Modificarea înălţimii canalului dreptunghiular la duza tip B

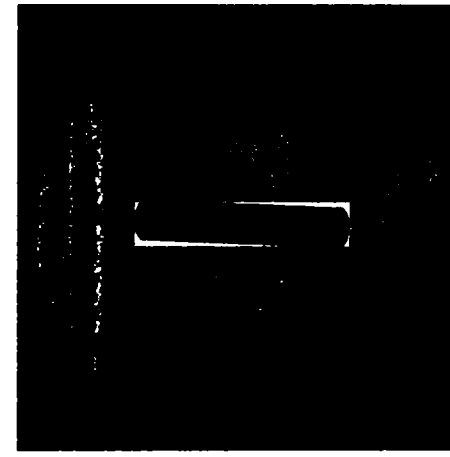


Figura 4.4 – Oscilaţia electrodului în interiorul canalului dreptunghiular al duzei

După realizarea unui "nou" canal, sârma este forţată să se poziţioneze în canalul deformat în funcţie de forma nouă primită de acesta. Astfel, se va modifica poziţia sârmei electrod, ceea ce va avea ca rezultat instabilitatea arcului electric.

BUPT

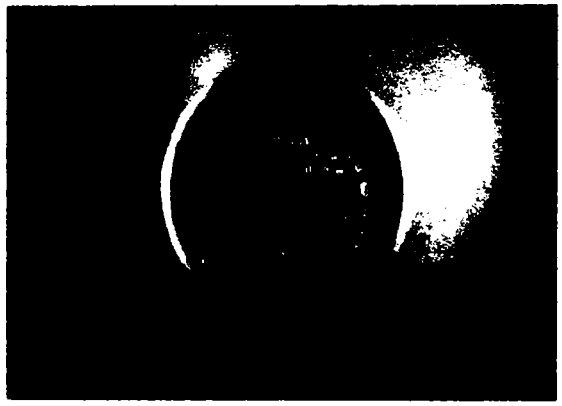


Figura 4.5 – Uzură inegală în plan transversal al canalului dreptunghiular al duzei tip F

Figura 4.6 - Uzură longitudinală inegală a canalului dreptunghiular al duzei C

La nivelul duzei C, se poate remarca din figura 4.6 o uzură longitudinală inegală a canalului dreptunghiular, ea fiind localizată pe întreaga lungime a duzei de contact (suprafaţa deschisa la culoare de pe suprafaţa canalului dreptunghiular - figura 4.6). Asemeni situaţiei anterior prezentate uzura canalului dreptunghiular duce la instabilităţi ale arcului electric şi la topirea duzelor de contact.

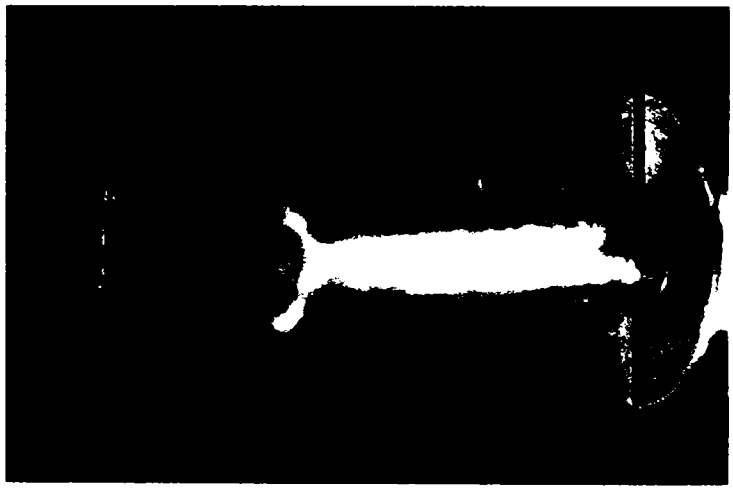


Figura 4.7 – Uzură uniform distribuită pe întreaga suprafaţă a lamelei elastice a duzei tip B

S-a constatat o uzură a canalului dreptunghiular de trecere a sârmei electrod şi în cazul duzelor tip B, însă repartizată uniform pe întreaga suprafaţă a acestuia. În figura 4.7 se prezintă suprafaţa uzată la nivelul duzei tip B şi se observă că uzura este mai redusă şi uniform distribuită pe întreaga lungime a lamelelor elastice. Datorită acestei situatii, arcul electric este în general stabil, iar durata de viaţă a acestor duze de contact mai lungă.

Variabila "durată de viaţă a duzelor de contact" este extrem de importantă de luat în calcul, deoarece preţurile de achiziţie ale acestor duze de contact sunt ridicate.

În tabelul 4.1 sunt prezentate concluziile referitoare la utilizarea celor trei tipuri constructive de duze de contact: F, C şi B la sudarea MAG-EB.

BUPT

Tabel 4.1 – Comparaţie între duzele de contact tip F, C şi B

Tip sursă şi duză / Parametrii	Duză de contact tip F	Duză de contact tip C	Duză de contact tip B
	Sursă tip F	Sursă tip C	Sursă tip F
Înălţimea canalului dreptunghiular [mm]	0,8	0,7	0,55
Aria suprafeţei uzate a canalului de trecere a sârmei A_u [mm^2]	44,1 mm^2 Figura 4.5	46,8 mm^2 Figura 4.6	20,1 mm^2 Figura 4.7
Durata de viaţă a duzei de contact [h]	3	2	4

Din analiza datelor prezentate în tabelul 4.1 rezultă că varianta constructivă a duzei de contact care permite modificarea înălţimii canalului de trecere a sârmei (la o dimensiune cât mai apropiată de grosimea electrodului bandă – 0,5 mm) asigură obţinerea unei durate de viaţă mai lungă a duzei de contact (4 ore) şi a unei arii uzate mai reduse (A_u = 20,1 mm^2).

În concluzie, utilizarea unei duze de contact care permite modificarea înălţimii canalului de trecere al sârmei reprezintă varianta optimă constructivă a capului de sudare MAG-EB prin reducerea ariei uzate a canalului de trecere a sârmei, prin creşterea duratei de viaţă a duzei de contact, prin reducerea costurilor de execuţie (costuri legate de achiziţionarea duzelor, reducerea timpilor de sudare propriu-zişi ca urmare a unei durate mai lungi de viaţă a duzei de contact) precum şi prin reducerea timpilor adiţionali sudării (a timpilor de pregătire ca urmare a întreruperii procesului de sudare în vederea înlocuirii duzelor uzate).

4.3 Influenţa poziţionării pistoletului de sudare asupra procesului de încărcare prin sudare MAG-EB

În cadrul subcapitolului 2.4 s-au prezentat succint variantele de poziţionare a capului de sudare alese în timpul programelor experimentale C sau F.

În cadrul acestui subcapitol se va face o prezentare detaliată a experimentărilor realizate în vederea determinării influenţei poziţionării capului de sudare asupra valorilor diluţiei şi pătrunderii sudurii.

S-a menţionat faptul că la poziţionarea capului de sudare la 90° (în poziţie verticală) s-a obţinut o valoare mare a pătrunderi metalului depus în metalul de bază (aproximatix 2,5 mm), astfel că s-a optat pentru înclinarea capului de sudare la 45° în vederea reducerii valorii pătrunderii la 1,5 – 2 mm.

În cadrul programului experimental F s-au realizat două programe de cercetare referitoare la influenţa poziţionării capului de sudare asupra diluţiei şi pătrunderii:

- Programul experimental SG-NiCr21Mo9Nb – s-a realizat utilizând o sârma tip SG-NiCr21Mo9Nb, un material de bază tip S 235 şi un gaz de protecţie tip M 13 (1) - Ar + 30%He + 0,03%O_2;

BUPT

- Programul experimental SG-NiTi4 – s-a realizat utilizând un electrod bandă tip SG-NiTi4, materialul de bază fiind S 235, iar gazul de protecţie M 11 (1) - Ar + 30%He + 2%H_2 + 0,055%CO_2.

Evidenţierea influenţei poziţionării capului de sudare asupra valorilor diluţiei şi pătrunderii, precum şi determinarea domeniului optim de poziţionare a capului de sudare s-a realizat prin analiza:

- liniarităţii interfeţei metal depus – metal de bază, MD - MB;
- apectului rândului depus evidenţiat prin abundenţa stropirilor;
- valorii diluţiei şi/sau a valorii pătrunderii metalului depus (MD) în metalul de baza (MB).

Program experimental SG-NiCr21Mo9Nb - Utilizând aceeaşi tehnologie de sudare (respectiv parametrii de sudare prezenţi în cadrul tabelului 4.2 sau integral în WPS 9 şi 10 – anexa C), pistoletul de sudare al sursei F a fost poziţionat succesiv la 40°, respectiv la 50° faţă de poziţia orizontală şi împins cu 100° (90° + 10°) sau 110° (90° + 20°) faţă de direcţia de sudare.

Tabel 4.2 – Parametrii de sudare utilizaţi la programul experimental SG-NiCr21Mo9Nb

Tipul sârmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**SG-NiCr21Mo9Nb**
Dimensiunea sârmei	mm		4,0 x 0,5	4,0 x 0,5
Poziţia de sudare / Poziţia de lucru			40°; 50° 100°(împins 10°)	40°; 50° 110° (împins 20°)
Gazul de protecţie			Ar+30%He+0,03%O_2	Ar+30%He+0,03%O_2
Material de bază conform EN 10027-1 / Grosimea MB			S 235JRG2 20 mm	S 235JRG2 20 mm
Parametrii de lucru				
Curentul de sudare	A	I_s	324	324
Tensiunea arcului	V	U	32,18	32,18
Viteza de avans a sârmei electrod	m/min	v_e	10	10
Tipul transferului			Puls	puls
Debitul gazului de protecţie	l/min	Q	20	20
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	80
Energia liniară	J/cm	E	7.820	7.820
Distanţa între rânduri	mm	Rab	4	4
Lungimea liberă a sârmei	mm	L_l	20	20
Temperatura între depuneri	°C		< 120°C	< 120°C
Rata depunerii	kg/h	Ad	10,2	10,2

BUPT

În figura 4.8 se prezintă fotografia probei depuse prin sudare MAG-EB cu electrod SG-NiCr21Mo9Nb utilizând valorile parametrilor din tabelul 4.2.

Figura 4.8 - Probă depusă prin sudare MAG-EB cu electrod SG-NiCr21Mo9Nb, gaz M 13 (1), v_e = 10 m/min şi Rab = 4 mm

Figurile 4.9, 4.10, 4.11 şi 4.12 prezintă fotografiile secţiunilor probei depuse prin sudare MAG-EB cu electrod SG-NiCr21Mo9Nb şi cu poziţionarea capului de sudare la 40° sau 50° faţă de planul orizontal şi 100° sau 110° faţă de direcţia de sudare.

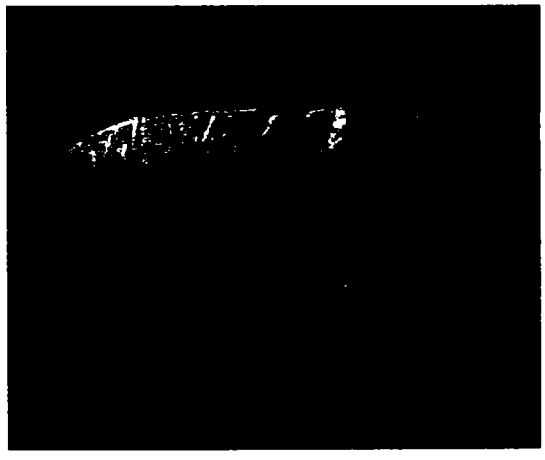


Figura 4.9 – Probă depusă prin sudare MAG-EB cu poziţionarea capului de sudare la 40° faţă de orizontală şi 100° (90°+10°) faţă de direcţia de sudare

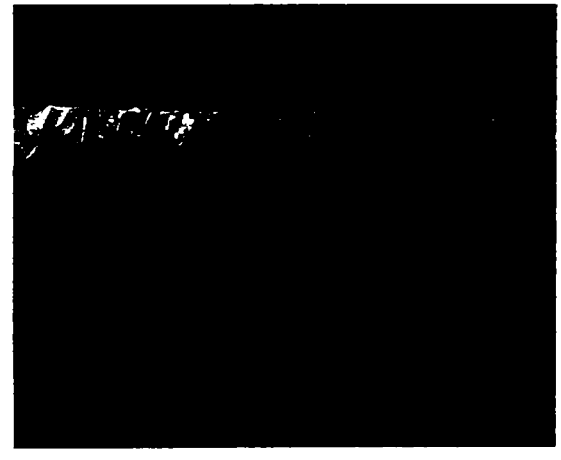


Figura 4.10 - Probă depusă prin sudare MAG-EB cu pozitionarea capului de sudare la 40° faţă de orizontală şi 110° (90°+20°) faţă de direcţia de sudare

BUPT

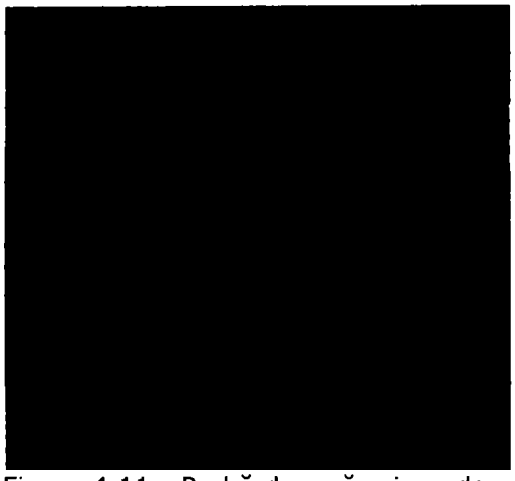


Figura 4.11 - Probă depusă prin sudare MAG-EB cu poziţionarea capului de sudare la 50° faţă de orizontală şi 100° (90°+10°) faţă de direcţia de sudare

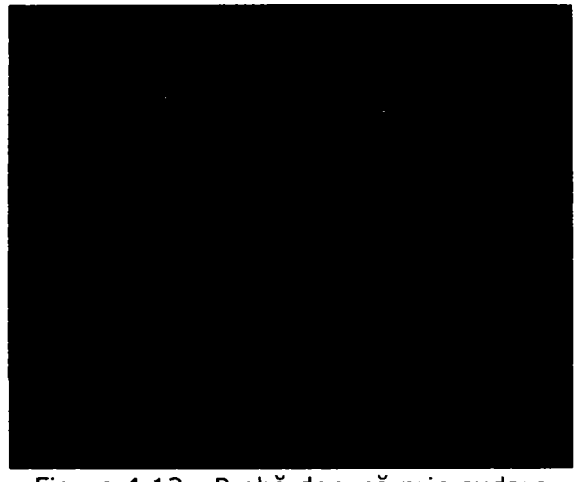


Figura 4.12 - Probă depusă prin sudare MAG-EB cu poziţionarea capului de sudare la 50° faţă de orizontală şi 110° (90°+20°) faţă de direcţia de sudare

În tabelul 4.3 se prezină valorile pătrunderii obţinute pentru proba depusă prin sudare MAG-EB cu electrod SG-NiCr21Mo9Nb prin poziţionarea capului de sudare la 40° sau 50° faţă de planul orizontal şi 100° sau 110° faţă de direcţia de sudare.

Tabel 4.3 - Valorile pătrunderii funcţie de poziţionarea capului de sudare

Parametri	Program experimental MAG-EB cu electrod SG-NiCr21Mo9Nb, gaz M 13 (1), v_e = 10 m/min şi Rab = 4 mm			
	40°; 100°	40°; 110°	50°; 100°	50°; 110°
	Figura 4.9	Figura 4.10	Figura 4.11	Figura 4.12
Număr WPS	WPS 9	WPS 10	WPS 9	WPS 10
Pătrunderea MD în MB	$\in$ (0,5 – 1) mm	< 0,5 mm	$\in$ (1 – 1,7) mm	< 0,5 mm

Programul experimental SG-NiTi4 a pornit de la distanţa între depuneri şi valorile unghiulare optime stabilite în timpul programului experimental SG-NiCr21Mo9Nb (40° faţă de planul orizontal şi 20° faţă de direcţia de sudare) şi a urmărit delimitarea inferioară a domeniului de valori pentru poziţionarea capului de sudare faţă de direcţia orizontală.

Utilizând aceleaşi valori ale parametrilor de sudare prezentate în WPS 17 şi 19 – anexa C şi un gaz tip M 11 (1), s-au realizat depuneri folosind sârma SG-NiTi4 în următoarele poziţii:

- 35° faţă de orizontală şi 110° împins faţă de direcţia de sudare – figura 4.13 [101];
- 50° faţă de orizontală şi 110° împins faţă de direcţia de sudare – figura 4.14 [101].

BUPT

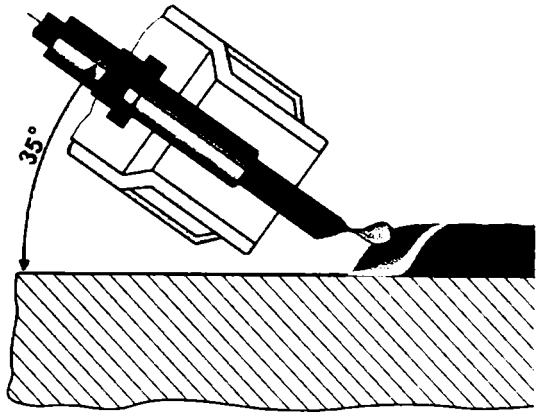


Figura 4.13 – Poziţionarea capului de sudare la 35°; 110°

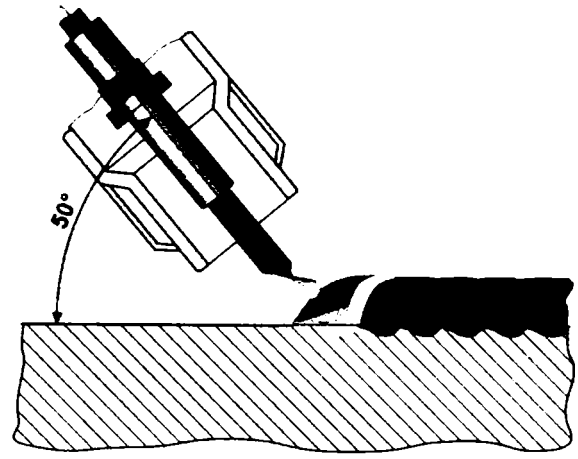


Figura 4.14 – Poziţionarea capului de sudare la 50°; 110°

Aşa cum se observă din cele două figuri, creşterea unghiului de poziţionare a capului de sudare de la 35° la 50°, duce la o creştere a pătrunderii MD în MB – figura 4.14.

În figurile 4.15 şi 4.16, respectiv tabelul 4.4 sunt prezentate înregistrările rezultatelor obţinute în timpul programului SG-NiTi4.

Figura 4.15 – Probă sudată MAG-EB cu poziţionarea capului de sudare la 35°

Figura 4.16 - Probă sudată MAG-EB cu poziţionarea capului de sudare la 50°

Tabel 4.4 – Valorile pătrunderii şi diluţiei funcţie de poziţionarea capului de sudare

Parametri	Programul de cercetare SG-NiTi4	
	35°; 110°	50°; 110°
	Figura 4.15	Figura 4.16
Diluţia p_{MB} %	1,07	$\in$ (5 – 8)
Pătrunderea MD în MB	$\approx$ 0,5 mm	$\in$ (1 – 1,5) mm

BUPT

După cum se poate constata din figurile 4.15 şi 4.16, respectiv din tabelul 4.4 pentru aceeaşi tehnologie de sudare, valoarea pătrunderii şi diluţia este semnificativ influenţată de modificarea poziţionării capului de sudare în raport cu planul orizontal.

În timpul programului experimental SG-NiTi4 s-a încercat poziţionarea capului de sudare la 30° faţă de orizontală, respectiv 110° (90°+20°) faţă de direcţia de sudare (vezi figura 4.17 [101]) însă problemele legate de abundenţa stropirilor (figura 4.18), au demonstrat că poziţionarea la 30°; 110° (90°+20°) nu reprezintă o soluţie corespunzătoare.

În urma experimentărilor efectuate s-a putut evidenţia influenţa poziţionării capului de sudare asupra valorilor diluţiei şi pătrunderii şi s-a efectuat delimitarea unui domeniu de valori unghiulare optime pentru care se asigură o stabilitate a arcului şi o valoare minimă a diluţiei $p_{MB} \in (1 - 5\%)$ la:

- $\alpha \in [35° - 40°]$ - poziţionarea pistoletului faţă de poziţia orizontală,
- $\beta = 110°$ (90°+20°) împins - poziţionarea pistoletului faţă de direcţia de sudare.

La o valoare mai redusă decât 35° a unghiului de poziţionare a pistoletului în raport cu planul orizontal (ex: α = 30°), stropirile din baie sunt foarte puternice şi suprafaţa depunerilor este inestetică datorită stropirilor din baia metalică.

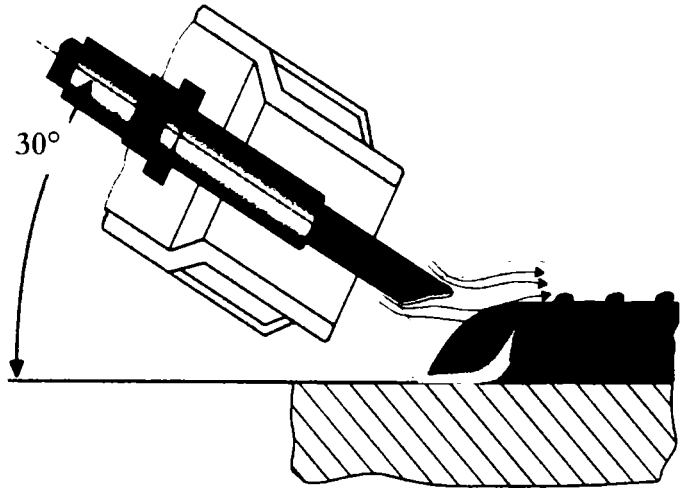


Figura 4.17 – Poziţionarea capului de sudare la 30° faţă de poziţia orizontală

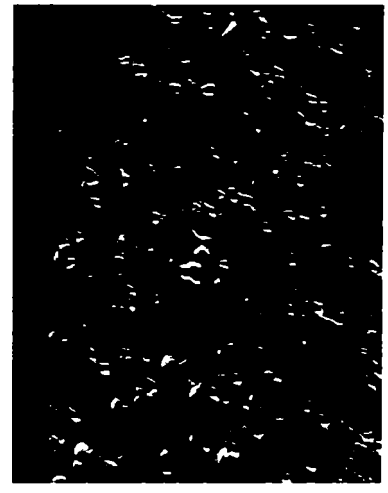


Figura 4.18 – Suprafaţa inestetică a depunerilor în cazul poziţionarii capului de sudare la 30°

Aşa cum se observă din figura 4.17, în cazul poziţionării capului de sudare la 30° faţă de planul orizontal, au loc stropiri puternice din baia metalică pe suprafaţa rândului anterior depus, suprafaţa depunerilor având un aspect inestetic – figura 4.18.

La o valoare mai mare decât 40° a unghiului de poziţionare a pistoletului în raport cu poziţia orizontală (ex: α = 50°) se obţin valori mari ale pătrunderii şi diluţiei.

BUPT

4.4 Influenţa distanţei dintre rândurile depuse asupra pătrunderii şi diluţiei

Distanţa între rânduri – notată cu Rab – reprezintă distanţa cu care se deplasează capul de sudare în direcţie transversală faţă de direcţia de sudare la depunerea unui nou rând.

În vederea evidenţierii influenţei parametrului "distanţă între rânduri" asupra valorilor pătrunderii şi diluţiei s-au realizat două programe experimentale folosind sârma electrod SG-NiCr21Mo9Nb, sursa de sudare F şi viteza de avans sârmă v_e = 10 m/min:

- Programul experimental M 11 (1) – s-au realizat depuneri prin sudare la distanţa între rânduri Rab = 3 şi 3,5 mm;
- Programul experimental M 13 (1) – s-au realizat depuneri prin sudare la distanţa între randuri Rab = 4; 4,5 sau 5 mm şi utilizând o energie liniară mai mare decât în primul caz.

Parametrii de sudare pentru cele două programe de cercetare Rab sunt prezentaţi în tabelul 4.5 sau integral în WPS 5 şi WPS 6 – anexa C.

Tabel 4.5 – Parametrii de sudare utilizaţi la programele experimentale M 11 (1) şi M 13 (1)

Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**SG-NiCr21Mo9Nb**
Dimensiunea sârmei	mm		4,0 x 0,5	4,0 x 0,5
Poziţia de sudare / Poziţia de lucru			40° 100° (împins 10°)	40° 100° (împins 10°)
Gazul de protecţie			Ar+30%He+ 2%H_2+ 0,055%CO_2	Ar+30%He+0,03%O_2
Material de bază conform EN 10027-1 / Grosimea MB			S 235JRG2 20 mm	S 235JRG2 20 mm
Parametrii de lucru				
Curentul de sudare	A	I_s	343	320
Tensiunea arcului	V	U	36	33,78
Viteza de avans a sârmei electrod	m/min	v_e	10	10
Tipul transferului			puls	puls
Debitul gazului de protecţie	l/min	Q	20	20
Viteza de sudare	cm/min	v_s	120	80
Energia liniară	J/cm	E	6.174	8.107,20
Distanţa între rânduri	mm	Rab	3; 3,5	4; 4,5; 5
Lungimea liberă a sârmei	mm	L_l	20	20
Temperatura între depuneri	°C		< 120°C	< 120°C
Rata depunerii	kg/h	Ad	10,2	10,2
Diluţia	%	p_{MB}	14,36; 14,56	4,32; 10,66; 14,92

BUPT

Variabilele urmărite în timpul programelor experimentale M 11 (1) şi M 13 (1) au fost următoarele:

- liniaritatea interfeţei metal depus MD, metal de bază – MB;
- valoarea pătrunderii metalului depus în metalul de bază;
- valoarea diluţiei p_{MB} [%] pentru diferite distanţe între rânduri - Rab;
- posibile imperfecţiuni din stratul depus.

În figurile 4.19, respectiv 4.20 sunt prezentate fotografiile probelor obţinute în timpul celor două programe experimentale desfăşurate, iar în tabelul 4.6 sunt indicate valorile pătrunderii şi diluţiei obţinute.

Se poate observa din ambele figuri starea diferită a interfeţei metal depus – metal de bază în cazul în care distanţa între rânduri Rab variază cu 0,5 mm. Din figura 4.20 rezultă că la o diferenţă de 1 mm Rab, interfaţa MD – MB trece de la o formă liniară (la Rab = 4 mm) la o formă sinuoasă (în cazul Rab = 5 mm).

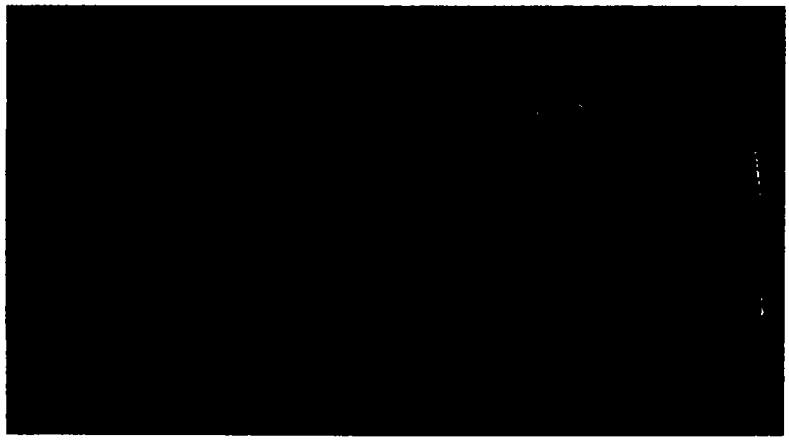


Figura 4.19 – Probă depusă prin sudare MAG-EB cu:
- Electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb
- Gaz de protecţie tip M 11 (1)
- v_e = 10 m/min;
- Rab = 3 şi 3,5 mm

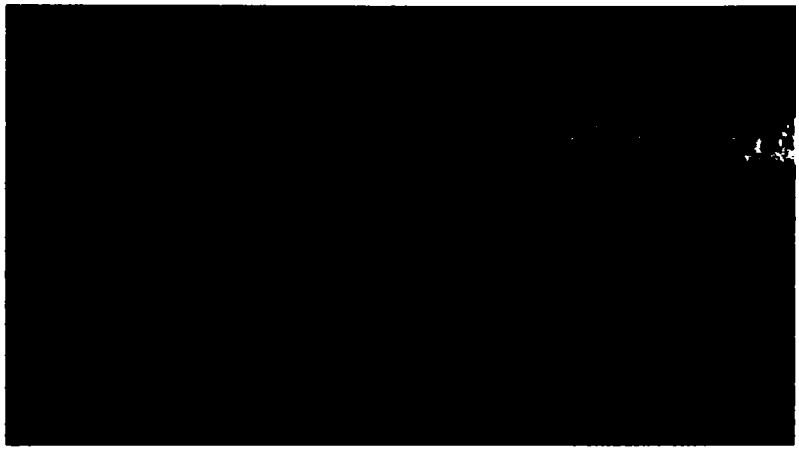


Figura 4.20 – Probă depusă prin sudare MAG – EB cu:
- electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb
- gaz de protecţie tip M 13 (1)
- v_e = 10 m/min
- Rab = 4; 4,5 sau 5 mm

BUPT

Tabel 4.6 – Valorile pătrunderii şi diluţiei funcţie de parametrul "Rab - distanţă între rânduri"

Parametrii	Program experimental M 11 (1) Figura 4.19		Program experimental M 13 (1) Figura 4.20		
Distanţa între depuneri	3 mm	3,5 mm	4 mm	4,5 mm	5 mm
Număr WPS	WPS 5	WPS 5	WPS 6	WPS 6	WPS 6
Pătrunderea MD în MB	$\in$ (1 - 1,3) mm	$\in$ (1 - 1,5) mm	< 0,5 mm	$\approx$ 1 mm	$\in$ (1 – 1,5) mm
Diluţia p_{MB} [%]	14,36	14,56	4,32	10,66	14,92
Defecte în depunere	Fisurare la cald în depunere	Fisurare la cald în depunere	Fără defecte	Nu s-au constat defecte	Fisurare la cald la suprafaţă depunerii

S-a constat în urma analizei microscopice apariţia unor fisuri la cald la nivelul depunerilor sau la suprafaţa acestora în cazul unei distanţe prea mici între rânduri. Apariţia acestor fisuri se poate explica prin efectul energiei calorice mari dezvoltate la nivelul depunerilor, precum şi al tensiunilor interne.

Valorile diluţiilor prezentate în cadrul tabelului 4.6 pentru ambele programe de cercetare, evidenţiază faptul că creşterea valorii parametrului Rab "distanţă între rândurile depuse" duce la creşterea diluţiei, a valorii pătrunderii şi la apariţia de defecte în depunere. Deci, distanţa dintre rânduri Rab reprezintă un parametru necesar a se lua în calcul în cazul elaborării unei tehnologii de încărcare prin sudare. Se poate concluziona, de asemenea, că valoarea parametrului Rab depinde de gazul de protecţie ales şi implicit de valorile parametrilor de sudare.

Pentru obţinerea unei diluţii sub p_{MB} < 5% şi a unor depuneri fară defecte se recomandă alegerea unei distanţe dintre rânduri de 4 mm (Rab depinzând însă de parametrii de sudare aleşi).

4.5 Influenţa poziţionării electrodului plat în raport cu direcţia de sudare asupra procesului de încărcare prin sudare MAG-EB

Poziţionarea electrodului plat faţă de direcţia de sudare se poate realiza în două moduri: longitudinal sau transversal, în funcţie de orientarea electrodului faţă de direcţia de sudare (paralel cu direcţia de sudare, respectiv perpendicular pe aceasta).

Evidenţierea influenţei poziţionării electrodului plat în raport cu direcţia de sudare asupra pătrunderii şi diluţiei la sudarea MAG-EB s-a realizat prin intermediul a două programe de cercetare, în cadrul cărora electrodul plat a fost poziţionat succesiv în poziţie longitudinală cât şi transversală:

- Programul de cercetare X 12CrNi 25 20 – realizat cu un electrod tip X 12 Cr Ni 25 20, un gaz de protecţie tip M 12, o viteză de avans a sârmei v_e = 15 m/min şi o distanţă între rânduri Rab = 5 mm;
- Programul de cercetare SG-NiTi4 – realizat cu un electrod tip SG-NiTi4, un gaz de protecţie tip M 13 (1), o viteză de avans a sârmei v_e = 10 m/min şi o distanţă între rânduri Rab = 4 mm.

BUPT

Între cele două programe de cercetare X 12CrNi 25 20 şi respectiv SG-NiTi4, au existat diferenţe în ceea ce priveşte tipul sârmei, gazul de protecţie, viteza de avans a sârmei, cât şi variaţia distanţei între rânduri.

Parametrii urmăriţi în timpul programelor de cercetare referitoare la poziţionarea longitudinală sau transversală a electrodului plat au fost:

- Valoarea pătrunderii metalului depus în metalul de bază;
- Dimensiunile băii metalice;
- Valoarea diluţiei p_{MB} [%].

Programul de cercetare X 12CrNi 25 20 - s-a realizat cu valorile parametrilor de sudare prezentaţi în tabelul 4.7, respectiv cu forma pulsului din WPS 14 şi 15 – anexa C, modificându-se doar poziţia electrodului plat. Distanţa dintre rânduri a fost Rab=5mm.

Programul de cercetare SG-NiTi4 - a utilizat un electrod diferit de programul X 12CrNi 25 20, adică un electrod înalt aliat pe baza de Ni (aproximativ 96%Ni), un gaz de protecţie tip M 13 (1) şi o viteză de avans a sârmei mai redusă v_e = 10 m/min faţă de v_e= 15 m/min în primul caz. Valorile parametrilor de sudare utilizaţi în cadrul programului SG-NiTi4 sunt prezentate în tabelul 4.7, respectiv în cadrul WPS 18 şi 20 – anexa C. Procedura de realizare a programului SG-NiTi4 a fost similară procedurii descrise în cadrul programului anterior prezentat - X 12CrNi 25 20 .

Tabel 4.7 – Parametrii de sudare utilizaţi la programele experimentale X 12CrNi 25 20 şi SG-NiTi4

Tipul sârmei plate electrod			**X 12CrNi 25 20**		**SG-NiTi**	
Dimensiunea sârmei	mm		4,0 x 0,5		4,0 x 0,5	
Poziţia de sudare / Poziţia de lucru			40° 110°(împins 20°)		35° 110° (împins 20°)	
Gazul de protecţie			Ar+2,5%CO_2		Ar+30%He+0,03%O_2	
Material de bază conform EN 10027-1 / Grosimea MB			S 235J2G3 20 mm		S 235JRG2 20 mm	
Poziţionarea electrodului plat în raport cu direcţia de sudare			transversal	longitudinal	transversal	longitudinal
Parametrii de lucru						
Curentul de sudare	A	I_s	511	511	526	526
Tensiunea arcului	V	U	31	31	31,6	31,6
Viteza de avans a sârmei electrod	m/min	v_e	15	15	10	10
Tipul transferului			puls	puls	puls	puls
Debitul gazului de protecţie	l/min	Q	18	18	18	18
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	85	85	85
Energia liniară	J/cm	E	11.181,88	11.181,88	11.732,89	11.732,89
Distanţa între rânduri	mm	Rab	5	5	4	4
Lungimea liberă a sârmei	mm	L_l	20	20	20	20
Temperatura între depuneri	°C		< 120°C	< 120°C	< 120°C	< 120°C
Rata depunerii	kg/h	Ad	14,22	14,22	10,68	10,68
Diluţia	%	p_{MB}	8,48	8,84	0,45	≅10

BUPT

Fotografiile rezultatelor depunerilor realizate în cele două programe experimentale sunt prezentate în figurile 4.21 şi 4.22, respectiv în figurile 4.23 şi 4.24.

Figura 4.21 – Probă depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip X 12CrNi 25 20, electrodul plat fiind poziţionat transversal în raport cu direcţia de sudare

Figura 4.22 - Probă depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip X 12CrNi 25 20, electrodul plat fiind poziţionat longitudinal în raport cu direcţia de sudare

Figura 4.23 - Probă depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip SG-NiTi4, electrodul plat fiind poziţionat transversal în raport cu direcţia de sudare

Figura 4.24 - Probă depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip SG-NiTi4, electrodul plat fiind poziţionat longitudinal în raport cu direcţia de sudare

Tabelul 4.8 prezintă valorile diluţiei şi pătrunderii rezultate în timpul celor două programe experimentale realizate.

Tabel 4.8 - Valorile pătrunderii şi diluţiei funcţie de poziţionarea longitudinală sau transversală a electrodului în raport cu direcţia de sudare

Programul de cercetare	X 12CrNi 25 20		SG-NiTi4	
Poziţionarea electrodului în raport cu direcţia de sudare	transversal	longitudinal	transversal	longitudinal
	Figura 4.21	Figura 4.22	Figura 4.23	Figura 4.24
Număr WPS - anexa C	WPS 14	WPS 15	WPS 18	WPS 20
Pătrundere MD în MB	< 1 mm	> 1 mm	< 0,3 mm	> 1 mm
Lăţimea BM	17 mm	16 mm	19,5 mm	19,3 mm
Diluţia p_{MB} [%]	8,48	8,84	0,45	≅10

După cum se poate vedea din comparaţia figurilor 4.21 şi 4.22, în cazul poziţionării electrodului transversal (figura 4.21), baia metalică este mai lată şi

BUPT

valoarea pătrunderii mai redusă decât în cazul poziţionării electrodului longitudinal- figura 4.22.

S-a constatat practic că la depunerea unui număr de 8 rânduri succesive în timpul programului experimental X 12CrNi 25 20, cu electrodul plat poziţionat transversal faţă de direcţia de sudare (figura 4.21) se înregistrează o diferenţă adiţională de aproximativ 2 mm faţă de lăţimea suprafeţei depuse în cazul depunerii aceluiaşi număr de rânduri cu electrodul poziţionat longitudinal faţă de direcţia de sudare (figura 4.22).

În cazul poziţionării electrodului 12CrNi 25 20 în poziţie longitudinală – figura 4.22 – s-a constatat o pătrundere mai ridicată şi o formă a depunerii mai convexă decât în cazul poziţionării electrodului transversal (figura 4.21). Această concluzie este valabilă indiferent de tipul sârmei sau parametrii de sudare.

Poziţionarea transversală a electrodului plat în timpul sudării MAG-EB este recomandată pentru încărcarea prin sudare, iar poziţionarea longitudinală pentru sudarea de îmbinare.

În cazul unei poziţionări înclinate a electrodului la 45° faţă de direcţia de sudare se obţin valori intermediare între valorile corespunzătoare pentru o poziţionare longitudinală sau transversală.

În concluzie, la încărcarea prin sudare MAG - EB se recomandă poziţionarea transversală a electrodului în raport cu direcţia de sudare. În această situaţie se asigură o diluţie mai mică şi, fiind necesare un număr mai mic de rânduri depuse, o reducere a timpului de lucru faţă de situaţia în care electrodul este poziţionat la 45° sau longitudinal faţă de direcţia de sudare.

4.6 Influenţa modului de transfer al picăturii la încărcarea prin sudare MAG-EB asupra pătrunderii şi diluţiei

Modul de transfer al picăturii are o importanţă deosebită pentru procesul de sudare deoarece influenţează decisiv caracteristicile geometrice ale depunerilor. Din acest motiv, s-a acordat o atenţie deosebită transferului metalului prin spaţiul arcului.

Modul de transfer al picăturii prin spaţiul arcului este influenţat de valoarea densităţii de curent $j_.$ [A/mm^2], de timpul de formare al picăturii şi de efectul forţelor care acţionează asupra picăturii în favoarea desprinderii. Datorită formei dreptunghiulare a electrodului, modul de transfer al picăturii este influenţat adiţional de locul de formare al picăturii (poziţia ei în lungul benzii electrod).

Transferul simetric al picăturii reprezintă situaţia în care picătura se realizează la mijlocul lăţimii benzii electrodului plat, în timp ce transferul asimetric reprezintă situaţia în care formarea picăturii se realizează la una din extremităţile lăţimii benzii electrodului.

Influenţa modului de transfer al picăturii asupra valorilor pătrunderii şi diluţiei la încărcarea prin sudare MAG s-a pus în evidenţă prin intermediul programului experimental "SG-NiTi4 – transfer de material" la care variabilele de studiu au fost pătrunderea sudurii şi diluţia.

Utilizând o sârmă SG-NiTi4 poziţionată transversal faţă de direcţia de sudare şi un gaz de protecţie tip M 11 (1) s-au realizat depuneri utilizând parametrii de sudare din tabelul 4.9 sau integral în WPS 17 – anexa C. În timpul acestui program de cercetare poziţionarea picăturii s-a realizat asimetric ascendent – vezi figura 4.25. Fotografia probei depuse prin sudare MAG-EB se regăseşte în figura 4.26.

Menţinând acelaşi tip de sârmă SG-NiTi4 şi acelaşi tip de gaz de protecţie, însă reducând valoarea frecvenţei pulsurilor (sau a curentului de sudare) s-a constatat deplasarea picăturii înspre axa de simetrie a electrodului (figura 4.27).

BUPT

În figura 4.28 este prezentată fotografia depunerii obţinute şi se poate constata creşterea semnificativă a valorii pătrunderii şi reducerea lăţimii depunerii.

În tabelul 4.10 sunt prezentate valorile diluţiei şi pătrunderii obţinute în timpul programului experimental "SG-NiTi4 – transfer de material".

Tabel 4.9 – Parametrii de sudare utilizaţi la programul experimental "SG-NiTi4 – transfer de material"

Tipul sârmei plate electrod			SG-NiTi4
Dimensiunea sârmei	mm		4,0 x 0,5
Poziţia de sudare / Poziţia de lucru			35° 110°(împins 20°)
Gazul de protecţie			Ar+30%He+ 2%H_2+ 0,055%CO_2
Material de bază conform EN 10027-1 / Grosimea MB			S 235JRG2 20 mm
Parametrii de lucru			
Curentul de sudare	A	I_s	494
Tensiunea arcului	V	U	36,5
Viteza de avans a sârmei electrod	m/min	v_e	10
Tipul transferului			Pulsat
Debitul gazului de protecţie	l/min	Q	18
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85
Energia liniară	J/cm	E	12.727,76
Distanţa între rânduri	mm	Rab	4
Lungimea liberă a sârmei	mm	L_l	20
Temperatura între depuneri	°C		< 120°C
Rata depunerii	kg/h	Ad	10,68
Diluţia	%	p_{MB}	1,07

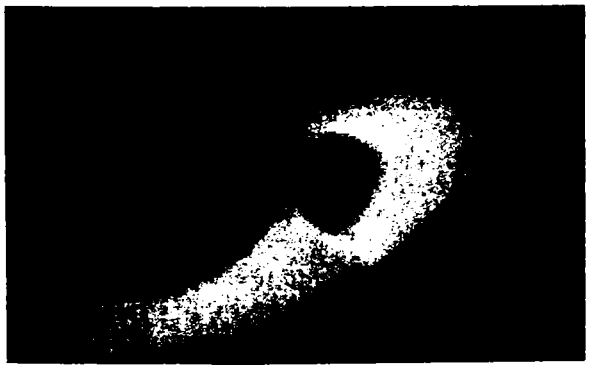


Figura 4.25 - Transfer asimetric al picăturii

Figura 4.26 - Probă depusă prin încărcare MAG-EB cu electrod tip SG-NiTi4

BUPT

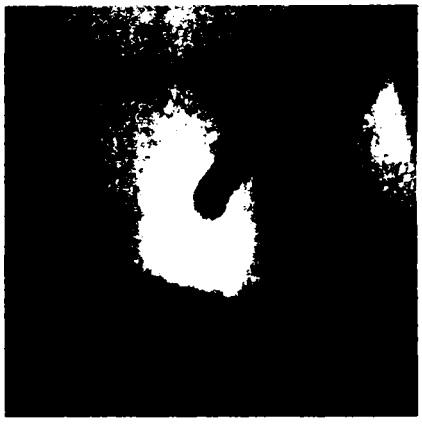


Figura 4.27 – Transfer simetric al picăturii

Figura 4.28 – Probă depusă prin sudare prin încărcare MAG-EB cu electrod tip SG-NiTi4 prin transfer simetric al picăturii

Tabel 4.10 - Valorile diluţiei şi pătrunderii obţinute funcţie de locul de formare a picăturii

Program experimental "SG-NiTi4 – transfer de material"	Picătură asimetrică	Picătură simetrică
	Figura 4.25	Figura 4.27
Pătrunderea MD în MB	< 0,5 mm	(1,5 – 1,9) mm
Diluţia p_{MB} [%]	1,07	≅10

S-a constatat că prin creşterea valorii curentului de sudare Is (sau/şi a frecvenţei pulsurilor) se produce o deplasare a picăturii înspre partea superioară a lăţimii electrodului bandă. Se estimează că această deplasare ascendentă a picăturii de-a lungul benzii se datorează în principal efectului forţei vaporilor de metal formaţi.

Din tabelul 4.10 rezultă că pătrunderea MD în MB, respectiv valoarea diluţiei este mai mare în cazul formării picăturii simetric, decât în cazul formării picăturii asimetric în raport cu propria axă de simetrie a electrodului bandă. Lăţimea băii metalice – BM în cazul formării picăturii asimetric este mai mare decât în cazul formării picăturii simetric la mijlocul electrodului bandă.

Formarea picăturii simetric este indicată pentru sudurile de îmbinare, iar formarea picăturii asimetric asccendent este recomandată pentru încărcarea prin sudare MAG-EB.

În concluzie, în cazul sudării MAG-EB nu se constată o pendulare a arcului electric de-a lungul benzii electrod, fenomen tipic în cazul sudării sub strat de flux cu electrod bandă. Formarea picăturii la mijlocul benzii electrod are ca şi consecinţă o adâncime mare de pătrundere. La încărcarea prin sudare MAG-EB formarea picături ascendent asimetric conduce la reducerea pătrunderii şi a diluţiei. În acest caz picătura "zboară" lateral peste rândul anterior depus, iar participarea materialului de adaos la formarea depunerii este redusă obţinându-se o depunere cu bune caracteristici de rezistenţă la coroziune, precum şi o economie de material de adaos.

BUPT

4.7 Influenţa calităţii sârmei plate asupra stabilităţii sudării MAG-EB

Calitatea electrodului bandă influenţează stabilitatea arcului, uzura duzelor de contact şi a pieselor de ghidare a sârmei, respectiv posibilitatea de apariţie a imperfecţiunilor în depunere.

După cum s-a menţionat în cadrul subcapitolului 2.4 în timpul programului experimental F, s-a constatat apariţia unei uzuri abrazive în fază incipientă la nivelul pieselor de ghidare ale dispozitivului de avans al sârmei DAS, datorată vitezelor mari de avans sârma şi coroborate cu calitatea redusă de fabricaţie a suprafeţei laterale a sârmei electrod plate. Apariţia uzurii la nivelul pieselor de ghidare s-a constatat după o perioadă de aproximativ 250 ore de funcţionare de la punerea în funcţie a echipamentului.

În figura 4.29 sunt prezentate fotografii ale efectului de interacţiune dintre o sârmă electrod cu suprafaţa laterală ne-netedă şi piesele de ghidare ale sârmei DAS-ului. În figura 2.29 s-a prezentat imaginea fenomenului de uzură la nivelul piesei de ghidare a sârmei.

Efectele uzurii abrazive dintre piesele de ghidare a sârmei şi sârma electrod au fost urmatoarele:

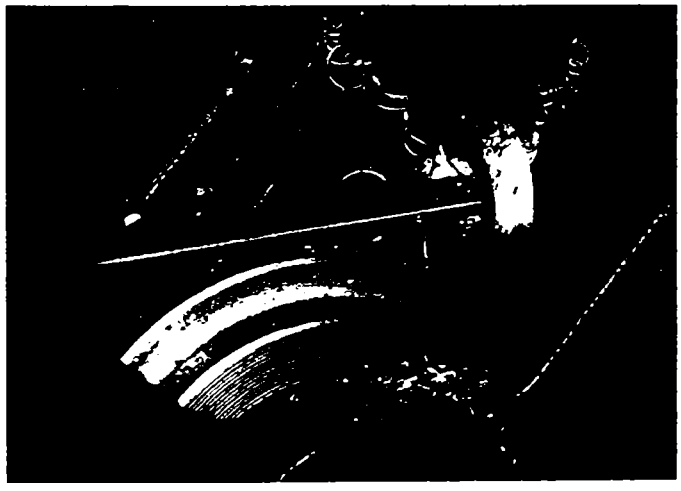


Figura 4.29 - Spirale filiforme formate la intrarea electrodului in piesa de ghidare tip F

- La nivelul pieselor de ghidare a DAS–ului s-a constatat apariţia unor tăieturi incipiente, longitudinale pe direcţia de avans a sârmei electrod – figurile 2.29 şi 2.30;
- La nivelul sârmei electrod s-a constatat o distrugere a suprafeţei laterale a sârmei, prin apariţia unor spirale filiforme – figura 4.29 – sau a şpan-ului.

Faza incipientă a fenomenului de uzură a coincis cu momentul antrenării unei sârme electrod cu suprafaţa laterală deteriorată (cu asperităţi) de pe tambur şi trecerea ei cu viteza $v_e \in (10 - 15)$ m/min prin canalul circular al piesei de ghidare a sârmei prin DAS.

Datorită dimensiunilor reduse ale canalului de trecere al sârmei electrod al piesei de ghidare a DAS-ului, de pe suprafaţa laterală ne-netedă a sârmei s-au dislocat porţiuni de material. Efectul acestor dislocări a fost apariţia spiralelor şi a şpan-ului din figura 4.29.

În figurile 4.30 şi 4.31 se poate vedea o comparaţie între suprafeţele laterale ale 2 sârme electrod:

BUPT

- sârma electrod 1 (poziţia superioară) are suprafaţa laterală distrusă parţial ca urmare a contactului cu piesa de ghidare (partea închisă la culoare de pe suprafaţa transversală a sârmei);
- sârma electrod 2 (din poziţia inferioară) are suprafaţa laterală netedă, nu prezintă denivelări marginale şi asperităţi.

Înlăturarea porţiunii de sârmă electrod cu suprafaţa laterală deteriorată, a dus la stoparea fenomenului de uzură a pieselor de ghidare ale DAS-ului sursei F (echipamentul de sudare tip F a fost folosit apoi o perioadă de 5 luni).

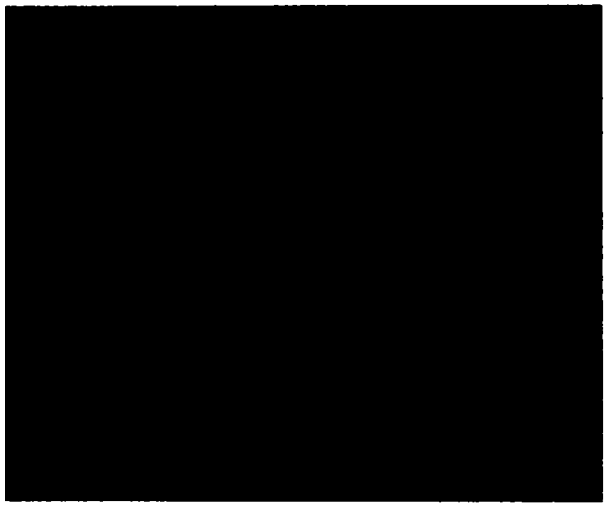


Figura 4.30 - Zgârieturi longitudinale ale suprafeţei transversale ale electrodului bandă

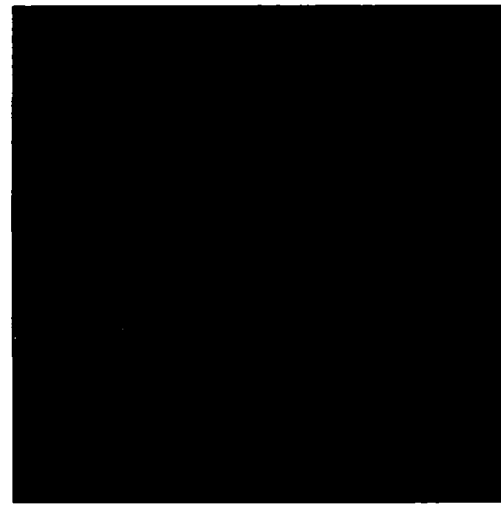


Figura 4.31 – Detaliu figura 4.30

În concluzie stabilitatea arcului şi a procesului de sudare este influenţată de "calitatea de fabricaţie a suprafeţei laterale a electrodului bandă" prin influenţarea duratei de viaţă a pieselor de ghidare a sârmei şi a duzelor de contact. Reducerea timpilor auxiliari, a defectelor de fabricaţie şi a timpilor de execuţie se poate realiza prin utilizarea unor sârme electrod cu suprafeţe laterale netede, de calitate.

4.8 Influenţa debitului de gaz din duza adiţională de protecţie asupra sudării MAG-EB

În cadrul capitolului 2 s-a menţionat că lungimea băii metalice este cuprinsă între 40 – 60 mm, astfel, pentru protecţia suplimentară a ei s-a utilizat în timpul programului experimental F o duză adiţională de protecţie a BM (figura 2.10).

Gazul de protecţie cu care a fost alimentată această duză adiţională a fost 100%Ar, iar debitul de gaz utilizat iniţial a fost Q_{Ar} = 15 l/min, ulterior, în timpul programului experimental desfăşurat pentru sârma SG-NiTi4, debitul a fost crescut la Q_{Ar} = 25 l/min.

BUPT

Figura 4.32 – Suprafaţa unei probe depusă prin sudare MAG-EB utilizând un electrod SG-NiTi4, un gaz tip M 13 (1) şi un gaz adiţional tip I 1 cu debitul de Q_{Ar} =25 l/min

Figura 4.32 prezintă suprafaţa depunerilor realizate prin sudare MAG-EB cu sârmă tip SG-NiTi4, utilizând un gaz de protecţie tip M 13 (1), o viteză de avans a sârmei de v_e = 10 m/min şi o distanţă între rânduri de Rab = 4 mm imediat după sudarea ultimului rând.

La sudarea cu gaz de protecţie adiţional cuprins între 15 – 25 l/min suprafaţa sudurilor este acoperită cu un strat subţire de oxid care se poate însă curăţa cu uşurinţă cu peria de sârma. Grosimea acestui strat depinde de debitul gazului. O mărire a debitului de gaz peste 25 l/min nu este justificată.

BUPT

Cap. 5 Metode de examinare a stratului depus

Aprecierea calităţii suprafeţelor încărcate prin sudare se realizează prin aplicarea complementară a unor examinări nedistructive împreună cu încercări distructive. Caracteristicile geometrice ale depunerilor, precum şi imperfecţiunile interne volumice sau plane sunt relevate prin examinări nedistructive ale depunerilor realizate prin sudare. Determinarea caracteristicilor de rezistenţă şi de deformabilitate ale pieselor sudate se realizează prin aplicarea încercărilor distructive.

Pentru stabilirea caracteristicilor depunerilor realizate prin sudare cu electrod bandă MAG-EB s-a aplicat un program de încercări compus din examinări nedistructive şi încercări distructive. În subcapitolele următoare sunt prezentate date referitoare la examinările nedistructive şi încercările distructive ce s-au aplicat straturilor depuse prin sudare MAG-EB. Astfel, sunt prezentate rezultate referitoare la imperfecţiunile apărute în probele sudate, structura metalografică, duritatea, capacitatea de deformare plastică, rezistenţa la coroziune.

Metodologia de realizare a examinărilor nedistructive şi a încercărilor distructive este actualmente reglementată prin diverse normative existente la nivel internaţional, unele fiind preluate şi implementate la nivel naţional.

Standardele aplicate în cazul examinărilor probelor încărcate prin sudare MAG-EB sunt:

- SR EN 970 – Examinări nedistructive ale îmbinărilor sudate prin topire. Examinarea vizuală [97];
- SR EN 571 -1 – Examinări nedistructive. Examinări cu lichide penetrante [96];
- SR EN 1321 – Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice. Examinarea macroscopică şi microscopică a îmbinărilor sudate [92];
- SR EN 1043 – 1/2 – Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice. Încercarea de duritate / microduritate a îmbinărilor sudate [91];
- SR ISO 910 – Materiale metalice. Încercarea la îndoire [98];
- EN ISO 3651 – 1, 2 – Determinarea rezistenţei la coroziune intergranulară [81].

5.1 Examinări nedistructive

În cadrul examinărilor nedistructive se verifică dimensional caracteristicile geometrice ale depunerii, se evidenţiază imperfecţiunile de formă ale sudurii şi existenţa fisurilor de pe suprafaţa MD, sau la nivel intern.

Programul de examinări nedistructive a cuprins examinarea vizuală şi examinarea cu lichide penetrante.

5.1.1 Examinarea vizuală

Reprezintă cea mai uşoară şi ieftină metodă de control, ea executându-se ulterior procesului de sudare. Principial examinarea vizuală se realizează cu ochiul liber sau cu echipamente de examinare (rigle, şublere, calibre, lupe, etc.) şi permite punerea în evidenţă a defectelor de formă, aspect sau dimensiune (crestătura marginală, stropi, îngroşare excesivă, retasură, etc). Controlul dimensional are în vedere lăţimea şi grosimea cusăturii, fiind considerat un control obligatoriu pentru toate sudurile realizate.

BUPT

Examinarea vizuală permite, de asemenea, vizualizarea fisurilor de pe suprafaţa MB înainte de sudare sau de pe suprafaţa MD după sudare. Prezenţa fisurilor vizibile cu ochiul liber sau cu ajutorul mijloacelor optice – lupe cu mărire de 2X până la 5X - este innacceptabilă, ca şi existenţa lipsei de topire [59].

Imperfecţiunile posibile a fi puse în evidenţă prin controlul vizual se pot clasifica în două clase: imperfecţiuni neadmise (ex: fisura) şi imperfecţiuni admise condiţionat funcţie de clasa de acceptare a imperfecţiunilor conform EN 25817.

Standardul care reglementează procedura de examinare vizuală este SR EN 970.

Probele depuse prin sudare MAG-EB au fost supuse integral examinării vizuale în timpul sudării, cât şi după realizarea sudurilor. Astfel, s-a urmărit în timpul sudării ca suprafaţa sudurilor să fie regulată, să fie curăţată corespunzător după fiecare rând depus, racordul dintre rândul depus şi suprafaţa MB să fie astfel încât să permită o topire corespunzătoare la depunerea unei noi suduri, etc.

În urma controlului dimensional realizat cu ajutorul şublerului s-au determinat valorile înălţimii Hc şi lăţimii sudurii Lc menţionate în cadrul tabelului 5.1, respectiv tabelul B.1 – anexa B. Aceste dimensiuni au variat ca valoare funcţie de tipul electrodului utilizat, al gazului şi de valorile parametrilor de sudare.

În figurile 5.1 - 5.7 este prezentat aspectul vizual al suprafeţelor depunerilor realizate cu electrod bandă tip: SG-NiCr23Mo16, SG-NiCr21Mo9Nb, X 15CrNiMn 18 8, X 12CrNi 25 20 şi SG-NiTi4 si cu diferite tipuri de gaze de protecţie: M 13 (1), M 11 (1), M 12 şi M 13.

Parametrii de sudare utilizaţi în timpul încărcării prin sudare MAG-EB se regăsesc în tabelul 5.1 sau integral prezentaţi în WPS-urile menţionate în cadrul tabelului.

Se poate constata din figurile anterioare că lăţimea rândurilor depuse a avut valori între 14 – 20 mm, că forma şi solzii prezintă un aspect uniform şi că suprafaţa rândului depus are un aspect îngrijit şi fără stropiri.

Tabel 5.1 – Valorile caracteristicilor geometrice ale depunerilor realizate prin sudare MAG-EB

Probă depusă prin sudare	Număr WPS	Număr figură	Lăţimea Lc [mm]	Supraînălţarea Hc [mm]
X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 650 A; f_p = 230 Hz	13	5.1	16	6
X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip 99%Ar+1%O_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 630 A; f_p = 230 Hz	12	5.2	14	6,3
X 12CrNi 25 20 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 630 A; f_p = 180 Hz	14	5.3	17	6
X 12CrNi 25 20 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 630 A; f_p = 180 Hz	15	5.4	16	6
SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 Qgaz = 20 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 680 A; f_p = 210 Hz	3	5.5	18	5
SG-NiTi4 şi un gaz Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 4 mm; Ib = 460 A; Ip = 640 A; f_p = 195 Hz	17	5.6	18	5,5
SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 Qgaz = 20 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 710 A; f_p = 215 Hz	4	5.7	20	5

BUPT

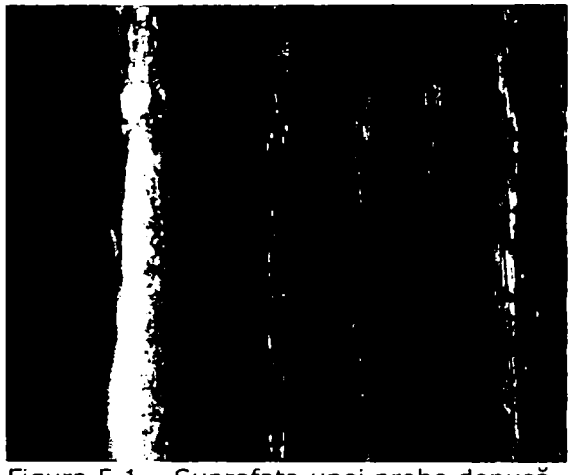


Figura 5.1 – Suprafaţa unei probe depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip X 15CrNiMn 18 8, gaz tip Ar+2,5%CO_2 şi v_e = 15 m/min WPS 13

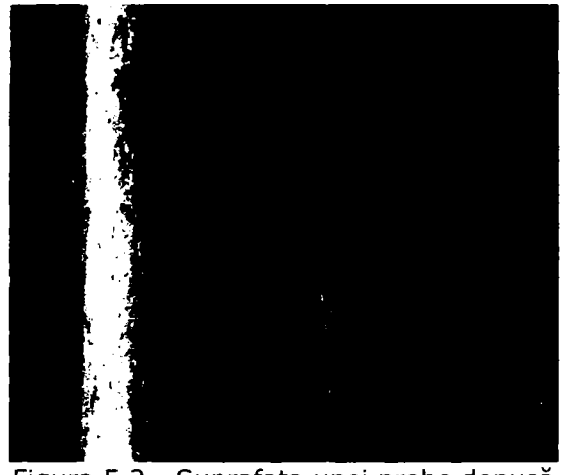


Figura 5.2 - Suprafaţa unei probe depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip X 15CrNiMn 18 8, gaz tip 99%Ar+1%O_2 şi v_e = 15 m/min WPS 12

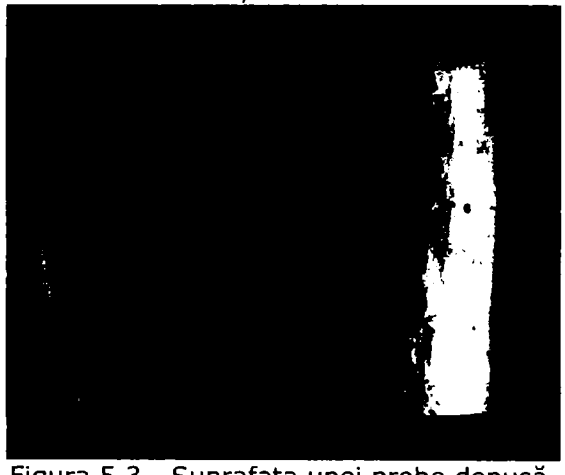


Figura 5.3 - Suprafaţa unei probe depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip X 12CrNi 25 20, gaz tip Ar+2,5%CO_2 şi v_e = 15 m/min
WPS 14, Electrod poziţionat transversal

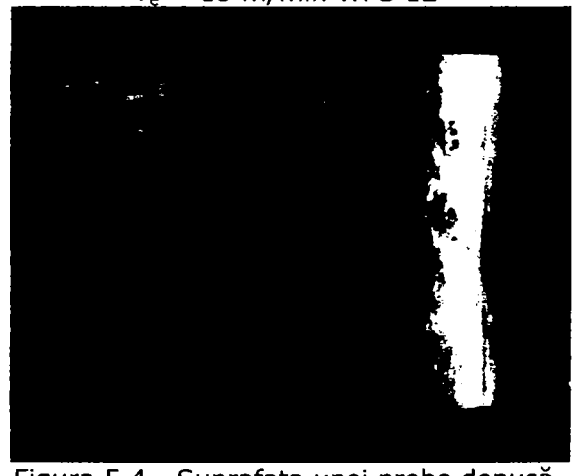


Figura 5.4 - Suprafaţa unei probe depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip X 12CrNi 25 20, gaz tip Ar+2,5%CO_2 şi v_e = 15 m/min
WPS 15, Electrod poziţionat longitudinal

BUPT

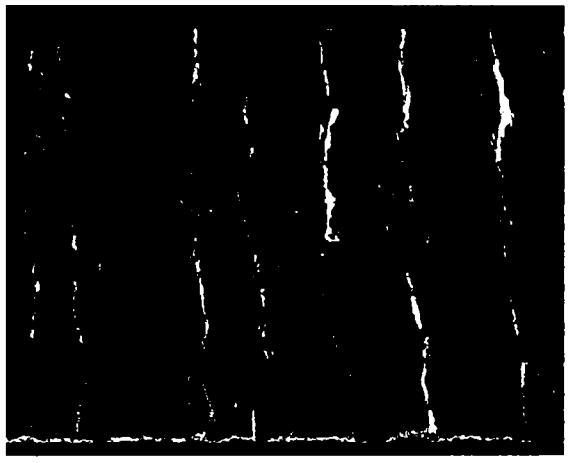


Figura 5.5 - Suprafaţa unei probe depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip SG-NiCr23Mo16, gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 şi v_e = 15 m/min WPS3

Figura 5.6 - Suprafaţa unei probe depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip SG-NiTi4, gaz tip Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2 şi v_e = 10 m/min; WPS17

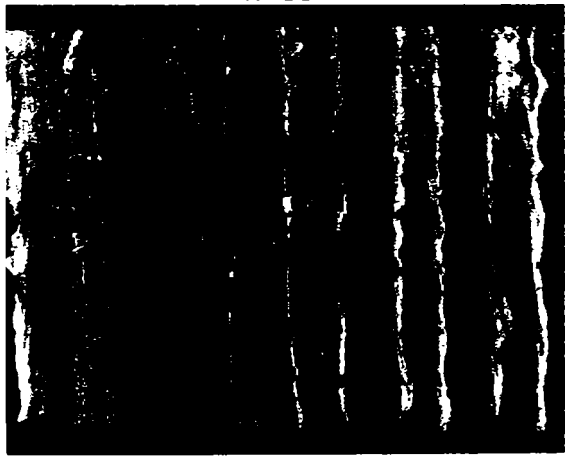


Figura 5.7 - Suprafaţa unei probe depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb, gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 şi v_e = 15 m/min WPS 4

Concluzie

În urma controlului vizual efectuat în timpul şi ulterior sudării - aşa cum rezultă şi din figurile menţionate - se poate concluziona faptul că: nu s-a constatat prezenţa fisurilor sau a porozităţilor la nivelul suprafeţei MD, că suprafaţa depunerilor (în general) prezintă un aspect uniform şi nu s-a constatat existenţa incluziunilor de zgură sau a lipsei de topire. Caracteristicile geometrice ale depunerii s-au încadrat în domeniile: lăţimea cusăturii Lc $\in$ (14 – 20) mm, iar înălţimea cusăturii Hc $\in$ (5 – 6,5) mm.

5.1.2 Examinarea cu lichide penetrante

Metoda se caracterizează prin simplitudine, productivitate şi cost scăzut, folosindu-se cu bune rezultate la controlul straturilor placate şi metalizate. Se utilizează în principal pentru punerea în evidenţă a fisurilor şi porilor la nivel

BUPT

superficial, imperfecţiuni mai greu de depistat prin examinare vizuală. Înaintea examinării suprafaţa de examinat trebuie curăţată mecanic / chimic şi uscată.

Important de amintit este faptul că la oţelurile inoxidabile austenitice, respectiv la aliajele de nichel este necesară limitarea conţinutului de sulf şi halogeni din penetranţi şi developanţi la 0,5%. Aceasta datorită posibilităţii de apariţie a coroziunii sub tensiune (datorită unui conţinut > 0,5% halogeni) şi a măririi susceptibilităţii la fragilizare (datorită sulfului) [59].

Procedura de examinare cu lichide penetrante este reglementată prin standardul SR EN 571, iar acceptarea imperfecţiunilor se face conform nivelelor de acceptare a defectelor - B, C şi D - cuprinse în standardul EN 25817.

Suprafaţa transversală a epruvetelor prelevate din probe încărcate prin sudare MAG-EB a fost examinată cu lichide penetrante în vederea evidenţierii posibilei lipse de topire dintre MD şi MB.

În figura 5.8 se prezintă fotografia unei probe controlate prin examinare cu lichide penetrante. Figura prezintă suprafaţa transversală a unei depuneri MAG-EB formată din 2 straturi depuse folosind un electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb şi un gaz de protecţie tip M 13 (1). Parametrii de sudare utilizaţi la încărcarea probei se regăsesc prezentaţi în tabelul 5.2 sau în WPS 8 – anexa C. Materialul de bază utilizat a fost S 355 (conform EN 10027-1) şi cu dimensiunile de 300 x 300 x 20 mm, iar tipul transferului a fost pulsat pentru ambele straturi.

Aşa cum rezultă din figura 5.8 în urma aplicării examinării cu lichide penetrante s-a constatat existenţa unor goluri izolate la nivelul MD.

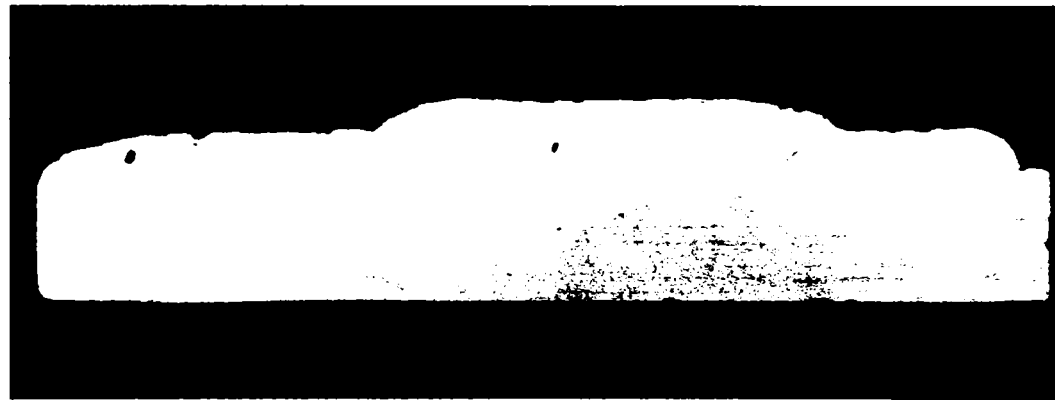


Figura 5.8 - Probă depusă prin sudare MAG – EB cu: electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb şi un gaz de protecţie tip M 13 (1)

În tabelul 5.3 se prezintă o sinteză a rezultatelor obţinute în timpul programului experimental MAG-EB, în urma aplicării examinării cu lichide penetrante.

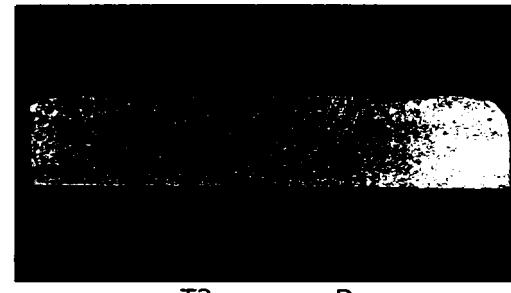
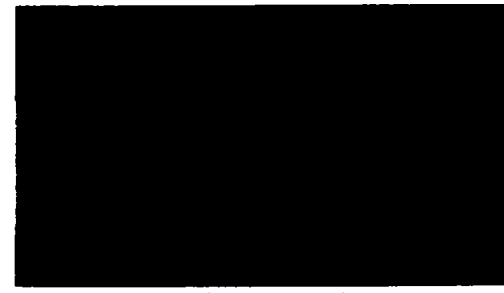
BUPT

Tabel 5.2 – Parametrii de sudare utilizaţi la încărcarea prin sudare MAG-EB

Tipul sârmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**SG-NiCr21Mo9Nb**
Dimensiunea sârmei	mm		4,0 x 0,5	4,0 x 0,5
Poziţia de sudare / Poziţia de lucru			40° 100°(împins 10°)	40° 100° (împins 10°)
Gazul de protecţie			Ar+30%He+0,03%O_2	Ar+30%He+0,03%O_2
Material de bază conform EN 10027-1 / Grosimea MB			S 235JRG2 20 mm	S 235JRG2 20 mm
Numărul stratului			Strat 1	Strat 2
Parametrii de lucru				
Curentul de sudare	A	I_s	324	310
Tensiunea arcului	V	U	32,18	32
Viteza de avans a sârmei electrod	m/min	v_e	10	10
Tipul transferului			puls	puls
Debitul gazului de protecţie	l/min	Q	20	20
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	80
Energia liniară	J/cm	E	7.819,74	7.440
Distanţa între rânduri	mm	Rab	4	4,5
Lungimea liberă a sârmei	mm	L_l	20	20
Temperatura între depuneri	°C		< 120°C	< 120°C
Rata depunerii	kg/h	Ad	10,2	10,2
Diluţia	%	p_{MB}	7,22	0,35

BUPT

Tabel 5.3 – Rezultate obţinute prin aplicarea examinării cu lichide penetrante

Probă sudată / Parametrii de sudare	Parametrii / Rezultate	Observaţii
SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; Qgaz = 20 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 680 A; f_p = 210 Hz WPS 3 – anexa C	 T3 – anexa D	Pori izolaţi Nu apare lipsă de topire
SG-NiCr21Mo9Nb şi un gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; Qgaz = 20 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 710 A; f_p = 215 Hz WPS 4 – anexa C	 T4 – anexa D	Fară pori Nu apare lipsă de topire
SG-NiCr21Mo9Nb şi un gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; Qgaz = 20 l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 80 cm/min Strat 1: Rab = 4 mm; Ib = 130 A; Ip = 670 A; f_p = 110 Hz Strat 2: Rab = 4,5 mm; Ib = 130 A; Ip = 720 A; f_p = 96 Hz WPS 8 – anexa D	Figura 5.8	Pori izolaţi Nu apare lipsă de topire
X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 650 A; f_p = 230 Hz WPS 13 – anexa C	 T13 – anexa D	Fară pori Nu apare lipsă de topire

BUPT

SG-NiTi4 şi un gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 4 mm; Ib = 450 A; Ip = 530 A; f_p = 235 Hz WPS 18 – anexa C	 T18 – anexa D	Fară pori Nu apare lipsă de topire

Concluzie

Din tabelul 5.3 şi din fotografiile probelor realizate prin încărcarea prin sudare MAG-EB şi prezentate în cadrul anexei D, se poate concluziona faptul că nu s-a constatat apariţia lipsei de topire dintre MD şi MB fiind evidenţiată doar prezenţa unor pori izolaţi. Existenţa acestora nu reprezintă o problemă pentru depunerile realizate, aceste imperfecţiuni fiind admise.

5.2 Încercări distructive

Având în vedere că prin aplicarea examinărilor nedistructive - anterior menţionate - nu s-au constatat imperfecţiuni neacceptabile la nivelul suprafeţei MD sau la interfaţa metal depus – metal de bază MD – MB de tip fisuri sau incluziuni masive conform EN 25817, s-a trecut la aplicarea încercărilor distructive.

Încercările distructive se realizează pe epruvete prelevate din probele sudate şi permit evidenţierea caracteristicilor mecanice de rezistenţă şi de deformabilitate ale probelor. S-au utilizat ca metode de încercări distructive: examinarea macro şi microscopică, încercarea la îndoire, încercarea de duritate şi încercarea la torsiune. S-a efectuat, de asemenea, încercarea la coroziune.

Suplimentar acestor metode distructive prezentate detaliat s-a mai efectuat analiza chimică pentru determinarea compoziţiei chimice reale atât a MB, MA, cât şi a MD şi în vederea determinării valorilor diluţiei cu ajutorul formulei din subcapitolul 3.3. Compoziţia chimică a depunerilor s-a determinat prin analiză spectrală.

Determinarea compoziţiei chimice a MD, a caracteristicilor mecanice şi a deformabilităţii depunerilor prin încercări distructive oferă o imagine integrală asupra tehnologiilor de sudare utilizate şi a posibilelor defecte din MD şi MB.

5.2.1 Examinarea macroscopică şi microscopică

Analiza metalografică permite punerea în evidenţă a defectelor de structură, a transformărilor structurale, a adâncimii pătrunderii şi a uniformităţii ei, a defectelor de formă şi de fuziune. Examinarea metalografică cuprinde atât analiza macroscopică, cât şi analiza microscopică.

Examinarea macroscopică se realizează vizual sau cu lupa la o mărire uşoară de 10X asupra unei epruvete atacate sau neatacată. Examinarea microscopică se realizează cu ajutorul microscopului optic la o mărire de 50 – 500X sau prin intermediul microscopului electronic printr-o mărire de 2000 – 20000X asupra unei epruvete atacate sau neatacată.

BUPT

Punerea în evidenţă a defectelor şi a structurii metalografice se realizează cu ajutorul reactivilor aleşi funcţie de natura materialelor utilizate sau în funcţie de scopul urmărit în cadrul analizei [59]. Procedura de lucru este reglementată prin standardul SR EN 1321.

Examinarea macroscopică permite evidenţierea adâncimii pătrunderii, a fisurilor şi a suflurilor care depăşesc 0,5 mm, în timp ce examinarea microscopică permite evidenţierea microfisurilor, a structurii sudurii şi a MB, a segregaţiilor, a precipitărilor, precum şi a mărimii graunţilor. Cunoaşterea structurii este foarte importantă pentru aprecierea caracteristicilor ansamblului MD – MB şi pentru a putea controla prin intermediul tehnologiei de sudare apariţia structurilor fragile şi a defectelor interne.

Important de subliniat este neacceptarea fisurilor în MD. Imperfecţiunile de tipul incluziunilor nemetalice sau a suflurilor determinate la analiza macroscopică sunt admise dacă nu depăşesc ca densitate 5/cm^2.

În figura 5.9 şi 5.10 sunt prezentate probele depuse prin sudare MAG-EB cu electrod tip SG-NiCr23Mo16 şi SG-NiCr21Mo9Nb.

La proba depusă cu sârma tip SG-NiCr23Mo16 a fost măsurată valoarea pătrunderii MD în MB. În figura 5.11 se regăseşte macrostructura, putându-se observa valorile reduse ale pătrunderii (108 μm – figura 5.11).

În figura 5.12 este prezentată fisura apărută în MD la proba depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; v_e = 10 m/min; v_s = 80 cm/min; Rab = 4,5 mm.

Figura 5.9

SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; Qgaz = 20 l/min; v_e = 12 m/min; v_s = 100 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 580 A; f_p = 200 Hz WPS 2 – anexa C

Figura 5.10

SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 Qgaz = 20 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 710 A; f_p = 215 Hz WPS 4 – anexa C

BUPT

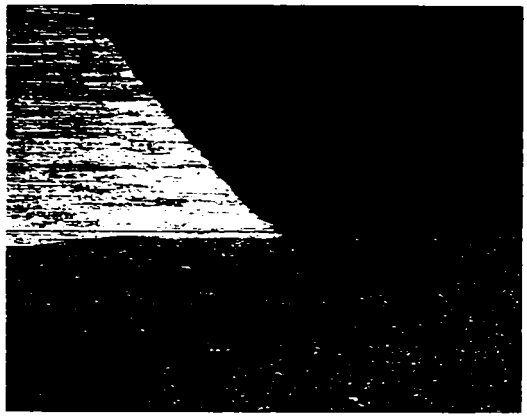


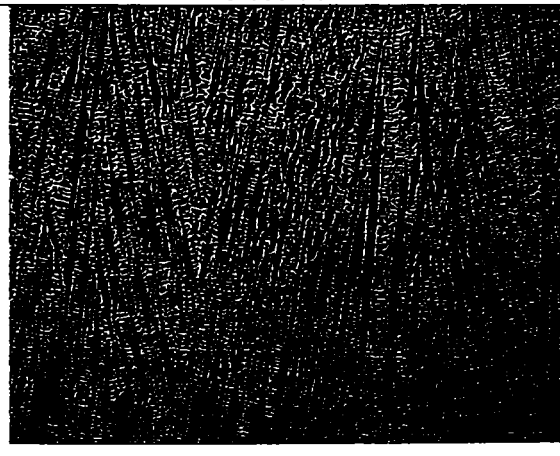
Figura 5.11 – Evidenţierea pătrunderii MD în MB la o probă sudată MAG-EB cu electrod tip SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2

Figura 5.12 - Fisură apărută în MD la proba depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2

În cadrul fiecărui WPS 1 – WPS 20 anexa C sunt prezentate rezultatele analizei macroscopice ale epruvetelor.

Tipurile de structuri puse în evidenţă prin analiza microscopică a MD sunt prezentate în tabelul 5.4.

Tabel 5.4 – Ti uri de structuri use în eviden ă rin analiză microsco ică

Microstructură	Tip structură
	Structură complet austenitică întâlnită la proba depusă prin sudare MAG-EB cu electrod tip SG-NiCr23Mo16 şi un gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; v_e = 10 m/min; v_s = 80 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 600 A; f_p = 207 Hz WPS 1 – anexa C

BUPT

	Structură complet austenitică cu dendrite fine întâlnită la proba depusă prin sudare MAG-EB cu electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2; v_e=10 m/min; v_s = 120 cm/min; Rab = 3 mm; Ib = 250 A; Ip = 670 A; f_p = 105 Hz WPS 5 – anexa C
	Structură complet austenitică cu graunţi primari grosieri întâlnită la proba depusă prin sudare MAG-EB cu electrod tip X 12CrNi 25 20 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2; Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 630 A; f_p = 180 Hz WPS 14 – anexa C
	Structură austenitică cu ferită δ întâlnită la proba depusă prin sudare MAG-EB cu electrod tip X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip 99%Ar+1%O_2; Qgaz = 20 l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 180 A; Ip = 655 A; f_p = 142 Hz WPS 11 – anexa C

În urma analizei microscopice a mai fost pusă în evidenţă apariţia unor fisuri la cald ca urmare a valorilor ridicate ale temperaturii dezvoltate la nivelul MD datorată unei distanţe între rânduri prea mica – Rab = 3 mm sau Rab = 3,5 mm.

Au apărut fisuri la suprafaţa depunerii din figura 5.13 sau în interiorul MD, figura 5.14.

BUPT

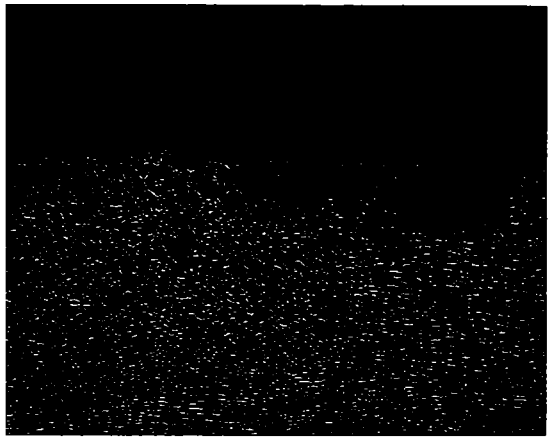


Figura 5.13 – SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; v_e = 10 m/min; v_s = 80 cm/min; Rab = 5 mm; WPS 6
Reactiv utilizat: Adler modificat, Scara 100:1
Fisurare la cald la suprafaţa depunerii

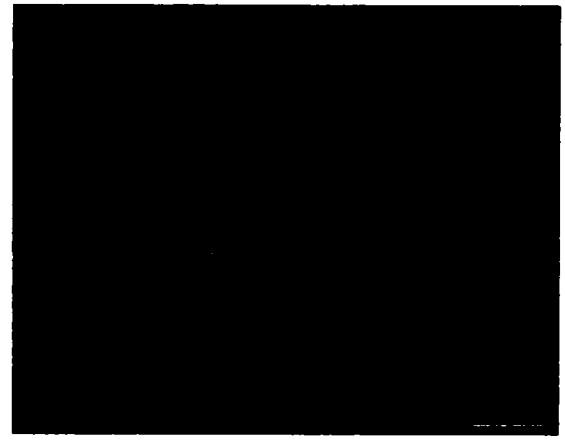


Figura 5.14 - SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2; v_e = 10 m/min; v_s = 120 cm/min; Rab = 3 mm; WPS 5
Reactiv utilizat: Adler modificat, Scara 25:1
Fisurare la cald în depunere

Figura 5.15 prezintă structura metalului depus a unei probe realizate cu un electrod tip SG-NiTi4 şi un gaz tip Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2 şi utilizând o viteză de avans a electrodului de 10 m/min. La nivelul epruvetelor prelevate din această probă s-a constatat apariţia ruperii în MD – vezi anexa D – în momentul încercării la îndoire conform EN 910.

Apariţia fisurii este posibil să se datoreze carburilor de pe limitele graunţilor – vezi figura 5.15.

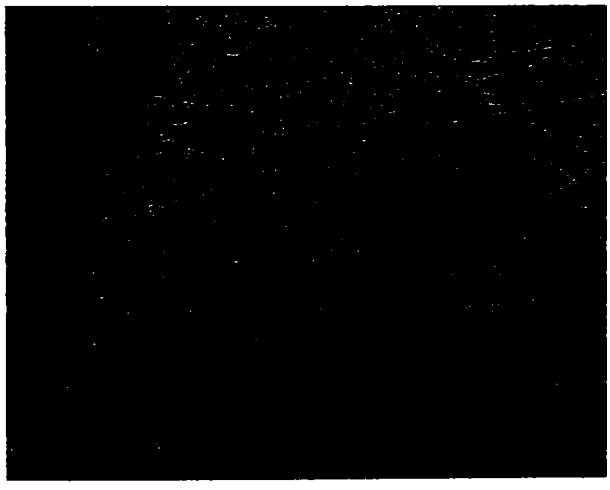


Figura 5.15

Probă depusă prin sudare MAG – EB cu un electrod tip SG-NiTi4 şi un gaz tip Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2; Qgaz=18l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 460A; Ip = 640A; f_p=195 Hz

WPS 17 – anexa C

Concluzie – examinările macroscopice şi microscopice au permis furnizarea de informaţii importante legate de valorile recomandate a parametrului distanţă între rânduri – Rab.

BUPT

Inexistenţa lipsei de topire între MD şi MB precum şi apariţia unei fisuri în proba depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 a fost evidenţiată prin intermediul examinării macroscopice a epruvetelor debitate.

Examinarea microscopică a permis evidenţierea structurilor întâlnite în depunerile realizate prin sudare MAG-EB: structură complet austenitică, structură complet austenitică cu dendrite fine, structură complet austenitică cu graunţi primari grosieri şi structură austenitică cu ferita δ.

Analizele microscopice au permis de asemenea evidenţierea apariţiei fisurării la cald în cazul utilizării unei valori reduse a distanţei între rânduri Rab.

5.2.2 Încercarea la îndoire

Încercarea la îndoire se realizează cu scopul de a determina capacitatea de deformare plastică a MB, MA şi a ansamblului MB-MA prin intermediul criteriilor: unghi de îndoire până la rupere, alungire maximă a suprafeţei întinse şi aspectul zonei de rupere.

Descrierea procedurii de încercare la îndoire este reglementată prin standardul SR EN 910, existând 3 tipuri de încercări la îndoire posibile, funcţie de poziţia relativă a sudurii faţă de axa rolelor de sprijin:

- Încercare la îndoire frontală - la care axa longitudinală a sudurii este paralelă cu cea a rolelor de sprijin;
- Încercare la îndoire laterală - la care axa longitudinală a sudurii este perpendiculară pe axa rolelor de sprijin şi pe direcţia de aplicare a forţei;
- Încercare la îndoire longitudinală - la care axa sudurii este perpendiculară pe axa rolelor de sprijin şi pe direcţia de aplicare a forţei.

În cadrul programului experimental MAG-EB s-au încercat epuvete la îndoire frontală şi laterală. Epruvetele au fost prelevate transversal din îmbinare sudată, stratul depus fiind solicitat la întindere.

Prelevarea epruvetelor s-a realizat la dimensiunea de 300 x 20 x 20 mm pentru epruveta supusă la îndoire frontală, respectiv la 300 x 10 x 20 mm pentru epruveta supusă la îndoire frontală laterală.

Metoda de încercare la îndoire aleasă a fost îndoire pe un dorn de ϕ 80mm până la atingerea unui unghi de 60° şi examinarea suprafeţei sudurii. Distanţa între role a fost de aproximativ 130 mm.

În figura 5.16 este prezentată o epruvetă prelevată dintr-o proba depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb şi un gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 şi supusă la îndoire frontală – IF. În figura 5.16 este prezentată o epruvetă prelevată dintr-o probă depusă cu X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 şi supusă la îndoire laterală - IL.

În tabelul 5.5 se prezintă o sinteză a rezultatelor obţinute la încercarea la îndoire.

În cadrul anexei D sunt prezentate fotografiile tuturor rezultatelor obţinute la această încercare.

BUPT

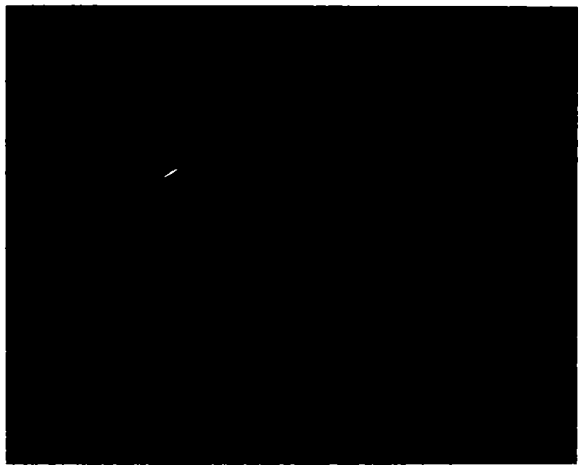


Figura 5.16 – Îndoire frontală a unei probe depusă prin sudare MAG-EB cu un electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb şi un gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2

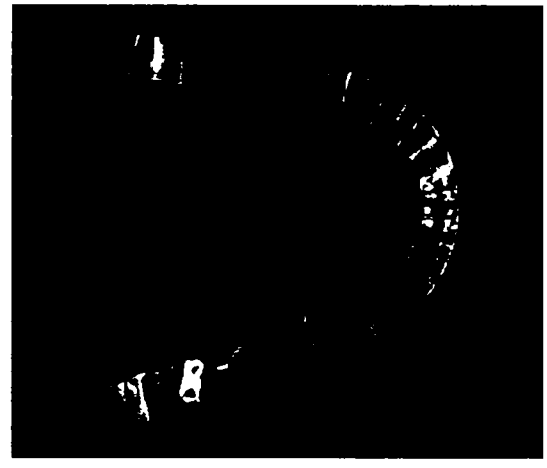
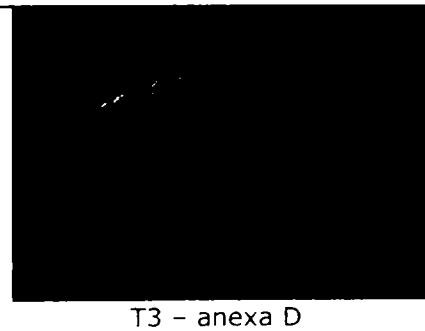
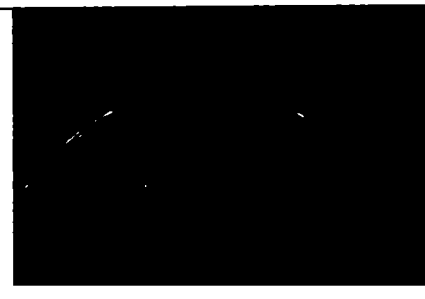
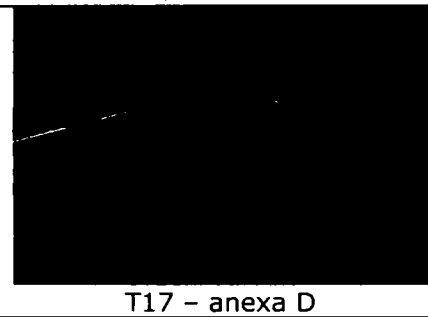
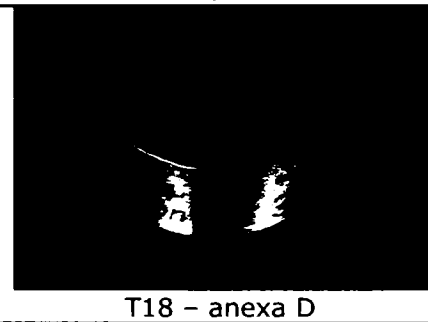


Figura 5.17 – Îndoire laterală a unei probe depusă cu X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2

Tabel 5.5 – Rezultatele obţinute în urma aplicării încercării de îndoire

Proba sudată / Parametrii de sudare	Înregistrarea rezultatelor	Observaţii la IF şi IL
SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; Qgaz = 20 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 680 A; f_p = 210 Hz WPS 3 – anexa C	 T3 – anexa D	IF - Lipsă apariţie fisură IL - Lipsă apariţie fisură
SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; Qgaz = 20 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 710 A; f_p = 215 Hz WPS 4 – anexa C		IF - Lipsă apariţie fisură IL - Lipsă apariţie fisură

BUPT

X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 650 A; f_p = 230 Hz WPS 13 – anexa C	 T13 – anexa D	IF - Lipsă apariţie fisură IL - Lipsă apariţie fisură
SG-NiTi4 şi un gaz tip Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2; Qgaz = 18 l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 460 A; Ip = 640 A; f_p = 195 Hz WPS 17 – anexa C	 T17 – anexa D	IF - Apariţie fisură IL - Apariţie fisură
SG-NiTi4 şi un gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 Qgaz = 18 l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 85 cm/min Rab = 4 mm; Ib = 450 A; Ip = 530 A; f_p = 235 Hz WPS 18 – anexa C	 T18 – anexa D	IL - Lipsă apariţie fisură

Concluzie

Ductilitatea metalului depus este în general bună, deoarece majoritatea epruvetelor prelevate din probele sudate MAG-EB nu au evidenţiat apariţia fisurilor la încercarea la îndoire. Excepţie de la acestă concluzie face metalul depus cu un electrod tip SG-NiTi4 şi gaz tip Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2 la care s-a constatat apariţia fisurii în timpul încercării de îndoire. Apariţia fisurii la nivelul MD este posibil să se datoreze carburilor aparute la limita grăunţilor.

5.2.3 Încercarea de duritate

Încercarea de duritate este reglementată prin standardul SR EN 1043, iar aplicarea acestei metode de control distructive permite stabilirea caracteristicilor de rezistenţă şi fragilitate ale sudurii, în special a ZIT-ului şi punerea în evidenţă a defectelor de structură, asemeni analizei metalografice.

În cadrul programului experimental de încărcare prin sudare MAG-EB pentru determinarea valorilor durităţii metalului depus MD şi a metalului de bază MB s-a utilizat metoda Vickers HV10, forţa de penetrare utilizată a fost de 98N.

Modul de amplasare a amprentelor pe suprafaţa probelor macroscopice este prezentat în figura 5.18. Se observă că s-au măsurat durităţile atât în MD cât şi în MB de-a lungul a două direcţii distincte denumite HL1 şi HL2.

BUPT

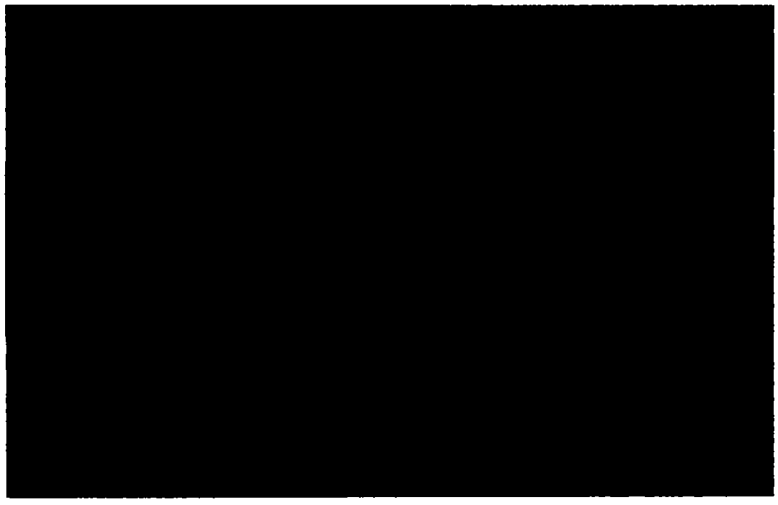


Figura 5.18 – Direcţiile de amplasare a amprentelor pentru măsurarea durităţii conform EN 1043

Proba depusă prin sudare MAG-EB din figura 5.18 este realizată cu un electrod bandă tip X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz de protecţie tip Ar+2,5%CO_2.

Tabelul 5.6 prezintă valorile durităţii măsurate pe ambele direcţii HL1 şi HL2. Se poate observa din tabel faptul că distanţa între două p î M şi MD este de 1 mm, conform cerinţelor standardului EN 1043.

În figura 5.19 este reprezentată curba de variaţie a durităţii pentru proba realizată prin tehnologia prezentată în WPS 13 anexa C.

Tabel 5.6 – Valorile durităţii măsurate de-a lungul direcţiilor HL1 şi HL2

Nr. Crt	X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 ;Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 650 A; f_p = 230 Hz WPS 13 – anexa C	HL1	HL2	Amplasare amprente
	x [mm]	HV 10	HV 10	MB
1	-10,0	131,0	129,8	MB
2	-6,0	133,5	139,0	MB
3	-4,0	150,0	148,5	MB
4	-2,0	156,8	159,5	MB
5	-1,0	166,0	151,0	MB
6	0,0	177,0	176,8	MB
1	1,0	203,5	194,0	MD
2	2,0	195,5	190,0	MD
3	4,0	194,8	191,0	MD
4	5,0	216,8	182,5	MD
5	6,0	213,0	194,0	MD

BUPT

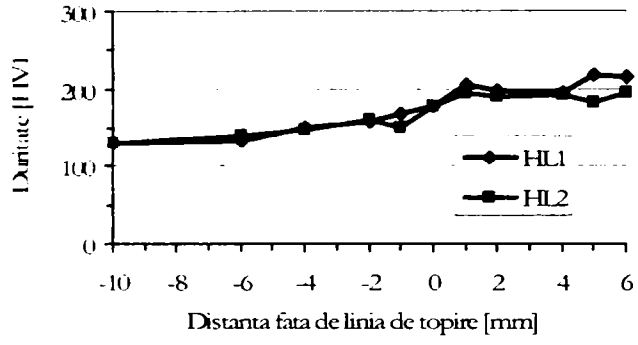


Figura 5.19

Curba de variatie a duritatii probei de use prin sudare MAG-EB cu un electrod tip X 15CrNiMn 18 8 si un gaz tip Ar+2,5%CO_2; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 650 A; f_p = 230 Hz

WPS 13 – anexa C

În cadrul T1 – T18 anexa D se regăsesc curbele de variaţie ale durităţii pentru epruvetele prelevate din probele sudate MAG-EB, precum şi rezultatele tabelare ale încercării de duritate.

Concluzie - încercarea de duritate a evidenţiat faptul că valorile durităţii metalului depus MD sunt superioare valorilor durităţii metalului de bază MB pentru toate depunerile realizate prin sudare MAG-EB cu electrod tip: SG-NiCr23Mo16 şi gaz de protecţie tip Ar+30%He+0,03%O_2; SG-NiCr21Mo9Nb cu gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 sau Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2; electrod tip X 15CrNiMn 18 8 şi gaz tip 99%Ar+1%O_2 sau Ar+2,5%CO_2 şi electrod X 12CrNi 25 20 cu gaz tip Ar+2,5%CO_2.

Duritatea metalului depus la încărcarea prin sudare MAG-EB cu electrod tip SG-NiTi4 şi gaz de protecţie tip Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2 este inferioară durităţii MB, astfel încât la încercarea de îndoire s-a constatat apariţia fisurării în MD – fişa T17 – anexa D.

Diferenţele de duritate dintre metalul de bază şi metalul depus sunt pentru toate cazurile sub valoarea 120 HV 10.

5.2.4 Încercarea la coroziune

În vederea determinării rezistenţei la coroziune funcţie de natura materialului depus se necesită realizarea următoarelor încercări:

- Determinarea vitezei de corodare conform ASTM G28 şi a temperaturii de corodare conform ASTM G48 pentru aliajele NiCr şi CuNi;
- Determinarea susceptibilităţii la coroziune prin metodologia EN ISO 3651-1 sau EN ISO 3651-2 pentru aliajele CrNi.

În cazul ASTM G28 sau EN ISO 3651-1 rezistenţa la coroziune se va determina prin măsurarea pierderii de masă a epruvetelor într-un timp de încercare dat, în scopul determinării vitezei maxime de coroziune.

La EN ISO 3651-2 se va urmări apariţia fisurilor pe suprafaţa convexă a epruvetelor supuse îndoirilor pe dorn la 90° dupa ce în prealabil au fost supuse unui atac chimic.

Pentru determinarea temperaturii de corodare – conform ASTM G48 – epruvetele se vor supune atacului coroziv al unui mediu timp de 24 h la diferite valori ale temperaturilor de încercare.

S-au prelevat câte 3 epruvete de dimensiunile 50 x 20 x 2 mm de la nivelul suprafeţei metalului depus al următoarelor probe sudate MAG-EB:

BUPT

- SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; Qgaz = 20 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 680 A; f_p = 210 Hz din WPS 3 – anexa C şi notată prin S 5923_varigon_Vd15_Rab4_WPS 3;
- SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; Qgaz = 20 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 710 A; f_p = 215 Hz din WPS 4 – anexa C şi notată prin S 6020_varigon He_Vd15_Rab4_WPS 4;
- X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 ; Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 650 A; f_p = 230 Hz din WPS 13 – anexa C şi notată prin 1.4370_cronigon2_Vd15_Rab5_WPS 13.

Determinarea vitezei de corodare

Din cele 3 epruvete prelevate din probele depuse cu electrozi tip SG-NiCr23Mo16 şi SG-NiCr21Mo9Nb 20, s-a utilizat câte o epruvetă din fiecare material de adaos pentru determinarea vitezei de corodare.

Epruvetele s-au fiert conform ASTM G28 într-o soluţie corozivă formată din H_2SO_4 + $Fe_2(SO_4)_3$ conform metodei A. Timpul de menţinere în mediul coroziv a fost de 24 ore pentru epruveta prelevată din proba depusă prin sudare MAG-EB cu electrod tip SG-NiCr23Mo16, respectiv 120 ore pentru epruveta prelevată din proba depusă prin sudare MAG-EB cu electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb 20 – vezi tabelul 5.7.

Tabel 5.7 - Încercarea la coroziune realizată conform ASTM G28, Metoda A

Aliaj	Densitatea g/cm^3	Nr. probă	Volum cm^3	Densitatea reală g/cm^3	Suprafaţa cm^2	Timpul de încercare h	Greutatea iniţială g	Greutatea finală g	Vk mm/an
SG-NiCr21Mo9Nb	8,5	S 6020-1	2,18	8,35	22,92	120	18,239	18,1056	0,5
SG-NiCr23Mo16	8,6	S 5923-1	2,2	8,47	23	24	18,6453	18,6054	0,736

În urma încercărilor realizate conform ASTM G28 şi a rezultatelor prezentate în tabelul 5.7, s-au constatat următoarele viteze de corodare:

- viteza de corodare – Vk - în cazul probei depusă cu electrod tip SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 este Vk = 0,736 mm/an;
- viteza de corodare – Vk - în cazul depunerii realizată cu electrod SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 este Vk = 0,5 mm/an.

Aspectul probelor după încercarea la coroziune este prezentat în figura 5.20 pentru proba realizată cu electrod tip SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2, respectiv figura 5.21 pentru proba realizată cu electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2.

BUPT

Figura 5.20 – Depunere realizată prin sudare MAG-EB cu un electrod tip SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 (WPS 3) şi atacată chimic cu H_2SO_4 + $Fe_2(SO_4)_3$

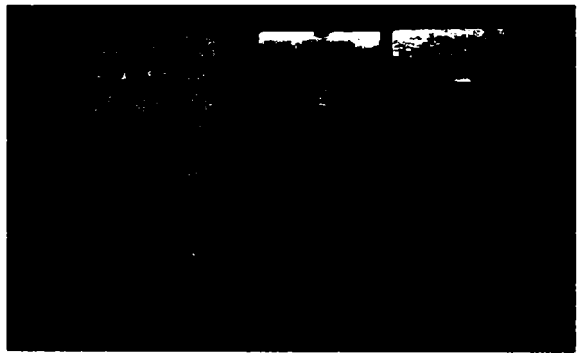


Figura 5.21 Depunere realizată prin sudare MAG-EB cu un electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 (WPS 4) şi atacată chimic cu H_2SO_4 + $Fe_2(SO_4)_3$

Determinarea temperaturii de corodare

Temperatura de corodare a epruvetelor prelevate din depunerile realizate cu electrozi tip SG-NiCr23Mo16 şi SG-NiCr21Mo9Nb s-a determinat conform ASTM G48.

Utilizând celelalte 2 epruvete rămase din fiecare material depus menţionat mai sus, se menţin epruvetele timp de 24 h într-un mediu coroziv la diferite temperaturi de corodare funcţie de tipul MD.

În tabelele 5.8 şi 5.9 sunt prezentate rezultatele obţinute pentru epruvetele prelevate din materialul depus SG-NiCr23Mo16 (S 5923).

Tabel 5.8 - Rezultatele obţinute prin aplicarea încercării conform ASTM G48 asupra probei S 5923-2

Tempe-ratura °C	Timpul h	Greutate initială g	Greutate finală g	Masa pierdută mg	Observaţii
80	24	17,1158	17,1153	0,5	nu s-a pus în evidenţă coroziune
85	24	17,1153	17,115	0,3	nu s-a pus în evidenţă coroziune
90	24	17,115	17,1149	0,1	nu s-a pus în evidenţă coroziune
95	24	17,1149	17,114	0,9	nu s-a pus în evidenţă coroziune
100	24	17,114	17,1064	7,6	nu s-a pus în evidenţă coroziune
105	24	17,1064	16,8857	220,7	Experiment stopat, datorită evidenţieri fenomenului de coroziune
integral	144	17,1158	16,8857	230,1	

BUPT

Tabel 5.9 - Rezultatele obţinute prin aplicarea încercării conform ASTM G48 probei S 5923-3

Temperatura °C	Timpul h	Greutate initială g	Greutate finală g	Masa pierdută mg	Observaţii
80	24	18,6388	18,6381	0,7	nu s-a pus în evidenţă coroziune
85	24	18,6381	18,6379	0,2	nu s-a pus în evidenţă coroziune
90	24	18,6379	18,6376	0,3	nu s-a pus în evidenţă coroziune
95	24	18,6376	18,6367	0,9	nu s-a pus în evidenţă coroziune
100	24	18,6367	18,6361	0,6	nu s-a pus în evidenţă coroziune
105	24	18,6361	18,0928	543,3	Experiment stopat, datorită evidenţieri fenomenului de coroziune
integral	144	18,6388	18,0928	546	

În tabelele 5.10 şi 5.11 se regăsesc rezultatele obţinute pentru epruvetele prelevate din materialul depus SG-NiCr21Mo9Nb (S 6020).

Tabel 5.10 - Rezultatele obţinute prin aplicarea încercării conform ASTM G48 probei S 6020-2

Temperatura °C	Timpul h	Greutate initială g	Greutate finală g	Masa pierdută mg	Observaţii
60	24	17,924	17,9059	18,1	Experiment stopat, datorită evidenţieri fenomenului de coroziune

Tabel 5.11 - Rezultatele obţinute prin aplicarea încercării conform ASTM G48 probei S 6020-3

Temperatura °C	Timpul h	Greutate initială g	Greutate finală g	Masa pierdută mg	Observaţii
60	24	16,2972	16,2969	0,3	nu s-a pus în evidenţă coroziune
65	24	16,2969	16,2968	0,1	nu s-a pus în evidenţă coroziune
70	24	16,2968	16,2969	-0,1	nu s-a pus în evidenţă coroziune
75	24	16,2969	16,2751	21,8	Experiment stopat, datorită evidenţieri fenomenului de coroziune
integral	96	16,2972	16,2751	22,1	

BUPT

Determinarea susceptibilităţii la coroziune conform EN ISO 3651-2

La aliajele CrNi determinarea rezistenţei la coroziune s-a realizat conform EN ISO 3651-2, încercarea efectuându-se conform metodei Strauss – metoda A.

Etapele parcurse pentru determinarea rezistenţei la coroziune au fost:

- Prelevarea a 3 epruvete la dimensiunile anterior prezentate 50 x 20 x 2 mm;
- Pregătirea mecanică, urmată de pregatirea chimică;
- Examinarea microscopică a epruvetelor, urmată de degresare;
- Fierberea epruvetelor timp de 20 ore în $CuSO_4$+ H_2SO_4;
- Îndoire pe dorn la 90° şi examinarea la mărime mică a suprafeţei convexe a epruvetelor (aproximativ 10X) pentru determinarea apariţiei fisurilor.

Literatura de specialitate menţionează importanţa păstrării unei epruvete martor pentru comparare în caz de atac intergranular semnificativ [10].

În figura 5.22 este prezentată epruveta după încercarea la coroziune pentru încărcarea prin sudate MAG–EB cu electrod bandă tip X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2.

Parametrii tehnologici de sudare pentru cele 2 epruvete îndoite pe dorn la 90° sunt prezentaţi în cadrul WPS 13 – anexa C.

Figura 5.22 – Determinarea susceptibilităţii la coroziune conform metodei Strauss a unei depuneri realizată prin sudare MAG-EB cu un electrod tip X 15CrNiMn 18 8 şi gaz tip Ar+2,5%CO_2

Se observă ductilitatea epruvetelor prelevate din proba sudată cu MA tip X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 şi important de specificat este lipsa totală a fisurilor în cazul celor 2 epruvete prelevate din probele realizate conform WPS 13.

Concluzie

Încercările la coroziune realizate au permis determinarea vitezei de corodare, a temperaturii maxime de corodare precum şi d-t---i---- ---i-t--ţ-i l- coroziune intergranulară pentru probele realizate prin încărcare prin sudare MAG-EB.

Rezultatele încercărilor de coroziune au fost:

- proba depusă cu electrod tip SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 are viteza de corodare Vk = 0,736 mm/an, în timp ce temperatura de corodare este de 105°C;
- proba depusă cu electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 are viteza de corodare Vk = 0,5 mm/an, iar temperatura de corodare este 75°C;
- proba depusă cu electrod tip X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 nu prezintă fisuri sau exfolieri în urma fierberii timp de 20 ore în $CuSO_4$+ H_2SO_4 şi îndoirii pe dorn la 90°.

BUPT

5.2.5 Încercarea la torsiune

Încercarea la torsiune a unor epruvete prelevate din probe încărcate prin sudare MAG-EB a fost realizată de către un laborator extern, iar epruvetele supuse încercării la torsiune au fost:

- SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; Qgaz = 20 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 680 A; f_p = 210 Hz din WPS 3 – anexa C;
- SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; Qgaz = 20 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 80 A; Ip = 710 A; f_p = 215 Hz din WPS 4 – anexa C;
- X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 ; Qgaz = 18 l/min; v_e = 15 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 5 mm; Ib = 300 A; Ip = 650 A; f_p = 230 Hz din WPS 13 – anexa C;
- SG-NiTi4 şi un gaz tip Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2; Qgaz = 18 l/min; v_e = 10 m/min; v_s = 85 cm/min; Rab = 4 mm; Ib = 460 A; Ip = 640 A; f_p = 195 Hz din WPS 17 – anexa C.

Încercarea la torsiune s-a realizat conform procedurii interne a VDM.

Aspectul probelor supuse încercării de torsiune este prezentat în figurile 5.23, 5.24. 5.25 i 5.26.

Figura 5.23 – Încercarea la torsiune a probei depuse prin sudare MAG-EB cu electrod tip SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2
WPS 3 – anexa C

Figura 5.24 – Încercarea la torsiune a probei depuse prin sudare MAG-EB cu electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2
WPS 4 – anexa C

Figura 5.25 – Încercarea la torsiune a probei depuse prin sudare MAG-EB cu electrod tip X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2
WPS 13 – anexa C

Figura 5.26 – Încercarea la torsiune a probei depuse prin sudare MAG-EB cu electrod tip SG-NiTi4 şi un gaz tip Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2
WPS 17 – anexa C

BUPT

După cum se poate observa din figurile 5.23 - 5.26, capacitatea la deformare plastică a tuturor epruvetelor este bună, neînregistrându-se fisuri sau exfolieri ale MD de pe suprafaţa MB.

Concluzie – capacitatea de deformare plastică a epruvetelor prelevate din probele realizate prin sudare MAG-EB cu electrozi tip SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; X 15CrNiMn 18 8 şi un gaz tip Ar+2,5%CO_2 şi SG-NiTi4 şi un gaz tip Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2 este bună deoarece nu s-au constatat fisuri în MD ca urmare a torsionării probelor.

5.2.6 Analiza chimică

Adiţional metodelor distructive anterior prezentate în timpul programului de cercetare MAG-EB, s-a efectuat analiza chimică pentru determinarea compoziţiei chimice reale a MB, MA, cât şi a MD, în vederea determinări valorilor diluţiei cu ajutorul formulei prezentate în subcapitolul 3.3.

Determinarea compoziţiei chimice a MB, MA şi MD s-a realizat prin analiză spectrală realizată în cadrul laboratoarelor SLV München, Universităţii Tehnice din München şi ale VDM.

În urma analizei spectrale realizate prin programul Nimonic, s-au determinat valorile concentraţiilor elementelor prezentate în tabelele A.1 şi A.5 – anexa A. În tabelul 5.12 sunt prezentate parţial compoziţii chimice obţinute prin programul Nimonic, rezultatele integrale ale acestui program se regăsesc în tabelele A1 şi A5 – anexa A.

Tabel 5.12 – Compoziţii chimice ale depunerilor realizate prin sudare MAG-EB

Proba depusa	C	Cr	Cu	Ni	Mn	Si	Mo	Fe	Alte elemente
Electrod tip SG-NiCr23Mo16 şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2; v_e = 15 m/min; Rab = 4 mm	0	24,5604	0,0064	58,58	0,2977	0,0001	16,7071	0,6372	rest
Electrod tip SG-NiCr21Mo9Nb şi gaz tip Ar+30%He+0,03%O_2 v_e = 10 m/min; Rab = 4 mm	0,016	21,8431	0,0149	55,9808	0,2348	0,0012	13,2016	4,7713	rest
Electrod tip SG-NiTi4 şi gaz tip Ar+30%He+2%H_2+ 0,055%CO_2; v_e = 10 m/min; Rab = 4 mm	0,004	0,01	0,01	94,891	0,36	0,42	0	1,1	rest
Electrod tip X 15CrNiMn 18 8 şi gaz tip Ar+2,5%CO_2; v_e = 15 m/min; Rab = 5 mm	0,08	18,841	0,06	8,742	4,56	0,85	0,108	66,553	rest
Electrod tip X 15CrNiMn 18 8 şi gaz tip 99%Ar + 1%O_2; v_e = 15 m/min; Rab = 5 mm	0,074	18,128	0,059	8,383	4,5	0,795	0,104	67,735	rest

BUPT

În cadrul SLV München s-au realizat analize spectrale ale epruvetelor din următoarele materiale:

- Compoziţia chimică a materialelor de bază: S 235JRG2, S 235J2G3 şi S 355J2G3;
- Compoziţia chimică a electrozilor bandă tip X 15CrNiMn 18 8 şi X 12CrNi 25 20;
- Compoziţia chimică a materialelor depuse cu electrozi bandă tip X 15CrNiMn 18 8 şi X 12CrNi 25 20.

Înregistrarea rezultatelor oferite de către laboratorul SLV München este prezentată în cadrul tabelului 5.12 şi integral în tabelele A.1, A.2 şi A.6 – anexa A.

Concluzie

Realizarea analizei chimice a oferit posibilitatea de a cunoaşte elementele chimice componente ale MD precum şi concentraţia acestora. Pe baza concentraţiei elementelor chimice s-au calculat ulterior valorile diluţiei metalului de bază în metalul depus.

BUPT

Cap 6. Comparaţie între sudarea MAG cu două sârme în varianta TANDEM şi MAG cu electrod bandă

Este bine cunoscut de către specialiştii din domeniu faptul că sudarea MAG cu două sârme în varianta TANDEM se poate aplica cu succes pentru operaţii de încărcare prin sudare datorită valorii mari a ratei depunerii oferite precum şi a vitezelor mari de sudare utilizate. S-a demonstrat de asemenea în cadrul capitolelor anterioare faptul că sudarea MAG-EB se poate aplica cu succes pentru operaţii de încărcare, datorită valorii mari a ratei depunerii obţinute şi vitezelor de sudare utilizate.

În concluzie întrebarea care se pune este următoarea: poate încărcarea prin sudare MAG-EB constitui o variantă viabilă de încărcare comparabilă cu încărcarea prin sudare MAG cu două sârme în varianta TANDEM? Dacă da, care sunt limitele şi/sau avantajele/dezavantajele încărcării prin sudare MAG-EB faţă de încărcarea prin sudare MAG cu două sârme în varianta TANDEM.

Figura 6.1 prezintă principiul variantei de sudare MAG cu două sârme în varianta TANDEM în comparaţie cu principiul variantei de sudare MAG cu electrod bandă.

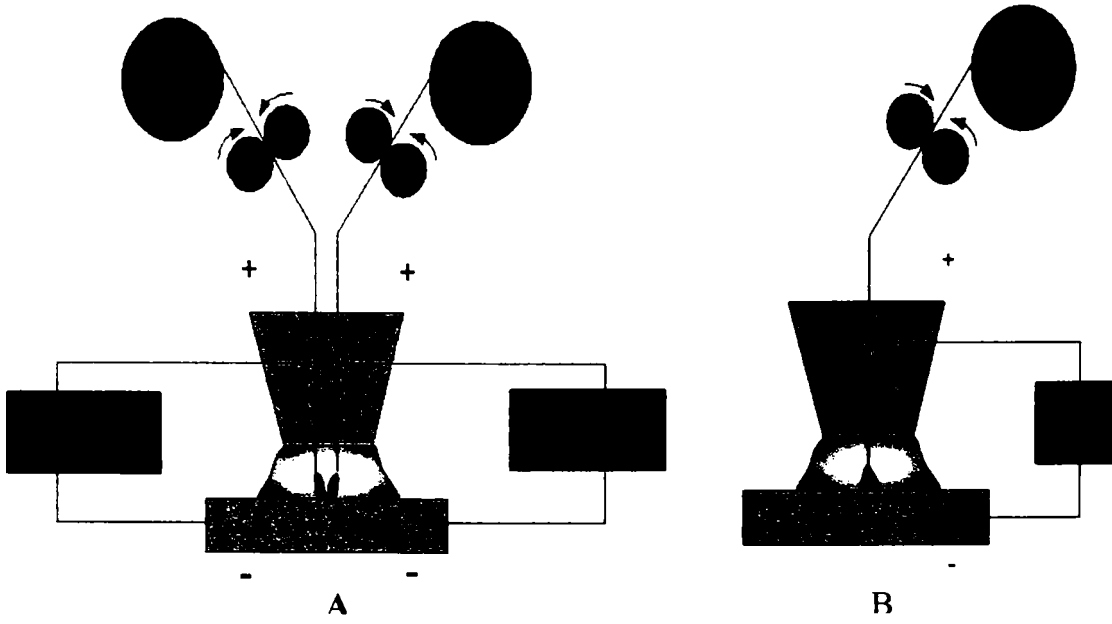


Figura 6.1 – Principiul sudării MAG cu două sârme în varianta TANDEM (A), principiul sudării MAG cu electrod bandă (B)

BUPT

Sudarea MAG cu 2 sârme în varianta TANDEM utilizează:

- două surse de sudare care oferă două potenţiale distincte pe cele 2 sârme electrod de diametrul 1.2 mm;
- două sârme electrod de diametre 1,0 mm; 1,2 mm sau 1,6 mm care trec prin două duze de contact complet separate;
- o singură duză de gaz care protejează cele 2 arce distincte şi baia metalică comună.

Deoarece există un electrod principal (conducător) şi un electrod secundar (condus), viteza de avans a celor două sârme poate fi diferită, astfel că arcul electrodului principal poate fi mai puternic decât cel al electrodului secundar. Electrodul principal (electrodul conducător) controlează rata depunerii şi adâncimea de penetrare, în timp ce electrodul secundar (electrodul condus) controlează forma sudurii.

Modurile de transfer aplicabile acestei variante MIG/MAG – IP sunt: spray arc, short arc sau pulsat.

Experimental s-a demonstrat obţinerea unor rate de depunere de 17 kg/h utilizând sârme cu diametre de 1,2 mm şi viteze mari de sudare care pot ajunge până la valori de 3 m/min.

Sursa de sudare utilizată la sudarea MAG cu electrod bandă este compusă din două surse de sudare legate în paralel, iar modul de operare al acestora este reglat prin intermediul unei inductanţe de echilibru (balancing inductance).

Sârma electrod aplatizată trece printr-o singură duza de contact, iar spaţiul de lucru este protejat prin intermediul unei duze de gaz. După cum s-a menţionat în cadrul capitolului 1, electrodul bandă are formă dreptunghiulară cu următoarele dimensiuni: 3.75 x 0.5 mm, 4.0 x 0.5 mm, 4.0 x 0.6 mm şi 4.5 x 0.5 mm.

Modurile de transfer aplicabile sudării MAG-EB cu electrod bandă sunt: spray arc sau pulsat.

Capitolele anterioare au demonstrat faptul că sudarea MAG-EB poate oferi rate ale depunerii de până la 15 kg/h la o viteza de sudare de 100 cm/min. Se poate însă suda MAG-EB cu viteze de sudare până la 160 cm/min [58].

În tabelul 6.1 se prezintă o comparaţie între parametrii de sudare utilizaţi la încărcarea prin sudare MAG cu două sârme în varianta TANDEM şi parametrii de sudare de la încărcarea prin sudare MAG cu electrod bandă utilizând aceleaşi tipuri de sârme: X 15CrNiMn 18 8 şi SG-NiTi4, respectiv acelaşi gaz de protecţie: Ar+2,5%CO_2 şi Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2.

Materialul de bază utilizat a fost S 235 (conform EN 10027-1), iar tipul transferului a fost pulsat pentru ambele variante de încărcare prin sudare.

Se poate constata că rata depunerii are valori similare pentru cele două variante, viteza de sudare fiind însă mai mare, iar energia liniară mai mica în cazul sudării în TANDEM. Datorită configuraţiei electrodului bandă distanţa dintre rânduri poate fi mai mare la această variantă, ceea ce are ca efect reducerea numărului de rânduri necesare pentru a acoperi o anumită suprafaţă şi, prin aceasta, compensarea în bună parte a diferenţelor de viteză de sudare. Diluţia la sudare are, de asemenea, valori apropiate la cele două procedee.

Existenţa unui electrod la sudarea MAG-EB necesită o singură sursă de sudare, pe când sudarea TANDEM două surse cuplate. Ca atare, echipamentul de sudare este mai simplu. Totodată, folosirea unui singur electrod înlătură problemele legate de menţinerea poziţiei sârmei principale în raport cu sârma secundară (în special în cazul suprafeţelor curbe) existente în cazul sudării MAG cu două sârme în varianta TANDEM.

Reducerea numărului de dispozitive de avans sârma DAS şi a numărului de duze de contact de la 2 bucăţi în cazul sudării MAG cu două sârme în varianta

BUPT

TANDEM la un singur DAS şi o singură duză de contact la sudarea MAG cu electrod bandă, duce la reducerea investiţiilor necesare pentru aplicarea în producţie a acestei variante de sudare MAG.

Tabel 6.1 – Comparaţie între parametrii de sudare MAG cu electrod bandă şi MAG în TANDEM

Parametrii de sudare	[UM]	MAG cu electrod bandă	MAG cu 2 sârme în TANDEM [13]	MAG cu electrod bandă	MAG cu 2 sârme în TANDEM [13]
Tipul sârmei electrod		X 15CrNiMn 18 8		SG-NiTi4	
Dimensiunea electrodului	[mm]	4.0x0.5	2 x 1,2	4.0x0.5	2 x 1,2
Poziţia de sudare		40°;110°	45°	35°; 110°	45°
Tipul gazului de protecţie		Ar+2,5%CO_2		Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2	
Tensiunea arcului	U [V]	28,5	30	36,5	32
Viteza de avans a sârmei	v_e [m/min]	15	14,0 / 9,0	10	12 /11
Debitul gazului de protecţie	Q [l/min]	18	20	18	18
Viteza de sudare	v_s [cm/min]	85	260	85	175
Curentul de bază	Ib [A]	300	20 / 11	460	54 / 52
Curentul de puls	I_p [A]	650		640	
Timpul de puls	t_p [ms]	3,3	1,6 / 0,7	2,5	1,1 / 1,3
Frecvenţa impulsurilor	F_p [Hz]	230	400	195	400
Lungimea liberă a sârmei	L [mm]	20	22	20	22
Energia liniară	kJ/cm	11,1	3,6	12,7	7,1
Distanţa dintre rânduri	Rab [mm]	5	3	4	3,5
Rata depunerii	Ad [kg/h]	14,22	12,3	10,68	13,4
Diluţia	p_{MB} [%]	3,77	1,2	1,07	8,3

BUPT

La încărcarea prin sudare MAG cu electrod bandă se poate obţine o valoare mai redusă a pătrunderii şi diluţiei faţă de valorile obţinute în cazul încărcării prin sudare cu două sârme în varianta TANDEM, printr-o poziţionare corespunzătoare a capului de sudare.

Ca urmare a formei alungite a băii metalice la sudarea MAG-EB se obţine o mai bună degazare a acesteia, ceea ce conduce la scăderea imperfecţiunilor de tip pori sau a fisurilor.

Preţul de cost al sârmei electrod, respectiv al duzelor de contact este mai ridicat la sudarea MAG-EB faţă de cazul sudării MAG cu două sârme în TANDEM.

Valoarea vitezei de sudare la încărcarea prin sudare MAG cu două sârme în TANDEM este superioară vitezei de sudare de la MAG-EB ceea ce duce la timpi mai reduşi de execuţie. Prin reducerea însă a numărului de rânduri depuse (ca urmare a distanţei mai mari dintre rânduri) necesare pentru acoperirea aceleaşi suprafeţe date S, se compensează diferenţa dintre timpii de execuţie.

Datorită dimensiunilor mari ale băii metalice la sudarea MAG-EB este necesară o protecţie suplimentară a acesteia.

Se poate concluziona faptul că cele două variante tehnologice MAG de mare productivitate sunt comparabile în ceea ce priveşte rata depunerii şi diluţia materialului de bază prin sudare. Deşi viteza de sudare este superioară în cazul sudării MAG în TANDEM, posibilitatea de reducere a numărului de rânduri în cazul sudării cu electrod bandă, respectiv simplificarea echipamentului de sudare şi reducerea numărului de parametrii de reglat, compensează în bună parte această diferenţă. O problemă dificilă însă care afectează, în prezent, eficienţa utilizării industriale a acestui procedeu de sudare este legată de lipsa unei fabricaţii industriale de electrozi bandă.

BUPT

Cap 7. Concluzii şi contribuţii personale

În urma realizării programului de cercetare teoretică şi experimentală prezentat în teza de doctorat au rezultat următoarele **concluzii**:

- Sudarea în mediu de gaz protector cu electrod fuzibil, sudarea MAG, este în prezent procedeul de sudare cu cel mai mare volum de aplicare industrială, dezvoltarea acestui procedeu figurând în programele de cercetare din întreaga lume. Una dintre direcţiile actuale prioritare de cercetare a procesului de sudarea MAG o reprezintă identificarea şi dezvoltarea unor noi soluţii pentru creşterea eficienţei procesului de sudare. Prin înlocuirea sârmei de sudare cu o bandă şi crearea variantei de sudare MAG cu electrod bandă se asigură o îmbunătăţire a eficienţei procesului de sudare.
- Teza de doctorat şi-a propus cercetarea particularităţilor acestei variante noi de sudare MAG pentru cazul utilizării în operaţii de încărcare prin sudare. La ora actuală procedeul nu se aplică în astfel de lucrări, literatura tehnică cuprinzând foarte puţine date privind această tematică. Există însă teme de cercetare recente în diferite centre de cercetare recunoscute, în special din Germania, care se referă la astfel de lucrări. Este de menţionat, de asemenea, interesul unor producători consacraţi de echipamente şi materiale de sudare pentru tematica respectivă. De altfel, partea experimentală a tezei a fost realizată la un institut de cercetare german cu sprijinul direct al unor astfel de producători.
- La baza tezei stă o analiză comparativă a particularităţilor principalelor variante moderne de procedee de sudare MAG de mare productivitate. O atenţie specială în această analiză a fost acordată modului de transfer al materialului prin arcul electric. Clasificarea existentă în literatura de specialitate a fost completată cu datele privind procedeul de sudare MAG cu electrod bandă.
- Programul experimental a avut în vedere următoarele obiective:
  - Cercetarea influenţei parametrilor de sudare MAG cu electrod bandă asupra procesului de încărcare prin sudare;
  - Determinarea variantei constructive optime a duzei de contact;
  - Evidenţierea gradului de uzură apărut la nivelul pieselor de ghidare a sârmelor plate;
  - Stabilirea parametrilor de sudare MAG-EB pentru obţinerea unor straturi depuse rezistente la coroziune;
  - Optimizarea poziţionării pistoletului de sudare şi a alegerii parametrului denumit "distanţă dintre rândurile depuse";
  - Optimizarea poziţionării electrodului bandă în raport cu direcţia de sudare;
  - Determinarea influenţei transferului picăturii prin spaţiul de arc asupra pătrunderii MD în MB şi a diluţiei;
  - Evaluarea influenţei calităţii suprafeţei sârmei plate asupra stabilităţii procesului de sudare şi a debitului de gaz asupra încărcării prin sudare MAG-EB.
- S-a evidenţiat experimental că rata depunerii creşte odată cu creşterea energiei liniare şi că este dependentă de tipul materialului de adaos.

BUPT

- A fost demonstrat faptul că creşterea distanţei dintre rânduri – Rab – duce la creşterea diluţiei şi că aceasta este independentă de tipul materialului de adaos şi regimul de sudare.
- A fost pusă în evidenţă că, creşterea frecvenţei pulsurilor duce la: creşterea ratei depunerii, a înălţimii şi lăţimii rândului depus.
- S-a relevat importanţa geometriei duzei de contact asupra stabilităţii procesului de sudare, în mod special, a arcului electric. A fost evidenţiată superioritatea variantei constructive cu lamele elastice şi distanţă variabilă în funcţie de grosimea electrodului bandă. În felul acesta există posibilitatea măririi suprafeţei de contact duză de contact – electrod, îmbunătăţindu-se astfel contactul electric, respectiv stabilitatea procesului de sudare.
- Au fost puse în evidenţă fenomenul de uzură la ghidarea electrodului bandă şi influenţa concepţiei constructive a sistemului de ghidare asupra intensităţii acestui fenomen. Din experimentări a rezultat că gradul de uzură al pieselor de ghidare este mai ridicat în cazul pieselor de ghidare fixe decât la piesele de ghidare mobile.
- În vederea unui mai bun control al căldurii introduse în piesă s-a remarcat necesitatea sudării în curent pulsat.
- S-a evidenţiat necesitatea asigurării unei protecţii suplimentare de gaz printr-o duză de gaz adiţionala. Această necesitate este datorată dimensiunii mari a băii metalice care poate avea o lungime până la 60 mm şi o laţime până la 20 mm.
- Calculul diluţiei materialului de bază prin sudare a arătat că la încărcarea MAG cu electrod bandă la o diluţie de cca 7% în primul strat, diluţia stratului al doilea devine neglijabilă (sub 1%). În felul acesta, spre deosebire de încărcarea sub strat de flux, la încărcarea MAG cu electrod bandă este suficientă depunerea unui singur strat pentru a asigura diluţii la valori care să conserve rezistenţa la coroziune a îmbinării sudate. Prin alegerea convenabilă a parametrilor de sudare pot fi obţinute diluţii în domeniul 1-5%. Rezultă, de aici, o eficienţă economică superioară a procedeului de încărcare MAG cu electrod bandă faţă de alte procedee concurente.
- Simularea câmpului termic la sudarea MAG-EB a evidenţiat valorile mai ridicate ale temperaturilor obţinute la această variantă tehnologică atât la nivelul MD cât şi al MB faţă de temperaturile obţinute la sudarea MAG cu sârma plină de ϕ1,6 mm.
- Forma duzei de contact influenţează direct fenomenul de uzură în timpul antrenării electrodului bandă.
- Utilizarea unei duze de contact care permite modificarea înălţimii canalului de trecere al sârmei reprezintă varianta optimă constructivă a capului de sudare MAG-EB prin reducerea ariei uzate a canalului de trecere a sârmei şi prin creşterea duratei de viaţă a duzei de contact. Aceste duze au durata de viaţă de peste 4 ore de funcţionare. În cazul unui canal de trecere a sârmei prin duza de contact, cu dimensiune constantă în interiorul canalelor s-a constatat o mişcare de rotire a electrodului bandă. Această mişcare duce la contacte aleatoare ale electrodului bandă cu pereţii canalului dreptunghiular al duzei de contact.

BUPT

- S-a evidenţiat influenţa poziţionării capului de sudare asupra valorilor diluţiei şi pătrunderii şi s-a efectuat delimitarea unui domeniu de valori unghiulare optime pentru care se asigură o stabilitate a arcului şi o valoare minimă a diluţiei $p_{MB} \in (1 - 5\%)$ la:
  - $\alpha \in [35° - 40°]$ - poziţionarea pistoletului faţă de planul orizontal,
  - $\beta = 110°$ (90°+20°) împins - poziţionarea pistoletului faţă de direcţia de sudare.

La o valoare mai redusă decât 35° a unghiului de poziţionare a pistoletului în raport cu poziţia orizontală (ex: $\alpha = 30°$), stropirile din baie sunt foarte puternice şi suprafaţa depunerilor este inestetică datorită stropirilor din baia metalică.

La o valoare mai mare de 40° a unghiului de poziţionare a pistoletului în raport cu poziţia orizontală (ex: $\alpha = 50°$) se obţin valori mari ale pătrunderii şi diluţiei.

- Distanţa dintre rânduri reprezintă un parametru necesar a se lua în calcul în cazul elaborării unei tehnologii de încărcare prin sudare. Valoarea acestui parametru depinde de gazul de protecţie ales şi implicit de valorile parametrilor de sudare. Scăderea distanţei între rândurile depuse conduce la creşterea diluţiei, a valorii pătrunderii şi la apariţia de defecte în depunere.
- Pentru obţinerea unei diluţii sub 5% şi a unor depuneri fără defecte se recomandă alegerea unei distanţe dintre rânduri de 4 mm, valoarea parametrului depinzând însă şi de ceilalţi parametri de sudare.
- La încărcarea prin sudare MAG-EB se recomandă poziţionarea transversală a electrodului în raport cu direcţia de sudare. În această situaţie se asigură o diluţie mai mică şi, fiind necesare un număr mai mic de rânduri depuse, o reducere a timpului de lucru faţă de situaţia în care electrodul este poziţionat longitudinal sau la un unghi de 45° faţă de direcţia de sudare.
- Modul de transfer al picăturii prin spaţiul arcului este influenţat de valoarea densităţii de curent $j_{\square}$ [A/mm^2], de timpul de formare al picăturii şi de efectul forţelor care acţionează asupra picăturii în favoarea desprinderii. Datorită formei dreptunghiulare a electrodului, modul de transfer al picăturii este influenţat adiţional de locul de formare al picăturii (poziţia ei în lungul benzii electrod).
- Transferul picăturii poate avea loc simetric sau asimetric în funcţie de poziţionarea petei arcului electric faţă de electrodul bandă: la mijlocul acestuia sau la extremitatea sa. Prin filmare rapidă s-a aratat că la sudarea MAG cu electrod bandă nu se produce o pendulare a arcului electric de-a lungul electrodului bandă (element specific sudării sub strat de flux cu electrod bandă).
- Pătrunderea MD în MB, respectiv valoarea diluţiei este mai mare în cazul formării picăturii simetric, decât în cazul formării picăturii asimetric în raport cu propria axa de simetrie a electrodului bandă. Lăţimea băii metalice – BM în cazul formării picăturii asimetric este mai mare decât în cazul formării picăturii simetric la mijlocul electrodului bandă. Pozitionarea picăturii la mijlocul electrodului bandă este indicată pentru sudurile de îmbinare, iar poziţionarea asimetrică asccendentă a picăturii în raport cu axa electrodului este recomandată la încărcarea prin sudare.
- Calitatea electrodului bandă influenţează stabilitatea arcului, uzura duzelor de contact şi a pieselor de ghidare a sârmei, respectiv posibilitatea de apariţie a imperfecţiunilor în depunere.

BUPT

- Pentru evaluarea caracteristicilor îmbinărilor depuse s-a derulat un program complex de încercare care a prevăzut aplicarea complementară de examinări nedistructive şi încercări distructive. Programul de examinări nedistructive a cuprins examinarea vizuală şi examinarea cu lichide penetrante. Ca metode de încercări distructive au fost luate în considerare examinarea macro şi microscopică, încercarea la îndoire, încercarea de duritate şi încercarea la torsiune. S-a efectuat, de asemenea, încercarea la coroziune. În acelaşi timp, au fost efectuate analize chimice prin metoda spectrală pentru toate combinaţiile de materiale utilizate.
- În urma controlului vizual efectuat în timpul şi ulterior sudării nu s-a constatat prezenţa fisurilor sau a porozităţilor la nivelul suprafeţei MD. Suprafaţa depunerilor prezintă un aspect uniform fără imperfecţiuni de tip incluziuni de zgură sau lipsă de topire. Caracteristicile geometrice ale depunerilor s-au încadrat în domeniile: lăţimea cusăturii $Lc \in (14 - 20)$ mm, iar înălţimea cusăturii $Hc \in (5 - 6,5)$ mm la valori ale pătrunderii de cca (0,5 – 1,5) mm.
- Singurele imperfecţiuni constatate la controlul cu lichide penetrante au fost, în cateva situaţii, pori izolaţi, acceptabili însă.
- Examinarea microscopică a identificat structuri tipice pentru materialele utilizate. Sudurile nu au prezentat imperfecţiuni în structură cu excepţia unor fisuri la cald apărute în cazul unor regimuri de încărcare prin sudare energo-intensive ca urmare a utilizării unei distanţe reduse între rânduri.
- Ductilitate metalului depus apreciată prin intermediul încercării de îndoire este în general bună, deoarece în majoritatea cazurilor nu au aparut fisuri la o îndoire la un unghi de 60°. Într-un singur caz acest criteriu nu a fost satisfacut, explicat însă prin prezenţa unor carburi la limita grăunţilor.
- Duritatea îmbinării sudate prezintă valori maxime în metalul depus, diferenţele de duritate dintre metalul de bază şi metalul depus fiind pentru toate cazurile sub valoarea 120 HV 10
- Încercările la coroziune efectuate au condus la rezultate corespunzătoare relevând viteze de corodare, respectiv temperaturi de corodare la nivelul celor uzuale pentru materialele de încărcare prin sudare utilizate.
- Capacitatea de deformare plastică a îmbinărilor sudate a fost evaluată şi prin încercarea la torsiune, nefiind constatată în nici o situaţie apariţia unor fisuri.
- Analiza chimică o oferit datele necesare pentru calculul diluţiei prin sudare. Pentru regimurile de sudare selectate au fost obţinute valori ale diluţiei sub 10%, în anumite regimuri sub 5%, ceea ce confirmă posibilitatea utilizării sudării cu electrod bandă pentru operaţii de încărcare.
- Au fost elaborate 12 tehnologii de încărcare prin sudare MAG cu electrod bandă folosind 6 tipuri de material de adaos rezistent la coroziune tip: SG-NiCr23Mo16, SG-NiCr21Mo9Nb, SG-NiTi4, X 15CrNiMn 18 8, X 12CrNi 25 20 şi SG-CuNi30Fe pentru care s-au obţinut o valoarea a diluţiei sub 5% în condiţiile operării cu o rata a depunerii de $Ad \in (10 - 15)$ kg/h.

BUPT

- Pentru a fundamenta aplicarea acestui procedeu la încărcarea prin sudare a fost efectuată o comparaţie cu procedeul de sudare MAG în TANDEM evidenţiindu-se avantajele, respectiv dezavantajele sale. Aspectele pozitive sunt deteminate de reducerea complexităţii sursei de sudare şi a gabaritului instalaţiei, dar mai ales de posibilitatea obţinerii unor valori mai reduse ale diluţiei materialului de bază la sudare. Un alt element favorabil este posibilitatea înclinării pistoletului de sudare la diferite unghiuri, ceea ce are ca efect reducerea pătrunderii sudurii sub 1,5 mm şi implicit a valorii diluţiei p_{MB} sub 5%. O astfel de posibilitate nu există la procedeele concurente. Pe de altă parte, aspectele negative se referă la preţul electrodului bandă, necesitatea unor sisteme speciale de antrenare a sa, respectiv la valorile relativ mai mici ale vitezelor de sudare aplicabile.
- Valoarea redusă a diluţiei $p_M \in (1 - 5\%)$, valorile mari ale vitezei de sudare $v_s \in (80 - 120$ cm/min), precum şi rata de depunere $Ad \in (9 - 15$ kg/h) oferită de încărcarea prin sudare MAG cu electrod bandă recomandă acest procedeu ca variantă de încărcare prin sudare de înaltă productivitate alături de încărcarea prin sudare MIG/MAG cu două sarme în varianta TANDEM.

În final, se apreciază că procedeul de sudare MAG cu electrod bandă este o variantă fezabilă ce trebuie luată în considerare în programele de cercetare viitoare ce urmăresc creşterea eficienţei şi calităţii operaţiilor de încărcare prin sudare. În prezent, prin cercetările efectuate, inclusiv cele cuprinse în teza de doctorat, s-au creat premizele ştiinţifice şi tehnice necesare implementării industriale a procedeului.

Lipsa informaţiilor referitoare la sudarea MAG cu electrod bandă din Romania, respectiv precaritatea celor apărute în literatura internaţională, a informaţilor referitoare la utilizarea acestui procedeu, în mod special a celor referitoare la încărcarea prin sudare confera tezei un grad mare de noutate.

Principalele **contribuţii ştiinţifice ale tezei** sunt următoarele:

- S-au realizat 33 de variante tehnologice utilizând montajul experimental C, din care s-au ales un număr de 4 variante tehnologice reprezentative.
- S-au studiat 76 variante tehnologice utilizând montajul experimental F şi s-au ales un număr de 20 de variante tehnologice reprezentative.
- Folosind datele parţiale ale tezei a fost publicat 1 articol în literatura de specialitate şi s-a realizat o prezentare publică în cadrul unei conferinţe internaţionale de sudură.
- Clasificarea existentă în literatura de specialitate a fost completată cu datele privind procedeul de sudare MAG cu electrod bandă.
- Evidenţierea particularităţilor procesului de încărcare prin sudare MAG cu electrod bandă şi în mod special:
    - necesitatea unei protecţii adiţionale a băii metalice ca urmare a dimeniunilor mari ale acesteia;
    - delimitarea unor domenii de valori unghiulare în vederea optimizării poziţionarii electrodului bandă în planul vertical al sudurii faţă de suprafaţa materialului de bază MB la (35° - 40°), şi faţă de direcţia de sudare 110°;
    - poziţionarea transversală a electrodului bandă în raport cu axa sa de simetrie;
    - evidenţierea importanţei parametrului "distanţă dintre rânduri";

BUPT

- fundamentarea utilizării unei variante constructive a duzei de contact la care înălţimea canalului de trecere a sârmei este modificabilă şi a necesităţii unor piese de ghidare a sârmei mobile şi a unui dispozitiv de avans a sârmei mobil pentru stabilitatea procesului de sudare;
- fundamentarea prin filmări rapide a transferului de material prin spaţiul arcului, a faptului că în cazul sudării MAG cu electrod bandă nu apare o pendulare a arcului în lungul benzii electrod asemănător cu cazul sudării sub flux cu bandă;
- optimizarea poziţionării capului de sudare la: 110° faţă de direcţia de sudare, respectiv (35° – 40°) faţă de planul orizontal, cu formarea arcului electric asimetric ascendent pentru a asigura o valoare minimă a pătrunderii (sub 1,5 mm) şi o valoare a diluţiei sub 5%;
- optimizarea constructivă a capului de sudare în vederea creşterii duratei de viaţă a duzei de contact prin prevederea posibilităţii de modificare a înălţimii canalului de trecere al sârmei.

- 12 tehnologii de încărcare prin sudare MAG cu electrod bandă folosind 6 tipuri de material de adaos rezistent la coroziune tip: SG-NiCr23Mo16, SG-NiCr21Mo9Nb, SG-NiTi4, X 15CrNiMn 18 8, X 12CrNi 25 20 şi SG-CuNi30Fe pentru care s-a obţinut o valoare a diluţiei sub 5% în condiţiile operării cu o rată a depunerii Ad∈ (10 – 15) kg/h. Aceste tehnologii au condus la obţinerea unor straturi rezistente la coroziune.

Ca **direcţii de cercetare pentru viitor** se menţionează următoarele:

- Extinderea volumului de investigaţii asupra caracteristicilor îmbinărilor sudate pentru a fundamenta în mod obiectiv domeniile şi condiţiile de aplicare efectivă a procedeului.
- Aprofundarea studiului transferului de material prin spaţiul arcului şi definirea efectelor forţelor care duc la transferul asimetric al picăturii.
- Realizarea unei comparaţii între simulările ciclurilor termice apărute la încărcare prin sudare MAB-EB şi încărcarea prin sudare MAG cu două sârme în TANDEM.
- Realizarea unui studiu comparativ între încărcarea prin sudare MAG-EB şi încărcarea prin sudare SF cu electrod bandă.
- Aprofundarea studiului asupra segregaţiilor, a structurilor apărute la sudarea MAG-EB şi a tensiunilor introduse în piesă ca urmare a valorilor ridicate ale temperaturilor dezvoltate la sudare.
- Utilizarea unor benzi tubulare pentru mărirea plajei de aliere a depunerilor realizate prin sudare MAG-EB.

BUPT

Bibliografie

1 ***ALLEN, D.; KELLY, T.***
Cold weld repair - development and application

2 ***AMMAN, T.***
Getting the mixture right!
Linde - KnowHow, 1/2001, pag. 4 – 7

3 ***APPEL, L.; SERVE, M.; BAUM, L.; CRAMER, H.***
Hochwertiges und wirtschaftliches Beschichten durch MSG-Tandemschweißen
Schweissen & Schneiden, 54 / 2002, pag. 370 – 377

4 ***ASME IX***
Article IMA - 4000 Repair and replacement

5 ***ASRO & ASR***
Colecţia de standarde comentate în domeniul sudării şi tehnicilor conexe - Vol. II
Editura Sudura, Timişoara, 2001

6 ***ASRO & ASR***
Încercări nedistructive şi distructive ale îmbinărilor sudate şi lipite
Editura Sudura, Timişoara, 2002

7 ***BAUM L., FICHTER V.***
Der Schutzgasschweißer – Teil II: MIG/MAG Schweißen
Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren DVS - Verlag GmbH, Düsseldorf, 1999

8 ***BAUM, L.; KNOCH, R.***
Höhere Wirtschaftlichkeit durch MAG-Hochleistungsschweißverfahren
DVS Berichte – Band 183 1997, SLV München GmbH, München, 1997

9 ***BECKERT M., NEUMANN A.***
Grundlagen der Schweißtechnik - Schweißverfahren
Verlag Technik GmbH Berlin, München, 1993

10 ***BINCHICIU, H.; SURGEAN, I.; POPA, I. E.; IOVĂNAŞ, R.***
Încărcarea prin sudare cu arcul electric
Ed. Tehnică, Bucureşti, 1992

11 ***BÖHME, D.; SERVE, M.; BAUM, L.; APPEL, L.; CRAMER, H.***
MIG/MAG Tandem Surface - Layer Welding / Corrosion-, Temperature-, Wear resistant, coating with low dilution, level high deposit and area efficiency
Conferinţa "Sudarea în mediu de gaz protector / Echipamente technologii aplicaţii", Timişoara, 12 - 13 Iunie, 2002

BUPT

12 ***BÖHME, D.; SERVE, M.; BAUM, L.; APPEL, L.; CRAMER, H.***
Tandem hardfacing by welding in gas-shielded arc welding - corrosion, temperature and wear resistant coatings with high deposition rate

13 ***BÖHME, D.; SERVE, M.; BAUM, L.; APPEL, L.; CRAMER, H.***
Werkstoffkundliche Bewertung von mit dem MIG / MAG - Tandemschweißen hergestellten Auftragschichten
Bericht SLV München, 2001

14 ***BRUCKNER, J.***
The CMT – process – a revolution in welding technology
Proceedings of Congress „Welding and joining technologies for a sustainable development and environment", 2006, pag. 99 – 109

15 ***BURCĂ, M.; NEGOIŢESCU, S.***
Sudarea MIG / MAG
Editura Sudura, Timişoara, 2002

16 ***BURCĂ, M.; ŢUNEA, D.***
Tehnologia sudării prin topire
Universitatea "Politehnica" Timişoara, Timişoara, 1993

17 ***CERJAK, H.***
La modélisation en soudage: Un outil pour une technologie de soudage moderne?
Soudage at techniques connexes, Mai - Juin 2000, pag. 35 – 41

18 ***CERJAK, H.; KOZESCHNIK, E.***
Current status in the mathematical modelling of weld phenomena
Proceedings of Congress „Welding and joining technologies for a sustainable development and environment", 2006, pag. 46 – 52

19 ***CONSTANTIN, E.; MISTODIE, L.***
Quality assessment of GMAW-P welding through real-time control system using HDRC camera
Proceedings of Congress „Welding and joining technologies for a sustainable development and environment", 2006, pag. 110 – 118

20 ***DEHELEAN, D.***
Metode de optimizare în sudură
Referat doctorat, 1974

21 ***DEHELEAN, D.***
Sudarea prin topire
Editura Sudura, Timişoara, 1997

22 ***DILTHEY, U.; STEIN, L.***
Welding and joining – Key technologies for the future
Proceedings of Congress „Welding and joining technologies for a sustainable development and environment", 2006, pag. 33 – 45

BUPT

23 ***DUMBRAVĂ. D.; APOSTOL, O; STANCU, V.***
Proiectarea structurilor sudate asistată de calculator
Universitatea "Politehnica" Timişoara, Timişoara, 1995

24 ***DUMITRESCU, T.; SUBU, T.; BILEK, L; RUSU, L.; VERBIŢCHI, V.; REINERT, R:***
Tehnologii pentru creşterea rezistenţei la uzare
OIDCM, Bucureşti, 1985

25 ***DZELNITZKI, D.***
Vergrößerung des Einbringvolumens oder Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit? – Vorteile des MAG Hochleistungsschweißen
EWM, Mündersbach, 2000

26 ***FRANZ U., CRONACHER F.***
Einlagiges MAG-Engspaltschweißen in senkrechter Position mit Füllbandelektrode – Teil 1
Der Praktiker, 5 / 98, pag. 159 – 166

27 ***FRANZ U., CRONACHER F.***
Einlagiges MAG-Engspaltschweißen in senkrechter Position mit Füllbandelektrode – Teil 2
Der Praktiker, 7 / 98, pag. 224 – 230

28 ***FRENCH, S.; RUMBAUGH, K.; HULSIZER, P.; JIRINEC, M.; STAMPER, D.***
Fireside corrosion - erosion mitigation via the application of weld metal overlay

29 ***GERBERT, D.***
Les procédés de rechargement, Souder, 2 / 1991

30 ***GOECKE S., LUNDIN M., etc.***
Tandem MIG/MAG, Svetsaren, 2 – 3 / 2001

31 ***HACKL, H.***
TIME TWIN – Schneller MSG-Schweißen mit zwei Drahtelektroden
Fronius Schweißmaschinen KG

32 ***HERMANN, J.; STRÖFER, M.; POMMER, S.; CRAMER, H.***
MAG - Auftragschweißen mit Flachdrahtelektroden
Schweißen & Schneiden, 4 / 2006, pag. 169 – 176

33 ***HIMMELBAUER K.***
Neuentwicklungen auf dem Gebiet der Hochleistungsschweißverfahren
Schweiss & Prüftechnik, 5 / 2003, pag. 71 – 74

34 ***HIMMELBAUER K.***
Schutzgasschweißen mit Flachdrahtelektoden
Schweiss & Prüftechnik, 3 / 2002, pag. 34 – 35

35 ***HIMMELBAUER K.***
TIMETWIN digital. Höchste Abschmelzleistungen durch zwei Drahtelektroden
Fronius International GmbH, Wels

BUPT

36 ***JONI, N.***
Soluţii moderne privind implementarea roboţilor industriali pentru sudarea MIG/MAG şi pentru procesele de tăiere
Teză de doctorat / Universitatea „Transilvania" Braşov, 2003

37 ***JUNE, C - D.; BÖHME, D.; POMMER, S.***
MAG surfacing with strip electrode – a new alternative for surfacing by welding
Proceedings of Congress „Welding and joining technologies for a sustainable development and environment", 2006, pag: 141 – 149

38 ***JUNE, C - D.; BÖHME, D.; POMMER, S., BAUM, L.; HÖLLDOBLER, S.***
Încărcare prin sudare MAG cu electrod bandă
Revista BID nr. 4/2005, pag: 3 – 11

39 ***JUNO, K.; STOCKINGER, M.; CERJAK, H.; BUCHMAYR, B.***
Moderne Trends beim MAG-Schnweißen
Schweiss- & Prüftechnik, 06 / 2002, pag. 82 – 87

40 ***KIM, D.; RHEE, S:***
Optimization of arc welding process parameters using a genetic algorithm
Welding Research Supplement, July 2001, pag. 184s - 189s

41 ***MENDEZ, P. F.; EAGAR, T. W.***
Penetration and defect formation in high-current arc welding
Welding Journal, October / 2003, pag. 296s - 306s

42 ***MENZEL, F.***
Kein Widerspruch zwischen Effizienz und Flexibilität
Technica, 12 / 2004, pag. 50 – 55

43 ***MESTDAGH, M.***
Développements dans le domain du rechargement de couches anti-usure
Revue de la soudure, 2/1999

44 ***MICLOŞI, V.; SCOROBEŢIU, L.; JORA, M.; MILOŞ, L.***
Bazele proceselor de sudare
Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982

45 ***MIKLOS E.***
Aktuelle Prozessvarianten des MAG-HL-Schwißens
Internationales Aachener Schweisstechnik Kolloquium, 3 – 4 Mai 2001 / Shaker Verlag GmbH, Aachen, 2001

46 ***MIKLOS, E.; MOLNAR, R..***
Sudarea TANDEM – procedeu modern de mare randament
Editura Sudura, Timişoara, 2004

47 ***MILOŞ, L.***
Bazele prelucrării prin sudare
Editura "Politehnica" Timişoara, Timişoara, 2003

BUPT

48 ***MITELEA, I.; BUDĂU, V.***
Materiale şi tratamente termice pentru structurile sudate
Editura De Vest, Timişoara, 1992

49 ***MOREHEAD, T.***
Automatic Multiwire GMAW Multiplies Productivity / Doubling welding wires can more than double production line throughput
Welding Journal, June / 2003, pag. 40 – 44

50 ***NICHICI, A.; CICALA, E. F.***
Introduction in the strategy of materials laser cutting process optimization

51 ***NORDBRUCH, S.; GRÄSER, A.***
Statistical PGMAW process optimization using visual and electrical data
"Sheet Metal Welding Conference X", Sterling Heights, Michigan, USA, May 15 - 17, 2002

52 ***NORDBRUCH, S.; TSCHIRNER, P.; GRÄSER, A.***
Visual online monitoring of PGMAW without a lighting unit

53 ***PEKKARI, B.***
The welding world is changing
Proceedings of Congress „Welding and joining technologies for a sustainable development and environment", 2006, pag. 19 – 32

54 ***PERTENEDER, E.; DÖRFLER, R.; POSCH, G.; TÖSCH, J.; ZIEGERHOFER, J.***
MAG - Schweißen unlegierter und hochlegierter Stähle mit Fülldrahtelektroden - dargestellt aus der Sicht eines Schweißzusatzherstellers
Schweiss- & Prüftechnik, 09 / 2001, pag. 130 – 135

55 ***POPOVICI, V.; ŞONTEA, S.; POPA, N.; ŞARLAU, C.; MILOŞ, L..; NANU, S.***
Ghidul lucrărilor de sudare, tăiere, lipire
Editura Scrisul românesc, Craiova, 1984

56 ***POPOVITS, D.; SUBU, T.***
Bimetale
Editura Facla, Timişoara, 1982

57 ***QUINTANA, M. A.; BARTON, D.; HSU, C.***
Novel optimization methodology for welding process / consumable integration
Report, January 1, 2002

58 ***REHFELDT D., POLTE T., FRANZBECKER H., LÜBBERS R., ROSTEK W.***
Application potential of gas-shielded metal-arc welding with a strip electrode
Welding and Cutting, 6 / 2002, pag. 299 - 303

59 ***SAFTA, V.***
Controlul îmbinărilor şi produselor sudate
Editura Facla, Timişoara, 1986

BUPT

60 ***SĂLAGEAN, T.***
Optimizarea proceselor de sudare
Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timişoara, 1984

61 ***SĂLAGEAN, T; VODĂ, M***
Aspecte economice ale tehnologiei sudării
OIDCM, Bucureşti, 1986

62 ***SĂLAGEAN, T; VODĂ, M; MĂLAI, D.***
Optimizarea sudării cu arcul electric
Editura Tehnică, Bucureşti, 1988

63 ***SARBU, I.***
Tehnologia sudării prin topire
Editura Tehnică - INFO, Chişinau, 2000

64 ***SAUNDERS, H. L.***
MIG/MAG welding guide
The Lincoln Electric Company, Cleveland, 9 / 1998

65 ***SCHELLHASE M.***
Der Schweißlichtbogen – ein technologisches Werkzeug
VEB Verlag Technik, Berlin,1985

66 ***SCHOLZ E.***
MSG – Schweissen mit Flachdrachtelektrode
Technica, 5 / 2002, pag. 54 – 60

67 ***SCHOLZ E.***
MSG – Schweissen mit Flachdrachtelektrode
Grünstadt, 2000

68 ***SEVER, J.***
Metode de optimizare pentru sisteme tehnologice cu aplicare în tehnica sudării
OIDCM, Bucureşti, 1986

69 ***SMOLIN, R:***
Teurer heisst nicht immer weniger wirtschaftlich
Technica, 10 / 2003, pag. 68 – 74

70 ***SUBAN M., TUSEK J.***
Dependence of melting rate in MIG/MAG welding on the type of shielding gas used

71 ***SUBU, T; DUMITRESCU, T.; STOIAN, T.; CĂLĂRAŞU, S.; PETRAŞCU, I.***
Încărcarea prin sudare şi metalizare pentru recondiţionarea pieselor şi fabricarea de piese noi
OIDCM, Bucureşti, 1992

72 ***SUGITANI, Y.; KANJO, Y***
CIM in welding fabrication
IIW - Doc. XII - 1497-1997

BUPT

73 ***TROMMER, G.***
Hochleistungs – Schweißen: Ein Schlagwort und vier Alternativen
Fronius International GmbH

74 ***TRUBE, S.; LADI; Z.***
Einfluß der Schutzgas-Draht-Kombination auf die Stabilität der Werkstoffübergänge beim MAG - Hochleistungsschweißen
Schweissen & Schneiden, 12 / 95, pag. 986 – 991

75 ***TRUBE, S.; MIKLOS, E.***
MAG-Hochleistungsschweißen mit dem LINFAST - Konzept
Berichte aus Technik und Wissenschaft 77/1998,
Höllriegelskreuth, pag. 15 – 20

76 ***TRUŞCULESCU, M.***
Studiul metalelor
Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1977

77 ***TSUBOI, R.; ASAI, S.; TAKI, K.; USHIO, M.***
Application of laser sensor for automatic welding in Japan
Lisbon, IIW - Commission XII, 1999

78 ***WESLING, V., TUCHFELD, J., STRÖFER, M.; HERMANN, J.***
Untersuchungen zum Metall-Schutzgasschweißen mit Flachdrahtelektrode von Aluminiumwerkstoffen
Schweißen & Schneiden, 8 / 2005, pag. 378 – 383

79 Bandschweißen, ein hochleistungsfähiger MIG/MAG Prozess
Schweiss & Prüftechnik 05/2001

80 EN 10027-1 - Sisteme de simbolizare pentru oţeluri - Partea 1: Simbolizarea alfanumerică; simboluri principale

81 EN ISO 3651 – 1, 2 – Determinarea rezistenţei la coroziune intergranulara

82 High-Performance welding on the up and up
Fronius Magazine, 01 / 2003

83 Hochleistungs – Schweißen im Kommen. Präsentation neuer Trends auf der EuroBlech in Hannover
Fronius International GmbH, 2002

84 ISO 6947 - Poziţii de lucru. Definiţiile unghiurilor de înclinare şi de rotire

85 ISO 857-1 / 1998 - Welding and allied processes -Vocabulary - Part 1: Metal welding processes

86 Merkblatt DVS 0909-1, 2 / Grundlagen des MSG-Hochleistungsschweißens mit Massivdrahtelektroden
Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren DVS – Verlag GmbH, Düsseldorf, Septembrie 2000

BUPT

87 Merkblatt DVS 0945/1997 - Fülldrähte, Füllbänder und Sinterbänder für das Auftragschweißen
Deutscher Verlag für Schweißtechnik DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf, März 1997

88 Schutzgasschweißen mit Flachdrahtelektroden
Prezentare, Benteler-AG

89 Shielding gases. Development. Consulting. Application
Linde AG, Höllriegelskreuth

90 SR EN 10025 + A1 - Produse laminate la cald din oţeluri de construcţie nealiate. Condiţii tehnice de livrare

91 SR EN 1043 – 1/2 – Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice. Încercarea de duritate / microduritate a îmbinărilor sudate

92 SR EN 1321 – Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice. Examinarea macroscopică şi microscopică a îmbinărilor sudate

93 SR EN 25817 - Îmbinări sudate cu arc electric din oţel. Ghid pentru nivelurile de acceptare a defectelor

94 SR EN 439 - Materiale pentru sudare consumabile. Gaze de protecţie pentru sudare şi tăiere cu arc electric

95 SR EN 440 - Materiale pentru sudare consumabile. Sârme electrod şi depuneri prin sudare pentru sudare cu arc electric în mediu de gaz protector cu electrod fuzibil a oţelurilor nealiate şi cu granulaţie fină

96 SR EN 571 -1 – Examinări nedistructive. Examinări cu lichide penetrante

97 SR EN 970 – Examinări nedistructive ale îmbinărilor sudate prin topire. Examinarea vizuală

98 SR ISO 910 – Materiale metalice. Încercarea la îndoire

99 TANDEM MIG Pocess
The Lincoln Electric Company, Cleveland, 4 / 1999

100 The shielding gas handbook
Lidingö, Sweden, AGA AB

101 Untersuchungen zum MSG-Auftragschweißen mit Flachdrahtelektroden / Bericht 5133/2005
SLV München, Niederlassung der GSI mbH München, 2005

BUPT

ANEXA A

Tabel A.1

Sarma	Lot / Obs	Mat. No.	C	Cr	Cu	Ni	Mn	Si	Mo	Fe	P	Al	W	Ti	Nb
G4Si1			0,06 - 0,14			0.15	1,60 - 1,90	0,80 - 1,20	0.15		0.025	0.02		0.15	
SG-NiCr23Mo16	130527	2.4607	0.004	22.65	0.01	60.68	0 16	0.04	15 4	0.63	0 004	0 15	0 02	0 01	0.05
SG-NiCr23Mo16	Analiza spectrala	2.4607	0	25.0874	0.0062	56.8157	0.3071	0.0001	16.6419	0.4724	0.0108	0.1596	0.1151	0	0.0576
SG-NiCr23Mo16	Analiza spectrala	2.4607	0	24.837	0.006	58.017	0.3024	0.0001	16.6822	0.4516	0.0108	0.1664	0.1114	0	0.0562
SG-CuNi30Fe	122561	2.0837	0.027		67.7	30.6	0 7	0.06		0 48	0.002	0 01		0 32	
SG-NiTi4	132282	2.4155	0.003		0.01	95.9	0 3	0.4		0.04	0 002	0.02		3 1	< 0,001
SG-NiCr21Mo9Nb	130579	2.4831	0.017	22.15	0 02	63.96	0 06	0.07	9 1	0 65	0 006	0 1	0.02	0 19	3.55
SG-NiCr21Mo9Nb	Analiza spectrala	2.4831	0.0037	23.2135	0.0156	58.821	0.2616	0.0001	13.7559	0.5573	0.017	0.1351	0.0817	0	3.426
X 15CrNiMn 18 8		1.4370	0.048	19.63	0.063	9.31	4 93	0.893	0 108	64.81	0.0134	0.001			
X 15CrNiMn 18 8	Analiza spectrala	1.4370	0.066	19.591	0.063	9.186	4.65	0.838	0.112	65.286	0.0168	< 0,0010	< 0,010	0.0059	0.015
X 12CrNi 25 20		1.4842	0 08	24.31	0 029	21 17	2 84	0 953	0 059	50 43	0.0097	0 001			
X 12CrNi 25 20	Analiza spectrala	1.4842	0.108	24.501	0.034	20.859	2.67	0.882	0.064	50.733	0.0148	< 0,0010	< 0,010	0.0065	0.009

Tabel A.2

MB conform EN 10027-1	Obs	MB conform EN 10027-2	C	Mn	Si	P	S	N	Al	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe
S 235JRG2	Analiza spectrala	1.0038	0.101	0.848	0.496	0.0108	0.0193		0.0113	0.08	0.059	0.027	0.245	98.084
S 235J2G3	Analiza spectrala	1.0116	0.149	0.605	0.16	0.0135	0.0233	0.008	0.0631	0.04	0.03	0.008	0.028	98.863
S 355J2G3	Analiza spectrala	1.0570	0.111	1.148	0.187	0.007	0.001		0.03	0.129	0.031	0.003	0.126	98.204

Tabel A.3

Gaze de protectie utilizate		Conform EN 439
Cronigon He 30 S	Ar+30%He+2%H_2+0,055%CO_2	M 11 (1)
Varigon He 30 S	Ar+30%He+0,03%O_2	M 13 (1)
Cronigon S1	99%Ar + 1%O_2	M 13
Cronigon 2	Ar+2,5%CO_2	M 12

BUPT

ANEXA A

Tabel A.4

Sarma	Tip	Densitate g/cm3
Nicrofer S 5923	SG-NiCr23Mo16	8.6
Cunifer S 7030	SG-CuNi30Fe	8.9
Nickel S 9604	SG-NiTi4	8.9
Nicrofer S 6020	SG-NiCr21Mo9Nb	8.5
Thermanit X	X 15CrNiMn 18 8	7.9
Thermanit C	X 12CrNi 25 20	7.9

Rezultate analiza spectrala SLV - Munchen

Tabel A.6

Proba	C	Cr	Cu	Ni	Mn	Si	Mo	Fe	P	Al	W	Ti	Nb
X 15CrNiMn 18 8_Ar+2 5%CO2_Ve15_Rab5	0.08	18.841	0.06	8.742	4.56	0.85	0.108	66.553	0.0159	< 0.001	< 0.010	0.0055	0.014
X 15CrNiMn 18 8_99%Ar + 1%O2_Ve15_Rab5	0.074	18.128	0.059	8.383	4.5	0.795	0.104	67.735	0.0153	< 0.001	0.01	0.0055	0.014
X 12CrNi 25 20_Ar+2 5%CO2_Ve15_Rab5	0.124	22.38	0.029	19.073	2.512	0.835	0.061	54.839	0.0138	0.0019	< 0.01	0.0065	0.008
X 12CrNi 25 20_Ar+2 5%CO2_Ve15_Rab5_electrod longitudinal	0.119	22.378	0.029	19.101	2.503	0.846	0.061	54.813	0.0132	0.0043	< 0.01	0.0065	0.008
X 12CrNi 25 20_Ar+2 5%CO2_Ve15_Rab5_electrod transversal	0.119	22.32	0.03	19.004	2.501	0.833	0.061	54.988	0.0134	0.0012	< 0.01	0.0063	0.008

BUPT

ANEXA A

Rezultate analiza spectrala Fachhochschule FH-Munchen - programm NIMONIC **Tabel A.5**

Proba	C	Cr	Cu	Ni	Mn	Si	Mo	Fe	P	Al	W	Ti	Nb
SG-NiCr23Mo16_Ar+30%He+0,03%O2_Ve15_Rab4	0	24.5604	0.0064	58.58	0.2977	0.0001	16.7071	0.6372	0.0107	0.1527	0.1054	0	0.0549
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0,03%O2_Ve15_Rab4	0.0082	22.9389	0.0142	59.192	0.2641	0.0001	13.6946	1.026	0.0168	0.136	0.0594	0	3.3983
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+2%H2+0.055%CO2_Ve10_Rab3	0.0279	19.0906	0.0391	50.713	0.1657	0.0753	11.801	14.5574	0.0127	0.0743	0.039	0	2.8307
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+2%H2+0,055%CO2_Ve10_Rab3,5	0.0281	19.0851	0.04	50.4185	0.1651	0.0792	11.7682	14.7592	0.0126	0.0741	0.038	0	2.8235
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Rab4	0.016	21.8431	0.0149	55.9808	0.2348	0.0012	13.2016	4.7713	0.0155	0.1276	0.0509	0	3.2532
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Rab4,5	0.029	20.1026	0.017	52.1885	0.1897	0.0332	12.3387	10.9507	0.0144	0.0957	0.0433	0	3.0015
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Rab5	0.039	18.9716	0.0184	50.025	0.1654	0.0601	11.7423	15.1098	0.0136	0.0709	0.0365	0	2.8318
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Lage1	0.0177	20.8859	0.0268	53.7422	0.2139	0.0224	12.8148	7.5963	0.0136	0.1139	0.0441	0	3.1539
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Lage2	0.0089	22.6765	0.0139	57.9707	0.2551	0.0001	13.7932	0.9027	0.0155	0.1489	0.0511	0	3.4687

BUPT

ANEXA A

Tabel A.7

Proba	p_{MB} [%]
SG-NiCr23Mo16_Ar+30%He+0,03%O2_Ve15	0.19
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0,03%O2_Ve15	0.48
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+2%H2+ 0,055%CO2_Ve10_Rab3	14.36
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+2%H2+ 0,055%CO2_Ve10_Rab3,5	14.56
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Rab4	4.32
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Rab4,5	10.66
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Rab5	14.92
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Lage1	7.22
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Lage2	0.35

Tabel A.8

Proba	p_{MB} [%]
X 15CrNiMn 18 8_Ar+2,5%CO2_Ve15_Rab5	3.77
X 15CrNiMn 18 8_99%Ar + 1%O2_Ve15_Rab5	7.29
X 12CrNi 25 20_Ar+2,5%CO2_Ve15_Rab5	8.53
X 12CrNi 25 20_Ar+2,5%CO2_Ve15_Rab5_E longitudinal	8.48
X 12CrNi 25 20_Ar+2,5%CO2_Ve15_Rab5_E transversal	8.84

Rezultate analiza spectrala VDM -ThyssenKrupp

Tabel A.9

Proba	C	Cr	Cu	Ni	Mn	Si	Mo	Fe	P	Al	W	Ti	Nb
SG-NiCr23Mo16_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Rab4,5	0.005	22.36	0 01	60 2	0 17	0.02	15.31	1 44	0.005	0 18	0 04	0 01	0 05
SG-NiTi4_Ar+30%He+2%H2+ 0,055%CO2_Ve10_Rab4	0.004	0 01	0 01	94 891	0.36	0 42		1 1	0 002	0 08		3.03	
SG-NiTi4_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Rab4	0 004	0 01	0 02	95 481	0 36	0 42		0 48	0 002	0 08		3 05	
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+0 03%O2_Ve10_Rab4	0 023	20 22	0.04	58.56	0.1	0 08	8 49	8 9	0.003	0 12	0.01	0.12	3 27

Tabel A.10

Proba	p_{MB} [%]
SG-NiCr23Mo16_Ar+30%He+0,03%O2_Ve10_Rab4,5	0.99
SG-NiTi4_Ar+30%He+2%H2+ 0,055%CO2_Ve10_Rab4	1 07
SG-NiTi4_Ar+30%He+0 03%O2_Ve10_Rab4	0 45
SG-NiCr21Mo9Nb_Ar+30%He+2%H2+ 0,055%CO2_Ve10_Rab4	8 55

BUPT

ANEXA B

Tabel B.1

Tipul sarmei electrod si tipul gazului de protectie	Factorul de corectie al gazului	Viteza de avans a sarmei	Curentul de baza	Curentul de crestere de la inceputul pulsului	Timpul de trecere la curentul de puls	Curentul de puls	Timpul curentului de puls	Curentul de coborare de la sfarsitul pulsului	Timpul de trecere la curentul de delasare a picaturii	Curentul de delasare a picaturii	Timpul curentului de delasare	Frecventa pulsurilor	Observatii	Pozitia de sudare	Pozitia de lucru	Rata depunerii
		m/min	A	A/ms	ms	A	ms	A/ms	ms	A	ms	Hz				kg/h
		v_s	I_b	I_{pn}	t_{p1_ef}	I_p	t_p	I_{pc}	t_{p1_ef}	I_{pdz}	t_{pdz_ef}	f_p				Ad
SG-NiCr23Mo16																
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	6	35	500	0.2	702	2.6	300	0.2	250	1.8	99.6	arc scurt; cusatura mestetica; Vs = 80 cm/min	40°	10°	6.19
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	40	500	0.2	702	2.6	300	0.2	300	1	184.6	arc prea lung; Vs = 80 cm/min	40°	10°	10.32
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	8	70	800	0.3	800	2.6	700	0.4	300	1	150	Hc acceptabil, Lc mare; rand neregulat; stropi Vs = 80 cm/min	40°	10°	8.26
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	7.5	37	500	0.2	702	2.6	300	0.2	268	1.5	130	Hc mare; Lc mic; rand neregulat; Vs = 80 cm/min	40°	10°	7.74
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	6	35	500	0.2	750	2.6	500	0.2	300	1.8	100	Hc mare; Lc mic; rand neregulat; Vs = 80 cm/min	40°	10°	6.19
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	8	80	800	0.3	900	2.5	800	0.4	400	1.4	142	Hc mic Lc mare, rand neregulat, aprox 15 mm stropiri puternice; Vs = 80 cm/min	40°	10°	8.26
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	7.5	70	800	0.2	700	2.5	800	0.3	300	1.2	140	Hc aprox 4.8mm; Lc aprox 13mm; rand neregulat; stropiri mai reduse; Vs = 80 cm/min	40°	10°	7.74
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	8	70	900	0.2	750	2.6	900	0.3	350	1.4	150	Hc aprox 4.2mm; Lc aprox 13.2mm; rand foarte neregulat; stropiri intense; Vs = 80 cm/min	40°	10°	8.26
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	7	90	900	0	750	2.7	900	0	300	1.2	100	**Hc aprox 4.3mm; Lc aprox 11mm; rand putin neregulat; rar stropi; Vs = 80 cm/min**	40°	10°	7.22
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	6.8	90	900	0.05	780	2.6	900	0.05	300	1.2	110	Hc aprox 4.6mm, Lc aprox 8,5mm rand mai neregulata; rar stropi; Vs = 80 cm/min	40°	10°	7.02
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	7	90	920	0.01	700	3.2	920	0.01	300	1.3	90	Hc aprox 5mm; Lc aprox 10mm; rand aproape regulat; fara stropi; Vs = 80 cm/min	40°	10°	7.22
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	7	90	900	0.01	750	3.2	900	0.01	300	1.3	110	Hc aprox 4.1mm; rand neregulat; stropiri puternice; Vs = 60 cm/min	40°	10°	7.22
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	7.5	80	1000	0	800	3	1000	0	350	1.3	120	rand foarte neregulat; stropiri abundente; Vs = 80 cm/min	40°	10°	7.74
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	6.8	90	820	0.03	750	2.7	820	0.03	300	1.3	90	Hc aprox 3.5mm; Lc aprox 8 mm; rand neregulat; Vs = 80 cm/min	40°	10°	7.02
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	6.5	70	850	0.1	740	2.65	800	0.1	275	1.5	100	Hc aprox 3.2mm; Lc aprox 8,5mm rand neregulat; stropiri putine; Vs = 80cm/min	40°	10°	6.71
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	6.5	70	900	0.01	700	3	900	0.1	275	1.5	90	**Hc aprox 4mm; Lc aprox 9,1mm rand regulat; fara stropi; Vs = 80 cm/min**	40°	10°	6.71
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	6.5	65	900	0.1	700	3.3	900	0.1	250	1.4	85	Hc aprox 4.2mm; Lc aprox 9,2mm rand aprox regulat fara stropi; Vs = 80 cm/min	40°	10°	6.71
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	9	35	850	0.13	650	2.4	800	0.13	300	1.07	250	**Hc aprox 3mm; Lc aprox 18mm; rand regulat; stropi; Vs= 80 cm/min**	40°	10°	9.29
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	9	40	900	0.1	650	3	900	0.1	300	1.07	270	arc foarte lung; sarma s-a lipit de duza; stropi foarte puternici, Vs = 80 cm/min	40°	10°	9.29
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	80	750	0.2	600	3	600	0.2	300	1.35	189	**rand foarte regulat; fara stropi; Vs = 80 cm/min**	40°	10°	10.32
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	80	750	0.2	600	3	600	0.2	300	1.35	191	arc scurt; rand regulat; stropiri: Vs =70 cm/min	40°	10°	10.32
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	80	750	0.2	600	3	600	0.2	300	1.35	207	**Hc 5mm; Lc 20,5mm; arc scurt; rand regulat; stropiri: Vs =70 cm/min**	40°	10°	10.32
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10.5	80	750	0.2	600	3	600	0.2	300	1.35	196	**rand regulat; stropiri ff putine; Vs = 70 cm/min**	40°	10°	10.84
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	11.5	80	750	0.2	580	3	600	0.2	300	1.35	200	**Hc aprox 5.2mm; Lc aprox 20,6mm; rand regulat; ff putini stropi; Vs = 85 cm/min**	40°	10°	11.87

BUPT

SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	11.5	80	750	0.2	580	3	600	0.2	300	1.35	200	Hc aprox 4.6mm; Lc aprox 18mm; rand neregulat; stropi	40°	10	11.87
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	12	80	750	0.2	580	3	600	0.2	300	1.35	200	Hc aprox 4mm; Lc aprox 17mm; rand regulat; putini stropi; Vs = 100 cm/min	40°	10°	12.38
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	13	80	750	0.2	600	3	600	0.2	300	1.35	230	rand mai putin regulat; stropi Vs = 100 cm/min	40°	10	13.42
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	13	80	750	0.2	585	2.6	600	0.2	300	1	230	rand mai putin regulat; stropi Vs = 100 cm/min	40°	10	13.42
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	13	80	750	0.2	590	2.7	600	0.2	300	1	220	rand regulat; stropi abundente Vs = 100 cm/min	40°	10°	13.42
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	14	83	740	0.2	657	2.5	585	0.2	307	0.8	238	rand neregulat; stropi abundente; Vs = 100 cm/min	40°	10	14.45
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	15	80	750	0.2	650	3.1	600	0.2	300	1.35	270	Hc aprox 5.2mm; Lc aprox 21mm; rand regulat; putini stropi; Vs = 110 cm/min	40	10	15.48
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	15	80	700	0.2	630	3.1	600	0.2	300	1.3	270	Hc aprox 5mm; Lc aprox 20mm; rand aproape regulat stropi; Vs = 115 cm/min	40	10°	15.48
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	15	80	700	0.2	620	3.1	600	0.2	300	1	270	Hc aprox 5.5mm; Lc aprox 18mm; rand aproape regulat Vs = 120cm/min	40	10	15.48
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	15	80	700	0.2	715	2.3	600	0.2	300	0	270	Hc aprox 5mm; Lc aprox 18mm; rand regulat; Vs = 100 cm/min	40°	10°	15.48
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	15	100	700	0.2	715	2.3	600	0.2	300	0	240	Hc aprox 5mm; Lc aprox 18.8mm; rand regulat; Vs = 100 cm/min	40°	10°	15.48
SG-NiCr23Mo16 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	15	80	700	0.2	680	2.7	600	0.2	300	0.1	210	stropi; Vs = 85 cm/min	40°	10°	15.48
SG-NiCr21Mo9Nb																	
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	80	750	0.2	620	2.9	600	0.2	300	1.35	200	Hc aprox 5.2mm; Lc aprox 19mm; rand regulat; Vs = 70 cm/min	40°	10°	10.2
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	80	750	0.2	640	2.9	600	0.2	300	1.35	225	Vs = 70 cm/min; rand regulat; putini stropi	40°	10°	10.2
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	15	80	750	0.2	720	2.9	600	0.2	300	0.5	220	Hc aprox 5mm; Lc aprox 22mm; rand regulat; stropi abundente; Vs = 85 cm/min	40	10	15.3
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	15	80	750	0.2	710	2.9	600	0.2	300	0.7	215	Hc aprox 5mm; Lc aprox 22mmstropi fin; rand regulat Vs = 85 cm/min	40°	10°	15.3
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	15	80	750	0.2	720	3	600	0.2	300	0.7	240	rar stropi; rand regulat; Vs = 100 cm/min	40°	10°	15.3
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	80	750	0.2	670	4	600	0.2	150	1.35	126	Hc , Lc; Vs = 70 cm/min; rand regulat	40°	10°	10.2
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	15	80	750	0.2	750	3	600	0.2	260	0.8	250	Vs = 85 cm/min	40°	10°	15.3
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	120	750	0.2	670	4	600	0.2	150	1.35	100	Hc aprox 4.5mm; Lc aprox 13mm; fara stropi; rand regulat; Vs = 80 cm/min; distanta intre randuri 4.0mm; 4.5mm; 5mm	40°	10°	10.2
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+2%H2+ 0,055%CO2	2.8	10	250	750	0.2	670	3.8	570	0.2	400	1	105	Hc aprox 4.5mm; Lc aprox 13mm; rand regulat; fara stropi; Vs= 120 cm/min distanta intre randuri 3.0mm; 3.5mm	40°	10°	10.2
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+2%H2+ 0,055%CO2	2.8	15	250	750	0.2	740	4.1	600	0.2	390	1	180	Hc aprox 5mm; Lc aprox 17mm; rand regulat; putini stropi; Vs = 120 cm/min; distanta intre randuri 5mm	40°	10°	15.3
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0,03%O2	2.8	10	130	750	0.2	670	4	600	0.2	200	1.35	110	Vs = 80 cm/min; putini stropi; rand regulat; distanta intre randuri 4mm	40°	10°	10.2
						720						98	Vs = 80 cm/min; putini stropi; rand regulat; distanta intre randuri 4.5mm	40°	10°	10.2
Influenta pozitionarii capului de sudare asupra patrunderii si a suprafetei cusaturi																	
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	130	750	0.2	670	4	600	0.2	210	1.35	110	Hc aprox 4.5mm; Lc aprox 14mm; rand regulat; fara stropi; Rab = 4mm; Vs = 80 cm/min	40°	10°	10.2
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	130	750	0.2	670	4	600	0.2	210	1.35	110	Hc aprox 4mm; Lc aprox 15mm; rand mai putin regulat rar stropi; Rab = 4mm; Vs = 80 cm/min	40	20°	10.2
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	130	750	0.2	670	4	600	0.2	210	1.35	110	Hc aprox 5mm; Lc aprox 15mm; rand mai putin regulat; rar stropi; Rab = 4mm; Vs = 80 cm/min	50	10	10.2
SG-NiCr21Mo9Nb si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	130	750	0.2	670	4	600	0.2	210	1.35	110	Hc aprox mm; Lc aprox mm; rand mai putin regulat; rar stropi; Rab = 4mm; Vs = 80 cm/min	50	20	10.2

BUPT

X 15CrNiMn 18 8

X 15CrNiMn 18 8 si 99%Ar + 1%O2	1.8	10	180	800	0.8	655	2.5	300	0.6	300	1.2	142	Duza Fronius; stropi putini; Vs = 85 cm/min; Rab = 4mm	40°	10°	9.48
X 15CrNiMn 18 8 si 99%Ar + 1%O2	1.8	15	160	690	0.6	650	3.1	300	0.4	300	1.2	207	Hc aprox 5mm; Lc aprox 13mm; putini stropi; Vs = 85 cm/min; Rab = 5mm; duza Fronius	40°	10°	14.22
X 15CrNiMn 18 8 si 99%Ar + 1%O2	1.8	15	160	750	0.7	670	3.5	450	0.6	250	0	180	Duza Fronius stropi; Vs = 85 cm/min; Rab = 5mm	40°	10°	14.22
X 15CrNiMn 18 8 si 99%Ar + 1%O2	1.8	15	80	750	0.7	670	3.5	300	0.6	300	0	190	Duza Binzel: stropi Vs = 85 cm/min; Rab = 5mm	40°	10°	14.22
X 15CrNiMn 18 8 si 99%Ar + 1%O2	1.8	15	80	750	0.7	670	3.5	300	0.6	300	0	190	Duza Binzel: stropi Vs = 85 cm/min; Rab = 5mm	40°	20°	14.22
X 15CrNiMn 18 8 si 99%Ar + 1%O2	1.8	15	80	750	0.7	670	3.5	300	0.6	300	0	219	Duza Binzel: stropin; Vs = 85 cm/min; Rab = 4mm	40°	20°	14.22
Influenta gazului asupra patrunderii si a suprafetei cusaturii																
X 15CrNiMn 18 8 si Ar+2.5%CO2	**1.7**	**15**	**300**	**800**	**0.6**	**650**	**3.3**	**800**	**0.6**	**300**	**0.8**	**230**	**Hc aprox 6mm; Lc aprox 16mm; Duza Binzel; stropiri usoare Vs = 85 cm/min; Rab = 5mm**	**40°**	**20°**	**14.22**
X 15CrNiMn 18 8 si 99%Ar + 1%O2	**1.8**	**15**	**300**	**800**	**0.6**	**630**	**3**	**800**	**0.6**	**300**	**0.8**	**230**	**Hc aprox 6,3 mm; Lc aprox 14mm; Duza Binzel; Rab = 5mm**	**40°**	**20°**	**14.22**
X 15CrNiMn 18 8 si 99%Ar + 1%O2	1.8	15	300	800	0.6	630	1.7	800	0.6	300	0.8	350	patrundere mica; proces stabil	40°	20°	14.22
X 15CrNiMn 18 8 si Ar+2.5%CO2	1.7	15	300	800	0.6	650	3.3	800	0.6	300	0.8	230	Hc aprox 7mm; Lc aprox 15mm; stropin; Duza Binzel; Vs = 85cm/min; Rab = 5mm	40°	20°	14.22
X 12CrNI 25 20																
X 12CrNi 25 20 si Ar+2,5%CO2	**1.7**	**15**	**300**	**800**	**0.6**	**630**	**3.5**	**800**	**0.6**	**300**	**0.8**	**180**	**Hc aprox 6mm; Lc aprox 14mm; Rab = 5mm; Duza Binzel; Le = 20mm**	**40°**	**20°**	**14.22**
Influenta pozitionarii electrodului asupra suprafetei cusaturii si a patrunderii																
X 12CrNi 25 20 si Ar+2.5%CO2	1.7	15	300	800	0.6	630	3.5	800	0.6	300	0.8	180	Hc aprox 6mm; Lc aprox 17mm; Rab = 5mm; Duza Binzel; Le = 20mm; electrod pozitionat longitudinal	40°	20°	14.22
X 12CrNi 25 20 si Ar+2.5%CO2	1.7	15	300	800	0.6	630	3.5	800	0.6	300	0.8	180	Hc aprox 6mm; Lc aprox 16mm; Rab = 5mm; Duza Binzel; Le = 20mm; electrod pozitionat transversal	40°	20°	14.22
X 12CrNi 25 20 si Ar+2,5%CO2	**1.7**	**15**	**Is = 520A**	**Corectia AE =6%**	**Corectie dinamica / puls = 5**		**2 takt**	**MAG - standard**					**Hc aprox 6,3 mm; Lc aprox 15mm; Rab = 5mm; Vs=85cm/min; SPRAY**	**40°**	**20°**	**14.22**
SG-NiTi4																
SG-NiTi4 si Ar+30%He+2%H2+ 0.055%CO2	2.8	10	300	700	0.2	640	2.4	700	0.2	300	0.5	192	Hc aprox 5.4 mm; Lc aprox 18mm; Rab = 5mm; Vs=85cm/min	40°	20°	10.68
SG-NiTi4 si Ar+30%He+2%H2+ 0.055%CO2	**2.8**	**10**	**460**	**700**	**0.2**	**640**	**2.5**	**500**	**0.25**	**490**	**0.5**	**195**	**Hc aprox 5,5mm; Lc aprox 18mm; Rab = 4mm; Vs=85cm/min; L_{cusatura} intre 60 - 40mm**	**40°**	**20°**	**10.68**
SG-NiTi4 si Ar+30%He+2%H2+ 0.055%CO2	2.8	10	440	700	0.2	600	2.5	500	0.25	440	0.3	200	Rab = 4mm; Vs = 92cm/min	35°	25°	10.68
SG-NiTi4 si Ar+30%He+2%H2+ 0.055%CO2	**2.8**	**12**	**480**	**700**	**0.2**	**640**	**2.5**	**500**	**0.25**	**480**	**0.5**	**300**	**Rab = 4mm; Vs = 85cm/min**	**35°**	**25°**	**12.82**
SG-NiTi4 si Ar+30%He+2%H2+ 0.055%CO2	**2.8**	**10**	**460**	**700**	**0.2**	**640**	**2.5**	**500**	**0.25**	**490**	**0.5**	**195**	**Rab = 4mm; Vs = 85cm/min**	**35°**	**20°**	**10.68**
SG-NiTi4 si Ar+30%He+0.03%O2	2.8	10	460	700	0.2	640	2.6	500	0.25	490	1.45	170	Hc aprox 5mm; Lc aprox 19mm; Rab = 4mm; Vs=85cm/min	35°	20°	10.68
SG-NiTi4 si Ar+30%He+0,03%O2	**2.8**	**10**	**450**	**700**	**0.2**	**530**	**2**	**500**	**0.25**	**500**	**1.55**	**235**	**Hc aprox 5,3mm; Lc aprox 18mm; Rab = 4mm; Vs = 85cm/min; arc stabil si asimetric**	**35°**	**20°**	**10.68**
SG-CuNi30Fe																
SG-CuNi30Fe si Ar+30%He+2%H2+ 0.055%CO2	2.8	10	400	700	0.1	600	0.7	500	0.25	400	0	90	Hc aprox 5mm; Lc aprox 17mm; Rab = 4mm; stropiri reduse Vs = 85cm/min; patrundere mare	35°	20°	10.68
SG-CuNi30Fe si Ar+30%He+2%H2+ 0.055%CO2	2.8	10	350	750	0.2	550	1.9	500	0.25	370	0.2	165	Hc aprox 4 6mm; Lc aprox 17mm; Rab = 3mm; stropiri reduse Vs = 85cm/min	35°	20°	10.68
SG-CuNi30Fe si Ar+30%He+2%H2+ 0.055%CO2	**2.8**	**10**	**350**	**750**	**0.2**	**550**	**1.8**	**500**	**0.2**	**352**	**0.1**	**110**	**Hc aprox 8,8mm; Lc aprox 15mm; stropiri reduse; Vs = 85cm/min**	**35°**	**20°**	**10.68**

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**1**		
MIG / MAG - EB			
Sursa de sudare	F		
Cap de sudare / Duza de contact	F / B		
Data	04.11.2004		
Tipul sarmei plate electrod		**SG-NiCr23Mo16**	**Werkst - Nr. 2.4607**
Dimensiunea sarmei		4,0 x 0.5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru		40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie		Ar+30%He+0.03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1	S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare		rabotare	
		1. Strat	2. Strat

Curentul de sudare	A	I_s	413	
Tensiunea arcului	V	U	36.68	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			pulsat	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	20	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	
Curent de baza	A	I_b	80	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	750	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	600	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	3	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	600	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.2	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	300	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	1.35	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	207	
Energia liniara	J/cm	E	11.361.63	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4; 4.5	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	

[redacted]

[redacted]

Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
10.32	5		0.99

Examinare cu lichide penetrante - EN 571		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la coroziune - ISO 3651		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la torsiune		Determinarea duritatii - EN 1043	X

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**2**			
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	09.11.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr23Mo16**	**Werkst - Nr. 2.4607**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0,03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2. Strat
Curentul de sudare	A	I_s	444	
Tensiunea arcului	V	U	31.4	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	12	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	20	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	100	
Curent de baza	A	I_b	80	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	750	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	580	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	3	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	600	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.2	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	300	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	1.35	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	200	
Energia liniara	J/cm	E	8.364.96	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	

[redacted]

[redacted]

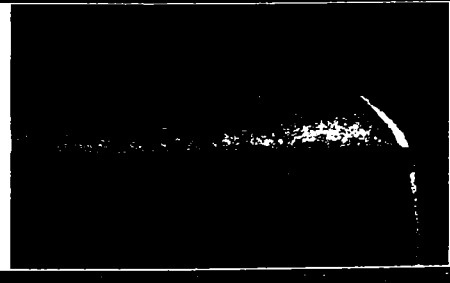
Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
12.384	4		

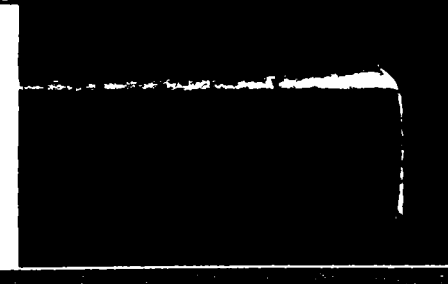
Examinare cu lichide penetrante - EN 571	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la coroziune - ISO 3651	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la torsiune	Determinarea duritatii - EN 1043

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**3**			
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	25.11.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr23Mo16**	**Werkst - Nr. 2.4607**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0.03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2. Strat
Curentul de sudare	A	I_s	540	
Tensiunea arcului	V	U	32	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	20	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Curent de baza	A	I_b	80	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	700	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	680	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	2.7	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	600	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.2	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	300	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	0.1	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	210	
Energia liniara	J/cm	E	12.197.65	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	
Tem. eratura intre de. uneri			< 120^0C	





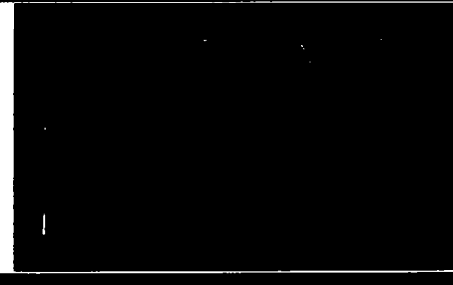
Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
15.48	5		0.19

Examinare cu lichide penetrante - EN 571	X	Incercarea la indoire - EN 910	X
Incercare la coroziune - ISO 3651	X	Incercarea la indoire - EN 910	X
Incercare la torsiune	X	Determinarea duritatii - EN 1043	X

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**4**			
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	29.11.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**Werkst - Nr. 2.4831**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0,03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2. Strat
Curentul de sudare	A	I_s	540	
Tensiunea arcului	V	U	32	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	20	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Curent de baza	A	I_b	80	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	750	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	710	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	2.9	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	600	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.2	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	300	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	0.7	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	215	
Energia liniara	J/cm	E	12.197.65	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	



Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
15.3	5		0.48

Examinare cu lichide penetrante - EN 571	X	Incercarea la indoire - EN 910	X
Incercare la coroziune - ISO 3651	X	Incercarea la indoire - EN 910	X
Incercare la torsiune	X	Determinarea duritatii - EN 1043	X

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**5**			
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	07.12.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**Werkst - Nr. 2.4831**
Dimensiunea sarmei			$4,0 \times 0.5\ mm^2$	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			$Ar+30\%He+ 2\%H_2+ 0,055\%CO_2$	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2. Strat
Curentul de sudare	A	I_s	343	
Tensiunea arcului	V	U	36	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	20	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	120	
Curent de baza	A	I_b	250	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	750	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	670	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	3.8	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	570	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.2	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	400	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	1	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	105	
Energia liniara	J/cm	E	6.174.00	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	3; 3.5	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	

[redacted]

[redacted]

Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Diluția
Kg/h	mm	m^2/h	%
10.2	4.5		14.36. 14.56

Examinare cu lichide penetrante - EN 571		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la coroziune - ISO 3651		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la torsiune		Determinarea duritatii - EN 1043	X

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**6**			
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	06.12.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**Werkst - Nr. 2.4831**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0.5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0,03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2. Strat
Curentul de sudare	A	I_s	320	
Tensiunea arcului	V	U	33.78	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	20	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	
Curent de baza	A	I_b	120	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	750	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	670	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	4	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	600	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.2	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	150	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	1.35	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	100	
Energia liniara	J/cm	E	8.107.20	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4; 4,5; 5	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	

[redacted]

[redacted]

Rata depuneri	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
10.2	4.5		4,32; 10,66; 14,92

Examinare cu lichide penetrante - EN 571		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la coroziune - ISO 3651		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la torsiune		Determinarea duritatii - EN 1043	X

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**7**			
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	02.12.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**Werkst - Nr. 2.4831**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0.5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^3 (impins 10^3)
Gazul de protectie			Ar+30%He+ 2%H_2+ 0.055%CO_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2. Strat
Curentul de sudare	A	I_s	320	
Tensiunea arcului	V	U	33.78	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	20	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	
Curent de baza	A	I_b	80	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	750	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	670	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	4	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	600	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.2	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	150	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	1.35	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	126	
Energia liniara	J/cm	E	8.107.20	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_i	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	

[redacted]

[redacted]

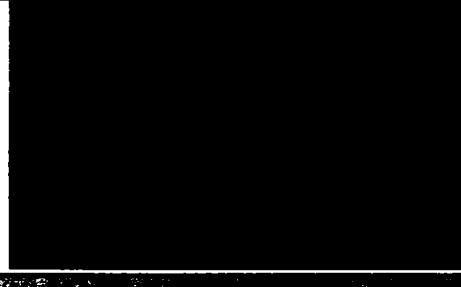
Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Diluatia
Kg/h	mm	m^2/h	%
10.2	4.5		8.55

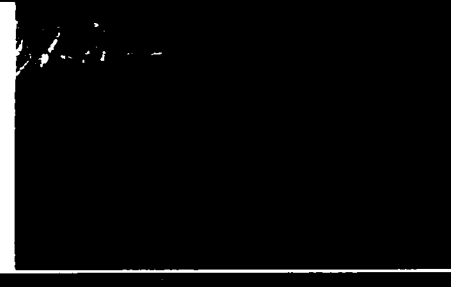
Examinare cu lichide penetrante - EN 571	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la coroziune - ISO 3651	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la torsiune	Determinarea duritatii - EN 1043

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**8**			
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	09.12.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**Werkst - Nr. 2.4831**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0,03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2. Strat
Curentul de sudare	A	I_s	324	310
Tensiunea arcului	V	U	32.18	32
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	10
Tipul transferului			puls	puls
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	20	20
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	80
Curent de baza	A	I_b	130	130
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	750	750
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	0.2
Curentul de puls	A	I_p	670	720
Timpul curentului de puls	ms	t_p	4	4
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	600	600
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.2	0.2
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	200	200
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	1.35	1.35
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	110	96
Energia liniara	J/cm	E	7.819.74	7.440.00
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	4.5
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	20
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	< 120^0C





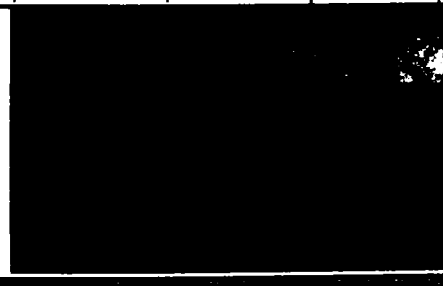
Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
10.2	4.5		7,22; 0,35

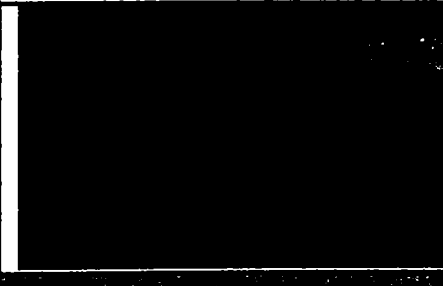
Examinare cu lichide penetrante - EN 571		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la coroziune - ISO 3651		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la torsiune		Determinarea duritatii - EN 1043	X

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**9**			
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	20.12.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**Werkst - Nr. 2.4831**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0.5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0: 50^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0.03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2. Strat
Curentul de sudare	A	I_s	324	
Tensiunea arcului	V	U	32.18	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	20	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	
Curent de baza	A	I_b	130	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	750	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	670	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	4	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	600	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.2	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	210	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	1.35	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	110	
Energia liniara	J/cm	E	7.819.74	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	





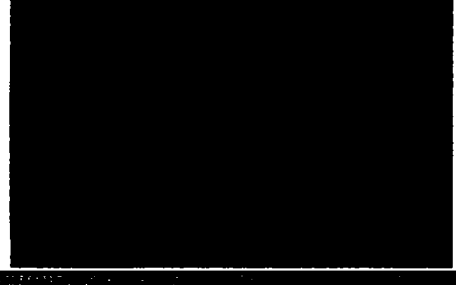
Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
10.2	4.5; 5		

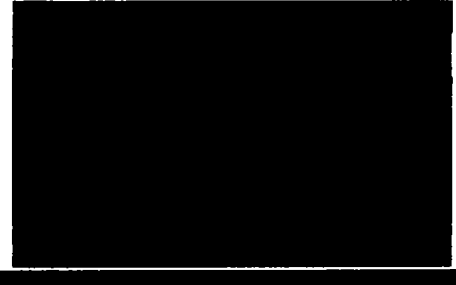
Examinare cu lichide penetrante - EN 571	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la coroziune - ISO 3651	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la torsiune	Determinarea duritatii - EN 1043

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**10**			
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	20.12.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**Werkst - Nr. 2.4831**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0; 50^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0,03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2. Strat
Curentul de sudare	A	I_s	324	
Tensiunea arcului	V	U	32.18	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	20	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	
Curent de baza	A	I_b	130	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	750	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	670	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	4	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	600	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.2	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	210	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	1.35	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	110	
Energia liniara	J/cm	E	7.819.74	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	





Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
10.2	4; 5		

Examinare cu lichide penetrante - EN 571	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la coroziune - ISO 3651	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la torsiune	Determinarea duritatii - EN 1043

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**11**			GSI SLV MÜNCHEN
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / F			
Data	21.12.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**X 15CrNiMn 18 8**	**Werkst - Nr. 1.4370**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			99%Ar+1%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235J2G3	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2. Strat
Curentul de sudare	A	I_s	388	
Tensiunea arcului	V	U	26.3	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	20	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Curent de baza	A	I_b	180	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	800	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.8	
Curentul de puls	A	I_p	655	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	2.5	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab}	300	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.6	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	300	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	1.2	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	142	
Energia liniara	J/cm	E	7.203 11	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_f	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	

[redacted]

Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Diluția
Kg/h	mm	m^2/h	%
9.48	5 6		

Examinare cu lichide penetrante - EN 571		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la coroziune - ISO 3651		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la torsiune		Determinarea duritatii - EN 1043	X

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**12**			
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	13.01.2005			
Tipul sarmei plate electrod			**X 15CrNiMn 18 8**	**Werkst - Nr. 1.4370**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie			99%Ar+1%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235J2G3	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2. Strat
Curentul de sudare	A	I_s	550	
Tensiunea arcului	V	U	28.5	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	18	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Curent de baza	A	I_b	300	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	800	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.6	
Curentul de puls	A	I_p	630	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	3	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	800	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.6	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	300	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	0.8	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	230	
Energia liniara	J/cm	E	11.064.71	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	5	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	

[redacted]

Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
14.22	6.3		7.294

Examinare cu lichide penetrante - EN 571		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la coroziune - ISO 3651		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la torsiune		Determinarea duritatii - EN 1043	X

BUPT

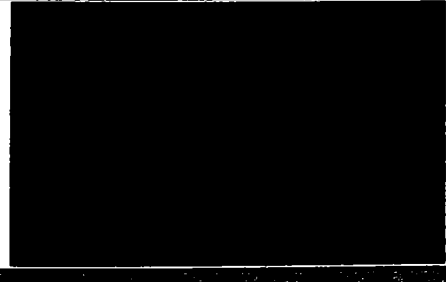
Anexa C

WPS - Nr.	**13**		
MIG / MAG - EB			
Sursa de sudare	F		
Cap de sudare / Duza de contact	F / B		
Data	12.01.2005		
Tipul sarmei plate electrod		**X 15CrNiMn 18 8**	**Werkst - Nr. 1.4370**
Dimensiunea sarmei		4.0 x 0.5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru		40^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie		Ar+2.5%CO_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1	S 235J2G3	20 mm
Mod de prelucrare		rabotare	
		1. Strat	2. Strat

Curentul de sudare	A	I_s	550	
Tensiunea arcului	V	U	28.5	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	18	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	

Curent de baza	A	I_b	300	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	800	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.6	
Curentul de puls	A	I_p	650	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	3.3	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	800	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.6	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	300	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	0.8	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	230	

Energia liniara	J/cm	E	11.064.71	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	5	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_i	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	



Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
14.22	6		3.77

Examinare cu lichide penetrante - EN 571	X	Incercarea la indoire - EN 910	X
Incercare la coroziune - ISO 3651	X	Incercarea la indoire - EN 910	X
Incercare la torsiune	X	Determinarea duritatii - EN 1043	X

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**14**		
MIG / MAG - EB			
Sursa de sudare	F		
Cap de sudare / Duza de contact	F / B		
Data	19.01.2005		
Tipul sarmei plate electrod		**X 12CrNi 25 20**	**Werkst - Nr. 1.4842**
Dimensiunea sarmei		$4,0 \times 0,5\ mm^2$	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru		40^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie		$Ar+2,5\%CO_2$	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1	S 235J2G3	20 mm
Mod de prelucrare		rabotare	
		1. Strat	2. Strat

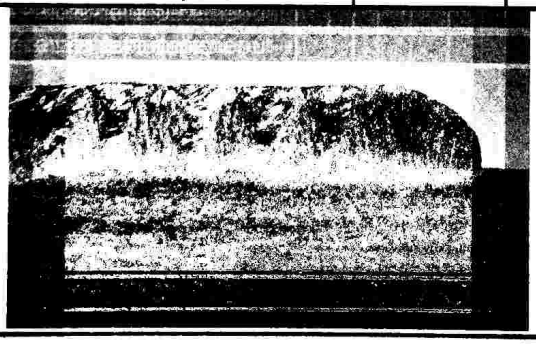
Parametrii de lucru

Curentul de sudare	A	I_s	511	
Tensiunea arcului	V	U	31	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	18	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	

Parametrii pulsului

Curent de baza	A	I_b	300	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	800	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.6	
Curentul de puls	A	I_p	630	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	3.5	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	800	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.6	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	300	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	0.8	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	180	

Energia liniara	J/cm	E	11.181.88	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	5	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	
Temperatura intre depuneri			$< 120^0C$	



Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
14 22	6		8.48

Examinari si incercari

Examinare cu lichide penetrante - EN 571	Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la coroziune - ISO 3651	Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la torsiune	Determinarea duritatii - EN 1043	X

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**15**		
MIG / MAG - EB			
Sursa de sudare	F		
Cap de sudare / Duza de contact	F / B		
Data	19.01.2005		
Tipul sarmei plate electrod		**X 12CrNi 25 20**	**Werkst - Nr. 1.4842**
Dimensiunea sarmei		4,0 x 0,5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru		40^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie		Ar+2,5%CO_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1	S 235J2G3	20 mm
Mod de prelucrare		rabotare	
		1. Strat	2. Strat

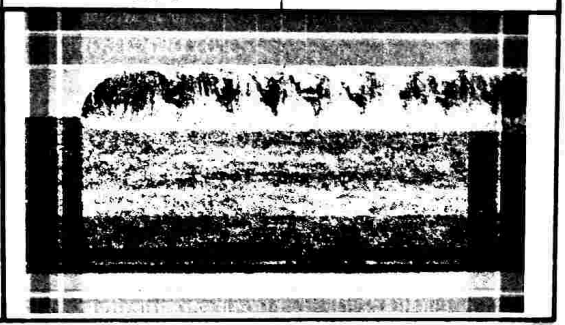
Parametrii de lucru

Curentul de sudare	A	I_s	511	
Tensiunea arcului	V	U	31	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	18	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	

Parametrii pulsului

Curent de baza	A	I_b	300	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	800	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.6	
Curentul de puls	A	I_p	630	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	3.5	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	800	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.6	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	300	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	0.8	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	180	

Energia liniara	J/cm	E	11.181.88	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	5	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	



Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
14.22	6		8.84

Examinari si incercari

Examinare cu lichide penetrante - EN 571	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la coroziune - ISO 3651	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la torsiune	Determinarea duritatii - EN 1043

BUPT

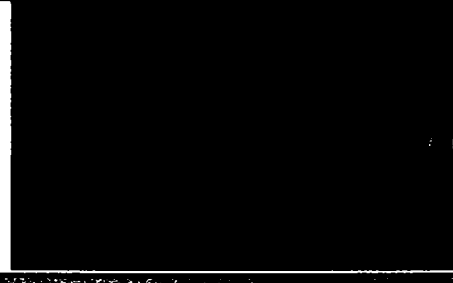
Anexa C

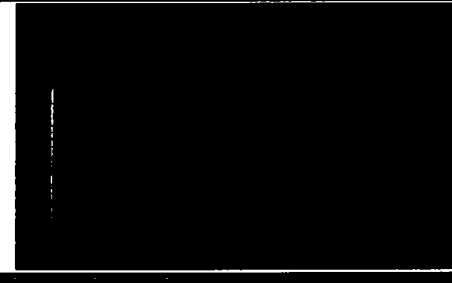
WPS - Nr.	**16**		
MIG / MAG - EB			
Sursa de sudare	F		
Cap de sudare / Duza de contact	F / B		
Data	20.01.2005		
Tipul sarmei plate electrod		**X 12CrNi 25 20**	**Werkst - Nr. 1.4842**
Dimensiunea sarmei		4,0 x 0.5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru		40^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie		Ar+2,5%CO_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1	S 235J2G3	20 mm
Mod de prelucrare		rabotare	
		1. Strat	2. Strat

Curentul de sudare	A	I_s	520	
Tensiunea arcului	V	U		
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			standard - spray	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	18	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	

Curent de baza	A	I_b		
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}		
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}		
Curentul de puls	A	I_p		
Timpul curentului de puls	ms	t_p		
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}		
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}		
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}		
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}		
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p		

Energia liniara	J/cm	E		
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	5	
Lungimea libera a sarmei	mm	L_l	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	





Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
14.22	6		

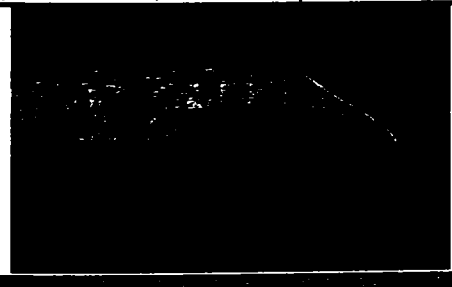
Examinare cu lichide penetrante - EN 571		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la coroziune - ISO 3651		Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la torsiune		Determinarea duritatii - EN 1043	X

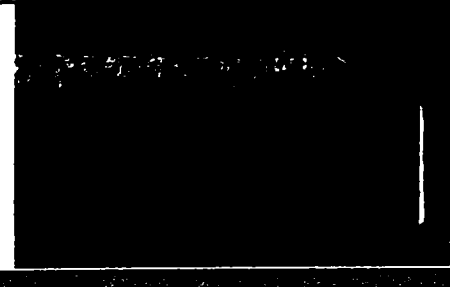
BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**17**		
MIG / MAG - EB			
Sursa de sudare	F		
Cap de sudare / Duza de contact	F / B		
Data	26.01.2005		
Tipul sarmei plate electrod		**SG-NiTi4**	**Werkst - Nr. 2.4155**
Dimensiunea sarmei		4.0 x 0.5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru		35^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie		Ar+30%He+2%H_2+0.055%CO_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1	S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare		rabotare	
		1. Strat	2. Strat

Curentul de sudare	A	I_s	494	
Tensiunea arcului	V	U	36.5	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	18	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Curent de baza	A	I_b	460	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	700	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	640	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	2.5	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	500	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.25	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	490	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	0.5	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	195	
Energia liniara	J/cm	E	12.727.76	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Lungimea libera a sarmei	mm	h	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	





Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Diluta
Kg/h	mm	m^2/h	%
10.68	5.5		1.07

Examinare cu lichide penetrante - EN 571		Incercarea la indoire - EN 910	X
Incercare la coroziune - ISO 3651	X	Incercarea la indoire - EN 910	X
Incercare la torsiune	X	Determinarea duritatii - EN 1043	X

BUPT

Anexa C

WPS - Nr.	**18**			
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	02.02.2005			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiTi4**	**Werkst - Nr. 2.4155**
Dimensiunea sarmei			4.0 x 0.5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			35^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0.03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2. Strat
Curentul de sudare	A	I_s	526	
Tensiunea arcului	V	U	31.6	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	18	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Curent de baza	A	I_b	450	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	700	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	530	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	2	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	500	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.25	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	500	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	1.55	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	235	
Energia liniara	J/cm	E	11.732.89	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Lungimea libera a sarmei	mm	h	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	

[redacted]

Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
10.68	5.3		0.45

Examinare cu lichide penetrante - EN 571	X	Incercarea la indoire - EN 910	
Incercare la coroziune - ISO 3651		Incercarea la indoire - EN 910	X
Incercare la torsiune		Determinarea duritatii - EN 1043	X

BUPT

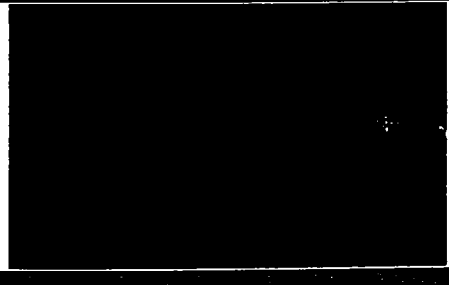
Anexa C

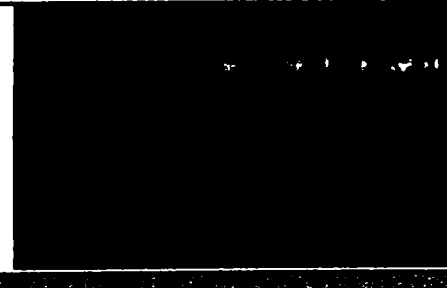
WPS - Nr.	**19**			
MIG / MAG - EB				
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	26.01.2005			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiTi4**	**Werkst - Nr. 2.4155**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+2%H_2+0.055%CO_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare			rabotare	
			1. Strat	2 Strat

Curentul de sudare	A	I_s	494	
Tensiunea arcului	V	U	36.5	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	18	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	

Curent de baza	A	I_b	460	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	700	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	640	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	2.5	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	500	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.25	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	490	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	0.5	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	195	

Energia liniara	J/cm	E	12.727.76	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Lungimea libera a sarmei	mm	h	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	





Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Diluția
Kg/h	mm	m^2/h	%
10.68	5.5		

Examinare cu lichide penetrante - EN 571	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la coroziune - ISO 3651	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la torsiune	Determinarea duritatii - EN 1043

BUPT

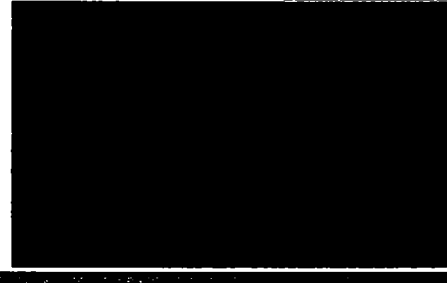
Anexa C

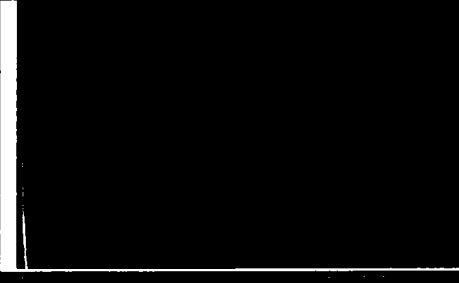
WPS - Nr.	**20**		
MIG / MAG - EB			
Sursa de sudare	F		
Cap de sudare / Duza de contact	F / B		
Data	03.02.2005		
Tipul sarmei plate electrod		**SG-NiTi4**	**Werkst - Nr. 2.4155**
Dimensiunea sarmei		4,0 x 0.5 mm^2	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru		35^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie		Ar+30%He+0,03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1	S 235JRG2	20 mm
Mod de prelucrare		rabotare	
		1. Strat	2. Strat

Curentul de sudare	A	I_s	526	
Tensiunea arcului	V	U	31.6	
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			puls	
Debitul gazului de protectie	l/min	Q	18	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	

Curent de baza	A	I_b	450	
Curent crestere la inceputul pulsului	A/ms	I_{an}	700	
Timpul de trecere la curentul de puls	ms	t_{tau_an}	0.2	
Curentul de puls	A	I_p	530	
Timpul curentului de puls	ms	t_p	2	
Curent coborare la sfarsitul pulsului	A/ms	I_{ab1}	500	
Timp de trecere la curent de detasare	ms	t_{tau_ab1}	0.25	
Curentul de detasare a picaturii	A	I_{ab2}	500	
Timpul curentului de detasare	ms	t_{ab2}	1.55	
Frecventa pulsurilor	Hz	f_p	235	

Energia liniara	J/cm	E	11.732.89	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Lungimea libera a sarmei	mm	h	20	
Temperatura intre depuneri			< 120^0C	





Rata depunerii	Suprainaltarea	Suprafata depusa	Dilutia
Kg/h	mm	m^2/h	%
10.68	5.3		

Examinare cu lichide penetrante - EN 571	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la coroziune - ISO 3651	Incercarea la indoire - EN 910
Incercare la torsiune	Determinarea duritatii - EN 1043

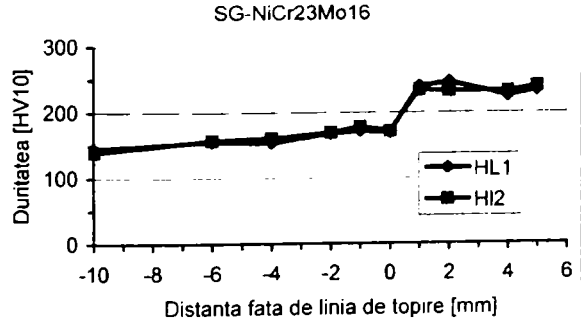
BUPT

Anexa D

Examinari si incercari *MIG / MAG - EB*	T1			
WPS - Nr.	1			
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	04.11.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr23Mo16**	**Werkst - Nr. 2.4607**
Dimensiunea sarmei			4.0 x 0.5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0.03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			pulsat	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Dilutia	%		0.99	

[redacted]

Proba S 5923 Varigon He	HL1	HL2	
x [mm]	HV 10	HV 10	
-10.0	144.0	139.3	Material de baza
-6.0	155.8	158.0	
-4.0	153.5	161.0	
-2.0	168.0	169.5	
-1.0	172.0	178.5	
0.0	169.5	172.0	
1.0	239.3	234.0	Material depus
2.0	246.0	232.5	
4.0	225.0	232.5	
5.0	233.5	240.0	



Determinarea duritatii - EN 1043

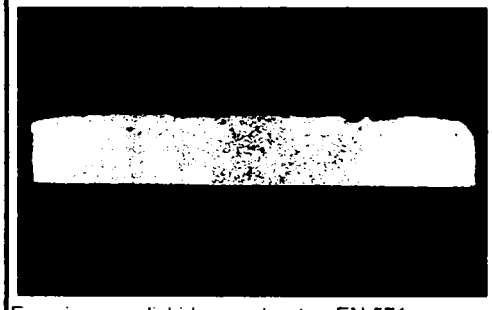
Interfata MB - MD

BUPT

Anexa D

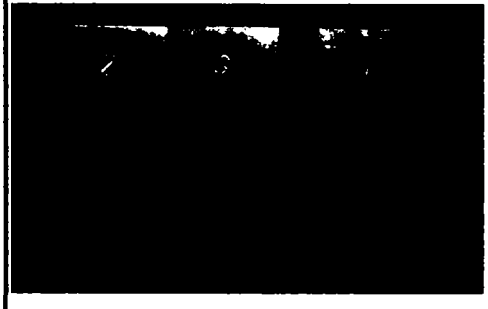
Examinari si incercari	**T3**			
MIG / MAG - EB				
WPS - Nr.	**3**			
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	25.11.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr23Mo16**	**Werkst - Nr. 2.4607**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0,03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			pulsat	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Dilutia	%		0.19	

Examinari si incercari



Examinare cu lichide penetrante - EN 571

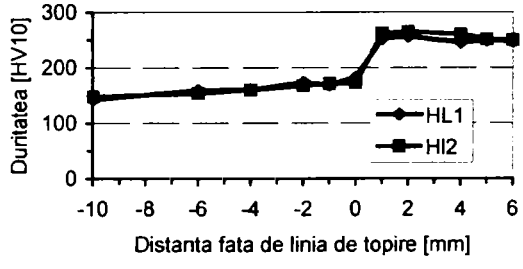
Incercarea la indoire - EN 910



Incercare la coroziune - ISO 3651

Incercarea la indoire - EN 910

Incercare la torsiune



Determinarea duritatii - EN 1043

BUPT

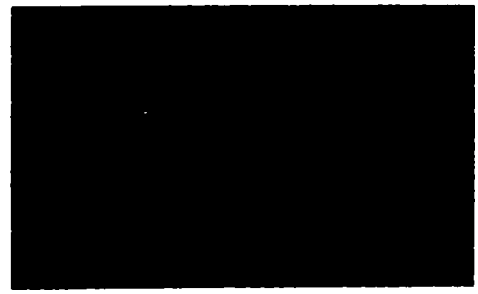
Anexa D

Examinari si incercari *MIG / MAG - EB*	T4			
WPS - Nr.	4			
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	29.11.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**Werkst - Nr. 2.4831**
Dimensiunea sarmei			4.0 x 0.5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0.03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			pulsat	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Distanta intre randuri	mm	R_{ac}	4	
Dilutia	%		0.48	

Examinare cu lichide penetrante - EN 571

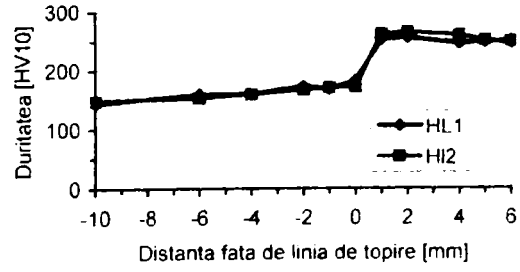
Incercarea la indoire - EN 910

Incercare la coroziune - ISO 3651



Incercarea la indoire - EN 910

Incercare la torsiune



Determinarea duritatii - EN 1043

BUPT

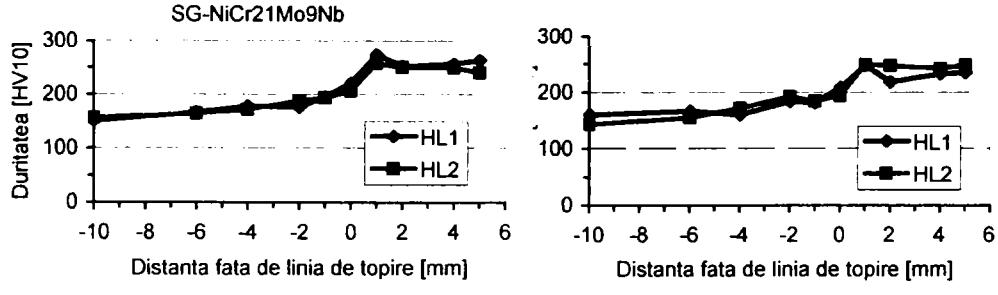
Anexa D

Examinari si incercari	**T5**
MIG / MAG - EB	
WPS - Nr.	**5**
Sursa de sudare	F
Cap de sudare / Duza de contact	F / B
Data	07.12.2004

Tipul sarmei plate electrod		**SG-NiCr21Mo9Nb**	**Werkst - Nr. 2.4831**
Dimensiunea sarmei		4,0 x 0,5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru		40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie		Ar+30%He+ 2%H_2+ 0,055%CO_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1	S 235JRG2	20 mm

Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			pulsat	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	120	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	3; 3,5	
Dilutia	%		14,36; 14;56	

Proba S 6020 R_{ab} = 3,0 V_D = 10	HL1	HL2	
x [mm]	HV 10	HV 10	
-10.0	150.3	156.0	Material de baza
-6.0	166.5	165.0	
-4.0	177.5	172.0	
-2.0	175.5	187.8	
-1.0	194.8	193.5	
0.0	220.0	206.0	
1.0	272.5	257.5	Material depus
2.0	251.0	249.5	
4.0	255.5	249.0	
5.0	262.0	240.0	



Proba S 6020 R_{ab} = 3,5 V_D = 10	HL1	HL2	
x [mm]	HV 10	HV 10	
-10.0	159.5	143.0	Material de baza
-6.0	166.0	155.0	
-4.0	159.5	172.0	
-2.0	183.0	192.0	
-1.0	180.5	184.5	
0.0	207.5	194.0	
1.0	246.3	249.0	Material depus
2.0	217.0	247.0	
4.0	232.0	241.5	
5.0	233.5	248.5	

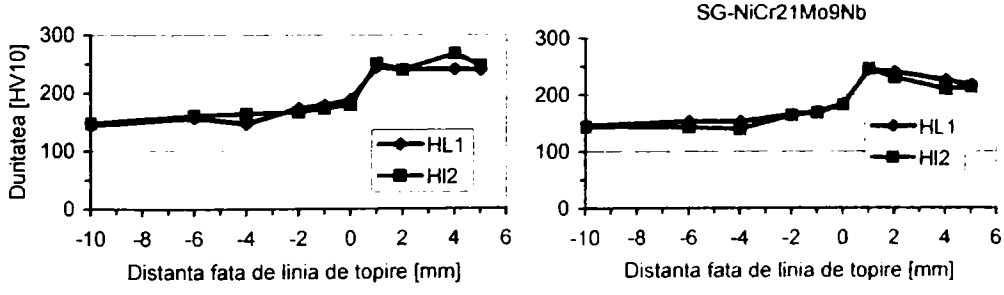
Determinarea duritatii - EN 1043

BUPT

Anexa D

Examinari si incercari	**T6**			
MIG / MAG - EB				
WPS - Nr.	**6**			
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	06.12.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**Werkst - Nr. 2.4831**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0.03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			pulsat	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	
Distanta intre randuri	mm	R_{ac}	4; 4,5; 5	
Dilutia	%		4,32; 10,66; 14,92	

Proba S 6020 R_{ab} = 4,0 mm	HL1	HL2	
x [mm]	HV 10	HV 10	
-10.0	144.0	148.0	Material de baza
-6.0	156.5	161.0	
-4.0	146.5	164.5	
-2.0	173.5	167.0	
-1.0	178.5	173.5	
0.0	188.0	179.5	
1.0	244.0	251.0	Material depus
2.0	240.0	240.0	
4.0	240.5	267.5	
5.0	239.0	248.0	



Proba S 6020 R_{ab} = 5,0 mm	HL1	HL2	
x [mm]	HV 10	HV10	
-10.0	145.0	143.3	Material de baza
-6.0	152.0	142.0	
-4.0	152.0	139.5	
-2.0	164.5	163.5	
-1.0	169.0	168.5	
0.0	183.0	182.0	
1.0	243.5	245.5	Material depus
2.0	240.0	230.0	
4.0	225.5	210.5	
5.0	217.3	213.5	

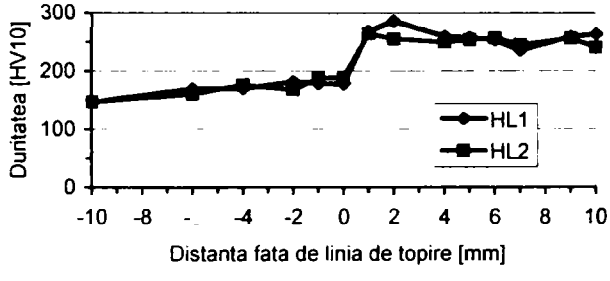
Determinarea duritatii - EN 1043

BUPT

Anexa D

Examinari si incercari	**T8**			
MIG / MAG - EB				
WPS - Nr.	**8**			
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	09.12.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiCr21Mo9Nb**	**Werkst - Nr. 2.4831**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0,03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	10
Tipul transferului			pulsat	pulsat
Viteza de sudare	cm/min	v_s	80	80
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	4.5
Dilutia	%		7.22	0.35

Proba S 6020 V_D = 10_2-lagig	HL1	HL2	
x [mm]	HV 10	HV 10	
-10.0	145.8	147.0	Material de baza
-6.0	169.0	160.0	
-4.0	169.5	176.3	
-2.0	181.0	167.5	
-1.0	177.8	187.0	
0.0	177.5	190.0	
1.0	268.0	264.0	Material depus
2.0	285.5	255.5	
4.0	259.5	249.5	
5.0	257.0	254.0	
6.0	252.5	257.0	
7.0	235.0	245.0	
9.0	258.5	256.0	
10.0	263.0	240.8	



Determinarea duritatii - EN 1043

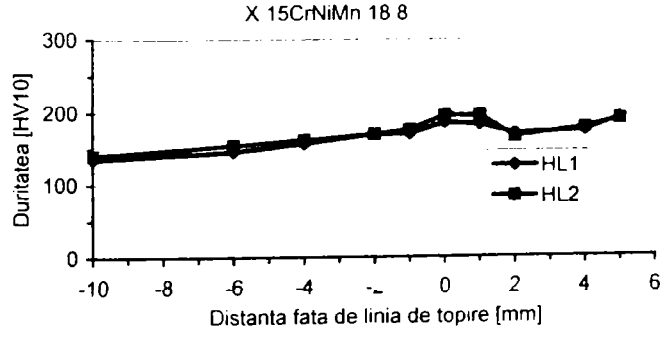
BUPT

Anexa D

Examinari si incercari	**T11**			
MIG / MAG - EB				
WPS - Nr.	**11**			
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	21.12.2004			
Tipul sarmei plate electrod			**X 15CrNiMn 18 8**	**Werkst - Nr. 1.4370**
Dimensiunea sarmei			4.0 x 0.5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			99%Ar+1%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235J2G3	20 mm
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			pulsat	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Distanta intre randuri	mm	R_{az}	4	
Dilutia	%			

[redacted]

Proba 1.4370 V_D = 10 Cronigon S1	HL1	HL2	
x [mm]	**HV 10**	**HV 10**	
-10.0	135.5	140.5	**Material de baza**
-6.0	145.8	155.0	
-4.0	157.0	162.0	
-2.0	169.8	170.0	
-1.0	170.0	176.0	
0.0	185.0	195.5	
1.0	182.5	195.0	**Material depus**
2.0	170.0	166.0	
4.0	174.0	178.5	
5.0	190.5	190.0	



Determinarea duritatii - EN 1043

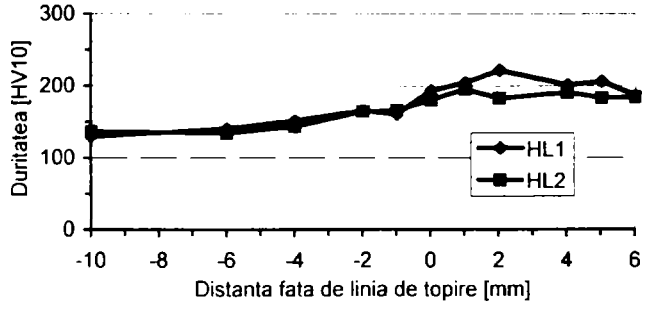
BUPT

Anexa D

Examinari si incercari	**T12**			
MIG / MAG - EB				
WPS - Nr.	**12**			
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	13.01.2005			
Tipul sarmei plate electrod			**X 15CrNiMn 18 8**	**Werkst - Nr. 1.4370**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0.5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	100^0 (impins 10^0)
Gazul de protectie			99%Ar+1%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235J2G3	20 mm
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			pulsat	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	5	
Dilutia	%		7.294	

[redacted]

Proba 1.4370 V_D = 15 Cronigon S1	HL1	HL2	
x [mm]	HV 10	HV 10	
-10.0	129.0	136.5	Material de baza
-6.0	139.8	134.0	
-4.0	151.0	143.0	
-2.0	165.0	164.5	
-1.0	160.5	166.0	
0.0	193.0	180.5	
1.0	204.0	195.5	Material depus
2.0	221.0	182.8	
4.0	201.0	191.0	
5.0	206.0	183.5	
6.0	186.0	184.5	



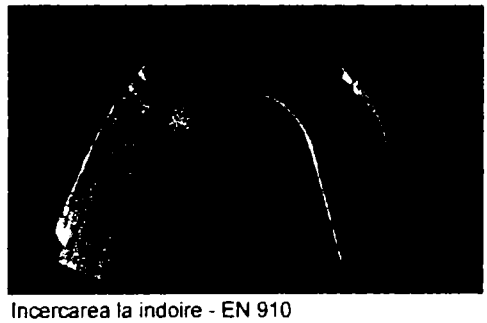
Determinarea duritatii - EN 1043

BUPT

Anexa D

Examinari si incercari *MIG / MAG - EB*	**T13**			
WPS - Nr.	**13**			
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	12.01.2005			
Tipul sarmei plate electrod			**X 15CrNiMn 18 8**	**Werkst - Nr. 1.4370**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie			Ar+2.5%CO_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235J2G3	20 mm
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			pulsat	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Distanta intre randuri	mm	R_{ac}	5	
Dilutia	%		3.77	

Examinare cu lichide penetrante - EN 571

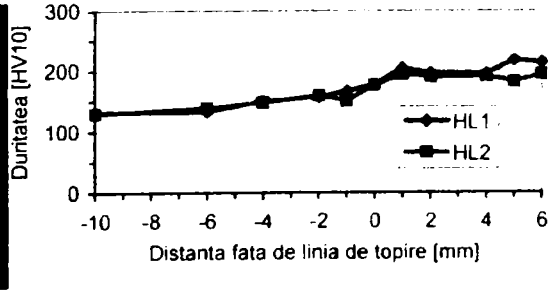


Incercarea la indoire - EN 910

Incercare la coroziune - ISO 3651

Incercarea la indoire - EN 910

Incercare la torsiune



Determinar[illegible]d[illegible]t[illegible]tii - EN 1043

BUPT

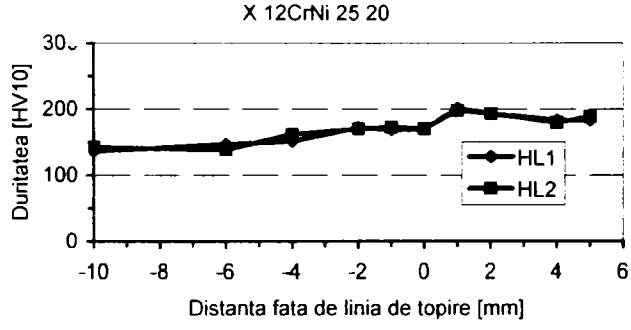
Anexa D

Examinari si incercari	**T14**			
MIG / MAG - EB				
WPS - Nr.	**14**			
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	19.01.2005			
Tipul sarmei plate electrod			**X 12CrNi 25 20**	**Werkst - Nr. 1.4842**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0.5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie			Ar+2,5%CO_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235J2G3	20 mm
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			pulsat	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	5	
Dilutia	%		8.48	

Examinari si incercari

[redacted]

Proba 1.4842 V_D = 15 Cronigon 2	HL1	HL2	
x [mm]	HV 10	HV 10	
-10.0	136.5	142.5	**Material de baza**
-6.0	146.5	138.8	
-4.0	151.5	162.5	
-2.0	172.0	170.5	
-1.0	169.0	173.0	
0.0	170.0	171.0	
1.0	201.0	198.0	**Material depus**
2.0	193.3	193.5	
4.0	183.0	180.0	
5.0	183.5	188.8	

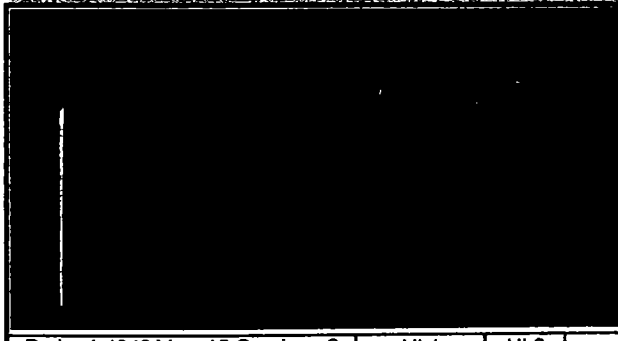


Determinarea duritatii - EN 1043

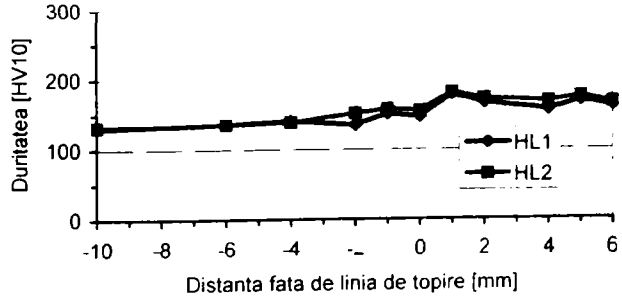
BUPT

Anexa D

Examinari si incercari *MIG / MAG - EB*	**T16**			
WPS - Nr.	**16**			
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	19.01.2005			
Tipul sarmei plate electrod			**X 12CrNi 25 20**	**Werkst - Nr. 1.4842**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			40^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie			Ar+2.5%CO_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235J2G3	20 mm
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	15	
Tipul transferului			spray	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Distanta intre randuri	mm	R_{ac}	5	
Dilutia	%			



Probe 1.4842 V_D = 15 Cronigon 2	HL1	HL2	
x [mm]	HV 10	HV 10	
-10.0	130.0	132.0	**Material de baza**
-6.0	136.0	136.0	
-4.0	140.3	139.0	
-2.0	135.0	152.0	
-1.0	151.0	158.0	
0.0	146.5	156.0	
1.0	178.5	181.3	**Material depus**
2.0	166.0	172.5	
4.0	156.0	168.5	
5.0	169.0	175.0	
6.0	161.5	166.8	

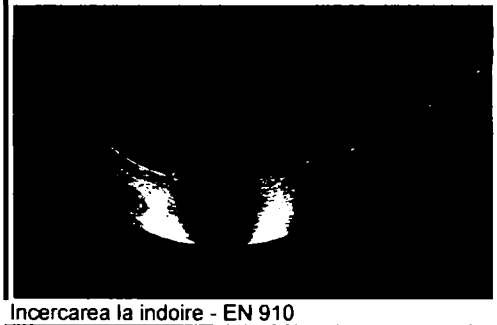


Determinarea duritatii - EN 1043

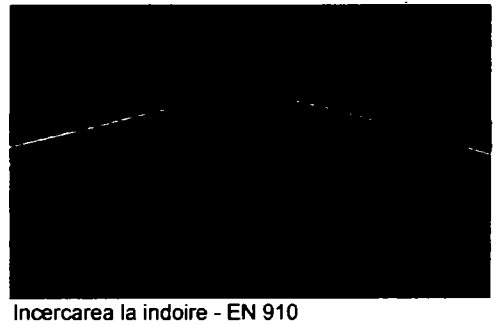
BUPT

Anexa D

Examinari si incercari	**T17**			
MIG / MAG - EB				
WPS - Nr.	**17**			
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	26.01.2005			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiTi4**	**Werkst - Nr. 2.4155**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0.5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			35^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+2%H_2+0.055%CO_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			pulsat	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Dilutia	%		1.07	



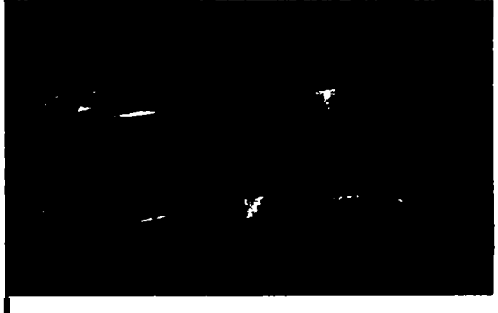
Incercarea la indoire - EN 910



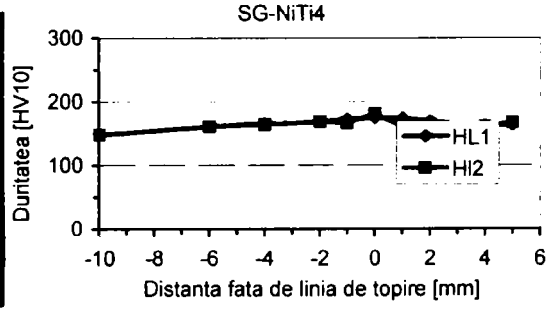
Incercarea la indoire - EN 910

Probe S 9604 Cronigon He	HL1	HI2	
x [mm]	HV 10	HV 10	
-10.0	147.0	148.0	**Material de baza**
-6.0	161.0	161.0	
-4.0	165.0	164.0	
-2.0	168.0	169.0	
-1.0	172.0	167.0	
0.0	174.8	180.8	
1.0	173.5	161.5	**Material depus**
2.0	168.5	164.5	
4.0	162.0	161.0	
5.0	163.5	167.5	

Incercare la coroziune - ISO 3651



Incercare la torsiune

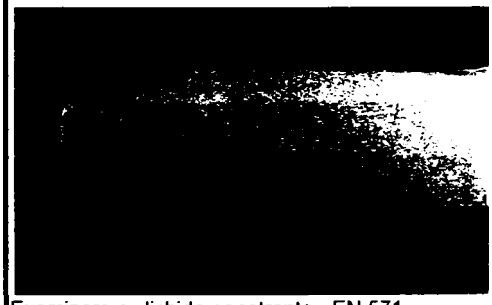


Determinarea duritatii - EN 1043

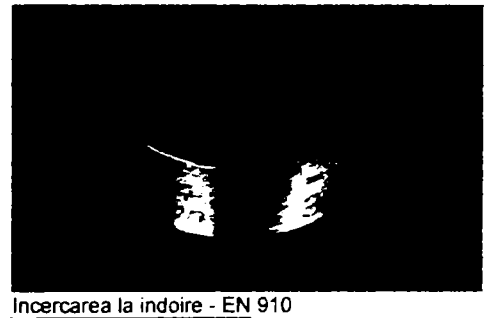
BUPT

Anexa D

Examinari si incercari *MIG / MAG - EB*	**T18**			
WPS - Nr.	**18**			
Sursa de sudare	F			
Cap de sudare / Duza de contact	F / B			
Data	02.02.2005			
Tipul sarmei plate electrod			**SG-NiTi4**	**Werkst - Nr. 2.4155**
Dimensiunea sarmei			4,0 x 0,5 mm	
Pozitia de sudare / Pozitia de lucru			35^0	110^0 (impins 20^0)
Gazul de protectie			Ar+30%He+0,03%O_2	
Material de baza / Grosimea MB	EN 10027-1		S 235JRG2	20 mm
Viteza de avans a sarmei electrod	m/min	v_e	10	
Tipul transferului			pulsat	
Viteza de sudare	cm/min	v_s	85	
Distanta intre randuri	mm	R_{ab}	4	
Dilutia	%		0.45	

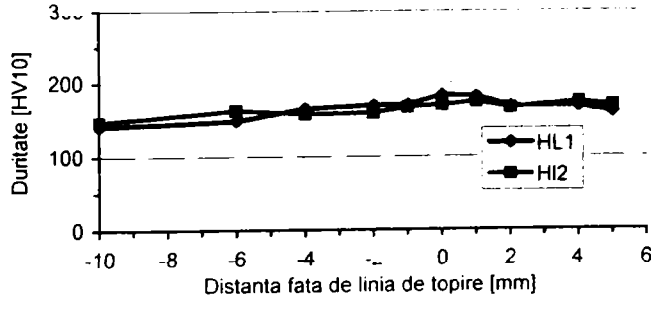


Examinare cu lichide penetrante - EN 571



Incercarea la indoire - EN 910

Proba S 9604 Varigon He	HL1	HL2	
x [mm]	HV 10	HV 10	
-10.0	141.0	147.0	**Material de baza**
-6.0	148.5	163.0	
-4.0	165.0	158.5	
-2.0	169.0	159.5	
-1.0	170.0	167.0	
0.0	182.5	169.8	
1.0	181.0	174.3	**Material depus**
2.0	167.5	166.0	
4.0	167.5	173.5	
5.0	160.0	169.0	



Determinarea duritatii - EN 1043

BUPT

ANEXA E

Tabel E.1

Valorile temeperaturii la sudarea MAG - EB cu vs = 80 cm/min			
TIME	P1	P2	P3
1.6447	33.4191	21	21
3.2895	74.8549	21	21
4.9342	122.191	21	21
6.5789	162.1	21	21
8.2237	193.645	21	21
9.8684	217.939	21.0017	21
11.513	236.089	21.4736	21
13.158	249.15	32.0572	21
14.803	258.091	65.3221	21
16.447	263.751	110.849	21
18.092	266.837	154.061	21
19.737	267.93	189.843	21
21.382	267.502	217.893	21
23.026	265.931	239.05	21.0033
24.671	263.519	254.416	21.9413
26.316	260.506	265.062	38.3262
27.961	258.36	271.913	82.2228
29.605	261.559	275.854	130.726
31.25	270.838	277.444	172.014
32.895	282.914	277.242	204.494
34.539	295.183	275.697	229.15
36.184	306.412	273.168	247.17
37.829	316.147	269.964	259.766
39.474	324.332	267.117	268.03
41.118	331.033	268.199	272.897
42.763	336.349	275.314	275.144
44.408	340.41	286.63	275.401
46.053	343.352	299.183	274.171
47.697	345.311	311.113	271.852
49.342	346.422	321.639	268.757
50.987	346.81	330.584	265.183
52.632	346.572	337.905	262.915
58.632	341.028	348.558	292.507
64.632	333.414	350.215	318.955
70.632	324.872	346.397	334.46
76.773	315.88	339.308	340.246
84.973	304.237	327.604	337.113
96.735	289.059	310.478	323.705
112.63	271.491	289.724	302.682
130.63	254.822	269.913	280.945
148.63	240.752	253.332	262.42
192.75	215.984	224.808	230.859
325.09	178	182.341	185.078
398.86	163.881	166.773	168.522
472.63	154.27	156.271	157.454
539.3	148.108	149.574	150.436
605.96	143.707	144.809	145.461
672.63	140.555	141.402	141.913

Tabel E.2

Valorile temeperaturii la sudarea MAG cu sarma plina de ϕ 1.6 mm si vs = 160 cm/min			
TIME	P1	P2	P3
0.82237	22.1231	21	21
1.6447	28.7124	21	21
2.4671	41.3352	21	21
3.2895	56.8024	21	21
4.1118	72.2745	21	21
4.9342	86.1616	21	21
5.7566	97.7831	21.0251	21
6.5789	107.063	21.937	21
7.4013	114.184	26.9895	21
8.2237	119.409	37.9944	21
9.0461	123.027	53.0962	21
9.8684	125.321	69.2967	21
10.691	126.55	84.4756	21
11.513	126.941	97.5485	21
12.336	126.686	108.206	21.0504
13.158	125.946	116.529	22.5073
13.98	125.219	122.746	29.6466
14.803	126.523	127.131	42.907
15.625	131.093	129.987	58.9824
16.447	138.133	131.599	74.9706
17.27	146.279	132.223	89.2435
18.092	154.471	132.082	101.104
18.914	162.055	131.369	110.514
19.737	168.686	130.515	117.665
20.559	174.225	131.006	122.835
21.382	178.661	134.35	126.333
22.204	182.053	140.534	128.46
23.026	184.502	148.427	129.494
23.849	186.122	156.834	129.675
24.671	187.031	164.912	129.206
25.493	187.342	172.165	128.272
26.316	187.159	178.354	127.468
32.316	177.414	186.604	157.986
38.316	166.376	180.758	172.605
44.316	156.12	170.569	172.126
50.316	147.173	160.068	164.74
57.647	138.092	148.827	153.652
69.028	127.259	135.424	138.975
77.672	120.464	127.146	129.771
86.316	114.758	120.322	122.231
104.32	105.847	109.954	111.014
122.32	98.9186	102.063	102.636
176.32	86.4417	88.2472	88.3322
338.32	71.3632	72.0121	71.8917
446.32	65.9307	66.2379	66.103
512.98	63.6816	63.8622	63.7335
579.65	62.1553	62.2571	62.1391
646.32	61.1116	61.1634	61.0572

BUPT

Titluri recent publicate în colecția „TEZE DE DOCTORAT" seria 8: Inginerie Industrială

1. **Liliana Daniela Moşteoru** – *Contribuţii la îmbunătăţirea performanţelor termice şi la ecologizarea aparatelor de sterilizare a instrumentelor medic*ale , *ISBN 978-973-625-441-3*, (2007);

2. **Mariana Ilie** – *Etude de l'interaction laser matière dans le cas des polymères semi-transparents: applications au soudage des polimères, ISBN 978-973-625-449-9,* (2007);

3. **Puiu Câneparu** – *Contribuţii privind îmbunătăţirea performanţelor echipamentelor mecanizate de tăiere termică, ISBN 978-973-625-478-9,* (2007);

4. **Marius Cătălin Grămescu** – *Aspecte privind strategii de dezvoltare specifice intreprinderilor mici şi mijlocii în vederea alinierii la cerinţele Uniunii Europene, ISBN 978-973-625-486-4,* (2007);

EDITURA POLITEHNICA

BUPT