

CERCETĂRI ASUPRA PROCEDEELOR DE SUDARE ADECVATE ȘI A CALITĂȚII ÎMBINĂRILOR SUDATE DIN COMPONENTA INCINERATOARELOR DE DEȘURI SPECIALE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE INDUSTRIALĂ
de către

Ing. Maria Salai

Conducător științific:
Referenți științifici:

prof.univ.dr.ing. Livius MILOȘ
prof.univ.dr. Radu IOVĂNAȘ
prof.univ.dr.ing. Gheorghe SOLOMON
prof.univ.dr.ing. Ion MITELEA

Ziua susținerii tezei: 04.07.2011

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 8. Inginerie Industrială |
| 2. Chimie | 9. Inginerie Mecanică |
| 3. Energetică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 4. Ingineria Chimică | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 5. Inginerie Civilă | 12. Ingineria sistemelor |
| 6. Inginerie Electrică | 13. Inginerie energetică |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 14. Calculatoare și tehnologia informației |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2011

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

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

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității de doctorand în specializarea Inginerie Industrială, la catedra de Știința Materialelor și a Sudării, din cadrul Universității POLITEHNICA Timișoara.

Teza sintetizează preocupările în domeniul sudării, în calitate de cadru didactic în învățământul preuniversitar, autor de standarde de pregătire profesională, curriculum și auxiliare curriculare pentru calificarea de Sudor și ulterior prin activitatea de cercetare desfășurată pe parcursul a 4 ani ca și doctorand.

Activitatea desfășurată în domeniile menționate s-a concretizat în elaborarea de peste 10 standarde de pregătire profesională, 15 curriculum și 6 lucrări științifice pe tematica tezei, prezentate la conferințe internaționale și publicate în reviste cotate ISI, respectiv BDI.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat prof.dr.ing. Livius MILOȘ, pentru competența îndrumare, propunerile, sugestiile și observațiile făcute privind sistematizarea datelor, informațiilor și rezultatelor în elaborarea tezei.

Autorul mulțumește cadrelor didactice din Facultatea de Mecanică, din cadrul Catedrei Știința Materialelor și a Sudării, în mod special domnului prof. dr. ing. Ion MITELEA, domnului conf. dr. ing. Bogdan RADU, pentru sprijinul oferit în efectuarea analizelor structurale.

Timișoara, iulie, 2011

Ing. Maria SALAI

Salai, Maria

Cercetări asupra procedeelelor de sudare adecvate și a calității îmbinărilor sudate din componența incineratoarelor de deșeuri speciale

Teze de doctorat ale UPT, Seria 8, Nr. 35, Editura Politehnica, 2011, 216 pagini, 171 figuri, 34 tabele.

Cuvinte cheie: oțeluri inoxidabile austenitice, aliaje refractare pe bază de nichel, rezistența la coroziune, mediu coroziv, analize metalografice, îmbinări sudate

Rezumat,

Diversitatea mare de deșeuri existente, supuse procesului de ardere, a impus realizarea de instalații de incinerare specializate și procese tehnologice specifice, corespunzătoare naturii și compoziției chimice a acestora. Importante pentru buna funcționare a acestor instalații sunt materialele și procedeele de îmbinare a acestora.

Cercetările realizate în cadrul tezei s-au axat pe selectarea materialelor și procedeelelor de sudare adecvate realizării reperelor instalațiilor de incinerare, în condițiile unei calități corespunzătoare a îmbinărilor sudate, care să corespundă condițiilor de exploatare.

Materialul recomandat la realizarea componentelor instalațiilor de incinerare biomasă-cărbune este un oțel inoxidabil austenitic de tip 18/10, precum marca X5CrNi18-10, utilizată în cercetările experimentale.

Cercetările experimentale au evidențiat că dintre aliajele de nichel, recomandat pentru realizarea componentelor incineratoarelor de deșeuri speciale, este aliajul Inconel 625. Aceasta deoarece în condiții identice de testare, epruvetele prelevate din probe sudate din aliaj Inconel 625, nu prezintă urme de coroziune la nivelul metalului de bază și la nivelul zonelor îmbinării sudate.

Pentru realizarea componentelor instalației de incinerare a deșeurilor periculoase din aliaj Inconel 625, procedeul de sudare adecvat este procedeul de sudare în mediu de gaz protector cu electrod nefuzibil, WIG. Înaintea punerii în exploatare, îmbinările sudate se recomandă a fi supuse unui tratament termic de recoacere de punere în soluție, tratament prin care se obține o uniformizare și diminuare a nivelului tensiunilor interne, diminuând prin aceasta riscul de coroziune tensosifurantă a îmbinărilor sudate.

CUPRINS

	Lista de tabele	9
	Lista de figuri	11
	INTRODUCERE	18
1.	INCINERATOARE INDUSTRIALE	20
1.1	Incineratoare pentru deșeuri speciale	20
1.1.1	Deșeuri speciale	20
1.1.1.1	<i>Deșeuri contaminate din activități medicale</i>	21
1.1.1.2	<i>Deșeuri de tip menajer</i>	22
1.1.1.3	<i>Deșeuri provenite din ambalaje comerciale</i>	22
1.1.1.4	<i>Amestecuri de deșeuri medicale</i>	23
1.1.2	Componența incineratoarelor pentru deșeuri speciale. Rol funcțional	24
1.2	Incineratoare pentru co-incinerarea biomasei cu carbune	28
1.2.1	Proprietățile biomasei	28
1.2.2	Emisiile de gaze la co-incinerare	29
1.2.2.1	<i>Emisiile de dioxid de sulf</i>	29
1.2.2.2	<i>Emisiile de monoxid de carbon</i>	30
1.2.2.3	<i>Emisiile de oxizi de azot</i>	31
1.2.3	Instalația experimentală pentru co-incinerarea biomasei cu carbune	32
1.2.3.1	<i>Sistemul de ardere</i>	
1.2.3.2	<i>Sistemul de transfer termic</i>	33
1.2.3.3	<i>Sistemul de desprăfuire mecanică</i>	34
1.2.3.4	<i>Sistemul de epurare a gazelor de ardere</i>	34
1.3	Materiale utilizate în fabricarea incineratoarelor	34
1.3.1	Oțeluri inoxidabile	34
1.3.1.1	<i>Generalități, tipuri</i>	34
1.3.1.2	<i>Comportarea la sudare a oțelurilor inoxidabile austenitice</i>	34
1.3.2	Aliaje refractare	36
1.3.2.1	<i>Generalități, tipuri</i>	37
1.3.2.2	<i>Rezistența la coroziune a aliajelor refractare</i>	37
1.3.2.3	<i>Comportarea la sudare a aliajelor refractare</i>	41
1.4	Procedee de sudare recomandate la fabricația incineratoarelor	43
1.4.1	Sudarea în mediu de gaz protector inert cu electrod fuzibil, MIG	44
1.4.2	Procedeul de sudare în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil, WIG	45
		48
2.	COROZIUNEA ÎMBINĂRILOR SUDATE	
2.1	Mecanismul coroziunii	51
2.1.1	Coroziunea chimică	51
2.1.2	Coroziunea electrochimică	51
2.2	Forme ale coroziunii	52
2.2.1	Coroziunea uniformă/generală	53
2.2.2	Coroziunea localizată prin puncte sau cratere	55
2.2.3	Coroziunea intercristalină /intergranulară	55
2.2.4	Coroziunea sub tensiune	56
2.3	Coroziunea la temperaturi înalte	57
2.3.1	Natura electrochimică a reacțiilor de oxidare	57
2.3.2	Oxidarea	58

6 Cuprins

2.3.2.1	<i>Presiunea parțială a oxigenului</i>	60
2.3.2.2	<i>Temperatura de lucru</i>	61
2.3.2.3	<i>Compoziția aliajului metalic</i>	62
2.3.3	Sulfitatea	62
2.3.4	Carburarea	64
2.3.5	Nitrurarea	66
2.3.6	Cenușa rezumată în urma arderii	67
2.4	Metode de evidențiere a coroziunii	67
2.4.1	Metode directe de evidențiere a coroziunii	67
2.4.2	Metode indirecte de determinare a coroziunii	68
3.	CERCETĂRI EXPERIMENTALE	69
3.1	Probe sudate	70
3.1.1	Materiale utilizate în cercetările experimentale	70
3.1.1.1	<i>Oțeluri inoxidabile utilizate</i>	70
3.1.1.2	<i>Aliaje refractare pe bază de Ni</i>	70
3.1.2	Echipamente de sudare utilizate în cercetările experimentale	71
3.1.2.1	<i>Echipamente pentru sudarea WIG</i>	72
3.1.2.2	<i>Echipamente pentru sudarea MIG</i>	72
3.1.3	Materiale de adaos utilizate la realizarea probelor sudate	73
3.1.3.1	<i>Sârme de sudare</i>	74
3.1.3.2	<i>Electrozi nefuzibili</i>	74
3.1.3.3	<i>Gaze de protecție</i>	75
3.1.4	Execuția probelor sudate	76
3.1.5	Tratamente termice	76
3.1.6	Testarea/supunerea la coroziune a probelor sudate	85
3.1.6.1	<i>Testarea probelor sudate în mediu rezultat din co-incinerarea biomasei cu cărbune</i>	86
3.1.6.2	<i>Testarea probelor sudate în mediu rezultat din incinerarea deșeurilor speciale</i>	88
4.	CALITATEA ÎMBINĂRILOR SUDATE SUPUSE COROZIUNII	
4.1	Încercări recomandate	91
4.1.1	Încercarea la tracțiune	91
4.1.2	Încercarea la îndoire	91
4.1.3	Încercarea durității	92
4.1.4	Analiza metalografică	93
4.1.5	Încercarea la coroziune intercrystalină	94
4.2	Încercarea epruvetelor	94
4.2.1	Încercarea la tracțiune	96
4.2.2	Încercarea la îndoire	96
4.2.3	Încercarea durității	99
4.2.4	Încercarea la coroziune intercrystalină	100
4.3	Analiza metalografică	106
4.3.1	Analiza metalografică a epruvetelor testate în mediu rezultat din co-incinerarea biomasei cu cărbune	108
4.3.1.1	<i>Examinarea macroscopică</i>	
4.3.1.2	<i>Examinarea microscopică a probelor sudate ce nu au fost supuse mediului coroziv</i>	108
4.3.1.3	<i>Examinarea microscopică a probelor sudate supuse mediului coroziv</i>	109
4.3.2	Încercarea epruvetelor testate în mediul coroziv rezultat	111

	din incinerarea deșeurilor speciale	113
4.3.2.1	<i>Examinarea vizuală a probelor sudate după testarea în mediu coroziv</i>	114
4.3.2.2	<i>Examinarea macroscopică</i>	115
4.3.2.3	<i>Analiza microscopică a probelor sudate nesupuse mediului coroziv - setul I de epruvete</i>	118
4.3.2.4	<i>Analiza microscopică a probelor sudate supuse mediului coroziv - setul II de epruvete</i>	123
5.	CONDIȚII DE EXPLOATARE PENTRU MINIMALIZAREA PROCESULUI DE COROZIUNE	132
5.1	Generalități	
5.2	Îmbinare pe probe sudate din oțel inoxidabil, X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune	132
5.2.1	Influența factorilor de control asupra durității probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune	133
5.2.2	Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune	135
5.2.3	Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune	137
5.2.4	Influența factorilor de control asupra analizei microstructurale a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune	139
5.2.5	Optimizarea rezultatelor procesului	
5.3	Îmbinare pe probe sudate din oțel inoxidabil X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale	141
5.3.1	Influența factorilor de control asupra durității probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale	142
5.3.2	Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale	143
5.3.3	Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale	146
5.3.4	Influența factorilor de control asupra analizei microstructurale a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale	148
5.3.5	Optimizarea rezultatelor procesului	
5.4	Îmbinare pe probe sudate din aliaj Inconel 601, supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale	153
5.4.1	Influența factorilor de control asupra durității probelor sudate din aliaj Inconel 601	154
5.4.2	Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 601	155
5.4.3	Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 601	158
5.4.4	Influența factorilor de control asupra analizei microstructurale a	159

8 Cuprins

	probelor sudate din aliaj Inconel 601	161
5.4.5	Optimizarea rezultatelor procesului	
5.5	Îmbinare pe probe sudate din aliaj Inconel 625, supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale	164
		166
5.5.1	Influența factorilor de control asupra durității probelor sudate din aliaj Inconel 625	166
5.5.2	Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 625	168
5.5.3	Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 625	169
5.5.4	Influența factorilor de control asupra constituenților structurali din probele sudate din aliaj Inconel 625	171
5.5.5	Optimizarea rezultatelor procesului	
6.	CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	173
	BIBLIOGRAFIE	175
	Anexe	180
	A 1	186
	A 2	186
	A 3	196
	A 4	197
	A 5	198
	A 6	199
	A 7	200
	A 8	204
	A 9	208
		213

Lista de tabele

- Tabelul 1.1 Compoziția chimică a materialelor din deșeuri/speciale
- Tabelul 1.2 Compoziția chimică elementară a deșeului medical contaminat
- Tabelul 1.3 Caracteristicile de ardere ale deșeului medical contaminat
- Tabelul 1.4 Compoziția chimică elementară a deșeului menajer
- Tabelul 1.5 Caracteristicile de ardere ale deșeului menajer
- Tabelul 1.6 Compoziția chimică elementară a deșeului provenit din ambalaje comerciale
- Tabelul 1.7 Caracteristicile de ardere ale deșeului provenit din ambalaje comerciale
- Tabelul 1.8 Compoziția deșeului medical
- Tabelul 1.9 Compoziția chimică elementară pentru amestecuri de deșeuri medicale
- Tabelul 1.10 Caracteristicile de ardere pentru amestecuri de deșeuri medicale
- Tabelul 1.11 Principalele caracteristici tehnice ale instalației experimentale
- Tabelul 1.12 Compoziția chimică a oțelurilor inoxidabile folosite la construcția incineratoarelor
- Tabelul 1.13 Caracteristicile mecanice ale oțelurilor inoxidabile folosite la construcția incineratoarelor
- Tabelul 1.14 Valori ale principalelor elemente de aliere și influența lor asupra proprietăților aliajelor înalt performante
- Tabelul 1.15 Compoziția chimică a aliajelor pe bază de nichel folosite la construcția incineratoarelor
- Tabelul 1.16 Tipuri de transfer a picăturii de metal la sudarea MIG/MAG
- Tabelul 1.17 Fenomene produse la alimentarea arcului WIG în c.c/c.a
- Tabelul 2.1 Rezultatele testelor efectuate pe aliaje pe bază de fier, nichel și cobalt, în curenți de aer, în medii oxidante, la diferite temperaturi,
- Tabelul 3.1 Compoziția chimică a oțelului inoxidabil folosit în cercetările experimentale
- Tabelul 3.2 Caracteristicile mecanice ale oțelului inoxidabil folosit în cercetările experimentale
- Tabelul 3.3 Compoziția chimică a aliajelor pe bază de Ni folosite în cercetările experimentale
- Tabelul 3.4 Caracteristicile mecanice ale aliajelor pe bază de Ni folosite în cercetările experimentale
- Tabelul 3.5 Compoziția chimică a sârmei utilizate la realizarea probelor sudate prin procedeul MIG
- Tabelul 3.6 Caracteristicile mecanice ale sârmei utilizate la realizarea probelor sudate prin procedeul MIG
- Tabelul 3.7 Compoziția chimică a vergelelor utilizate la realizarea probelor sudate prin procedeul WIG
- Tabelul 3.8 Caracteristicile mecanice ale vergelelor utilizate la realizarea probelor sudate prin procedeul WIG
- Tabelul 3.9 Compoziția chimică a electrodului nefuzibil utilizat la realizarea probelor sudate
- Tabelul 3.10 Valorile gazelor de ardere în punctul MP1, pentru arderea a 15% coceni de porumb cu 85% lignit
- Tabelul 3.11 Valorile gazelor de ardere în punctul MP1, pentru arderea a 30% rumeguș cu 70% huiță

10 Lista de tabele și figuri

Tabelul 3.12 Valorile temperaturilor înregistrate de termocuplele TC8 și TC9

Tabelul 3.13 Valorile gazelor de ardere la ieșirea din sistemul de neutralizare

Tabelul 4.1 Rezultate ale încercării la tracțiune a probelor din oțel inoxidabil X10CrNi18-10 supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea amestecului biomasa-carbune

Tabelul 4.2 Rezultate ale încercării la tracțiune a probelor din oțel inoxidabil X10CrNi18-10 nesupuse/supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

Tabelul 4.3 Rezultate ale încercării la tracțiune a probelor din aliaje de nichel nesupuse/supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

Lista de figuri

- Fig.1.1 Categoriile de deșeuri medicale și sursele majore din care acestea provin
- Fig.1.2 Incineratorul de deșeuri speciale aflat în funcțiune la SC PRO AIR CLEAN Timișoara
- Fig.1.3 Schema tehnologică a instalației de incinerare de capacitate 9,8 t/zi
- Fig.1.4 Instalație de incinerare a deșeurilor speciale
- Fig.1.5 Instalație de tratare și neutralizare a gazelor de ardere
- Fig.1.6 Compoziția a două sorturi de cărbune, respectiv a două sorturi de biomasă exprimată în procente masice de masă anhidră
- Fig.1.7 Conținutul de sulf pentru diferite sorturi de biomasă și cărbune
- Fig.1.8 Dependența concentrației monoxidului de carbon în funcție de temperatura de ardere pentru un focar cu grătar
- Fig.1.9 Dependența dintre temperatura din focar și formarea oxizilor de azot, funcție de mecanismul de producere
- Fig.1.10 Vedere generală a instalației pilot de la UPT
- Fig.1.11 Schema de principiu a procedurii de sudare MIG/MAG
- Fig.1.12 Schema de principiu a procedurii de sudare WIG
- Fig.2.1 Pierderi datorate coroziunii în țările industrializate
- Fig.2.2 Forme ale coroziunii identificabile prin control vizual
- Fig.2.3 Forme ale coroziunii identificabile prin control cu mijloace suplimentare de examinare
- Fig.2.4 Forme ale coroziunii identificabile prin examinare microscopică
- Fig.2.5 Imagini microscopice de coroziune generală/uniformă
- Fig.2.6 Imagini microscopice de coroziune prin puncte/pitting
- Fig.2.7 Coroziunea intercristalină/intergranulară
- Fig.2.8 Coroziunea sub tensiune a oțelurilor inoxidabile
- Fig.2.9 Schema procesului de oxidare la interfața oxid-gaz
- Fig.2.10 Obținerea startului de oxizi la interfața metal-oxid
- Fig.2.11 Schema reacției catodice de obținere a stratului de oxizi la interfața oxid-gaz
- Fig.2.12 Efectul presiunii parțiale a oxigenului asupra deteriorării metalului, într-o atmosferă oxidantă, în cazul unei expuneri de 1 an la temperatura de 930 °C, pentru unele aliaje uzuale
- Fig.2.13 Influența temperaturii asupra deteriorării metalului prin oxidare pentru unele aliaje la o expunere de 1 an în aer
- Fig.2.14 Evidențierea stratului corodat din punct de vedere morfologic
- Fig.2.15 Influența temperaturii și a acidului sulfhidric asupra coroziunii, pentru oțelurile inoxidabile austenitice, la o expunere mai mare de 150 ore
- Fig.2.16 Efectul presiunii parțiale a acidului sulfhidric asupra coroziunii prin sulfitare după un an de expunere, în mediu cu acid sulfhidric, la o presiune de 34 atm și 540 °C
- Fig.2.17 Efectul temperaturii asupra coroziunii prin sulfitare, la o serie de materiale, după o expunere de 1 an, într-o atmosferă gazoasă de H₂-H₂S, care conține 1 % H₂S, la o presiune de 34 atm

12 Lista de tabele și figuri

- Fig.2.18 Metode directe de evidențiere a coroziunii
Fig.2.19 Metode indirecte de evidențiere a coroziunii
Fig.3.1 Instalație de sudare WIG, MAGIC WAVE 300
Fig.3.2 Instalație de sudare MIG, LUC 500-ARISTO, ESAB
Fig.3.3 Specificația procedurii de sudare, WPS 1, pentru sudarea MIG a tablelor de 4 mm, oțel inox: EN 10020-X10CrNi18-10/AISI 304
Fig.3.4 Specificația procedurii de sudare, WPS 2, pentru sudarea WIG a tablelor de 4 mm, oțel inox: EN 10020-X10CrNi18-10/AISI 304
Fig.3.5 Specificația procedurii de sudare, WPS 3, pentru sudarea WIG a tablelor de 4 mm, deschiderea între componente de 1,5 mm, oțel inox: EN 10020-X10CrNi18-10
Fig.3.6 Specificația procedurii de sudare, WPS 4, pentru sudarea WIG a tablelor de 4 mm, Inconel 601/NiCr23Fe/N06601
Fig.3.7 Specificația procedurii de sudare, WPS 5, pentru sudarea WIG a tablelor de 3 mm, Inconel 601/NiCr23Fe/N06601
Fig.3.8 Specificația procedurii de sudare, WPS 6, pentru sudarea WIG a tablelor de 4 mm, Inconel 625/NiCr22Mo9Nb/N06625
Fig.3.9 Specificația procedurii de sudare, WPS 7, pentru sudarea WIG a tablelor de 4 mm, deschidere de 2,5 mm, Aliaj 625 NiCr22Mo9Nb/N06625
Fig.3.10 Specificația procedurii de sudare, WPS 8, pentru sudarea WIG a tablelor de 3 mm, Inconel 601/NiCr23Fe/N06601
Fig.3.11 Schema incineratorului de biomasă-cărbune și poziția punctelor de măsurare pentru emisiile de gaze
Fig.3.12 Instalația de incinerare a deșeurilor speciale
Fig.3.13 Poziția probelor sudate în instalația de incinerare a deșeurilor
Fig.4.1 Forma și dimensiunile epruvetelor pentru încercarea la tracțiune a îmbinărilor sudate cap la cap
Fig.4.2 Încercarea la îndoire frontală
Fig.4.3 Epruvete pentru încercarea la îndoire frontală
Fig.4.4 Epruvete din aliaje de nichel, pentru încercarea de microduritate
Fig.4.5 Probe sudate, modul de prelevare (a) și forma epruvetelor (b) pentru încercarea de coroziune intercrystalină
Fig.4.6 Imagini de epruvete pentru încercarea la coroziune intercrystalină, prelevate din probe sudate
Fig.4.7 Modul de prelevare a epruvetelor pentru încercări
Fig.4.8 Epruvete încercate la tracțiune a îmbinării sudate
Fig.4.9 Epruvete încercate la tracțiunea îmbinării sudate
Fig.4.10 Imagini ale epruvetelor încercate la îndoire frontală din oțel inoxidabil
Fig.4.11 Imagini ale epruvetelor încercate la îndoire frontală din aliaje de nichel
Fig.4.12 Direcțiile de amplasare a amprențelor pentru măsurarea durtății conform
Fig.4.13 Variația microdurtății, probă sudată, oțel X5CrNi18-10, nesupusă mediului coroziv
Fig.4.13 Variația microdurtății, probă sudată, oțel X5CrNi18-10, nesupusă mediului coroziv
Fig.4.15 Variația microdurtății, probă sudată, Inconel 601, s=4 mm, netratat termic
Fig.4.16 Variația microdurtății, probă sudată, Inconel 601, s=4 mm, tratat termic
Fig.4.17 Variația microdurtății, probă sudată, Inconel 625, s=4 mm, netratat termic
Fig.4.18 Variația microdurtății, probă sudată, Inconel 625, s=4 mm, tratat termic

- Fig.4.19 Variația microdunității, probă sudată, oțel X5CrNi18-10, după expunere în mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.4.20 Variația microdunității, probă sudată, Inconel 601, s=3 mm, după expunere în mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.4.21 Variația microdunității, probă sudată, Inconel 601, s=4 mm, după expunere în mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.4.22 Variația microdunității, probă sudată, Inconel 625, s=4 mm, după expunere în mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.4.23 Epruvete pentru încercarea la coroziune intercrystalină, prelevate din probele sudate
- Fig.4.24. Epruvete pentru încercarea coroziunii intercrystaline a probelor sudate din oțel inoxidabil
- Fig.4.25 Epruvete prelevate din îmbinări sudate din aliaje de nichel, înainte de introducerea în mediul coroziv
- Fig.4.26 Epruvete prelevate din îmbinări sudate din aliaje de nichel, supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale
- Fig.4.27 Macrografie îmbinări sudate, oțel X5CrNi18-10, s=4mm, sudate MIG
- Fig.4.28 Macrografie îmbinări sudate, oțel X5CrNi18-10, s=4mm, sudate WIG
- Fig.4.29 Imagine micrografică metal de bază, X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.30 Imagine micrografică, zona influențată termic, probă sudată WIG, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.31 Imagine micrografică, zona influențată termic, probă sudată MIG, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.32 Imagine micrografică, zona de trecere, probă sudată WIG, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.33 Imagine micrografică, zona de trecere, probă sudată MIG, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.34 Imagine micrografică, metal sudură, probă sudată WIG, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.36 Imagine micrografică metal de bază, oțel X5CrNi18-10, după expunere în mediu coroziv, X100
- Fig.4.37 Imagine micrografică, zona de influență termică, probă sudată WIG, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.38 Imagine micrografică, zona de influență termică, probă sudată MIG, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.39 Imagine micrografică, zona de trecere, probă sudată WIG, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.40 Imagine micrografică, zona de trecere, probă sudată MIG, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.41 Imagine micrografică, metal sudură, probă sudată WIG, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.42 Imagine micrografică, metal sudură, probă sudată MIG, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.43 Imagine micrografică, suprafață exterioară, zona de influență termică, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.44 Imagine micrografică, suprafață exterioară, metal sudură, oțel X5CrNi18-10, X100

14 Lista de tabele și figuri

- Fig.4.45 Aspectul probelor sudate din oțel inoxidabil X10CrNi18-10/AISI 304, în urma expunerii în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale
- Fig.4.46 Aspectul probelor sudate din Inconel 601/N06601, în urma expunerii în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale
- Fig.4.47 Aspectul probelor sudate din Inconel 625/N06625, în urma expunerii în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale
- Fig.4.48 Macrografie îmbinări sudate fără tratament termic
- Fig.4.49 Macrografie îmbinări sudate după tratament termic
- Fig.4.50 Macrografie îmbinări sudate, oțel X10CrNi18-10, după expunere 36 zile în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale
- Fig.4.51 Macrografie îmbinări sudate, Inconel 601, s=3mm, după expunere 36 zile, în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale
- Fig.4.52 Macrografie îmbinări sudate, Inconel 601, s=4mm, după expunere 36 zile în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale
- Fig.4.53 Macrografie îmbinări sudate, Inconel 625, s=4mm, după expunere 36 zile în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale
- Fig.4.54 Imagine micrografică metal de bază, Inconel 601, fără tratament termic, X200
- Fig.4.55 Imagine micrografică zona influențată termic, Inconel 601, fără tratament termic, X100
- Fig.4.56 Imagine micrografică metal sudură, Inconel 601, fără tratament termic, X200
- Fig.4.57 Imagine micrografică a metalului de bază, Inconel 625, fără tratament termic
- Fig.4.58 Imagine micrografică zonă influențată termic, Inconel 625, fără tratament termic, X200
- Fig.4.59 Imagine micrografică zonă de trecere, Inconel 625, fără tratament termic, X200
- Fig.4.60 Imagine micrografică metal sudură, Inconel 625, fără tratament termic, X200
- Fig.4.61 Imagine micrografică zonă exterioară sudură, Inconel 625, fără tratament termic, X200
- Fig.4.62 Imagine micrografică metal de bază, după tratament termic, X200
- Fig.4.63 Imagine micrografică zona influențată termic, după tratament termic, X200
- Fig.4.64 Imagine micrografică metal sudură, după tratament termic, X200
- Fig.4.65 Imagine micrografică, metal de bază, strat de suprafață
- Fig.4.66 Imagine micrografică, metal de bază în profunzime, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.67 Imagine micrografică, zona de trecere, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.68 Imagine micrografică, zona influențată termic, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.69 Imagine micrografică, metal sudură zona exterioară, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.70 Imagine micrografică, metal sudură zona centrală, oțel X5CrNi18-10, X100
- Fig.4.71 Imagine micrografică, metal de bază, Inconel 601, s=3 mm, X100
- Fig.4.72 Imagine micrografică, metal de bază, zonă exterioară, Inconel 601, s=3 mm, X100
- Fig.4.73 Imagine micrografică, zona de trecere, Inconel 601, s=3 mm, X100
- Fig.4.74 Imagine micrografică, zona influențată termic, Inconel 601, s=3 mm, X100

- Fig.4.75 Imagine micrografică, metal sudură suprafață exterioară, Inconel 601, s=3 mm, X100
- Fig.4.76 Imagine micrografică, metal sudură zona centrală, Inconel 601, s=3 mm, X100
- Fig.4.77 Imagine micrografică, metal sudură, zonă centrală, a 2-a trecere, Inconel 601, s=3 mm, X100
- Fig.4.78 Imagine micrografică, metal sudură, suprafață inferioară, Inconel 601, s=3 mm, X100
- Fig.4.79 Imagine micrografică, metal de bază, suprafață superioară, Inconel 601, s=4 mm, X100
- Fig.4.80 Imagine micrografică, metal de bază, zona centrală, Inconel 601, s=4 mm, X100
- Fig.4.81 Imagine micrografică, metaldebază, zona centrală, Inconel 601, s=4 mm, X100
- Fig.4.82 Imagine micrografică, metalde bază,suprafață inferioară, Inconel 601 s=4 mm, X100
- Fig.4.83 Imagine micrografică, zona influențată termic, suprafață exterioară Inconel 601, s=4 mm, X100
- Fig.4.84 Imagine micrografică, zona influențată termic, zona centrală Inconel 601,s=4 mm, X100
- Fig.4.85 Imagine micrografică,metal sudură suprafață superioară, Inconel 601, s=4 mm, X100
- Fig.4.86 Imagine micrografică,metal sudură zonă centrală, Inconel 601, s=4 mm, X100
- Fig.4.87 Imagine micrografică,metal sudură zonă centrală, Inconel 601,s=4 mm, X100
- Fig.4.88 Imagine micrografică,metal sudură suprafață inferioară, Inconel 601, s=4 mm, X100
- Fig.4.89 Imagine micrografică, metaldebază, Inconel 625, s=4 mm
- Fig.4.90 Imagine micrografică, zona influențată termic, Inconel 625, s=4 mm
- Fig.4.91 Imagine micrografică,metal sudură, Inconel 625, s=4 mm
- Fig.5.1. Graficele reziduale pentru duritatea probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supusemediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune
- Fig.5.2 Influența factorilor de control asupra durității probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supusemediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune
- Fig.5.3 Graficele reziduale pentru rezistența la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supusemediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune
- Fig.5.4 Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supusemediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune
- Fig.5.5 Graficele reziduale pentru alungirea la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supusemediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune
- Fig.5.6 Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

16 Lista de tabele și figuri

- Fig.5.7 Graficele reziduale pentru analiza microstructurală a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune
- Fig.5.8 Influența factorilor de control asupra analizei microstructurale a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune
- Fig.5.9 Valorile optime ale caracteristicilor mecanice și analizei microstructurale, probe sudate oțel X5CrNi18/10, mediu coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune
- Fig.5.10 Graficele reziduale pentru duritatea probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.5.11 Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.5.12 Influența timpului de menținere și a temperaturii asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor
- Fig.5.13 Graficele reziduale pentru rezistența la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supue mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.5.14 Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.5.15 Graficele reziduale pentru alungirea la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.5.16 Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.5.17 Graficele reziduale pentru analiza microstructurală a probelor din oțel supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale
- Fig.5.18 Influența factorilor de control asupra analizei microstructurale a probelor din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.5.19 Influența timpului de menținere și a temperaturii asupra analizei microstructurale a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor
- Fig.5.20 Valorile optime ale caracteristicilor mecanice și analizei microstructurale, probe sudate oțel, X5CrNi18/10, mediu coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.5.21 Graficele reziduale pentru duritatea probelor sudate din aliaj Inconel 601
- Fig.5.22 Influența factorilor de control asupra durității probelor sudate din aliaj Inconel 601
- Fig.5.23 Influența timpului de menținere și a temperaturii asupra durității probelor sudate din aliaj Inconel 601
- Fig.5.24 Influența factorilor de control asupra rezistenței la ruperea a probelor sudate din aliaj
- Fig.5.25 Graficele reziduale pentru alungirea la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 601
- Fig.5.26 Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din aliaj

- Fig.5.27 Graficele reziduale pentru analiza microstructurală a probelor sudate din aliaj Inconel 601
- Fig.5.28 Influența factorilor de control asupra analizei microstructurale a probelor sudate din aliaj Inconel 601
- Fig.5.29 Influența timpului de menținere și a temperaturii asupra analizei microstructurale a probelor sudate din aliaj Inconel 601
- Fig.5.30 Valori optime ale caracteristicilor mecanice și analizei microstructurale, probe sudate aliaj Inconel 601, mediu coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
- Fig.5.31 Valorile optime ale condițiilor de exploatare, pentru probe sudate din aliaj Inconel
- Fig.5.32 Influența factorilor de control asupra durității probelor sudate din aliaj Inconel 625
- Fig.5.33 Influenței factorilor de control asupra rezistenței la ruperea a probelor sudate din aliaj Inconel 625
- Fig.5.34 Influenței factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 625
- Fig.5.35 Influența factorilor de control asupra constituenților structurali din probele sudate din aliaj Inconel 625
- Fig.5.36 Valori optime ale caracteristicilor mecanice și analizei microstructurale, probe sudate, aliaj Inconel 625, mediu coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

INTRODUCERE

Creșterea consumului de energie, continua expansiune naturală a populației pe glob, impune adoptarea unor surse alternative de energie, una dintre posibilități fiind producerea de energie curată.

În contextul dezvoltării industriale și a creșterii nivelului de civilizație și confort a populației, devine tot mai atractivă valorificarea resurselor neconvenționale de energie, prin arderea diferitelor tipuri de deșeuri.

Incinerarea deșeurilor se poate realiza fie în instalații speciale, al căror scop principal îl reprezintă distrugerea termică a deșeurilor, cum este cazul incinerării deșeurilor speciale, fie în instalații de coincinerare, al căror scop principal este generarea de energie, cum este cazul coincinerării biomasă-cărbune.

Instalațiile de incinerare produc arderea substanțelor contaminate pe principiul incinerării deșeurilor în două faze. Într-o primă fază în zona de combustie deșeurile sunt arse complet la o temperatură cuprinsă între 400-900 °C, în faza următoare gazele de ardere rezultate în urma combustiei principale, sunt arse în camera de post-combustie la o temperatură cuprinsă între 850-1200 °C.

Instalațiile de incinerare sunt supuse unor reglementări stricte în ceea ce privește emisiile de poluanți în aer, apă și sol. Datorită rigulozității standardelor de securitate și protecție a mediului pe care trebuie să le îndeplinească, incineratoarele au devenit o soluție „verde” pentru tratarea deșeurilor, în mod deosebit a deșeurilor periculoase.

Problematika tezei de doctorat se înscrie în contextul optimizării materialelor și procedeele de sudare utilizate la realizarea instalațiilor de incinerare a deșeurilor speciale, respectiv arderea biomasă-cărbune.

În cadrul tezei de doctorat, a fost analizată comportarea diferitelor materiale metalice, respectiv îmbinări sudate din diferite materiale, utilizate la realizarea unor repere/componente din instalațiile de ardere ale incineratoarelor de deșeuri. S-a urmărit comportarea acestor materiale și îmbinări sudate din punct de vedere al rezistenței, la temperaturi ridicate în intervalul 900-1200 ° și la acțiunea chimică a gazelor de ardere.

Capitolul 1 al tezei prezintă date referitoare la compoziția chimică a deșeurilor, respectiv la emisiile de gaze rezultate în urma incinerării atât a deșeurilor speciale cât și a amestecurilor de biomasă-cărbune.

În corelație cu acestea, în continuarea capitolului se prezintă componența și rolul funcțional al instalațiilor de incinerare a deșeurilor speciale, respectiv a biomasei-cărbune, precizându-se și datele referitoare la instalațiile în care s-au realizat cercetările experimentale.

Referitor la materialele metalice utilizate în fabricarea incineratoarelor, cercetările s-au axat asupra oțelurilor inoxidabile și aliajelor refractare pe bază de nichel, precizându-se comportarea la sudare a acestor materiale și procedeele de sudare recomandate pentru realizarea de îmbinări sudate din aceste materiale.

Capitolul 2 al tezei detaliază aspecte legate de coroziunea îmbinărilor sudate, acest fenomen fiind predominant în exploatarea incineratoarelor. În prima parte a capitolului s-a prezentat mecanismul coroziunii și principalele forme ale coroziunii specifice materialelor și îmbinărilor sudate.

Coroziunea la temperaturi înalte a materialelor și îmbinărilor sudate, este prezentată în partea a doua a capitolului, ca urmare a mediului de lucru caracterizat prin temperaturi ridicate și variații ale compoziției gazelor de ardere funcție de compoziția chimică a deșeurilor incinerate.

Date referitoare la execuția probelor sudate pe diferite materiale: oțeluri inoxidabile și aliaje refractare de nichel, sudate prin procedee de sudare în mediu de gaze protectoare: WIG și MIG, și condițiile de expunere a acestora în mediul rezultat din co-incinerarea biomasei cu cărbune, respectiv arderea deșeurilor speciale se prezintă în capitolul 3 al tezei.

Cercetările experimentale referitoare la analiza calității îmbinărilor sudate realizate fac obiectul capitolului 4. Calitatea îmbinărilor sudate nesupuse mediului coroziv și după testarea în mediul coroziv a fost analizată prin determinarea caracteristicilor mecanice, prin încercări de coroziune intercrystalină, și prin analiza macro și microstructurală.

Analiza macro și microstructurală a epruvetelor din diverse materiale sudate în condiții diferite, supuse mediului rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune, respectiv arderea deșeurilor speciale, comparativ cu cele nesupuse mediului coroziv, a permis evidențierea influenței mediului coroziv asupra comportării în exploatare a îmbinărilor sudate.

De asemenea prin analiza macro și micro structurală s-au evidențiat condițiile de apariție a defectelor, formele și nivelul coroziunii apărute, în corelație cu materialul probelor sudate și condițiile de expunere în mediu coroziv.

În vederea stabilirii condițiilor minime de dezvoltare a procesului de coroziune a materialelor, respectiv a îmbinărilor sudate din componența incineratoarelor, s-a utilizat programul statistic MINITAB, program bazat pe planificarea experimentelor, prin rularea căruia s-au obținut modele matematice prezentate în capitolul 5. Prin utilizarea acestui program s-a urmărit optimizarea variabilelor controlate ale procesului, pentru obținerea rezultatelor corespunzătoare de incinerare a deșeurilor.

Datele de intrare utilizate în modelele experimentale au fost rezultatele experimentale obținute la analiză metalografică și încercările mecanice pe probe sudate din diferite materiale, supuse mediului coroziv rezultat din diverse medii de lucru, prezentate în capitolul 4.

Ultimul capitol, capitolul 6 al tezei, însumează concluziile și contribuțiile personale ale autorului, rezultate în urma cercetărilor efectuate.

Autorul mulțumește cadrelor didactice din Facultatea de Mecanică, din cadrul Catedrei Știința Materialelor și a Sudării, în mod special domnului prof. dr. ing. Ion MITELEA, domnului conf. dr. ing. Bogdan RADU, pentru sprijinul oferit în efectuarea analizelor structurale.

În mod deosebit doresc să-mi exprim mulțumirile mele, domnului profesor Livius MILOȘ, conducătorul științific al tezei, pentru competența îndrumare, propunerile, sugestiile și observațiile făcute privind sistematizarea datelor, informațiilor și rezultatelor în elaborarea tezei.

1. INCINERATOARE INDUSTRIALE

Problema depozitării și neutralizării deșeurilor se pune din ce în ce mai acut în societatea actuală. Incinerarea reprezintă o posibilitate de reducere a cantității de deșeurii depozitate, prin utilizarea unor tehnologii de depoluare și a unor instalații moderne de incinerare, astfel încât emisiile de gaze și deșeurile rezultate în urma arderii să corespundă cerințelor în vigoare.

Cerințele legislative comunitare se referă la condițiile de monitorizare și de funcționare a incineratoarelor, la calitatea cenușii și a gazelor rezultate în urma arderii. În prezent instalațiile de incinerare sunt supuse unor reglementări stricte, în ceea ce privește emisiile de poluanți în aer, apă și sol. Tehnologiile actuale permit un control riguros al proceselor, prin utilizarea unor dispozitive avansate de comandă și control [25].

Datorită standardelor înalte de securitate și protecție a mediului pe care trebuie să le îndeplinească, incineratoarele au devenit o soluție „verde”, pentru tratarea deșeurilor, în mod deosebit a deșeurilor speciale/periculoase.

1.1. Incineratoare pentru deșeurii speciale

În managementul modern al deșeurilor, incinerarea presupune tratarea deșeurilor reziduale ce nu mai pot fi valorificate, astfel încât să se ajungă la:

- inertizarea deșeurilor reziduale, minimizând emisiile în aer și apă;
- distrugerea materialelor nocive organice, respectiv concentrarea materialelor anorganice;
- reducerea masei de deșeurii de depozitat, în special a volumului;
- folosirea valorii calorice a deșeurilor în vederea protejării resurselor de energie;
- transformarea deșeurilor în materii prime secundare în vederea protejării celorlalte resurse naturale;

1.1.1 Deșeurii speciale

O problemă importantă referitoare la protecția mediului o reprezintă deșeurile speciale/periculoase provenite din deșeurile spitalicești și/sau deșeurile de aeroport [91]. Aceste deșeurii trebuie incinerate ecologic separat, conform planului general de gestiune a deșeurilor. În măsura în care o parte din deșeurile nepericuloase nu sunt colectate separat de deșeurile contaminate ele trebuie tratate unitar prin incinerarea tuturor deșeurilor [86].

Deșeurile medicale includ toate deșeurile generate de instituțiile sanitare, institutele de cercetare și laboratoare. În plus, acestea includ deșeurile provenite din surse „minore” ori „difuze”, ca cele produse în cursul îngrijirilor de sănătate întreprinse acasă: dializă, injecții cu insulină etc. Între 75% - 90% din deșeurile medicale pot fi asimilate ca deșeurii menajere, considerate nepericuloase (fig. 1.1) fiind transportate la rampa de depozitare a deșeurilor. Restul de 10 - 25% din deșeurile medicale este considerat periculos prezentând riscuri asupra sănătății și mediului.

1.1 - Incineratoare pentru deșeuri speciale²¹

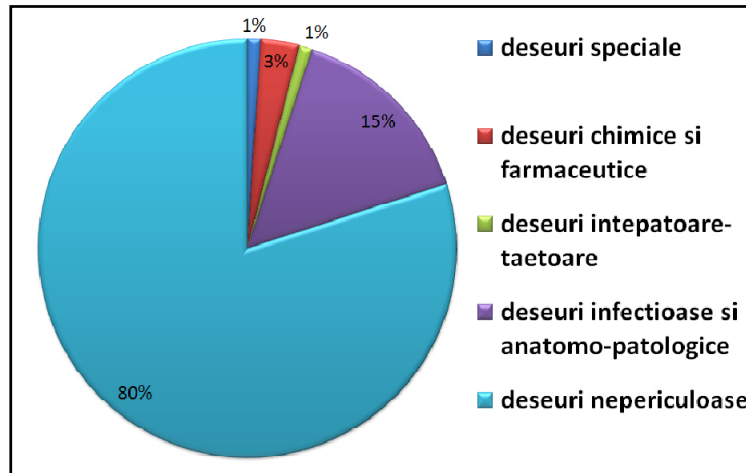


Fig.1.1 Categoriile de deșeuri medicale și sursele majore din care acestea provin [86]

Principalele materiale din deșeuri și analiza elementară a lor sunt prezentate în tab. 1.1.

Tabel 1.1 Compoziția chimică a materialelor din deșeuri/speciale [90]

Material provenit din deșeuri	Compoziția chimică procentuală, %							
	C	H	O	N	Cl	S	Cenușă	Apă
Plastic:								
Polietilenă	85,7	14,3						
Polipropilenă	85,7	14,3						
Polistiren	92,3	7,7						
Policlorură de vinil	38,7	4,8			56,5			
Hârtie	38,9	5,4	43,3				3,5	8,9
Textile	25,3	3,5	27,3				4,5	39,5
Alimente-biologice	9,5	1,3	8,8	0,4		0,1	8	72,0
Sticlă							100	
Metal							100	
Steril							100	

1.1.1.1 Deșeuri contaminate din activități medicale

Deșeurile contaminate din activități medicale provin din tratamentele persoanelor spitalizate și consumurile personalului tehnic și de specialitate în zonele contaminate. Compoziția elementară a deșeurii medicale contaminate este prezentată în tabelul 1.2, iar caracteristicile de ardere pentru acest tip de deșeu sunt prezentate în tabelul 1.3.

22 Incineratoare industriale - 1

Tabel 1.2 Compoziția chimică elementară a deșeurii medicale contaminate [90]

Deșeu medical contaminat	Compoziția chimică procentuală, %						
	C	H	O	N	S	Cenușă	Apă
	32,47	4,837	22,21	0,01	0,004	28,043	12,043

Tabel 1.3 Caracteristicile de ardere ale deșeurii medicale contaminate [90]

Deșeu medical contaminat	Caracteristici de ardere		
	V_o , [Nm ³ /kg]	V_{go} , [Nm ³ /kg]	H_i , [Kj/Kg]
	3,43	4,26	13408

Observații:

- V_o - volumul stoichiometric de aer necesar arderii;
- V_{go} - volumul stoichiometric de gaze de ardere rezultate;
- H_i - puterea calorică = 3203 Kcal/Kg.

La aceste deșeuri se observă lipsa policlorurii de vinil în componentele ei nefiind permisă în activitățile medicale, deci în deșeurile contaminate nu se găsește clor

1.1.1.2 Deșeuri de tip menajer

Deșeurile de tip menajer provin din întreținerea persoanelor spitalizate și a personalului tehnic și de specialitate în zonele contaminate. Calitatea deșeurilor menajere se încadrează în categoria deșeurilor menajere din țară. Se menționează că în deșeurile de tip menajer se regăsește și policlorura de vinil, deci clorul intră în compoziția elementară a acestor deșeuri.

Structura elementară a deșeurii menajere și caracteristicile de ardere specifice acestui tip de deșeu sunt prezentate în tabelele 1.4 și tab 1.5.

Tabel 1.4 Compoziția chimică elementară a deșeurii menajere [90]

Deșeu de tip menajer	Compoziția chimică procentuală, %							
	C	H	O	N	Cl	S	Cenușă	Apă
	12,32	1,73	9,88	0,29	0,16	0,07	21,82	53,72

Tabel 1.5 Caracteristicile de ardere ale deșeurii menajere [90]

Deșeu de tip menajer	Caracteristici de ardere		
	V_{go} , [Nm ³ /kg]	H_i , [Kj/Kg]	V_o , [Nm ³ /kg]
	1,255	2,116	3775,56

Observații:

- V_o - volumul stoichiometric de aer necesar arderii;
- V_{go} - volumul stoichiometric de gaze de ardere rezultate;
- H_i - puterea calorică = 901,95 Kcal/Kg.

1.1.1.3 Deșeuri provenite din ambalaje comerciale

Deșeuri provenite din ambalaje comerciale sunt deșeurile de ambalaje provenite din activitățile în secțiile din spital. Ponderea majoritară o au ambalajele din hârtie, carton și materialele din mase plastice. Tabelul 1.6, respectiv tab.1.7

1.1 - Incineratoare pentru deșeuri speciale²³

prezintă compoziția chimică și caracteristicile de ardere specifice pentru acest tip de deșeu.

Tabel 1.6 Compoziția chimică elementară a deșeului provenit din ambalaje comerciale [90]

Deșeu ambalaje comerciale	Compoziția chimică procentuală, %						
	C	H	O	Cl	S	Cenușă	Apă
	43,576	6,246	31,176	1,074	-	11,520	6,408

Tabel 1.7 Caracteristicile de ardere ale deșeului provenit din ambalaje comerciale [90]

Deșeu ambalaje comerciale	Caracteristici de ardere		
	V_{go} , [Nm ³ /kg]	H_i , [Kj/Kg]	V_o , [Nm ³ /kg]
	4,483	5,208	18275

Observații:

- V_o - volumul stoichiometric de aer necesar arderii;
- V_{go} -volumul stoichiometric de gaze de ardere rezultate;
- H_i -puterea calorică = 4366 Kcal/Kg.

1.1.1.4 Amestecuri de deșeuri medicale

Deșeu medical în ansamblu este format din deșeu contaminat, deșeu de tip menajer și deșeu comercial. Proporția acestor tipuri de deșeuri este diferită (tab.1.8)

Tabel 1.8 Compoziția deșeului medical [90]

Deșeu medical	Compoziția deșeului medical, %		
	Deșeu contaminat	Deșeu tip menajer	Deșeu tip comercial
	12	52	36

În funcție de compoziția chimică elementară a fiecărui tip de deșeu și de proporția componentului în ansamblul deșeului spitalicesc se determină compoziție chimică elementară pentru amestecurile de deșeuri medicale (tab.1.9). Caracteristicile de ardere pentru aceste deșeuri sunt prezentate în tabelul 1.10.

Tabel 1.9 Compoziția chimică elementară pentru amestecuri de deșeuri medicale [90]

Deșeu ambalaje comerciale	Compoziția chimică procentuală %						
	C	H	O	N	S	Cenușă	Apă
	45,17	7,23	11,86	0,04	0,01	2,87	32,82

Tabel 1.10 Caracteristicile de ardere pentru amestecuri de deșeuri medicale [90]

Deșeu de tip menajer	Caracteristici de ardere		
	V_{go} , [Nm ³ /kg]	H_i , [Kj/Kg]	V_o , [Nm ³ /kg]
	1,31	6,52	21721

Observații:

- V_o - volumul stoichiometric de aer necesar arderii;
- V_{go} -volumul stoichiometric de gaze de ardere rezultate;
- H_i -puterea calorică = 5189 Kcal/Kg.

Principalele particularități ale deșeurilor spitalicești sunt:

- puterea calorică ridicată, duce pe de o parte la o temperatură de ardere

24 Incineratoare industriale - 1

ridicată, pe de altă parte la posibilitatea recuperării unei importante cantități de căldură în scop util;

- în gazele de ardere există o cantitate foarte mică de oxid de sulf, $SO_2=0,000063Nm^3/Kg$ deoarece deșeurile conțin o infimă cantitate de sulf. Rezultatul este important deoarece nu se depășește limita admisă la emisii în atmosferă a gazelor de ardere;

- acidul clorhidric, lipsește din gazele de ardere deoarece provine doar din materialele plastice de tip PVC, lipsa clorului în gazele de ardere este o particularitate a deșeurilor spitalicești.

1.1.2 Componența incineratoarelor pentru deșeuri speciale. Rol funcțional

Incinerarea deșeurilor speciale se face în incineratoare ecologice. Un astfel de incinerator pentru incinerarea deșeurilor medicale, toxice și periculoase, de tip TERMOREFRACT 001 se află în exploatare la SC PRO AIR CLEAN SA Timișoara (fig.1.2).

Procedeul tehnologic aplicat se bazează pe arderea totală a deșeurilor la 850-1000°C și post-combustia la temperaturi cuprinse între 950-1300 °C a gazelor rezultate, proces care asigură distrugerea integrală a dioxinelor, furanilor și a altor compuși toxici generați la arderea deșeurilor cu caracter special.



Fig.1.2 Incineratorul de deșeuri speciale aflat în funcțiune la SC PRO AIR CLEAN Timișoara[93]

Combustibilul utilizat pentru susținerea flăcării este gazul metan. Timpul de staționare a gazelor în camera de post-combustie este cuprins între 3-6 secunde. Căldura generată este recuperată prin intermediul unui schimbător de căldură gaze

1.1 - Incineratoare pentru deșeuri speciale²⁵

arse-aer cald, aer pe care îl furnizează unei instalații de uscare a nisipului fin, destinat obținerii de materiale pentru finisaje în construcții.

Schema tehnologică a instalației de incinerare, este prezentată în figura 1.3.

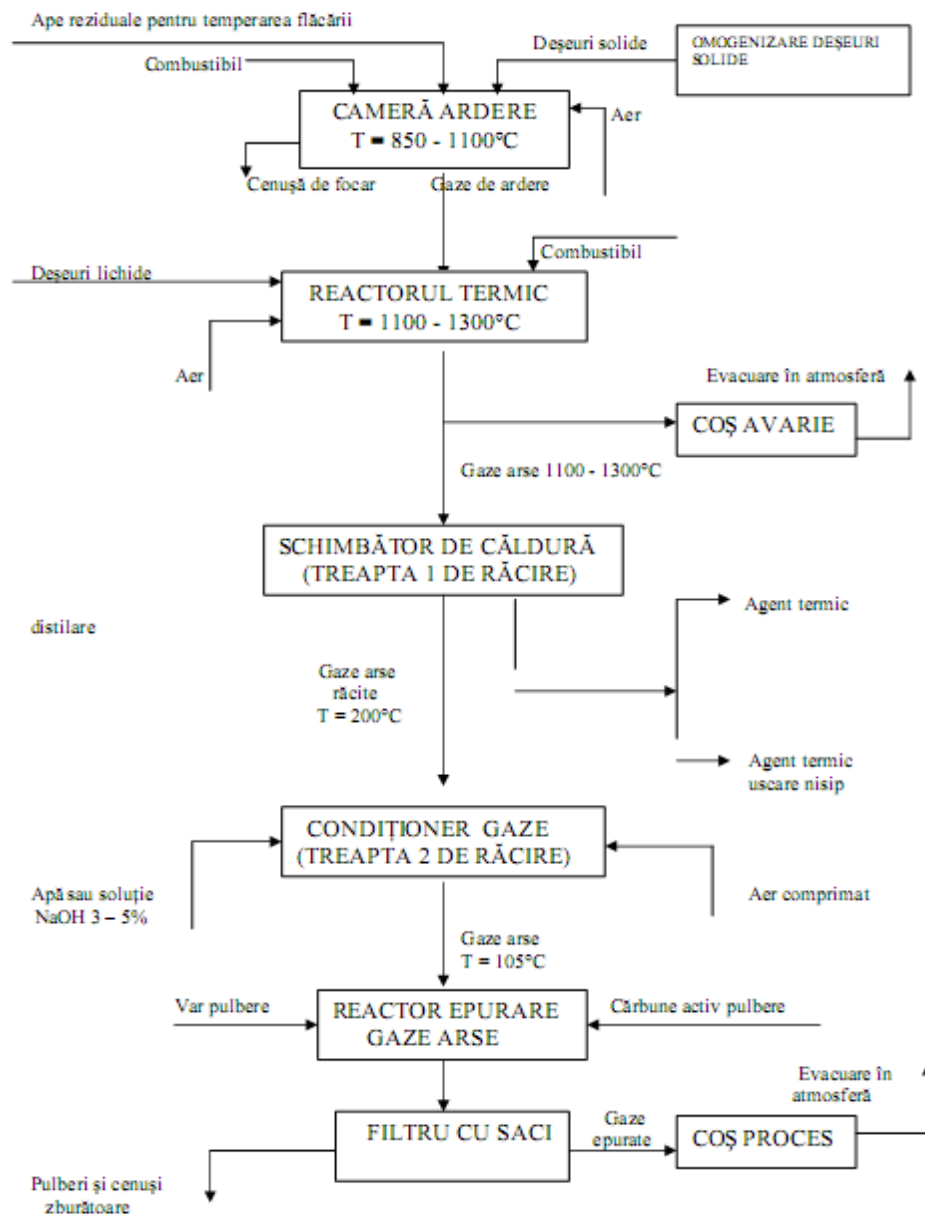


Fig.1.3 Schema tehnologică a instalației de incinerare de capacitate 9,8 t/zi [93]

26 Incineratoare industriale - 1

Incineratorul permite arderea deșeurilor solide prin intermediul camerei inferioare, precum și cea a deșeurilor lichide, de tipul pesticidelor, solvenților, uleiurilor, etc., prin injectare directă în camera de post-ardere.

Procesul tehnologic este în întregime automatizat, asistat și gestionat pe calculator, reușindu-se și pe această cale controlul avansat al emisiilor în atmosferă.

În camera de combustie temperatura variază între 850-1100 °C, iar în camera de post combustie temperatura este cuprinsă între 1100-1300 °C. Debitul de gaze arse și temperaturile în cele 2 camere de arde sunt măsurate continuu. În camera de ardere există 4 termocuple: TC1, TC2, TC3 și TC4, respectiv în camera de post combustie există 5 termocuple: TC5, TC6, TC7, TC8, TC9 (fig.1.4).

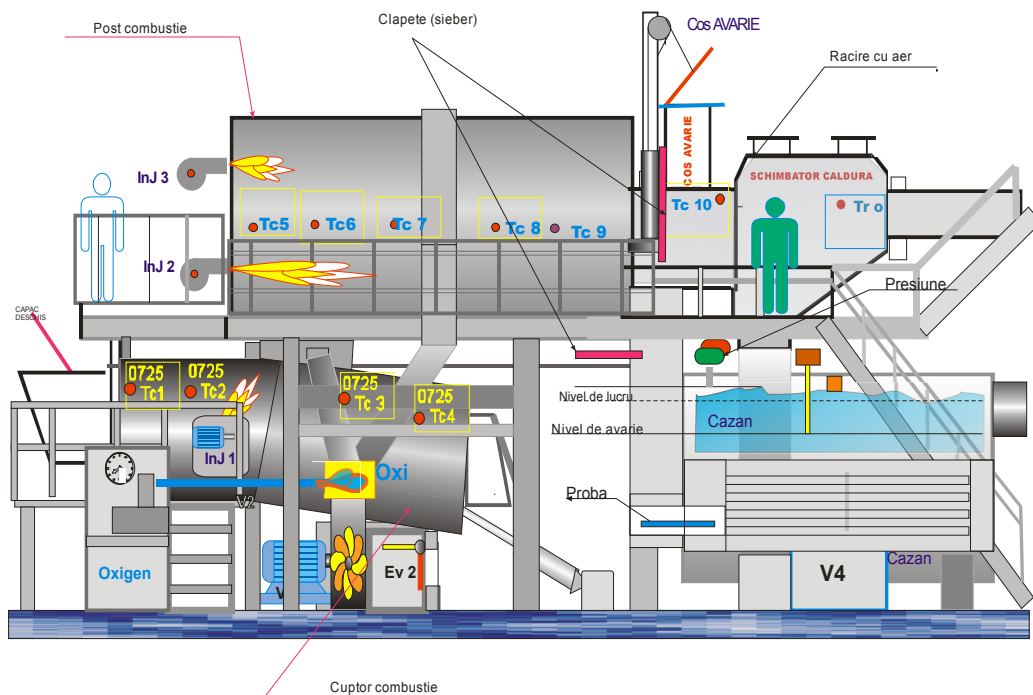


Fig.1.4 Instalație de incinerare a deșeurilor speciale [79]

De asemenea, sunt monitorizate continuu depresiunea pe întreg traseul de gaze și umiditatea lor la evacuare în atmosferă. Sunt determinate continuu concentrațiile emisiilor în atmosferă pentru următorii compuși chimici: O₂, CO₂, CO, SO₂, NO_x, HCl, pulberi în suspensie. Instalația este complet automatizată, astfel încât valoarea limită a oricărui parametru comandă automat atât blocarea ușii de alimentare până la coborârea concentrației respective în emisii, cât și manevrele corespunzătoare măririi debitelor de sodă la faza de condiționare a gazelor, respectiv var/cărbune activ la faza de epurare a acestora.

Întreaga funcționare a liniei este controlată printr-un sistem de automatizare computerizat, prevăzut cu un dulap central de comandă, legat printr-o interfață la sistemul de monitorizare a emisiilor și printr-o altă la rețeaua de calculatoare a societății, precum și la aparatul local și servomecanismele corespunzătoare efectuării comenzilor.

1.1 - Incineratoare pentru deșeuri speciale²⁷

În camera de incinerare se reglează automat temperatura între 800–1100 °C, inclusiv insuflarea aerului și se afișează temperatura înregistrată în mai multe puncte din camera de combustie, inclusiv la ieșire.

În camera de post-combustie:

- se reglează temperatura între 900–1100 °C prin intermediul injectoarelor de gaz metan sau reziduri lichide combustibile, dar și prin cel al aerului de combustie secundar introdus prin fanta inelară;

- se urmărește permanent valoarea concentrației de O₂ din compoziția gazelor de ardere prin intermediul analizorului secundar de gaze, a cărui sondă este amplasată la ieșirea din cameră și se conduce arderea prin reglarea injectorului de gaz metan și a aerului secundar;

- se afișează temperatura înregistrată în mai multe puncte din camera de post-combustie, inclusiv la ieșire;

În recuperatorul de căldură se reglează automat temperatura la ieșirea gazelor spre sistemul de epurare-filtrare, cu limită maximă de 250 °C, prin controlul integrat al debitelor aerului cald pentru uscătoria de nisip cuplată cu linia de incinerare;

În turnul de condiționare:

- se reglează automat debitul de emulsie apă-aer pentru răcirea gazelor la 115-127 °C;

- se reglează automat debitul de soluție de Na₂CO₃, sau NaOH, dacă este cazul să se administreze suplimentar agent de neutralizare.

În reactorul de epurare:

- se reglează automat debitul de pulbere de var;

- se reglează automat debitul de pulbere de cărbune activ.

În sistemul de filtrare:

- se reglează automat, după valoarea prescrisă, temperatura de evacuare a gazelor;

- se reglează automat frecvența de scuturare a sacilor filtranți.

Dupa răcire gazele sunt trecute, sub acțiunea unui ventilator în sistemul de neutralizare a gazelor rezultate din ardere (fig.1.5).

Gazele de ardere sunt tratate cu var, cărbune activ și sodă caustică în vederea neutralizării componentelor periculoase rămase neare. Înainte de evacuarea în atmosferă, gazele sunt trecute printr-o baterie de filtre care rețin și ultimele componente periculoase.

Tratarea și neutralizarea gazelor de ardere, ce conțin NO_x, SO₂, CO, CO₂ și urme de VOC, respectiv metale grele, se realizează prin procedeul uscat, în sistemul de epurare fizico-chimică, bazat pe condiționarea cu emulsie apă-aer comprimat (eventual soluție de Na₂CO₃ 2-5%) în treapta a doua de răcire, tratare cu var și cărbune activ pulbere în vederea reținerii urmelor de VOC și metale grele sub limitele pretinse de normativele în vigoare.

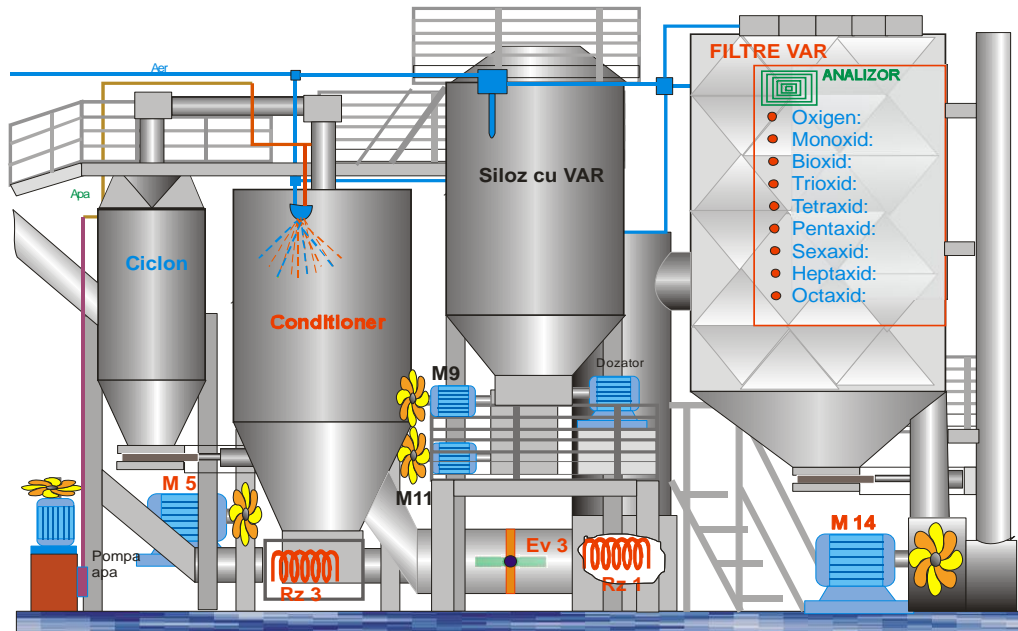


Fig.1.5 Instalație de tratare și neutralizare a gazelor de ardere [79]

1.2. Incineratoare pentru co-incinerarea biomasei cu cărbune

1.2.1 Proprietățile biomasei

Biomasa este un produs parțial sau total, dintr-o materie vegetală agricolă sau forestieră, ce poate fi utilizat drept combustibil pentru valorificarea potențialului energetic.

Biomasa poate fi constituită din :

- deșeuri vegetale, agricole sau forestiere;
- deșeuri vegetale provenite din industria alimentară;
- deșeuri vegetale fibroase obținute din producția de celuloză și hârtie;
- deșeuri de lemn;
- deșeuri de plută.

Cea mai eficientă tehnologie de incinerare este arderea combinată de biomasă împreună cu cărbune. Co-incinerarea biomasei cu cărbune asigură valorificarea biomasei în producerea de energie electrică și termică, fiind o tehnologie avantajoasă din punct de vedere economic, contribuind și la reducerea semnificativă de CO₂.

Biomasa este un combustibil solid, cu un conținut mic de cenușă, conținut ridicat de umiditate, o putere calorifică inferioară medie și o densitate energetică mult mai redusă decât a combustibililor clasici. Proprietățile fizico-chimice ale biomasei diferă de cele ale cărbunilor, datorită compoziției chimice diferite, fapt ilustrat în fig.1.6.

Densitatea biomasei este cca 500 kg/m^3 , respectiv a cărbunelui cca 1300 kg/m^3 în condițiile în care dimensiunea particolei de biomasă este aproximativ 3 mm, iar a cărbunelui cca $100 \mu\text{m}$ [70].

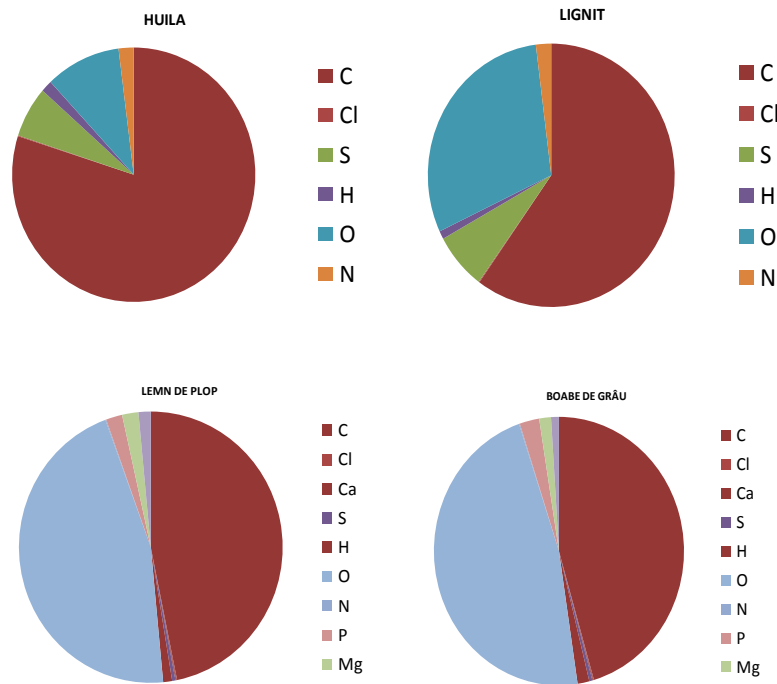


Fig.1.6 Compoziția a două sorturi de cărbune, respectiv a două sorturi de biomasă exprimată în procente masice de masă anhidră [71]

1.2.2 Emisiile de gaze la co-incinerare

Biomasa reprezintă un combustibil regenerabil, la arderea căruia pe lângă energia termică degajată se emite o cantitate de CO_2 , mai mică sau egală cu cea consumată în procesul de formare. Prin ardere nu contribuie la amplificarea „efectului de seră”. În practică biomasa este des utilizată sub formă de peleți, aceștia având avantajul îmbunătățirii procesului de aprindere și ardere.

În procesul de ardere a combustibililor se degajă importante substanțe poluante: monoxidul de carbon CO , oxizii de azot NO_x , dioxidul de sulf SO_2 , acidul clorhidric HCl , componente organice volatile COV, dioxine, și praf [27].

1.2.2.1 Emisiile de dioxid de sulf

Biomasa conține un procent scăzut de sulf ($< 0,5 \%$), (fig. 1.7). Reducerea conținutului de SO_2 se datorează componentelor alcaline din cenușa biomasei care rețin sulfurul din cărbune

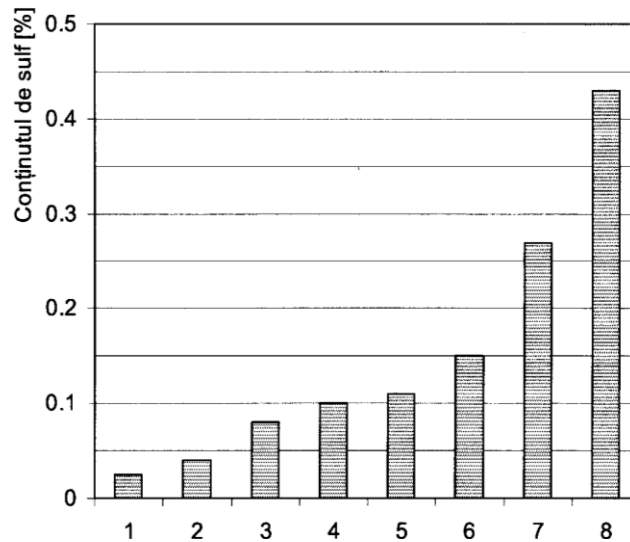


Fig.1.7 Conținutul de sulf pentru diferite sorturi de biomasă și cărbune [70]
1-lemn de molid, 2-lemn de plop, 3-paie de secară, 4-tulpini de cânepă, 5-boabe de grâu,
6-tulpini de floarea soarelui, 7-paie de rapiță, 8-lignit.

Conținutul ridicat de sulf din carbune și ponderea predominantă a cărbunelui în amestec face ca, în urma procesului de co-incinerare să rezulte o cantitate importantă de SO_2 .

Pentru desulfurarea gazelor de ardere se folosesc procedee secundare de desulfurare, mai importante fiind: procedeul uscat, procedeul semiuscat și procedeul umed.

1.2.2.2 Emisiile de monoxid de carbon

Emisiile de monoxid de carbon sunt determinate de asigurarea unei temperaturi corespunzătoare și a unei cantități necesare de aer în zona de ardere. Dependența concentrației monoxidului de carbon de temperatura de ardere este prezentată în figura 1.8. Din diagramă se observă că domeniul temperaturilor de ardere pentru focar este cuprins între 760-920 °C.

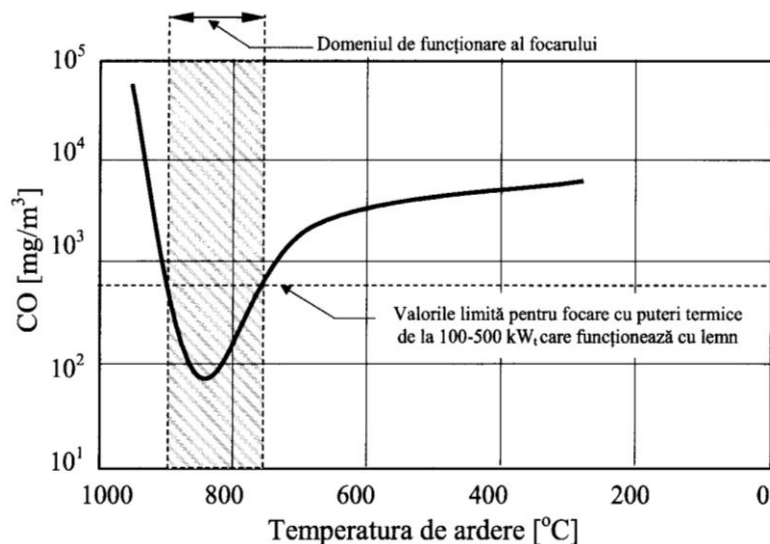


Fig.1.8 Dependența concentrației monoxidului de carbon în funcție de temperatura de ardere pentru un focar cu grătar[70]

1.2.2.3 Emisiile de oxizi de azot

Oxizi de azot se formează în timpul procesului de ardere datorită mecanismului termic, mecanismului prompt și din azotul existent în combustibil. În funcție de modul de formare există trei tipuri de oxizi de azot:

- NO_x termic, care se formează la temperaturi ridicate din azotul molecular și oxigenul provenit din aerul de ardere;
- NO_x prompt, care se formează din azotul și oxigenul din aerul de ardere în prezența radicalilor de hidrocarburi;
- NO_x formați din azotul existent în combustibil.

Cele trei mecanisme de generare a NO_x -ului sunt puse în evidență în diagrama dependenței concentrației oxizilor de azot în gazele de ardere în funcție de temperatură(fig.1.9).

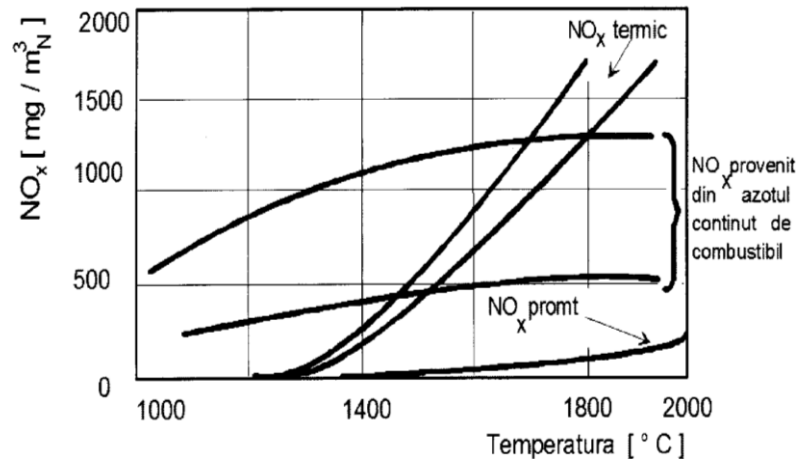


Fig.1.9 Dependența dintre temperatura din focar și formarea oxizilor de azot, funcție de mecanismul de producere[70]

1.2.3 Instalația experimentală pentru co-incinerarea biomasei cu cărbune

Arderea biomasei se realizează în instalații de ardere adecvate, în componența cărora intră focarul și instalațiile anexe pentru introducerea combustibilului, evacuarea cenușii și a gazelor de ardere.

Focarul reprezintă spațiul în care are loc procesul de ardere. Forma, dimensiunile, echipamentele, cu care sunt dotate focarele depind de puterea termică nominală și de starea de agregare a combustibilului.

În Laboratorul Multifuncțional de Mașini Termice și Energii Neconvenționale din cadrul Universității „POLITEHNICA”, din Timișoara s-a realizat o stația pilot pentru co-incinerarea biomasei cu cărbune (fig.1.10) [26].

Instalația se compune dintr-un focar cu ardere în strat fluidizat staționar, corp convectiv, scrubber, reactor de neutralizare, sistem de alimentare cu aer, cu apă și de evacuare a gazelor de ardere, la care se adaugă aparatura de măsură și control. Principalele caracteristici tehnice ale instalației experimentale sunt prezentate în tabelul 1.11 [70].



Fig.1.10 Vedere generală a instalației pilot de la UPT [26]

Tab.1.11 Principalele caracteristici tehnice ale instalației experimentale[70]

Caracteristici tehnice	U.M.	Valoare
Putere termică	kWt	45 – 90
Debit de apă sistem de transfer termic	m ³ /h	2 - 4
Debit maxim de aer ardere	m ³ /h	270
Debit de aer comprimat pentru acționarea pompelor cu membrană	m ³ /h	0,5 – 1,0
Debit de combustibil solid (cărbune)	kg/h	25 – 50
Debit de combustibil solid (biomasă)	kg/h	15 – 30
Debit de lichid pentru spălarea gazelor de ardere	m ³ /h	0,2 – 0,6
Debit de cenușă rezultată	kg/h	10 – 20
Temperaturi în focar	°C	800 – 1200
Temperaturi în sistemul convectiv	°C	300 – 1200
Temperaturi în ciclon	°C	150 – 300
Temperaturi în scrubler	°C	90 – 150
Temperaturi în reactor	°C	70 – 90
Consumul de energie electrică	kWt	2 – 4
Eficiența epurării gazelor de ardere	%	> 90

1.2.3.1 Sistemul de ardere

Sistemul de ardere are în componență următoarele subansamble principale:

- focarul cu ardere în strat fluidizat realizat din oțel inoxidabil austenitic cu grosimea de 3 mm;
- distribuitorul de aer compartimentat, realizat din oțel S235JR, EN10025 ce are la partea superioară un grătar din oțel inox cu grosimea de 2 mm;
- buncărele de alimentare cu combustibili solizi, realizate din oțel S235JR, EN10025, ce are la bază șnecuri din oțel inoxidabil austenitic;

- răcitorul de cenușă realizat din oțel inoxidabil austenitic.

1.2.3.2 Sistemul de transfer termic

Sistemul de transfer termic se compune în principal din:

- corpul convectiv, realizat din oțel inoxidabil austenitic;
- serpentină realizată din țeavă.

1.2.3.3 Sistemul de desprăfuire mecanică

Sistemul de desprăfuire mecanică are ca principal subansamblu solicitat termic ciclonul. Ciclonul este format dintr-un corp cilindric din oțel S235JR, EN10025, cu grosimea de 1,5 mm.

1.2.3.4 Sistemul de epurare a gazelor de ardere

Sistemul de epurare a gazelor de ardere conține:

- scruberul, un corp cilindric realizat din oțel inoxidabil 5NiCr18-10/AISI 304, cu grosimea de 1,5 mm;
- separatorul de picături de formă paralelipipedică, realizat din oțel inoxidabil 5NiCr18-10/AISI 30, cu grosimea de 1,5 mm.

1.3. Materiale utilizate în fabricarea incineratoarelor

Literatura de specialitate [51], [56] și practica realizării incineratoarelor pentru arderea amestecului biomasă-cărbune, respectiv arderea deșeurilor speciale, recomandă pentru reperle în contact cu mediul coroziv aflat la temperatură ridicată, folosirea oțelurilor inoxidabile austenitice/refractare, respectiv a aliajelor refractare pe bază de nichel și cobalt.

1.3.1 Oțeluri inoxidabile

Grupa oțelurilor inoxidabile constituie principala grupă de oțeluri aliate, caracterizate prin rezistență chimică ridicată în diverse medii corozive corelată cu bune proprietăți mecanice.

1.3.1.1 Generalități, tipuri

Oțelurile inoxidabile sunt aliate în principal cu Cr sau Cr – Ni alături de care mai intervin alte elemente de aliere precum: Mn, Mo, Cu, Si, Ti, Zr, Al etc. Oțelurile respective se caracterizează prin rezistență chimică deosebită față de o serie de medii chimice agresive, bune proprietăți de rezistență mecanică și plasticitate, proprietăți manifestate atât la temperaturi scăzute, -173 °C cât și la temperaturi ridicate, 927°C [20].

Inoxidabilitatea sau rezistența chimică este conferită de pelicula de Cr₂O₃ formată la suprafața metalului în contact cu aerul.

1.3 - Materiale utilizate în fabricarea incineratoarelor 35

Corespunzător structurii metalografice la temperatura ambiantă există diverse clase de oțeluri inoxidabile [46]:

- oțeluri martensitice;
- oțeluri feritice;
- oțeluri austenitice;
- oțeluri austenito-feritice, de tip DUPLEX.

Oțelurile cu structură austenitică reprezintă clasa de oțeluri inoxidabile cea mai utilizată, fiind aliate suplimentar cu Ni, Mn, Cu, Mo. Obişnuit conţinutul de Cr variază între 16 – 26% ,între 6 – 22% Ni și 0,03 – 0,2% C. Suplimentar mai poate exista: 1 – 6% Mn, 2 – 4% Mo, 1 – 2% Cu, 0,25 – 0,5% Ti, 0,5 – 0,75% Nb.

Utilizarea pe scară largă a acestora, cca. 40% din producția de oțeluri inoxidabile, se datorează bunelor proprietăți de rezistență mecanică și plasticitate manifestate într-un interval larg de temperaturi: -200 – 320 °C. Nu se recomandă utilizarea lor în medii ce conțin ioni de sulf.

Conductibilitatea termică mai redusă și coeficientul de dilatare termică mai mare conduc la un nivel mai ridicat de tensiuni în îmbinarea sudată.

Oțelurile inoxidabile austenitice se fabrică într-o diversitate de tipuri, vis a vis de elementele de aliere și de proporția acestora în aliaj [33]. Compoziția chimică a oțelurilor inoxidabile austenitice/refractare, indicate la realizarea reperelor din instalația de ardere a incineratoarelor este prezentată în tabelul 1.12.

Tab.1.12 Compoziția chimică a oțelurilor inoxidabile folosite la construcția incineratoarelor

Marcă de oțel conform EN/AISI	Compoziția chimică, %							
	C	Si	Mn max	P max	S max	Cr	Ni	N max
X5CrNi18-10/304	≤ 0,07	≤ 1,00	2,00	0,045	0,03	17-19	8,5-10,5	0,11
X10CrNi18-8/301	0,05-0,15	≤ 2,00	2,00	0,045	0,015	16-19	6-9,50	0,11
X15CrNiSi2520/314	≤ 0,20	1,5-2,5	2,00	0,045	0,015	24-26	19-22	0,11
X12CrNi2313/309S	≤ 0,15	≤ 1,0	2,00	0,045	0,015	22-24	12-14	0,11
X8CrNi2520/310S	≤ 0,20	1,5-2,5	2,00	0,045	0,015	24-26	19-22	0,11

Caracteristicile mecanice pentru oțelurile inoxidabile austenitice și oțelurile refractare sunt prezentate în tabelul 1.13.

Tab.1.13 Caracteristicile mecanice ale oțelurilor inoxidabile folosite la construcția incineratoarelor

Marca de oțel EN/AISI	Duritate HB N/mm ²	Limita de curgere, Rp _{0,2} N/mm ²	Rezistența mecanică, Rm, N/mm ²	Alungirea la rupere, A ₅ , %	
				Longit	Transv
X5CrNi18-10/304	183	195	500-700	45	40
X10CrNi18-8/301	165	190	500-700	45	40
X15CrNiSi25-20/314	223	230	500-750	30	22
X12CrNi23-13/309S	223	230	500-750	30	22
X8CrNi25-20/310S	192	210	500-750	35	26

1.3.1.2 Comportarea la sudare a oțelurilor inoxidabile austenitice

Comportarea la sudare a oțelurilor austenitice este bună. Există trei fenomene care afectează comportarea la sudare și anume:

- tendința spre coroziune intercristalină;
- tendința de precipitare a fazelor dure σ , χ , χ_i ;
- tendința de fisurare la cald.

Cele trei fenomene trebuie privite în ansamblu deoarece măsurile preconizate pentru a evita un fenomen pot fi nefavorabile pentru celelalte.

Coroziunea intercristalină este rezultatul precipitării carburilor complexe de crom în faza de răcire a îmbinării. În intervalul 1070 – 700 K, afinitatea cromului față de carbon este crescută, se formează carburi complexe cu cca. 90% Cr ce precipită intergranular. Scăzând conținutul de Cr din graunți sub limita de inoxidabilitate și în contact cu mediul agresiv se produce coroziunea îmbinării [43]. Fenomenul reprezintă principala cauză a scoaterii din uz a îmbinării. Măsurile care se iau pot fi anterioare, în timpul și după execuția îmbinării sudate.

Măsuri de evitare a coroziunii intercristaline anterioare procesului de sudare pot fi:

- limitarea conținutului de C din metalul de bază sau sudură sub 0,03%, astfel încât să se evite formarea carburilor. Experiența practică arată că la 0,03% C chiar la timpuri mari de incubație precipitarea carburilor nu este evidentă. Este măsura cea mai sigură, dar tehnologic costisitoare.

- prezența în îmbinarea sudată a unor elemente de microaliere cu afinitate de carbon superioară cromului. Este vorba de Ti, Nb, care în conținuturi de 5% C, respectiv 8-10% C evită precipitarea carburilor de crom prin legarea acestuia în carburi mai stabile. Oțelurile respective sunt oțeluri stabilizate cu Ti, Nb.

- curățirea cu atenție a suprafeței rostului și a zonei învecinate, orice urmă de impurități: grăsimi, uleiuri, vopsele poate contamina local îmbinarea crescând conținutul de carbon și favoriza precipitarea carburilor. Curățirea mecanică se face cu scule din oțel inoxidabil austenitic, degresarea chimică fiind de asemenea recomandată;

- creșterea conținutului de Cr din baie, astfel încât: $\%Cr-80\%C > 16,8$, prin aceasta grăunțele își păstrează inoxidabilitatea. Creșterea conținutului de Cr favorizează însă precipitarea fazelor dure, nefiind totdeauna o măsură recomandată.

În timpul procesului de sudare se asigură o viteză de răcire mare în intervalul critic. Aceasta presupune rânduri filiforme depuse cu energie liniară mai mică și viteză de sudare mare.

Dacă se folosesc materiale de adaos ce produc zgură, îndepărtarea acesteia se face cu scule ajutătoare din oțel inoxidabile austenitice.

După sudare, dacă prin toate măsurile luate precipitarea carburilor de crom nu a putut fi evitată, vizibilă prin culoarea ZIT-ului se recomandă un tratament termic de călire de repunere în soluție. Această presupune încălzirea îmbinării la 1050 -1150 °C, menținerea la această temperatură 3 min/mm grosime de material pentru dizolvarea carburilor și răcirea cu viteză mare pentru a evita migrarea atomilor de Cr. După un astfel de tratament termic la oțelurile stabilizate există riscul de coroziune în „lamă de cuțit”. La nivelul zonei de trecere în condiții de solicitare mecanică se produce corodarea materialului după un traiect plan similar urmei lasate de un cuțit.

Precipitarea fazelor dure conduce la afectarea proprietăților de întrebuințare ale îmbinării și creșterea riscului de fisurare. Ele sunt compusi intermetalici Cr-Fe cu

duritate pronunțată ce precipită intragranular și se propagă intergranular. Mecanismul de precipitare nu este elucidat complet, dar s-a observat că este favorizat de:

- viteză mică de răcire în intervalul 750 – 420 °C;
- apare mai frecvent la oțelurile ce prezintă o austenită neomogenă cu insule de ferită;
- frecvența e sporită la oțelurile deformate plastic anterior;
- conținutul ridicat de elemente feritizante crește probabilitatea de apariție a lor;
- tratamentul termic de călire de repunere în soluție favorizează precipitarea lor.

Măsurile de evitare a precipitării fazelor dure sunt oarecum în contradicție cu precedentele. Se recomandă:

- viteză mare de răcire în intervalul critic de apariție;
- reducerea conținutului de elemente feritizante din îmbinare;
- austenită cât mai omogenă.

Tendința de fisurare la cald este favorizată de fragilizarea materialului la mențineri îndelungate la temperaturi înalte 1120 – 1220 °C și de un conținut de peste 0,02% S. Temperatura înaltă favorizează supraîncălzirea austenitei și fragilizarea grăuntelui fără posibilitate de regenerare prin tratament termic. Prezența sulfului în cantități mari favorizează apariția Ni_3S_2 cu $T_f \approx 620$ °C, care formează un eutectic cu dispunere intergranulară. În condițiile tensiunilor pronunțate sunt îndeplinite condițiile de fisurare.

Alături de evitarea cauzelor, respectiv evitarea menținerii îmbinării la temperaturi ridicate, reducerea conținutului de sulf și reducerea nivelului de tensiuni printr-o ordine judicioasă de sudare, utilizarea unui metal depus austenitic cu 3 – 7% ferită este obligatorie. Ferita în masa austenitică acționează ca un modificator al granulației și un relaxant al tensiunilor.

Îmbinarea oțelurilor inoxidabile austenitice se poate face în condiții bune prin procedeele de sudare cu arc electric, îndeosebi cele cu protecție de gaz inert, procedee de sudare cu surse concentrate de energie, sudarea prin presiune prin rezistență, lipire tare etc. Mai puțin recomandată este sudarea cu flacără de gaze.

1.3.2 Aliaje refractare

Aliajele refractare sunt aliaje pe bază de Ni, Ni-Fe sau pe bază de Co, capabile să lucreze la temperaturi mai mari de 550 °C și presiuni mari, în diverse medii corozive.

1.3.2.1 Generalități, tipuri

În funcție de scopul principal al utilizării se împart în:

- aliaje folosite la temperaturii înalte, numite și superaliaje;
- aliaje folosite în medii corozive.

Materiale utilizate la construcția focarelor, din instalația de ardere a incineratoarelor de deșeuri spitalicești/bimasă și cărbune, trebuie să reziste atât în medii corozive gazoase cu acțiune predominant oxidantă, cât și la temperaturi ridicate de 1100-1200 °C.

Principalele aspecte la nivel microstructural, funcție de care variază proprietățile aliajelor pe bază de Ni și Ni-Fe sunt:

- cantitatea/volumul de precipitat și morfologia lui;
- mărimea și forma grăunților cristalini;

- distribuția carburilor.

În funcție de compoziția chimică, aceste aliaje refractare pot fi maleabile sau aliaje turnate. Aliajele înalt performante turnate, au o structură macrogranulară, cu segregatii, cu caracteristici de fluaj și de rupere îmbunătățite/ameliorate. Aliajele refractare maleabile, au o structură fină, uniformă, cu grăunți cristalini mici și cu proprietăți de rezistență la tracțiune și la oboseală îmbunătățite.

- *Aliaje pe bază de Ni și Ni-Fe*

Aliaje pe bază de Ni și Ni-Fe au o structură austenitică, cristalizează în rețea cubică cu fețe centrate, conțin ca fază principală faza gamma și o varietate de faze secundare. Principalele faze secundare întâlnite la toate tipurile de aliaje pe bază de Ni și Ni-Fe sunt: carburile MC, $M_{23}C_6$, M_6C și M_7C_3 . Rezistența acestor aliaje derivă din duritatea soluției solide și din fazele precipitate.

Carburile pot produce limitarea durificării, prin dispersia lor, sau mai frecvent, stabilizând limitele grăunților împotriva forfecării excesive. Pe lângă elemente conținute cu rolul de a durifica soluția solidă și de a produce carburile și fazele γ , aceste aliaje mai conțin B, Zr, Hf, Ce, adăugate pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice și chimice. În tabelul 1.14 sunt prezentate conținuturile elementelor de aliere și efectele lor asupra proprietăților aliajelor. Aliajele pe bază de Ni, se întâlnesc sub formă de aliaje maleabile și aliaje turnate. Nichelul are o bună rezistență la coroziune în atmosfere naturale, în apă, în mediu de acizi neoxidanți și la substanțe alcaline. Din aceste considerente nichelul este un element de bază excelent pentru a crea aliaje speciale.

Tab.1.14 Valori ale principalelor elemente de aliere și influența lor asupra proprietăților aliajelor înalt performante

Elemente de aliere	Concentrația elementelor de aliere		Efectul elementelor de aliere asupra aliajului refractar
	Aliaje pe bază de Ni	Aliaje pe bază de Co	
Cr	5-25	19-30	Crește rezistența la coroziune Formare de carburi Durificare prin punerea în soluție
Mo, W	0-12	0-11	Formare de carburi Durificare prin punerea în soluție
Al	0-6	0-4,5	Durificare prin precipitare Crește rezistența la oxidare
Ti	0-6	0-4	Durificare prin precipitare Formare de carburi
Co	0-20	-	Reglează cantitatea de precipitate
Ni	-	0-22	Stabilizează austenita Durificare prin precipitare
Cb	0-5	0-4	Formare de carburi Durificare prin punerea în soluție Durificare prin precipitare pentru aliajele pe bază de Fe-Ni
Ta	0-12	0-9	Formare de carburi Crește rezistența la oxidare Durificare prin punerea în soluție

Elementele de aliere din aliaj influențează în mod diferit proprietățile și implicit utilizarea aliajului. Astfel:

- *Cuprul*, prin adăugarea lui îmbunătățește rezistența nichelului la acizii neoxidanți. Un conținut de 2-40% Cu în aliajele Ni-Cr-Mo-Fe, este folosit pentru creșterea rezistenței la acidul clorhidric, sulfuric și fosforic.

- *Cromul*, crește rezistența la gazele oxidante aflate la temperaturi mari, la gazele de ardere cu conținut de sulf, la acizii azotici, la acidul fosforic. Ca element de aliere conținutul de crom poate varia între 15-30%, în unele excepții cu peste 50%.

- *Fierul*, este folosit pentru a reduce costul aliajului. În concentrații mai mari de 50% duce la creșterea rezistenței la acidul sulfuric și de asemenea crește solubilitatea carbonului în nichel, crescând rezistența la atmosferele carburante, la temperaturi înalte.

- *Molibdenul*, crește substanțial rezistența la acizii neoxidanți, crește rezistența la coroziunea locală și rezistența la temperaturi înalte. Aliajele comerciale conținând peste 28% Mo, s-au realizat pentru lucrul în soluții neoxidante ca: HCl, H₃PO₄, HP, H₂SO₄.

- *Woframul*, are un comportament aproape similar cu molibdenul și datorită prețului de cost ridicat, molibdenul este preferat. Un conținut de 3-4% W și 13-16% Mo, într-un aliaj pe bază de Ni-Cr, duce la o foarte bună rezistență la coroziunea locală.

- *Siliciul*, este prezent într-un conținut mic, în cele mai multe aliaje pe bază de nichel. În aliaje cu un conținut semnificativ de Fe, Co, Mo, W, sau alte elemente refractare, nivelul siliciului trebuie bine controlat, deoarece el poate stabiliza carburile și fazele intermetalice nocive. Aliajele pe bază de nichel, cu un conținut de 9-11% Si, sunt folosite pentru a lucra într-un mediu cu concentrație mare de acid sulfuric.

- *Cobaltul*, conferă aliajelor rezistență la temperaturi înalte, la fel ca și fierul, crește solubilitatea carbonului în aliajele pe bază de nichel, crescând rezistența la carburare. Cobaltul nu este folosit ca element de aliere principal, în aliajele care necesită rezistență la coroziune în mediu umed.

- *Niobiul și tantalul*, sunt elemente stabilizatoare, ce leagă carbonul și previn atacul coroziunii intergranulare, datorită carburilor de la limita grăunților cristalini. Ele cresc rezistența la temperaturi înalte a soluțiilor solide și reduc tendința aliajelor pe bază de nichel la fisurarea la cald în timpul sudării.

- *Aluminiul și titanul*, sunt utilizate în conținut mic, la aliajele rezistente la coroziune la temperaturi înalte, pentru a dezoxida și a lega carbonul și azotul. Adăugarea de aluminiu poate fi folosită la realizarea unui strat de protecție aderent, compact, rezistent la temperaturi înalte la oxidare, carburare sau clorurare.

Important pentru comportarea în exploatare, respectiv comportarea la sudare sunt și:

- conținutul de carbonul și tipul carburilor formate, și
- fazele intermetalice formate.

➤ Conținutul de carbonul și tipul carburilor formate

Nichelul formează carburi la temperaturi înalte, care nu sunt stabile și se descompun în nichel și grafit la temperaturi mai joase. Carburile formate depind de influența elementelor de aliere și de conținutul de carbon existent în aliaj.

În aliajele rezistente la coroziune, carburile metalice sunt considerate nocive, deoarece ele pot precipita la limita grăunților cristalini, în timpul tratamentelor termice sau în timpul proceselor de sudare, producând coroziunea

intergranulară. De asemenea carburile pot favoriza fisurarea aliajului, prin sărăcirea în elementele de aliere care conferă rezistența la coroziune.

În aliajele rezistente la temperaturi înalte, prezența carburilor este în general de dorit, pentru a finisa grăunți și a mări rezistența la temperaturi înalte și ductilitatea materialului.

În aceste aliaje se întâlnesc două tipuri de carburi:

- carburile primare, sunt carburi interdendritice, formate în timpul procesului de solidificare, putând fi dizolvate dacă se mențin un timp suficient la temperaturi înalte. În urma procesului de elaborare ele există în produse sub formă de șiruri, în direcția de laminare a materialului. Un nivel ridicat de astfel de carburi poate afecta proprietățile tehnologice ale aliajului, deformabilitatea și comportarea la sudare.

- carburile secundare, apar sub forma unor precipitate, la limitele grăunților cristalini, producând defecte interne, macles și dislocații. Sunt obținute pe seama ciclurilor termice, în timpul operațiilor de fabricare, sau în perioada de utilizare a materialelor. Cantitatea acestor carburi depinde de conținutul de carbon în soluție, de temperatura și de timpul de expunere la această temperatură.

➤ Fazele intermetalice formate

Morfologia fazelor intermetalice din aliajele de nichel poate avea efecte favorabile sau nefavorabile asupra comportării în exploatare a aliajului. Compoziția și dimensiunea fazelor intermetalice din aliajele de nichel fac ca aceste aliaje să fie materialele cele mai utilizate în echipamente ce lucrează la temperaturi înalte. Precipitarea anumitor faze intermetalice, ca de exemplu carburile, pot duce la scăderea ductilității și a rezistenței la coroziune ca efect defavorabil.

În cazul aliajelor rezistente la coroziune, în special la tipul de aliaje cu structură de soluție solidă, precipitarea intermetalică este oarecum neobișnuită, deoarece temperatura de lucru este mai mică, decât temperaturile la care precipitarea carburilor devine importantă.

• *Aliaje pe bază de cobalt*

Aliajele pe bază de cobalt, sunt rezistente chimic la temperaturi ridicate datorită combinației dintre carburile metalice și soluția solidă durificată. Datorită rezistenței ridicate pe care o au într-un interval mare de temperaturi și în diferite medii de lucru corozive, aceste aliaje sunt folosite pentru a rezista la uzură în medii agresive și la temperaturi înalte. De obicei aliajele rezistente la uzură, au conținut ridicat de carbon, 0,25-2,5% C, pentru formarea carburilor și sunt turnate sau durificate superficial prin încărcare prin sudare cu metal dur.

Aliajele pe bază de cobalt, folosite la temperaturi înalte, au un conținut mic de carbon și un conținut apreciabil de nichel, fiind considerate aliaje maleabile. Cromul este elementul de aliere de bază favorizând formarea carburilor. Cele mai întâlnite carburi în aceste aliaje sunt de tipul: M_7C_3 , $M_{23}C_5$, M_6C și MC , în funcție de tipul și conținutul elementelor de aliere din aliaj. Wolframul și molibdenul măresc rezistența aliajului și dacă se găsesc într-o cantitate apreciată, participă la formarea carburilor în timpul procesului de solidificare. Utilizarea largă a aliajelor pe bază de cobalt poate fi atribuită rezistenței pe care o au într-un ecart mare de temperaturi și în medii de lucru severe.

Aliajele pe bază de cobalt conțin cantități importate de nichel, nichelul măbind plasticitatea aliajului. Deși aceste aliaje au un conținut redus de carbon, comparativ cu aliajele rezistente la uzură, precipitarea carburilor, crește rezistența lor mecanică.

1.3.2.2 Rezistența la coroziune a aliajelor refractare

Aliajele refractare, reacționează cu oxigenul și oxidarea reprezintă primul efect al mediului asupra acestor aliaje. La o temperatură moderată, sub 870 °C, oxidarea generală, uniformă nu reprezintă o problemă majoră. La temperaturi înalte, aliajele pe bază de Ni și Co, sunt atacate de oxigen. Nivelul rezistenței la oxidare la temperaturi sub 1200 °C, este funcție de conținutul de Cr, de formarea stratului protectiv de Cr₂O₃. Peste această temperatură, aluminiul conduce la formarea stratului protector de Al₂O₃. Cu cât conținutul de crom este mai mare cu atât conținutul de aluminiu trebuie să fie mai mic pentru a forma stratul protector de Al₂O₃. În funcție de temperatura de lucru, procesul de coroziune la cald poate fi la temperaturi joase și respectiv înalte.

Procesul de sulfurare intensifică oxidarea, iar una din măsurile luate pentru a combate sulfurarea este folosirea unor materiale cu un conținut ridicat de crom, peste 20% Cr. Creșterea rezistenței aliajelor pe bază de nichel la mediul reducător se face prin creșterea conținutului de Mo și Cu. Aliajul de tipul Hastelloy B, cu un conținut de 28% Mo, este rezistent la acidul clorhidric, la fel aliajul Monel 400, cu 30% Cu, este des folosit în aplicații de tipul schimbătoare de căldură, în medii cu conținut ridicat de acid clorhidric.

Aliajele cu un conținut ridicat de Cr și Ni, au rezistență atât la mediu oxidant cât și la mediul reducător. De exemplu aliajele Inconel 600, Hastelloy C, au o bună rezistență la coroziunea prin puncte datorată clorurilor din mediul de lucru. Rezistența la coroziunea prin puncte a aliajelor cu conținut mare de Ni și Cr este mai bună decât rezistența oțelurilor inoxidabile. În schimb aceste aliaje sunt susceptibile la coroziunea intergranulară deoarece:

- solubilitatea carbonului în austenită descrește odată cu creșterea conținutului de nichel, ceea ce conduce la înfrânarea formării carburilor de crom;
- aliajele refractare sunt în general mult mai expuse la precipitarea compușilor intermetalici, care duc la scăderea rezistenței la coroziune, prin sărăcirea metalului în elemente ca Ni, Mo și altele.

Aliajele din seria Hastelloy-C, au rezistență mare la atacul uniform, la coroziunea localizată, la fisurarea datorită coroziunii și excelentă rezistență la fisurarea sub tensiune. Sunt ușor de îmbinat prin sudare, ceea ce explică folosirea lor la sistemele de ardere și de desulfurare a gazelor de ardere, în industria chimică și farmaceutică.

Tipurile de coroziune cu impact major asupra aliajelor pe bază de nichel sunt:

- coroziunea uniformă;
- coroziunea sub formă de puncte;
- coroziune fisurantă;
- coroziunea intergranulară,
- coroziunea galvanică;
- coroziunea fisurantă sub tensiune.

Pentru a aprecia comportarea aliajului în mediu coroziv, este importantă cunoașterea compoziției chimice a aliajului și modul de interacțiune electrochimic a mediului atmosferic cu aliajul metalic. De exemplu, aliajul Hastelloy B-2, pe bază de nichel-molibden, are o bună rezistență la mediu de H₂SO₄ și HCl, dar se deteriorează rapid atunci când impurități oxidante ca oxigenul și ionii ferici sunt prezenți.

Luând în considerare caracteristicile referitoare la rezistența la coroziune, rezistența la temperaturi înalte, proprietățile mecanice și comportarea la sudare,

42 Incineratoare industriale - 1

cele mai indicate aliaje refractare pentru realizarea focarelor și corpurilor convectoare din instalații de incinerare a deșeurilor spitalicești/biomasă și cărbune, sunt: Inconel 625/N06625, Inconel 601/N06601, Hastelloy C-22/N06022, Hastelloy X /N06002, Alloy 230/N06230. În tabelul 1.15 se prezintă compoziția chimică a unor aliaje, utilizate la realizarea incineratoarelor.

Tab.1.15 Compoziția chimică a aliajelor pe bază de nichel folosite la construcția incineratoarelor

Marca aliajului/ UNS	Compoziția chimică, %										
	Ni min	Fe	Cr	Co	Al	Mo	Mn	Si	C	Ti	Altele
Inconel 625/ N06625	58	≤ 5	20- 23	≤ 1	≤ 0,4	8- 10	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 0,4	Nb+Ta 3,1- 4,1
Inconel 601/ N06601	60	≤ 12	21- 25	≤ 1	≤ 1,7	-	≤1	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	-
HastelloyC22 N06022	50	2- 6	20- 22	≤ 2,5	≤ 0,2	12- 14	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,15	≤ 1,2	W-2,5- 3,5
Hastelloy X7 N06002	41	17 - 20	20- 23	≤ 2,5	-	8- 10	≤1	≤1	≤ 0,15	-	-

Aliajul Inconel 625/N06625 este un aliaj Ni-Cr-Mo cu adaos de Nb care acționează împreună cu molibdenul pentru a întări matricea aliajului și astfel aducând o duritate mare fără tratament termic. Aliajul rezistă la oxidarea la temperaturi peste 1050 °C și în mediu acid: acid azotic, acid fosforic, acid sulfuric, acid clorhidric, fiind folosit la realizarea componentelor subțiri din instalațiile de transfer termic. Aliajul Inconel 625/N06625 este rezistent la coroziunea în puncte, intercristalină și fisurantă sub tensiune, produsă de cloruri [54]. Aliajul are proprietăți mecanice foarte bune atât la temperaturi scăzute cât și la temperaturi înalte. Este folosit la construcția componentelor instalațiilor de desulfurare a gazelor de ardere, instalațiilor de producere a petrolului și a gazului unde există acid sulfhidric și sulf elementar. Aliajul este utilizat în fabricarea echipamentelor din industria chimică, aeronautică și inginerie marină, echipamente de controlul poluării, reactoare nucleare.

Aliajul Inconel 601/N06601 are rezistență la oxidare la temperaturi mai mari de 1250 °C, chiar și în condiții severe de cicluri termice repetate datorită stratului uniform, aderent de oxizi rezistent la șocurile termice. Datorită conținutului ridicat de Cr și un conținut de 1,4% Al, acest aliaj are o bună rezistență în atmosferele oxidante cu conținut de sulf și în atmosferele carburante la temperaturi ridicate. Aliajul Inconel 601/N06601 se folosește la fabricarea camerelor de ardere, instalațiilor de cenușă din industria de producere a energiei, reactoarelor termice din industria petrochimică. Aliajul este utilizat la fabricarea cuptoarelor industriale, echipamentelor de tratamente termice cum ar fi coșuri, manșoane, retorte; echipamente din industria petrochimică și alte echipamente de proces, componente pentru turbine de gaz [77].

Aliajul Alloy 230/N06230 este un aliaj Ni-Cr-W-Mo care prezintă o foarte bună rezistență la temperaturi înalte, restență la oxidare la temperaturi peste 1150 °C, rezistență la nitrurare și stabilitate termică la lucrul îndelungat. Acest aliaj are o bună rezistență la oboseală, rezistență la supraîncălzire datorată expunerii

îndelungate la temperaturi mari și poate fi ușor prelucrat prin tehnologii convenționale. Aliajul este întâlnit la realizarea componentelor turbinelor cu gaz, structurile aerospațiale, procesele chimice și centralele de producere a energiei, instalații de tratament termic.

1.3.2.3 Comportarea la sudare a aliajelor refractare

Din punct de vedere al comportării la sudare, aliajele refractare pot fi clasificate în funcție de influența elementelor de aliere asupra proprietăților mecanice în:

- aliaje cu structură de soluție solidă;
- aliaje durificate prin precipitare.

Aliajele cu structură de soluție solidă, se sudează ușor, materialul fiind în stare revenită. La aceste aliaje deoarece în ZIT nu se obțin valori ridicate ale durtății, nu este necesar un tratament termic post sudare.

Aliajele durificate prin precipitare, își îmbunătățesc proprietățile mecanice, prin tratament termic, în urma căruia se produce o distribuție fină a particulelor dure în matricea bogată în nichel.

Aliajele refractare pe bază de Co, se sudează în condiții bune, prin procedeul MIG/MAG și WIG sau prin sudare prin rezistență. Pot fi sudate și cu surse concentrate de energie: fascicul de electroni sau laser, dar de obicei pentru cele mai multe aplicații nu sunt necesare aceste procedee, deoarece aceste aliaje se sudează ușor.

Metalul de adaos sub formă de sârmă sau vergea, poate fi un aliaj pe bază de cobalt mediu aliat. Este indicat a se realiza o preîncălzire atunci când se sudează în mediu de gaz protector pentru a diminua tendința de fisurare la cald.

Aliajele refractare pe baza de Ni sau Ni-Fe, se sudează mai greu comparativ cu aliajele pe bază de Co. Datorită prezenței fazelor dure, aliajele sunt susceptibile la fisurarea la cald și la fisurarea în urma tratamentelor termice post sudare [38]. Fisurarea la cald apare în ZIT, extinderea procesului de fisurare depinde de compoziția chimică a aliajului și de tehnologia de sudare aplicată.

Ca procedee de sudare pentru aceste aliaje se recomandă, sudarea în mediu de gaz protector și sudarea cu surse concentrate de energie. Sudarea cu arc acoperit se recomandă la aliajele în soluție solidă: Nichel 200, seria aliajelor Iconel 600, seria aliajelor Monel 400. Atunci când se folosește material de adaos, se folosește un aliaj austenitic ductil, pentru a reduce riscul fisurării la cald.

De obicei compoziția chimică a materialului de adaos este asemănătoare cu a materialului de bază. Cele mai multe materiale de adaos conțin mici cantități de Ti, Al, Nb, pentru a reduce riscul apariției porilor și a fisurilor. La alegerea tehnologiilor de sudare a aliajelor refractare, alături de fisurarea la cald, trebuie luată în considerare și fisurarea în urma tratamentelor post sudare. Preîncălzirea nu este necesară, numai dacă există riscul apariției porilor, datorită umezelii. Înaintea începerii procesului de sudare, suprafețe metalice se curăță, prin metode normale de curățare și degresare.

Defectele care pot să apară la sudarea aliajelor refractare sunt:

- *porii*, apar datorită oxigenului, azotului din atmosferă, oxizilor de la suprafața materialului sau hidrogenului de pe suprafețele contaminate. Curățarea atentă a suprafețelor materialului și folosirea unor materiale de adaos care conțin dezoxidanți ca Al, Ti, reduc acest risc. Atunci când se folosește argonul ca gaz de protecție pentru procedeul WIG sau MIG, se are în vedere eficiența gazului de

protecție asupra băii de metal topit și folosirea protecției gazoase la rădăcina îmbinării. La sudarea TIG este recomandat amestecul Ar-H₂, deoarece produce o atmosferă ușor reducătoare.

- *incluziunile de oxizi*, pot trece în baia de metal topit, sub formă de incluziunii, datorită faptului că oxizii de la suprafața aliajelor pe bază de nichel, au temperatura de topire mult mai mare decât a aliajului de bază. La sudarea în mai multe rânduri, oxizii sau zgura formată, nu se dizolvă și pot cauza lipsa de pătrundere. Înaintea sudării, oxizii formați la suprafața materialului datorită temperaturilor mari, trebuie îndepărtați prin prelucrare abrazivă, iar în timpul operațiilor de sudare, multistrat, se îndepărtează oxizii și zgura dintre rânduri.

- *fisurarea la cald*, apare datorită compușilor/impurităților aglomerate în centrul îmbinării și ca urmare a unui profil necorespunzător a îmbinării sudate. O viteză de sudare prea mare produce o subțiere a îmbinării sudate, care face ca impuritățile să se concentreze la linia centrală. Procesul de solidificare generează tensiuni transversale, care conduc la fisurare. Acest risc poate fi redus, curățând suprafața de material supusă sudării și evitarea unei viteze de sudare mari.

- *microfisurile*, apar în porțiunile de metal reîncălzit, ZIT, sau metalul de bază, similar oțelurilor austenitice inoxidabile. Apariția acestor defecte nu depinde de operator, ci de mărimea grăunților sau conținutul de impurități.

- *fisurarea datorată tratamentelor termice post-sudare*, numită și fisurare la reîncălzire, apare la aliajele durificate prin precipitare și poate fi redusă prin aplicarea preîncălzirii în vederea sudării.

1.4 Procedee de sudare recomandate la fabricația incineratoarelor

Principalele procedee tehnologice utilizate în fabricarea incineratoarelor pentru deșeuri sunt deformarea plastică/îndoirea și sudarea. Deformarea plastică/îndoirea se folosește la confecționarea diverselor repere din componența mantalei sau a altor părți din instalația de ardere a deșeurilor.

Sudarea este un procedeu tehnologic prin care se asigură obținerea unei calități corespunzătoare a produsului în condițiile unei eficiențe economice ridicate.

Procedeele de sudare sunt diverse vis-à-vis de modul de realizare a continuității materiale între piesele îmbinate, sursa termică utilizată, gradul de mecanizare, nivelul de protecție al zonei de sudare etc.

Având ca bază materialele utilizate în fabricația incineratoarelor, condițiile de exploatare ale acestora, corozivitatea mediului de lucru, calitatea impusă îmbinărilor sudate, se recomandă în fabricația incineratoarelor, utilizarea procedeelelor de sudare cu protecție de gaz inert: MIG și WIG, sau a celor cu densitate mare de energie: plasmă, laser.

1.4.1 Sudarea în mediu de gaz protector inert cu electrod fuzibil, MIG

Sudarea MIG este un procedeu de sudare prin topire cu arc electric cu electrod fuzibil, pentru protecția zonei de sudare, a arcului și a băii de metal, folosindu-se un gaz inert. Schema de principiu a procedurii de sudare MIG este prezentată în figura 1.11.

Procedeele de sudare MIG este frecvent folosit datorită productivității ridicate și posibilității de mecanizare și automatizarea procesului. Sudarea în mediu de gaz protector MIG se desfășoară în curent continuu, polaritate inversă.

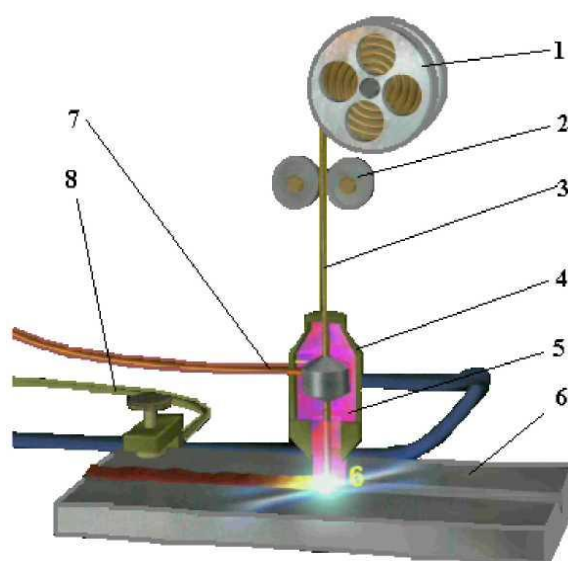


Fig.1.11 Schema de principiu a procedurii de sudare MIG/MAG
1-bobină sârmă, 2-role de avans, 3-sârma electrod, 4-duza de gaz, 5-gaz de protecție, 6-material de bază, 7,8-cabluri electrice

Materialele pentru sudare sunt sârma electrod și gazul de protecție:

Sârma electrod, conform SR EN 440, este livrată sub formă de bobine. Diametrele standardizate uzuale sunt: 0,8; 1,0; 1,2; 1,6 mm. Compoziția chimică a sârmei electrod depinde de materialul de bază. În cazul procedurii de sudare MIG, compoziția chimică a sârmei se alege apropiată de a metalului de bază.


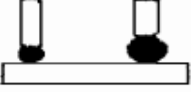
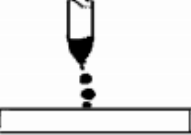
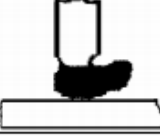

Gazul de protecție, gaz inert utilizat asigură protecția băii metalice și a picăturilor de metal topit față de interacțiunea cu gazele atmosferice. Proprietățile termo-fizice și activitatea chimică a gazelor de protecție influențează desfășurarea procesului de sudare acționând asupra: stabilității arcului electric, parametrilor de sudare, transferului picăturii de metal topit prin coloana arcului, reacțiilor metalurgice la nivelul băii metalice și a picăturilor de metal, transformărilor structurale, proprietăților mecanice ale îmbinărilor sudate, formei și geometriei îmbinărilor sudate, productivității la sudare [43].

La sudarea oțelurilor inoxidabile austenitice și a oțelurilor refractare se urmărește menținerea caracteristicilor mecanice de plasticitate și a rezistenței la

coroziune, fapt pentru care gazul de protecție recomandat este gazul de protecție MI1, cu un conținut de 99,99% Ar, conform EN 439.

Transferul de metal la sudarea MIG este un proces complex care depinde de o diversitate mare de fenomene de natură: electrică, electromagnetică, mecanică, chimică și termodinamică. Manifestarea acestor fenomene duce la desprinderea sau menținerea picăturii de metal topit în vârful electrodului fuzibil. Tipul de transfer al picăturii de metal topit este influențat în principal de gazul de protecție și de valoarea curentului de sudare. Principalele moduri de transfer a picăturii prin coloana arcului, respectiv tipurile de arce existente sunt prezentate în tabelul 1.16.

Tabelul 1.16 Tipuri de transfer a picăturii de metal la sudarea MIG/MAG [43].

Tipul arcului electric	Mărimea picăturii	Aspectul transferului	Modul de transfer
Arc scurt MAG-M MAG-CO ₂	fină		prin scurtcircuit
Arc intermediar (de tranziție) MAG-M MAG-CO ₂	fină până la grobă		globular cu scurtcircuitări aleatoare
Arc spray MAG-M	foarte fină		prin pulverizare, fără scurtcircuitări
Arc lung MAG-CO ₂	grobă		globular cu scurtcircuitări
Arc pulsat (sinergic) MAG-M	fină		fără scurtcircuitări (o picătură/puls)

Principalele moduri de transfer a picăturii prin arc sunt:

- *transferul prin scurtcircuitare* atunci când se folosește I mic și sârmă de diametru mic. Când picătura de metal lichid din capătul electrodului atinge baia metalică, tensiunea superficială a metalului lichid reține picătura, forța electromagnetică strângulează picătura și o transferă în baie. Arcul electric se restabilește, apare o nouă picătură în vârful electrodului și procesul se repetă. Frecvența transferului prin scurtcircuitare este de 100-250 picături/s. Acest mod de transfer se folosește la sudarea tablelor subțiri, în orice poziție de sudare, la umplerea rosturilor largi, în locuri greu accesibile;

- *transferul globular* folosește curenți mai mari, realizându-se prin picături. De obicei diametrul picăturilor este mai mare decât diametrul electrozului. Ele desprinzându-se datorită greutateii proprii. Datorită câmpului magnetic al arcului, transferul se face haotic, intensificându-se stropirea;

- *transferul prin pulverizare* folosește curenți de sudare și mai mari. Datorită curentului mare de sudare, picăturile de metal sunt mici, trec repede prin spațiul arcului și pătrund în baie. În cazul acestui transfer, arc electric este stabil, ușor de condus și se obține o pătrundere mare. La sudarea MIG convențională, pentru a realiza un transfer de metal prin pulverizare, curentul de sudare trebuie mărit peste valoarea de 200 A. La curenți de sudare sub această valoare, desprinderea picăturilor devine nesigură;

- *transferul cu arc rotitor* folosește curenți de valori foarte mari. Capătul electrozului devine o picătură, care se rotește spiral sau elicoidal. Rata depunerii crește, rezultând suduri de lățime mare;

- *transferul pulsant/în impulsuri* se caracterizează prin transferul dirijat a picăturilor de metal prin modificarea periodică a curentului de sudare, de la o valoare maximă/curent de puls, la o valoare minimă/curent de bază, cu o anumită frecvență. Valoarea ridicată a curentului de puls determină topirea rapidă și desprinderea picăturii de metal de dimensiuni foarte mici, asemănător transferului prin pulverizare [19]. Curentul de bază asigură stabilitatea arcului electric și preîncălzirea vârfului sârmei electrod.

Avantajele sudării MIG în curent pulsant sunt:

- transferul prin pulverizare se poate extinde în domeniul arcului de putere redusă, ceea ce face ca acest procedeu să fie utilizat la sudarea oțelurilor inoxidabile și a aluminiului, respectiv la sudarea tablelor subțiri și a îmbinărilor în poziții dificile;

- energia introdusă în componente are valori mai mici comparativ cu sudarea prin pulverizare, ceea ce conduce la scăderea tensiunilor și deformațiilor la sudare;

- posibilitatea utilizării de sârme groase, $d_s = 1,6-2,0$ mm, realizându-se transferul prin pulverizare la valori reduse ale curentului mediu;

- minimalizarea influenței factorului uman asupra calității îmbinărilor sudate;

- posibilitatea sudării stratului de rădăcină fără pericolul străpungerii acestuia;

- emisia de fum este mai redusă decât la sudarea convențională, deoarece se poate evita supraîncălzirea picăturilor, respectiv formarea vaporilor de metal care duc la creșterea emisiei de fum;

- procesul de sudare decurge ușor, stropirile fiind practic inexistente.

Echipamentul pentru sudare este format din: sursa de putere cu caracteristică rigidă sau puțin urcătoare, dispozitivul de avans al sârmei, butelia de gaz cu accesorii, furtunuri de gaz, pistol de sudare, instalația de răcire cu apă.

1.4.2 Procedul de sudare în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil, WIG

Sudarea în mediu de argon cu electrod nefuzibil, WIG este un procedeu de sudare cu arcul electric format între un electrod nefuzibil din W aliat cu Th, Ce, Zr și piesa de sudat.

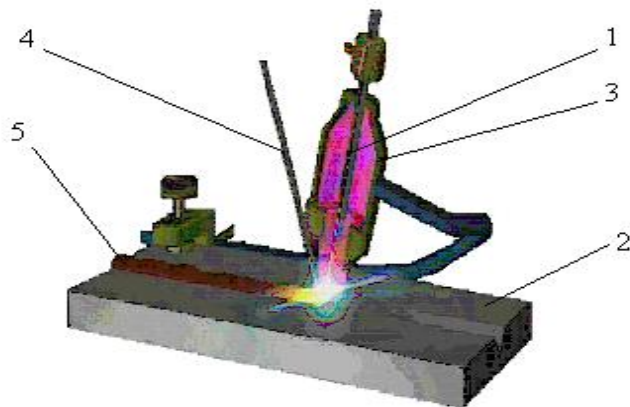


Fig.1.12 Schema de principiu a procedurii de sudare WIG
1- electrod nefuzibil, 2-material de bază, 3-duza de gaz, 4-material de adaos, 5-îmbinare sudată

Arcul electric și zona de sudare sunt protejate de gazul inert folosit: Ar, He. Se poate suda cu sau fără metal de adaos. Dacă se sudează cu metal de adaos sub forma unei vergele, aceasta se introduce manual în arc de către operator.

Alimentarea arcului se poate realiza în c.c. sau c.a. fiecare modalitate conferind particularități specifice. În curent continuu există două modalități de alimentare:

- polaritatea directă cc^- , electrodul la catod și piesa la anod;
- polaritate inversă cc^+ , electrodul la anod și piesa la catod.

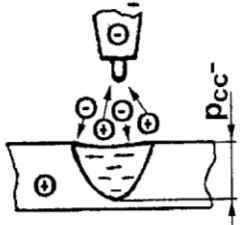
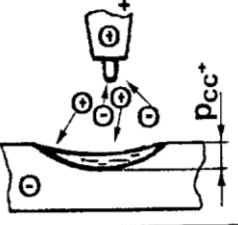
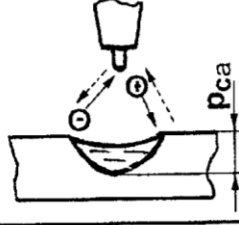
Fenomenele ce se produc în c.c./c.a. sunt sintetizate în tabelul 1.17.

La alimentarea arcului cc^- , electronii accelerați de căderea de tensiune din arc au viteză mare și la impactul cu piesa, cedează întreaga energie. Cum gradul de ionizare la arc $\leq 0,3$, curentul se datorează 70% deplasării electronilor și doar 30% deplasării ionilor. Deci electronii furnizează 70% din energia arcului, densitatea de curent pe piesă este mai mare, pătrunderea mai mare, baia metalică e mai adâncă și îngustă. Condițiile de răcire ale electrodului de W sunt bune, chiar în lipsa răcirii cu apă. Electronii având masă mică, nu se produce curățirea de oxizi a suprafeței piesei.

La alimentarea în cc^+ , efectul este invers și ca rezultat, încălzirea electrodului nefuzibil este puternică necesitându-se un diametru mai mare de electrod sau răcirea forțată cu apă a acestuia. Baia metalică este mai puțin adâncă, însă largă. Ionii de Ar fiind grei, la impactul lor cu piesa, ei sparg pelicula de oxizi de pe suprafața piesei, iar jetul de gaz o înlătură, producându-se o sablare electrică a piesei, fenomen deosebit de favorabil la piese acoperite cu oxizi greu fuzibili: Al, Mg.

Alimentarea arcului WIG în c.a. conduce la o soluție de compromis, respectiv o pătrundere rezonabilă și o curățire corespunzătoare. Totodată din cauza temperaturii mai mari de pe electrodul nefuzibil comparativ cu cea de pe piesă acesta emite electroni mai ușor decât piesa. Ca rezultat se produce o asimetrie a curbei curentului, amplitudinea acestuia fiind mai mare pe alternanța pozitivă, când electrodul este catod, comparativ cu alternanța negativă. Uniformizarea curbei curentului se poate realiza prin introducerea în circuit a unei surse de tensiune continuă.

Tab.1.17 Fenomene produse la alimentarea arcului WIG în c.c/c.a [43]

Felul curentului	CC ⁻	CC ⁺	CA
Polaritate la electrod	-	+	
Desfășurare			
Curățire oxizi	Nu	Da	Da pe 1/2 perioadă
Bilanțul termic în arc	70% piesă + 30% electrod	30% piesă + 70% electrod	50% piesă + 50% electrod
Baia metalică	Adâncă și îngustă	Largă și puțin adâncă	Medie
Pătrundere	$P_{CC^-} > P_{CA} > P_{CC^+}$		

Alimentarea arcului se poate realiza și în curent pulsant, polaritate directă, situație în care este posibilă sudarea în poziții dificile cu întreruperi reduse ale arcului. Deformațiile la sudare sunt reduse.

Datorită căldurii limitate introduse în piese, sudarea WIG se recomandă la îmbinarea secțiunilor mici. Viteza de topire a metalului de adaos este oarecum independentă de curentul de sudare, astfel permițându-se în mică măsură variația cantității de metal topit. Astfel, controlul diluției și energiei introduse în piesă poate fi realizat fără a modifica dimensiunea sudurii.

Se poate suda cu sau fără metal de adaos, grosimi mici de materiale reactive: Ti, Zr, Th, sau metale ce formează oxizi refractari: Al, Mg. Dezavantajul major este productivitatea redusă și rata depunerii mică, legat de densitatea de curent admisă pe electrodul nefuzibil și de faptul că este un procedeu manual.

Materialele pentru sudare sunt electrozii nefuzibili, vergelele metalice și gazul de protecție.

Electrozii nefuzibili, conform EN 26848, din W sau aliați cu 2% Th, Yr, Ce, pentru îmbunătățirea condițiilor de emisie, amorsare mai ușoară a arcului, stabilitate mai bună a arcului, încărcare mai mare cu curent. Diametrele electrozilor nefuzibili sunt: 0,5; 1; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,5; 8; 10 mm, iar lungimile în gama: 50-75-150-175 mm;

Metalul de adaos, format din vegele metalice de lungimi 1000 mm, cu diametrul: 0,8; 1; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4 mm din același metal sau aliaj metalic cu cel sudat;

Gazul de protecție poate fi argonul sau heliul. Argonul este preferat datorită următoarelor avantaje:

- amorsare mai ușoară;
- ardere mai liniștită a arcului;
- tensiunea de ionizare mai scăzută la același curent de sudare și aceeași lungime a arcului;
- curățarea mai eficientă a oxizilor, datorită greutatei mari a ionilor, deci necesitatea unui debit mai mic pentru o protecție bună;
- preț accesibil.

Heliul cu o puritate >99,955, prezintă următoarele avantaje în utilizare:

- este mai puțin sensibil la variațiile lungimii arcului, datorită tensiunii de ionizare ridicate, fiind preferat la sudarea mecanizată;
- dezvoltă o cantitate de căldură sporită, fiind recomandat sudării metalelor cu conductibilitate termică ridicată sau de grosimi mari;

Echipamentul pentru sudare este format din: sursa de putere cu caracteristică coborâtoare, butelia de gaz cu accesorii, furtunuri de gaz, cutia de control, comandă și reglare a parametrilor, cap de sudare, instalația de răcire și oscilatorul de înaltă frecvență.

2. COROZIUNEA ÎMBINĂRILOR SUDATE

2.1. Mecanismul coroziunii

Coroziunea este un fenomen de distrugere a unui material, de obicei metal, în urma interacțiunii lui chimice sau electrochimice cu mediul înconjurător. Distrugerea poate fi parțială/superficială/totală sau poate produce modificarea proprietăților materialelor.

Coroziunea materialelor metalice, pe lângă faptul că micșorează siguranța în exploatarea a mașinilor și instalațiilor, provoacă și importante pierderi de metal [56]. Aspectele economice privind coroziunea, la nivel de pierderi directe, cât și indirecte, sunt de o importanță deosebită. Se estimează că în țările industrializate costurile datorate coroziunii sunt de cca 4 % din produsul intern brut (fig. 2.1)

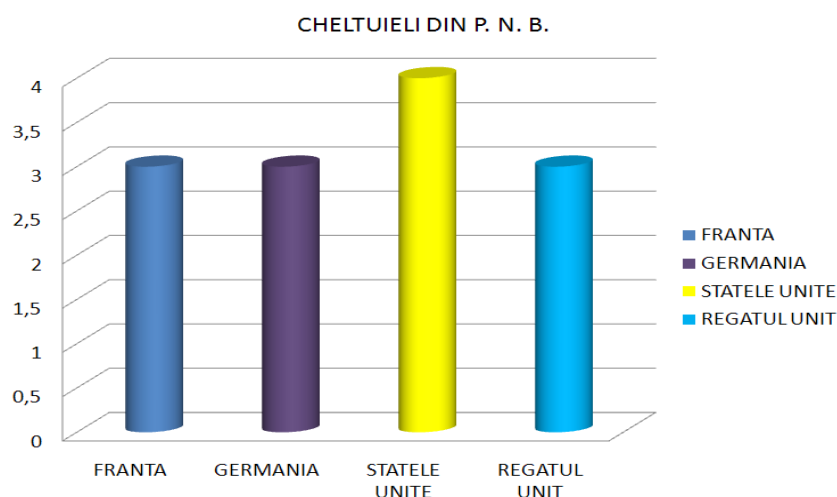


Fig.2.1 Pierderi datorate coroziunii în țările industrializate [15]

Factorii care afectează comportarea unui material la coroziune sunt:

- caracteristicile materialului;
- caracteristicile mediului corosiv;
- parametrii de proiectare.

Din punct de vedere fizico-chimic, coroziunea poate fi: chimică sau electrochimică.

2.1.1 Coroziunea chimică

Coroziunea chimică este efectul direct al acțiunii gazelor uscate sau a neelectrolitilor asupra metalelor, fără a exista un transfer de sarcină electrică, rezultatul fiind distrugerea metalului. Coroziunea are loc numai în prezența unui

mediu oxidant: oxigen, dioxid de sulf, dioxid de carbon [5]. Intensitatea procesului de coroziune este condiționată de:

- natura metalului;
- starea suprafeței metalice;
- compoziția mediului agresiv;
- presiunea mediului corosiv;
- durata de contact.

Dintre factorii externi acțiunea cea mai dăunătoare asupra metalelor o are oxigenul. Sub acțiunea oxidantă, unele metale se acoperă cu o peliculă de oxid, care poate sau nu proteja metalul. Pentru a avea rol protector pelicula trebuie să aibă o anumită grosime, să fie compactă, stabilă, continuă fără pori sau fisuri și să aibă proprietăți mecanice de plasticitate bună.

La temperaturi înalte, sub acțiunea gazelor industriale, instalațiile pot suferi pierderi pe baza unor forme speciale de coroziune cum sunt: decarburarea oțelurilor sau nitrurarea oțelurilor refractare.

Aceste fenomene, frecvent întâlnite la structurile sudate, echipamentele chimice și energetice, produce micșorarea durității superficiale, a rezistenței la uzură și mărește susceptibilitatea la coroziunea fisurantă [46].

2.1.2 Coroziunea electrochimică

Coroziunea electrochimică apare în prezența unui electrolit în contact cu metalul supus coroziunii. Pe suprafața metalului aflat într-un mediu cu proprietăți electrolitice apar elemente galvanice, în care impuritățile din metal funcționează ca microcatozi, cu descărcare de hidrogen pe suprafața lor, în timp ce metalul, funcționând ca anod se dizolvă. Coroziunea electrochimică a metalului constă în trecerea acestuia în soluție sub formă de ioni și reducerea ionilor de hidrogen aflați în soluție.

Procesul electrochimic de coroziune presupune desfășurarea simultană a două procese pe suprafața metalică: oxidarea metalului, respectiv reducerea ionilor de hidrogen [75]:

Desfășurarea procesului electrochimic la nivel microscopic include mai multe etape:

- transportul agentului corosiv spre limita metal-electrolit;
- reacția de transfer de sarcină;
- transportul produselor de reacție în masa soluției de electrolit.

Factorii care influențează coroziunea electrochimică sunt:

- factori externi: viteza de curgere a electrolitului, presiunea, temperatura, prezența oxigenului în mediu corosiv, prezența inhibitorilor și acceleratorilor de coroziune;
- factori interni: natura materialului, forma piesei, microgeometria suprafeței, prelucrările la rece sau la cald, tensiunile de serviciu, procedeele de asamblare.

În cazul materialelor metalice, cel mai important factor de control al coroziunii atmosferice este legat de proveniența electrolitului apos [85]. Astfel în condiții glaciale, uscate sau foarte calde, atacul corosiv se produce cu o viteză mai mică decât în mediu umed. O atmosferă care conține SO_2 sau NaCl este mult mai agresivă decât o atmosferă curată.

Ridicarea temperaturii mediului corosiv mărește viteza de coroziune. În instalațiile chimice, atacul mediului depinde de temperatură, viteza fluidului, concentrație, gradul de aerare, puritate și tensiunile aplicate.

2.2. Forme ale coroziunii

În funcție de mijloacele necesare indentificării conform formele de bază ale coroziunii pot fi împărțite în trei grupe (fig.2.2-fig.2.4):

- Grupa 1 - identificare rapidă prin efectuare de control vizual: coroziunea uniformă, coroziunea în puncte, coroziunea fisurantă și coroziunea galvanică;
- Grupa 2 - pentru identificare sunt necesare mijloace suplimentare de examinare: coroziunea prin eroziune, coroziunea cavitațională, coroziunea prin frecare și coroziunea intergranulară;
- Grupa 3 - verificarea se face de obicei cu microscopul electronic sau optic. Este vorba de exfoliere, sărăcire în elemente de aliere, coroziunea fisurantă sub tensiune, coroziunea datorată oboseli.

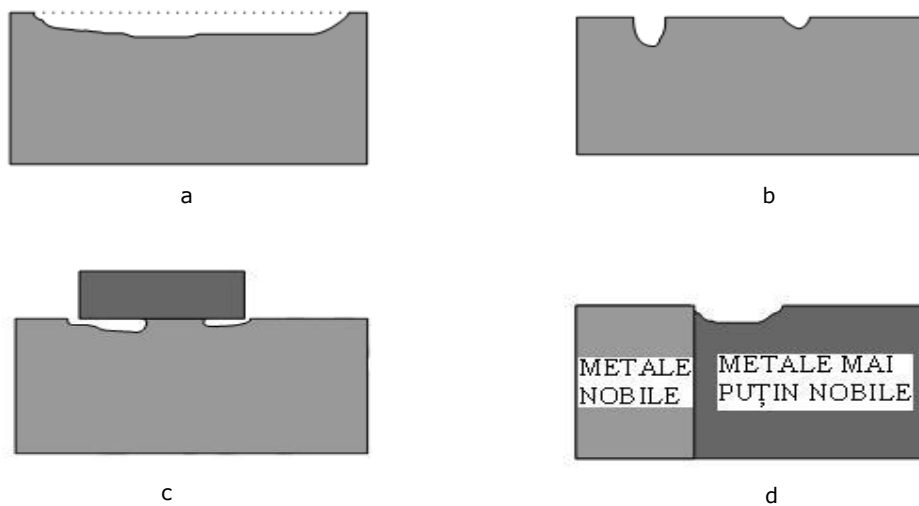


Fig.2.2 Forme ale coroziunii identificabile prin control vizual:
a-coroziunea uniformă; b-coroziunea în puncte; c-coroziunea în crevasă; d-coroziunea galvanică[58]

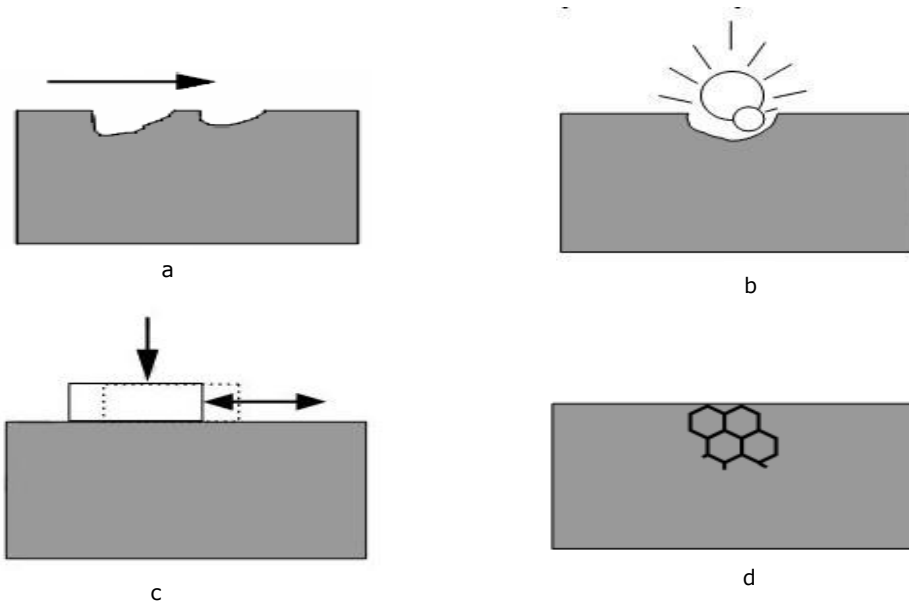


Fig.2.3 Forme ale coroziunii identificabile prin control cu mijloace suplimentare de examinare:
 a-coroziunea prin eroziune; b-coroziunea cavitațională; c-coroziunea prin presare;
 d-coroziunea intergranulară[58]

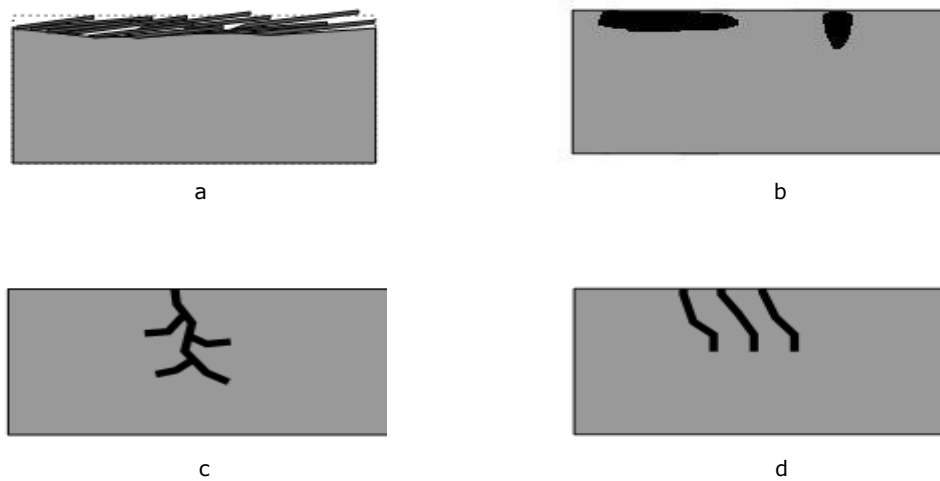


Fig.2.4 Forme ale coroziunii identificabile prin examinare microscopică:
 a-coroziunea prin exfoliere; b-coroziunea prin sărăcire în elemente de aliere; c-coroziunea
 fisurată sub tensiune; d-coroziunea la oboseală[58]

2.2.1 Coroziunea uniformă/generală

Coroziunea generală se caracterizează printr-o degradare relativ uniformă a întregii suprafețe metalice sau a unei suprafețe extinse, expuse la mediul corosiv, rezultatul fiind scăderea caracteristicilor de rezistență mecanice proporțional cu diminuarea grosimii (fig.2.5)

Din punct de vedere al cantității de material pierdut prin coroziune, acest tip de coroziune este cel mai important. Îndepărtarea straturilor de protecție de pe structuri conduce la apariția acestei forme de coroziune și totodată la progresarea atacului coroziv.

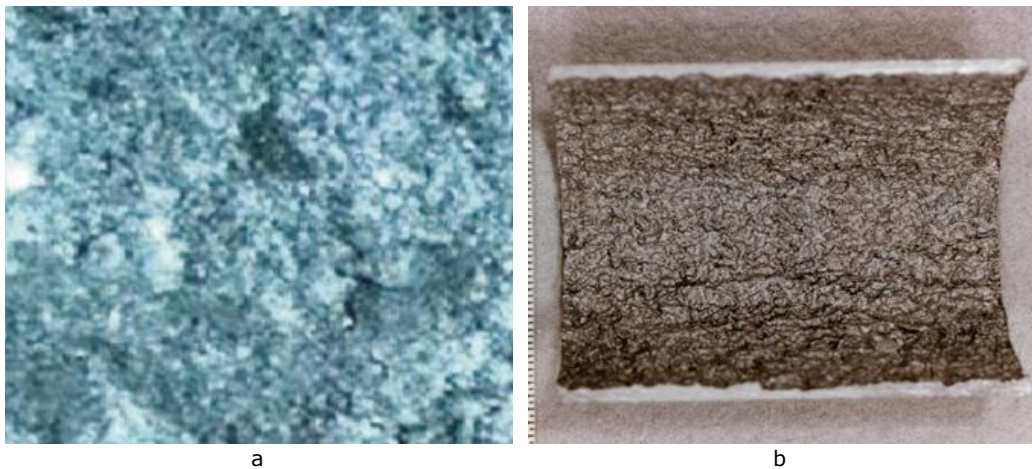


Fig.2.5 Imagini microscopice de coroziune generală/uniformă
a - micrografie, X 250 ; b - interior conduct, X100, [98]

Dacă coroziunea progresează, startul de suprafață devine rugos și coroziunea de suprafață poate conduce la forme periculoase ale coroziunii. Acidul azotic și acidul sulfuric constituie exemple de agenți care provoacă coroziune de acest tip.

Coroziunea generală a oțelurilor inoxidabile se produce aproape exclusiv în medii puternic acide sau alcaline. Acest tip de coroziune este puțin periculos deoarece procesul este controlabil și produsul poate fi înlocuit în timp.

2.2.2 Coroziunea localizată prin puncte sau cratere

Coroziunea localizată prin puncte cuprinde anumite zone din întreaga suprafață a materialului, formând pete, puncte, cratere (fig. 2.6).

Coroziunea localizată este specifică metalelor pasivabile. Este considerată a fi mult mai periculoasă decât coroziunea uniformă, deoarece este mult mai greu de detectat și prevenit.

Acest tip de coroziune este provocat de o serie de agenți corozivi, care au proprietatea de a favoriza ruperi locale ale peliculei superficiale de protecție a oțelurilor pasivate. În fiecare punct de rupere se formează un microanod în care densitatea electrică este mai ridicată față de suprafața catodică, relativ foarte mare.

Această diferență de potențial produce un atac punctiform, care se dezvoltă rapid în adâncime.

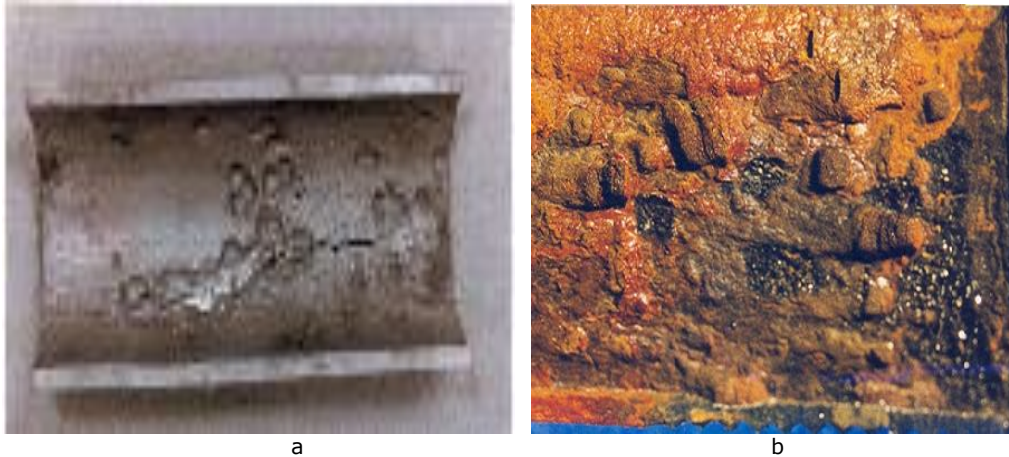


Fig.2.6 Imagini microscopice de coroziune prin puncte/pitting
a-în mediu de H_2S , X 100; b-în mediu de CO_2 , X500, [98]

2.2.3 Coziunea intercristalină/intergranulară

Coroziunea intercristalină este specifică oțelurilor inoxidabile Cr-Ni, este un atac care progresează la limitele grăunților cristalini atât în prezența cât și în absența solicitării mecanice. În anumite condiții de temperatură, carburile de crom precipită la limita grăunților cristalini, formând în jurul acestora o zonă restrânsă, sărăcită în crom. Materialul, în aceste zone, nu mai posedă rezistență chimică și este atacat rapid în contact cu un electrolit acid.

În urma unor procese de sudare sau tratament termic, în oțelurile inoxidabile se poate produce o precipitare intergranulară de carburi metalice. Se modifică compoziția chimică a matricei metalice în vecinătatea limitelor dintre grăunții cristalini. La oțelurile inoxidabile, precipitarea carburii de crom $Cr_{23}C_6$, duce la scăderea conținutului de crom din matricea austenitică și deci pierderea pasivității stabile, stare sensibilizată. Această decromizare de la limitele grăunților cristalini, antrenează fenomenul de coroziune intercristalină (fig.2.7) [13].

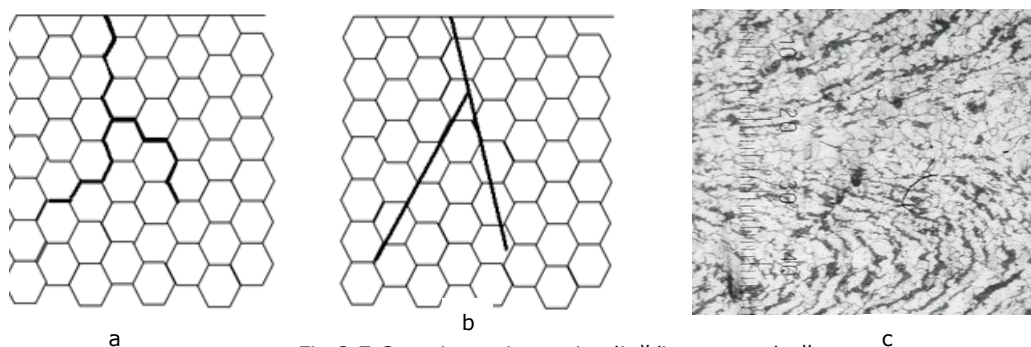


Fig.2.7 Coroziunea intercristalină/intergranulară
a - propagarea inergranulară a coroziunii, b - propagarea transgranulară a coroziunii;
c - imaginea unui îmbinări sudate la nivel granular [9]

2.2.4 Coroziunea sub tensiune

Coroziunea sub tensiune este specifică oțelurilor inoxidabile austenitice și apare atunci când mediul de lucru are acțiune specifică, când există o anumită sensibilitate a oțelului și când acesta este supus solicitărilor mecanice de tracțiune (fig.2.8).

Tensiunile de tracțiune, provocate de forțe exterioare structurii sau de tensiunile de natură reziduală în urma prelucrării mecano-termice, sunt cele mai periculoase pentru apariția coroziunii sub tensiune. Tensiunile de tracțiune provoacă alunecări în grăunții austenitici și pragurile de alunecare constituie elemente active ale coroziunii.

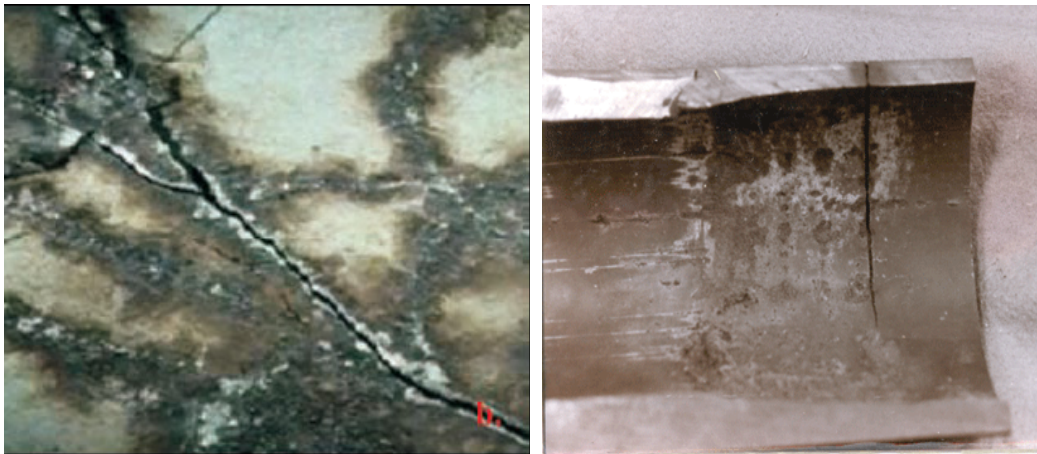


Fig 2.8 Coroziunea sub tensiune a oțelurilor inoxidabile [98]

Pentru a se produce coroziunea fisuranta sub tensiune trebuie să coexiste: material metalic cu predispoziție la mediul corosiv, solicitare mecanică exterioară sau tensiunii interne induse tehnologic.

Coroziunea sub tensiune poate fi prevenită, producerea ei depinde de sistemul material-mediu corosiv.

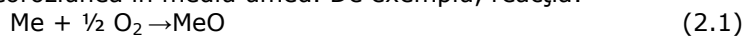
2.3. Coroziunea la temperaturi înalte

Coroziunea la temperaturi înalte numită și coroziune uscată are loc în absența unui lichid electrolitic. În majoritatea mediilor industriale, oxidarea reprezintă modul predominant al coroziunii la temperaturi înalte [37]. Prin oxidarea aliajelor metalice, se formează un strat de protecție rezistent față de mediul corosiv. Tipul fenomenului de coroziune depinde de factorul predominant în ansamblul procesului de coroziune și poate fi: carburarea, sulfurarea sau alte forme de atac coroziv la temperaturi înalte [30].

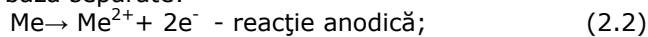
Primul pas în oxidarea la temperaturi înalte este absorbția oxigenului la suprafața metalului, urmat de formarea de germeni de oxid, creșterea acestor germeni/nuclee, obținându-se un strat uniform pe suprafața metalului.

2.3.1 Natura electrochimică a reacțiilor de oxidare

Oxidarea la înaltă temperatură se produce după mecanismul electrochimic, cu similitudini față de coroziunea în mediu umed. De exemplu, reacția:



duce la două reacții de bază separate:



și



Dezvoltarea stratului de oxid la interfața oxid-gaz este prezentată în figura 2.9. Ionii pozitivi de metal sunt eliberați la interfața metal-oxid și migrează prin interstițiile oxidului la interfața oxid-gaz. Electronii din banda de valență periferică, migrează spre interfața oxid-gaz, unde are loc producerea stratului de oxizi.

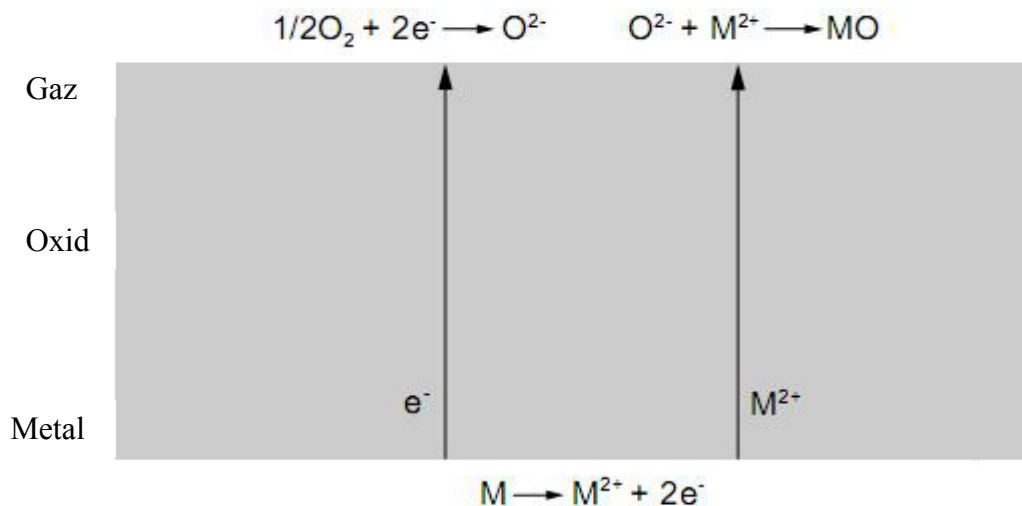


Fig.2.9 Schema procesului de oxidare la interfața oxid-gaz [58]

Pentru ionii negativi liberi ai oxidului, producerea filmului de oxizi are tendința să apară la interfața metal-oxid (fig 2.10). Electronii din banda de valență migrează spre interfața oxid-gaz, unde are loc reacția catodică. Ionii negativi de oxigen produși pe această interfață, migrează prin matricea oxidului făcând schimb cu ionii negativi liberi. Ionii pozitivi de metal sunt asigurați de reacția anodică de la interfața metal-oxid.

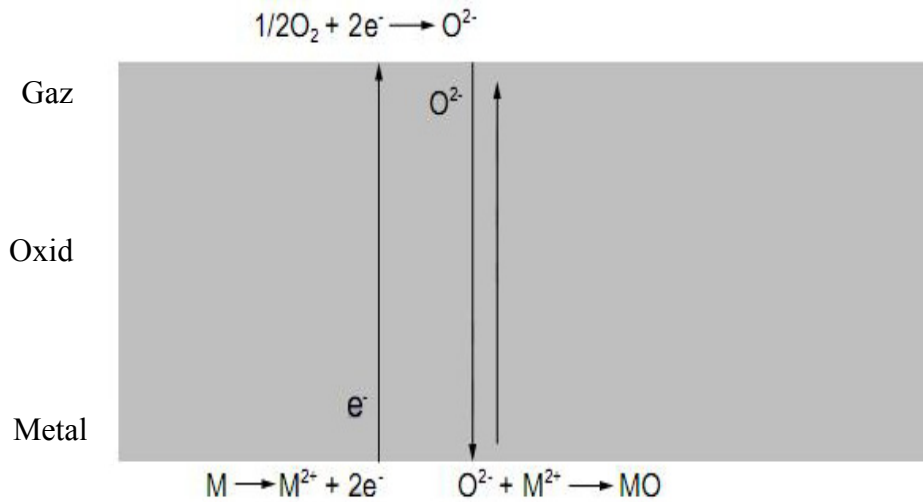


Fig.2.10 Obținerea stratului de oxizi la interfața metal-oxid [58]

În cazul unui deficit de oxizi de metal, ionii pozitivi de metal produși de reacția anodică la interfața metal-oxid, migrează spre interfața oxid-gaz, făcând schimb cu ionii pozitivi liberi. Sarcina electronului este efectiv transferată la interfața oxid-gaz, de către mișcarea golurilor de electroni în direcția opusă, către interfața metal-oxid. Reacția catodică și producerea stratului de oxizi tinde să se producă la interfața oxid-gaz (fig.2.11).

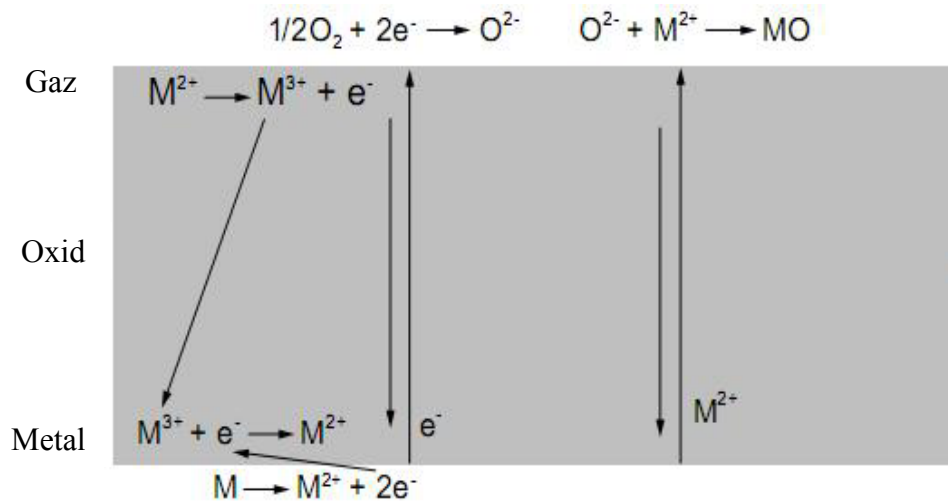


Fig.2.11 Schema reacției catodice de obținere a stratului de oxizi la interfața oxid-gaz [58]

Un strat protector de oxizi cu bune proprietati anticorozive presupune[2]:

- o bună aderență a filmului de oxid la suprafața metalului;
- temperatură înaltă de topire;
- rezistență la evaporare mare/presiune de vaporizare mică;
- coeficient de dilatare termică similar metalului;
- plasticitate la temperaturi înalte;
- conductibilitate electrică mică;
- coeficient de difuzie redus pentru ionii pozitivi de metal și ionii negativi de oxigen.

2.3.2 Oxidarea

Oxidarea este cea mai întâlnită formă de coroziune la temperaturi înalte. La multe aliaje metalice rezistența la coroziune se bazează pe formarea unui strat de oxizi, rezistent la coroziune, procesul de oxidare fiind benefic. Oxidul de crom, Cr_2O_3 este cel mai întâlnit oxid protector. Referitor la coroziunea industrială, procesul de oxidare nu este singular, pot să apară și alte forme de coroziune la temperatură înaltă, manifestate prin deteriorarea materialului, datorită impurităților sub formă de sulf, clor, vanadiu, prezente în atmosfera de lucru. Pentru un anumit material, temperatura de lucru are influență hotărâtoare asupra vitezei de oxidare, creșterea temperaturii duce la intensificarea oxidării materialului [56].

Creșterea conținutului de crom este modul cel mai uzual de creștere a rezistenței la oxidare. Creșterea rezistenței la coroziune poate fi obținută și prin adăugarea de aluminiu, siliciu, nichel și alte metale rare. Pentru o bună rezistență la oxidare la temperaturi mai mari de 1200 °C, aliajele se bazează pe formarea unui strat protector de oxid de aluminiu, Al_2O_3 . Creșterea conținutului de nichel la valori mai mari de 30%, alături de crom, în cazul oțelurilor inoxidabile austenitice, are efect benefic împotriva oxidării.

Din punct de vedere metalurgic se impun limite referitor la conținutul elementelor de aliere, pe lângă rezistența la oxidare proprietățile mecanice trebuie luate în considerare. Fazele intermetalice, de fragilitate ridicată, tind să se formeze la aliajele înalt aliate expuse la temperaturi înalte. În prezența acestor faze fragile, din punct de vedere mecanic, plasticitatea și tenacitatea materialelor, sunt reduse. Cele mai uzuale aliaje maleabile, conțin peste 30% crom, siliciul este limitat la 2% și aluminiul la mai puțin de 4%. Ytriu, ceriu și alte elemente rare sunt de obicei sub 1%. Procesul de oxidare este influențat de:

- presiunea parțială a oxigenului;
- temperatura de lucru;
- compoziția aliajului metalic.

2.3.2.1 Presiunea parțială a oxigenului

Influența presiunii parțiale a oxigenului, în cazul oxidării la peste 900 °C, este specifică fiecărui tip de material (fig.2.12). Majoritatea aliajelor metalice nu sunt sensibile la variația concentrației oxigenului, referitor la oxidare.

Aliajele bogate în crom și aluminiu, a căror oxizi sunt stabili, prezintă o viteză redusă de oxidare la creșterea concentrației oxigenului.

Aliajele care prezintă o creștere a vitezei de oxidare la creșterea concentrației oxigenului, sunt oțelurile inoxidabile

S30400/AISI304, S41000/AISI31, S44600/AISI436 și 9Cr1Mo, ele având tendința de a forma un strat de oxizi de grosime redusă.

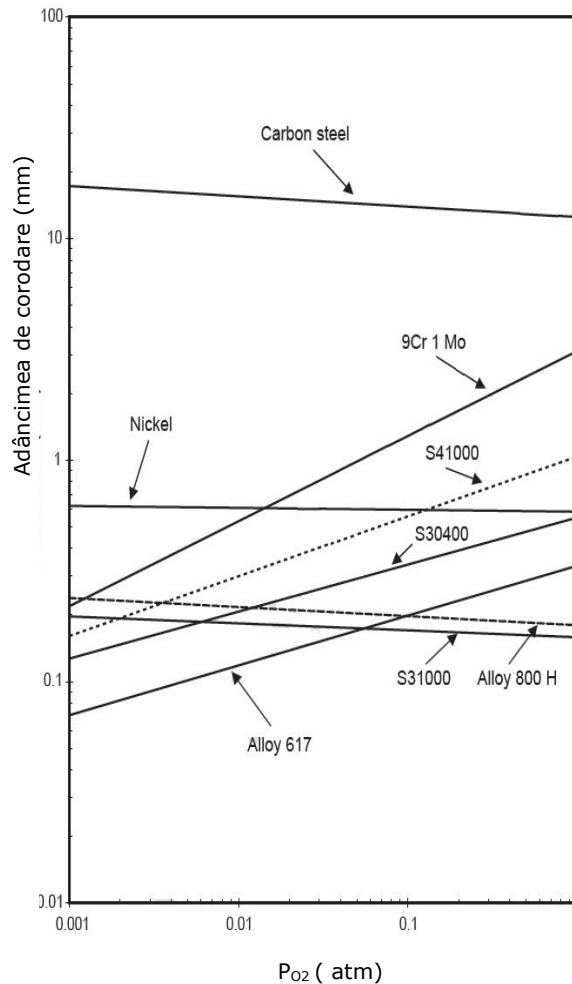


Fig.2.12 Efectul presiunii parțiale a oxigenului asupra deteriorării metalului, într-o atmosferă oxidantă, în cazul unei expuneri de 1 an la temperatura de 930 °C, pentru unele aliaje uzuale, [58]

2.3.2.2 Temperatura de lucru

Temperatura are efect major asupra oxidării, pentru orice concentrație a oxigenului. Excepție fac aliajele cu 1-4% Al, care necesită temperaturi înalte pentru a forma oxidul de aluminiu, superficial protector.

Acesta se dezvoltă mai încet decât oxidul de crom, care se formează la temperaturi mai joase.

În figura 2.13 se prezintă procesul de oxidare, în funcție de variația temperaturii mediului de lucru, după o expunere de 1 an în aer, pentru unele aliaje des folosite.

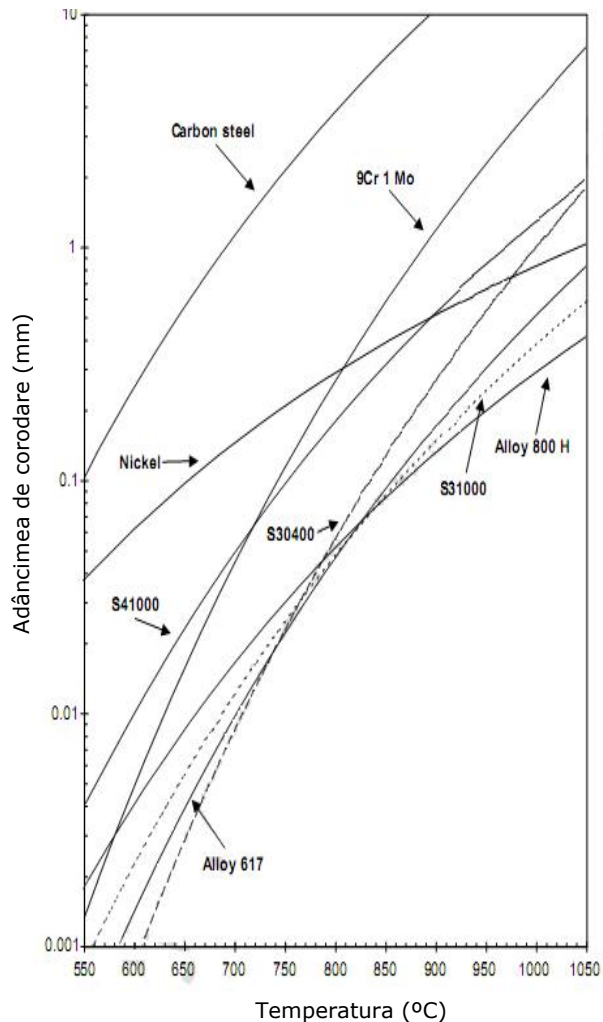


Fig.2.13 Influența temperaturii asupra deteriorării metalului prin oxidare pentru unele aliaje la o expunere de 1 an în aer [58]

2.3.2.3 Compoziția aliajului metalic

Compoziția aliajului metalic are de asemenea influență asupra atacului coroziv a metalului. Cele mai frecvente aliaje rezistente la temperaturi înalte, într-un mediu oxidant se bazează pe combinația Fe-Ni-Cr. În figura 2.14 sunt puse în evidență zonele materialului afectate de atacul coroziv: stratul de suprafață, limita grăunților cristalini, interiorul grăunților cristalini.

2.3 - Coroziunea la temperaturi înalte 63

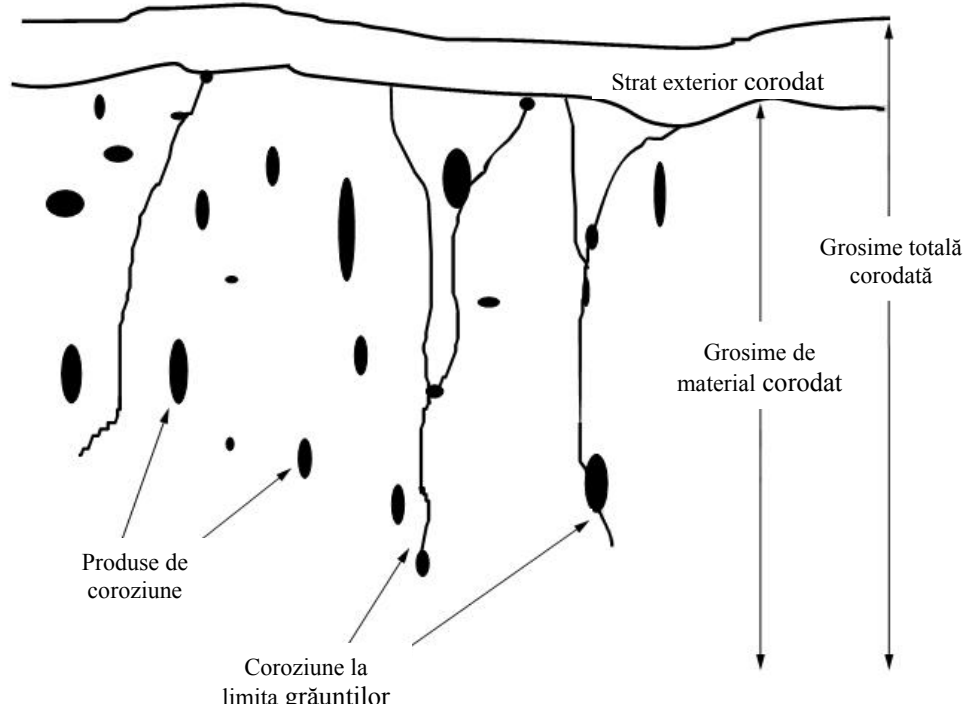


Fig.2.14 Evidențierea stratului corodat din punct de vedere morfologic, [58]

Teste realizate la diferite temperaturi, pe diferite metale rezistente la temperaturi înalte, în mediu predominant oxidant, în curenți de aer, la o expunere de 1008 ore, au permis evaluarea cantității de metal pierdut și adâncimea stratului de metal afectat, (tab.2.2).

Tab.2.2 Rezultatele testelor efectuate pe aliaje pe bază de fier, nichel și cobalt, în curenți de aer, în medii oxidante, la diferite temperaturi, [58]

Aliaj refractar	Temperatura 980 °C		Temperatura 1095 °C		Temperatura 1150 °C		Temperatura 1250 °C	
	Metal pierdut (mm)	Adân. strat metal afectat (mm)	Metal pierdut (mm)	Adân. strat metal afectat (mm)	Metal pierdut (mm)	Adân. strat metal afectat (mm)	Metal pierdut (mm)	Adân. strat metal afectat (mm)
Alloy601	0,013	0,033	0,03	0,067	0,061	0,135	0,11	0,19
Alloy625	0,0075	0,018	0,081	0,12	0,11	0,46	>1,2	>1,2
Alloy230	0,0075	0,018	0,013	0,033	0,058	0,086	0,11	0,20
Waspaloy	0,0152	0,079	0,036	0,14	0,079	0,33	>0,40	>0,40
Alloy263	0,0178	0,145	0,089	0,36	0,18	0,11	>0,91	>0,91
S31000	0,01	0,028	0,025	0,058	0,075	0,11	0,2	0,26
S30400	0,14	0,21	>0,69	>0,69	>0,6	>0,6	>1,7	>1,73

2.3.3 Sulfitarea

Sulfitarea este o formă a coroziunii produsă la temperaturii înalte în prezența compușilor pe bază de sulf. În funcție de mediu/atmosferă, sulfitarea se poate produce în prezența [28]:

- amestecurilor de H_2-H_2S , sau vapori de sulf, într-o atmosferă puternic reducătoare;
- atmosferei gazoase mediu reducătoare, care conține amestecuri de hidrogen, dioxid de carbon, monoxid de carbon și acid sulfhidric;
- atmosferei oxidante, conținând dioxid de sulf.

În prima categorie, sulfurile comparativ cu oxidul de crom, sunt mult mai stabile din punct de vedere termodinamic.

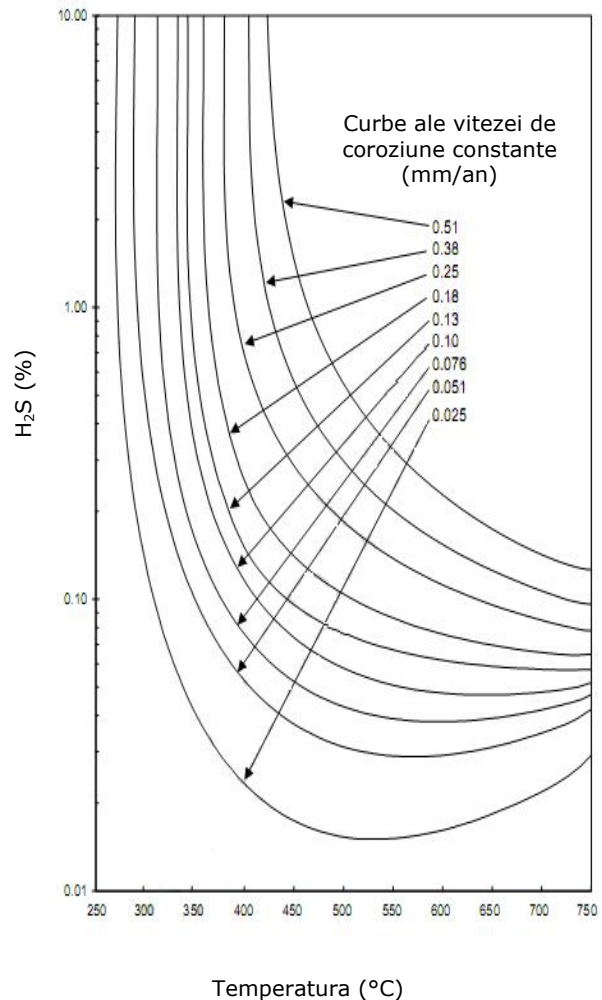


Fig.2.15 Influența temperaturii și a acidului sulfhidric asupra coroziunii, pentru oțelurile inoxidabile, la o expunere mai mare de 150 ore, [58]

Efectul influenței temperaturii și a concentrației acidului sulfhidric asupra procesului de sulfitare pentru categorii de aliaje des folosite în procesele de rafinare a petrolului, a echipamentelor de incinerare a deșeurilor sunt prezentate în figurile 2.16-2.17.

Creșterea temperaturii și a concentrației de acid sulfuric duce la creșterea vitezei de sulfurare, impactul major avându-l creșterea temperaturii. Creșterea conținutului de Cr, specific aliajelor de Ni, tip 625, 825, duce la încetinirea procesului de sulfurare, așa cum rezultă din figura 2.17. Domeniul valorilor/concentrațiilor de H_2S , reprezentate în aceste figuri, cuprinde valorile reduse de acid sulfuric, întâlnite la reformarea catalitică și valorile ridicate de acid sulfuric, întâlnite la instalațiile moderne de prelucrare hidrodinamică.

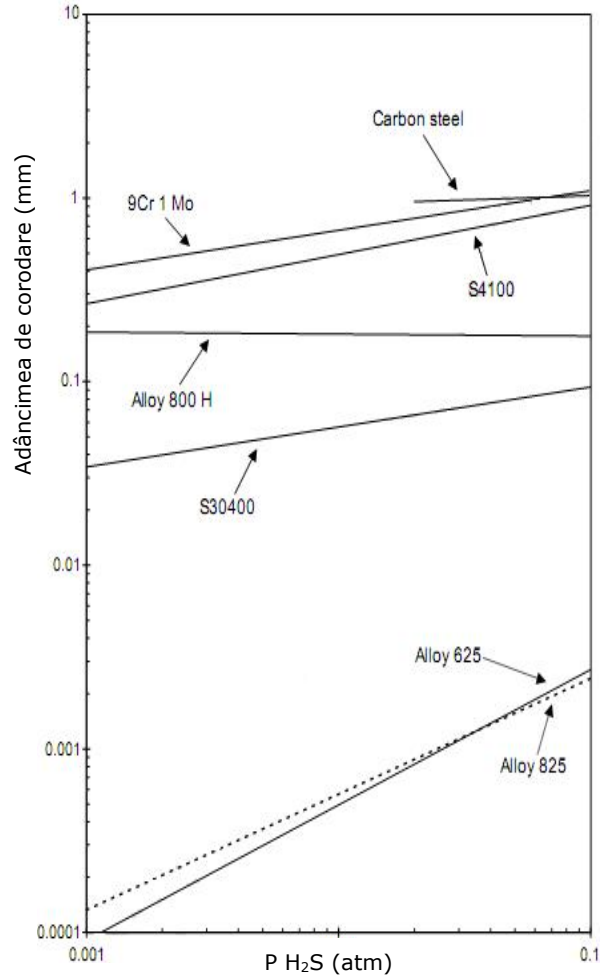


Fig.2.16 Efectul presiunii parțiale a acidului sulfuric asupra coroziei prin sulfurare după un an de expunere, în mediu cu acid sulfuric, la o presiune de 34 atm și 540 °C, [58]

Prezența gazelor oxidante, H_2O sau CO_2 , încetinește viteza sulfidării, la valori mai reduse decât cele așteptate în cazul în care s-a luat în considerare doar concentrația de H_2-H_2S , producându-se așa numita sulfidare-oxidare, ce reprezintă o trecere de la coroziunea rapidă prin sulfidare la coroziunea lentă prin oxidare, a aliajelor metalice care conțin crom sau aluminiu.

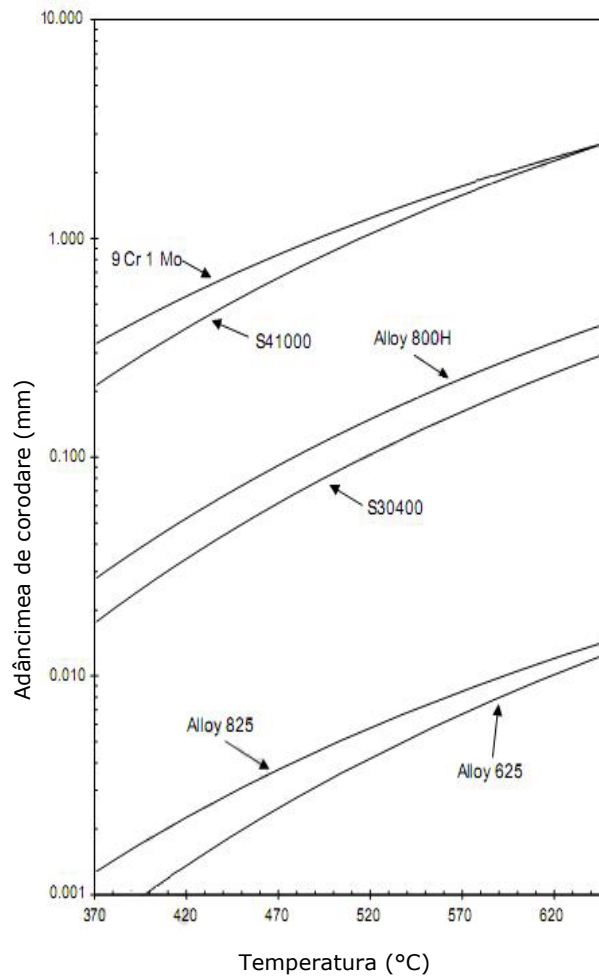


Fig.2.17 Efectul temperaturii asupra coroziunii prin sulfidare, la o serie de materiale, după o expunere de 1 an, într-o atmosferă gazoasă de H_2-H_2S , care conține 1 % H_2S , la o presiune de 34 atm, [58]

2.3.4 Carburarea

Carburarea apare atunci când metalele sunt expuse la temperaturi înalte într-un mediu care conține: monoxid de carbon, metilenă, etilenă sau alte hidrocarburi. Carbonul din mediul de lucru se combină cu cromul și cu alte elemente de aliere, prezente în aliaj: Nb, W, Mo, Ti, formand carburi. Carburile formate pot fi complexe din punct de vedere al compoziției și structurii și pot precipita la limitele grăunților cristalini, sau în interiorul grăunților. Aceste carburi formate duc la fragilitatea și scăderea plasticității materialului în intervalul de temperaturi 482-538 °C.

Carburarea apare la temperaturi mai mari de 815 °C, fiind des întâlnită în industria petrochimică, la temperaturi înalte, de peste 1150 °C, în camerele de ardere. Pe lângă creșterea temperaturii, o creștere a conținutului de carbon în gaz, duce la deficiențe severe [38].

La fel ca în cazul oxidării și a sulfurării, cromul este elementul de bază care duce la creșterea rezistenței la carburare. Alte elemente care influențează benefic carburarea sunt: Ni, Co, Al și Mo.

2.3.5 Nitrurarea

Nitrurarea, se produce în cazul oțelurilor inoxidabile, aflate într-o atmosfera de amoniac, la temperaturi înalte, condiții întâlnite în cazul producerii de amoniac, acid azotic, melamină. Nitrurarea apare atunci când cromul și alte elemente se combină cu azotul și formează nitriți fragili, la fel ca în cazul carburării. Creșterea conținutului de nichel și cobalt sunt considerate a fi benefice, nichelul prezentând rezistență redusă. Aliajul de nichel Alloy 600, cu 72% Ni, este des folosit în industria tratamentelor termice și ocazional în industria petrochimică la procese în care apare amoniacul la temperaturi peste 340 °C.

2.3.6 Cenușa rezultată în urma arderii

În multe aplicații industriale, suprafețele metalice supuse procesului de coroziune la temperaturi înalte nu sunt curate, prezintă depozite de cenușă. Reacțiile chimice dintre aceste depozite de cenușă și stratul protectiv de oxizi, pot conduce la distrugerea stratului protector și intensificarea atacului coroziv. Coroziunea la temperaturi înalte apare în general la temperaturi cuprinse între 800-900 °C, deși atacul coroziv a fost semnalat și la temperaturi mai mici.

În aliajele pe bază de nichel și cobalt, cromul are un rol important în limitarea acestor deficiențe, aliajele cu un conținut în crom mai mic de 15% sunt vulnerabile la atacul datorat cenușii de ardere. Coroziunea datorită cenușii este întâlnită la incineratoarele de deșeuri, în procesele de calcinare, fiind recomandat ca material pentru aceste echipamente aliajele speciale cu un conținut ridicat de crom.

2.4. Metode de evidențiere a coroziunii

Diversitatea tipurilor de coroziune prezentate, face dificilă extrapolarea între diversele metode de determinare a coroziunii [21]. Încercările de apreciere a coroziunii se pot face prin simulare/în laboratoare, sau pe șantier, instalații asupra probelor, machetelor sau chiar pe întreaga instalație. Figurile 2.18 și 2.19 sintetizează metodele directe și indirecte de apreciere a coroziunii.

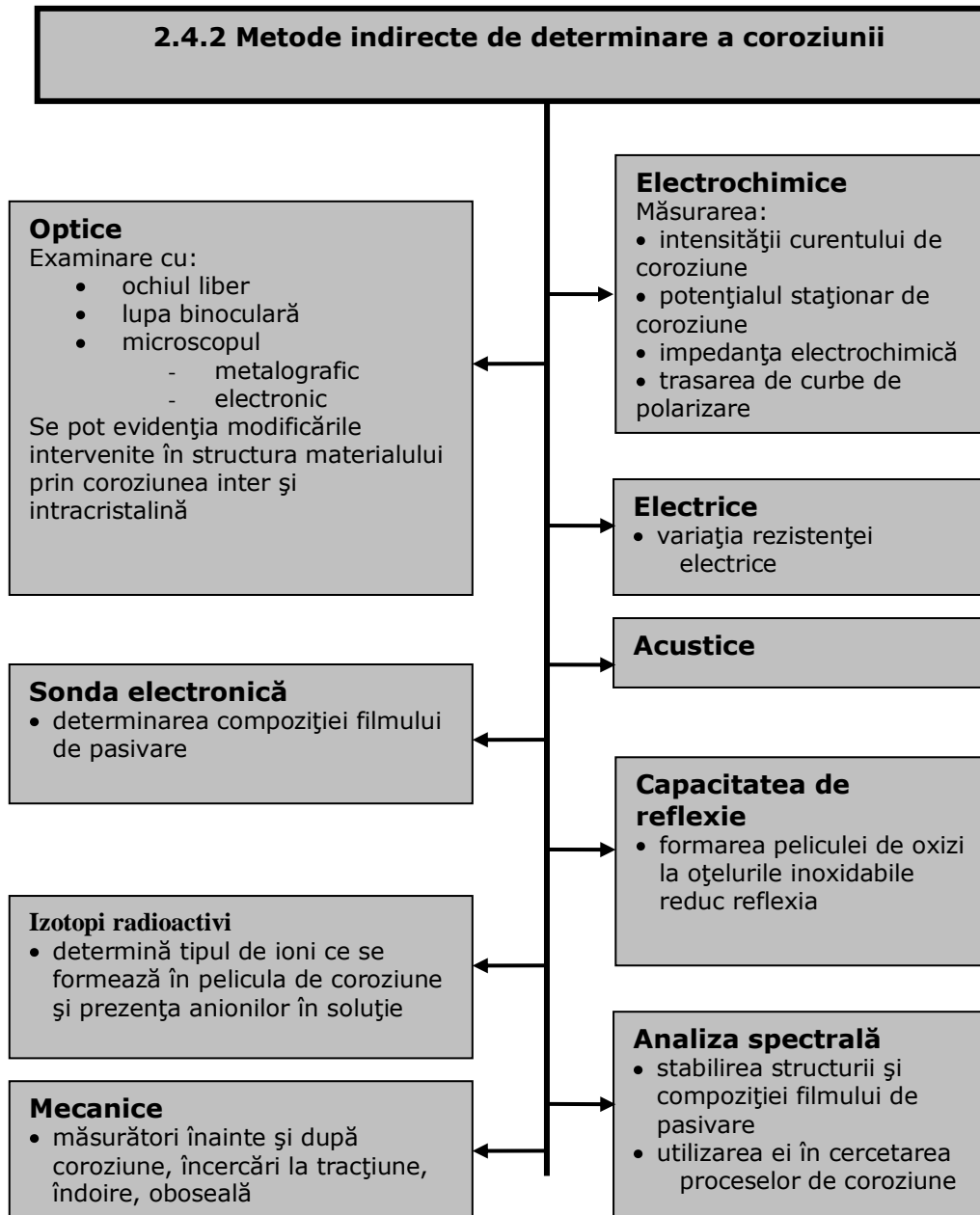


Fig.2.19 Metode indirecte de evidențiere a coroziunii [76]

3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE

Cercetările experimentale efectuate în cadrul tezei de doctorat s-au axat pe selectarea materialelor și procedeele de sudare recomandate pentru confecționarea componentelor incineratoarelor de deșeuri și pe certificarea calității îmbinărilor sudate realizate în cadrul programului experimental, prin metode specifice.

3.1. Probe sudate

În ideea celor prezentate anterior s-au realizat diverse probe sudate, pe diverse materiale de bază apelând la procedee de sudare în mediu de gaze protectoare.

Probele sudate realizate în cadrul cercetărilor experimentale s-au efectuat în laboratorul de „Sudare în mediu de gaze protectoare”, din cadrul catedrei SMS de la Facultatea de Mecanică din Universitatea POLITEHNICA Timișoara.

3.1.1 Materiale utilizate în cercetările experimentale

Materialele utilizate pentru realizarea probelor sudate au fost diferențiate funcție de tipul felul instalației de incinerare, respectiv felul deșeurii incinerat. Astfel pentru incineratoarele destinate arderii amestecului biomasă-cărbune atenția a fost îndreptată spre oțeluri inoxidabile, respectiv pentru incineratoarele folosite la arderea deșeurilor speciale, materialele de bază utilizate în realizarea probelor sudate au fost oțelurile inoxidabile și aliajele de Ni.

3.1.1.1 Oțeluri inoxidabile utilizate

Pentru realizarea probelor sudate, s-au utilizat table din oțelul inoxidabil austenitic X5CrNi18-10, de grosime 4 mm.

Oțelul inoxidabil austenitic utilizat la realizarea probelor sudate se caracterizează printr-un conținut scăzut de carbon și o proporție de 18/10 a conținutului crom/nichel (tab.3.1).

Tab.3.1 Compoziția chimică a oțelului inoxidabil folosit în cercetările experimentale

Marcă de oțel conform EN/AISI	Compoziția chimică, %								
	C max	Si max	Mn max	P max	S max	Cr	Mo max	Ni	N max
X5CrNi1810/304	0,07	1,0	2,0	0,04	0,03	17-19	-	8,5-10,5	0,11

Procesul de co-incinerare a biomasei cu cărbune, datorită ponderii predominante a cărbunelui, conduce la o cantitate importantă de oxid de sulf. Biomasă conține un procent mic de sulf, reducerea oxidului de sulf se datorează componentelor alcaline din cenușa biomasei care rețin sulful din cărbune, rezultând o scădere liniară a conținutului de oxid de sulf cu rata de mixare biomasă-cărbune.

În mediul de lucru cu acțiune oxidantă, cazul incineratoarelor studiate, sulful se află sub formă de anhidridă sulfuroasă, reacția de oxidare este predominantă.

În aceste medii sulful poate participa până la 3 g/m^3 fără a provoca coroziuni importante. Aceste oțeluri sunt utilizate la confecționarea echipamentelor/installațiilor ce funcționează la temperaturi ridicate de exploatare. Caracteristicile mecanice pentru oțelul inoxidabil austenitic X5CrNi18-10/304, sunt în conformitate cu prescripțiile EN 10088, (tab.3.2).

Tab.3.2 Caracteristicile mecanice ale oțelului inoxidabil folosit în cercetările experimentale

Marca de oțel EN/AISI	Duritate HB N/mm ²	Limita de curgere, Rp _{0,2} N/mm ²	Rezistența mecanică, Rm, N/mm ²	Alungirea la rupere, A ₅ , %	
				Longit	Transv
X5CrNi18-10/304	183	195	500-700	45	40

Mediul de lucru format din gazele de ardere provenite din arderea deșeurilor, are o acțiune complexă asupra compoziției chimice a oțelurilor inoxidabile. În gazele de ardere apar vapori de apă, azot, oxigen, compuși sulfuroși, hidrocarburi neare, care pot produce simultan reacții de oxidare, carburare, sulfizare, nitrurare. Aceste oțeluri sunt sensibile la coroziunea intercrystalină, acest tip de coroziune fiind favorizat de temperatura de lucru și durata de menținere în intervalul 900-1200 °C, temperatură la care se desfășoară procesul de ardere a deșeurilor speciale sau biomasă-cărbune.

3.1.1.2 Aliaje refractare pe bază de Ni

Aprovizionarea aliajelor refractare a reprezentat un punct critic al cercetărilor experimentale, legat și de situația actuală din industria din țara noastră: structuri sudate care să reclame astfel de materiale neproducându-se în țară. Cu efort deosebit s-a reușit achiziționarea unor plăci cu dimensiuni 220x150, grosimi 3 și 4 mm din aliaj de tip Inconel 601/N06601, respectiv plăci cu dimensiuni 100x150x4 mm, din aliaj de tip Inconel 625/N06625.

Compoziția chimică, respectiv caracteristicile mecanice ale aliajelor pe bază de Ni, utilizate la realizarea incineratoarelor sunt prezentate în tab.3.3, respectiv tab.3.4.

Tab.3.3 Compoziția chimică a aliajelor pe bază de Ni folosite în cercetările experimentale

Marca aliajului/ UNS	Compoziția chimică, %										
	Ni min	Fe max	Cr	Co max	Al max	Mo	Mn max	Si max	C max	Ti max	Altele
Inconel625/ N06625	58	5	20- 23	1	0,4	8- 10	0,5	0,5	0,1	0,4	Nb+Ta 3,1-4,1
Inconel601/ N06601	60	12	21- 25	1	1,7	-	1	0,5	0,5	0,5	-

72 Cercetări experimentale - 3

Tab.3.4 Caracteristicile mecanice ale aliajelor pe bază de Ni folosite în cercetările experimentale

Marca de oțel EN/AISI	Duritate HB N/mm ²	Limita de curgere, Rp _{0,2} N/mm ²	Rezistența mecanică, Rm, N/mm ²	Alungirea la rupere, A ₅ , %
Inconel625/ N06625	145-240	414-621	827-1034	55-30
Inconel601/ N06601	140-220	205-345	585-690	55-35

3.1.2 Echipamente de sudare utilizate în cercetările experimentale

Procedeele de sudare recomandate la sudarea oțelurilor inoxidabile și a aliajelor refractare pe bază de Ni, așa cum s-a prezentat în cap 1.4, sunt procedeele de sudare în mediu de gaz protector inert: WIG respectiv MIG.

Utilizarea respectivelor procedee la efectuarea probelor sudate este susținută și de grosimile mici de material de bază, precum și de accesul la procurarea materialelor de adaos.

În cercetările experimentale s-au utilizat echipamentele de sudare existente în laboratorul de „Sudare în mediu de gaze protectoare,, din cadrul catedrei SMS de la Facultatea de Mecanică.

3.1.2.1 Echipamente pentru sudarea WIG

Pentru realizarea probelor sudate prin procedeul WIG, s-a utilizat instalația de sudare MAGIC WAVE 300, produs al firmei FRONIUS, existentă în dotarea laboratorului și prezentată în figura 3.1.



Fig.3.1 Instalație de sudare WIG, MAGIC WAVE 300

Instalația de sudare MW-300 este destinată sudării prin procedeul WIG și sudării cu electrod învelit. Instalația are o construcție modulară, diferitele elemente de comandă fiind unite prin șuruburi și montate pe o structură robustă. Echipamentul de sudare are în componența sa:

- sursa de sudare cu blocul electronic de comandă;
- pistolul de sudare WIG tip AW 42;
- cleștele de sudare manuală cu electrozi înveliți;
- cablul de legare la masă/piesă;
- instalația de răcire în circuit închis tip FK-7;
- diferite pupitre de comandă de la distanță.

Caracteristicile tehnice ale instalației MW-300 sunt:

- tensiunea de alimentare, cu toleranță de $\pm 10\%$: 3x380/ 400/ 415 V;
- frecvența curentului: 50/ 60 Hz;
- putere aparentă permanentă la DA=100%: 8,3 kVA;
- factorul de putere: 0,98...0,99;
- randament: 81 %;
- domeniul de reglare al curentului: 3...300 A;
- curentul nominal la DA=60 %: 300 A;
- frecvența curentului alternativ la sudarea WIG și SE: 40...250 Hz;
- frecvența inverterului: 60 kHz;
- curentul permanent la DA= 100%: 210 A;
- tensiunea arcului la sudarea WIG, SE: 0...48 V;
- tensiunea de mers în gol: 50 V;
- clasa de izolație: F;
- clasa de protecție: IP-21;
- masa: 118 kg.

3.1.2.2 Echipamente pentru sudarea MIG

Echipamentul de sudare utilizat la sudarea probelor prin procedeul MIG a fost LUC 500-ARISTO, produs de firma ESAB (fig.3.2). Instalația LUC 500-ARISTO este un echipament universal de sudare realizat în construcție modulară, prevăzut cu sursa cu inverter. Instalația permite sudarea cu procedeele MIG/MAG, WIG, SE și scobire arc-aer. Acest echipament are în componența sa: sursa cu inverter, microprocesorul pentru programe, dispozitivul de avans sârmă cu 4 role, încorporat în echipament, pistolul de sudare răcit cu apă, cabluri de conectare.



Fig.3.2 Instalație de sudare MIG, LUC 500-ARISTO, ESAB

Caracteristicile tehnice ale instalației LUC 500-ARISTO sunt:

- tensiunea de alimentare: 380 V;
- frecvența curentului: 50/60 Hz;
- curent maxim absorbit: 38 A;
- curent maxim la DA=60%: 500 A;
- curentul maxim la DA=100%: 400 A;
- tensiune de mers în gol: 65 V;
- factor de putere la 400 A: 0,96;
- factor de putere la 500 A: 0,97;
- randament la 400 A: 0,83;
- randament la 500 A: 0,83;
- clasa de protecție: IP 23 AF;
- clasa de izolație: F(155°C);
- greutate: 104 kg;
- reglaje posibile:
 - sudare MIG/MAG:
 - curent de sudare: 30-500 A;
 - tensiunea arcului: 10-46 V;
 - viteza avans sârmă: 0-22 m/min;
 - sudare WIG:
 - amorsare arc; Lift ARC;
 - curent de sudare: 8-500 A;
 - tensiunea arcului:10-46 V;
 - sudare SE și scobire arc-aer:
 - curent de sudare: 8-500 A;
 - tensiunea arcului:10-46 V;
 - instalația de răcire:
 - tensiunea de alimentare: 220 V;
 - frecvența curentului: 50/60 Hz;
 - putere:130 W;
 - capacitate de racire: 1,3 kW;
 - volum fluid de racire: 1,5-1,7 l;

3.1.3 Materiale de adaos utilizate la realizarea probelor sudate

3.1.3.1 Sârme de sudare

Materialele de adaos indicate pentru îmbinarea prin sudare a oțelurilor inoxidabile austenitice sunt sârmele electrod cu un conținut corespunzător de Cr, Ni și Mo. Aceste sârme au în general o bună rezistență la coroziune și în mod special rezistență la mediile corozive chimice/oxidante. Datorită conținutului scăzut de carbon, sunt recomandate la realizarea de îmbinări sudate susceptibile coroziunii intergranulare. Conținutul mare de Si îmbunătățește comportarea la sudare, în special fluiditatea metalului topit.

Sârma de sudare utilizată la realizarea probelor sudate din oțeluri inoxidabile austenitice a fost LNT/LNM 304LSi, conform AWS A5.9-95: ER 308LSi, respectiv EN 12072: G/W 19 9 LSi. Această sârmă este utilizată la aplicații care necesită rezistență la oxidare la temperaturi mai mari de 1000 °C, rezistență la

oboseală și la rupere. În tabelele 3.5 respectiv 3.6 sunt prezentate compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale sârmei de sudare utilizată.

Tab.3.5 Compoziția chimică a sârmei utilizate la realizarea probelor sudate prin procedeul MIG

Tip sârmă, conform AWS A5.9-95/EN AWS A5.14/EN	Compoziția chimică, %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	Fe
ER 308LSi/G/W 19 9 LSi	0,01	1,6	0,8	20	10	0,2	-	rest

Tab.3.6 Caracteristicile mecanice ale sârmei utilizate la realizarea probelor sudate prin procedeul MIG

Tip sârmă conform AWS A5.9-95/EN AWS A5.14/EN	Energia de rupere, J		Limita curgere Rp _{0,2} N/mm ²	Rezistența mecanică Rm, N/mm ²	Alungirea A ₅ %
	+20 °C	-196 °C			
ER 308LSi/ G/W 19 9 LSi	120	50	390	590	40

La sudarea oțelurilor X10CrNi18-10/ AISI 304, prin procedeul WIG, s-au folosit vergele metalice de tipul LNT 316L, conform AWS A5.9-95: ER 316L, respectiv EN 12072: W 19 12 3 L, cu diametru de 2,4 mm. Ca material de adaos pentru îmbinarea aliajelor pe bază de nichel prin procedeul WIG, s-au utilizat vergelele metalice de tipul LNT/LNM NiCro 70/19, conform AWS A5.14: ER NiCr3, respectiv EN: G/W NiCr20Nb, cu diametru de 2,4 mm. Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale vergelelor metalice menționate mai sus, sunt prezentate în tabelul 3.7, respectiv tabelul 3.8.

Tab.3.7 Compoziția chimică a vergelelor utilizate la realizarea probelor sudate prin procedeul WIG

Tip vergea, conform AWS A5.9-95/EN AWS A5.14/EN	Compoziția chimică, %									
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	Fe	Cu	
ER 316L/W 19 12 3 L	0,01	1,5	0,5	18,5	12	2,7	-	rest	-	
ER NiCr3/ G/W NiCr20Nb	0,03	0,3	0,2	20	64	-	2,5	1,0	0,1	

Tab.3.8 Caracteristicile mecanice ale vergelelor utilizate la realizarea probelor sudate prin procedeul WIG

Tip vergea, conform AWS A5.9-95/EN AWS A5.14/EN	Energia de rupere, J		Limita curgere, Rp _{0,2} N/mm ²	Rezistența mecanică, Rm, N/mm ²	Alungirea A ₅ , %
	+20 °C	-196 °C			
ER 316L/W 19 12 3 L	100	40	400	620	35
ER NiCr3/ G/W NiCr20Nb	150	50	390	640	35

3.1.3.2 Electrozi nefuzibili

La sudarea în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil, WIG s-a folosit electrodul de wolfram WT 20, conform EN 26848, cu diametru de 2,4 mm. Compoziția chimică a electrodului nefuzibil WT 20 este prezentată în tabelul 3.9.

Tab.3.9 Compoziția chimică a electrodului nefuzibil utilizat la realizarea probelor sudate

Tip electrod, conform EN 26848	Compoziția chimică			Culoarea marcajului	
	Adaos de oxid		Impurități		Wolfram
	%	tip	%		
WT 20	1,70- 2,20	ThO ₂	≤ 0,20	rest	roșu

3.1.3.3 Gaze de protecție

Gazul de protecție utilizat la sudarea oțelurilor inoxidabile și a aliajelor de nichel a fost gazul inert, I1 conform EN 439, pentru sudarea în mediu de gaz inert cu electrod fuzibil, MIG și pentru sudarea în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil, WIG, cu un procent de 99,99% Argon.

3.1.4 Execuția probelor sudate

Dimensiunea probelor sudate efectuate în cadrul cercetărilor experimentale în vederea selectării materialelor și procedeelor de sudare recomandate la fabricația incineratoarelor de deșeuri a fost diferită funcție de grosimea și felul materialului de bază utilizat.

Se menționează că s-au executat îmbinări între plăci pe lungimea de 220 mm, suduri longitudinale și îmbinări pe lungimea de 300 mm a câte două probe sudate, suduri transversale. De remarcat că din lipsă de materiale probele sudate pe aliajul Inconel 625/N06625, au fost de dimensiuni mai reduse, 100x150x4mm.

Probele sudate s-au realizat în laboratorul de sudură în mediu de gaz protector, de la catedra de SMS, conform specificațiilor procedurilor de sudare recomandate pentru material, procedeu de sudare, poziție de sudare. Se observă că la sudarea WIG, datele inserate în WPS-uri sunt similare celor recomandate de furnizorul de materiale de adaos, parametrii de sudare și modul operator corespund poziției de sudare, PA, tipului de material și grosimii materialului utilizat. Pentru realizarea probelor sudate, specificațiile procedurilor de sudare sunt cele prezentate în figurile 3.3-3.10. Un set de probe sudate din aliaje de nichel a fost supus tratamentului termic de recoacere de punere în soluție

SPECIFICAȚIA PRELIMINARĂ A PROCEDURII DE SUDARE 1/WPS 1

Localitatea: **Timișoara**
 Nr. de referință a procedurii de sudare a producătorului: **WPAR No 1**
 Producător: **UPT-catedra SMS**
 Numele sudorului: **DUPȚA ANTON**
 Procedul de sudare: **131 cf. ISO 4063**
 Tipul îmbinării: **BW cf. EN 287-1**
 Poziția de sudare: **PA cf. ISO 6947**
 Detalii de pregătire a îmbinării:

Examinator sau organism de verificare: **TUV Rheinland InterCert Kft Budapest**
 Metoda de pregătire și curățare a rostului: **Curățire la luciu metalic prin polizare cu FLEX**
 Specificația metalului de bază: **EN 10020-X10CrNi18-10 / AISI 304**
 Grosimea materialului de bază (mm): **4,0**
 Diametrul exterior (mm): -

Schema de pregătire a îmbinării	Sucesiunea operațiilor de sudare
	Prinderea provizorie: 131 Lungime prinderi provizorii: 10 mm Numar prinderi provizorii: 2 Poziția de sudare: PA Ordinea de sudare: vezi figura

Detalii de sudare:

Rând	Proc. de sudare	Diam. electrod (sârmei) (mm)	Curent sudare (pulsat) (A)	Tens arc (V)	Natura curent/polarit curent	Viteza avans sârmei (m/min)	Viteza sudare (cm/min)	Energ liniară (kJ/cm)
1	131	1,0	154-158	22-23	cc⁻	7,8	33-34	6,1-6,4

Metalul de adaos, codificare și marca de fabricație: **LNT/LNM 304LSi**

Prescripții speciale de uscare: -
 Fluxul/Gazul de protecție: **EN 439 – I1**
 la rădăcină: **EN 439 – I1**
 Debitul gazului: - de protecție: **12 l/min**
 - la rădăcină: - **8 l/min**
 Electrocul de wolfram (tipul, diametrul): -
 Detalii pentru scobire/Suport la rădăcină: -

Temperatura de preîncălzire: Unghiul de înclinare al capului de sudare:

$$\alpha = 10-15^\circ$$

Temperatura între straturi: -
 Tratamentul termic postsudare și/sau de îmbătrânire:
 - timp, temperatură, metodă: -
 - viteza de încălzire și de răcire: -

Informații suplimentare:

Pendulare (lățimea max. a rîndului) (mm):
 Oscilație (amplitudine, frecvență, temporizare):
 Detalii pentru sudarea în curent pulsant:

Poziționarea pistolului:
 Lungimea capătului liber $l_a = 17 \text{ mm}$
 Distanța duză de gaz/piesă : **8-10 mm**
 Lungimea arcului: $l_a = 2-3 \text{ mm}$

Sensul de sudare: **spre stanga-împingere**
 Detalii pentru sudarea cu plasmă: -

ÎNTOCMIT,

EXAMINATOR SAU ORGANISM
DE VERIFICARE

Ing. Maria SALAI

Prof. Livius MILOȘ

25.05.2010

26.05.2010

Fig.3.3 Specificația procedurii de sudare, WPS 1, pentru sudarea MIG a tablelor de 4 mm, oțel inox: EN 10020-X10CrNi18-10/AISI 304

SPECIFICAȚIA PRELIMINARĂ A PROCEDURII DE SUDARE 2/WPS 2Localitatea: **Timisoara**

Nr. de referință a procedurii de sudare

a producătorului: **WPAR No 2**Producător: **UPT-catedra SMS**Numele sudorului: **DUPTA ANTON**Procedeul de sudare: **141 cf.ISO 4063**Tipul îmbinării: **BW cf.EN 287-1**Poziția de sudare: **PA cf.ISO 6947**

Detalii de pregătire a îmbinării:

Examinator sau organism de verificare:

TUV Rheinland InterCert Kft Budapest

Metoda de pregătire și curățare a rostului:

Curățire la luciu metalic prin polizare cu FLEX

Specificația metalului de bază:

EN 10020-X10CrNi18-10 / AISI 304Grosimea materialului de bază (mm): **4,0**

Diametrul exterior (mm): -

Schema de pregătire a îmbinării	Sucesiunea operațiilor de sudare
	Prinderea provizorie: 141 Lungime prindere provizorie: 8-10 mm Numar prindere provizorie; 2 Pozitia de sudare: PA Ordinea de sudare: vezi figura

Detalii de sudare:

Rând	Proc de sudare	Diam electrod (sârmei) (mm)	Curent sudare (A)	Tens arc (V)	Natura curent/ polarit curent	Viteza avans sârmei (m/min)	Viteza sudare (cm/min)	Energ liniară (kJ/cm)
1	141	2,4	130	10-11	cc⁻	-	8-10	8,9-10
2	141	2,4	140	10-11	cc⁻	-	10-11	8,5-8,7

Metalul de adaos, codificare și marca de fabricație: **LNT 316L**

Prescripții speciale de uscare: -

Fluxul/Gazul de protecție: **EN 439- I1**

- la rădăcină: -

Debitul gazului: - de protecție: **8 l/min**

- la rădăcină: -

Electrodul de wolfram (tipul, diametrul):

EN 26848 WT20- 2,4 mm

Detalii pentru scobire/Suport la rădăcină: -

Lungimea arcului: **I_a=2-3 mm**

Temperatura de preîncălzire: -

Temperatura între straturi: -

Tratamentul termic postsudare și/sau de îmbătrânire:

- timp, temperatură, metodă: -

- viteza de încălzire și de răcire: -

Informații suplimentare:

Pendulare (lățimea max. a rândului (mm): -

Oscilație (amplitudine, frecvență, temporizare): -

Detalii pentru sudarea în curent pulsant: -

Poziționarea pistolului:

Lungimea capătului liber **I_{ca} =:5-6mm**Distanța duză de gaz/piesă : **8-10 mm**

Unghiul de înclinare al capului de sudare:

α =10-15°Sensul de sudare: **spre stanga-împingere**

Detalii pentru sudarea cu plasmă: -

ÎNTOCMIT,

Ing. Maria SALAI

25.05.2010

EXAMINATOR SAU ORGANISM

DE VERIFICARE

Prof. Livius MILOȘ

26.05.2010

Fig.3.4 Specificația procedurii de sudare, WPS 2, pentru sudarea WIG a tablelor de 4 mm, oțel inox: EN 10020-X10CrNi18-10/AISI 304

SPECIFICAȚIA PRELIMINARĂ A PROCEDURII DE SUDARE 3/WPS 3Localitatea: **Timisoara**

Nr. de referință a procedurii de sudare

a producătorului: **WPAR No 3**Producător: **UPT-catedra SMS**Numele sudorului: **DUPTA ANTON**Procedeul de sudare: **141 cf.ISO 4063**Tipul îmbinării: **BW cf.EN 287-1**Poziția de sudare: **PA cf.ISO 6947**

Detalii de pregătire a îmbinării:

Examinator sau organism de verificare:

TUV Rheinland InterCert Kft Budapest

Metoda de pregătire și curățare a rostului:

Curățire la luciu metalic prin polizare cu FLEX

Specificația metalului de bază:

EN 10020-X10CrNi18-10 /AISI 304Grosimea materialului de bază (mm): **3,0**

Diametrul exterior (mm): -

Schema de pregătire a îmbinării	Sucesiunea operațiilor de sudare
	Prinderea provizorie: 141 Lungime prinderi provizorii: 8-10 mm Numar prinderi provizorii; 2 Pozitia de sudare: PA Ordinea de sudare: vezi figura

Detalii de sudare:

Rând	Proc de sud	Diam electrod (sârmei) (mm)	Curent sudare (A)	Tens arc (V)	Natura curent/polarit cure	Viteza avans sârmei (m/min)	Viteza sudare (cm/min)	Energia liniară (kJ/cm)
1	141	2,4	80-82	10-11	cc⁻	-	11-12	4,4-4,5
2	141	2,4	84-86	10-11	cc⁻	-	10-11	5,2-5,3

Metalul de adaos, codificare și marca:

de fabricație: **LNT 316L**

Prescripții speciale de uscare: -

Fluxul/Gazul de protecție: **EN 439 11**

- la rădăcină: -

Debitul gazului: - de protecție: **8 l/min**

- la rădăcină: -

Electrodul de wolfram (tipul, diametrul):

EN 26848 WT20- 2,4 mm

Detalii pentru scobire/Suport la rădăcină: -

Temperatura de preîncălzire: -

Temperatura între straturi: -

Tratamentul termic postsudare și/sau de îmbătrânire:

- timp, temperatură, metodă: -

- viteza de încălzire și de răcire: -

Informații suplimentare: -

Pendulare (lățimea max. a rândului) (mm): -

Oscilație (amplitudine, frecvență, temporizare): -

Detalii pentru sudarea în curent pulsant: -

Poziționarea pistolului:

Lungimea capătului liber l_{ca} =: **5-6mm**Distanța duză de gaz/piesă : **8-10 mm**Lungimea arcului: l_a = **2-3 mm**

Unghiul de înclinare al capului de sudare:

 α = **10-15°**Sensul de sudare: **spre stanga-împingere**

Detalii pentru sudarea cu plasmă: -

ÎNTOCMIT,

Ing. Maria SALAI

25.05.2010

EXAMINATOR SAU ORGANISM

DE VERIFICARE

Prof. Livius MILOȘ

26.05.2010

Fig.3.5 Specificația procedurii de sudare, WPS 3, pentru sudarea WIG a tablelor de 4 mm, deschiderea între componente de 1,5 mm, oțel inox: EN 10020-X10CrNi18-10/AISI 304

SPECIFICAȚIA PRELIMINARĂ A PROCEDURII DE SUDARE 4/WPS 4Localitatea: **Timișoara**

Nr. de referință a procedurii de sudare

a producătorului: **WPAR No. 4**Producător: **UPT-catedra SMS**Numele sudorului: **DUPTA ANTON**Procedeul de sudare: **141 cf.ISO 4063**Tipul îmbinării: **BW cf.EN 287-1**Poziția de sudare: **PA cf.ISO 6947**

Detalii de pregătire a îmbinării:

Examinator sau organism de verificare:

TUV Rheinland InterCert Kft Budapest

Metoda de pregătire și curățare a rostului:

Curățire la luciu metalic prin polizare cu FLEX

Specificația metalului de bază:

Aliaj Inconel 601/ NiCr23Fe/N06601Grosimea materialului de bază (mm): **4,0**

Diametrul exterior (mm): -

Schema de pregătire a îmbinării	Sucesiunea operațiilor de sudare
	Prinderea provizorie: 141 Lungime prinderi provizorii: 8-10 mm Numar prinderi provizorii; 2 Poziția de sudare: PA Ordinea de sudare: vezi figura

Detalii de sudare:

Rând	Proc de sud	Diam electrod (sârmei) (mm)	Curent sudare (A)	Tens arc (V)	Natura curent/polarit curent	Viteza avans sârmă (m/min)	Viteza sudare (cm/min)	Energia liniară (kJ/cm)
1	141	2,0	81-83	10-11	cc⁻	-	9-10	5,4-5,7
2	141	2,0	82-83	10-11	cc⁻	-	13-14	3,9-4,0

Metalul de adaos, codificare și marca de fabricație: **LNT/LNM NiCro 70/19**

Prescripții speciale de uscare: -

Fluxul/Gazul de protecție: **EN 439 I1**
- la rădăcină: -Debitul gazului: - de protecție: **7-8 l/min**
- la rădăcină: -Electrodul de wolfram (tipul, diametrul):
EN 26848 WT20- 2,4 mm

Detalii pentru scobire/Suport la rădăcină: -

Temperatura de preîncălzire: -

Temperatura între straturi: -

Tratamentul termic postsudare și/sau de îmbătrânire:

- timp, temperatură, metodă: -

- viteza de încălzire și de răcire: -

Informații suplimentare:

Pendulare (lățimea max. a rândului (mm): -

Oscilație (amplitudine, frecvență, temporizare): -

Detalii pentru sudarea în curent pulsant: -

Poziționarea pistolului:

Lungimea capătului liber l_{cl} =: **5-6mm**Distanța duză de gaz/piesă : **8-10 mm**Lungimea arcului: l_a = **2-3 mm**Unghiul de înclinare al capului de sudare:
 α = **10-15°**Sensul de sudare: **spre stanga-împingere**

Detalii pentru sudarea cu plasmă: -

ÎNTOCMIT,

Ing. Maria SALAI
25.05.2010EXAMINATOR SAU ORGANISM
DE VERIFICARE
Prof. Livius MILOȘ
26.05.2010

Fig.3.6 Specificația procedurii de sudare, WPS 4, pentru sudarea WIG a tablelor de 4 mm, Inconel 601/NiCr23Fe/N06601

SPECIFICAȚIA PRELIMINARĂ A PROCEDURII DE SUDARE 5/WPS 5

Localitatea: **Timișoara**
 Nr. de referință a procedurii de sudare a producătorului: **WPAR No 5**
 Producător: **UPT-cat.SMS**
 Numele sudorului: **DUPTA ANTON**
 Procedul de sudare: **141 cf.ISO 4063**
 Tipul îmbinării: **BW cf.EN 287-1**
 Poziția de sudare: **PA cf.ISO 6947**
 Detalii de pregătire a îmbinării:

Examinator sau organism de verificare: **TUV Rheinland InterCert Kft Budapest**
 Metoda de pregătire și curățare a rostului: **Curățire la luciu metalic prin polizare cu FLEX**
 Specificația metalului de bază: **Aliaj Inconel 601/NiCr23Fe/N06601**
 Grosimea materialului de bază (mm): **3,0**
 Diametrul exterior (mm): -

Schema de pregătire a îmbinării	Sucesiunea operațiilor de sudare
	Prinderea provizorie: 141 Lungime prinderi provizorii: 8-10 mm Numar prinderi provizorii; 2 Pozitia de sudare: PA Ordinea de sudare: vezi figura

Detalii de sudare:

Rând	Proc de sudare	Diam electrod (sârmei) (mm)	Curent sudare (A)	Tens arc (V)	Natura curent/polarit curent	Viteza avans sârmei (m/min)	Viteza sudare (cm/min)	Energia liniară (kJ/cm)
1	141	2,0	80-82	10-11	cc ⁻	-	9-10	5,3-5,6
2	141	2,0	82-84	10-11	cc ⁻	-	9-10	5,4-5,7

Metalul de adaos, codificare și marca de fabricație: **LNT/LNM NiCro 70/19**
 Prescripții speciale de uscare: -
 Fluxul/Gazul de protecție: **EN 439 I1**

Detalii pentru sudarea în curent pulsat: -
 - la rădăcină: -

Debitul gazului: - de protecție: **7-8 l/min**
 - la rădăcină: -

Electrodul de wolfram (tipul, diametrul): **EN 26848 WT20- 2,4 mm**

Detalii pentru scobire/Suport la rădăcină: -
 Lungimea arcului: **I_a=2-3 mm**

Temperatura de preîncălzire: -

Informații suplimentare:

Pendulare (lățimea max. a rândului (mm): -

Oscilație (amplitudine, frecvență, temporizare): -

Poziționarea pistolului:

Lungimea capătului liber **I_{cl} =:5-6mm**

Distanța duză de gaz/piesă : **8-10 mm**

Unghiul de înclinare al capului de sudare:

α = 10-15°

Sensul de sudare: **spre stanga-împingere**

Detalii pentru sudarea cu plasmă: -

Temperatura între straturi: -

Tratamentul termic postsudare și/sau de îmbătrânire:

- timp, temperatură, metodă: -

- viteza de încălzire și de răcire: -

ÎNTOCMIT,

Ing. Maria SALAI
 25.05.2010

EXAMINATOR SAU ORGANISM
 DE VERIFICARE
 Prof. Livius MILOȘ
 26.05.2010

Fig.3.7 Specificația procedurii de sudare, WPS 5, pentru sudarea WIG a tablelor de 3 mm, Inconel 601/NiCr23Fe/N06601

SPECIFICAȚIA PRELIMINARĂ A PROCEDURII DE SUDARE 6/WPS 6Localitatea: **Timișoara**

Nr. de referință a procedurii de sudare

a producătorului: **WPAR No 6**Producător: **UPT-catedra SMS**Numele sudorului: **DUPTA ANTON**Procedeul de sudare: **141 cf.ISO 4063**Tipul îmbinării: **BW cf.EN 287-1**Poziția de sudare: **PA cf.ISO 6947**

Detalii de pregătire a îmbinării:

Examinator sau organism de verificare:

TUV Rheinland InterCert Kft Budapest

Metoda de pregătire și curățare a rostului:

Curățire la luciu metalic prin polizare cu FLEX

Specificația metalului de bază:

Aliaj Inconel 625/ NiCr22Mo9Nb/N06625Grosimea materialului de bază (mm): **4,0**

Diametrul exterior (mm): -

Schema de pregătire a îmbinării	Sucesiunea operațiilor de sudare
	Prinderea provizorie: 141 Lungime prinderi provizorii: 8-10 mm Numar prinderi provizorii; 2 Pozitia de sudare: PA Ordinea de sudare: vezi figura

Detalii de sudare:

Rând	Proc de sud	Diam electrod (sârmei) (mm)	Curent de sudare (A)	Tens arc (V)	Natura curent/ polarit curent	Viteza avans sârmei (m/min)	Viteza de sudare (cm/min)	Energia liniară (kJ/cm)
1	141	2,0	122-124	10-11	cc⁻		12-13	6,1-6,4
2	141	2,0	124-124	10-11	cc⁻		12-13	6,2-6,6

Metalul de adaos, codificare și marca de fabricație: **LNT/LNM NiCro 70/19**

Prescripții speciale de uscare: -

Fluxul/Gazul de protecție: **EN 439 I1**

Detalii pentru sudarea în curent pulsat: -

- la rădăcină: -

Debitul gazului: - de protecție: **7-8 l/min**

- la rădăcină: -

Electrodul de wolfram (tipul, diametrul):

EN 26848 WT20- 2,4 mm

Detalii pentru scobire/Suport la rădăcină: -

Lungimea arcului: **I_a=2-3 mm**

Temperatura de preîncălzire: -

Informații suplimentare:

Pendulare (lățimea max. a rândului (mm):-

Oscilație (amplitudine, frecvență, temporizare):

Poziționarea pistolului:

Lungimea capătului liber **I_{cl} =:5-6mm**Distanța duză de gaz/piesă : **8-10 mm**

Unghiul de înclinare al capului de sudare:

α = 10-15°Sensul de sudare: **spre stanga-împingere**

Detalii pentru sudarea cu plasmă: -

Temperatura între straturi: -

Tratamentul termic postsudare și/sau de îmbătrânire:

- timp, temperatură, metodă: -

- viteza de încălzire și de răcire: -

ÎNTOCMIT,

Ing. Maria SALAI

25.05.2010

EXAMINATOR SAU ORGANISM

DE VERIFICARE

Prof. Livius MILOȘ

26.05.2010

Fig.3.8 Specificația procedurii de sudare, WPS 6, pentru sudarea WIG a tablelor de 4 mm, Inconel 625/NiCr22Mo9Nb/N06625

SPECIFICAȚIA PRELIMINARĂ A PROCEDURII DE SUDARE 7/WPS 7

Localitatea: **Timișoara**
 Nr. de referință a procedurii de sudare a producătorului: **WPAR No 7**
 Producător: **UPT-cat.SMS**
 Numele sudorului: **DUPTA ANTON**
 Procedul de sudare: **141 cf.ISO 4063**
 Tipul îmbinării: **BW cf.EN 287-1**
 Poziția de sudare: **PA cf.ISO 6947**
 Detalii de pregătire a îmbinării:

Examinator sau organism de verificare: **TUV Rheinland InterCert Kft Budapest**
 Metoda de pregătire și curățare a rostului: **Curățire la luciu metalic prin polizare cu FLEX**
 Specificația metalului de bază: **Aliaj 625/ NiCr22Mo9Nb /N06625**
 Grosimea materialului de bază (mm): **4,0**
 Diametrul exterior (mm): -

Schema de pregătire a îmbinării	Sucesiunea operațiilor de sudare
	Prinderea provizorie: 141 Lungime prinderi provizorii: 8-10 mm Numar prinderi provizorii; 2 Poziția de sudare: PA Ordinea de sudare: vezi figura

Detalii de sudare:

Rând	Proc de sud	Diam electrod (sârmei) (mm)	Curent sudare (A)	Tens arc (V)	Natura curent/ polarit curent	Viteza avans sârmei (m/min)	Viteza sudare (cm/min)	Energia liniară (kJ/cm)
1	141	2,0	89-90	10-11	cc⁻	-	13-14	4,2-4,3
2	141	2,0	88-90	10-11	cc⁻	-	13-14	4,2-4,3

Metalul de adaos, codificare și marca de fabricație: **LNT/LNM NiCro 70/19**
 Prescripții speciale de uscare: -
 Fluxul/Gazul de protecție: **EN 439 I1**

Detalii pentru sudarea în curent pulsat: -
 - la rădăcină: -

Debitul gazului: - de protecție: **10 l/min**

- la rădăcină: -

Electrodul de wolfram (tipul, diametrul):

EN 26848 WT20- 2,4 mm

Detalii pentru scobire/Suport la rădăcină: -

Lungimea arcului: **I_a=2-3 mm**

Temperatura de preîncălzire: -

Informații suplimentare:

Pendulare (lățimea max. a rândului (mm): -

Oscilație (amplitudine, frecvență, temporizare): -

Poziționarea pistolului:

lungimea capătului liber **I_{cl} = 5-6mm**

Distanța duză de gaz/piesă : **8-10 mm**

Unghiul de înclinare al capului de sudare:

α = 10-15°

Sensul de sudare: **spre stanga-împingere**

Detalii pentru sudarea cu plasmă: -

Temperatura între straturi: -

Tratamentul termic postsudare:

- recoacere joasă de punere în soluție

- timp: 20 min., temperatura: 1000-1020 °C

ÎNTOCMIT,

Ing. Maria SALAI
 25.05.2010

EXAMINATOR SAU ORGANISM
 DE VERIFICARE

Prof. Livius MILOȘ
 26.05.2010

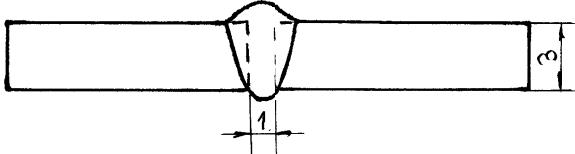
Fig.3.9 Specificația procedurii de sudare, WPS 7, pentru sudarea WIG a tablelor de 4 mm, deschidere de 2,5 mm, Aliaj 625 NiCr22Mo9Nb/N06625

SPECIFICAȚIA PRELIMINARĂ A PROCEDURII DE SUDARE 8/WPS 8

Localitatea: **Timișoara**
 Nr. de referință a procedurii de sudare a producătorului: **WPAR No 8**
 Producător: **UPT-cat.SMS**
 Numele sudorului: **DUPTA ANTON**
 Procedul de sudare: **141 cf.ISO 4063**
 Tipul îmbinării: **BW cf.EN 287-1**
 Poziția de sudare: **PA cf.ISO 6947**

Examinator sau organism de verificare: **TUV Rheinland InterCert Kft Budapest**
 Metoda de pregătire și curățare a rostului: **Curățire la luciu metalic prin polizare cu FLEX**
 Specificația metalului de bază: **Aliaj Inconel 601/ NiCr23Fe/N06601**
 Grosimea materialului de bază (mm): **3,0**
 Diametrul exterior (mm): -

Detalii de pregătire a îmbinării:

Schema de pregătire a îmbinării	Sucesiunea operațiilor de sudare
	Prinderea provizorie: 141 Lungime prinderi provizorii: 8-10 mm Numar prinderi provizorii; 2 Pozitia de sudare: PA Ordinea de sudare: vezi figura

Detalii de sudare:

Rând	Proc de sud	Diam electrod (sârmei) (mm)	Curent sudare (A)	Tens arc (V)	Natura curent/polarit curent	Viteza avans sârmei (m/min)	Viteza sudare (cm/min)	Energia liniară (kJ/cm)
1	141	2,0	90-92	10-11	cc		7-8	7,7-8,1

Metalul de adaos, codificare și marca de fabricație: **LNT/LNM NiCro 70/19**

Prescripții speciale de uscare: -

Fluxul/Gazul de protecție: **EN 439 I1**

Detalii pentru sudarea în curent pulsat: -

- la rădăcină: -

Debitul gazului: - de protecție: **10 l/min**

- la rădăcină: -

Electrodul de wolfram (tipul, diametrul):

EN 26848 WT20- 2,4 mm

Detalii pentru scobire/Suport la rădăcină: -

Lungimea arcului: **I_a=2-3 mm**

Temperatura de preîncălzire: -

Informații suplimentare):

Pendulare (lățimea max. a rândului (mm):-

Oscilație (amplitudine, frecvență, temporizare): -

Poziționarea pistolului:

Lungimea capătului liber **I_{ca} =:5-6mm**

Distanța duză de gaz/piesă :**8-10 mm**

Unghiul de înclinare al capului de sudare:

α =10-15°

Sensul de sudare: **spre stanga-împingere**

Temperatura între straturi:-Detalii pentru sudarea cu plasmă:-

Tratamentul termic postsudare:

- recoacere joasă de punere în soluție

- timp: 20 min., temperatura: 1000-1020 °C

ÎNTOCMIT,

Ing. Maria SALAI
25.05.2010

EXAMINATOR SAU ORGANISM
DE VERIFICARE
Prof. Livius MILOȘ
26.05.2010

Fig.3.10 Specificația procedurii de sudare, WPS 8, pentru sudarea WIG a tablelor de 3 mm, Inconel 601/NiCr23Fe/N06601

3.1.5 Tratamente termice

Tratamentele termice specifice oțelurilor inoxidabile ausenitice au ca scop principal creșterea rezistenței la coroziune și îmbunătățirea proprietăților mecanice. Sunt indicate următoarele tratamente termice:

- călirea de punere în soluție;
- recoacerea de detensionare;

Călirea de punere în soluție este tratamentul termic des utilizat, care constă în încălzirea la temperaturi cuprinse între 1000-1100 °C, menținerea la această temperatură 3-5 min/mm din grosimea piesei și răcirea cu viteză mare.

Recoacerea de detensionare se face prin încălziri la temperaturi mai mici de 450 °C, sau la temperaturi mai mari de 900 °C, cu durata de menținere de cca 10 min/mm, urmate de răciri lente. Tratamentul termic are ca scop reducerea tensiunilor interne și mărirea rezistenței la coroziune, în special coroziunea sub tensiune.

Tratamentele termice recomandate în cazul aliajelor de nichel urmăresc îmbunătățirea proprietăților de plasticitate și de rezistență mecanică concomitent cu uniformizarea/relaxarea tensiunilor interne. Sunt posibile trei tipuri de tratamente termice de bază:

- recoacerea înaltă de punere în soluție;
- recoacerea joasă de punere în soluție;
- detensionarea.

Recoacerea înaltă de depunere în soluție presupune încălzirea la 1090-1200 °C, menținerea la această temperatură cca. ½ ore și răcirea rapidă în aer. Tratamentul se recomandă pentru aplicații/îmbinări sudate ce lucrează la temperaturi peste 820 °C. Prin taratamentul termic crește rezistența la fluaj a structurii concomitent cu creșterea plasticității și a rezistenței la coroziune.

Recoacerea joasă de punere în soluție presupune încălzirea la 920-1040 °C, menținerea cca ½-1 oră și răcire în aer. Tratamentul este recomandat pentru a realiza o combinație optimă între proprietățile de plasticitate și cele mecanice ale structurii de la temperatura ambiantă până la temperaturi de 800-900 °C. Se obține totodată o bună plasticitate la temperaturi scăzute.

Detensionarea presupune încălzirea la 900 °C, menținerea 1-4 ore și răcirea făcându-se în aer. Tratamentul se recomandă pentru structuri ce lucrează la temperaturi de peste 650 °C și în situațiile în care se necesită o bună comportare la oboseală corelată cu bune proprietăți de plasticitate. Tratamentul termic de detensionare realizează pe lângă relaxarea/uniformizarea tensiunilor interne și o micșorare a granulației cu repercursiuni favorabile asupra plasticității la temperaturi ridicate, peste 650 °C, cât și la temperaturi scăzute.

Timpul de menținere la temperatura de tratament termic/palier depinde de volumul și de grosimea secțiunilor, pentru secțiuni mici se merge la valorile inferioare indicate.

Pentru probele sudate din aliaje de nichel, Inconel 601 și Inconel 525 s-a optat pentru o recoacere joasă de punere în soluție, temperatura de palier a fost de 1000-1020 °C, timpul de menținere 20 min., răcirea făcându-se în aer liniștit. Prin tratamentul alicat s-a mizat pe o reducere a granulației, corelarea optimă a proprietăților de tenacitate și de rezistență mecanică și a creșterii rezistenței la coroziune la temperaturi ridicate.

3.1.6 Testarea la coroziune a probelor sudate

3.1.6.1 Testarea probelor sudate în mediul rezultat din co-incinerarea biomasei cu cărbune

Probele sudate, din oțel inoxidabil austenitic, au fost supuse coroziunii în stația pilot existentă în cadrul Laboratorului Multifuncțional de Mașini și Energii Neconvenționale din cadrul Universității „POLITEHNICA”, Timișoara, prezentat în capitolul 1.2. Probele au fost poziționate în focarul cu ardere în strat fluidizat timp de 100 zile. Materialul incinerat a fost un amestec de:

- ulei energetic superior din bazinul Valea Jiului;
- lignit din bazinul Olteniei;
- amestec de rumeguș;
- coceni de porumb.

Au fost stabilite diferite rapoarte masice de biomasă-cărbune, variind de la 15% coceni porumb cu 85% ulei, până la 30% rumeguș cu 70% lignit.

În această perioadă s-au efectuat, în regim stabilizat de funcționare a instalației măsurători legate de:

- regimul de temperaturi din focar și de pe traseul gazelor de ardere;
- compoziția gazelor de ardere înainte și după Sistemul de epurare a gazelor de ardere/SEGA;
- debitele de combustibil, aer de ardere și reactivi de epurare;
- determinarea concentrației particulelor solide.

Pentru procesul de ardere s-a stabilit menținerea temperaturii din focar în jurul valorii de 900 °C, pentru toate sorturile de combustibil.

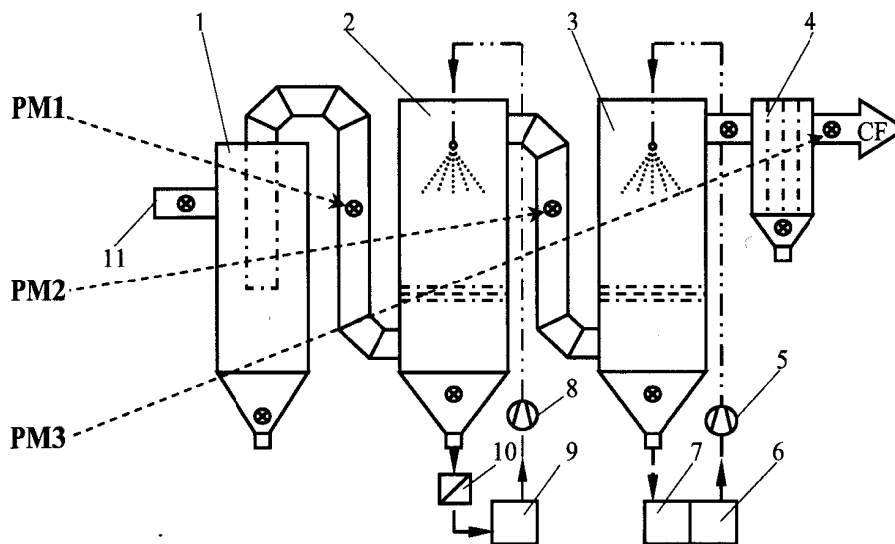


Fig.3.11 Schema incineratorului de biomasă-cărbune și poziția punctelor de măsurare pentru emisiile de gaze,[26]

1-ciclon; 2-scruber; 3-reactor; 4-separator de picături; 5,8-pompe cu membrană; 6-rezervor de aditiv proaspăt; 7-rezervor de aditiv uzat; 9-rezervor lichid de spălare; 10-filtru mecanic; 11-racord cu corpul convectiv; CF-coș de fum;

Punctele de măsurare a emisiilor de gaze (fig.3.11) au fost:

- MP1-punct de măsurare înainte de SEGA;
- MP2-punct de măsurare mijloc SEGA;
- MP3-punct de măsurare după SEGA.

Valorile emisiilor de gaze, măsurate în punctual MP1, pentru cazul unui combustibil format din 15% coceni de porumb cu 85 % lignit, sunt prezentate în tabelul 3.10. Tabelul 3.11 prezintă valorile gazelor de ardere, produse în urma arderii unui combustibil format din 30 % rumeguș cu 70% huiă.

Tab.3.10 Valorile gazelor de ardere în punctul MP1, pentru arderea a 15% coceni de porumb cu 85% lignit

Nr crt.	T	O ₂	CO	CO ₂	NO	NO _x	SO ₂	λ
	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1.	275,4	12,19	140	8,31	140	147	584	2,38
2.	275,2	12,14	138	8,35	140	148	592	2,37
3.	275,4	12,12	136	8,37	141	149	601	2,36
4.	275,3	12,14	135	8,35	142	149	609	2,37
5.	275,3	12,15	134	8,35	141	149	616	2,37
6.	275,3	12,13	133	8,36	142	149	623	2,37
7.	275,0	12,11	133	8,38	143	151	625	2,36
8.	275,3	12,10	132	8,40	144	152	627	2,36
9.	275,4	12,10	131	8,40	145	152	630	2,36
10.	275,1	12,17	131	8,33	144	152	632	2,38
11.	275,5	12,20	133	8,30	142	150	632	2,39
12.	275,5	12,25	135	8,25	143	150	631	2,40
Media	275,3	12,15	134,3	8,30	142,3	149,8	616,8	2,37

Tab.3.11 Valorile gazelor de ardere în punctul MP1, pentru arderea a 30% rumeguș cu 70% huiă

Nr crt.	T	O ₂	CO	CO ₂	NO	NO _x	SO ₂	λ
	°C	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	-
1.	259,8	12,75	137	7,78	135	139	456	2,54
2.	260,3	12,96	128	7,58	132	136	451	2,61
3.	259,8	13,26	121	7,30	129	134	433	2,71
4.	259,7	13,21	114	7,34	127	132	452	2,70
5.	259,5	12,74	114	7,79	131	136	466	2,54
6.	259,6	12,37	113	8,14	132	137	467	2,43
7.	259,0	12,31	110	8,19	132	137	462	2,42
8.	259,3	12,43	107	8,06	130	135	442	2,45
9.	259,0	12,82	104	7,71	128	133	426	2,57
10.	258,9	13,09	101	7,46	125	130	417	2,66
11.	259,0	13,35	102	7,22	123	127	413	2,74
12.	259,2	13,59	104	6,98	121	125	431	2,84
Media	259,4	12,90	112,9	7,60	128,8	133,4	443,10	2,60

3.1.6.2 Testarea probelor sudate în mediul rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

Problele experimentale, realizate conform WPS-urilor din fig.3.3-fig.3.10, au fost supuse unui proces de coroziune în incineratorul ecologic pentru incinerarea deșeurilor medicale, toxice și periculoase, de tip TERMOREFRACT 001 aflat în exploatare la SC PRO AIR CLEAN SA Timișoara(fig.3.12).

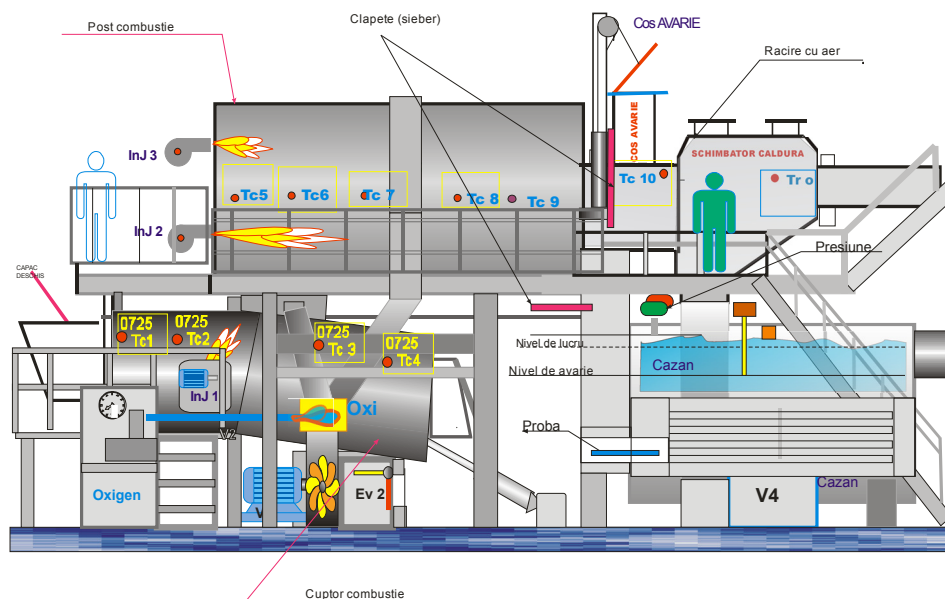


Fig.3.12 Instalația de incinerare a deșeurilor speciale[79]

Instalația de incinerare este cea mai modernă din România și una dintre cele mai moderne din Europa, fiind complet automatizată, proiectată conform celor mai bune tehnici disponibile la nivel european, respectând toate reglementările legislative din România, precum și Directiva Comunității Europene nr. 2000/76.

Deșeurile administrate secvențial în camera de incinerare ard la temperaturi între 800–1100 °C, fiind aprinse de flacăra injectoarelor cu gaz metan sau autoaprinse de la gazele degajate prin volatilizare inițială din deșeuri.

Gazele de ardere generate în camera de incinerare se absorb în camera de post-combustie unde se produce o combustie instantanee, completă și controlată, asigurându-se un regim de temperaturi menținut între 1100–1300 °C, dar putând suporta și ridicări la nivelul de 1500 °C.

Problele sudate experimentale au fost depuse la ieșirea gazelor de ardere din camera de post combustie (fig.3.13), poziție în care temperaturile gazelor de ardere sunt corespunzătoare valorilor înregistrate de termocuple TC8 și TC9, valori care variază între 1100–1200 °C, conform tabelului 3.12.

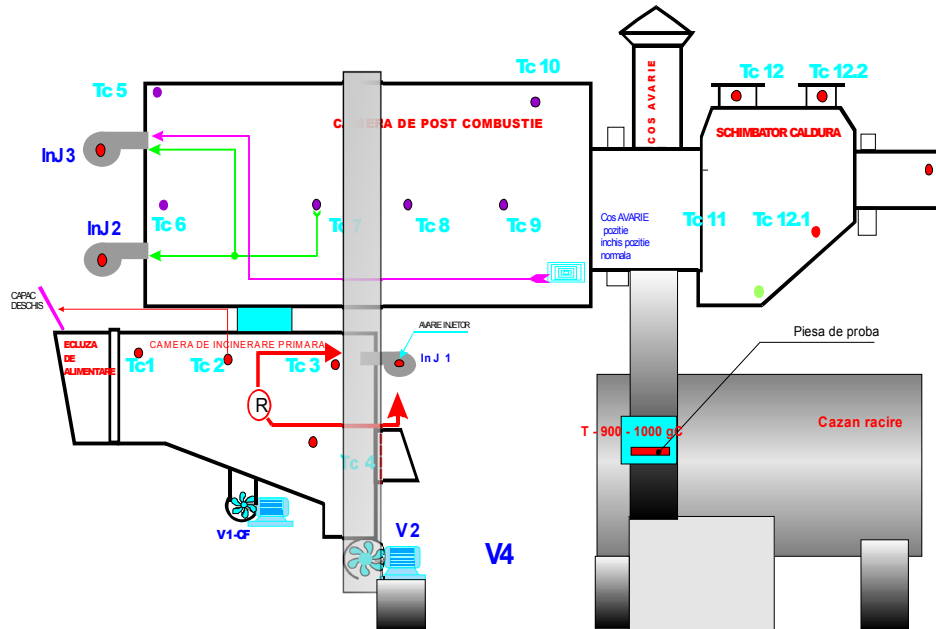


Fig.3.13 Poziția probelor sudate în instalația de incinerare a deșeurilor [79]

Frecvența măsurărilor efectuate de sistem este de 2 minute.

Tab.3.12 Valorile temperaturilor înregistrate de termocuplele TC8 și TC9

Data/ora	TC8 °C	TC9 °C
28/05/2010 00:00	1040	1042,4
28/05/2010 00:09	1130	1104,8
28/05/2010 02:22	1057,9	1053,4
28/05/2010 07:26	1097,9	1083,6
29/05/2010 02:41	1175,8	1160,4
30/05/2010 12:29	1097,5	1068,5
06/06/2010 18:12	1104,8	1080,4
09/06/2010 23:45	1062	1055,1
12/06/2010 21:27	1102	1056,7
22/06/2010 14:35	1020	1022
28/06/2010 02:15	1084	1076,6
29/06/2010 11:45	1132	1104
30/06/2010 07:47	1008,3	1008,7
01/07/2010 12:20	1065,2	1069,3
02/07/2010 22:25	1047,7	1044,4

Datele sunt transmise de analizoare în unitatea centrală de comandă-control care, în baza programelor de proces, le compară cu valorile acceptate și efectuează manevrele pe fluxul tehnologic: mărirea/ diminuarea debitelor de aer la ventilatoarele de la combustie și post-combustie, mărirea/ diminuarea debitelor de

90 Cercetări experimentale - 3

var și cărbune activ la faza de epurare uscată a gazelor și sistemul de admisie a emulsiei apă-aer la condiționar, mărirea/diminuarea debitului exhaustorului final de gaze, blocarea/deblocarea sasului de alimentare cu deșeuri al camerei de incinerare, deschiderea coșului de avarie la temperaturi anormale, sau creșterea presiunii pe traseul de evacuare a gazelor.

Valorile emisiilor de gaze, măsurate la ieșirea din sistemul de neutralizare sunt prezentate în tabelul 3.13.

Tab.3.13 Valorile gazelor de ardere la ieșirea din sistemul de neutralizare

Data	O ₂ %	CO ₂ %	CO mg/ Nm ³	SO ₂ mg/ Nm ³	NO _x mg/ Nm ³	PRAF mg/ Nm ³	Pres Abs Bar	Temp °C	Umid %	HCl mg/ Nm ³
28-29.05. 2010	15, 35	7, 68	28,71	29,28	88,95	2,35	1048, 53	120, 96	39,07	1, 11
29-30.05. 2010	15, 85	7, 17	36	36,48	87,58	1,96	1051, 91	120, 54	38,17	0, 88
30-31.05. 2010	17, 56	4, 72	19,69	35,28	61,14	2,2	1047, 35	120, 07	37,57	0, 86
31.05- 01.06. 2010	16, 41	6,5	48,65	27,77	74,25	0,97	1034, 43	119, 7	39,85	0, 62
01-02.06. 2010	15, 59	7, 55	22,02	28,61	104, 37	0,69	1029, 57	112, 33	39,84	1, 04
02-03.06. 2010	15, 55	7, 68	25,22	28,44	97,42	0,91	1034, 84	114, 22	39,59	1, 08
03-04.06. 2010	15, 65	7, 78	15,81	22,34	98,76	1,39	1043, 11	115, 81	38,98	0, 65

Probele sudate din oțel inoxidabil austenitic, EN 10020-X10CrNi18-10/AISI304, și din aliaje pe bază de nichel, Inconel 601/N06601 și Inconel 625/N06625 au fost supuse mediului coroziv din interiorul incineratorului de deșeuri speciale, o perioadă de 36 zile

4.CALITATEA ÎMBINĂRILOR SUDATE SUPUSE COROZIUNII

4.1. Încercări recomandate

Caracterizarea comportării materialelor și a îmbinărilor sudate din componența incineratoarelor se realizează prin încercări distructive și încercări specifice.

Încercările distructive permit evidențierea caracteristicilor mecanice de rezistență și de deformabilitate ale materialelor și îmbinărilor sudate. Ele se realizează pe epruvete prelevate din probele sudate. Încercările distructive recomandate în acest scop sunt:

- încercarea la tracțiune;
- încercarea la îndoire;
- încercarea durtății;
- analiza macro și microscopică.

Fiind vorba de medii de lucru corozive pentru caracterizarea comportării materialelor și a îmbinărilor sudate din componența incineratoarelor pentru deșeuri speciale, recomandabile sunt și încercările la coroziune: coroziune intercristalină, coroziune fisurantă sub tensiune.

4.1.1 Încercarea la tracțiune

Încercarea la tracțiune se efectuează în condițiile standardului SR EN 895:1997, cu scopul determinării rezistenței la rupere și a capacității de întindere a îmbinărilor sudate [81].

Epruvetele supuse încercării de tracțiune sunt debitate mecanic sau termic din probele sudate, astfel încât să nu fie modificate proprietățile epruvetei.

Pentru determinarea rezistenței la rupere a îmbinărilor sudate cap la cap, se folosesc epruvete calibrate. Forma și dimensiunile epruvetelor diferă în funcție de materialul de bază.

Având în vedere că atât oțelurile inoxidabile austenitice cât și aliajele pe bază de nichel, utilizate la realizarea probelor sudate au grosimi de 3-4 mm, au fost realizate epruvete de forma și dimensiunile prezentate în fig 4.1, conform SR EN 895: 1995.

Încercarea la tracțiune se realizează la temperatura mediului ambiant, pe mașini universale de încercare. Rezultatele încercării se determină conform EN 10002-1.

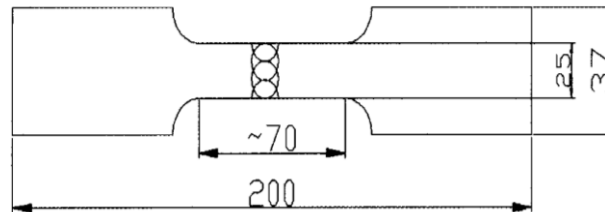


Fig 4.1 Forma și dimensiunile epruvetelor pentru încercarea la tracțiune a îmbinărilor sudate cap la cap

4.1.2 Încercarea la îndoire

Încercarea la îndoire se efectuează în condițiile standardului SR EN 895: 1997, și urmărește determinarea capacității de deformare plastică a îmbinării sudate pe baza unghiului de îndoire până la rupere și a alungirii maxime pe suprafața întinsă [61]. Recomandabilă este încercarea la îndoire frontală, la care axa longitudinală a sudurii este paralelă cu cea a roților de sprijin. Încercarea se realizează pe mașini sau prese dotate cu dispozitiv de îndoire pe suporturi cu dorn.

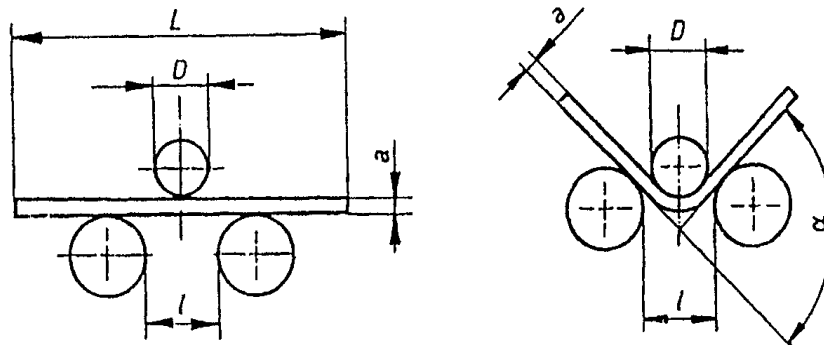


Fig.4.2 Încercarea la îndoire frontală

Raportul D/a se alege funcție de tipul materialului și de grosime, din documentația de execuție sau standardul de produs. Diametrul roților de sprijin a epruvetei trebuie să fie de cel puțin 20 mm, iar distanța dintre role cuprinsă între limitele $D+2a < l \leq D+3a$.

Încercarea se efectuează pe epruvete cu secțiune dreptunghiulară. Dimensiunile epruvetelor se aleg funcție de grosimea produsului.

Epruvetele prelevate din probele sudate au fost pentru îndoire frontală. S-au preconizat încercări cu rădăcina îmbinării pe partea întinsă a epruvetei și cu straturile exterioare pe partea întinsă a epruvetei. Epruvetele prelevate au fost de secțiune dreptunghiulară, 200x20 mm, de grosimi 3 sau 4 mm, funcție de materialul de bază utilizat (fig. 4.3).

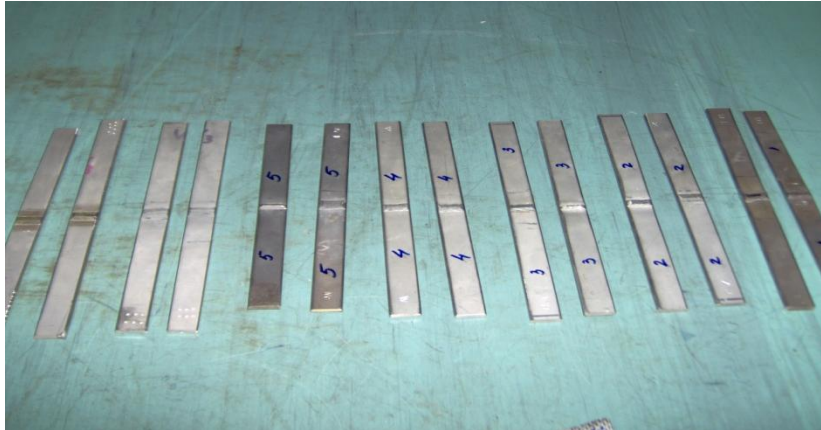


Fig 4.3 Epruvete pentru încercarea la îndoire frontală

Rezultatele încercării se consideră satisfăcătoare dacă unghiul de îndoire $\alpha=180^\circ$, respectiv caracterul ruperii nu este fragil, iar în secțiunea de rupere nu se evidențiază defecte peste limitele admise la clasa de calitate pe care o reprezintă.

4.1.3 Încercarea durității

Încercarea durității se efectuează în condițiile standardului SR EN 1043 – 1:1997, cu scopul determinării durității zonelor specifice îmbinării sudate și a gradientului de duritate pe anumite direcții. Metoda des utilizată este metoda Vickers. Încercarea de duritate permite stabilirea caracteristicilor de rezistență și fragilitate ale sudurii, în special a ZIT-ului și punerea în evidență a defectelor de structură, similar analizei metalografice.

Epruvetele se prelevează astfel încât să cuprindă integral secțiunea transversală a îmbinării sudate, spre mijlocul ei, lungimea fiind de circa trei ori grosimea [62]. Grosimea epruvetei se ia cel puțin egală cu grosimea îmbinării. Epruvetele pentru încercările de microduritate sunt cele utilizate pentru analiza metalografică (fig 4.4).



Fig.4.4 Epruvete din aliaje de nichel, pentru incercarea de microduritate

Plasarea amprentelor s-a făcut pe două direcții, una spre suprafața exterioară, corodată a probelor, cealaltă după direcția axei epruvetei (fig.4.12).

4.1.4 Analiza metalografică

Analiza metalografică se efectuează în condițiile standardului SR EN 1321: 2000 și permite punerea în evidență a defectelor de structură, a transformărilor structurale, a extinderii pătrunderii și a uniformității ei, a defectelor de formă și de fuziune [52]. Examinarea metalografică cuprinde analiza macroscopică și analiza microscopică.

Examinarea macroscopică se realizează vizual sau cu lupa la o mărire de 10X, examinarea microscopică se realizează cu ajutorul microscopului optic la o mărire de 50–500X.

Examinarea macroscopică permite evidențierea extinderii pătrunderii, a fisurilor și a suflurilor care depășesc 0,5 mm.

Examinarea microscopică permite evidențierea microfisurilor, a structurii sudurii, ZIT-ului și a metalului de bază, a segregățiilor, a precipităților, precum și a mărimii grăunților. Cunoașterea structurii este foarte importantă pentru aprecierea caracteristicilor ansamblului metal depus-metal de bază și pentru a putea controla prin intermediul tehnologiei de sudare apariția structurilor fragile și a defectelor interne.

Epruvetele utilizate pentru analiza metalografică în cazul programului experimental au dimensiuni 50x10x3 mm, respectiv 50x10x4 mm (fig.4.4), prelucrate corespunzător metalografic. Atacul chimic pentru probele sudate din oțel inoxidabil de tipul X10CrNi18-10 și pentru probele din aliaj Inconel 601 s-a efectuat cu apa regală: 33% HCl, 33% HNO₃, 33% C₃H₈O₃, la temperatura de 25 °C, timpul de atac fiind între 1-15 minute. Probele sudate din aliaj Inconel 625, au fost atacate chimic cu soluția compusă din: 1ml HNO₃, 1,6 ml H₂SO₃ și 30 ml HCl. Atacul chimic s-a realizat la temperatura de 40 °C, timp de 10 secunde.

4.1.5 Încercarea la coroziune intercrystalină

Încercarea la coroziune intercrystalină se efectuează în condițiile SR EN ISO 3651:1999, asupra probelor sudate din oțeluri inoxidabile și aliaje refractare expuse la medii puternic corozive.

Epruvetele supuse mediului coroziv, pentru aprecierea tendinței de coroziune intercrystalină sunt extrase din probe sudate cap la cap cu o singură îmbinare sau cu îmbinări sudate încrucișate la 90°, în funcție de tipul îmbinării piesei care trebuie analizată (fig.4.5)

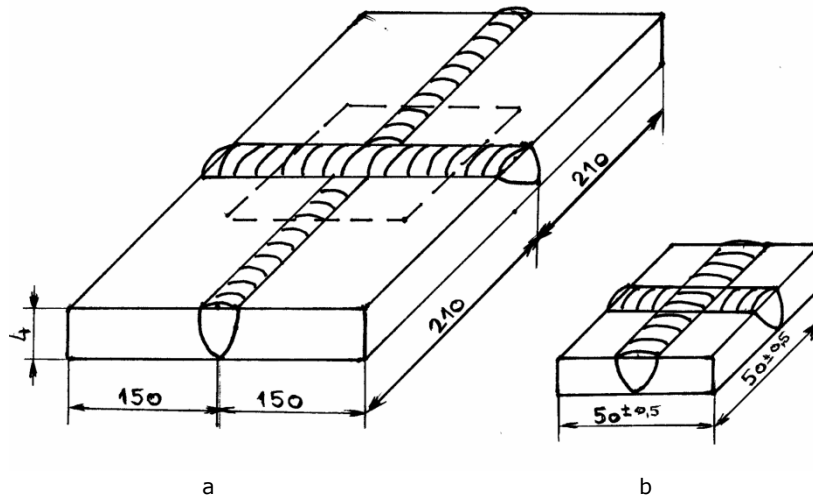


Fig 4.5 Probe sudate, modul de prelevare (a) și forma epruvetelor (b) pentru încercarea de coroziune intercristalină

Numarul epruvetelor folosite este 12, dintre care 6 servesc ca epruvete de comparație, 6 sunt supuse încercării. Epruvetele de comparație se îndoaie în menhină la 90° cu raza de racordare 10 mm, 3 bucăți pe sudura longitudinală, 3 bucăți pe sudura transversală.

Epruvetele de încercare se supun mediului coroziv. După expirarea timpului de încercare, epruvetele se spală și se supun îndoirii în menhină la 90° , cu raza de racordare 10 mm, 3 pe sudura longitudinală, 3 pe sudura transversală, având grijă ca suprafața de control să fie spre exteriorul îndoirii, zona de îndoire să cuprindă metalul sudurii și zona influențată termic.

Faza următoare a încercării, este controlul vizual cu lupa la o marire de 8–10X, a suprafeței exterioare a îndoirii. Dacă pe suprafața controlată apar fisuri diferite de cele ale epruvetelor de comparație se consideră că îmbinarea sudată este susceptibilă la coroziune intercristalină.



Fig.4.6 Imagini de epruvete pentru încercarea la coroziune intercristalină, prelevate din probele sudate

4.2. Încercarea epruvetelor

Prelevarea epruvetelor pentru încercările prevăzute în cadrul programului experimental s-a făcut după schema din figura 4.7. Se menționează că prelevarea s-a făcut prin tăiere cu plasmă.

Epruvetele prelevate din probele sudate pe materialele specificate în subcap. 3.1.1, sudate prin procedeele menționate în subcap. 1.4, în stare inițială, respectiv după ce au fost supuse procesului de coroziune în medii corozive diferite, au fost încercate în condițiile standardelor specifice fiecărei încercări, rezultatele obținute fiind prezentate în cele ce urmează.

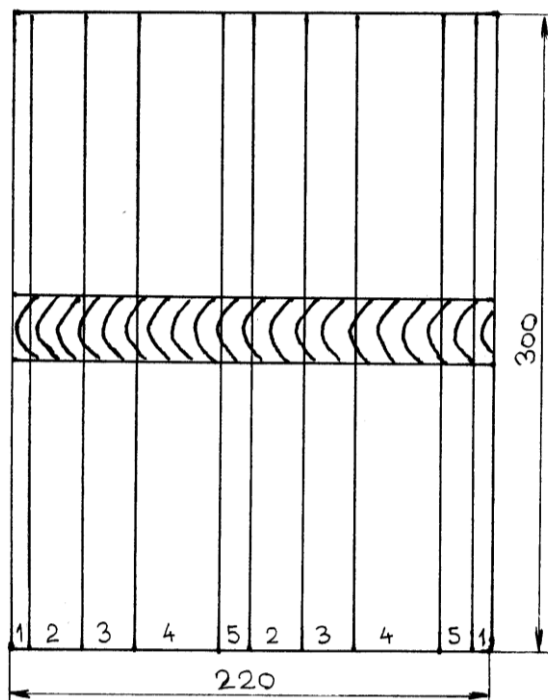


Fig 4.7 Modul de prelevare a epruvetelor pentru încercări

Observatii:

- 1-rebut;*
- 2-epruvete pentru îndoire față sudură;*
- 3-epruvete pentru îndoire rădăcină sudură;*
- 4-epruvete pentru încercarea la tracțiune;*
- 5-epruvete pentru analiza metalografică.*

4.2.1. Încercarea la tracțiune

Încercarea la tracțiune s-a efectuat în condițiile standardului SR EN 895: 1997, pe epruvete care nu au fost supuse mediului coroziv, respectiv pe epruvete supuse coroziunii în diverse medii corozive.

Rezultatele încercării la tracțiune, pentru epruvetele din oțelul inoxidabil X10CrNi18-10/AISI 304, care nu au fost supuse mediului coroziv, respectiv au fost

supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea biomasei-carbune sunt prezentate în tabelul 4.1.

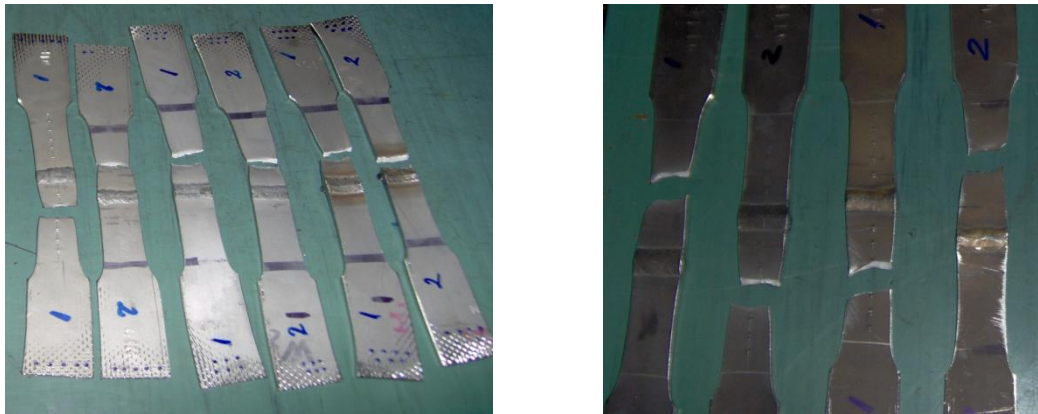
Tab.4.1 Rezultate ale încercării la tracțiune a probelor din oțel inoxidabil X10CrNi18-10 supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea amestecului biomasa-carbune

Marcaj epruvetă	MO _B	WO _B	MI _B	WI _B
Mediul coroziv	-	-	Deșeuri biomasa-carbune	Deșeuri biomasa-carbune
Procedeul de sudare	MIG	WIG	MIG	WIG
Rezistența la rupere R _m , N/mm ²	550-568	568-573	528-541	545-562
Amplasarea rupturii	MB	MB	MB	MB
Alungirea la rupere, %	46,8-49,7	48,3-50,7	46,8-48,5	43,5-48,2

Observatii:

- MO_B - proba sudată MIG, nesupusă mediului coroziv
- WO_B - proba sudată WIG, nesupusă mediului coroziv
- MI_B - proba sudată MIG, supusă mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasa-carbune;
- WI_B - proba sudată WIG, supusă mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasa-carbune.

Se observă că majoritatea epruvetelor s-au rupt în materialul de bază, (fig.4.8) ceea ce confirmă corectitudinea regimurilor de sudare folosite.



a

b

Fig.4.8 Epruvete încercate la tracțiunea imbinării sudate

a-înainte de supunerea în mediu coroziv, b-după tracțiunea mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasa-carbune

Pentru probele realizate din oțel inoxidabil X10CrNi18-10/AISI 304, respectiv aliaje de nichel, încercate în condițiile în care epruvetele nu au fost supuse mediului coroziv, respectiv au fost supuse mediului coroziv rezultat din arderea

98 Calitatea îmbinărilor sudate supuse coroziunii - 4

deșeurilor speciale, rezultatele încercărilor realizate în aceleași condiții stipulate de standardul SR EN 895: 1997, sunt prezentate în tabelul 4.2, respectiv 4.3.

Tab.4.2 Rezultate ale încercării la tracțiune a probelor din oțel inoxidabil X10CrNi18-10 nesupuse/supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

Marcaj epruvetă	WO _s	WI _s
Mediul coroziv	-	Deșeuri speciale
Procedeul de sudare	WIG	WIG
Rezistența la rupere, R _m , N/mm ²	568-573	520-536
Amplasarea rupturii	MB	MB
Alungirea la rupere,%	48,3-50,7	42,5-45,5

Observatii:

- WO_s – proba sudată WIG, nesupusă mediului coroziv;
- WI_s- proba sudată WIG, supusă mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale;

Tab.4.3 Rezultate ale încercării la tracțiune a probelor din aliaje de nichel nesupuse/supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

Marcaj epruvetă	WO _s	WI _s
Mediul coroziv	-	Deșeuri speciale
Procedeul de sudare	WIG	WIG
Rezistența la rupere, R _m , N/mm ²	688-694	582-650
Amplasarea rupturii	MB	MB
Alungirea la rupere,%	48,2-50,4	47,5-49,2

Observatii:

- WO_s – proba sudată WIG, nesupusă mediului coroziv
- WI_s- proba sudată WIG, supusă mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Se observă că și în cazul probelor sudate din aliaje de nichel, ruperea s-a produs la nivelul metalului de bază (fig.4.9). În cazul probelor rezultate după supunerea în mediul coroziv, fenomenul este explicabil, prin corodarea mai pronunțată a metalului de bază comparativ cu metalul sudurii.

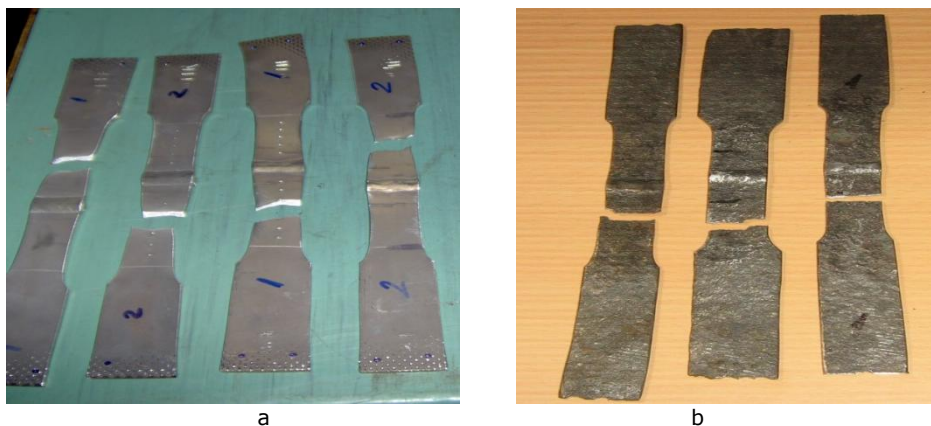


Fig.4.9 Epruvete încercate la tracțiunea îmbinării sudate
a-înainte de supunerea în mediul coroziv, b-după acțiunea mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

4.2.2. Încercarea la îndoire

Încercarea la îndoire frontală a epruvetelor s-a efectuat în condițiile standardului SR EN 895:1997 pe epruvete netratate și tratate termic care nu au fost supuse mediului coroziv, respectiv pe epruvete supuse coroziunii în diverse medii corozive.

Încercările la îndoire s-au efectuat în condițiile în care diametrul dornului a fost: 25 mm, iar distanța dintre role: 34 mm, pentru epruvetele de grosime 3 mm, respectiv: 37 mm pentru epruvetele de grosime 4 mm. Diametrul rolor de sprijin a fost de 20 mm. Imagini ale epruvetelor preluate din probele sudate din oțeluri inoxidabile austenitice X5CrNi18-10, conform EN 10088 și supuse la îndoire frontală sunt prezentate în fig.4.10.



Fig.4.10 Imagini ale epruvetelor încercate la îndoire frontală din oțel inoxidabil a-înainte de supunerea în mediu coroziv, b-după acțiunea mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-carbune



Fig.4.11 Imagini ale epruvetelor încercate la îndoire frontală din aliaje de nichel a-înainte de supunerea în mediu coroziv, b-după acțiunea mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Nu s-au observat fisuri, crăpături, pe suprafețele întinse, indiferent dacă fața sau rădăcina sudurii au fost supuse testului. Lipsa fisurilor vizibile fără mijloace speciale de mărire, este considerată ca o dovadă că epruveta a suportat satisfăcător încercarea la îndoire. Pentru majoritatea epruvetelor încercate, unghiul de îndoire a fost de 180°.

4.2.3. Încercarea durtății

În cadrul programului experimental, pentru determinarea durtății în diverse zone ale îmbinării sudate, s-a folosit metoda Vichers cu sarcina de 2 N, HV 0,2.

Modul de amplasare a amprentelor pe suprafața epruvetelor este prezentat în figura 4.12, spre suprafața exterioară a epruvetei, o direcție, respectiv la nivelul axei centrale a epruvetei, cea de a doua direcție.

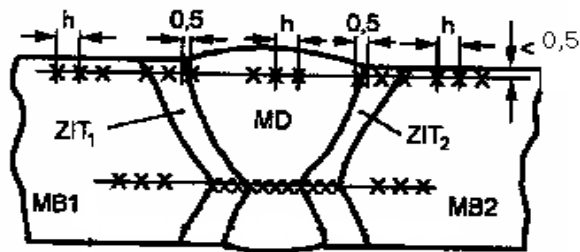


Fig.4.12 Direcțiile de amplasare a amprentelor pentru măsurarea durtății conform EN 1043

Figurile 4.13-4.14, prezintă valori ale microdurtăților, la suprafața exterioară a sudurii, respectiv pe axa centrală a sudurii, la probele sudate din oțel X5CrNi18-10, în stare inițială și respectiv după acțiunea mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasa-cărbune.

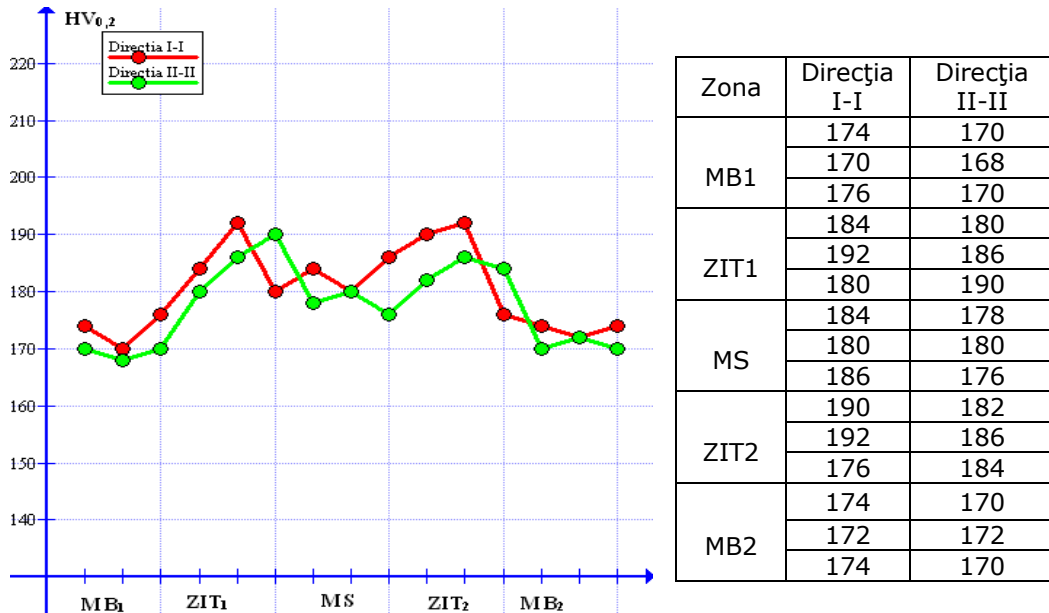


Fig.4.13 Variația microdureții, probă sudată, oțel X5CrNi18-10, nesupusă mediului coroziv, direcția I-I suprafață exterioară sudură, direcția II-II axa centrală sudură

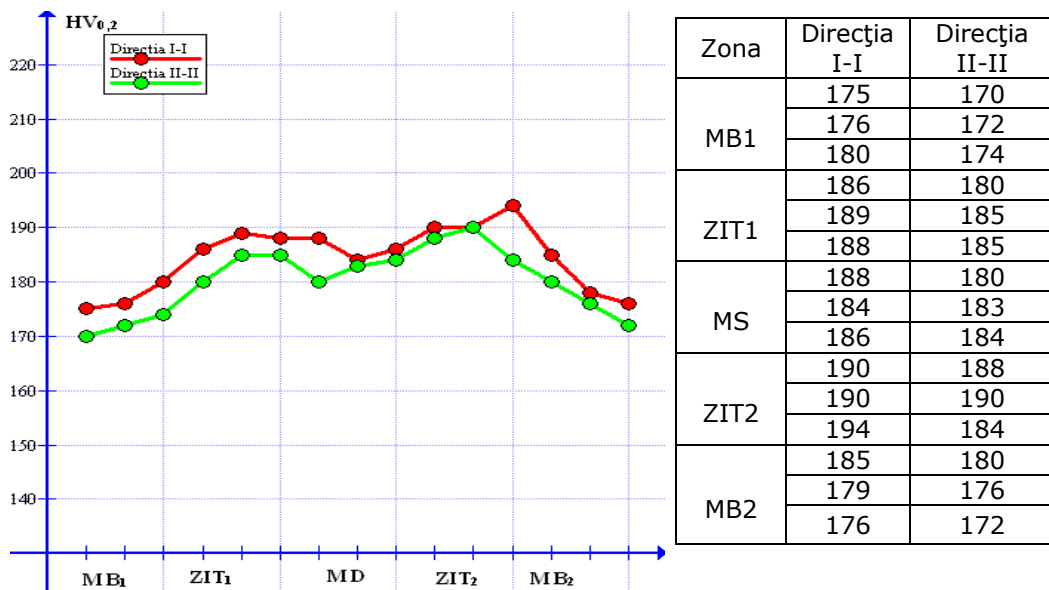


Fig.4.14 Variația microdureții, probă sudată, oțel X5CrNi18-10, după expunere în mediul coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune, direcția I-I suprafață exterioară sudură, direcția II-II axa centrală sudură

În figurile 4.15-4.16 se prezintă valori ale microdureților probelor sudate din aliaje de nichel, Inconel 601, netratate termic, respectiv tratate termic, înainte

102 Calitatea îmbinărilor sudate supuse coroziunii - 4

de a fi supuse mediului coroziv, iar în figurile 4.17-4.18 sunt indicate valori ale microdureții pentru probe sudate din aliaje de nichel, Inconel 625, netratate termic, respectiv tratate termic, înainte de a fi supuse mediului coroziv.

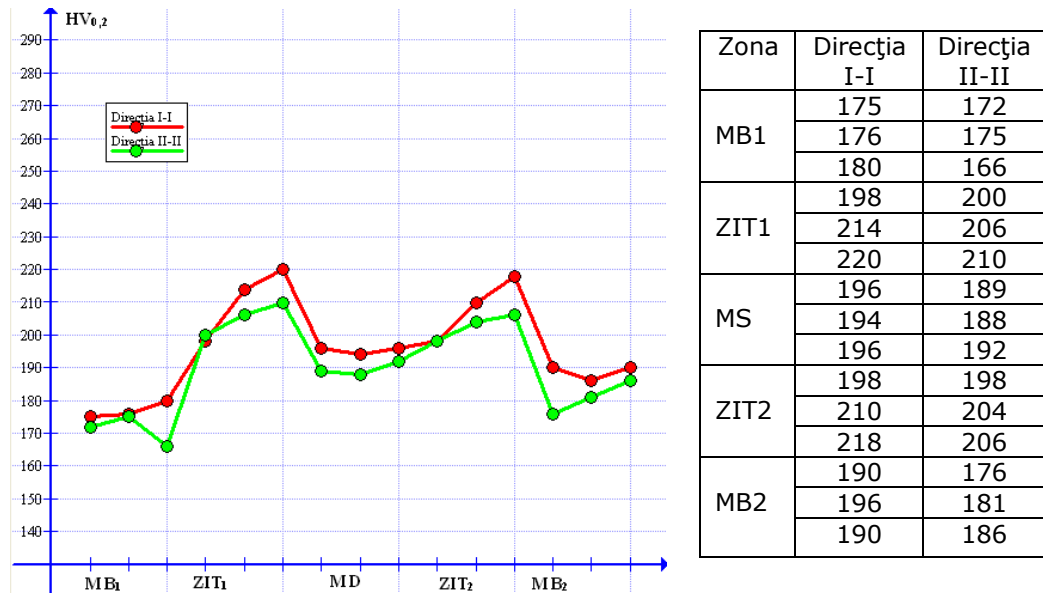


Fig.4.15 Variația microdureții, probă sudată, Inconel 601, s=4 mm, netratat termic, direcția I-I suprafață exterioră sudură, direcția II-II axa centrală sudură

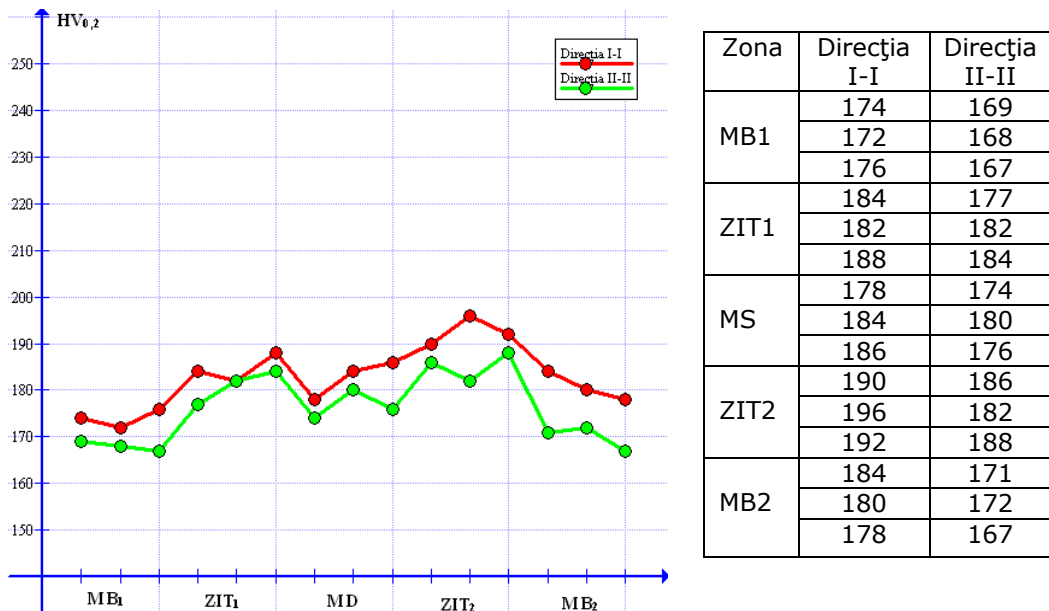


Fig.4.16 Variația microdureții, probă sudată, Inconel 601, s=4 mm, tratat termic, direcția I-I suprafață exterioră sudură, direcția II-II axa centrală sudură

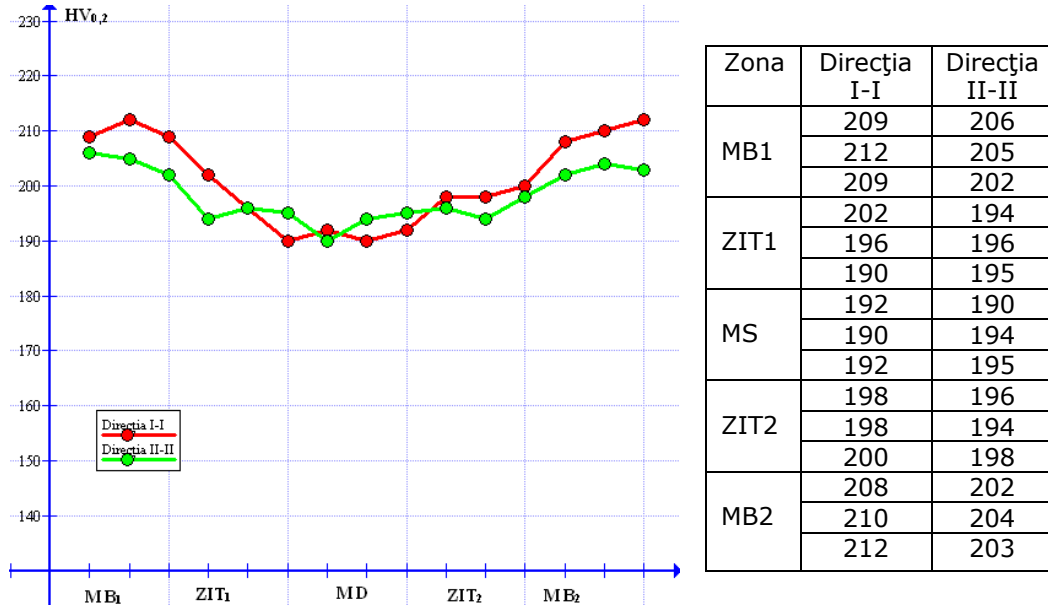


Fig.4.17 Variația microdureții, probă sudată, Inconel 625, s=4 mm, netratat termic, direcția I-I suprafață exterioră sudură, direcția II-II axa centrală sudură

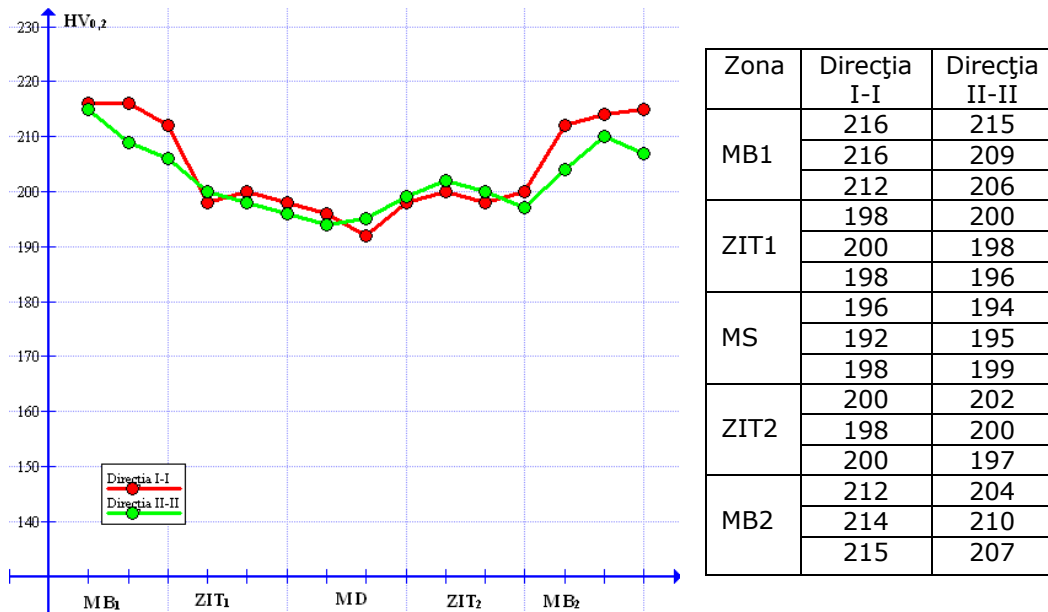
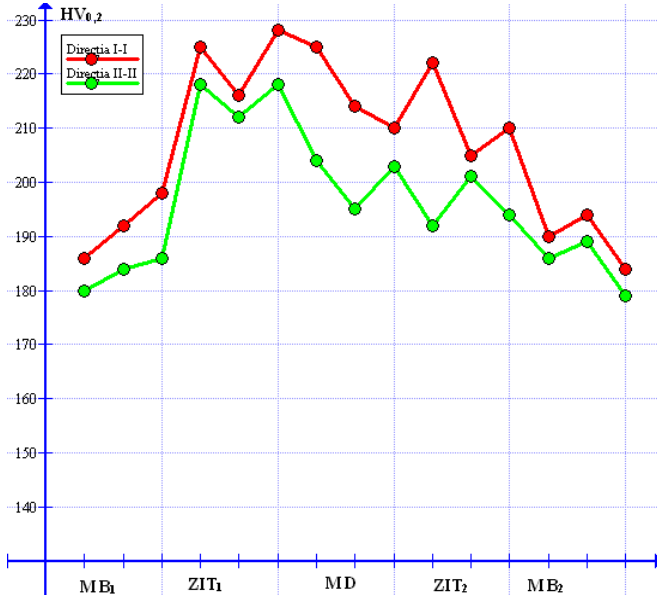


Fig.4.18 Variația microdureții, probă sudată, Inconel 625, s=4 mm, tratat termic, direcția I-I suprafață exterioră sudură, direcția II-II axa centrală sudură

Figurile 4.19-4.22, prezintă valori ale microdurețiilor probelor sudate din oțel inox X5CrNi18-10, aliaje de nichel: Inconel 601, 3 mm, respectiv 4 mm și

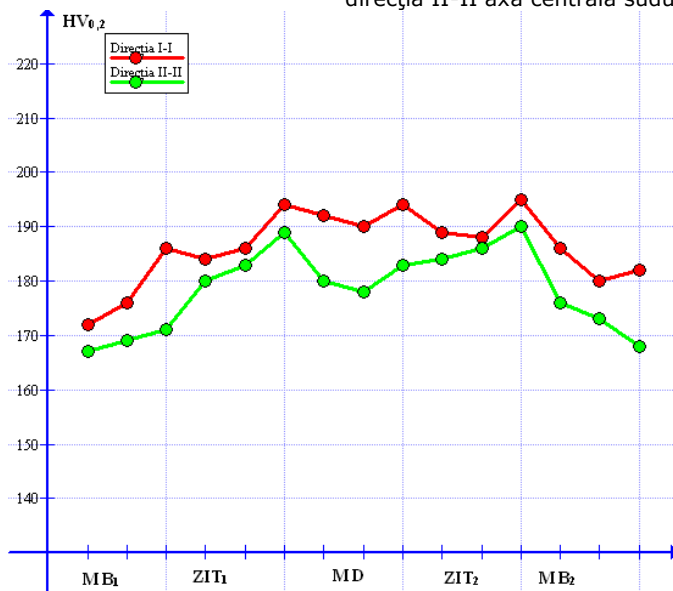
104 Calitatea îmbinărilor sudate supuse coroziunii - 4

Inconel 625, 4 mm, după acțiunea mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale.



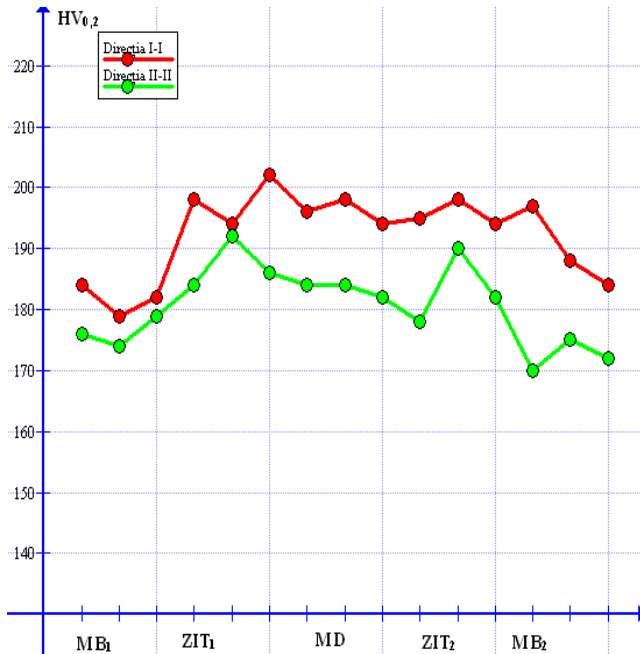
Zona	Direcția I-I	Direcția II-II
MB1	186	180
	192	184
	198	186
ZIT1	225	218
	216	212
MS	225	204
	214	195
	210	203
ZIT2	222	192
	205	201
MB2	210	194
	190	186
	184	179

Fig.4.19 Variația microdureții, probă sudată, oțel X5CrNi18-10, după expunere în mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, direcția I-I suprafață exterioră sudură, direcția II-II axa centrală sudură



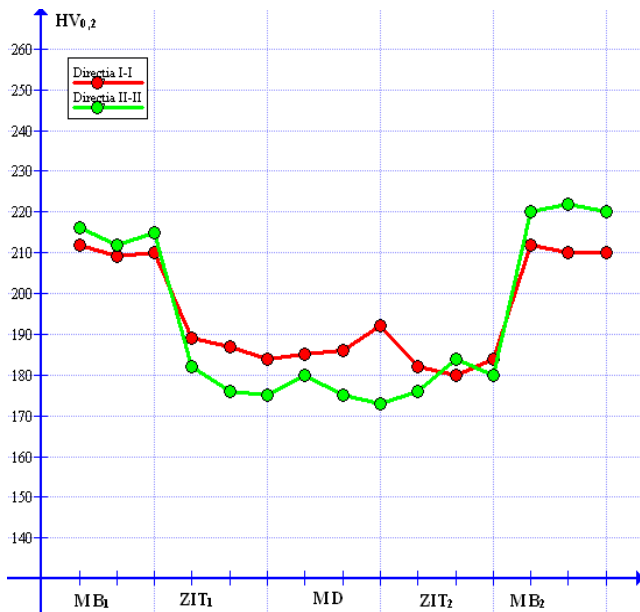
Zona	Direcția I-I	Direcția II-II
MB1	172	167
	176	169
	186	171
ZIT1	184	180
	186	183
	194	189
MS	192	180
	190	178
	194	183
ZIT2	189	184
	188	186
	195	190
MB2	186	176
	180	173
	182	168

Fig.4.20 Variația microdureții, probă sudată, Inconel 601, s=3 mm, după expunere în mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, direcția I-I suprafață exterioră sudură, direcția II-II axa centrală sudură



Zona	Direcția I-I	Direcția II-II
MB1	184	176
	179	174
	182	179
ZIT1	198	184
	194	192
	202	186
MS	196	184
	198	184
	194	182
ZIT2	195	178
	198	190
	194	182
MB2	197	170
	188	175
	184	172

Fig.4.21 Variația microdureții, probă sudată, Inconel 601, s=4 mm, după expunere în mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, direcția I-I suprafață exterioară sudură, direcția II-II axa centrală sudură



Zona	Direcția I-I	Direcția II-II
MB1	212	216
	209	212
	210	215
ZIT1	189	182
	187	176
	184	175
MS	185	180
	186	175
	192	173
ZIT2	182	176
	180	184
	184	180
MB2	212	220
	210	222
	210	220

Fig.4.22 Variația microdureții, probă sudată, Inconel 625, s=4 mm, după expunere în mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, direcția I-I suprafață exterioară sudură, direcția II-II axa centrală sudură

Anexa 1 (tab. A1.1-A1.2), prezintă valori ale microdunităților probelor sudate din oțel X5CrNi18-10, în stare inițială și respectiv după acțiunea mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasa-cărbune, iar în fig.A1.1-A1.2 reprezentarea grafică a valorilor microdunității pentru cele trei probe

În aceeași Anexă 1 tabelele A1.3-A1.4, cuprind valori ale microdunităților probelor sudate din aliaje de nichel, Inconel 601, netratate termic, respective tratate termic, înainte de a fi supuse mediului coroziv, iar în tabele A1.5-A1.6 sunt indicate valori ale microdunităților pentru probele sudate din aliaje de nichel, Inconel 625, netratate termic, respective tratate termic, înainte de a fi supuse mediului coroziv. Grafic, variația dunității este prezentată în figurile A1.3-A1.6.

Tabelele A1.7-A1.10, prezintă valori ale microdunităților probelor sudate din oțel inox X5CrNi18-10, aliaje de nichel: Inconel 601, 3 mm, respectiv 4 mm și Inconel 625, 4 mm, după acțiunea mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale. Corespunzător acestor valori s-au realizat graficele din figurile A1.7-A1.10.

4.2.4. Încercarea la coroziune intercrystalină

Prelevarea epruvetelor pentru încercarea la coroziune intercrystalină, s-a făcut în conformitate cu prevederile standardului SR EN ISO 3651:1999, numărul epruvetelor fiind corespunzător (fig.4.5)



Fig.4.23 Epruvete pentru încercarea la coroziune intercrystalină, prelevate din probele sudate

Mediile de încercare a probelor sudate supuse încercării la coroziune intercrystalină au fost mediile gazoase rezultate din incinerarea amestecului biomasa-cărbune, respectiv deșeuri speciale.

Probele sudate din oțelul inoxidabil austenitic EN 10020-X10CrNi18-10/AISI304 au fost supuse mediului coroziv rezultat în urma incinerării amestecului biomasa-cărbune, o perioadă de 100 zile.

Probele sudate din oțelul inoxidabil austenitic, EN 10020-X10CrNi18-10/AISI304, aliajele pe bază de nichel, Inconel 601/N06601 și Inconel 625/N06625 au fost supuse mediului coroziv rezultat în urma incinerării deșeurilor speciale, o perioadă de 36 zile.

Imagini ale epruvetelor pentru încercarea la coroziune intercrystalină prelevate din probe sudate pe oțelul inoxidabil X10CrNi18-10, neexpuse, respectiv expuse în medii corozive sunt prezentate în figura 4.24. Imaginea din fig.4.24.b prezintă epruveta prelevată din probele supuse coroziunii rezultate din arderea

amestecului biomasă-carbune, respectiv fig.4.24.d, epruveta prelevată din probele expuse coroziunii rezultate din incinerarea deșeurilor speciale.

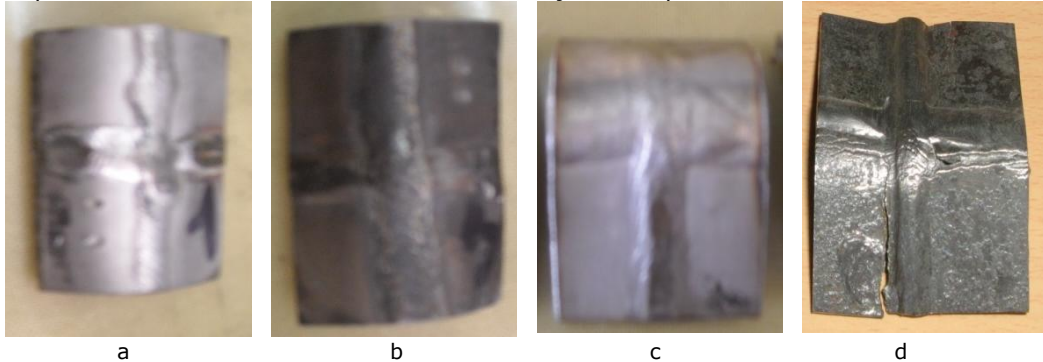


Fig. 4.24. Epruvete pentru încercarea coroziunii intercrystaline a probelor sudate din oțel inoxidabil, înainte(a,c) și după supunerea în mediu coroziv(b,d)
b-mediul coroziv rezultat din incinerarea amestecului biomasă-carbune,
d-mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

Se observă că mediul coroziv rezultat din incinerarea amestecului biomasă-carbune nu afectează rezistența la coroziune intercrystalină a îmbinării sudate, nu apar fisuri în îmbinarea sudată.

Spre deosebire, mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale afectează rezistența la coroziune a îmbinărilor sudate realizate din oțel inoxidabil X10CrNi18-10, pe epruveta supusă mediului coroziv apar macrofisuri de mare extindere (fig.4.24.d).

Rezistența la coroziune a îmbinărilor sudate din aliaje de nichel în prezența mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale prin prisma încercărilor de coroziune inercristalină, pare a fi superioară rezistenței la coroziune a oțelurilor inoxidabile. Figura 4.25 prezintă epruvete prelevate din îmbinări sudate din aliaje de nichel, înainte de a fi supuse mediului coroziv.



Fig. 4.25 Epruvete prelevate din îmbinări sudate din aliaje de nichel, înainte de introducerea în mediul coroziv

Pe epruvetele prelevate din probele supuse coroziunii nu se observă modificări de compactitate, nu apar fisuri în îmbinarea sudată (fig.4.26).



Fig. 4.26 Epruvete prelevate din îmbinări sudate din aliaje de nichel, supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

Rezultatele oferite de încercarea la coroziune intercristalină au permis unele observații referitoare la comportarea în exploatare a îmbinărilor sudate din componența incineratoarelor de deșeuri speciale, investigațiile microstructurale urmând a oferi informații suplimentare în această idee.

4.3. Analiza metalografică

4.3.1 Analiza metalografică a epruvetelor testate în mediu rezultat din co-incinerarea biomasei cu cărbune

Analiza metalografică a epruvetelor testate în mediul coroziv rezultat din co-incinerarea biomasei cu cărbune, s-a efectuat comparativ, pe epruvete ce nu au fost supuse mediului coroziv, respectiv pe epruvete supuse mediului coroziv.

4.3.1.1 Examinarea macroscopică

Examinarea macroscopică s-a realizat vizual cu o lupă la o mărire de 10X, asupra epruvetelor prelevate din probele sudate din oțel X5CrNi18-10.

După șlefuire pe suprafața de control s-a efectuat atacul metalografic asupra epruvetelor, reactivul fiind apa regală: 33% HCl, 33% HNO₃, 33% C₃H₈O₃, la temperatura de 25 C, timp de 1-10 min.

Imagini macrografice ale probelor sudate din oțel X5CrNi18-10, de grosime 4 mm, înainte și după testarea în mediul coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune, sunt prezentate în figurile 4.27-4.28.



Fig.4.27 Macrografie îmbinări sudate, oțel X5CrNi18-10, s=4mm, sudate MIG a-stare inițială, b-după expunere în mediu coroziv



Fig.4.28 Macrografie îmbinări sudate, oțel X5CrNi18-10, s=4mm, sudate WIG
a-stare inițială, b-după expunere în mediu coroziv

Probele realizate prin procedee de sudare în mediu de gaz protector inert: MIG respectiv WIG, prezintă o bună întrepătrundere a celor două rânduri de sudură, o trecere lină de la metalul sudurii la metalul de bază, o bună pătrundere la rădăcină, absența discontinuităților metalice și lipsa defectelor de continuitate. Relativa scurgere la rădăcină din figura 4.28.a este caracteristică sudării manuale a tablelor subțiri prin procedeul WIG. Probele care au fost expuse mediului coroziv nu prezintă macroscopic urme de coroziune pe suprafață.

4.3.1.2 Examinarea microscopică a probelor sudate ce nu au fost supuse mediului coroziv

Examinarea microscopică permite evidențierea structurii sudurii, ZIT-ului și a metalului de bază, mărimea și orientarea grăunților, a eventualelor segregatii, precipitări de faze intermetalice, microfisuri sau alte imperfecțiuni. Cunoașterea structurii este importantă pentru aprecierea caracteristicilor ansamblului metal de bază și pentru a putea evita prin intermediul tehnologiei de sudare apariția structurilor fragile și a defectelor interne.

În starea inițială, înainte de a fi expuse mediului coroziv, materialul de bază are o structură formată din grăunți de austenită alungiți, deformați plastic pe direcția de laminare (fig.4.29).

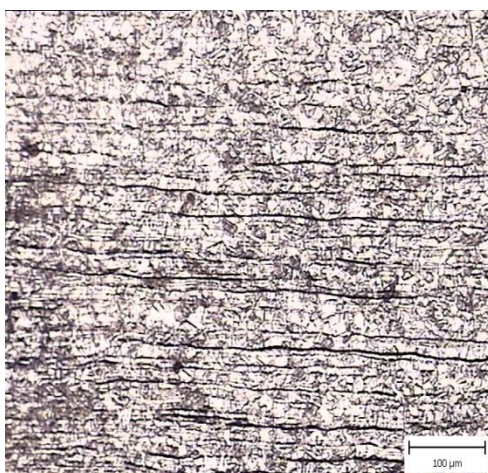


Fig.4.29, Imagine micrografică metal de bază, X5CrNi18-10, X100

În zona de influență termică îmbinarea sudată prin procedeul WIG evidențiază o structură cu grăunți echiaxiali cu macles de recoacere, în partea de sus a îmbinării (fig.4.30), la proba sudată MIG se observă o structură cu grăunți mai mari datorită aportului termic mai intens indus de procesul de sudare MIG (fig.4.31)



Fig.4.30 Imagine micrografică, zona influențată termic, probă sudată WIG oțel X5CrNi18-10, X100



Fig.4.31 Imagine micrografică, zona influențată termic, probă sudată MIG oțel X5CrNi18-10, X100

La nivelul zonei de trecere (fig.4.32 și 4.33) nu apar deosebiri structurale vis-a-vis de procedeul de sudare utilizat.

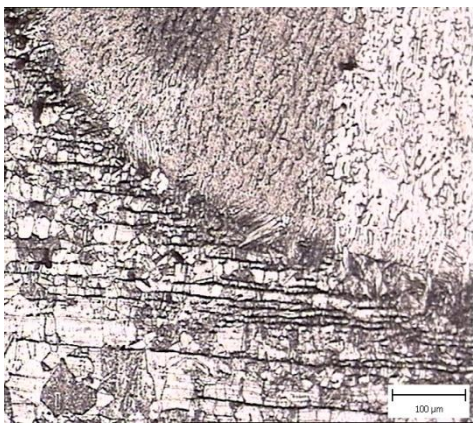


Fig.4.32 Imagine micrografică, zona de trecere, probă sudată WIG oțel X5CrNi18-10, X100



Fig.4.33 Imagine micrografică, zona de trecere, probă sudată MIG oțel X5CrNi18-10, X100

Aceleași observații se pot face și la nivelul metalului sudurii, metal ce prezintă o structură formată din grăunți columnari cu precipitări de ferită δ (fig.4.34 și 4.35). La proba sudată WIG, orientarea grăunților metalului sudurii este diferită în cele două straturi.

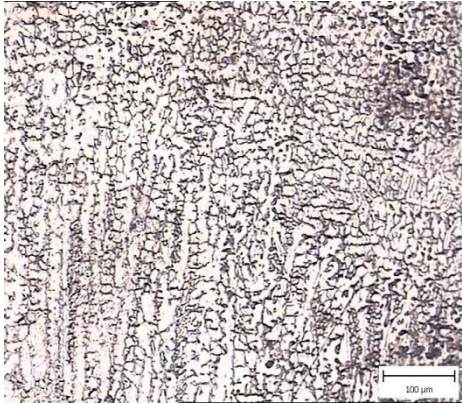


Fig.4.34 Imagine micrografică,
metal sudură, probă sudată WIG
oțel X5CrNi18-10, X100



Fig.4.35 Imagine micrografică,
metal sudură, probă sudată MIG,
oțel X5CrNi18-10, X100

4.3.1.3 Examinarea microscopică a probelor sudate supuse mediului coroziv

Mediul coroziv, rezultat în urma arderii amestecului biomasă-cărbune, este mai puțin agresiv din punct de vedere chimic pentru oțelul inoxidabil, fapt evidențiat de rezultatele analizei microscopice [47].

Structura metalului de bază (fig.4.36) este asemănătoare celei ce nu a fost supusă în mediu coroziv respectiv este formată din grăunți alungiți în direcția de laminare, sesizându-se o micșorare a granulației datorată temperaturii gazelor din incinerator.

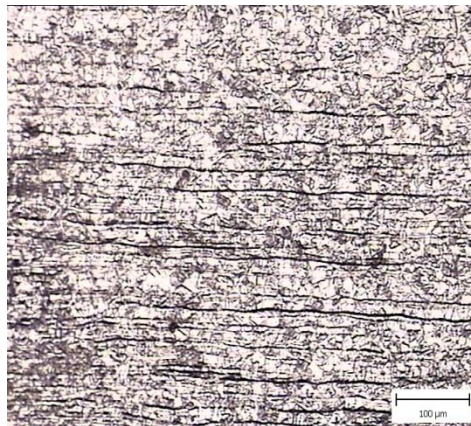


Fig.4.36 Imagine micrografică metal de bază, oțel X5CrNi18-10, după expunere în mediu coroziv, X100

Metalul din zona de influență termică suferă transformări caracteristice sub influența ciclului termic produs de operația de sudare, producându-se o creștere a granulației și apariția macrelor de recoacere (fig. 4.37-fig.4.38).



Fig.4.37 Imagine micrografică, zona de influență termică, probă sudată WIG, oțel X5CrNi18-10, X100



Fig.4.38 Imagine micrografică, zona de influență termică, probă sudată MIG oțel X5CrNi18-10, X100

Temperatura ridicată din interiorul incineratorului, favorizează apariția fenomenelor de difuzie în zona de trecere dintre metalul sudurii și zona de influență termică (fig. 4.39-fig.4.40), mai intense în cazul sudării MIG.

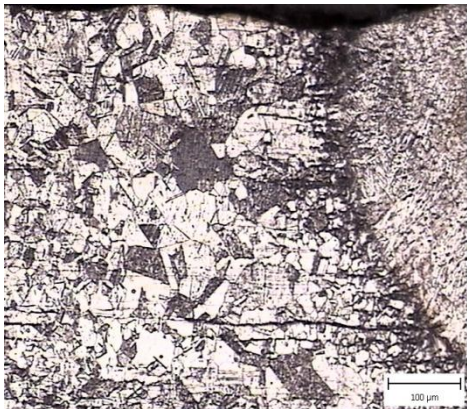


Fig.4.39 Imagine micrografică, zone de trecere, probă sudată WIG, oțel X5CrNi18-10, X100

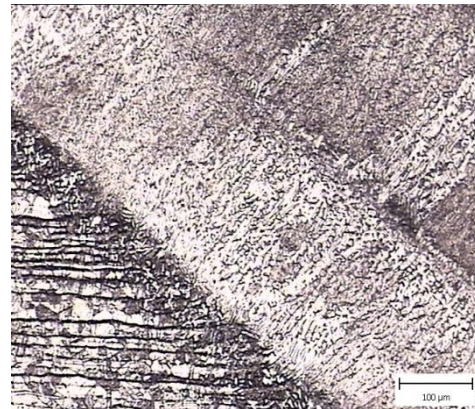


Fig.4.40 Imagine micrografică, zone de trecere, probă sudată MIG, oțel X5CrNi18-10, X100

În fig. 4.41-fig.4.42 se observă grăunții columnari, echiaxiali și precipitățile de ferită delta din metalul sudurii orientați în direcția gradientului termic.



Fig.4.41 Imagine micrografică, metal sudură probă sudată WIG, oțel X5CrNi18-10, X100

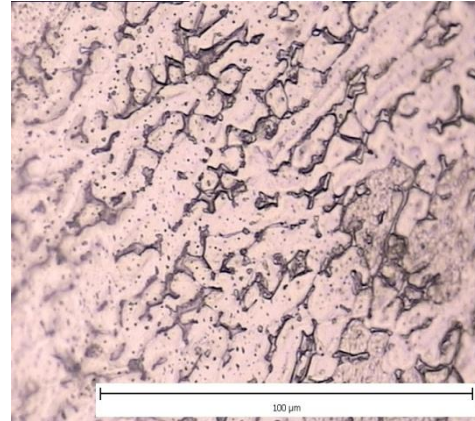


Fig.4.42 Imagine micrografică, metal sudură, probă sudată MIG, oțel X5CrNi18-10, X100

Atât la nivelul zonei de influență termică (fig.4.43) cât și la nivelul metalului sudurii (fig.4.44) pe suprafața exterioară se observă urme de coroziune, explicabile dat fiind perioada îndelungată de expunere în mediu coroziv.

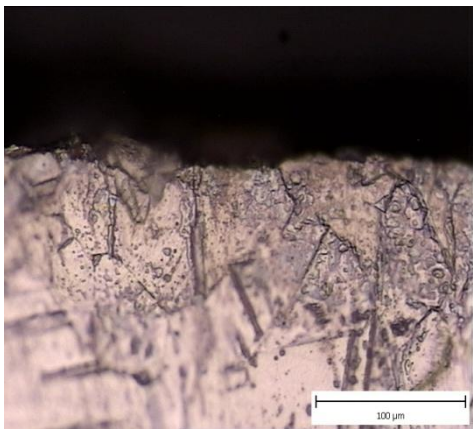


Fig.4.43 Imagine micrografică suprafață exterioară, zona de influență termică, oțel X5CrNi18-10, X100

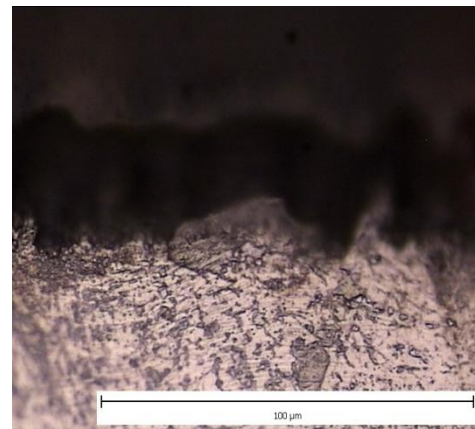


Fig.4.44 Imagine micrografică, suprafață exterioară, metal sudură, oțel X5CrNi18-10, X100

4.3.2 Încercarea epruvetelor testate în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

Analiza metalografică a epruvetelor testate în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale s-a efectuat pe un set de 2 epruvete.

Un set de epruvete, considerat ca set de epruvete de referință, a fost constituit din epruvete fără tratament și cu tratament termic, care nu au fost supuse mediului coroziv.

Cel de al doilea set a cuprins epruvete din aceleași probe sudate, fără și respectiv cu tratament termic, dar care au fost supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale. Se prezintă observațiile rezultate din examinarea comparativă a epruvetelor din cele două seturi.

4.3.2.1 Examinarea vizuală a probelor sudate după testarea în mediu coroziv

Urmare a agresivității mediului coroziv în condițiile prezentate în subcap 3.1.6.1 respectiv 3.1.6.2 se observă fenomene de coroziune accentuate extreme în cazul probelor din oțeluri inoxidabile (fig.4.45), mai puțin intense în cazul probelor sudate din aliaj Inconel 601 (fig.4.46), și nesemnificative la probele sudate din Inconel 625 (fig.4.47)



Fig.4.45 Aspectul probelor sudate din oțel inoxidabil X10CrNi18-10/AISI 304, în urma expunerii în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale, a-fața probei sudate, b-dosul probei.

În cazul probelor sudate din oțel inoxidabil, mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, caracterizat prin agresivitate chimică pronunțată coroborat cu temperatura ridicată și timpul îndelungat de menținere a favorizat procese de coroziune uniformă, coroziune în puncte, până la distrugerea totală a unor bucăți din materialul de bază și din îmbinările sudate (fig. 4.45)



Fig.4.46 Aspectul probelor sudate din Inconel 601/N06601, în urma expunerii în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale, a - fața probei sudate, b - dosul probei .



Fig.4.47 Aspectul probelor sudate din Inconel 625/N06625, în urma expunerii în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale, a-fața probei sudate, b-dosul probei

În urma controlului vizual al probelor sudate din aliaje de nichel, a fost observată coroziunea în puncte și coroziunea uniformă pe anumite porțiuni, în special în metalul de bază. Probele sudate din aliaj Inconel 625 au fost cel mai puțin afectate de procesul de coroziune

4.3.2.2 Examinarea macroscopică

Examinările macroscopice, de ansamblu ale probelor sudate pe diverse materiale în diverse condiții tehnologice au vizat evidențierea eterogenităților de structură și compoziție chimică, geometria îmbinărilor, extinderea ZIT și eventuale defecte de compactitate sau de tipul porilor, respectiv fisurilor. Epruvetele au fost

prelevate perpendicular față de axa longitudinală a îmbinărilor, fiind epruvete cu fețe transversale. După operația de șlefuire cu hârtie metalografică, probele au fost atacate chimic. Imagini macrografice ale probelor sudate înainte și după testarea în mediul coroziv sunt prezentate în figurile 4.48-4.53.

Probele sudate pe aliaje de tip Inconel 601, grosimi 3 mm, respectiv 4 mm și Inconel 625, grosime 4 mm, netratate termic (fig.4.48), evidențiază o geometrie corespunzătoare a metalului sudurii la sudarea WIG a grosimilor mici, o bună întrepătrundere a celor două rânduri de sudură, racordare corespunzătoare la metalul de bază, extindere redusă a ZIT și lipsa defectelor de continuitate.

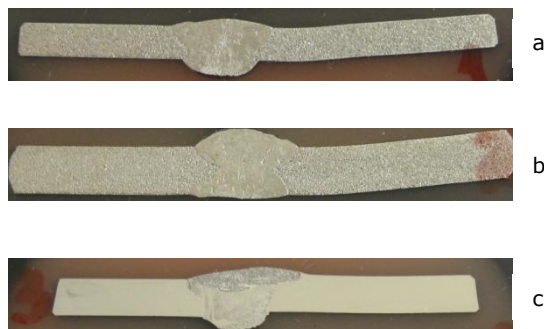


Fig.4.48 Macrografie îmbinări sudate fără tratament termic
a-Inconel 601, s=3 mm, b-Inconel 601, s=4 mm, c-Inconel 625, s=4mm

Aceleași observații pot fi făcute la respectivele probe și după tratamentul termic, cu precizarea că pe proba din Inconel 601, s=4mm, apare o incluziune nemetalică la limita dintre cele două straturi, datorate unei curățiri insuficiente (fig.4.49).

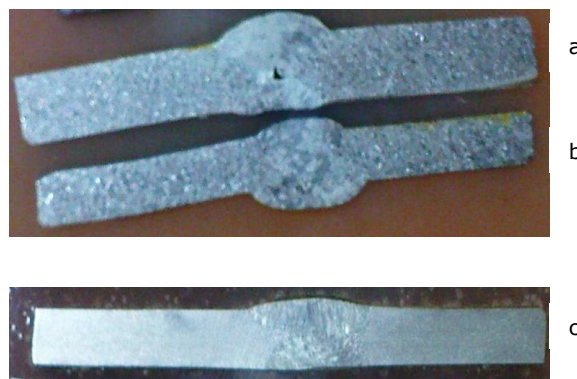


Fig.4.49 Macrografie îmbinări sudate după tratament termic
a-Inconel 601, s=4 mm, b-Inconel 601, s=3 mm, c-Inconel 625, s=4 mm

Mediul coroziv acționează în mod diferit asupra materialului probelor sudate.

La probele sudate din oțel inoxidabil, (fig.4.50) procesul de coroziune este extins pe întreaga suprafață exterioară a probelor, pe adâncimi de până la 0,8 mm, observandu-se o intensitate mai mare în zona ZIT-ului îmbinării.

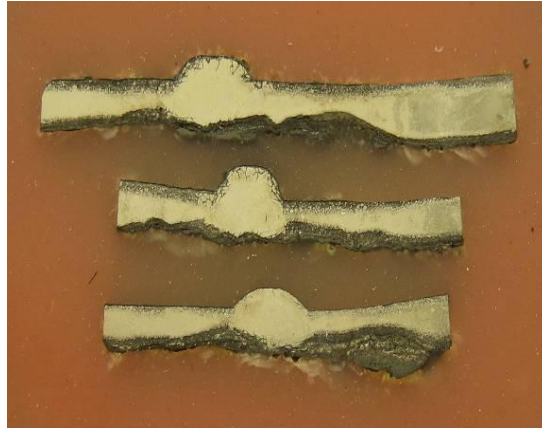


Fig.4.50 Macrografie îmbinări sudate, oțel X10CrNi18-10, după expunere 36 zile în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

Aliajele de tip Inconel prezintă rezistență la coroziune mai bună, procesul coroziv fiind mai puțin extins. La probele sudate cu grosimea de 3 mm, zona îmbinării sudate este parțial afectată de procesul de coroziune, coroziunea producându-se în mod uniform la nivelul metalului de bază pe adâncimi de până la 0,2 mm (fig.4.51).



Fig.4.51 Macrografie îmbinări sudate, Inconel 601, s=3mm, după expunere 36 zile, în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

Pentru probele sudate din același material dar cu grosimea de 4 mm, procesul coroziv pare mai intens la nivelul metalului de bază, extinzându-se pe grosimi de până la 0,3 mm, materialul din zona îmbinării fiind mai puțin afectat de procesul de coroziune (fig.4.52).



Fig.4.52 Macrografie îmbinări sudate, Inconel 601, s=4mm, după expunere 36 zile în mediu coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

Rezultatele cele mai bune s-au obținut în cazul probelor sudate din aliajul Inconel 625, s=4 mm, la care procesul de coroziune este nesemnificativ atât la nivelul metalului de bază cât și la nivelul îmbinării sudate (fig.4.53). De remarcat și forma convenabilă a îmbinării sudate, ce permite o trecere insensibilă de la metalul de bază la îmbinare.

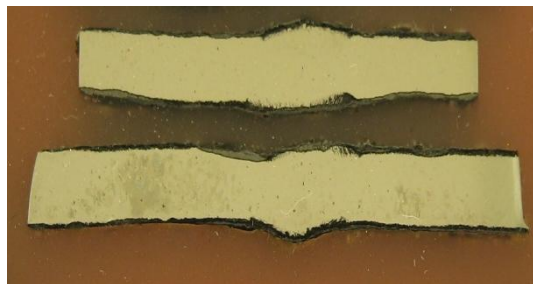


Fig.4.53 Macrografie îmbinări sudate, Inconel 625, s=4mm, după expunere 36 zile în mediu coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

4.3.2.3 Analiza microscopică a probelor sudate nesupuse mediului coroziv - setul I de epruvete

Examinările microscopice sunt investigații de detaliu care permit aprecierea calității structurii îmbinărilor sudate, fiind recomandate în mod deosebit la aprecierea procesului de coroziune chimică în diverse medii corozive.

Examinarea probelor sudate ce nu au fost supuse tratamentului termic permit aprecierea corectitudinii procesului de sudare aplicat.

Probele sudate din aliaj Inconel 601, prezintă structuri caracteristice procesului de sudare și materialelor utilizate. În materialul de bază se observă o structură caracteristică formată din grăunți poliedrici cu macles de recristalizare (fig.4.54).

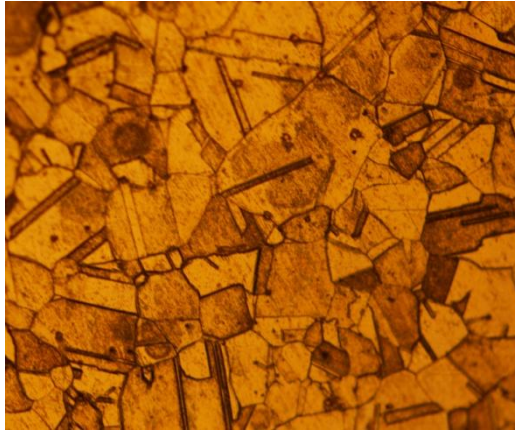


Fig.4.54 Imagine micrografică metal de bază, Inconel 601, fără tratament termic, X200

Ciclul termic indus de procesul de sudare provoacă modificări structurale caracteristice. La nivelul zonei de trecere se observă o creștere a grăunților poliedrici (fig.4.55), remarcându-se o bună continuitate între metalul de bază și metalul sudurii atât la nivelul rândului superior (fig.4.55.a) cât și la nivelul rândului inferior (fig. 4.55.b).

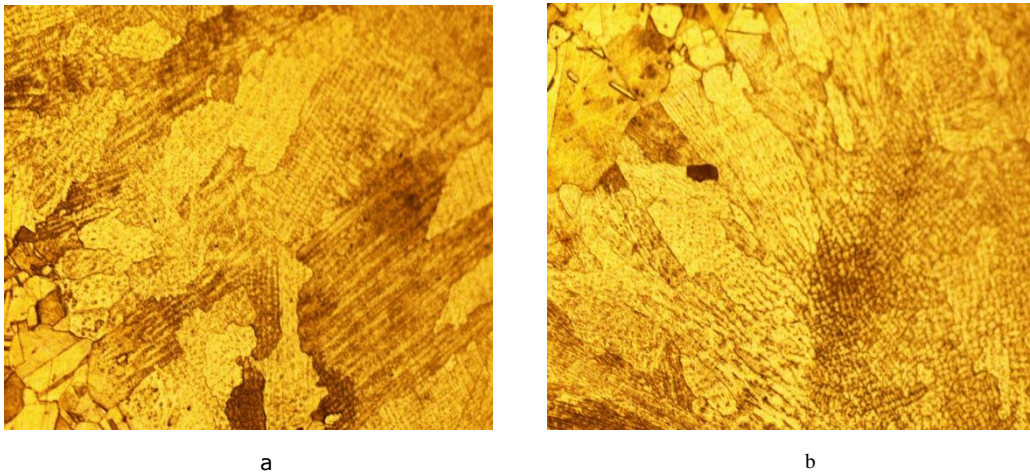


Fig.4.55 Imagine micrografică zona influențată termic, Inconel 601, fără tratament termic, X100, a - rând superior, b- rând inferior

Procesul de solidificare a băii de sudură conduce la obținerea unei structuri tipice de solidificare, formată din grăunți columnari, cu structură dendritică (fig.4.56) orientați în direcția gradientului termic, dezvoltați pe grăunții metalului de bază.

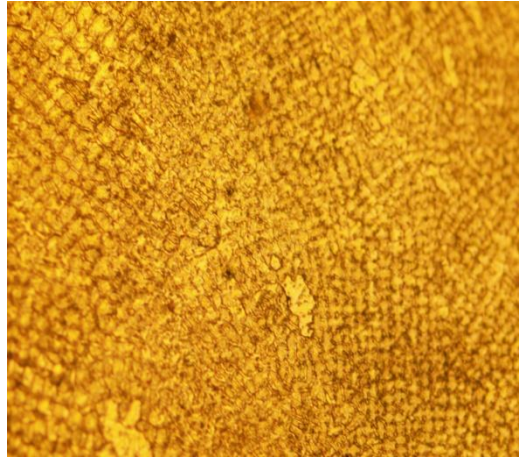


Fig.4.56 Imagine micrografică metal sudură, Inconel 601, fără tratament termic, X200

Observații asemănătoare se pot face și în cazul probelor sudate din Inconel 625. Metalul de bază prezintă o structură formată din grăunți poliedrici de soluție solidă cu macule de deformare-recoacere, fara precipitări de faze secundare (fig.4.57).

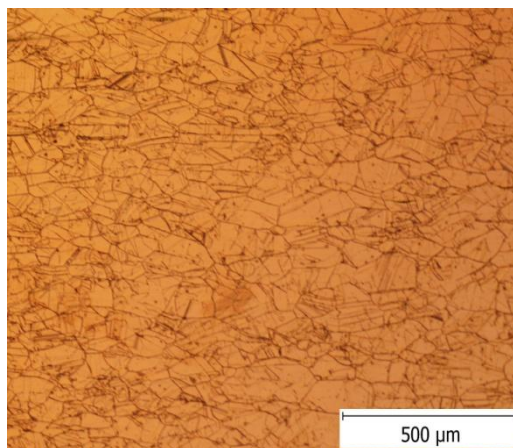


Fig.4.57 Imagine micrografică a metalului de bază, Inconel 625, fără tratament termic

La nivelul zonei de influență termică se evidențiază creșterea grăunților poliedrici (fig.4.58), trecerea de la metalul de bază la metalul sudurii, evidențiază grăunți columnari cu structură dendritică dezvoltăți pe grăunții poliedrici ai metalului de bază, în zona de trecere sesizându-se separări de faze secundare (fig.4.59).

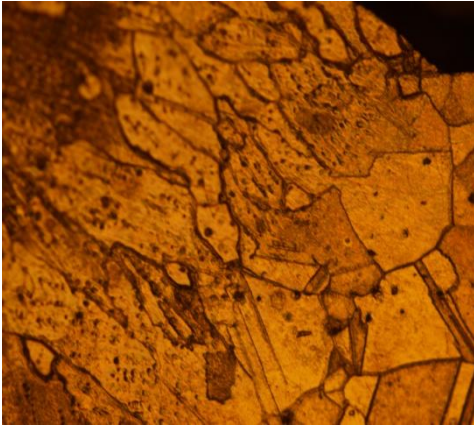


Fig.4.58 Imagine micrografică zonă influențată termic, Inconel 625, fără tratament termic, X200

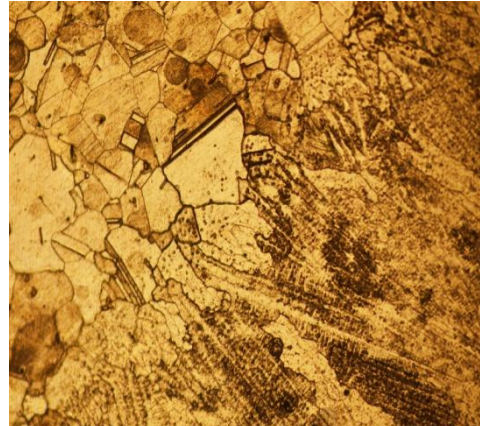


Fig.4.59 Imagine micrografică zonă de trecere, Inconel 625, fără tratament termic, X200

Solidificarea bii metalice favorizează formarea unor grăunți columnari cu dendridele orientate în direcția vitezei de răcire (fig.4.60). Viteza de răcire superioară de la suprafața băii conduce la creșterea grăunților, la suprafața exterioară a sudurii observându-se o structură dendritică cu grăunți columnari mari (fig.4.61).

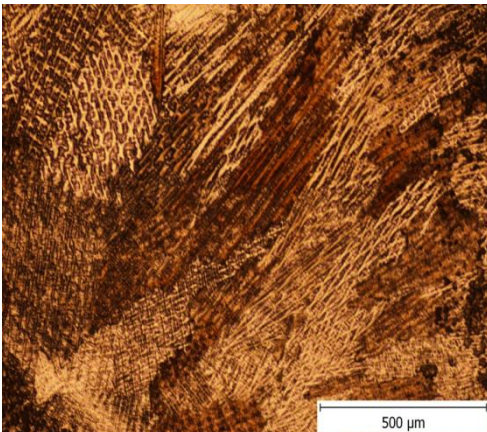


Fig.4.60 Imagine micrografică metal sudură, Inconel 625, fără tratament termic, X200

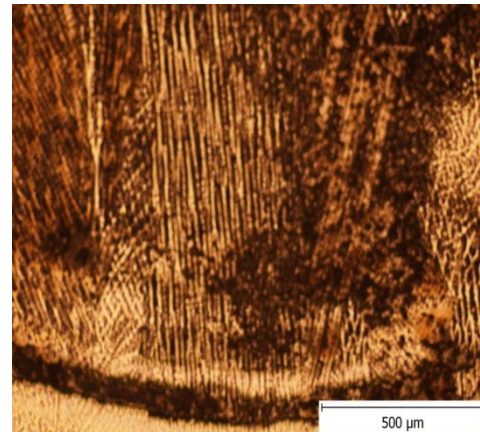


Fig.4.61 Imagine micrografică zonă exterioară sudură, Inconel 625, fără tratament termic, X200

Tratamentul termic aplicat cu scopul omogenizării structurii și uniformizării tensiunilor interne, nu modifică esențial tipul și mărimea constituenților structurali, fiind de sesizat separări de fază secundare la limita grăunților în cazul probelor executate din aliaj Inconel 601. Separările de fază secundară la limita grăunților, relativ pronunțate la nivelul metalului de bază Inconel 601(fig.4.62.a), sunt

observabile prin limitele mai întunecate dintre grăunți. Nu se sesizează separări de fază secundară în cazul metalului de bază Inconel 625(fig.4.62.b).

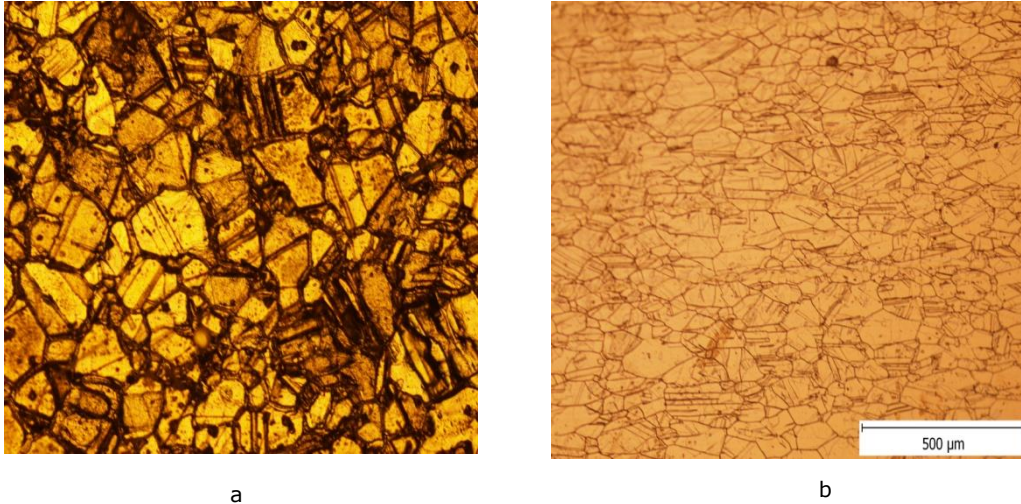


Fig.4.62 Imagine micrografică metal de bază, după treatment termic, X200, a - Inconel 601, b - Inconel 625

Separările de fază secundară sunt mai puțin pronunțate la nivelul ZIT-ului (fig.4.63.a) și metalului sudurii (fig.4.64.a) probelor realizate din aliaj Inconel 601.

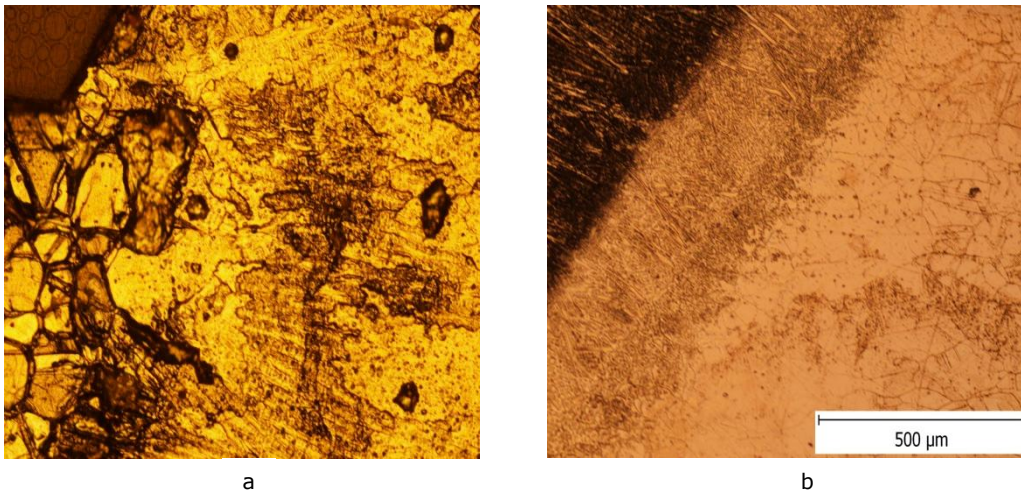


Fig.4.63 Imagine micrografică zona influențată termic, după tratament termic, X200, a- Inconel 601, b- Inconel 625

În ZIT-ul probelor sudate din aliaj Inconel 625 este de sesizat creșterea grăunților ceea ce duce la o structură de supraîncălzire (fig.4.63.b). Nu se observă separări de faze secundare. Structură caracteristică de solidificare cu grăunții columnari orientați pe direcția gradientului termic, fără precipitați de faze secundare

se observă la nivelul metalului sudurii probelor realizate din aliaj Inconel 625 (fig.4.64.b).

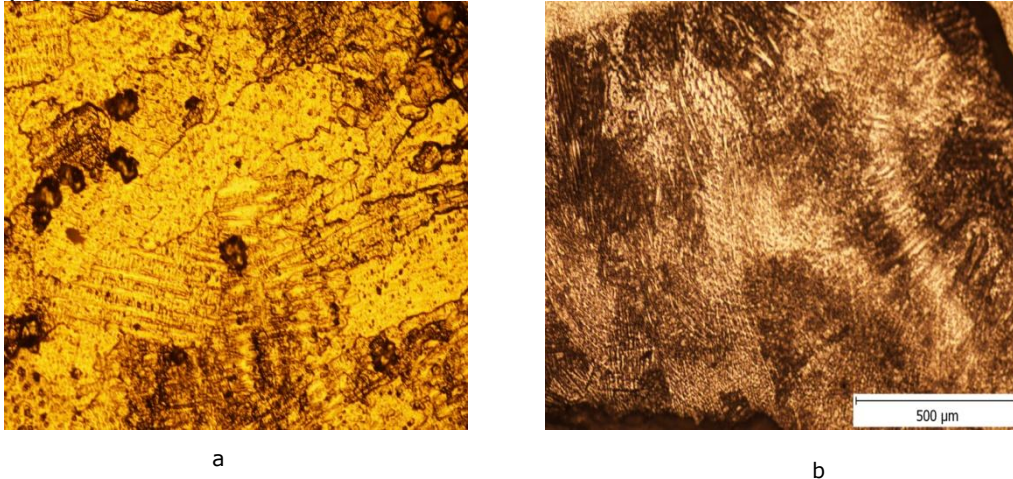


Fig.4.64 Imagine micrografică metal sudură, după tratament termic, X200,
a - Inconel 601, b- Inconel 625

Se poate concluziona că tratamentul termic efectuat nu influențează semnificativ structura îmbinărilor sudate relativ la tipul și mărimea constituenților structurali din diversele zone ale îmbinării sudate. Prezența unor separări de fază secundare la probele realizate din aliaj Inconel 601, se datorează temperaturii atinse pe parcursul tratamentului termic.

Evident că prin tratamentul termic recomandat structurilor sudate la care temperatura de lucru depășește 850-900 °C se uniformizează tensiunile interne și se armonizează proprietățile de plasticitate cu cele de rezistență mecanică.

4.3.2.4 Analiza microscopică a probelor sudate supuse mediului coroziv - setul II de epruvete

Agresivitatea mediului coroziv dată de diversitatea compoziției chimice a gazelor rezultate la incinerarea deșeurilor speciale, temperatura ridicată și timpul îndelungat de expunere a probelor au generat procese de coroziune mai intense sau mai puțin intense, indiferent de materialul probelor sudate.

Procesele de coroziune sunt intense în cazul oțelurilor inoxidabile, de tip X5CrNi18-10, ele manifestându-se în toate zonele îmbinărilor sudate. La nivelul metalului de bază cu structura formată din grăunți poliedrici, procesul de coroziune se dezvoltă puternic la suprafața în contact cu mediul coroziv (fig.4.65), scăzând în intensitate pe grosimea materialului (fig.4.66).

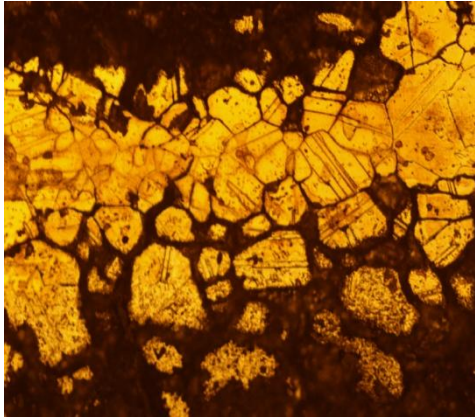


Fig.4.65 Imagine micrografică,
metal de bază, strat de suprafață
oțel X5CrNi18-10, X100

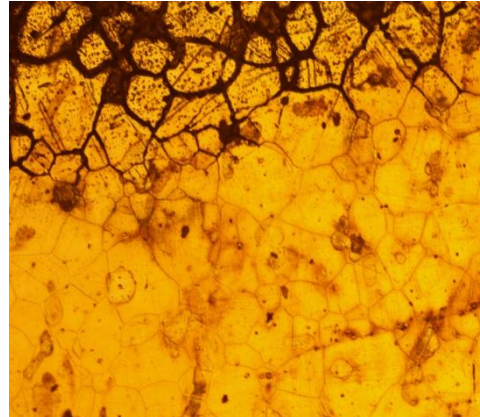


Fig.4.66 Imagine micrografică,
metal de bază în profunzime
oțel X5CrNi18-10, X100

Procesul de coroziune se manifestă mai puțin intens la nivelul zonei de trecere (fig.4.67), metalul sudurii, în partea stângă a imaginii pare a stopa procesul de coroziune.

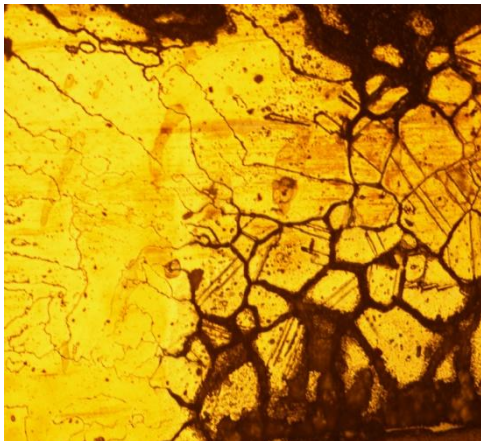


Fig.4.67 Imagine micrografică,
zona de trecere,
oțel X5CrNi18-10, X100

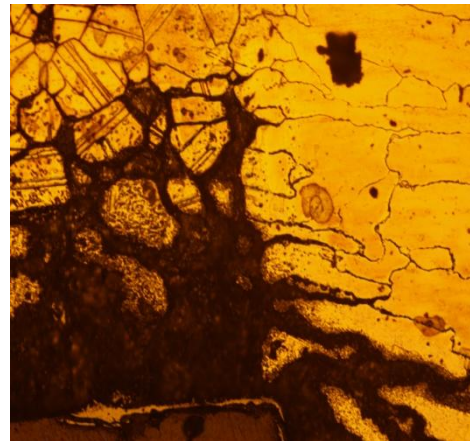


Fig.4.68 Imagine micrografică,
zona influențată termic,
oțel X5CrNi18-10, X100

La nivelul zonei de influență termică, procesul de corodare pare a fi la fel de intens ca și la nivelul metalului de bază (fig.4.68).

Metalul sudurii relevă o rezistență la coroziune mai bună comparativ cu metalul de bază. Și în această zonă a îmbinării procesul de coroziune este mai pronunțat la suprafața sudurii în contact cu mediul coroziv (fig.4.69), el descrescând în intensitate pe grosimea sudurii fiind nesemnificativ în zona centrală a sudurii.(fig.4.70)

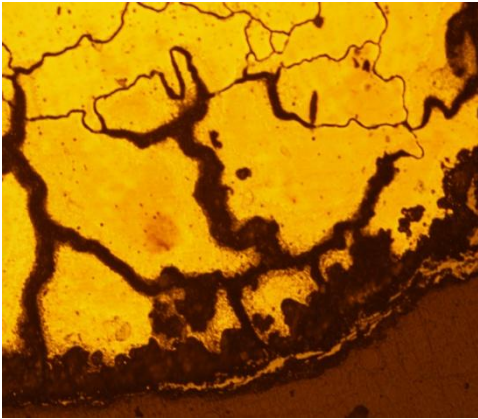


Fig.4.69 Imagine micrografică, metal sudură zona exterioară, oțel X5CrNi18-10, X100

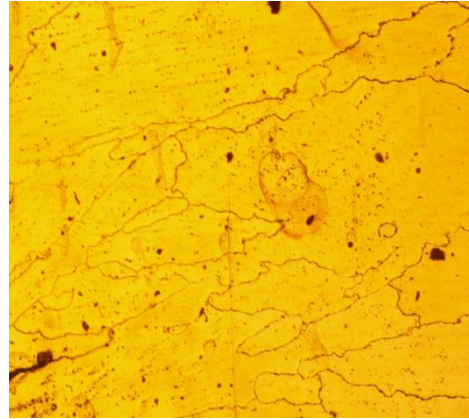


Fig.4.70 Imagine micrografică, metal sudură, zona centrală, oțel X5CrNi18-10, X100

Așa cum era de așteptat, aliajele de nichel prezintă o rezistență la coroziune mai bună, în mediul coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale. Deși condițiile de mediu coroziv au fost identice, probele sudate din grosimi diferite s-au comportat diferit.

Probele cu grosimea de 3 mm, au prezentat rezistență la coroziune mai bună comparativ cu cele de 4 mm, fapt observat și din imaginile macroscopice (§ 4.3.2.2).

Metalul de bază, Inconel 601, prezintă în structură grăunți poligonali, echiaxiali cu macle de recoacere, datorate deformației plastice la rece, laminării și încălzirii ulterioare datorită ciclului termic al sudării (fig.4.71). Procesul de coroziune este redus ca intensitate, manifestat doar pe suprafața în contact cu mediul coroziv (fig.4. 72), în partea de jos a imaginii.

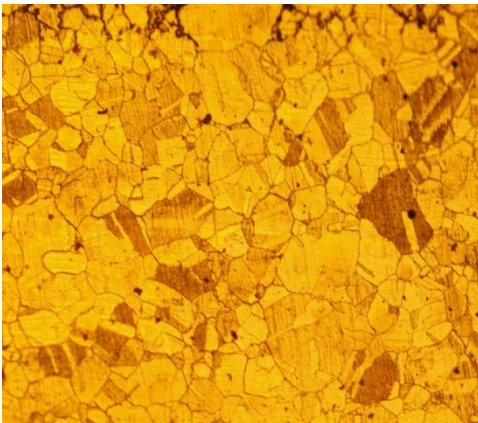


Fig.4.71 Imagine micrografică, metal de bază, Inconel 601, s=3 mm, X100

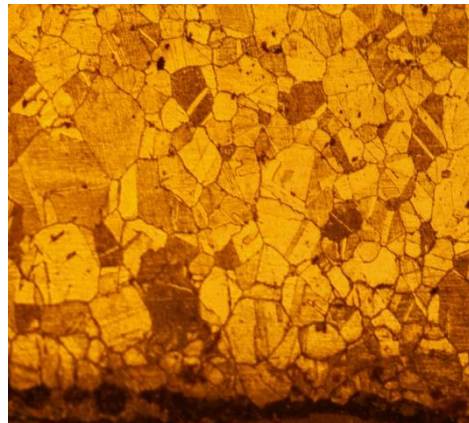


Fig.4.72 Imagine micrografică, metal de bază, zonă exterioară, Inconel 601, s=3 mm, X100

Zona de trecere delimitează vizibil ZIT-ul alcătuit din grăunți poliedrici cu macle de recristalizare, în partea stângă jos a imaginii, de metalul sudurii cu structură dendritică de solidificare orientată în direcția gradientului termic, partea dreaptă sus a imaginii.(fig.4.73)

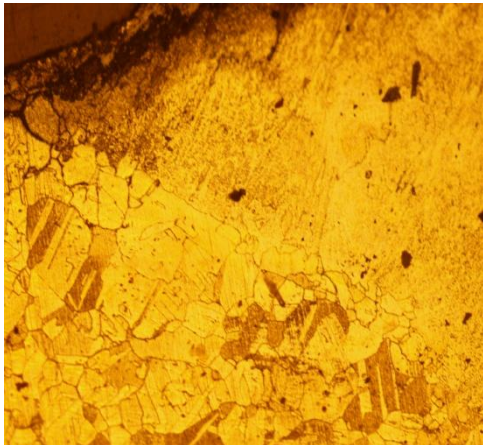


Fig.4.73 Imagine micrografică, zona de trecere, Inconel 601, s=3 mm, X100

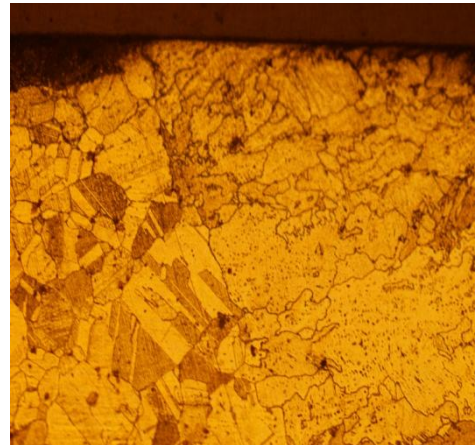


Fig.4.74 Imagine micrografică, zona influențată termic, Inconel 601, s=3 mm, X100

Urme de coroziune intercristalină sunt sesizabile și la acest nivel, observabile la limita de separație dintre metalul sudurii și cel al zonei de influență termică.

Zona de influență termică (fig.4.74), suferă transformare generată de ciclul termic al sudării, în sensul ca se observă o creștere a grăunților poliedrici, pe care sunt dezvoltați grăunții columnari cu margini neregulate ai metalului sudurii, în partea dreaptă a imaginii.

Aceiași intensitate redusă a procesului de coroziune se observă și la nivelul metalului sudurii, pe suprafețele în contact cu mediul coroziv. La partea superioară a metalului sudurii, viteza de solidificare specifică procesului de sudare favorizează formarea unor grăunți columnari cu margini neregulate cu structură dendritică în interiorul grăunților, zona exterioară corodată fiind puțin extinsă (fig.4.75).

În interiorul metalului sudurii procesul de coroziune este absent, în structura formată din grăunți columnari cu margini neregulate specifică procesului de solidificare la sudare se sesizează ușoare precipitări de faze secundare în interiorul grăunților, punctele mai întunecate la culoare din interiorul grăunților (fig.4.76). Aceleași observații se pot face și pentru zona centrală a celei de a 2-a trecere (fig.4.77).

În partea inferioară a îmbinării structura metalului sudurii este formată din grăunți columnari cu margini neregulate, urmare a procesului de solidificare cu viteză mare specifică la suprafața băii.

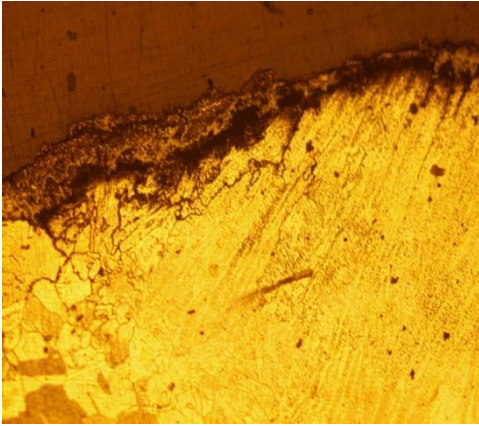


Fig.4.75 Imagine micrografică, metal sudură suprafață exterioară, Inconel 601, s=3 mm, X100

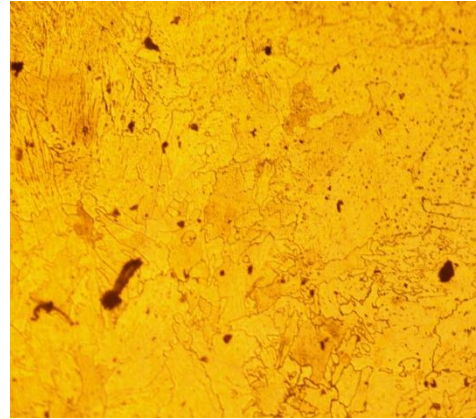


Fig.4.76 Imagine micrografică, metal sudură zona centrală, Inconel 601, s=3 mm, X100

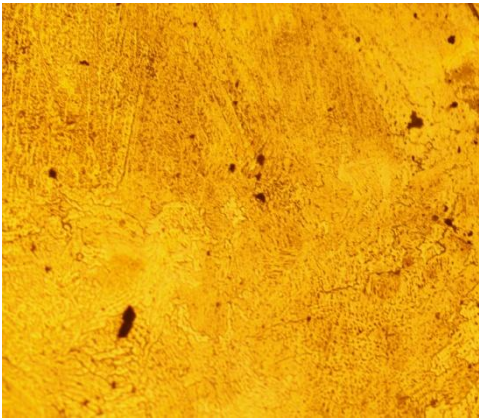


Fig.4.77 Imagine micrografică, metal sudură, zonă centrală, a 2-a trecere, Inconel 601, s=3 mm, X100

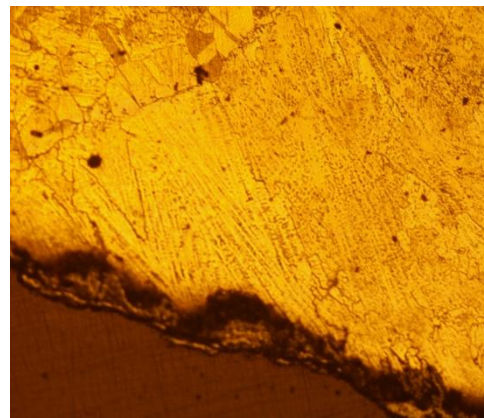


Fig.4.78 Imagine micrografică, metal sudură, suprafață inferioară, Inconel 601, s=3 mm, X100

În zona de trecere, în stânga sus a imaginii(fig.4.78), se produce o creștere a grăunților echiaxiali cu macle de recoacere datorate ciclului termic al sudării, graunții de pe care pornesc grăunții metalului sudurii formați prin solidificarea băii. Și la acest nivel, pe suprafața inferioară a metalului sudurii se observă ușoare urme de coroziune.

Analiza metalografică efectuată pe șlifuri metalografice prelevate din probele sudate din același material, Inconel 601, cu grosimea de 4 mm, a evidențiat procese de coroziune mai intense. Imaginea micrografică din figura 4.79, redă suprafața superioară a metalului de bază pe care se observă procese de coroziune intercristalină, extinse pe o adâncime mai mare decât la grosimea de 3 mm.

În continuare în structura metalului de bază, se evidențiază aceiași grăunți poligonali cu macle de recristalizare (fig.4.80).

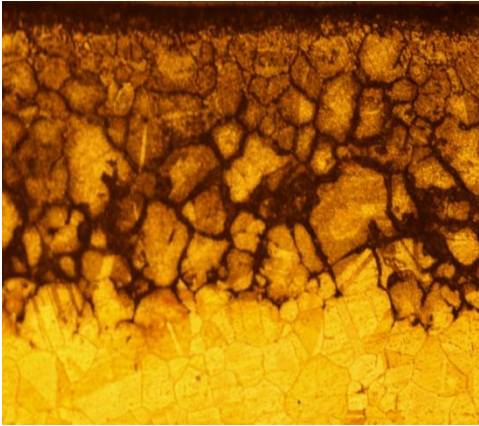


Fig.4.79 Imagine micrografică, metal de bază, suprafață superioară, Inconel 601, s=4 mm, X100



Fig.4.80 Imagine micrografică, metal de bază, zona centrală, Inconel 601, s=4 mm, X100



Fig.4.81 Imagine micrografică, metal de bază, zona centrală, Inconel 601, s=4 mm, X100

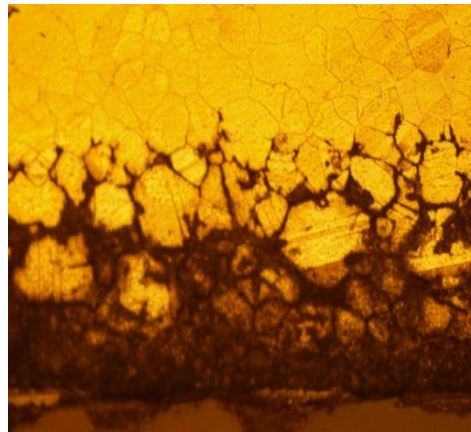


Fig.4.82 Imagine micrografică, metal de bază, suprafață inferioară, Inconel 601 s=4 mm, X100

Pe partea inferioară, probabil zona de contact a probei cu suportul de susținere a probelor, procesul de coroziune intercrystalină este extins pe o adâncime mai mică (fig.4.82).

Procese de coroziune reduse se remarcă și la suprafața ZIT-ului (fig.4.83), extinse aproximativ pe aceeași grosime ca și la nivelul metalului de bază. În profunzimea ZIT-ului structura este caracteristică zonei, grăunții echiaxiali cu macle de recristalizare de granulație crescută datorată ciclului termic al sudării (fig.4.84). De pe respectivii grăunți pornesc grăunții metalului sudurii formați prin solidificarea băii de sudură.

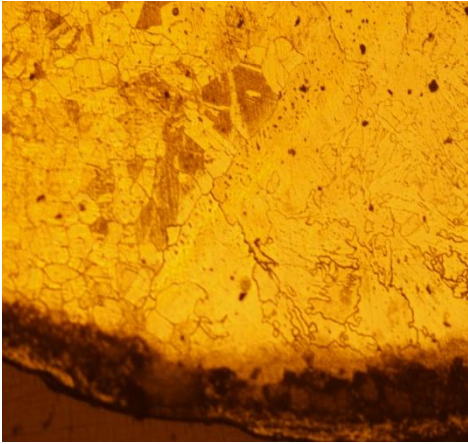


Fig. 4.83 Imagine micrografică, zona influențată termic, suprafață exterioară Inconel 601, s=4 mm, X100

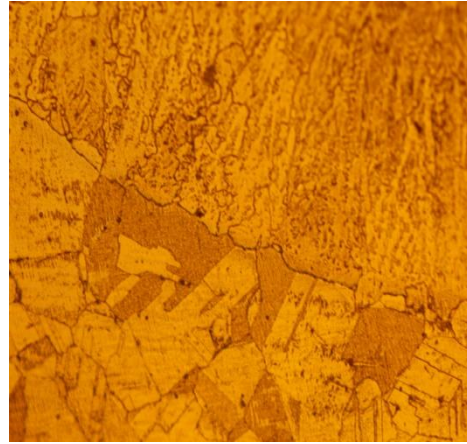


Fig. 4.84 Imagine micrografică, zona influențată termic, zona centrală Inconel 601, s=4 mm, X100

La grosimea de 4 mm la nivelul metalului sudat fenomenele de coroziune intercristalină de pe fețele în contact cu mediul coroziv sunt mai puțin extinse pe adâncime, comparativ cu celelalte zone ale îmbinării, fiind comparabile ca extindere cu cele produse la grosimea, s=3 mm (fig. 4.85-fig.4.88).

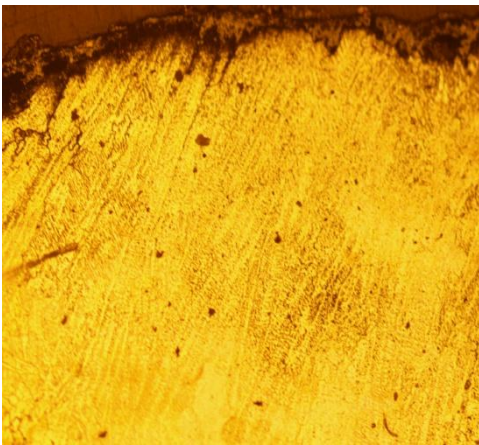


Fig. 4.85 Imagine micrografică, metal sudură, suprafață superioară, Inconel 601, s=4 mm, X100

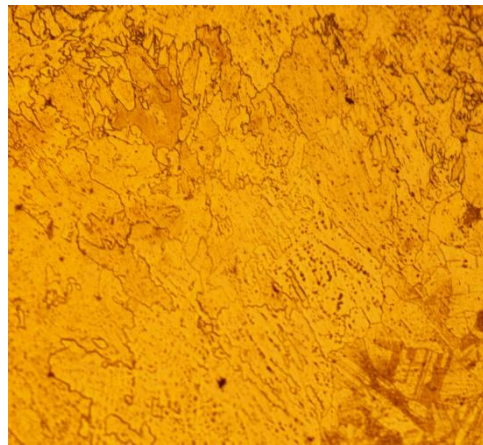


Fig. 4.86 Imagine micrografică, metal sudură, zonă centrală, Inconel 601, s=4 mm, X100

Procesul de coroziune în interiorul metalului sudurii este absent, fiind sesizate ușoare precipitări de faze secundare în interiorul grăunților, punctele mai întunecate la culoare din interiorul grăunților (fig. 4.86-fig.4.87).

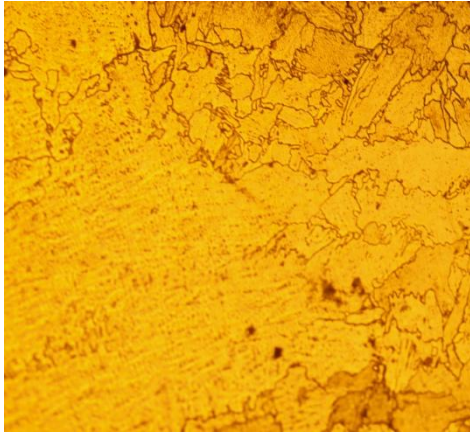


Fig.4.87 Imagine micrografică,metal sudură, zonă centrală, Inconel 601, s=4 mm, X100

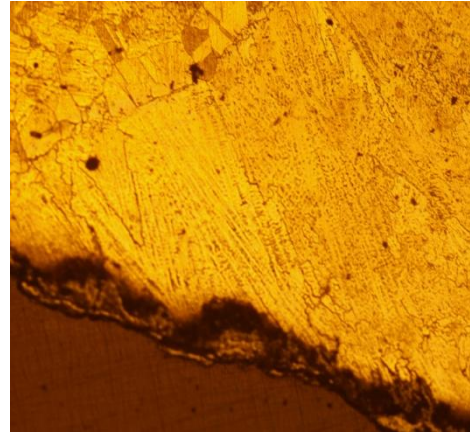
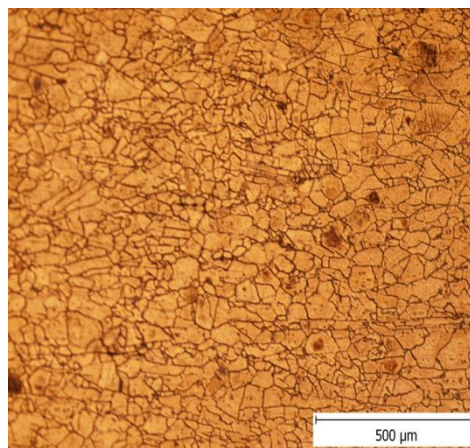
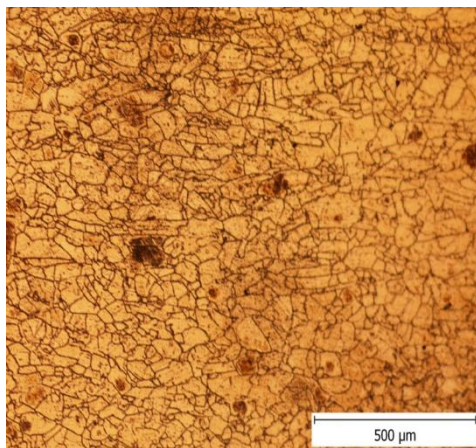


Fig.4.88 Imagine micrografică,metal sudură, suprafață inferioară, Inconel 601, s=4 mm, X100

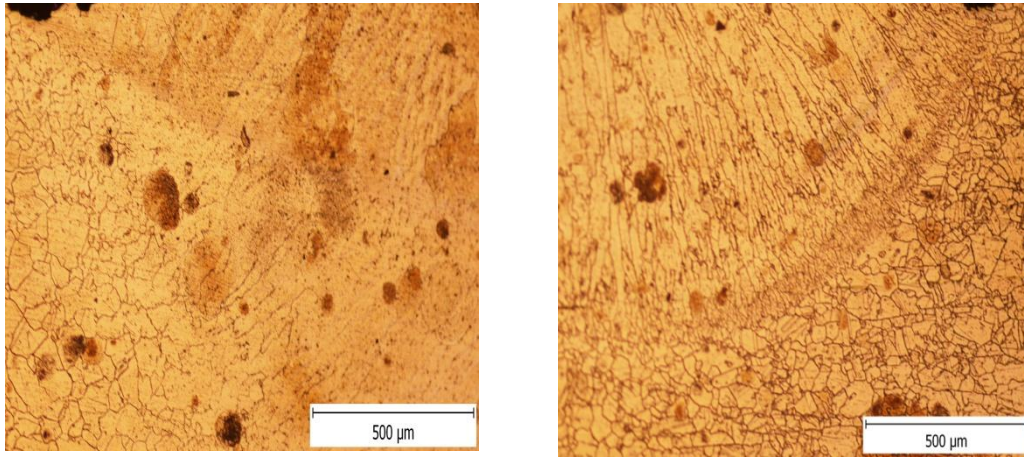
Observația este susținută de faptul că la execuția sudurilor s-a utilizat același metal de adaos, sârma LNT/LNM NiCro 70/19, iar condițiile tehnologice au fost similare.

Aliajul Inconel 625 prezintă o bună rezistență la coroziune în prezența gazelor rezultate din incinerarea deșeurilor speciale, fapt evidențiat de analiza metalografică, efectuată în diversele zone ale îmbinării sudate. Diferențieri apar relativ la starea inițială a probelor, netratate termic, respectiv tratate termic.



a b
Fig.4.89 Imagine micrografică, metal de bază, Inconel 625, s=4 mm, a-fără tratament termic, b-cu tratament termic

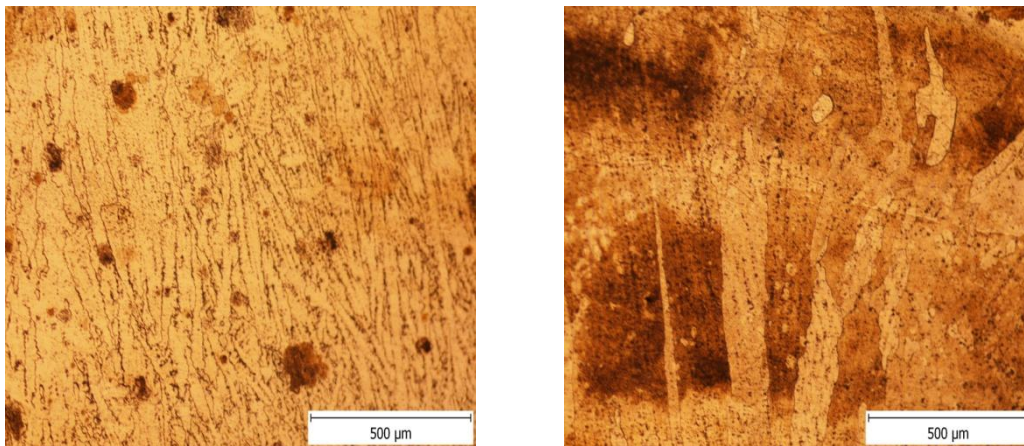
Metalul de bază, aliaj Inconel 625, are o structură formată din grăunți poliedrici ușor alungini pe direcția de laminare, în stare netratată termic (fig. 4.89.a) observându-se ușoare precipitări de faze secundare, situație neobservabilă la proba tratată termic (fig.4.89.b)



a b
Fig.4.90 Imagine micrografică, zona influențată termic, Inconel 625, s=4 mm
a-fără tratament termic, b-cu tratament termic

Zona de trecere delimitează vizibil ZIT-ul alcătuit din grăunți poliedrici mari, caracteristici zonei de supraîncălzire, partea din dreapta jos a imaginilor, de metalul sudurii, cu structură dendritică de solidificare orientată pe direcția gradientului termic, partea stânga sus a imaginilor (fig. 4.90). Și la acest nivel influența tratamentul termic, anterior exploataării/supunerii procesului coroziv este evidentă, cantitatea de fază secundară fiind mai mare la proba netratată termic (fig.4.90.a)

La nivelul metalului sudurii procesul de coroziune este absent, în structura formată din grăunți columnari, specifică procesului de solidificare al băii de sudură, se sesizează ușoare precipitări de faze secundare în interiorul grăunților, la proba sudată netratată termic (fig.4.91.a).



a b
Fig.4.91 Imagine micrografică, metal sudură, Inconel 625, s=4 mm
a-fără tratament termic, b-cu tratament termic

5.CONDIȚII DE EXPLOATARE PENTRU MINIMALIZAREA PROCESULUI DE COROZIUNE

5.1. Generalități

Rezultatele obținute pe probele sudate supuse coroziunii în incineratoarele de ardere biomasă-cărbune, respectiv incineratoarele de deșeuri speciale, relativ la valorile caracteristicilor mecanice: duritate, rezistență la rupere, alungirea la rupere și rezultatele analizei microstructurale, au sugerat necesitatea aprecierii condițiilor de exploatare care să conducă la minimalizarea procesului de coroziune a materialelor și a îmbinărilor sudate din componența reperelor incineratoarelor.

În această idee s-a apelat la programul statistic MINITAB [91], program bazat pe planificarea experimentelor pentru a studia modul de comportare al proceselor.

Planificarea experimentelor s-a efectuat în vederea modificării factorilor de control, respectiv variabilele controlate ale procesului, cu scopul de a urmări modificările care vor apărea în răspunsul procesului. Utilizând acest program, cu datele rezultate în urma încercărilor probelor sudate și a condițiilor ce definesc mediul coroziv: temperatură, timp de menținere, concentrația gazelor de ardere CO_2 , CO , SO_2 , date prezentate în Anexele 2, 3, 4 și 5 s-a definit modelul matematic. Se menționează că ponderea factorilor de control asupra rezultatelor analizei s-a coantificat cu cifre de la 1-5.

Pentru celelalte mărimi analizate, s-au utilizat valorile obținute în urma măsurătorilor pe probele sudate în diverse faze ale cercetării: probe sudate netratate termic, probe sudate tratate termic, probe sudate supuse gazelor de ardere rezultate din arderea amestecului biomasă-cărbune, respectiv probe sudate supuse gazelor de ardere din incinerarea deșeurilor speciale.

Evidențierea corespondenței între modelul matematic și condițiile reale de funcționare, s-a realizat prin metode grafice: histograme, determinari grafice ale normalității, metode de regresie. S-a dorit ca prin experimentele realizate să se determine care dintre variabilele controlate/factorii de control, influențează răspunsul procesului.

5.2. Îmbinare pe probe sudate din oțel inoxidabil, X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Utilizând ca date de intrare valorile caracteristicilor mecanice și ale analizei microstructurale determinate pe probele experimentale și precizând ca factori de control: temperatura, timpul de menținere, concentrația gazelor de ardere: CO_2 și SO_2 , (Anexa 2), prin rularea programului se obțin informații referitoare la influența factorilor de control asupra caracteristicilor mecanice și a analizei microstructurale a oțelului inoxidabil, X5CrNi18/10 supus mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune.

5.2.1. Influența factorilor de control asupra durității probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Analizând graficele reziduale pentru duritate (fig.5.1), se observă că există o distribuție normală a valorilor durității în cadrul procesului. Histograma rezultată descrie dispersia valorilor durității, ca fiind o distribuție normală.

Distribuția aleatoare a punctelor între limitele de control, arată că procesul este în control, respectiv nu există factori perturbatori care să deregleze procesul.

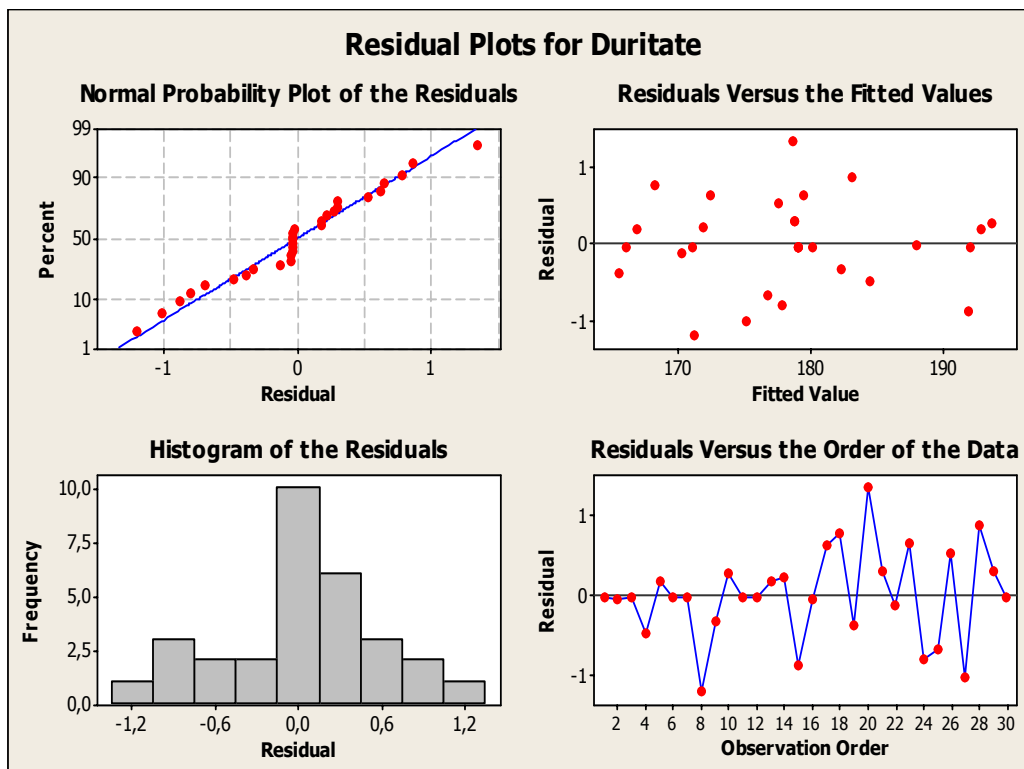


Fig.5.1. Graficele reziduale pentru duritatea probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Rularea programului conduce la concluzia că modelul matematic include foarte bine punctele experimentale, rata de încredere fiind de cca. 99% (Anexa 6).

Un efect semnificativ asupra durității oțelului inoxidabil, X5CrNi18/10 îl au factorii de control care au $p < 0,05$: timpul de menținere, concentrația SO_2 , și interacțiunile de ordinul doi $CO_2 * CO_2$, $SO_2 * SO_2$, temperatură*timp de menținere, temperatură* CO_2 și timp de menținere* CO_2 .

Analiza experimentelor scoate în evidență ca regresia liniară este semnificativă la fel și interacțiunile. Rezultatele obținute relativ la influența factorilor de control asupra durității sunt prezentate în figura 5.2.

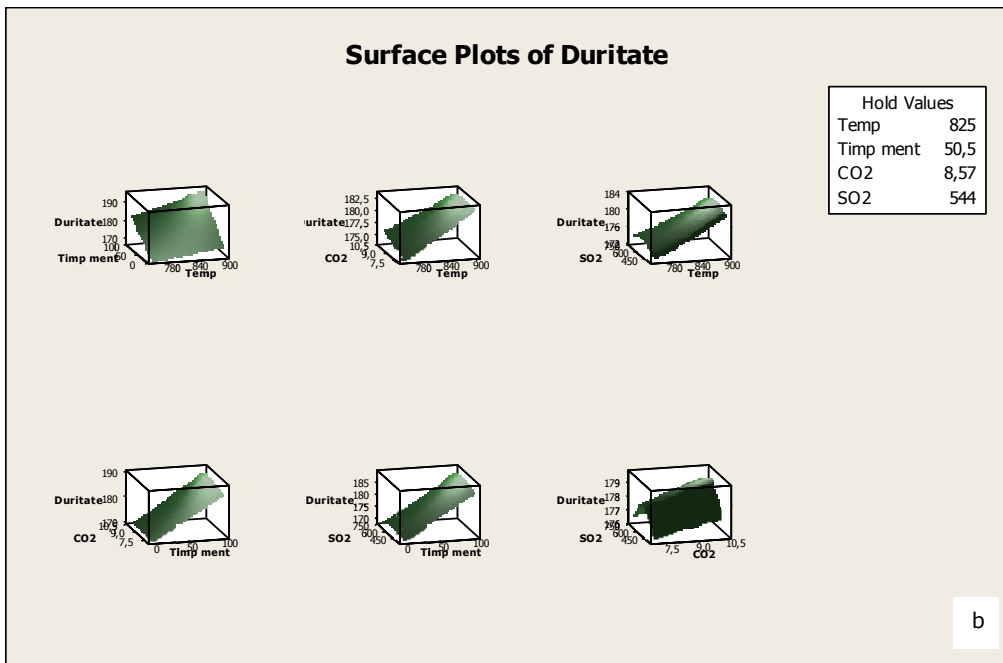
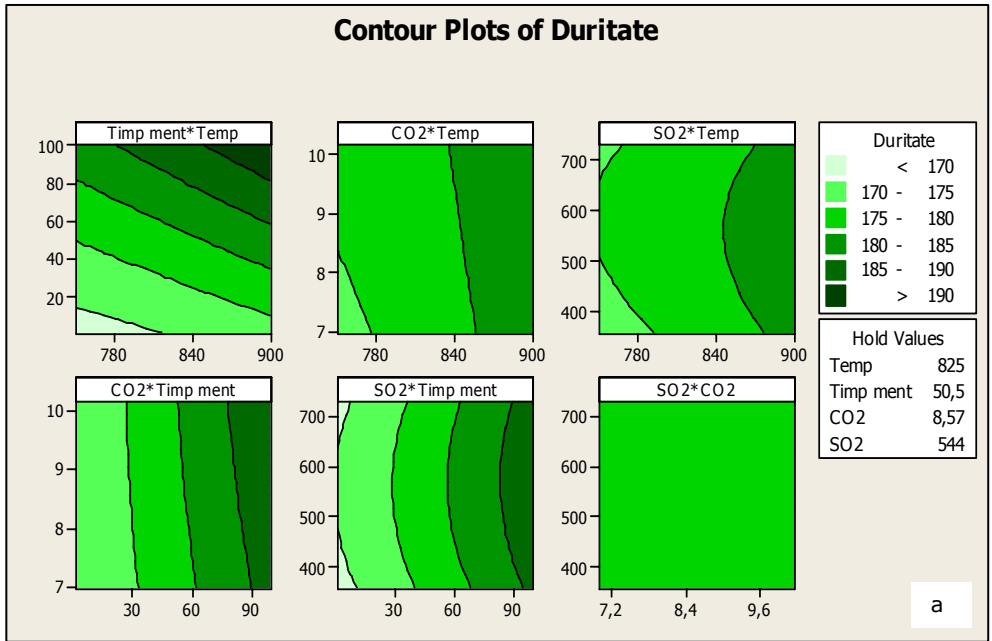


Fig.5.2 Influența factorilor de control asupra drității probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune
a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

Din fig.5.2 se observă că timpul de menținere și temperatura sunt factori care influențează semnificativ duritatea materialului. Acțiunea gazelor oxidante devine semnificativă la creșterea temperaturii, respectiv a timpului de menținere. Valori mari pentru duritate, $HV_{0,2} > 190$, se obțin atunci când proba sudată este expusă mai mult de 90 de zile la temperaturi peste 900 °C.

5.2.2. Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Determinarea grafică a normalității procesului arată că există o relativă abatere de la distribuția normală, respectiv apariția unor discrepante care apar în date, transpuse și prin existența unor goluri în histograma de dispersie a valorilor (fig.5.3).

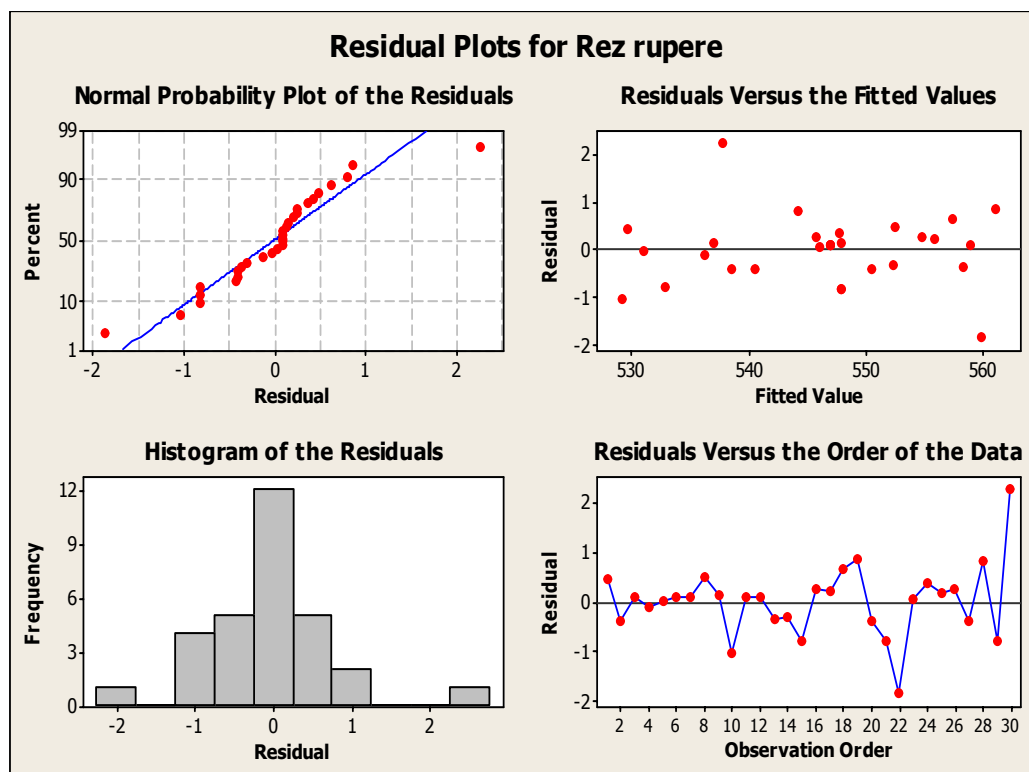


Fig.5.3 Graficele reziduale pentru rezistența la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Referitor la influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere a oțelului X5CrNi18/10, o influență semnificativă o are interacțiunea de ordin doi temperatură*timp de menținere, motivată de modelul matematic în care sunt cuprinse peste 99% din valorile experimentale (Anexa 6).

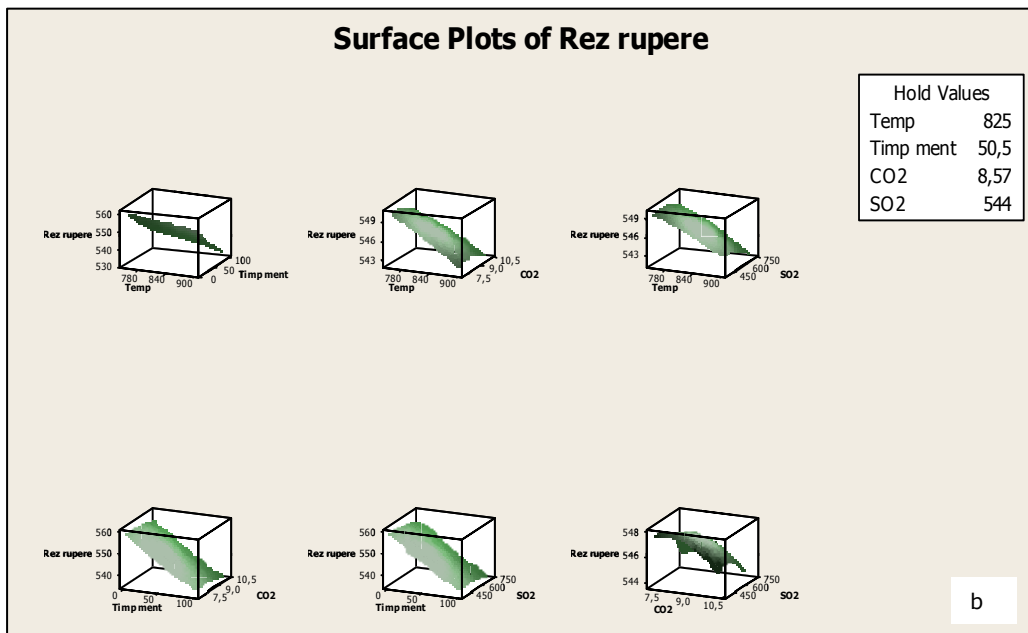
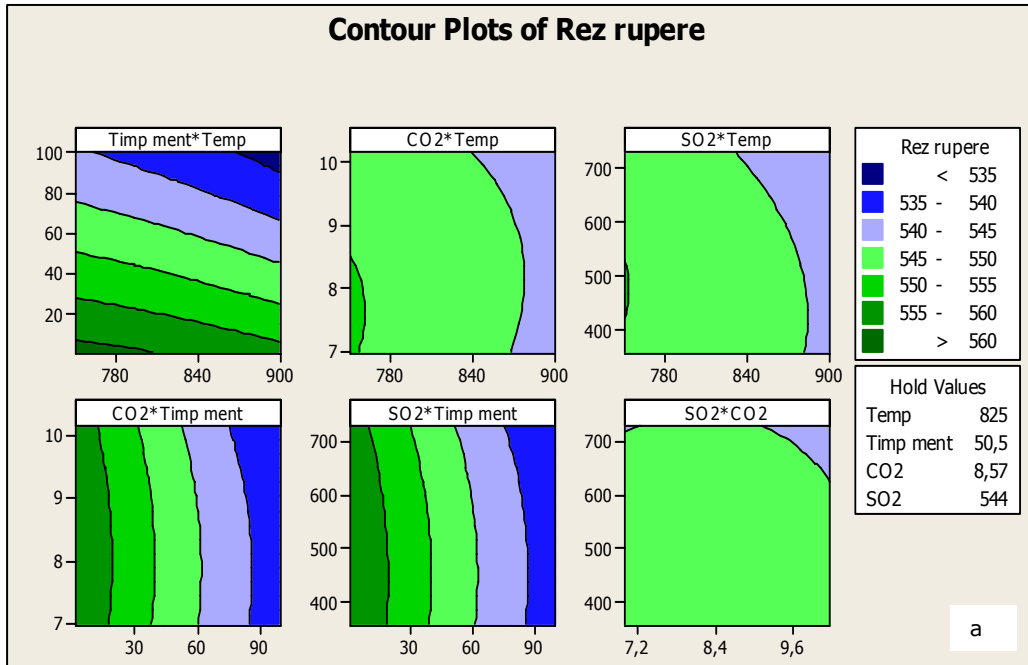


Fig.5.4 Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supusemediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

Analiza graficelor de influență a factorilor de control asupra rezistenței la rupere a oțelului relevă influența majoră a timpului de menținere, relativă influență a temperaturii și influența ne semnificativă a gazelor rezultate în urma procesului de incinerare (fig. 5.4). Valori mai mari de 560 N/mm^2 , pentru rezistența la rupere se obțin în cazul unui timp de expunere mai mic de 20 de zile, la o temperatură sub $780 \text{ }^\circ\text{C}$.

5.2.3 Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Histograma dispersiei valorilor alungirii la rupere, valori determinate prin măsurătorile efectuate pe probele experimentale, prezintă abateri de la distribuția normală (fig.5.5). Analiza grafică a normalității prezintă abatere mică de la normalitate. Modelul matematic include bine punctele experimentale, rata de încredere fiind de cca. 91% (Anexa 6), relevând ca semnificativă pentru alungirea la rupere a materialului supus coroziunii, interacțiunea de ordin doi temperatură*timp de menținere.

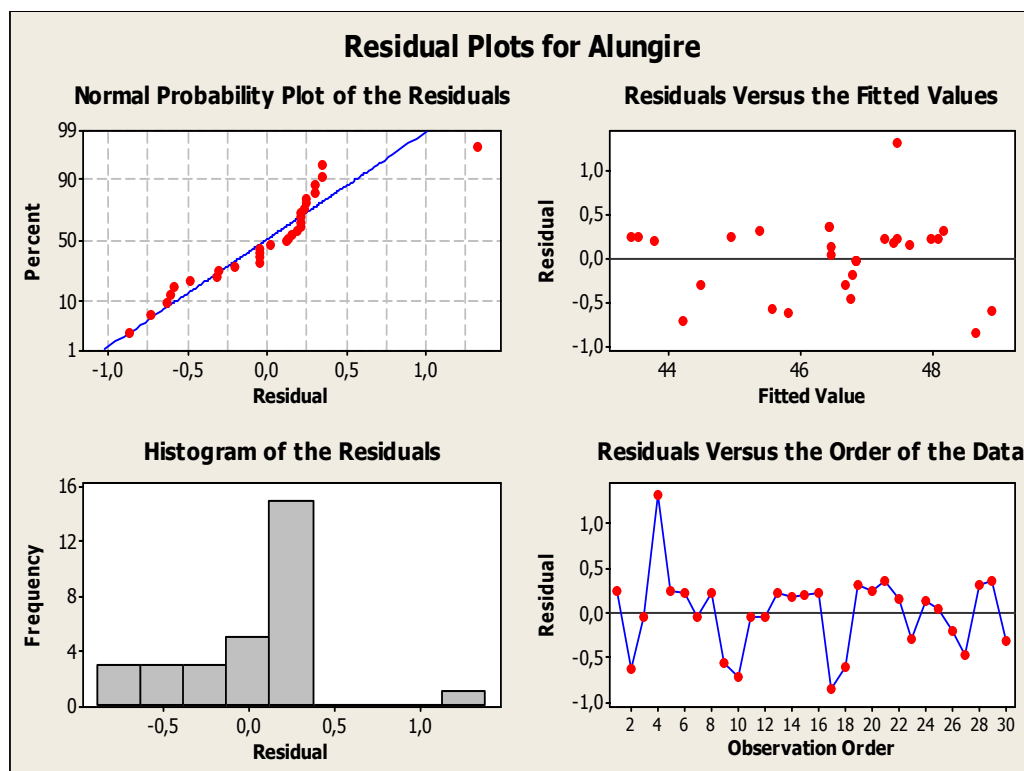


Fig.5.5 Graficele reziduale pentru alungirea la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Influența majoră asupra alungirii la rupere a oțelului o are timpul de menținere și într-o măsură redusă temperatura. Gazele oxidante au influență nesemnificativă asupra valorilor alungirii la rupere (fig.5.6).

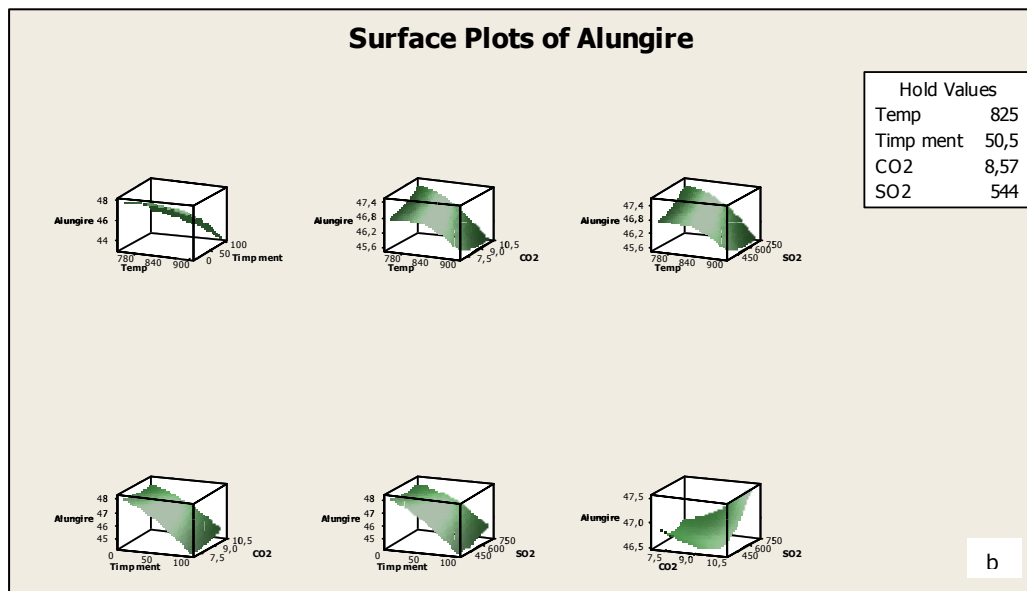
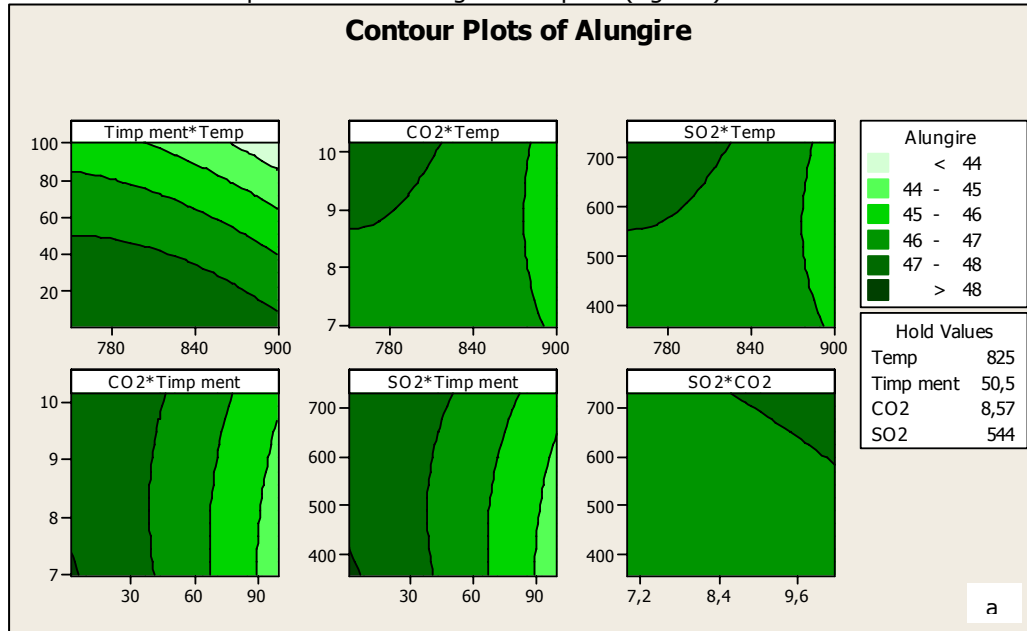


Fig.5.6 Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

5.2.4 Influența factorilor de control asupra analizei microstructurale a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Analiza microstructurală ca rezultat al procesului, a fost coantificată prin cifre de la 1 la 5. Se observă o ușoară abatere de la distribuția normală a datelor referitoare la analiza microstructurală (fig.5.7). Modelul matematic include foarte bine valorile experimentale, rata de încredere fiind de 94%.

Influență semnificativă asupra procesului o au interacțiunile de ordinul doi temperatură*SO₂ și timp de menținere*SO₂.

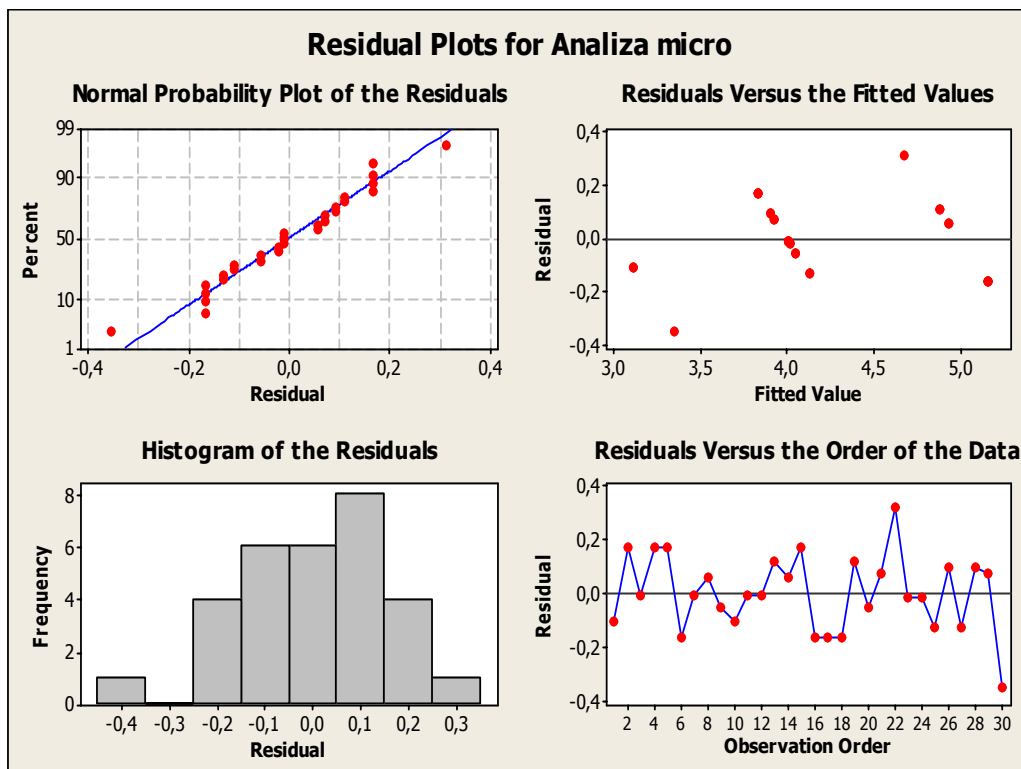


Fig.5.7 Graficele reziduale pentru analiza microstructurală a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Din fig. 5.8 se observă că în cazul interacțiunii: timp de menținere*temperatură, efectul major asupra constituenților structurali din îmbinarea sudată îl are timpul de menținere.

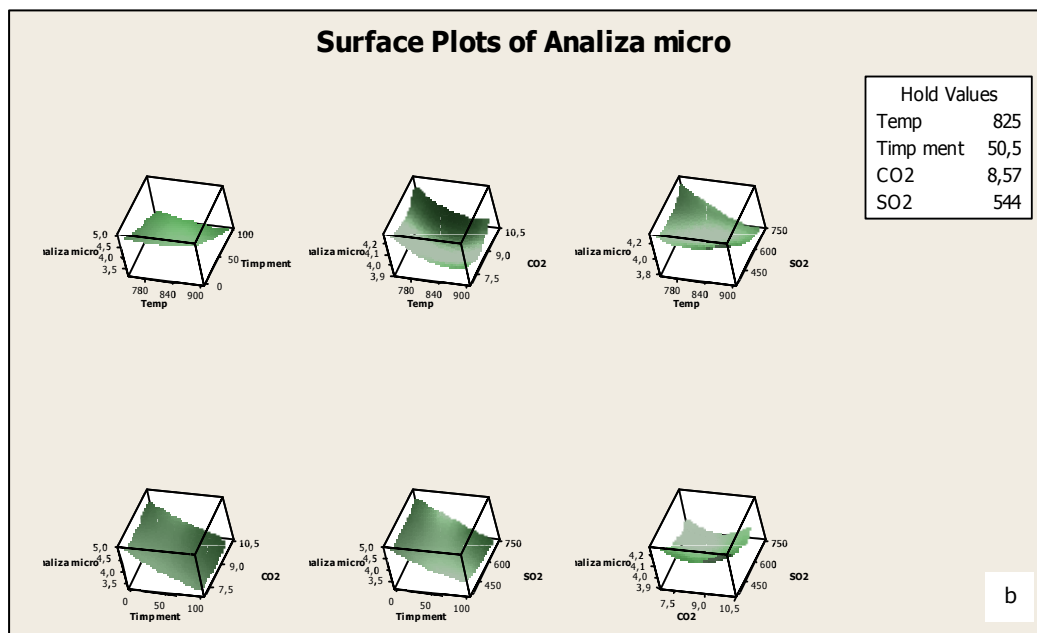
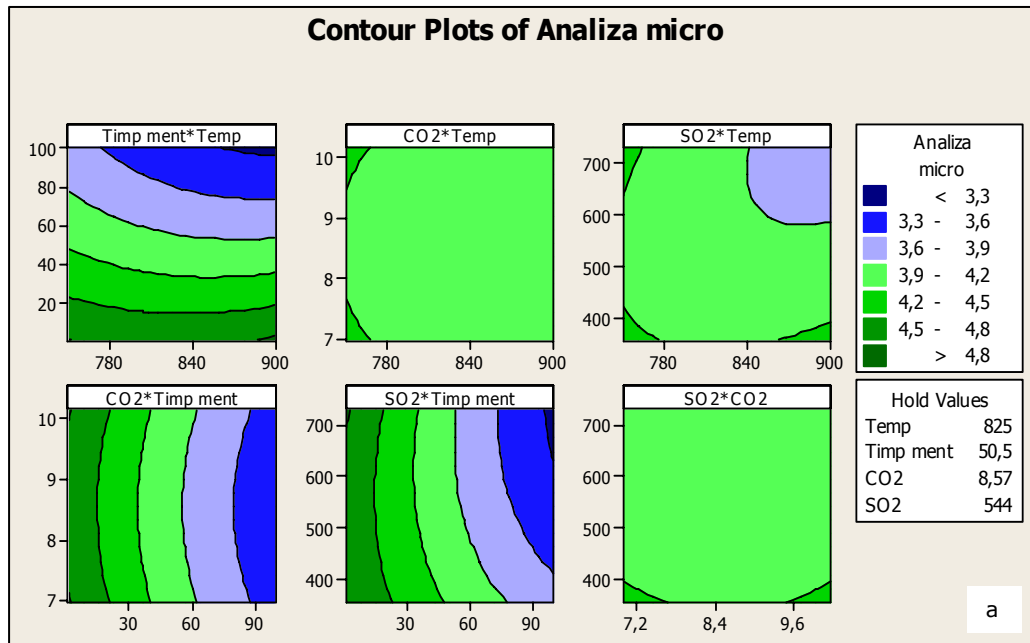


Fig.5.8 Influența factorilor de control asupra analizei microstructurale a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

Se observată influența benefică a temperaturii asupra valorilor analizei microstructurale, pentru intervalul de temperaturi cuprinse între 750-900 °C. Gazele oxidante CO₂ și SO₂ au influență nesemnificativă supra constituenților structurali din îmbinare. În cazul interacțiunii SO₂*timp de menținere, respectiv CO₂*timp de menținere, efectul semnificativ îl are timpul de menținere (fig.5.8).

5.2.5. Optimizarea rezultatelor procesului

Optimizarea procesului analizat determină zona de setare a factorilor de control care oferă cel mai bun răspuns al procesului. Optimizarea rezultatelor procesului selectează valorile recomandate pentru: duritate, rezistență la rupere, alungirea la rupere, analiza microstructurală. Aceste valori se estimează a avea o rată de încredere de cca. 65%.

Response Optimization

Parameters	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Import					
Duritate	Minimum	160	160	170	10
Rez rupere	Maximum	550	560	560	5
Alungire	Maximum	47	49	49	5
Analiza micr	Maximum	4	5	5	10

Global Solution

Temp	=	750,00
Timp ment	=	1,00
CO2	=	6,98
SO2	=	358,00

Predicted Responses

Duritate	=	165,216;	desirability =	0,47841
Rez rupere	=	561,600;	desirability =	1,00000
Alungire	=	47,996;	desirability =	0,49777
Analiza micr	=	4,846;	desirability =	0,84571

Composite Desirability = 0,65843

Valorile factorilor de control: temperatură, timp de menținere, concentrația CO₂, respectiv concentrația SO₂, care conduc la aceste rezultate sunt prezentate ca soluție optimă pentru proces în figura 5.9.

Duritatea probelor sudate din oțel X5CrNi18/10, supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune, este influențată semnificativ de timpul de menținere și de temperatură.

Rezistența la rupere este influențată semnificativ de timpul de menținere, în măsură redusă de temperatură, concentrația gazelor oxidante având efect nesemnificativ.

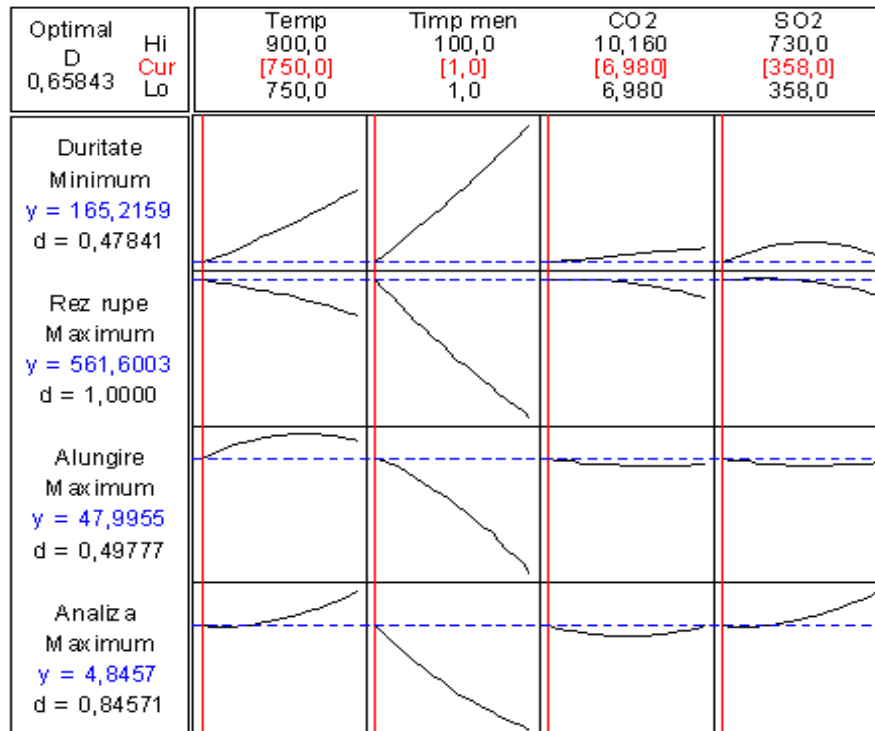


Fig. 5.9 Valorile optime ale caracteristicilor mecanice și analizei microstructurale, probe sudate oțel X5CrNi18/10, mediu coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Valorile alungirii la rupere scad semnificativ odată cu creșterea timpului de menținere.

Constituenții microstructurali din probe sudate din oțel X5CrNi18/10, sunt influențați semnificativ de timpul de menținere. Din graficele de optimizare a procesului se poate observa acțiunea benefică a temperaturii cuprinse între 750-900 °C, asupra rezultatelor analizei microstructurale, pentru probele sudate experimentale din oțelul X5CrNi18/10.

5.3. Îmbinare pe probe sudate din oțel inoxidabil X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Date referitoare la influența factorilor de control asupra caracteristicilor mecanice și a rezultatelor analizei microstructurale a probelor sudate din oțel inoxidabil, X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale sunt prezentate în Anexa 7. Prin rularea programului MINITAB, modelul matematic inclus generează graficele reziduale, curbele de control, reprezentarea spațială și modul de optimizare a procesului. Se menționează că factorii de control luați în considerare au fost aceiași: temperatură, timp de menținere și concentrația gazelor CO₂, SO₂, rezultate în urma procesului de ardere a deșeurilor.

5.3.1 Influența factorilor de control asupra durității probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Graficele reziduale rezultate din rularea programului arată o distribuție normală a valorilor durității în cadrul procesului. Efect semnificativ asupra durității materialului are timpul de menținere și interacțiunea de ordin doi, timp de menținere*timp de menținere. Modelul matematic include foarte bine datele experimentale, în proporție de cca 97%.

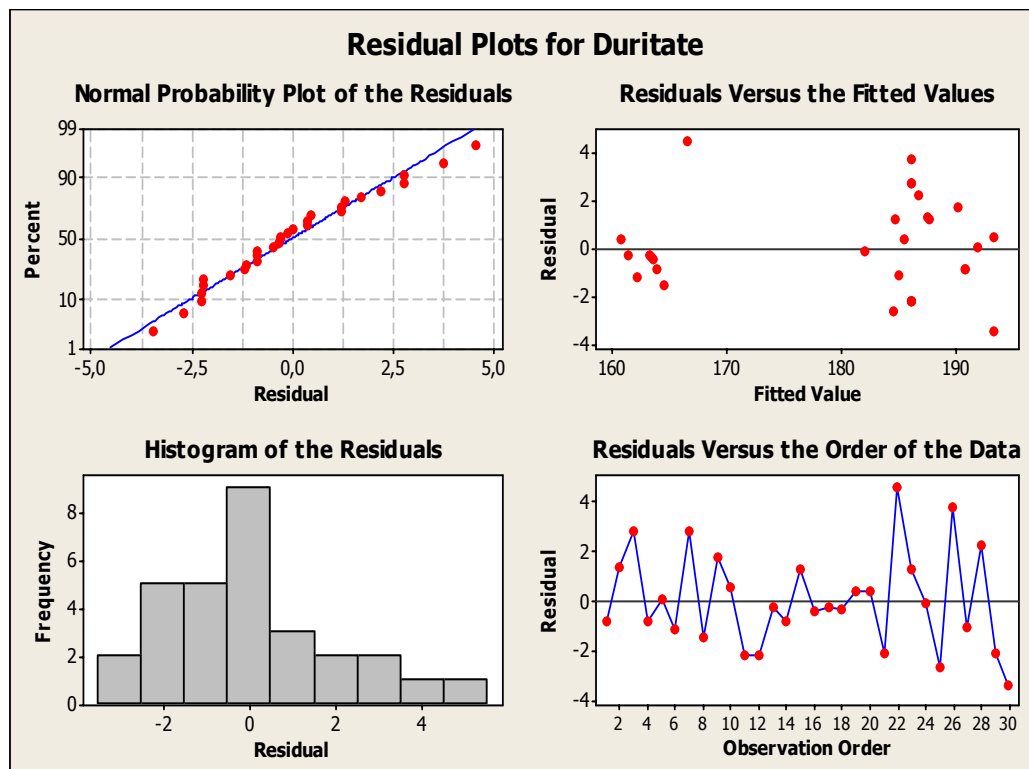


Fig.5.10 Graficele reziduale pentru duritatea probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Analiza curbele de control și a reprezentărilor spațiale precizează valorile factorilor de control care asigură valori optime pentru duritate. De remarcant influența majoră a timpului de menținere comparativ cu influența celorlalți factori de control asupra durității materialului.

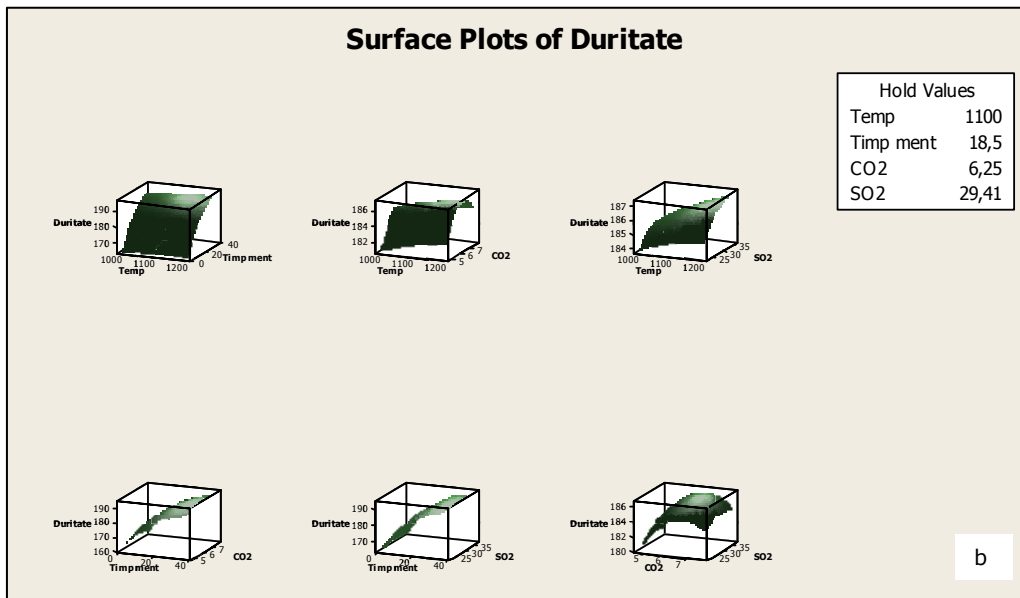
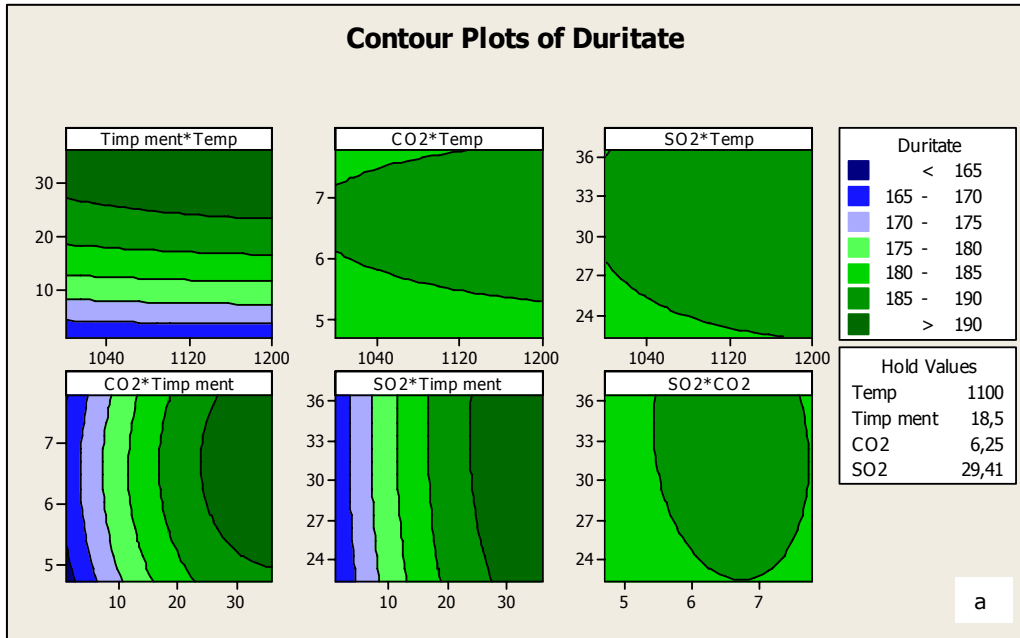


Fig.5.11 Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

Figura 5.12 relevă influența semnificativă a timpului de menținere comparativ cu temperatura, creșterea valorilor durității fiind produsă numai de creșterea timpului de menținere.

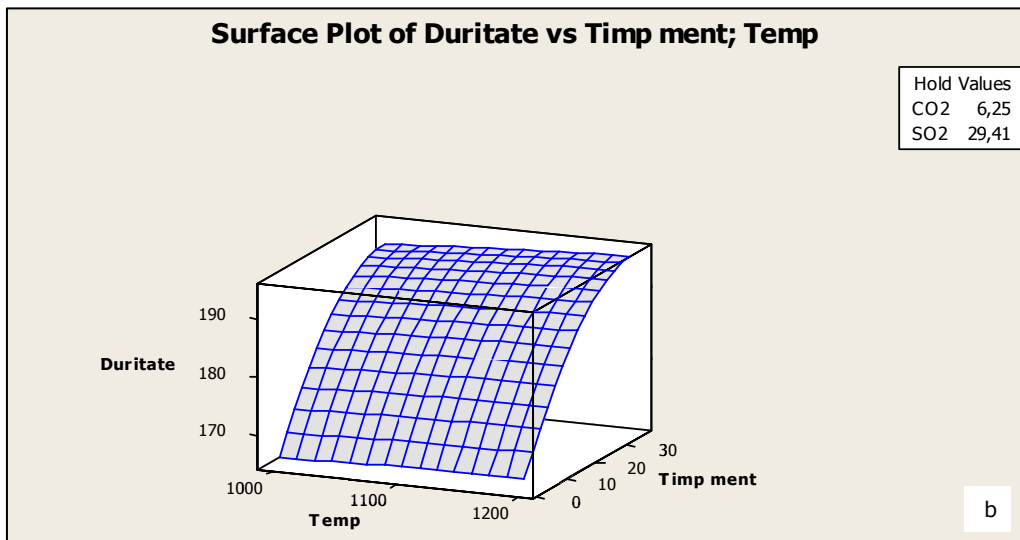
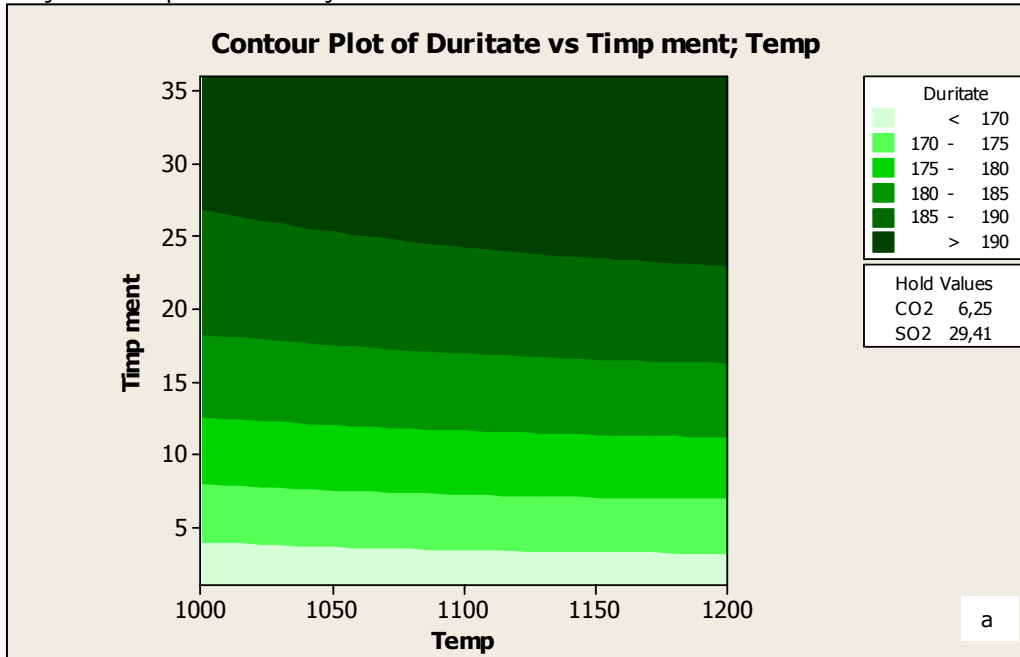


Fig.5.12 Influența timpului de menținere și a temperaturii asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

5.3.2 Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere

aprobelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Analiza grafică a normalității, și a histogramei dispersiei denotă o distribuție aproximativ normală a valorilor rezistenței la rupere în cadrul procesului. Efect semnificativ asupra rezistenței la rupere a probelor din oțel inoxidabil, X5CrNi18/10 au factorii de control cu $p < 0,05$: temperatura și interacțiunile de ordinul doi temperatură*temperatură și temperatură*timp de menținere. Valorile experimentale sunt reproduse în modelul matematic în proporție de cca. 98%.

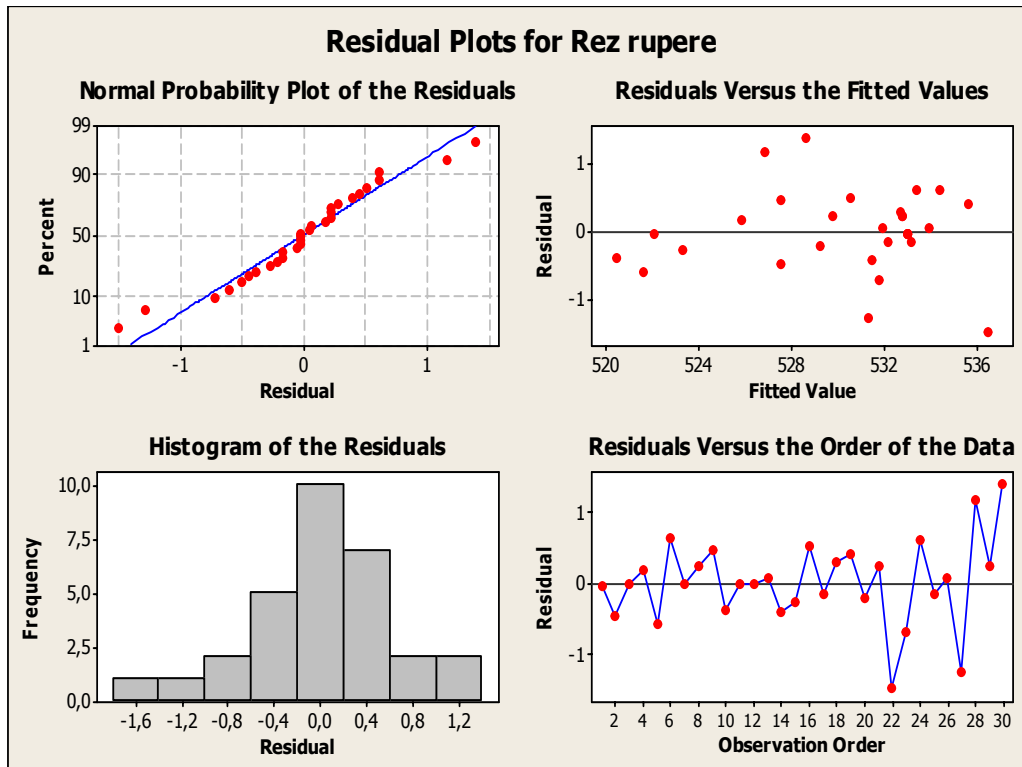


Fig.5.13 Graficele reziduale pentru rezistența la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Curbele de control și reprezentările spațiale precizează influența majoră a temperaturii, creșterea temperaturii peste 1120 °C conduce la scăderea accentuată a valorilor rezistenței la rupere. Rezistența la rupere a oțelului inoxidabil scade, atunci când probele sudate sunt expuse mediului coroziv o perioadă de timp mai mare de 15 zile.

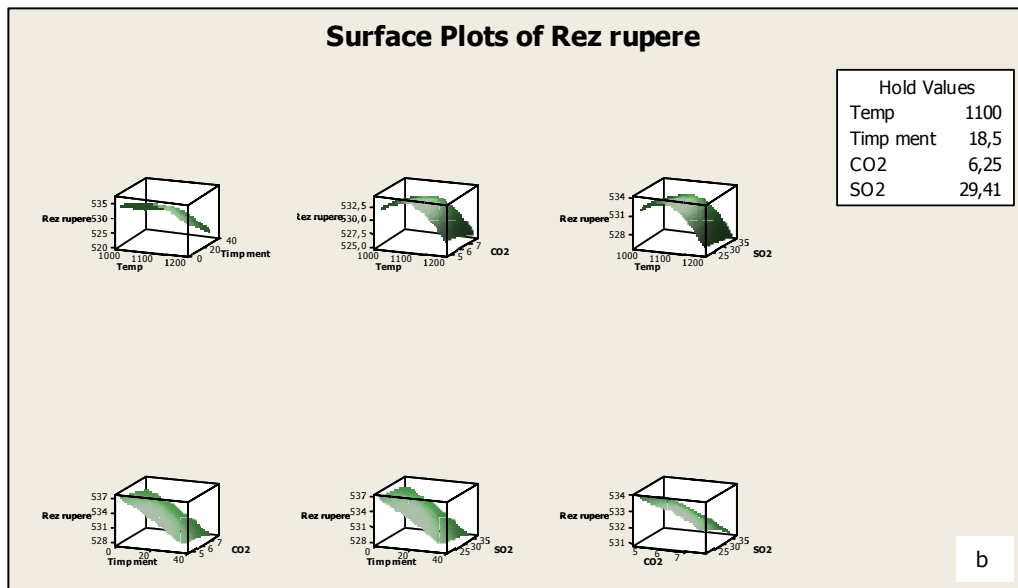
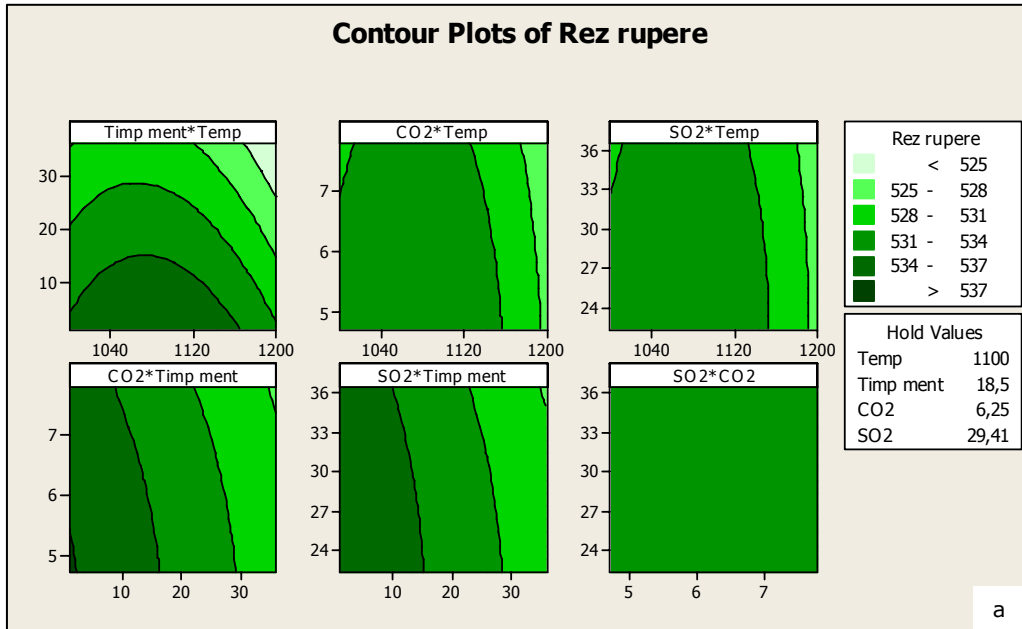


Fig.5.14 Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale
a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

5.3.3 Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a

probelorsudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Histograma dispersiei valorilor alungirii la rupere prezintă abateri de la normalitate, existența unor valori extreme, transpuse prin existența golurilor în histogramă. Model matematic include cca 83% din rezultatele experimentale, valori acceptabile. Alungirea la rupere a probelor din oțel inoxidabil, X5CrNi18/10 este influențată semnificativ de timpul de menținere și de interacțiunile de ordinul doi: timp de menținere*CO₂ și timp de menținere*SO₂.

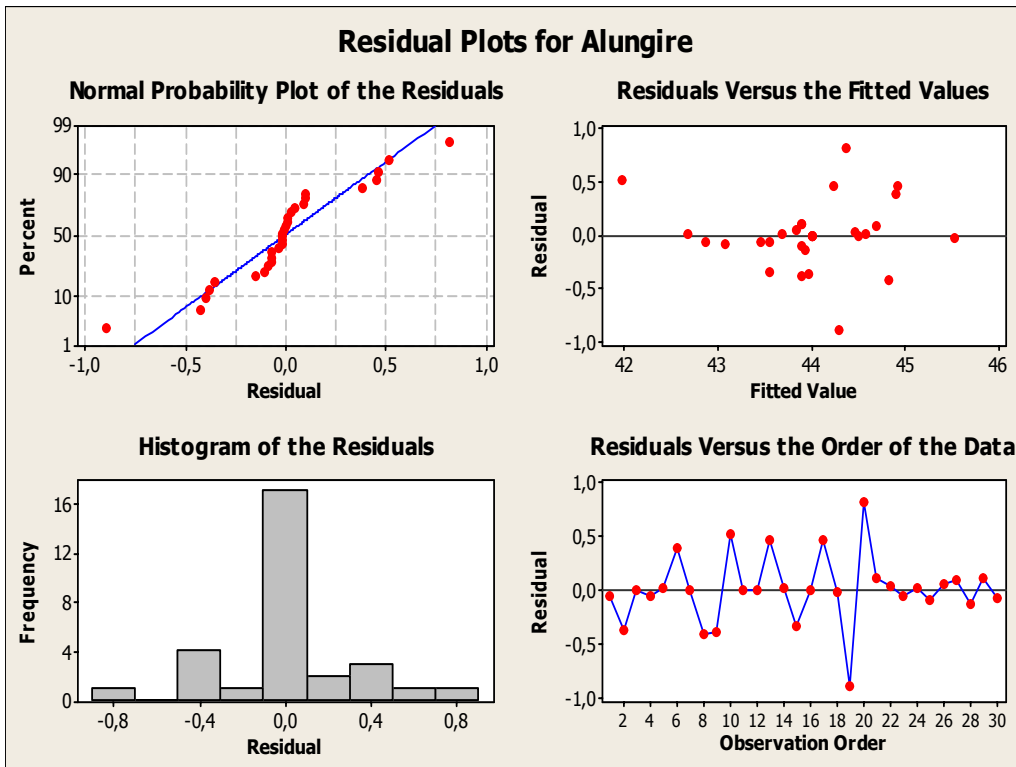


Fig.5.15 Graficele reziduale pentru alungirea la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Din analiza curbelor de control și a reprezentărilor spațiale se observă o scădere a alungirii la rupere la creșterea timpului de menținere. Alungirea la rupere a oțelului X5CrNi18/10, este influențată de creșterea concentrației gazelor de ardere, doar la menținerea în mediul coroziv timp de peste 10 zile.

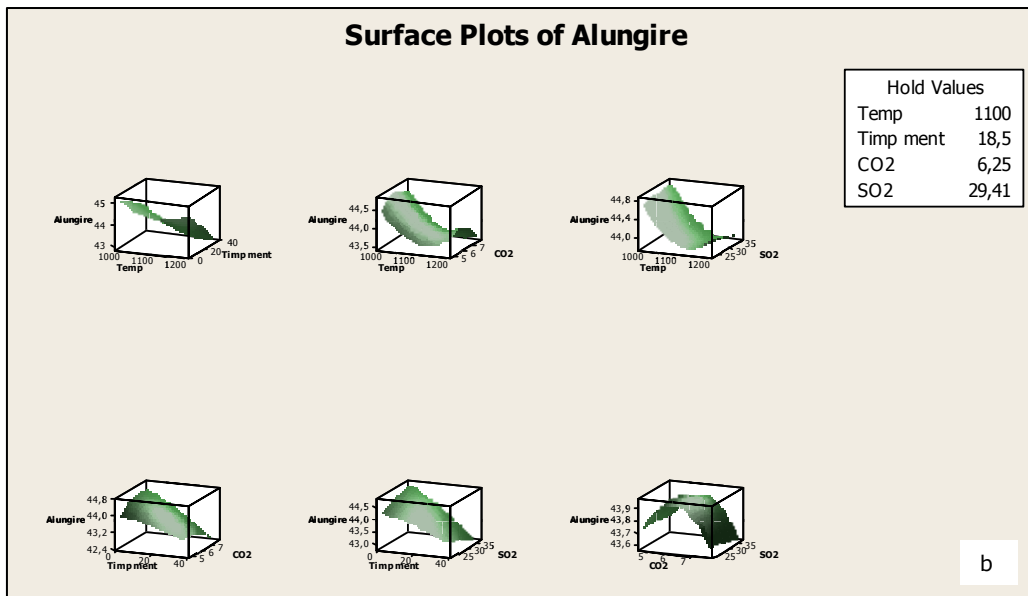
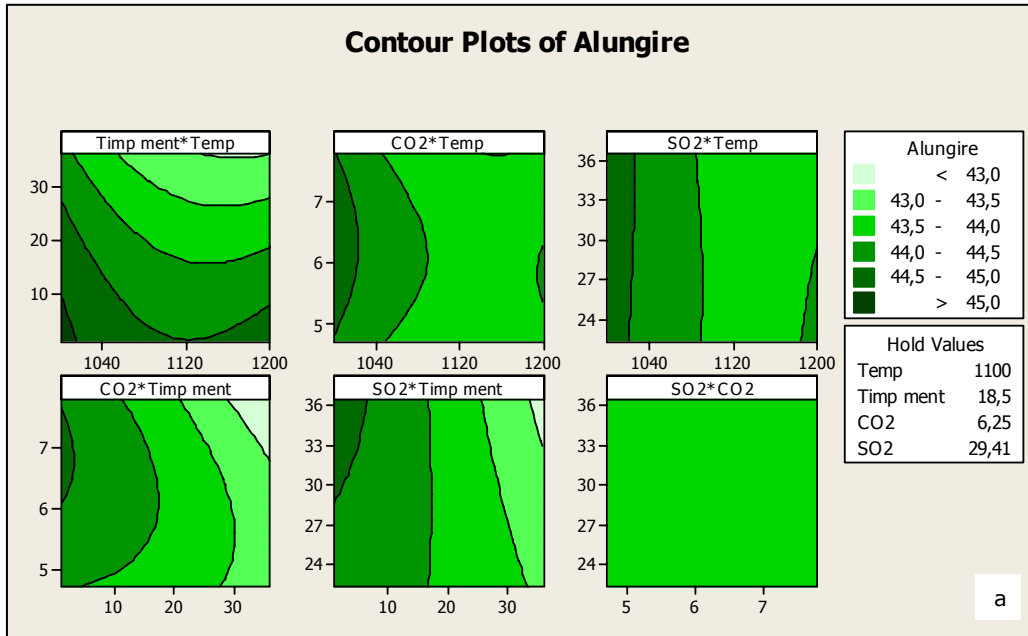


Fig.5.16 Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

5.3.4 Influența factorilor de control asupra analizei microstructurale a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10 supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Grafica normalității arată că există o distribuție normală a valorilor furnizate de analiza microstructurală (fig.5.17). Rezultatele experimentale se regăsesc în modelul matematic în proporție de peste 98%. Influență semnificativă asupra constituenților structurali din îmbinarea sudată o are timpul de menținere și interacțiunea de ordin doi timp de menținere *CO₂.

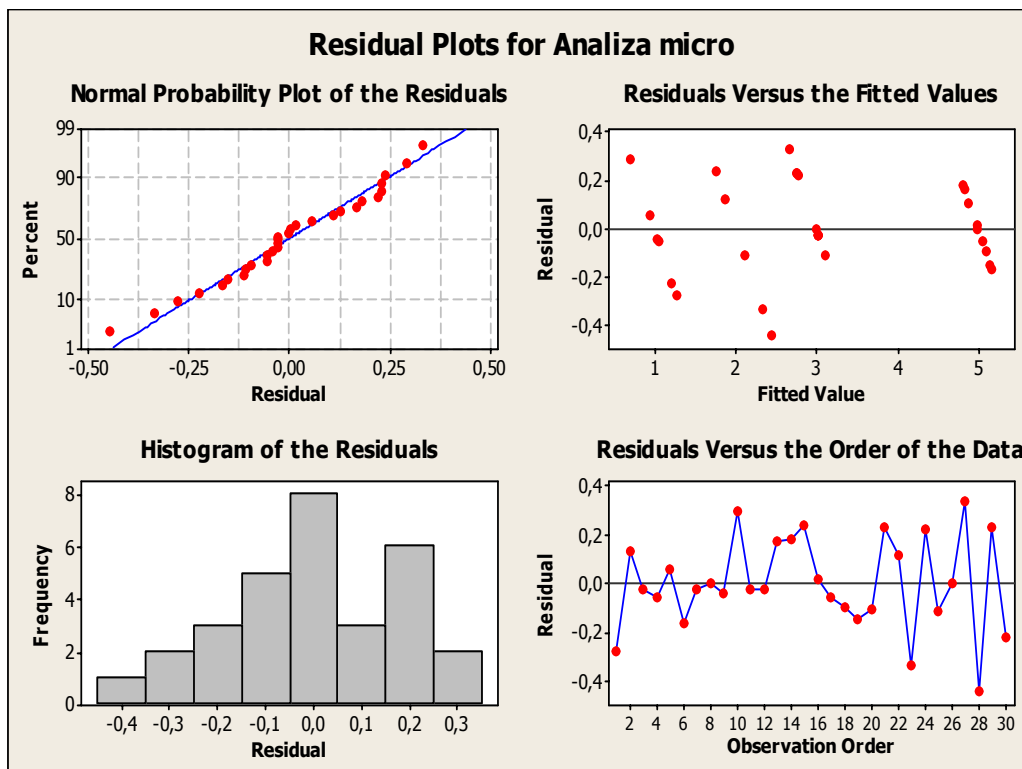


Fig.5.17 Graficele reziduale pentru analiza microstructurală a probelor din oțel supuse mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale

Figurile 5.18 și 5.19 prezintă influența factorilor de control asupra datelor furnizate de analiza microstructurală. Factorul de control cu influența majoră este timpul de menținere. Pentru a obține rezultate convenabile din punct de vedere microstructural, coantificate prin cifra 5, timpul de menținere trebuie să fie minim, respectiv o zi. În intervalul de temperaturi cuprins între 1000-1200 °C, temperatura nu influențează constituenți microstructurali din îmbinare. Tot influență nesemnificativă asupra acestora au și gazele oxidante analizate.

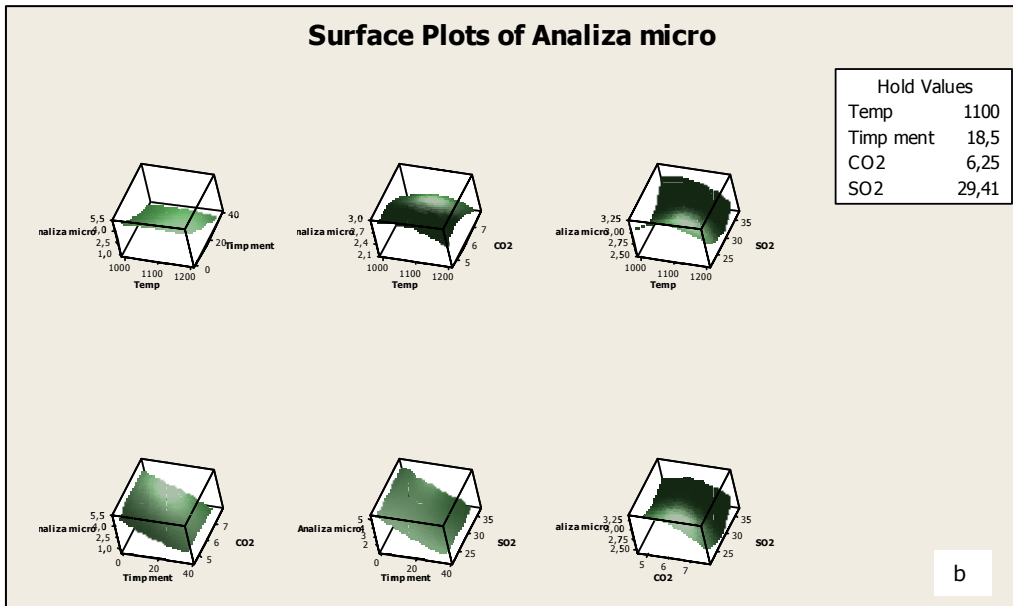
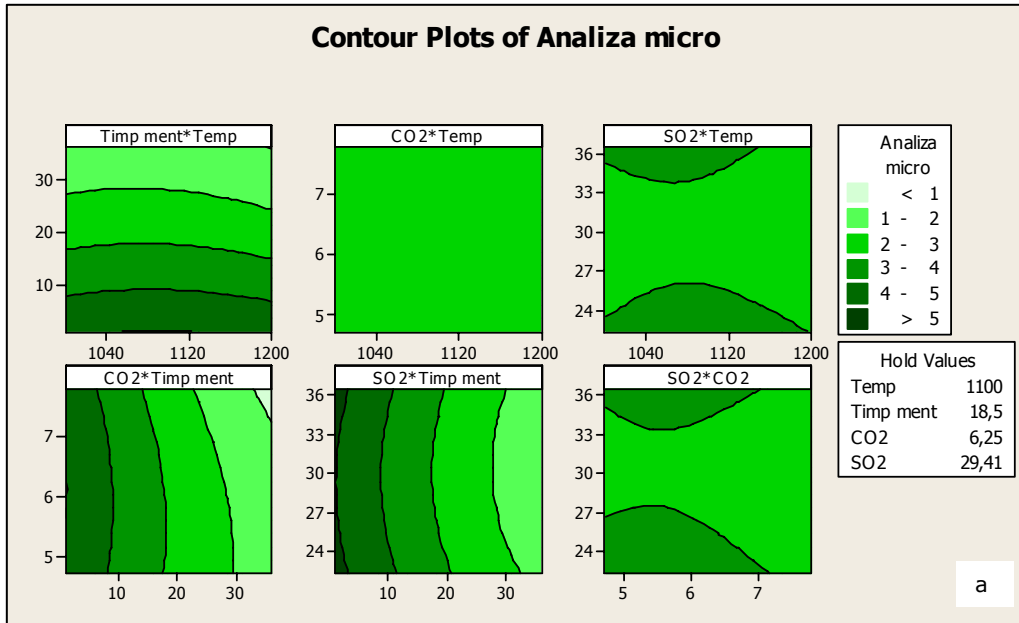


Fig.5.18 Influența factorilor de control asupra analizei microstructurale a probelor din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

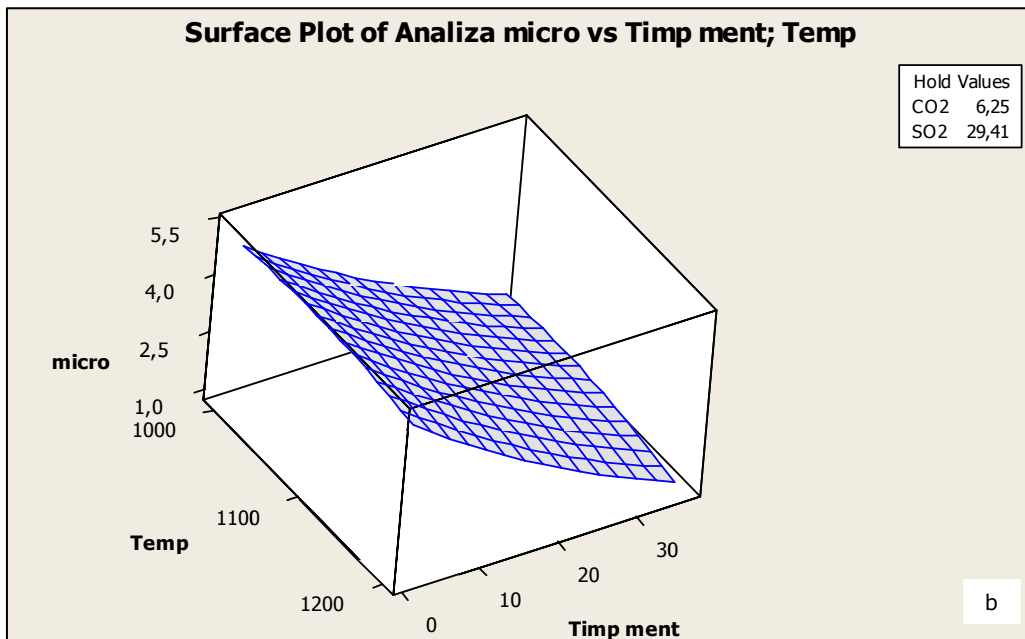
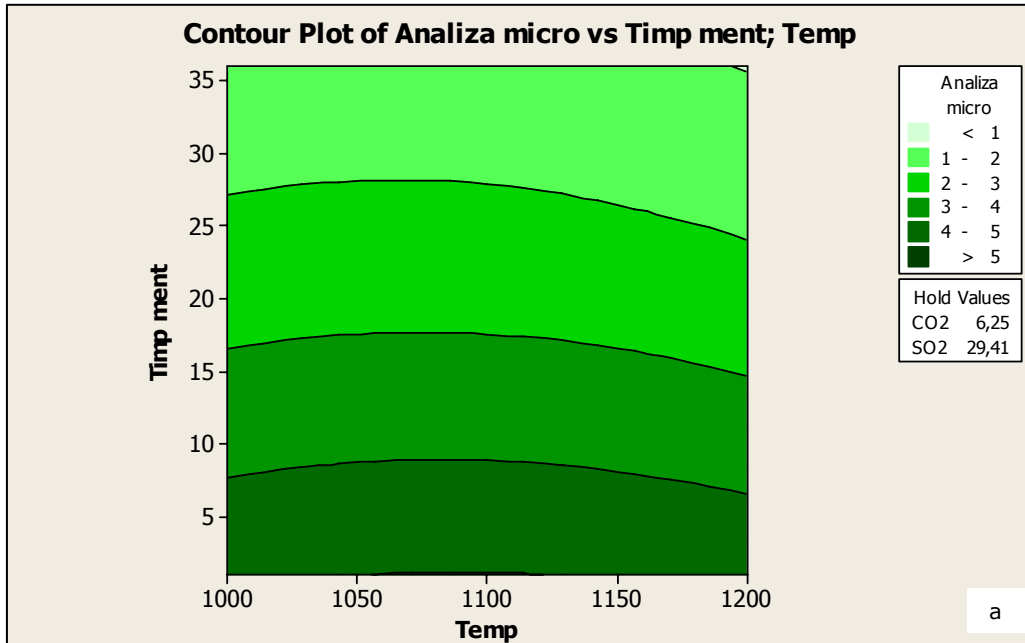


Fig.5.19 Influența timpului de menținere și a temperaturii asupra analizei microstructurale a probelor sudate din oțel X5CrNi18/10supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

5.3.5 Optimizarea rezultatelor procesului

Optimizarea procesului analizat determină zona de setare a factorilor de control care oferă cel mai bun răspuns al procesului. Se estimează că valorile obținute prin cercetările experimentale sunt corespunzătoare în proporție de 87%, fapt dovedit în continuare

Response Optimization

Parameters	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Import					
Duritate	Minimum	160	160	170	1
Rez rupere	Maximum	530	540	540	1
Alungire	Maximum	35	45	45	1
Analiza micr	Maximum	4	5	5	1

Global Solution

Temp	=	1102,11
Timp ment	=	1,00
CO2	=	4,72
SO2	=	22,50

Predicted Responses

Duritate	=	161,226;	desirability =	0,87742
Rez rupere	=	537,448;	desirability =	0,74478
Alungire	=	43,784;	desirability =	0,87838
Analiza micr	=	5,171;	desirability =	1,00000

Composite Desirability = 0,87042

Optimizarea procesului prin prisma factorilor de control, temperatură, timp de menținere, concentrația CO₂, concentrația SO₂, este reprezentată în figura 5.20.

Duritatea probelor din oțel X5CrNi18/10, supuse coroziunii mediului rezultat din incinerarea deșeurilor speciale, este influențată semnificativ de timpul de menținere. Temperatura în intervalul 1000-1200 °C, nu influențează valoarea durității, fapt prezentat în curbele de control și în distribuția spațială din figura 5.12. Concentrațiile gazelor de ardere au influență nesemnificativă asupra durității.

Rezistența la rupere a probelor din oțel inoxidabil este influențată semnificativ de temperatură și timp de menținere, concentrația gazelor oxidante fiind nesemnificativă.

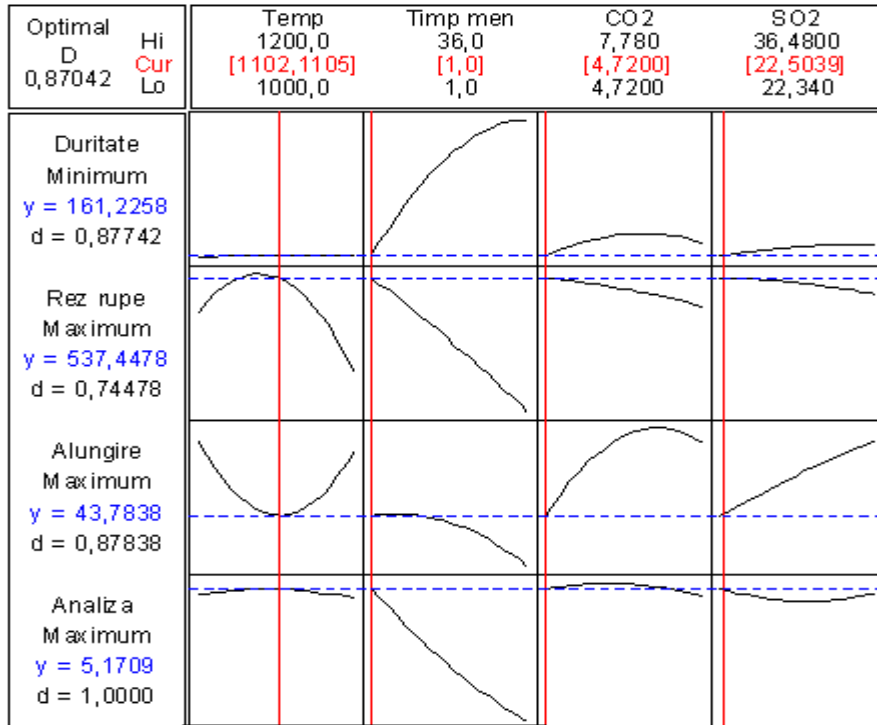


Fig.5.20 Valorile optime ale caracteristicilor mecanice și analizei microstructurale, probe sudate oțel, X5CrNi18/10, mediu coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Alungirea la rupere este influențată de toți factorii de control. Influență deosebită o are concentrația gazele de ardere, fapt ne semnificativ pentru celelalte caracteristici analizate, la care influență semnificativă are timpul de menținere și temperatura.

Asupra constituenților microstructurali din îmbinarea sudată influență deosebită are timpul de menținere în mediul coroziv, celelalte variabile/factori de control sunt ne semnificativi

5.4.Îmbinare pe probe sudate din aliaj Inconel 601, supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Influența factorilor de control asupra caracteristicilor mecanice și a rezultatelor analizei microstructurale pentru probele sudate din aliaj Inconel 601, supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, obținută din rularea programului MINITAB, cu datele de intrare din Anexa 4, sunt prezentate sub formă grafică și analitică în cele ce urmează.

5.4.1 Influența factorilor de control asupra durității probelor din aliaj Inconel 601

Graficele reziduale referitoare la duritatea probelor sudate din aliaj Inconel 601, prezintă abateri de la distribuția normală fapt relevat în distribuția normalității, în histograma dispersiei valorilor și în distribuția grupată a punctelor între limitele de control (fig.5.21).

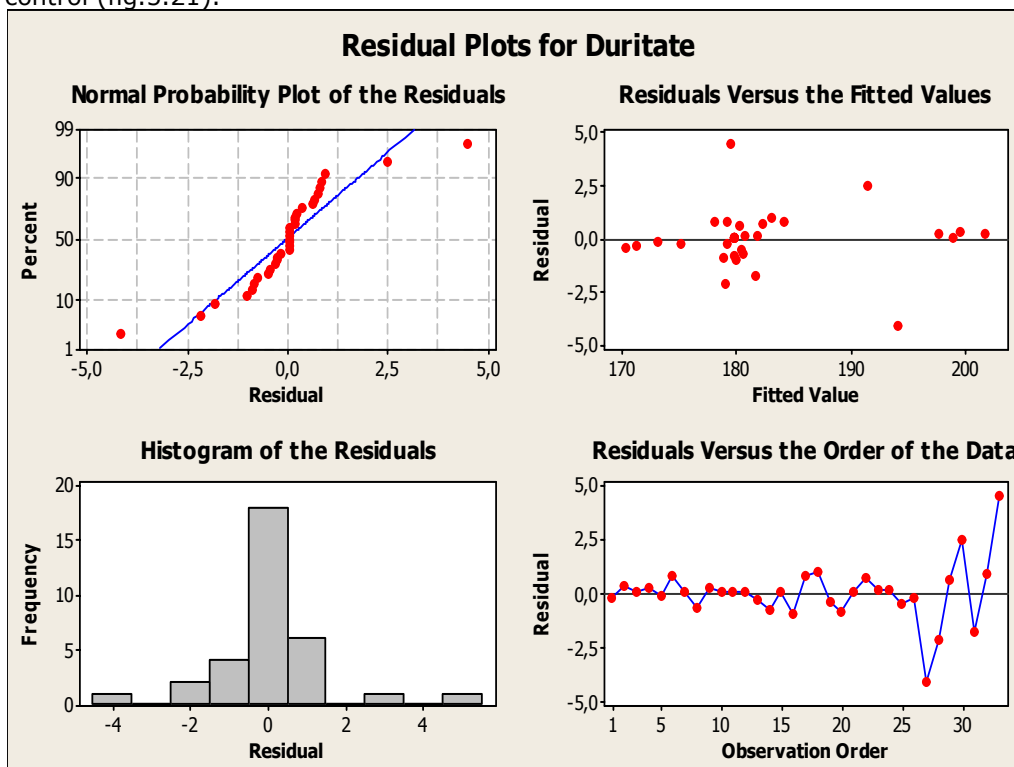


Fig.5.21 Graficele reziduale pentru duritatea probelor sudate din aliaj Inconel 601

Este de menționat că modelul matematic neliniar include 97% din valorile experimentale ale procesului (Anexa 8).

Modelul matematic relevă efectul semnificativ al temperaturii și timpului de menținere, precum și efectul important al interacțiunilor de grad doi: temperatură*temperatură, timp de menținere*timp de menținere și temperatură*timp de menținere.

Figurile 5.22 și 5.23 prezintă rezultatele obținute prin rularea programului referitor la influența factorilor de control asupra durității probelor sudate din aliaj Inconel 601. Este de remarcat influența simultană a celor doi factori: temperatură și timp de menținere. Valori mari ale durității, $HV_{0,2} > 200$, se obțin în cazul unor temperaturi mai mari de 1200 °C și a unui timp de menținere de peste 30 de zile. Concentrația gazelor de ardere: CO₂, CO, SO₂, are influență nesemnificativă comparativ cu temperatura și timpul de menținere al probelor sudate în mediul coroziv.

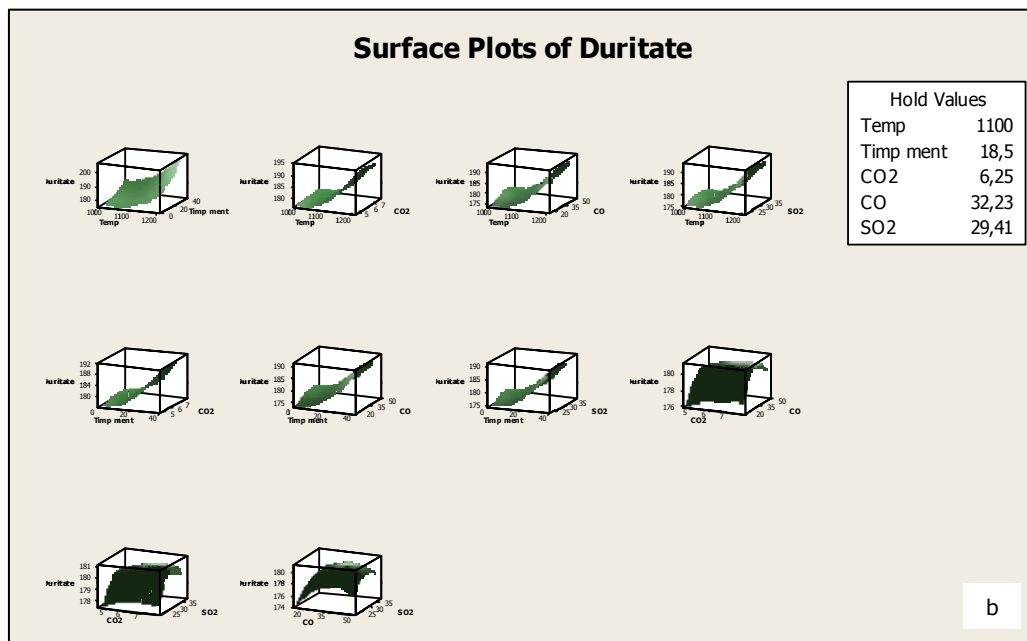
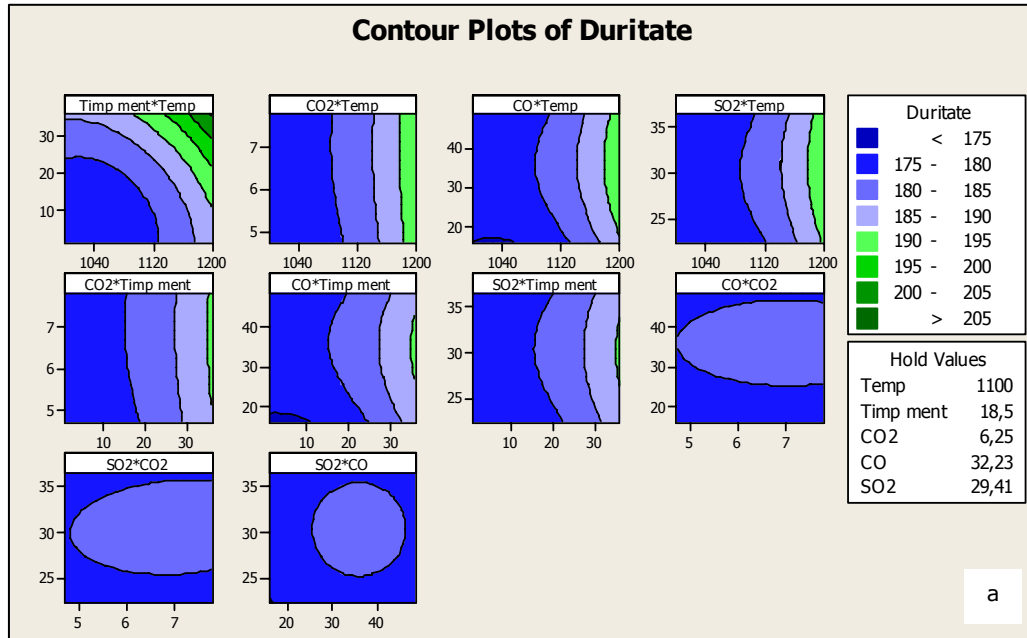


Fig.5.22 Influența factorilor de control asupra durtății probelor sudate din aliaj Inconel 601 a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

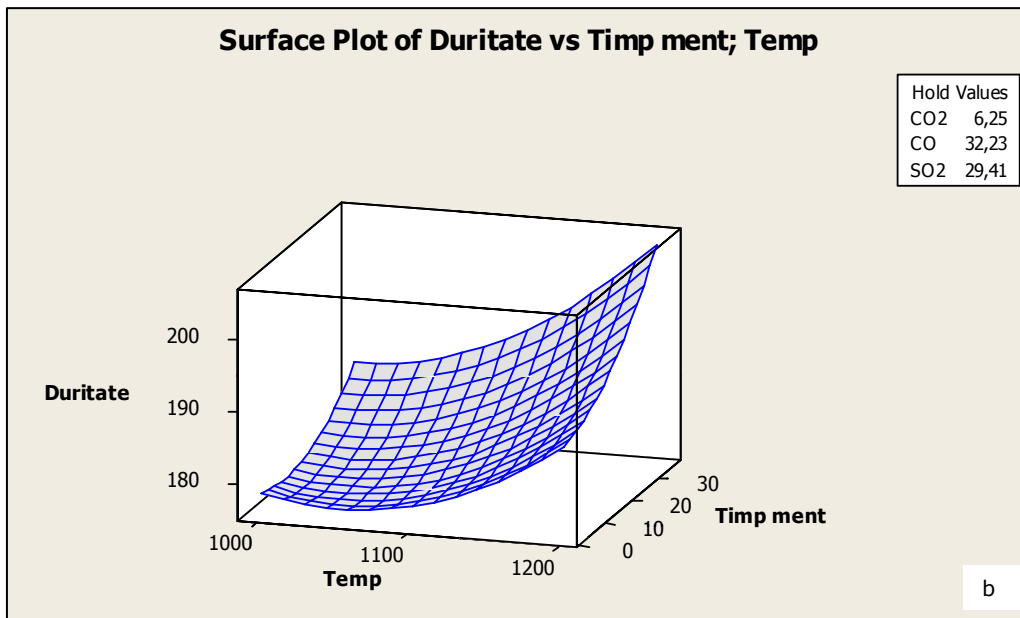
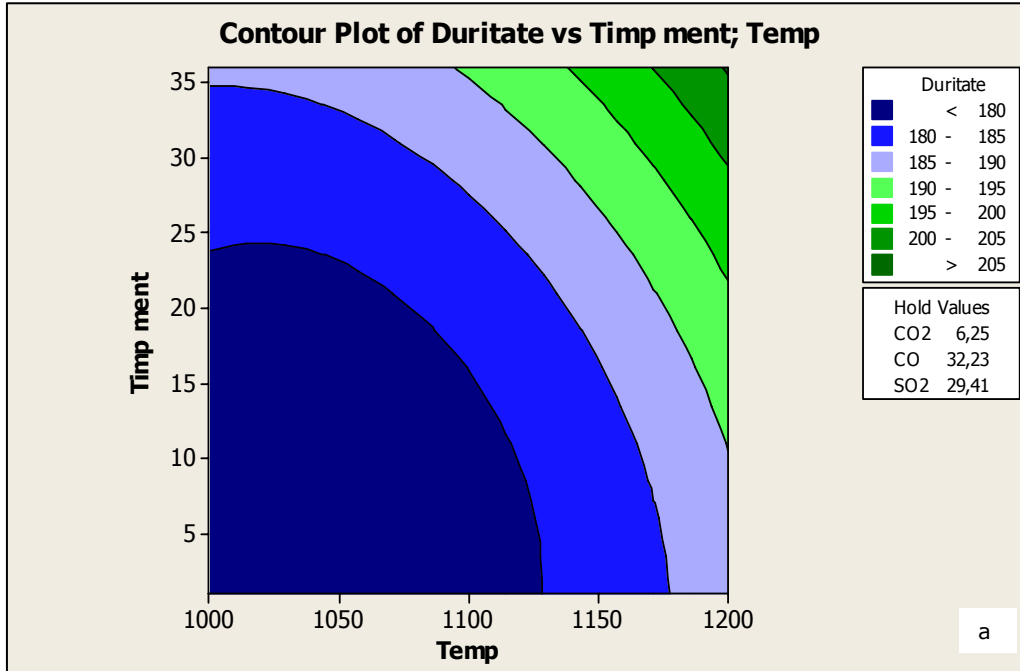


Fig.5.23 Influența timpului de menținere și a temperaturii asupra durității probelor sudate din aliaj Inconel 601

5.4.2 Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 601

Modelul matematic, prin curbele de control și reprezentările spațiale rezultate în urma rulării programului relevă influența semnificativă a timpului de menținere și într-o măsură redusă a temperaturii mediului coroziv asupra rezistenței la rupere a probelor sudate

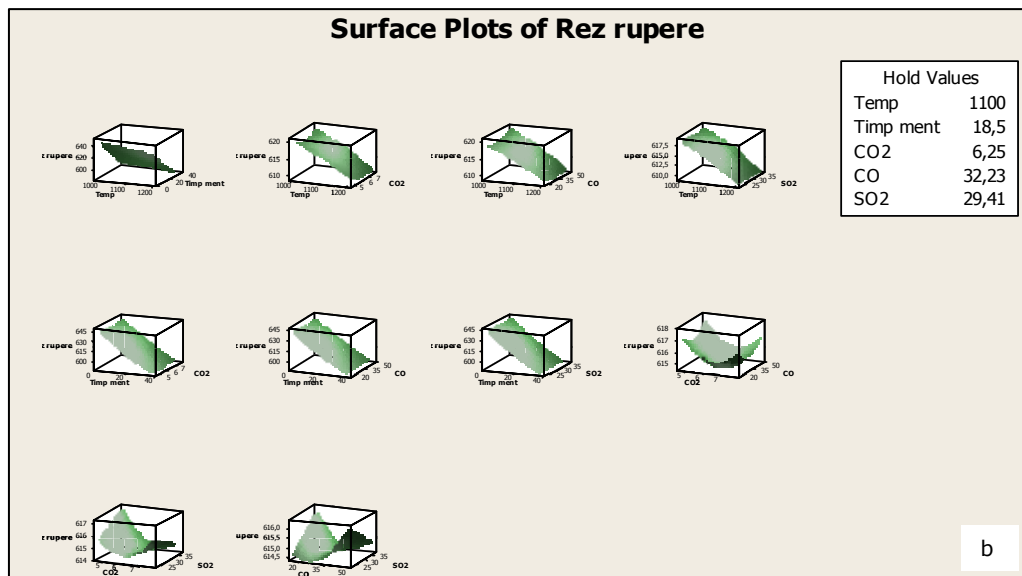
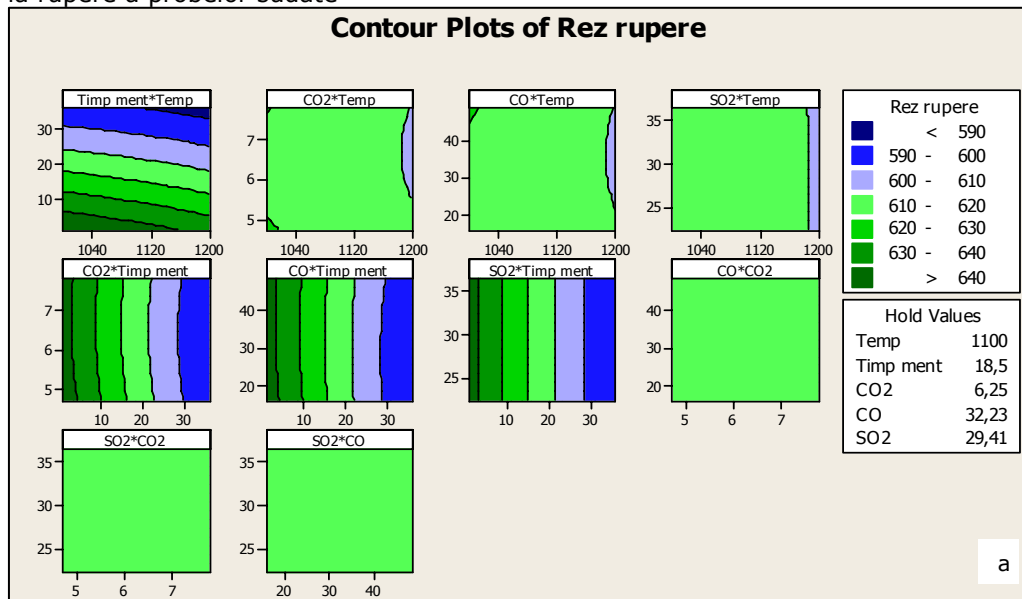


Fig.5.24 Influența factorilor de control asupra rezistenței la ruperea a probelor sudate din aliaj Inconel 601, a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

Valori corespunzătoare ale rezistenței la rupere, $R_m > 640 \text{ N/mm}^2$, se obțin la temperaturi sub $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ corelate cu timp de menținere de până la 10 zile.

5.4.3 Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 601

Histograma dispersiei valorilor alungirii la rupere și graficul normalității indică abateri de la distribuția normală a valorilor procesului (fig.5.25).

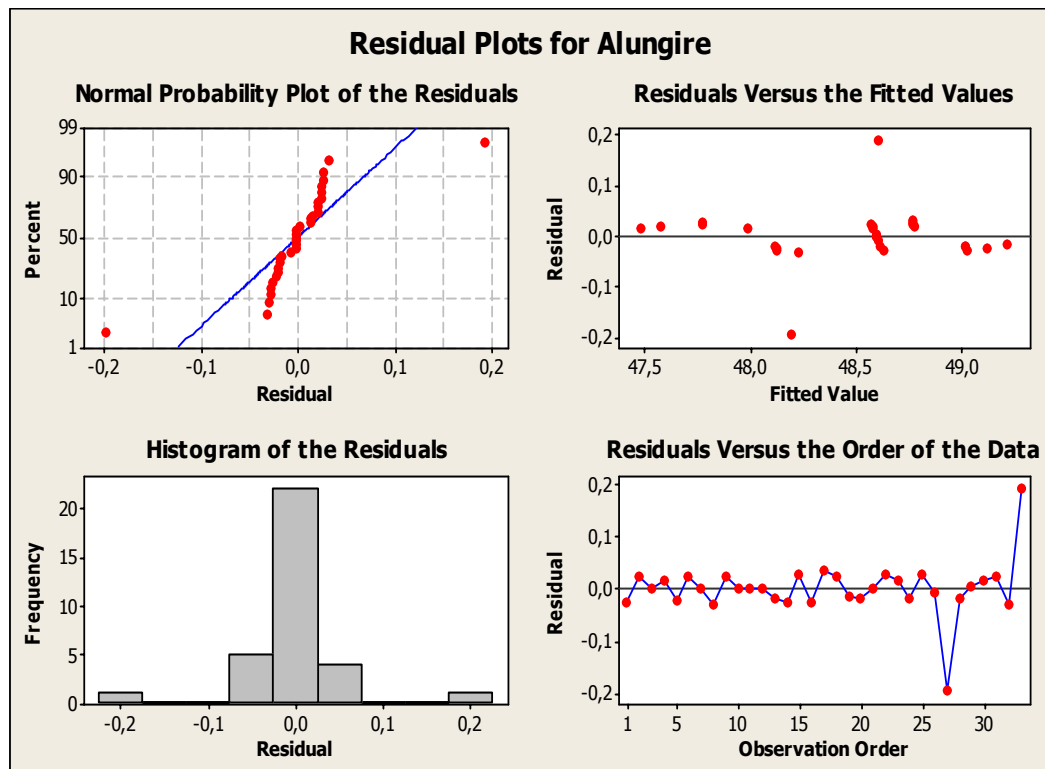


Fig.5.25 Graficele reziduale pentru alungirea la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 601

Utilizând ca date de intrare valorile factorilor de control și valorile măsurătorilor realizate pentru caracteristicile mecanice și analiza microstructurală, prezentate în Anexa 4, rularea programului indică corectitudinea modelului matematic neliniar adoptat, peste 98% din valorile experimentale (Anexa 8) fiind acceptate de model. Factorii de control cu efecte semnificative asupra alungirii la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 601, sunt temperatura și interacțiunea de ordin doi: temperatură*temperatură.

De observat și în cazul alungirii la rupere influența semnificativă a timpului de menținere și într-o oarecare măsură influența temperaturii (fig.5.26).

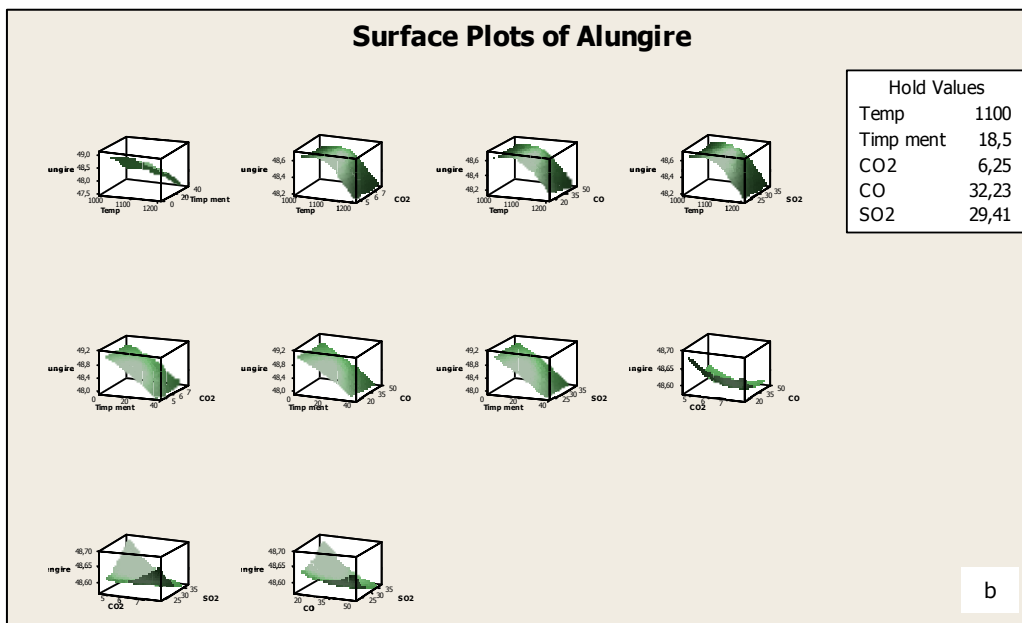
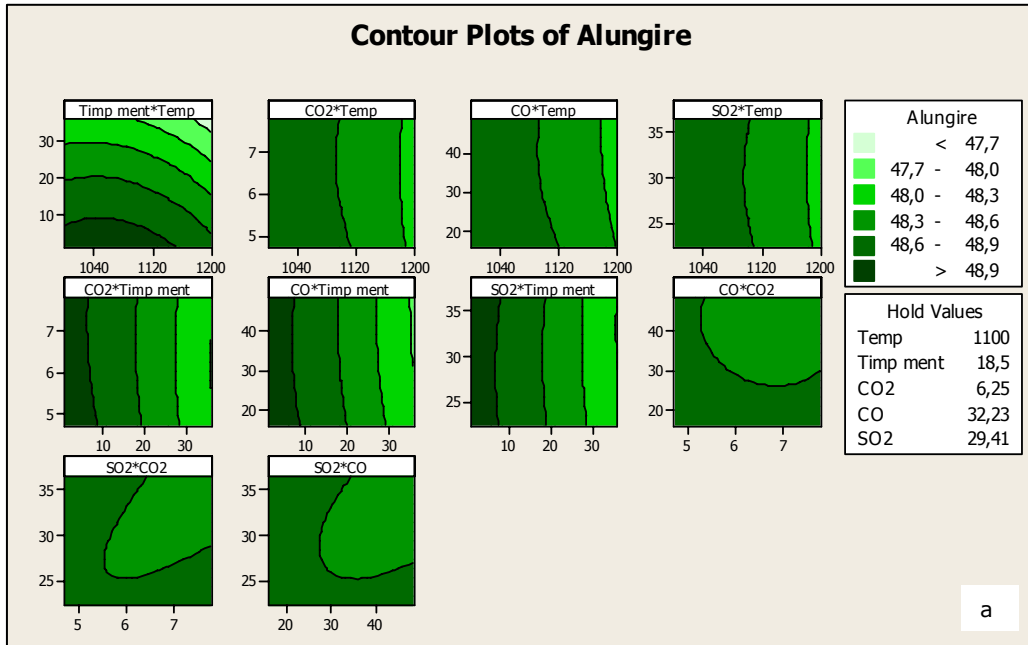


Fig.5.26 Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 601, a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

5.4.4 Influența factorilor de control asupra rezultatelor analizei microstructurale a probelor sudate din aliaj Inconel 601

Figura 5.27 prezintă graficele reziduale ce au ca date de intrare rezultatele analizei microstructurale a probelor sudate din aliaj Inconel 601. Se observă abateri de la distribuția normală, prezența golurilor în histogramă indică existența unor discrepanțe în datele furnizate procesului. Grafica normalității și dispersia punctelor între limitele de control, indică de asemenea abateri de la valorile furnizate de analiza microstructurală.

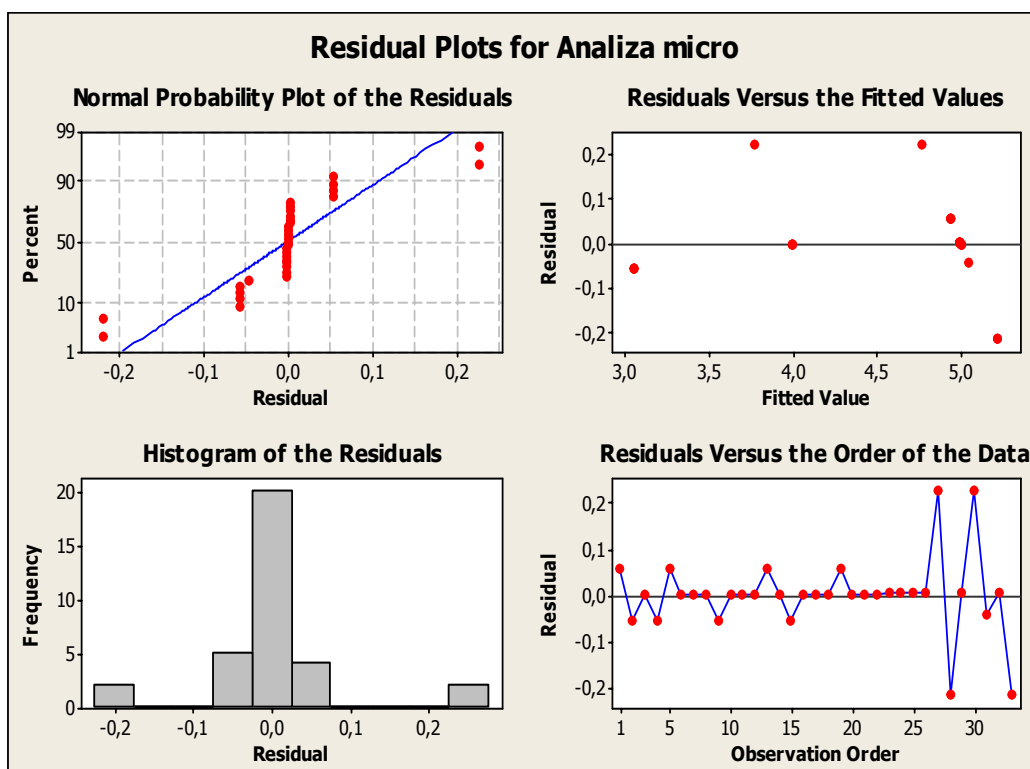


Fig.5.27 Graficele reziduale pentru analiza microstructurală a probelor sudate din aliaj Inconel 601

Modelul matematic neliniar adoptat acceptă peste 98% din valorile experimentale ceea ce indică adecvanța acestuia (Anexa 8). Efect semnificativ asupra rezultatelor analizei microstructurale prezintă timpul de menținere și interacțiunea de ordin doi, temperatură*timp de menținere.

Curbele de nivel și suprafețele spațiale ale modelului matematic, permit observarea valorilor factorilor de control care conduc la rezultate optime ale constituenților determinați de analiza microstructurală, valori coantificate prin cifra 5.

Interacțiunea dublă gaze oxidante-temperatură influențează constituenții structurali din îmbinare la temperaturii de peste 1100 °C. Sub această valoare a temperaturii interacțiunea menționată este nesemnificativă. Gazele analizate

influențează constituenții structurali din îmbinare la timp de menținere de peste 18 zile (fig.5.28).

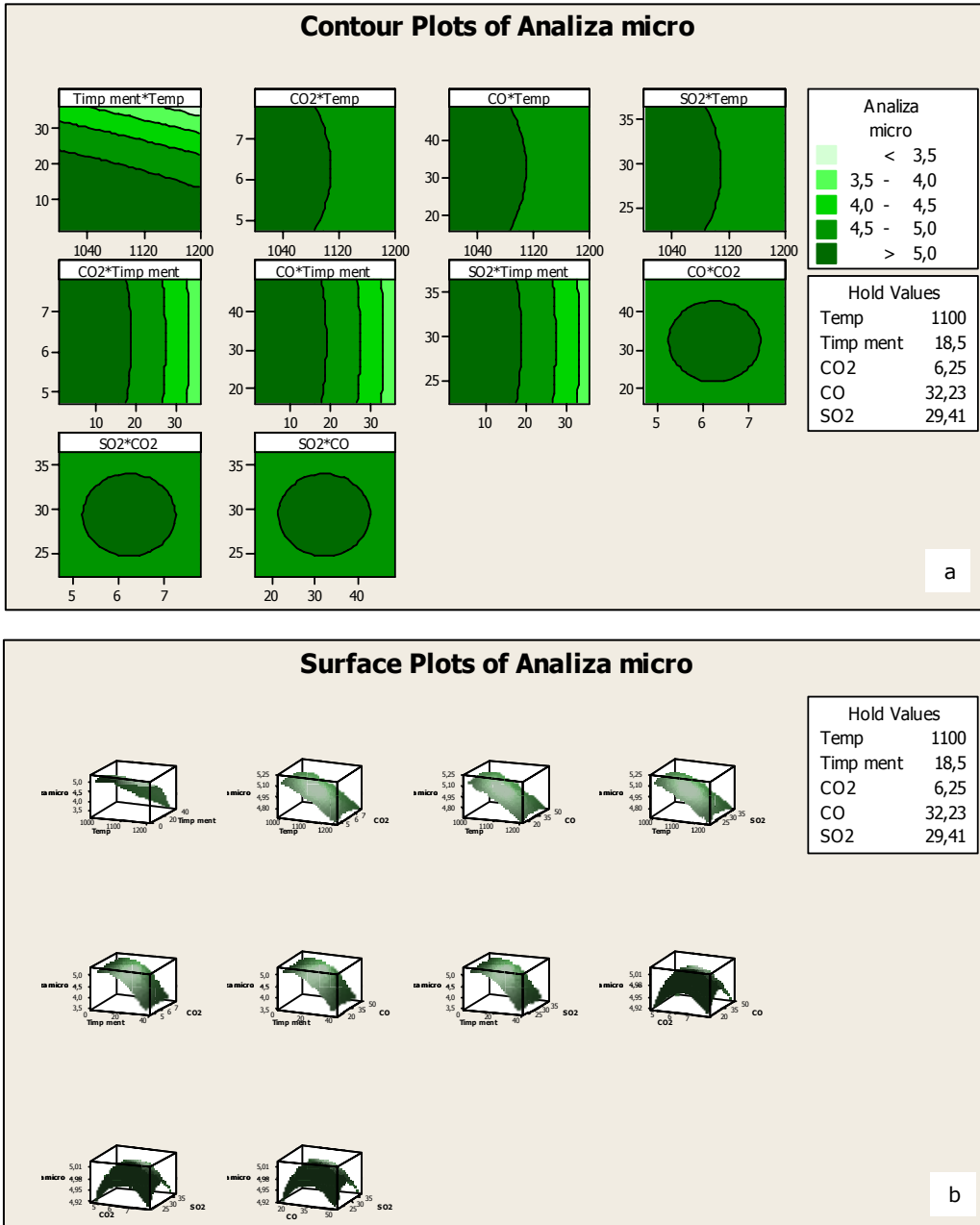


Fig.5.28 Influența factorilor de control asupra analizei microstructurale a probelor sudate din aliaj Inconel 601, a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

Optimul referitor la constituenții structurali determinați prin analiza microstructurală a probelor sudate din aliajul Inconel 601 este obținut în intervalul de temperaturi 1000-1200 °C, timpul de menținere fiind cca. 20 de zile, mediul de lucru rezultat din incinerarea deșeurilor speciale, conținând CO₂, CO și SO₂ (fig.5.29).

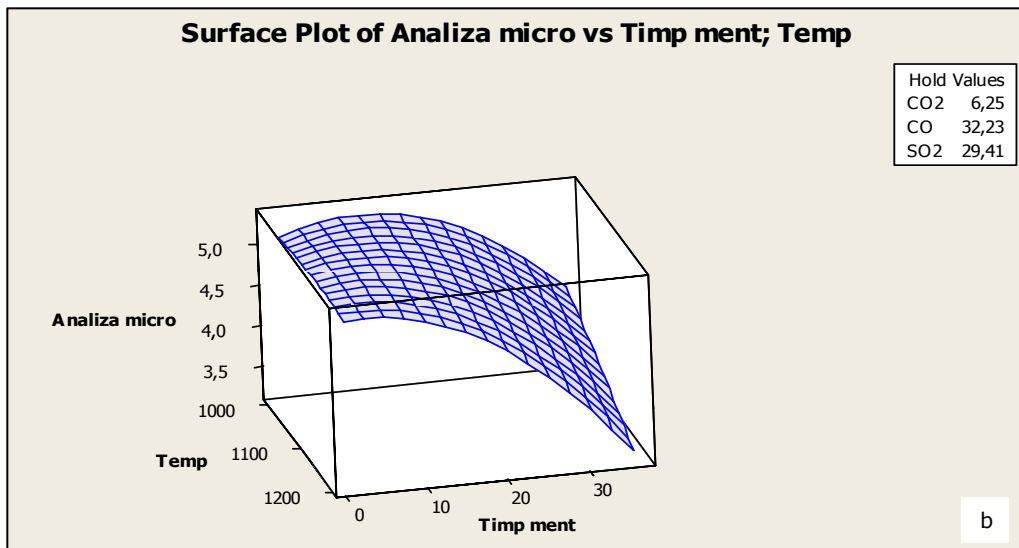
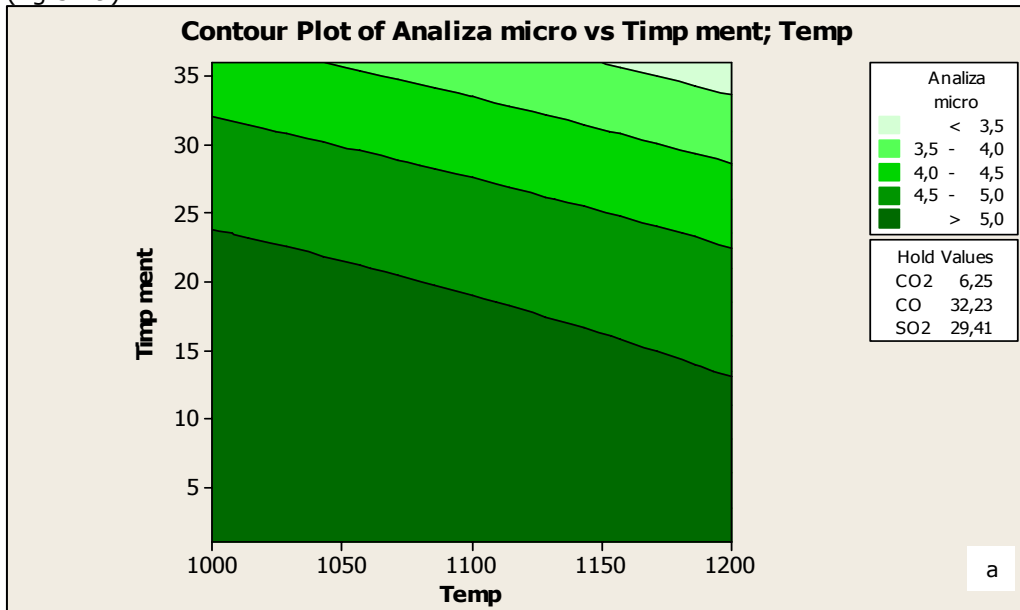


Fig.5.29 Influența timpului de menținere și a temperaturii asupra analizei microstructurale a probelor sudate din aliaj Inconel 601, a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

5.4.5 Optimizarea rezultatelor procesului

164 Condiții de exploatare pentru minimalizarea procesului de coroziune - 5

Setarea factorilor de control în vederea optimizării procesului referitor la o duritate minimă, rezistență la rupere și alungire maxime și constituenți structurali favorabili exploatării, prin modelul matematic adoptat, indică o rata de încredere de 97%

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Import					
Duritate	Minimum	170	170	180	10
Rez rupere	Maximum	640	650	650	5
Alungire	Maximum	40	50	50	5
Analiza micr	Maximum	4	5	5	10

Global Solution

Temp	=	1027,67
Timp ment	=	1,00
CO2	=	4,72
CO	=	15,81
SO2	=	22,34

Predicted Responses

Duritate	=	170,073;	desirability =	0,99266
Rez rupere	=	649,903;	desirability =	0,99027
Alungire	=	49,065;	desirability =	0,90652
Analiza micr	=	5,000;	desirability =	0,99963

Composite Desirability = 0,97965

Valorile factorilor de control care realizează optimul procesului rezultat prin rularea programului sunt prezentați în figura 5.30.

De observat că influență majoră asupra rezultatelor obținute prin optimizarea procesului o are timpul de menține în mediul coroziv.

Relativ la duritatea probelor din aliaj Inconel 601, alături de timpul de menținere importantă este și temperatura mediului, fapt ilustrat de figura 5.23.

Rezistența la rupere și alungirea la rupere a probelor din aliaj Inconel 601, sunt influențate de timpul de menținere și într-o mică măsură de temperatură. Influența concentrației de SO₂, asupra alungirii la rupere, este mai mare comparativ cu cea a concentrațiilor de CO și CO₂.

Timpul de menținere are influență majoră asupra constituenților structurali obținuți prin analiza microstructurală, ceilalți factori de control fiind nesemnificativi.

Optimul procesului se obține pentru un timp de menținere de o zi, la o temperatură în jur de 1000 °C, concentrația gazelor de ardere fiind: CO₂-4,72 %, CO-15,81 mg/Nm³, SO₂-22,34 mg/Nm³

5.4 - Îmbinare pe probe, Inconel 601 supuse mediului coroziv, deșeuri speciale 165

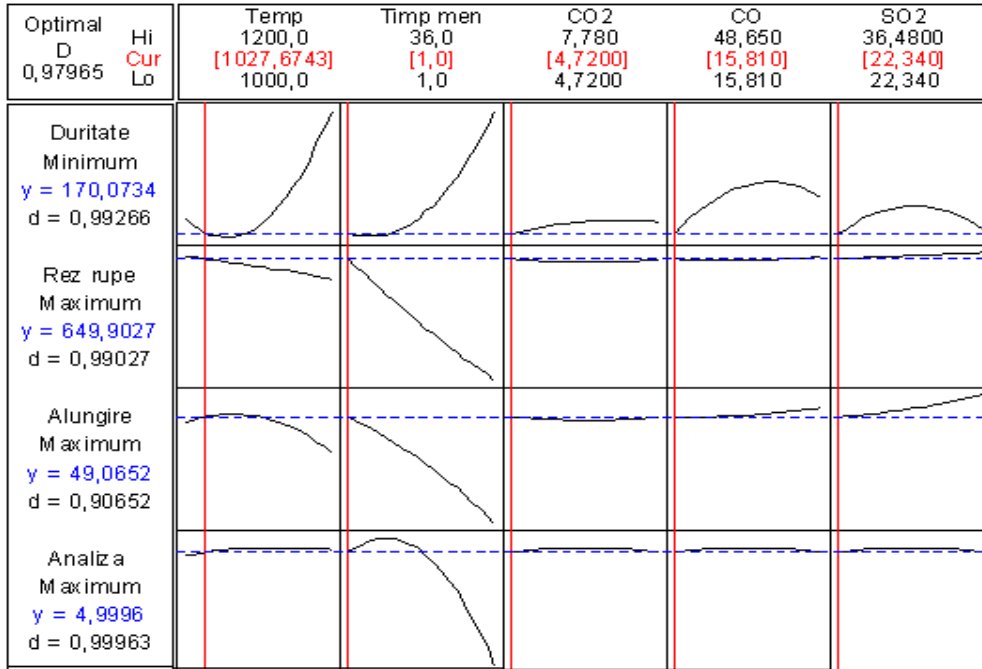


Fig.5.30 Valori optime ale caracteristicilor mecanice și analizei microstructurale, probe sudate aliaj Inconel 601, mediu coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

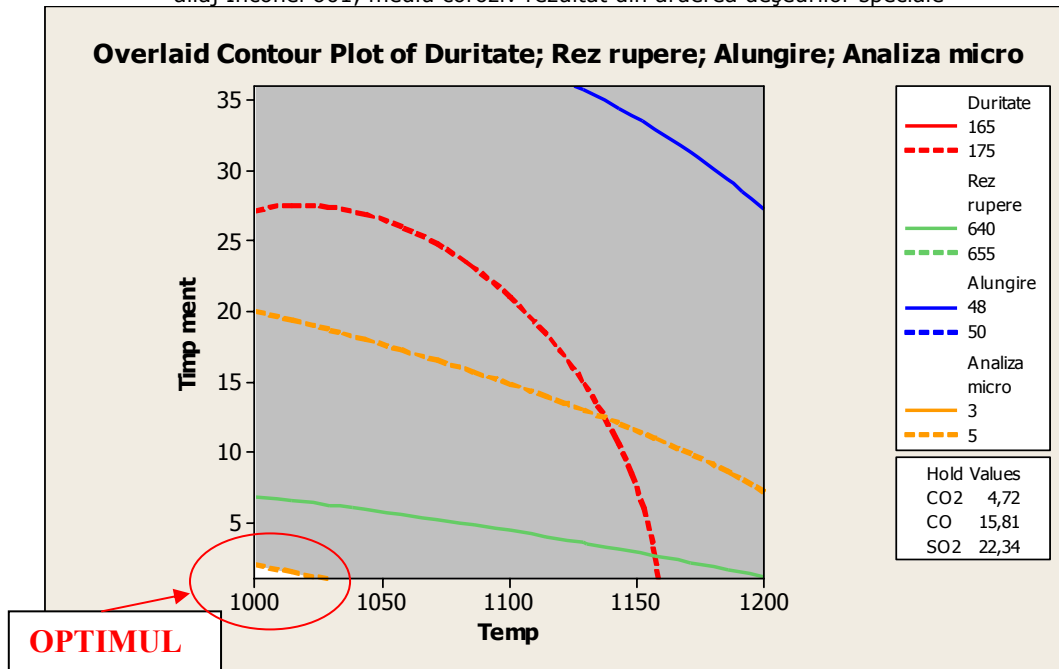


Fig.5.31 Valorile optime ale condițiilor de exploatare, pentru probe sudate, Inconel 601

5.5. Îmbinare pe probe sudate din aliaj Inconel 625, supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Influența factorilor de control asupra caracteristicilor mecanice și a componenților structurali pentru probele sudate din aliaj Inconel 625, supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale s-a evidențiat în același mod ca și la probele anterioare prin rularea programului MINITAB, cu datele de intrare prezentate în Anexa 5.

5.5.1. Influența factorilor de control asupra durității probelor din aliaj Inconel 625

Modelul matematic relevă influența semnificativă a temperaturii și a interacțiunilor de ordin doi: timp de menținere*timp de menținere, temperatură*timp de menținere, asupra durității probelor din aliaj Inconel 625. Modelul matematic care apelează la regresia pătratică este cel mai adecvat, 95% din rezultatele experimentale fiind cuprinse în el (Anexa 9).

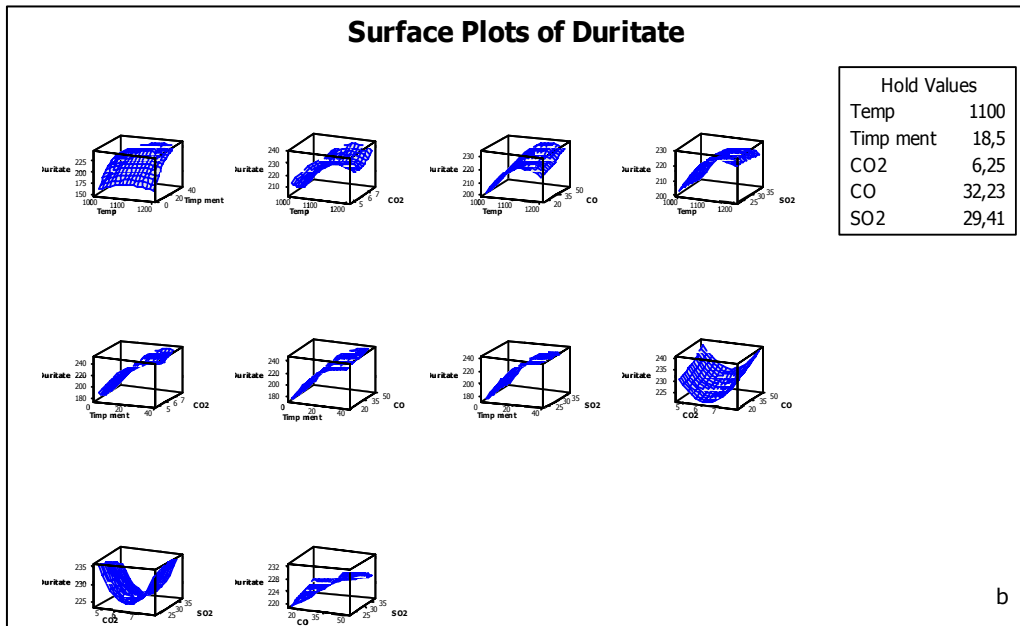
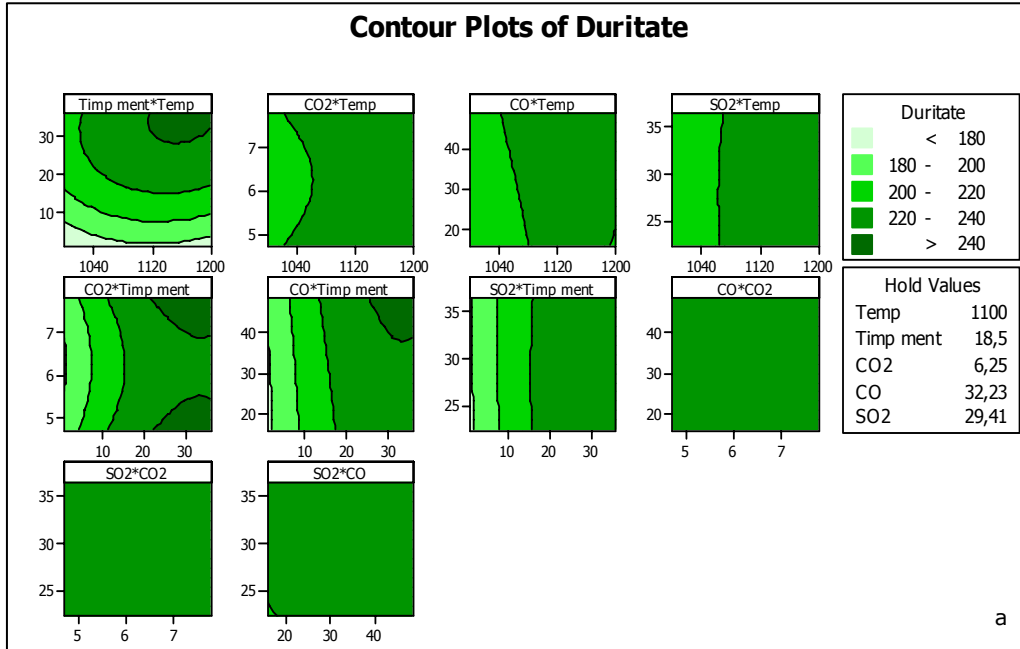


Fig.5.32 Influența factorilor de control asupra durității probelor sudate din aliaj Inconel 625
a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

Valori mari ale durității, $HV_{0,2} > 220$, se obțin atunci când probele sudate sunt expuse unui mediu gazos format din CO_2 , CO și SO_2 , la temperaturi mai mari de $1100\text{ }^\circ C$, coroborate cu timpi de menținere mai mari de 20 de zile.

5.5.2 Influența factorilor de control asupra rezistenței la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 625

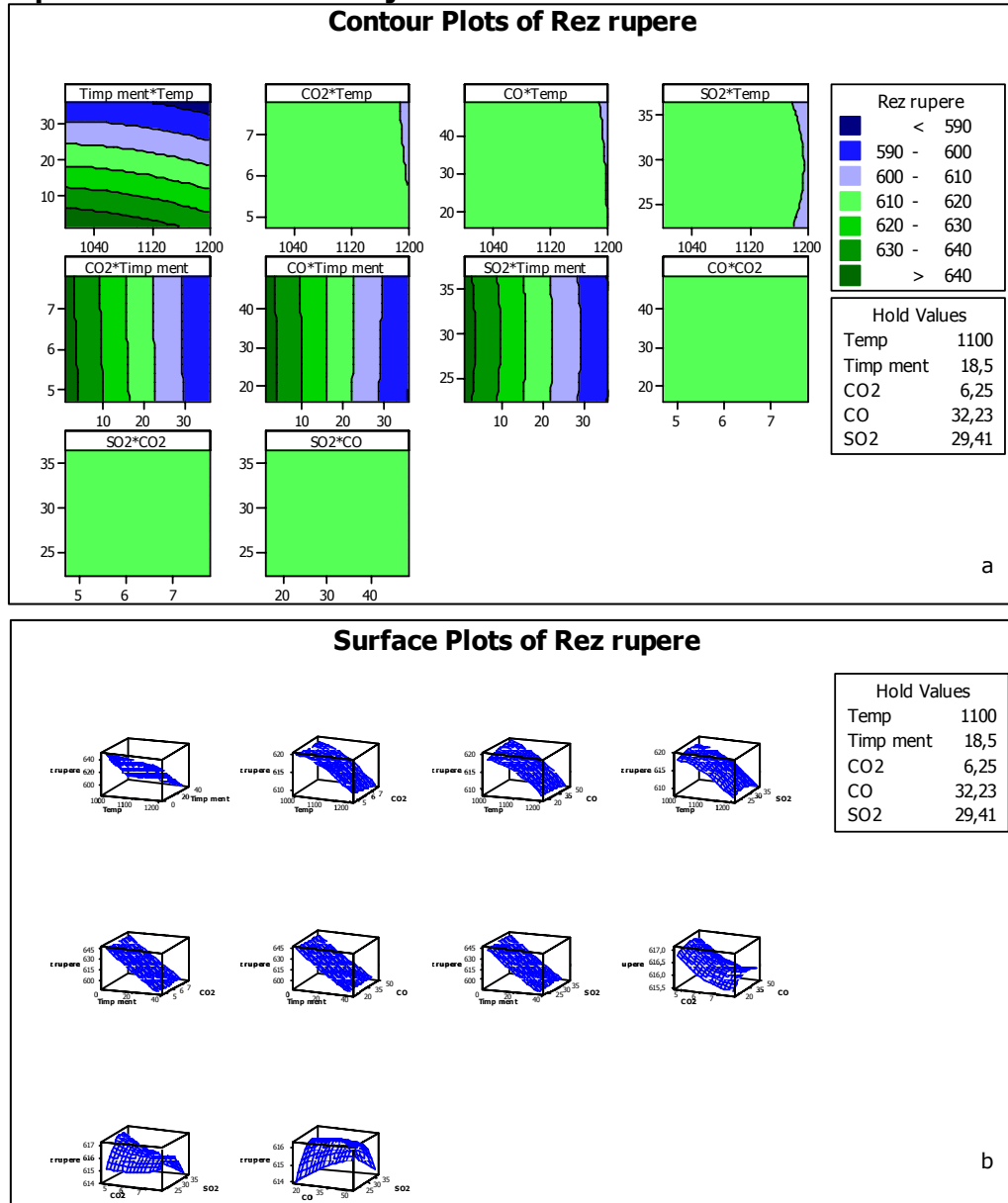


Fig.5.33 Influenței factorilor de control asupra rezistenței la ruperea a probelor sudate din aliaj Inconel 625, a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

Analiza modelului matematic arată că în intervalul de temperaturi, 1000-1200 °C, probele sudate supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale au rezistența la rupere cuprinsă între 610-620 N/mm². Peste temperatura de 1200 °C, în prezența mediului coroziv valorile rezistenței la rupere scad. Importanță mare are și timpul de menținere, creșterea timpului de menținere conduce la scăderea valorilor rezistenței la rupere

5.5.3 Influența factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 625

Modelul matematic adecvat și în acest caz este modelul care utilizează regresia pătratică, peste 98% din rezultatele experimentale sunt cuprinse în el (Anexa9). Din datele furnizate de modelul matematic reiese influența semnificativă a temperaturii și a interacțiunii de ordin doi: temperatură*temperatură asupra alungirii la rupere pentru probele sudate din aliaj Inconel 625.

Totodată se remarcă și influența timpului de menținere în mediul coroziv asupra alungirii la rupere.

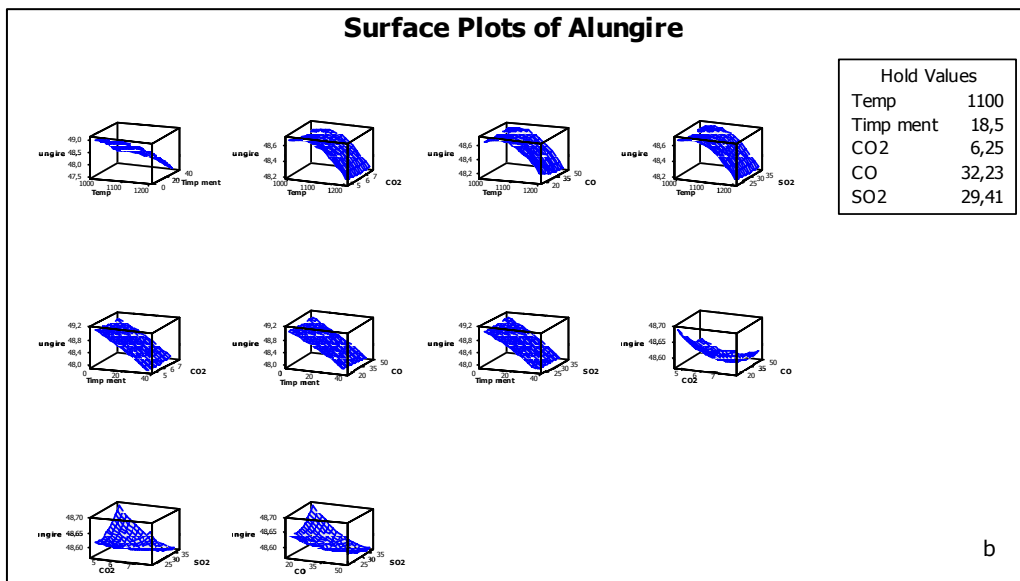
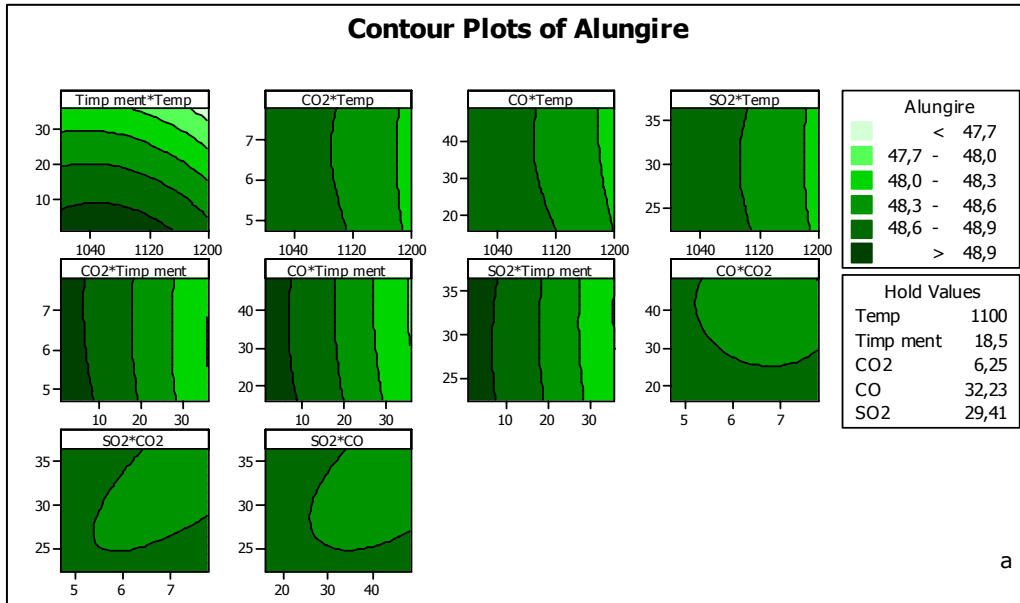


Fig.5.34 Influenței factorilor de control asupra alungirii la rupere a probelor sudate din aliaj Inconel 625, a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

5.5.4 Influența factorilor de control asupra constituenților structurali din probele sudate din aliaj Inconel 625

Este de remarcat că și în acest caz, cel mai adecvat model matematic este cel ce utilizează regresia pătratică, peste 99% din datele experimentale, fiind cuprinse în modelul matematic (Anexa9).

Datele furnizate de modelul matematic referitor la influența factorilor de control asupra constituenților structurali din probele sudate relevă influența semnificativă a factorilor: timpul de menținere, concentrația CO₂ și interacțiunile de ordin doi: timp de menținere*timp de menținere, temperatură*timp de menținere, temperatură* CO₂, temperatură*CO, temperatură*SO₂, timp de menținere*CO₂, timp de menținere*CO, timp de menținere*SO₂, CO₂*CO și CO₂*SO₂.

Figura 5.35 prezintă influența semnificativă a timpului de menținere. Probele sudate din Inconel 625, au fost expuse mediului coroziv o perioadă de 30 de zile. Menținerea probelor peste 20 de zile conduce la rezultate negative, respectiv formarea de constituenți structurali neadecvați.

Pentru intervalul de temperaturi analizat, 1000-1200 C, concentrația gazelor de ardere nu influențează semnificativ tipul constituenților structurali furnizați de analiza microstructurală.

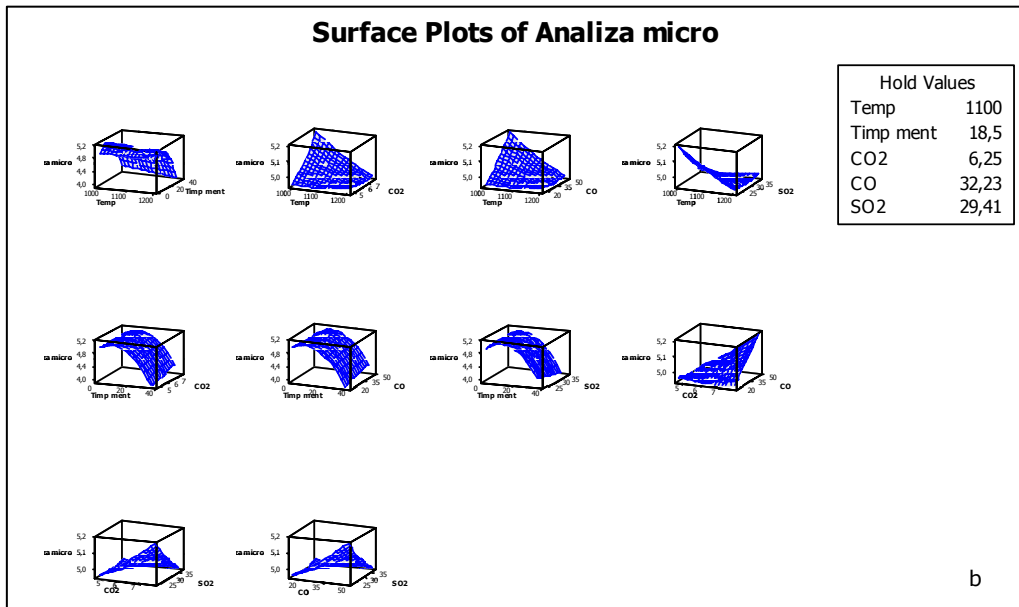
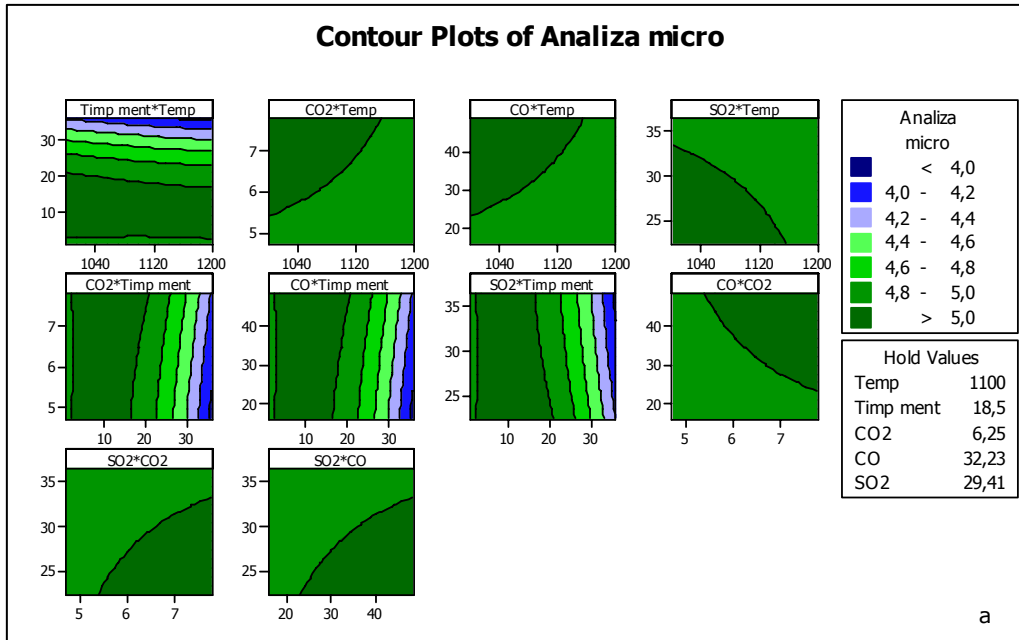


Fig.5.35 Influența factorilor de control asupra constituenților structurali din probele sudate din aliaj Inconel 625, a-curbele de nivel, b-suprafețele spațiale

5.5.5 Optimizarea rezultatelor procesului

Setarea factorilor de control în vederea optimizării procesului referitor la o duritate minimă, rezistență la rupere și alungire maxime și constituenți structurali favorabili exploatării, prin modelul matematic adoptat, indică o rata de încredere de 95%.

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight
Import					
Duritate	Minimum	170	170	180	10
Rez rupere	Maximum	630	650	650	5
Alungire	Maximum	45	50	50	5
Analiza micr	Maximum	4	5	5	10

Global Solution

Temp	=	1000,00
Timp ment	=	1,00
CO2	=	4,89
CO	=	15,81
SO2	=	36,48

Predicted Responses

Duritate	=	170,295;	desirability =	0,97048
Rez rupere	=	649,729;	desirability =	0,98647
Alungire	=	49,200;	desirability =	0,83999
Analiza micr	=	5,009;	desirability =	1,00000

Composite Desirability = 0,95952

Valorile optime ale factorilor de control: temperatura, timp de menținere, concentrația CO₂, concentrația CO, concentrația SO₂, rezultați din rularea programului sunt indicate în figura 5.36.

Graficele de optimizare arată influența semnificativă a timpului de menținere asupra durității, rezistenței la rupere, alungirii la rupere și constituenților structurali, pentru probele sudate din aliaj Inconel 625, supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale.

Temperatura mediului gazos în intervalul 1000-1200 °C, influențează în mică măsură rezultatele procesului. Influența concentrației gazelor de ardere asupra probelor sudate este nesemnificativ

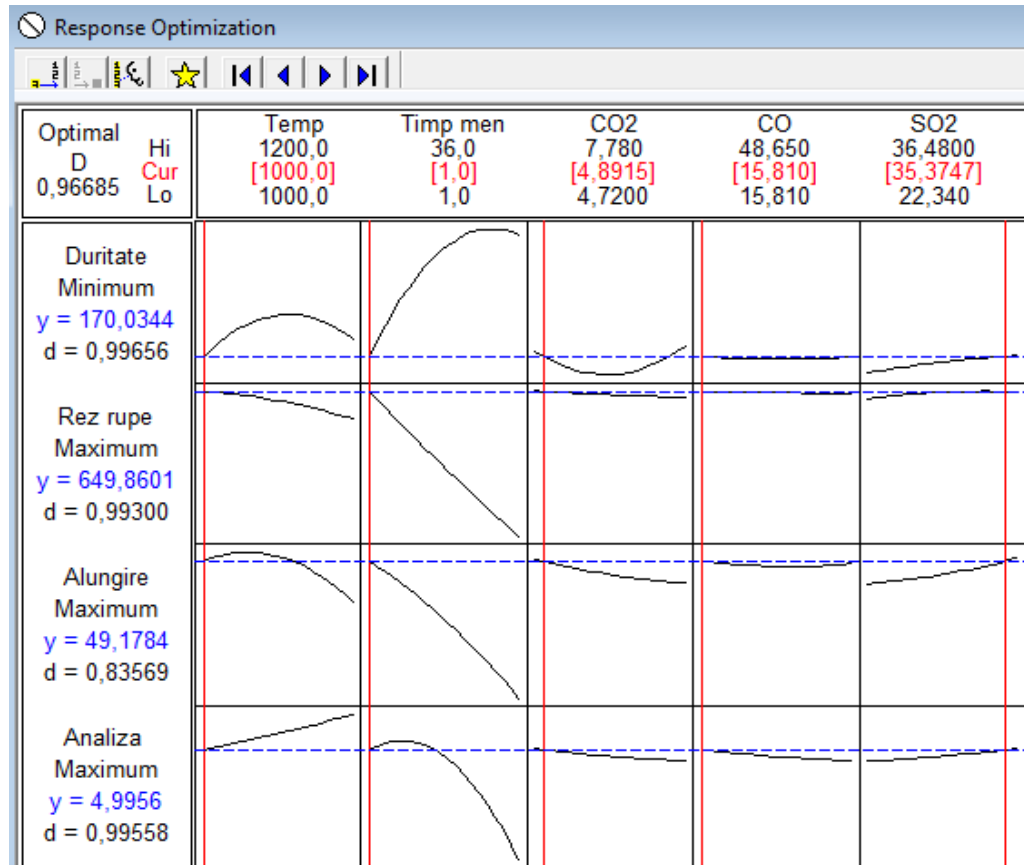


Fig.5.36 Valori optime ale caracteristicilor mecanice și analizei microstructurale, probe sudate, aliaj Inconel 625, mediu coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Diversitatea mare de deșuri existente, supuse procesului de ardere, a impus realizarea de instalații de incinerare specializate și procese tehnologice specifice, corespunzătoare naturii și compoziției chimice a acestora. Importante pentru buna funcționare a acestor instalații sunt materialele și procedeele de îmbinare a acestora.

Cercetările realizate în cadrul tezei s-au axat pe selectarea materialelor și procedeele de sudare adecvate realizării reperelor instalațiilor de incinerare, în condițiile unei calități corespunzătoare a îmbinărilor sudate, care să corespundă condițiilor de exploatare.

Cercetările s-au inițiat printr-o documentare pertinentă referitoare la instalațiile de incinerare, la compoziția chimică a deșeurilor speciale, respectiv a amestecurilor de biomasă-cărbune și la emisiile de gaze rezultate în urma incinerării deșeurilor.

Deșeurile speciale, considerate periculoase, care provin din medii puternic contaminate precum deșeurile spitalicești și/sau deșeurile de aeroport, se incinerează în instalații speciale, la temperaturi ridicate, între 700-1300 °C, pentru a realiza distrugerea totală a compușilor chimici, dioxinelor și furanilor. Principalele elemente componente ale unei instalații de incinerare a deșeurilor speciale sunt: instalația de ardere formată din camera de combustie și camera de postcombustie și sistemul de neutralizare a gazelor de ardere, astfel încât la ieșirea în atmosferă să fie eliminate componentele periculoase.

Biomasa reprezintă o categorie de deșuri valorificabile prin arderea combinată cu cărbunile, pentru producerea de energie electrică și termică verde. Arderea amestecului biomasă-cărbune se realizează în instalații complexe care au în componența lor: instalația de introducere a combustibilului, sistemul de ardere și sistemul de neutralizare și evacuare a gazelor arse.

Pentru funcționarea de durată, în condiții de agresivitate chimică a mediului de lucru și de temperaturi ridicate, reperatele componentelor sistemului de ardere, îmbinate prin sudură, trebuie să reziste în condiții de exploatare extreme.

Procesele tehnologice de ardere a deșeurilor care se desfășoară la temperaturi înalte, agresivitatea chimică a gazelor de ardere, variabilă funcție de compoziția chimică a deșeurilor incinerat, dezvoltă procese de coroziune a materialelor metalice și îmbinărilor sudate din componența incineratoarelor.

Într-o prima fază a cercetărilor experimentale au fost realizate în laboratorul de „Sudare în mediu de gaze protectoare”, din cadrul catedrei SMS de la Facultatea de Mecanică din Universitatea „POLITEHNICA” Timișoara, probe sudate din diferite materiale apelând la procedeele de sudare în mediu de gaze protectoare.

Materialele selectate în cercetările experimentale din care s-au efectuat probe sudate au fost oțel inoxidabil de tipul X5CrNi18-10, de grosime 4 mm și aliaje pe bază de Ni: Inconel 601 de grosime 3 și 4 mm, și Inconel 625, de grosime 4 mm. Îmbinările sudate au fost realizate prin procedeele de sudare în mediu de gaze protectoare MIG, respectiv WIG.

Din seturile de probe sudate realizate, unele au fost folosite drept probe martor, iar într-o fază următoare a cercetărilor experimentale, un set de probe sudate a fost expus mediului coroziv rezultat din arderea diferitelor tipuri de deșeuri.

Probe sudate din oțel inoxidabil de tipul X5CrNi18-10, au fost expuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune, timp de 100 de zile, în stația pilot existentă în cadrul Laboratorului Multifuncțional de Mașini și Energii Neconvenționale din cadrul Universității „POLITEHNICA” Timișoara.

Influența mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale asupra probelor sudate din oțel inoxidabil de tipul X5CrNi18-10 și din aliaje pe bază de Ni: Inconel 601 și Inconel 625, s-a concretizat prin expunerea probelor sudate, timp de 36 de zile în incineratorul ecologic pentru incinerarea deșeurilor medicale, toxice și periculoase, de tip TERMOREFRACT 001 aflat în exploatare la SC PRO AIR CLEAN SA Timișoara.

Probele sudate atât în stare inițială cât și după expunerea în mediu coroziv au fost supuse unui program complex de încercări specifice, respectiv:

- analize macroscopice și microscopice în conformitate cu standardul SR EN 1321: 2000, pentru evidențierea structurii materialului de bază, zonelor îmbinărilor sudate și eventualelor procese de coroziune;

- analize slerometrice conform SR EN 1043-1:1997, efectuate cu microdurimetrul MPT3, ce au permis stabilirea durtății metalului de bază, a materialului din diversele zone ale îmbinării sudate, pentru probele sudate neexpuse, respectiv expuse mediului coroziv;

- încercări de tracțiune în conformitate cu SR EN 895: 1997, pe epruvete prelevate din probe sudate, neexpuse, respectiv expuse mediilor corozive. Ruperea epruvetelor s-a realizat în majoritatea cazurilor în materialul de bază confirmând corectitudinea regimurilor de sudare folosite la realizarea îmbinărilor sudate și corodarea mai pronunțată a metalului de bază comparativ cu metalul sudurii;

- încercări de îndoire conform SR EN 895: 1997, pe epruvete prelevate din probe sudate neexpuse, respectiv expuse, mediului coroziv, pentru a determina capacitatea de deformare plastică a îmbinărilor sudate;

- încercări la coroziune intercristalină, efectuate conform SR EN ISO 3651:1999. Rezistența la coroziune a îmbinărilor sudate din aliaje de nichel a fost superioară rezistenței la coroziune a oțelurilor inoxidabile, în prezența mediului coroziv rezultat din incinerarea deșeurilor speciale;

Încercările efectuate au evidențiat:

- Materialul recomandat la realizarea componentelor instalațiilor de incinerare biomasă-cărbune este un oțel inoxidabil austenitic de tip 18/10, precum marca X5CrNi18-10, utilizată în cercetările experimentale. Probele sudate din acest material au fost puțin afectate la nivelul metalului de bază și nesemnificativ la nivelul diverselor zone ale îmbinărilor sudate de mediul coroziv rezultat din gazele de ardere și temperatura din sistemul de ardere.

- Vis-a-vis de procedeele de sudare recomandate la sudarea oțelului inoxidabil de tipul X5CrNi18-10, pentru realizarea reperelor incineratoarelor de biomasă-cărbune, procedeul MIG este mai puțin recomandat, fapt evidențiat prin apariția fenomenelor de difuzie mai intense în zona de trecere dintre metalul sudurii și ZIT, comparativ cu cele produse la utilizarea procedurii WIG. Fenomenul se explică prin cantitatea de căldură sporită introdusă în zona îmbinării.

- Urmare a acestora la îmbinarea reperelor componentelor din incineratoarele de biomasă-cărbune se recomandă procedeul de sudare în mediu de gaz protector cu electrod nefuzibil, WIG.

- Mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor periculoase este mai agresiv chimic comparativ cu mediul gazos rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune, urmare a compoziției chimice complexe a deșeurilor speciale.

- Mediul coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale produce fenomene de coroziune intense în toate zonele îmbinărilor sudate și în mod deosebit la nivelul metalului de bază în cazul probelor sudate din oțel inoxidabil de tipul X5CrNi18-10.

- Se poate concluziona că urmare a agresivității mediului coroziv, a temperaturilor ridicate de lucru, oțelurile inoxidabile austenitice nu sunt indicate la realizarea componentelor din instalația de incinerare a deșeurilor speciale

- Îmbinările sudate din aliaj Inconel 601, expuse mediului coroziv din instalația de ardere a deșeurilor speciale, prezintă fenomene de coroziune intercrystalină mai accentuate la nivelul metalului de bază comparativ cu zonele îmbinărilor sudate. Importantă este și grosimea materialului, probele sudate cu grosimea de 4 mm, au evidențiat procese de coroziune la nivelul metalului de bază, mai extinse pe adâncime comparativ cu probele sudate din același material cu grosimea de 3 mm.

- Nivelul procesele de coroziune semnalate la probele sudate din aliaj Inconel 601, de grosime 3 mm, respectiv 4 mm, sunt ne semnificative comparativ cu ponderea fenomenelor de coroziune identificate la probele din oțel inoxidabil de tipul X5CrNi18-10, supuse la condiții identice de testare, în incineratorul de deșeuri speciale. Aceasta exclude utilizarea oțelurilor inoxidabile austenitice la fabricarea reperelor din componenta incineratoarelor de deșeuri speciale.

- Cercetările experimentale au evidențiat că dintre aliajele de nichel, recomandat pentru realizarea componentelor incineratoarelor de deșeuri speciale, este aliajul Inconel 625. Aceasta deoarece în condiții identice de testare, epruvetele prelevate din probe sudate din aliaj Inconel 625, nu prezintă urme de coroziune la nivelul metalului de bază și la nivelul zonelor îmbinării sudate.

- Pentru realizarea componentelor instalației de incinerare a deșeurilor periculoase din aliaj Inconel 625, procedeul de sudare adecvat este procedeul de sudare în mediu de gaz protector cu electrod nefuzibil, WIG. Anterior punerii în exploatare, îmbinările sudate se recomandă a fi supuse unui tratament termic de recoacere joasă de punere în soluție, tratament prin care se obține o uniformizare și diminuare a nivelului tensiunilor interne, diminuând prin aceasta riscul de coroziune al îmbinărilor.

- Relativ la tratamentele termice recomandate la astfel de îmbinări sudate, tratamentul termic de recoacere joasă de punere în soluție, aplicat aliajelor refractare pe bază de nichel, influențează benefic calitatea îmbinărilor sudate, contribuind la scăderea durității la nivelul ZIT-ului și metalului sudurii, diminuând totodată cantitatea precipitărilor de faze secundare din structura îmbinărilor sudate.

- O posibilitate de stabilire a condițiilor minime de dezvoltare a procesului de coroziune a materialelor, respectiv a îmbinărilor sudate din componența incineratoarelor este programul MINITAB, program bazat pe planificarea experimentelor. Prin experimentele realizate în cadrul programului s-a urmărit influența mediului de lucru caracterizat prin: temperatură, compoziția chimică procentuală a gazelor de ardere cu influență semnificativă și timpul de menținere, asupra caracteristicilor mecanice și a constituenților structurali pentru materialele, respectiv îmbinările sudate din componența incineratoarelor.

Modele matematice prezentate au permis optimizarea procesului de lucru în vederea obținerii de rezultate optime pentru caracteristicile mecanice și de

constituenți structurali favorabili îmbinărilor sudate din oțel inoxidabil de tipul X5CrNi18-10 și din aliaje de Ni de tipul Inconel 601, și Inconel 625.

Datele furnizate de program evidențiază rezistența la coroziune superioară a îmbinărilor sudate din aliaje refractare pe bază de nichel, comparativ cu rezistența la coroziune a îmbinărilor sudate din oțeluri inoxidabile la condițiile de lucru din instalațiile de incinerare a deșeurilor speciale.

Totodată analiza comparativă a probelor sudate din cele două aliaje refractare pe bază de nichel, relevă comportarea superioară a probelor sudate din aliaj Inconel 625 la condițiile agresive existente în instalația de ardere a deșeurilor speciale, recomandându-l ca material pentru diferite reperi din componența acestor echipamente.

Se apreciază ca principale contribuții personale relevante rezultate în urma cercetărilor efectuate în cadrul tezei următoarele:

- Identificarea în urma consultării bibliografiei în domeniu a tipurilor de deșeuri, a compoziției chimice elementare și a caracteristicilor de ardere specifice diverselor tipuri de deșeuri. Totodată din literatura de specialitate consultată s-au precizat condițiile de exploatare specifice: mediu coroziv agresiv și temperaturi ridicate, pentru reperate și îmbinările sudate din componența incineratoarelor de deșeuri.

- Evidențierea importanței materialului utilizat la realizarea componentelor incineratoarelor, legat de procesele de coroziune promovate de temperaturile ridicate și de acțiunea chimică a gazelor de ardere rezultate din incinerarea diferitelor tipuri de deșeuri.

- Selectarea materialelor și procedeele de sudare adecvate realizării reperelor din componența diferitelor tipuri de incineratoare. Ca materiale pentru reperi ale instalației de incinerare a amestecului biomasă-cărbune, s-au selectat oțeluri inoxidabile austenitice, pentru componente ale instalației de incinerare a deșeurilor speciale s-au selectat aliaje refractare pe bază de nichel, de tip Inconel 601 și Inconel 625. Procedeele de sudare recomandate pentru astfel de materiale sunt procedeele de sudare în mediu de gaze protectoare inerte, WIG, respectiv MIG.

- Realizarea programului de cercetări experimentale referitor la îmbinările sudate pe materialele selectate cu procedeele de sudare selectate, în condiții tehnologice specifice se consideră contribuție personală.

- Contribuție importantă este selectarea condițiilor de expunere a probelor sudate în diferite medii corozive, perioade de timp variabile, în vederea evaluării comportării materialelor de bază și a îmbinărilor sudate la agresivitatea mediului de lucru. Agresivitatea mediului de lucru a fost coantificată prin măsurători vis-a-vis de compoziția gazelor de ardere și temperaturile produse la arderea combustibililor cu diferite rapoarte masice de biomasă-cărbune, respectiv diverse compoziții ale deșeurilor speciale. Valorile emisiilor de gaze la ieșirea din sistemul de neutralizare și a temperaturilor gazelor de ardere au fost înregistrate, cu o frecvență de 2 minute.

- Realizarea programului experimental complex de verificare a calității îmbinărilor realizate, înainte și după expunerea în mediu coroziv. În conformitate cu normativele în vigoare s-au efectuat încercări macrostructurale și microstructurale, încercări mecanice: tracțiune, îndoire, duritate și încercări de rezistență la coroziune. Epruvete folosite în încercări au fost prelevate din probe sudate, neexpuse, respectiv expuse în diverse medii corozive cu scopul de a evidenția influența mediului coroziv asupra comportării îmbinărilor sudate și a eventualelor procese de coroziune.

Încercările efectuate au permis selectarea oțelului inoxidabil austenitic de tip 18/10, ca material recomandat în fabricarea reperelor din componența incineratoarelor de biomasă-cărbune, respectiv a aliajelor refractare pe bază de nichel pentru componentele incineratoarelor de deșeuri speciale. Între acestea, probele realizate din aliaj Inconel 625, în aceleași condiții de testare nu sunt afectate de mediul coroziv, fiind materialul recomandat pentru realizarea componentelor incineratoarelor de deșeuri speciale.

- Realizarea modelelor matematice utilizând programul MINITAB. Prin modele matematice realizate se coantifică influența factorilor de control, referitori la caracteristicile mediului de lucru, asupra rezultatelor procesului respectiv la: caracteristicile mecanice și constituenți structurali pentru materialele și îmbinările sudate din componența incineratoarelor. Datele furnizate de modele matematice prin programul MINITAB, confirmă rezultatele cercetărilor experimentale, condiții minime de coroziune se obțin în cazul aliajului refractar de tipul Inconel 625.

- Abordarea inerdisciplinară a cercetării, prin realizarea de cercetări specifice domeniului mecanic, chimic și al prelucrării informaționale a datelor.

BIBLIOGRAFIE

1. AICHELE, G.: 116 reguli de sudare în mediu de gaz protector, Editura Sudura, Timișoara, 1999
2. ANDRESEN, P.L., MORRA, M.M.: STRESS Corrosion Cracking of Stainless Steels and Nickel Alloys in High-Temperature Water, Corrosion, Volume 64, Issue 1, Corrosion Science, 2008, pp.15-30
3. ASPHAHANI, A. I.: Corrosion of Nickel-Base Alloys, in Metals Handbook, Corrosion Metals Park, Ohio, ASM International, 1997, pp. 641-657
4. BANCROFT, C., GREENE, R.J., TYLER, P.: Multidisciplinary engineering - an integrated solution, International Journal of Microstructure and Materials Properties, Volume 5, Numbers 4-5, December 2010 , pp. 456-470(15)
5. BĂDĂRĂU, GH.: Proprietățile materialelor metalice – Note de curs, 2007 2008
6. BLACKLER, M., MCCOLVIN, G., RANDLE, V.: Grain boundaries at high temperature, Materials Science and Technology, Volume 26, Number 7, 2010, pp. 761-761(1)
7. BURCĂ, M., NEGOIȚESCU, S.: Sudarea MIG/MAG, Editura Sudura, 2002
8. CHEHAIBOU, A.: Metallurgical weldability of stainless steels, Welding International, July 1, 2006
9. COUVANT, T., DELAFOSSE, D., VAILLANT, F., BOURSIER, J.M.: Effect of Strain-Path on Stress Corrosion Cracking of AISI 304L Stainless Steel in PWR Primary Environment at 360 °C, The journal of Corrosion Science and Engineering, Volume 11, 2008, ISSN 1466-8858
10. DAVOODI, A., MOAYED, M.H., TAVAKOLI SHOUSHARI, M.R.: Galvanic corrosion in gaz tungsten arc welding of 17-4PH stainless steel, 1th International Conference on Welding Technologies, Ankara, p.598-603, 2009
11. DEHELEAN, D.: Sudarea prin topire, Editura Sudura, Timișoara, 1997
12. DI MARTINO, I., BROOKS, J. W., REED, P. A. S., HOLDWAY, P., WISBEY, A.: Adaptive numerical modeling of high temperature strength, creep and fatigue behavior in Ni based superalloys, Volume 23, Number 12, December 2007 , pp. 1402-1407(6)
13. DIGBY, D., ENGELHARDT. M., ENGELHARDT, G.: Deterministic Prediction of Localized Corrosion Damage – A Reflective Review of Critical Issues, Corrosion Science, Volume 6, Paper C066, 2003, ISSN 1466-8858
14. ELMER, J.W., WONG, J., RESSLER, T.: Second International Symposium on the Joining of Advanced Materials, ASM Materials Solutions 99, Ohio, November1-4, 1999
15. EVANS,U.R.: The corrosion and oxydation of metals, London,1989
16. FEDOROVA, E., MONCEAU, D., OQUAB, D.: Quantification of growth kinetics and adherence of oxide scales formed on Ni-based alloys at high temperature, Corrosion Science, Volume 52, Issue 12, 2010
17. FRUSTIE, M.J., GAUTHIER,P.: Corrosion in service experience with aircraft in France, 79th Meeting of the AGARD Structures and Materials Panel, Seville, Espagne, Oct.1994
18. GIBBONS, T. B.: Superalloys in modern power generation applications,

- Materials Science and Technology, Volume 25, Number 2, February 2009, pp. 129-135(7)
19. GIRIDHARAN, P.K., MURUGAN, N.: Effect of Pulsed Gas Tungsten Arc Welding Process Parameters on Pitting Corrosion Resistance of Type 304L Stainless Steel Welds, *Corrosion*, Volume 63, Issue 5, *Corrosion Science*, 2007, pp.433-442
 20. GOUTIER, F., VALETTE, S., VARDELLE, A., LEFORT P.: Oxidation of stainless steel 304L in carbon dioxide, *Corrosion Science*, Volume 52, Issue 7, 2010, p.2403-2412
 21. HERMANN, J.A., MANFRED, B.E.: Corrosion studies with hard coating - substrate systems, *Surface and Coating Technology*, 5455, 1992
 22. HOPPE, W., PIERCE, J., SCOTT, O.: Automated Corrosion Detection Program, AFRL-ML-WP-TR-2001-4162 (ADA406600), Defense Technical Information Center, Ft. Belvoir, VA, 2001
 23. HORVATH, R. J.: The Role of the Corrosion Engineer in the Development and Application of Risk-Based Inspection for Plant Equipment, *Materials Performance*, 39:70-75 (1998)
 24. HRIVNIAK, I: Theory of Weldability of metals and Alloys, Elsevier, Amsterdam, 1992
 25. IOANA, I., TRIF-TORDAI, G., JENCHEA, A., CEBRUCEAN, D.: Experimental research on co-combustion process of pit coal with agricultural biomass, 3th International Conference on Energy and Environment, U.P.Sci.Bull., Series C, Vol.69, No.4, ISSN: 1454-234, București, 2007
 26. IONEL, I., SAVU, A., UNGUREANU, C., ș.a.: Procedeu și instalație pentru arderea combinată a deșeurilor de biomasă cu cărbune și epurarea gazelor de ardere, Brevet nr. 121352B1-A/1085/27.12.2005
 27. IONEL, I., UNGUREANU, C., TRIF-TORDAI, G. JENCHEA, A., SILAGHI, D., CONSTANTIN, C.: Managementul valorificării energetice a biomasei, Monografie, Ed. Politehnica, ISBN: 978-973-625-541-0, Timișoara, 2007
 28. IVENS, M.B., COLEY, K.S., RODDA, J.: Corrosion in Hot Gaz Converters of Sulphuric Acid Plant, *The Journal of Corrosion Science and Engineering*, 2003, ISSN 1466-8858, Volume 6, p. 21-25
 29. JEFFERSON, T.B.: Metals and How to Weld them-The James Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, Ohio, 1990
 30. JOHN, R. C.: Compilation and Use of Corrosion Data for Alloys in Various High-Temperatures Gases, Corrosion 99 Paper 99073, Houston, Tex., NACE International, 1999
 31. JONES, D. A.: Principles and Prevention of Corrosion, Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall, 1996
 32. JUNE, C.D.: Optimizarea procesului de încărcare prin sudare în mediu de gaz protecor cu rată mare de depunere, Teza de doctorat, Universitatea Politehnică Timișoara, 2007
 33. KARAMINEZHAAD, M., KORDZADEH, E., BATENI, M. R.: The Effect of Nickel and Aluminum Addition on Oxidation Behavior of Austenitic Heat Resisting Steels, *The Journal of Corrosion Science and Engineering* Volume 7, Paper 4, 2004
 34. KILLING, R.: Welding Processes and Thermal Cutting, DSV Verlag, Dusseldorf, 2001

35. KISH, J.R., REID, C., SINGBEIL, D. L., SEGUIN, R: Corrosion of High-Alloy Superheater Tubes in a Coastal Biomass Power Boiler , Corrosion, Volume 64, Issue 4, Corrosion Engineering, 2008, pp.356-366
36. KUANG, W., WU, X., HAN, E. H.: The oxidation behaviour of 304 stainless steel in oxygenated high temperature water, Corrosion Science, Volume 52, Issue 12, 2010, p. 4081-4087
37. LAI, G. Y. High Temperature Corrosion of Engineering Alloys, Materials Park, Ohio, American Society for Metals, 1990
38. LEE, H.T., LIN. WU. J.: The effects of peak temperature and cooling rate on the susceptibility to intergranular corrosion of alloy 690 by laser beam and gas tungsten arc welding, Corrosion Science, Volume 51, Issue 3, 2009, p.439-445
39. LIAO, M. AND XIONG, Y.: A risk analysis of fuselage splices containing multi-site damage and corrosion, Structural Dynamics and Materials Conference, AIAA-2000-1444, American Institute for Aeronautics and Astronautics, Reston, VA, 2000
40. LIPPOLD, J.C., KOTECKI, D.J.: Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel, Jhon & Sons, 2005, p. 264
41. MAGDA, A.V.: Contribuții privind sudarea oțelurilor acoperite, Teza de doctorat, Seria 8, Inginerie industrială, Nr.22, Editura Politehnica, ISBN: 978-606-554-019-4, 2009
42. MARCHALL, P.J., GOOCH, T.G.: Effect of Composition on Corrosion Resistance of High-Alloy Austenitic Stainless Steel Weld Metals, The journal of Corrosion Science and Engineering, vol. 49, Nr.6, 1993, p514
43. MILOȘ, L.: Bazele prelucrării prin sudare, Editura Politehnica, Timișoara, 2003
44. MILOȘ, L.: Bazele proceselor de asamblare, Editura Politehnica, Timișoara, 2009
45. MILOȘ, L., BURCĂ, M.: Curs practic de sudare MAG, pentru instruirea sudorilor, Editura Politehnica, Timișoara, 2006
46. MILOȘ, L.: Procese de sudare, Editura Politehnica, Timișoara, 2006
47. MILOȘ, L., **SALAI, M.**: Behavior of welded joints exposed at corrosion of burned gases result from hospital waste products, 1th International Conference on Welding Technologies, Ankara, p.610-618, 2009, ISBN 978-975-93049-6-6 (ISI Proceedings)
48. MILOȘ, L., **SALAI, M.**: Quality of pipelines'welded joints made from X70 steel, Konferenz fur Anlagentechnik, Balaton, 2007
49. MILOȘ, L., **SALAI, M.**: Behavior of performed materials at corrosion media produced by burning wastes, Revista de Chimie, 2011 (cotație ISI-acceptată spre publicare)
50. MITELEA, I., BUDĂU, V.: Materiale și tratamente termice pentru structuri sudate, Editura de Vest, Timișoara, 1992
51. MITELEA, I., LUGSCHEIDER E., TILLMANN, W.: Știința materialelor în construcția de mașini, Editura Sudura, Timișoara, 1999
52. MITELEA, I., RADU, B.: Selecția și utilizarea materialelor ingineresti, Editura Politehnica, 1998
53. MITELEA, I., RADU, B.: Materialografia îmbinărilor sudate, Editura de Vest, Timișoara, 2006
54. MITELEA, I., TILLMAN, W.: Știința materialelor I, Editura politehnica, Timișoara, 2006

55. MITCHELL, C.P., OVEREND, R.P.: Biomass and bioenergy, Volume 32, Elsevier, ISSN:0961-9534, 2008
56. MURTHY, TATA, L.N.: Corrosion Control-Loss Prevention, The Journal of Corrosion Science and Engineering, Volume 10, 2007, ISSN 1466-8898
57. PHONGPHIPHAT, A., RYU, C., BIN YANG, Y., FINNEY, K.N., LEYLAND, A., SHARIFI, V. N., SWITENBANK, J.: Investigation into high-temperature corrosion in a large-scale municipal waste-to-energy plant, Corrosion Science, Volume 52, Issue 12, 2010, Pages 3861-3874
58. ROBERGE, P.R.: Handbook of Corrosion Engineering, The Mc Grow-Hill Companies, 2000
59. ROBERGE, P. R., TULLMIN, M. A. A., TRETHERWEY, K.: Knowledge Discovery from Case Histories of Corrosion Problems, CORROSION 97, Paper 319, 1997, Houston, Tex., NACE International
60. SAFTA, V.: Controlul îmbinărilor și produselor sudate, vol. II, Editura Facla, Timișoara, 1986
61. SAFTA, V. I., SAFTA, V. I.: Dfectoscopie nedistructivă industrială, Editura Sudura, Timișoara, 2001
62. SAFTA, V. I., SAFTA, V. I.: Încercările tehnologice și de rezistență ale îmbinărilor sudate sau lipite, Editura Sudura, Timișoara, 2006
63. **SALAI, M.**: Burning special wastes and biomass to obtain clean energy, Annals of West University of Timisoara, Seris Chemistry 19 (3), p. 25-32, 2010
64. **SALAI, M.**, MILOȘ, L., MITELEA, I: Corrosion processes of welded joints used in equipments for burning special wastes, Metalurgia International, Nr.9, 2011 (cotație ISI)
65. **SALAI, M.**, MILOȘ, L., MITELEA, I: Corrosion evaluation of welded samples from ecological incinerators, Buletinul Științific al Universității POLITEHNICA Timișoara, ISSN 1224-6077, Vol 56(70), ISS 1, 2011
66. SAUNDERS, H.L.: MIG/MAG welding guide, The Lincoln Electric Company, Cleveland, 9, 1998
67. TILLIS, W.: Corrosion in the Petroleum Industry, Ondeo Nalco Energy Services, TX, 2003
68. THUVANDER, M., KARRISON, L., MUNIR, B.: Controlling segregation in nickel-based weld metals by balanced alloying, Stainless Steel World, Volume 16, 52-57, 2004
69. TRINDADE, V.B., CHRIST, H.I., KRUPP, U.: Computer-based simulation of kinetics of internal corrosion of engineering alloys at high-temperatures, Metalurgia & Materials, Volume 62, Nr.2, 2009, ISSN 0370-4467
70. TRIF-TORDAI, G.: Cercetări privind arderea combinată a biomasei cu cărbune, Teza de doctorat, Seria 9, Inginerie mecanică, Nr.37, Editura Politehnică, ISBN: 978-973-625-713-1, 2008
71. UNGUREANU, C., IONEL, I, ș.a.: Instalație pentru arderea combinată a deșeurilor, Simpozionul Omul și Mediul, Ed. Politehnica, ISBN: 973-625-176-4, Timișoara, 2004
72. UNGUREANU, C., IONEL, I., OPRIA, P.D.: Gestionarea intergrală a deșeurilor municipale, Editura Politehnica, ISSN:(11) 973-625-386-4, Timișoara, 2006
73. UNGUREANU, C., PĂNOI, N., ZUBCU, V., IONEL, I.: Combustibili, instalații de ardere, cazane, Ed. Politehnica, ISBN: 973-9389-21-0, Timișoara, 2006
74. URDAȘ, V.: Tratamente termice, termochimice, coroziunea metalelor și

- acoperiri de suprafață, Ed. Universității „Lucian Blaga” Sibiu, 2003
75. VANDER VOORT, G.F.: Metallography and Microstructures, ASM Handbook, Vol. 9, 2004, p.670
 76. VERMEȘAN, H.: Stadiul actual al cercetărilor privind comportarea la coroziune a oțelurilor inoxidabile supuse deformării plastice și nitrurării ionice, Teza de doctorat, Universitatea Tehnică Cluj Napoca, 1998
 77. WALMSLEY, C., ALBERTSEN, J.Z., FRIIS, J., MATHIESEN, R.H.: The evolution and oxidation of carbides in an Alloy 601 exposed to long term high temperature corrosion conditions, Corrosion Science, Volume 52, Issue 12, 2010, p. 4001-4010
 78. YIN, Z.F., ZHAO, W.Z., LAI, W.Y., ZHAO, X.H.: Electrochemical behavior of Ni-base alloys exposed under oil/gas field environments, Corrosion Science, Volume 51, Issue 8, 2009, p.1702-1706
 79. xxx: Prospect, ALDERON SRL Timișoara
 80. xxx: www.alternative-energy-resources.net, Alternative Energy Resources
 81. xxx: ABS Rule Requirements for Materials and Welding 2000, Part 2, Chapter 4, Section 3, Item 5, Approval of welding procedures
 82. xxx: ASM International, "Properties and Selection of Metals: Iron, Steels and High Performance Alloys", Metals Handbook, 1, p. 920-930, 1991
 83. xxx: Buletin informativ, HARD INOX, Anul 4, Nr.12, 2008, www.hardinox.ro
 84. xxx: Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe, vol I-VII, Editura Sudura, Timișoara, 2001-2005
 85. xxx: DIETERLANDOLT - Chimie et corrosion de surfaces des metaux, Vol.12, 1993
 86. xxx: Departamentul Inginerie Sanitară, Institutul de Sănătate Publică, București
 87. xxx: www.et.byu.edu, Larry Baxter, Energy Laboratory Home Page
 88. xxx: Introduction a la corrosion formes et prévention, Guide pratique, CETIM, SENLIS, SAINT-ETIENNE et NANTES, France, 1991
 89. xxx: www.ipen.org – Proiect Internațional de eliminare a POP-IPEP
 90. xxx: www.mec.upt.ro/~ovaped, OVAPED Proiect CEEX 2006-2008
 91. xxx: <http://www.minitab.com>- Minitab 16, Statistical Software
 92. xxx: www.mappm.ro – Strategia Națională de Gestionare a Deșeurilor și Planul Național de Implementare
 93. xxx: <http://www.proairclean.ro>
 94. xxx: <http://www.powergenworldwide.com/gaz-fired-power-generation>
 95. xxx: The Procedure Handbook of Arc Welding, 13th Edition, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, Ohio, 1995
 96. xxx: <http://www.specialmetals.com>
 97. xxx: www.waste-tehnology.co.uk. Mechanical Biological Treatment
 98. xxx: www.waterqualitz/corrosion/galvanic.htm
 99. xxx: Welding Handbook, 8th Edition, vol.4, Metals and Their Weldability, Miami, 1991
 100. xxx: www.worldsteel.org, 2007
 101. xxx: www.twi.co.uk/bestprac/jobknol/jk22.htm, Weldability of Materials: Nickel and Nickel Alloys, 1998
 102. xxx: <http://www.specialmetalswelding.com/publica/joining.pdf>
 103. xxx: <http://www.key-to-metals.com>, Welding of Nickel Alloys, 2007
 104. xxx: ASM Handbook, Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys (06181), ASM International

105. xxx: ASM Metals Handbook, 1999, Volume 3, Alloys Phase Diagrams, Tenth Edition, Materials Park, Ohio, USA
106. xxx:<http://www.gowelding.com/met/austenitic.html>

ANEXE

ANEXA 1

Rezultate ale încercării de duritate a probelor sudate

Tab.A1.1 Valorile microdurității $HV_{0,2}$, probe sudate, oțel inox, X5CrNi18-10, $s=4$ mm, nesupuse mediului coroziv

Proba	Valori microduritate $HV_{0,2}$				
	MB ₁	ZIT ₁	MD	ZIT ₂	MB ₂
1	170, 168, 170	180, 186, 190	178, 180, 176	182, 186, 184	163, 168, 170
2	174, 176, 180	182, 184, 189	172, 170, 180	183, 188, 190	170, 172, 170
3	170, 172, 168	179, 185, 188	176, 174, 180	184, 190, 184	168, 162, 173

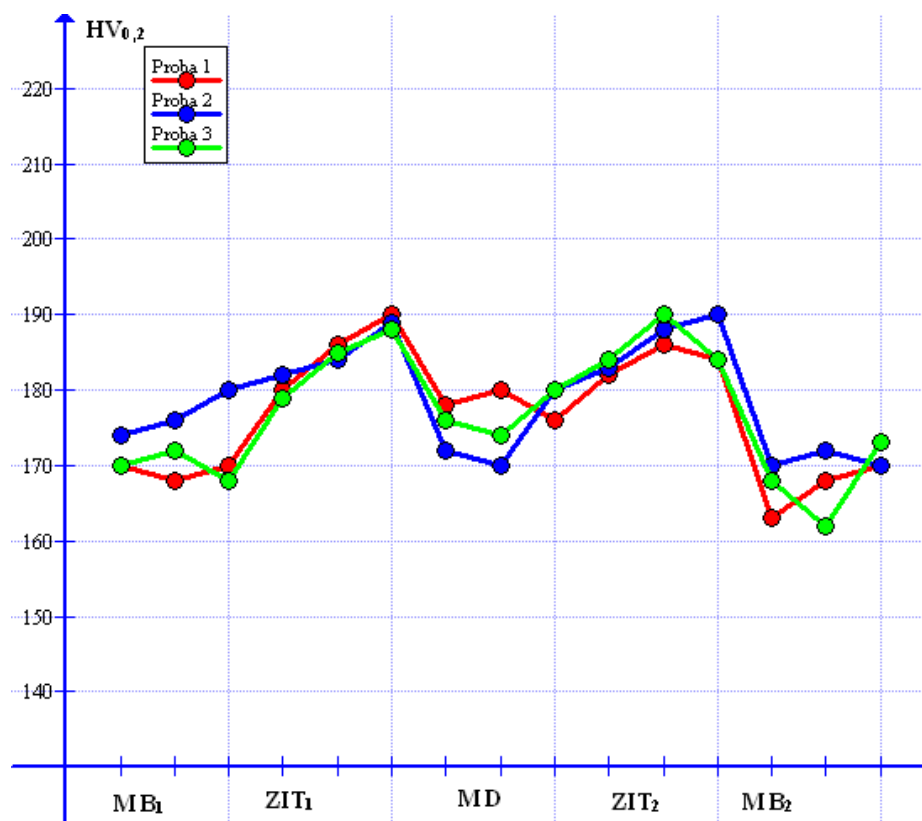
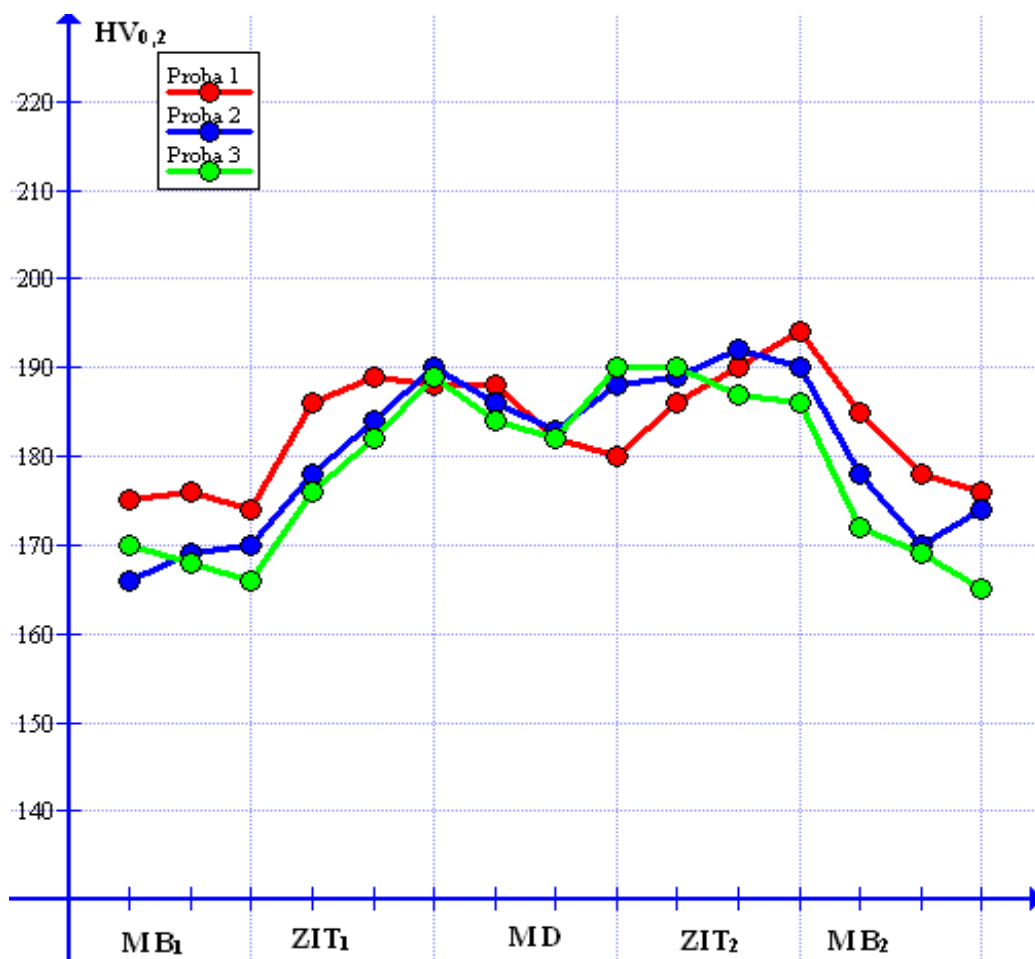


Fig.A1.1 Variația microdurității $HV_{0,2}$ probe sudate, oțel X5CrNi18-10, fără expunere în mediu coroziv

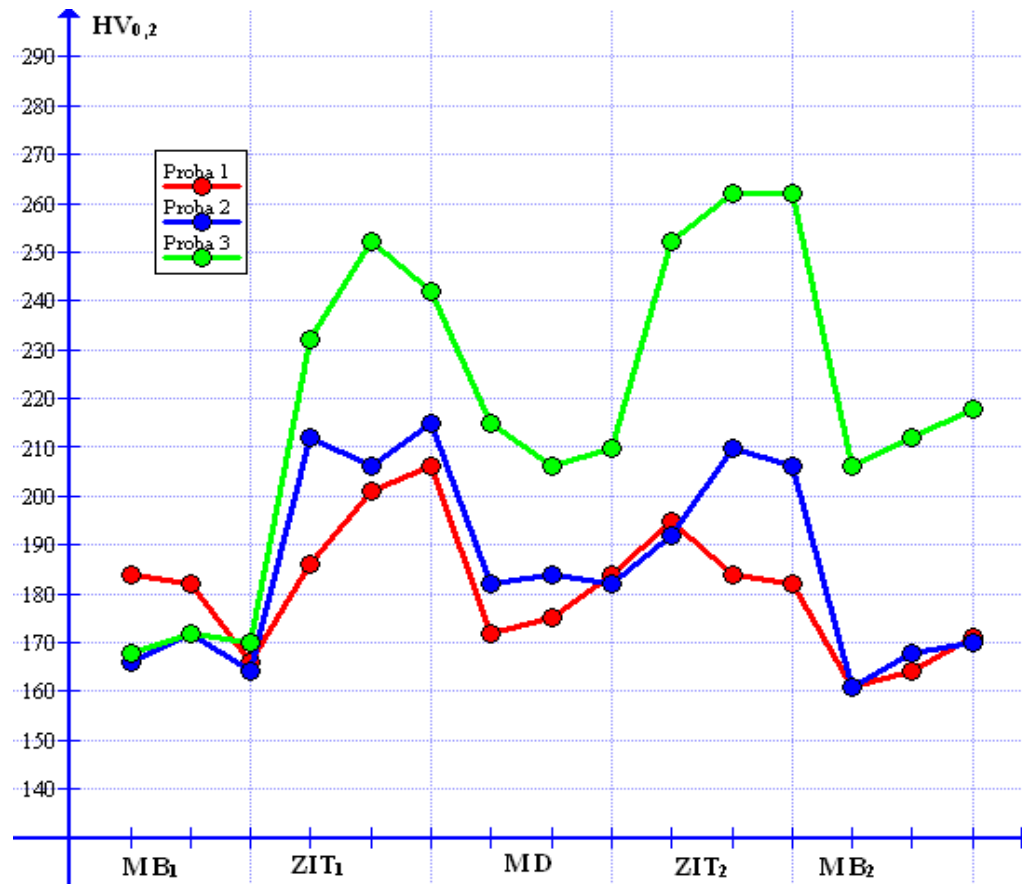
Tab.A1.2 Valorile microduriții HV₀₂, oțel inox X5CrNi18-10, s=4 mm, probe sudate supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Proba	Valori microduritate HV ₀₂				
	MB ₁	ZIT ₁	MD	ZIT ₂	MB ₂
1	175, 176, 174	186, 189, 188	188, 182, 180	186, 190, 194	185, 178, 176
2	166, 169, 170	178, 184, 190	186, 183, 188	189, 192, 190	178, 170, 174
3	170, 168, 166	176, 182, 189	184, 182, 190	190, 187, 186	172, 169, 165

Fig.A1.2 Variația microduriții HV₀₂, probe sudate, oțel X5CrNi18-10, după expunere în mediul coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Tab.A1.3 Valorile microduranței $HV_{0,2}$, aliaj Inconel 601, $s=4$ mm, probe sudate netratate termic

Proba	Valori microduritate $HV_{0,2}$				
	MB ₁	ZIT ₁	MD	ZIT ₂	MB ₂
1	184, 182, 166	186, 201, 206	172, 175, 184	195, 184, 182	161, 164, 171
2	166, 172, 164	212, 206, 215	182, 184, 182	192, 210, 206	161, 168, 170
3	168, 172, 170	232, 252, 242	215, 206, 210	252, 262, 262	206, 212, 218

Fig.A1.3 Variația microduranței $HV_{0,2}$, aliaj Inconel 601, $s=4$ mm, probe sudate netratate termic

Tab.A1.4 Valorile microdurtății HV_{0,2}, aliaj Inconel 601, s=4 mm, probe sudate tratate termic

Proba	Valori microdurtate HV ₀₂				
	MB ₁	ZIT ₁	MD	ZIT ₂	MB ₂
1	168, 164, 162	172, 179, 182	161, 168, 164	179, 184, 186	161, 170, 171
2	184, 179, 172	201, 206, 212	179, 195, 184	201, 206, 210	170, 166, 144
3	155, 161, 168	222, 232, 220	184, 179, 182	222, 225, 220	184, 182, 186

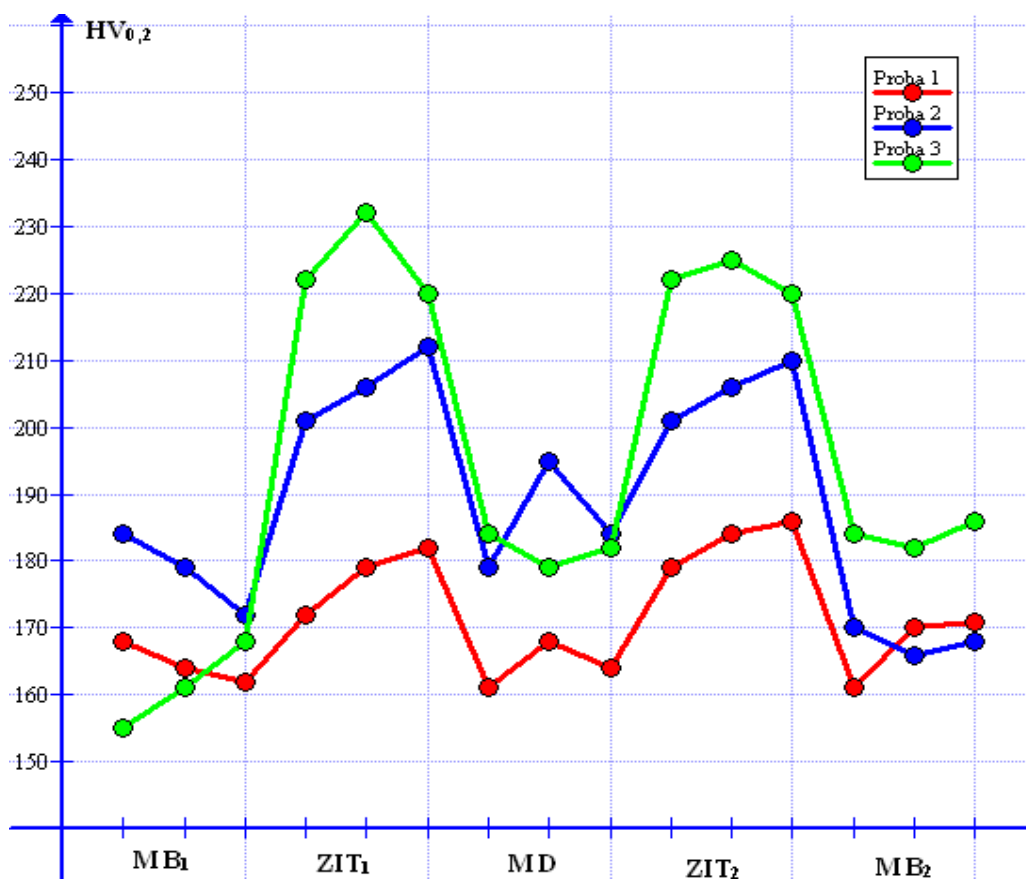
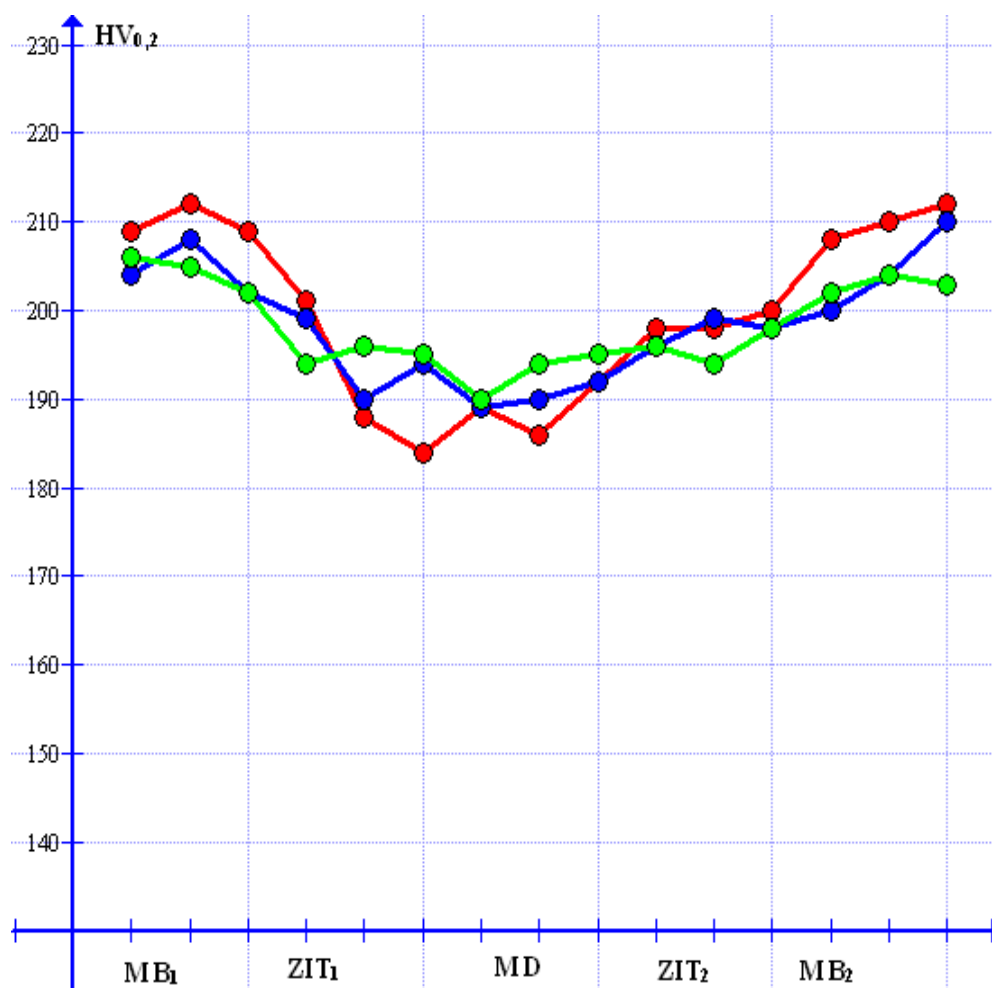


Fig.A1.4 Variația microdurtății HV_{0,2}, aliaj Inconel 601, s=4 mm, probe sudate tratate termic

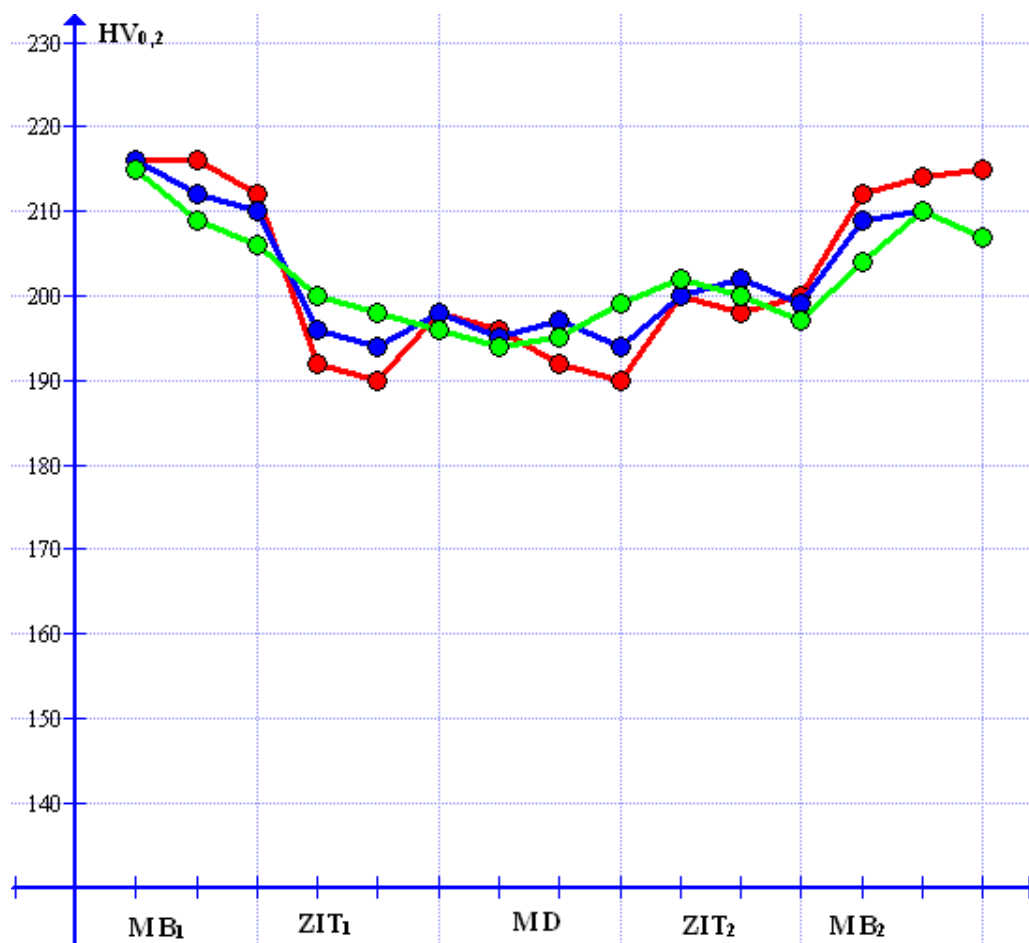
Tab.A1.5 Valorile microduranței $HV_{0,2}$, aliaj Inconel 625, $s=4$ mm, probe sudate netratate termic

Proba	Valori microduranțe $HV_{0,2}$				
	MB_1	ZIT_1	MD	ZIT_2	MB_2
1	209, 212, 209	201, 184, 184	189, 186, 192	198, 198, 200	208, 210, 212
2	204, 208, 202	199, 190, 194	189, 190, 192	196, 199, 198	200, 204, 210
3	206, 205, 202	194, 196, 195	190, 194, 195	196, 194, 198	202, 204, 203

Fig.A1.5 Variația microduranței $HV_{0,2}$, aliaj Inconel 625, $s=4$ mm, probe sudate netratate termic

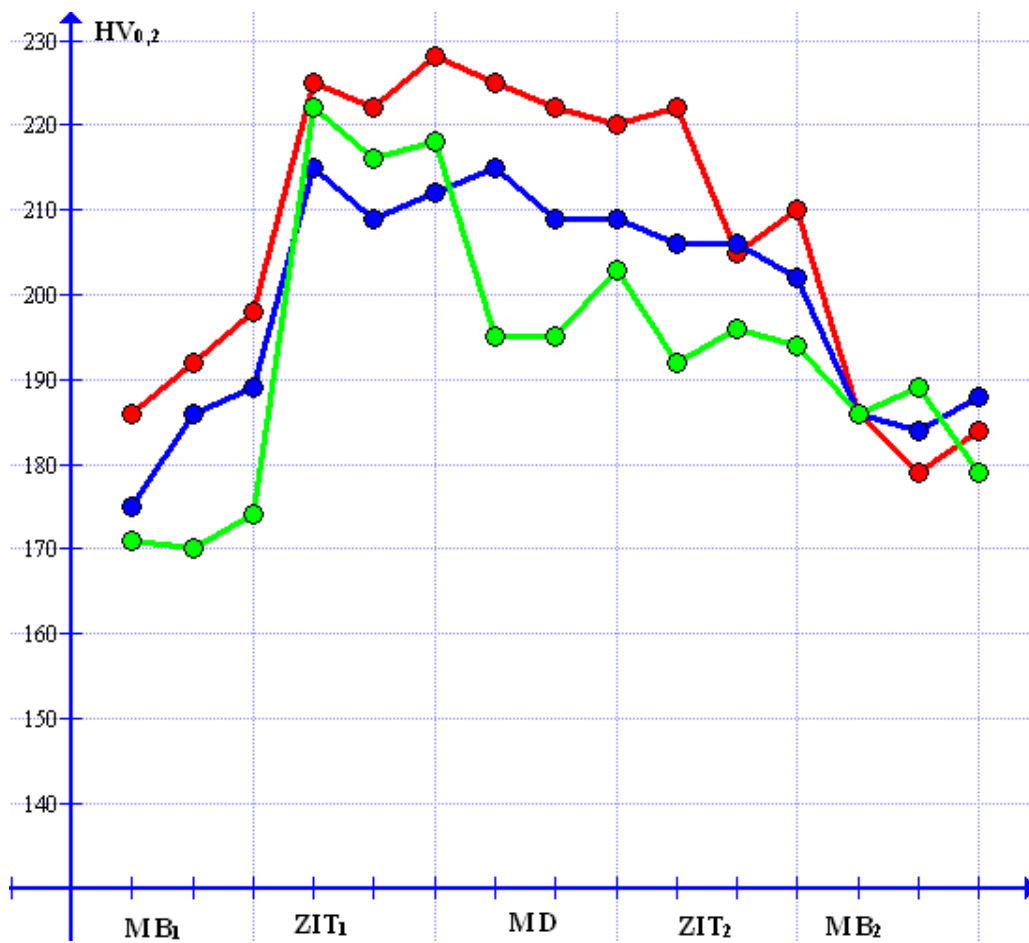
Tab.2.A1 Valorile microdureții $HV_{0,2}$, aliaj Inconel 625, $s=4$ mm, probe sudate tratate termic

Proba	Valori microdurete $HV_{0,2}$				
	MB_1	ZIT_1	MD	ZIT_2	MB_2
1	216, 216, 212	192, 190, 198	196, 192, 190	200, 198, 200	212, 214, 215
2	216, 212, 210	196, 194, 198	195, 197, 194	200, 202, 199	209, 210, 207
3	215, 209, 206	200, 198, 196	194, 195, 199	202, 200, 197	204, 210, 207

Fig.2.A1 Variația microdureții $HV_{0,2}$, aliaj Inconel 625, $s=4$ mm, probe sudate tratate termic

Tab.2.A1 Valorile microdurității $HV_{0,2}$, oțel inox X5CrNi18-10, $s=4$ mm, probe sudate supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Proba	Valori microduritate $HV_{0,2}$				
	MB_1	ZIT_1	MD	ZIT_2	MB_2
1	186, 192, 198	225, 222, 228	225, 222, 220	222, 205, 210	186, 179, 184
2	175, 186, 189	215, 209, 212	215, 209, 209	206, 206, 202	186, 184, 188
3	171, 170, 174	222, 216, 218	195, 195, 203	192, 196, 194	186, 189, 179

Fig.2.A1 Variația microdurității $HV_{0,2}$, oțel inox X5CrNi18-10, $s=4$ mm, probe sudate supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Tab.2.A1 Valorile microdureții HV₀₂, aliaj Inconel 601, s=3 mm, probe sudate supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Proba	Valori microdureitate HV ₀₂				
	MB ₁	ZIT ₁	MD	ZIT ₂	MB ₂
1	169, 171, 170	179, 186, 182	174,180, 176	189, 188, 186	171, 170, 171
2	160, 161, 166	177, 171, 170	184, 171, 182	169, 166, 161	157, 153, 161
3	174, 175, 179	186, 184, 189	184, 190, 192	195, 189, 190	184, 182, 174

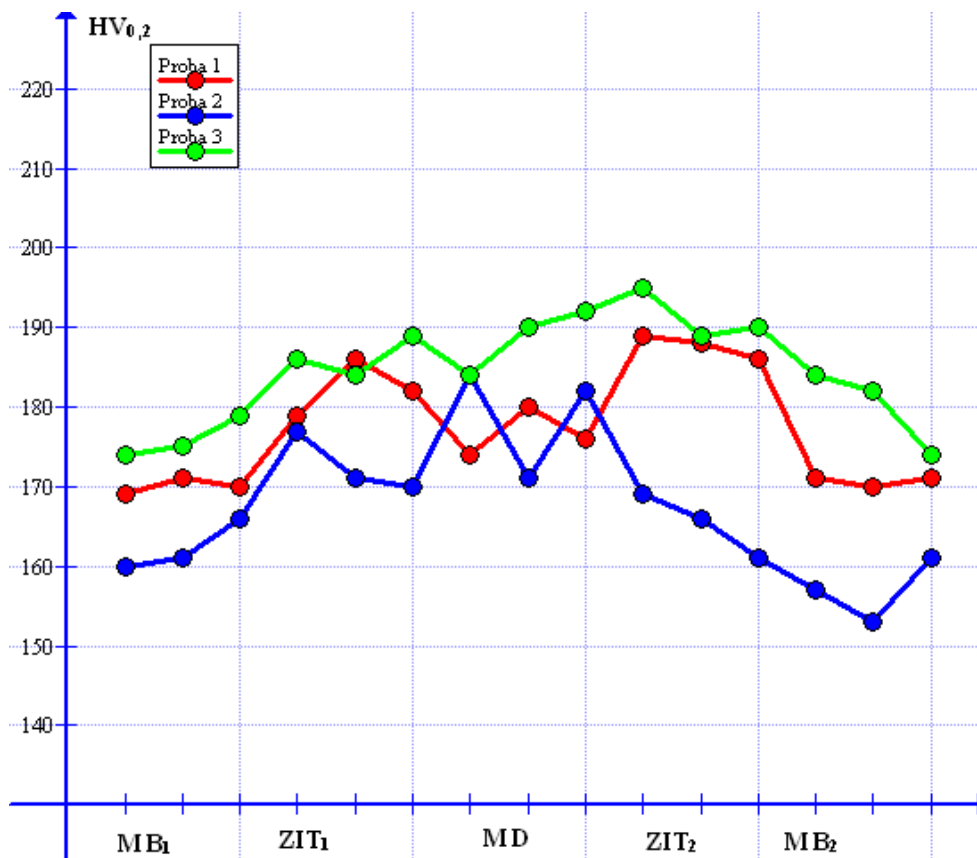
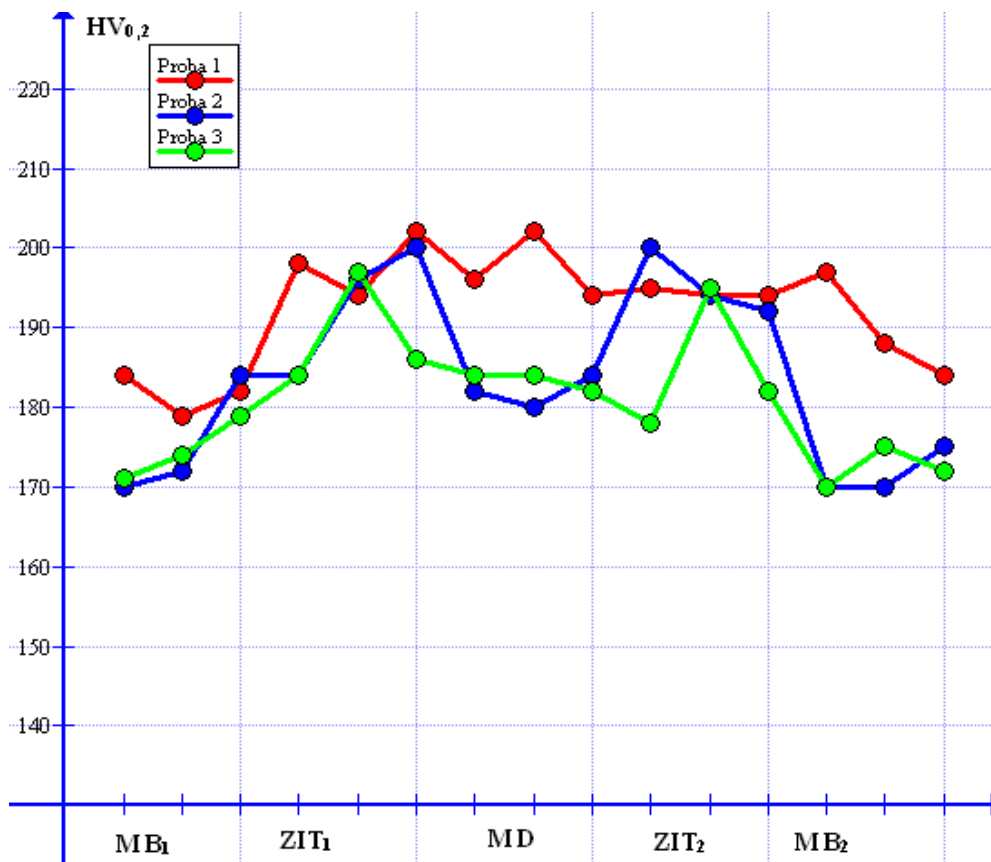


Fig.2.A1 Variația microdureții HV₀₂, aliaj Inconel 601, s=3 mm, probe sudate supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

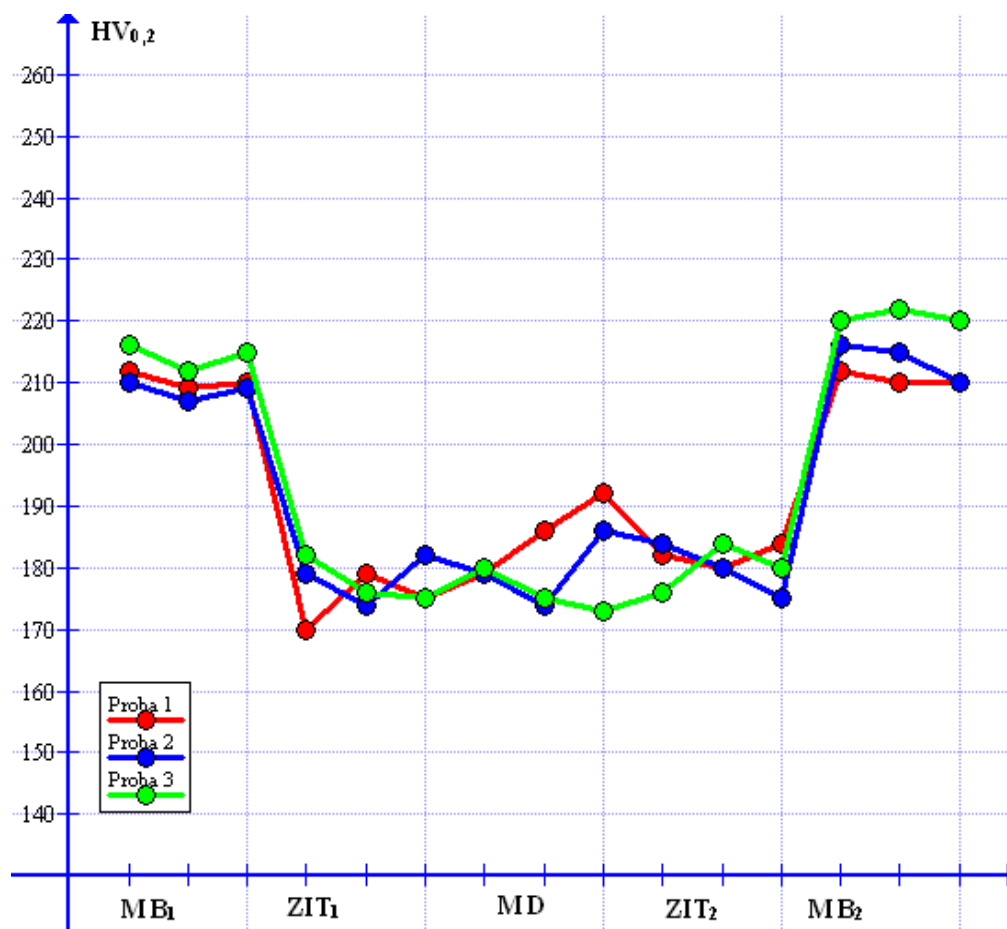
Tab.4.A1 Valorile microdurității $HV_{0,2}$, aliaj Inconel 601, $s=4$ mm, probe sudate supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Proba	Valori microduritate $HV_{0,2}$				
	MB_1	ZIT_1	MD	ZIT_2	MB_2
1	184, 179, 182	198, 194, 202	196, 202, 194	195, 194, 194	197, 188, 184
2	170, 172, 184	184, 196, 200	182, 180, 184	200, 194, 192	170, 170, 175
3	171, 174, 179	184, 197, 186	184, 184, 182	178, 195, 182	170, 175, 172

Fig.2.A1 Variația microdurității $HV_{0,2}$, aliaj, Inconel 601, $s=4$ mm, probe sudate supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Tab.2.A1 Valorile microdurtății $HV_{0,2}$, aliaj Inconel 625, $s=4$ mm, probe sudate supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Proba	Valori microdurtate $HV_{0,2}$				
	MB ₁	ZIT ₁	MD	ZIT ₂	MB ₂
1	212, 209, 210	170, 179, 175	179, 186, 192	182, 180, 184	212, 210, 210
2	210, 207, 209	179, 174, 182	179, 174, 186	184, 180, 175	216, 215, 210
3	216, 212, 214	182, 176, 175	180, 175, 173	176, 184, 180	220, 222, 220

Fig.2.A1 Variația microdurtății $HV_{0,2}$, aliaj Inconel 625, $s=4$ mm, probe sudate supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor special

ANEXA 2

Valorile factorilor de control, a caracteristicilor mecanice și a analizei microstructurale pentru probe sudate din oțel X5CrNi18/10, spuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune, utilizate ca date de intrare pentru rularea programului MINITAB

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	Temp	Timp ment	CO ₂	SO ₂	Duritate	Rez. la rupere	Alung la rupere	Anal micro
12	1	1	1	900	100	6,98	730	192	530	43,8	3
11	2	1	1	750	100	6,98	730	180	538	45,2	4
20	3	0	1	825	50,5	8,57	544	179	547	46,8	4
15	4	1	1	750	100	10,16	730	184	536	48,8	4
8	5	1	1	900	100	10,16	358	193	531	43,7	4
9	6	1	1	750	1	6,98	730	166	559	48,3	5
18	7	0	1	825	50,5	8,57	544	179	547	46,8	4
14	8	1	1	900	1	10,16	730	170	553	47,5	5
7	9	1	1	750	100	10,16	358	182	537	45,0	4
16	10	1	1	900	100	10,16	730	194	528	43,5	3
19	11	0	1	825	50,5	8,57	544	179	547	46,8	4
17	12	0	1	825	50,5	8,57	544	179	547	46,8	4
5	13	1	1	750	1	10,16	358	167	558	48,2	5
10	14	1	1	900	1	6,98	730	172	552	47,6	5
4	15	1	1	900	100	6,98	358	191	532	44,0	4
6	16	1	1	900	1	10,16	358	171	555	47,7	5
2	17	1	1	900	1	6,98	358	173	556	47,8	5
13	18	1	1	750	1	10,16	730	169	558	48,3	5
1	19	1	1	750	1	6,98	358	165	562	48,5	5
3	20	1	1	750	100	6,98	358	180	540	45,2	4
30	21	0	2	825	50,5	8,57	544	179	547	46,8	4
23	22	-1	2	825	1	8,57	544	170	558	47,8	5
26	23	-1	2	825	50,5	10,16	544	180	546	46,4	4
25	24	-1	2	825	50,5	6,98	544	177	548	46,6	4
27	25	-1	2	825	50,5	8,57	358	176	548	46,5	4
28	26	-1	2	825	50,5	8,57	730	178	546	46,6	4
21	27	-1	2	750	50,5	8,57	544	174	550	46,3	4
22	28	-1	2	900	50,5	8,57	544	184	545	45,7	4
29	29	0	2	825	50,5	8,57	544	179	547	46,8	4

ANEXA 3

Valorile factorilor de control, a caracteristicilor mecanice și a analizei microstructurale pentru probele sudate din oțel X5CrNi18/10, spuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, utilizate ca date de intrare.

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	Temp	Timp ment	CO ₂	SO ₂	Duritate	Rez. la rupere	Alung la rupere	Anal micro
12	1	1	1	1200	36	4,72	36	190	522	42,8	1
11	2	1	1	1000	36	4,72	36	189	527	43,6	2
20	3	0	1	1100	18,5	6,25	29	189	533	44,0	3
15	4	1	1	1000	36	7,78	36	190	526	43,4	1
8	5	1	1	1200	36	7,78	22	192	521	42,7	1
9	6	1	1	1000	1	4,72	36	161	535	45,3	5
18	7	0	1	1100	18,5	6,25	29	189	533	44,0	3
14	8	1	1	1200	1	7,78	36	163	530	44,4	5
7	9	1	1	1000	36	7,78	22	192	528	43,5	1
16	10	1	1	1200	36	7,78	36	194	520	42,5	1
19	11	0	1	1100	18,5	6,25	29	184	533	44,0	3
17	12	0	1	1100	18,5	6,25	29	184	533	44,0	3
5	13	1	1	1000	1	7,78	22	163	534	45,4	5
10	14	1	1	1200	1	4,72	36	163	531	44,6	5
4	15	1	1	1200	36	4,72	22	189	523	43,2	2
6	16	1	1	1200	1	7,78	22	163	531	44,5	5
2	17	1	1	1200	1	4,72	22	161	532	44,7	5
13	18	1	1	1000	1	7,78	36	163	533	45,5	5
1	19	1	1	1000	1	4,72	22	161	536	43,4	5
3	20	1	1	1000	36	4,72	22	186	529	45,2	2
30	21	0	2	1100	18,5	6,25	29	184	533	44,0	3
23	22	-1	2	1100	1	6,25	29	171	535	44,5	5
26	23	-1	2	1100	18,5	7,78	29	186	531	43,5	2
25	24	-1	2	1100	18,5	4,72	29	182	534	43,7	3
27	25	-1	2	1100	18,5	6,25	22	182	533	43,8	3
28	26	-1	2	1100	18,5	6,25	36	190	532	43,9	3
21	27	-1	2	1000	18,5	6,25	29	184	530	44,8	3
22	28	-1	2	1200	18,5	6,25	29	189	528	43,8	2
29	29	0	2	1100	18,5	6,25	29	184	533	44,0	3
24	30	-1	2	1100	36	6,25	29	190	530	43,0	1

ANEXA 4

Valorile factorilor de control, a caracteristicilor mecanice și a analizei microstructurale pentru probele sudate din aliaj de nichel, Inconel 601, spuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, utilizate ca date de intrare.

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	Temp	Timp ment	CO ₂	CO	SO ₂	Duritate	Rez rupere	Alung rupere	Anal micro
13	1	1	1	1000	1	7,78	48,65	36,48	175	646	49,0	5
12	2	1	1	1200	36	4,72	48,65	22,34	200	584	47,6	3
22	3	0	1	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	180	610	48,6	5
16	4	1	1	1200	36	7,78	48,65	36,48	202	582	47,5	3
9	5	1	1	1000	1	4,72	48,65	22,34	173	648	49,1	5
10	6	1	1	1200	1	4,72	48,65	36,48	185	636	48,8	5
20	7	0	1	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	180	610	48,6	5
15	8	1	1	1000	36	7,78	48,65	22,34	180	592	48,2	4
8	9	1	1	1200	36	7,78	15,81	22,34	198	583	47,8	3
17	10	0	1	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	180	610	48,6	5
21	11	0	1	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	180	610	48,6	5
18	12	0	1	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	180	610	48,6	5
5	13	1	1	1000	1	7,78	15,81	22,34	171	647	49,0	5
11	14	1	1	1000	36	4,72	48,65	36,48	179	590	48,1	4
4	15	1	1	1200	36	4,72	15,81	36,48	199	585	47,8	3
7	16	1	1	1000	36	7,78	15,81	36,48	179	588	48,1	4
2	17	1	1	1200	1	4,72	15,81	22,34	180	637	48,8	5
14	18	1	1	1200	1	7,78	48,65	22,34	184	635	48,8	5
1	19	1	1	1000	1	4,72	15,81	36,48	170	650	49,2	5
3	20	1	1	1000	36	4,72	15,81	22,34	178	586	48,1	4
19	21	0	1	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	180	610	48,6	5
6	22	1	1	1200	1	7,78	15,81	36,48	183	636	48,8	5
28	23	-1	2	1100	18,5	7,78	32,23	29,41	182	620	48,6	5
27	24	-1	2	1100	18,5	4,72	32,23	29,41	181	622	48,6	5
30	25	-1	2	1100	18,5	6,25	48,65	29,41	180	621	48,6	5
31	26	-1	2	1100	18,5	6,25	32,23	22,34	179	620	48,6	5
24	27	-1	2	1200	18,5	6,25	32,23	29,41	190	610	48,0	5
25	28	-1	2	1100	1	6,25	32,23	29,41	177	640	49,0	5
32	29	-1	2	1100	18,5	6,25	32,23	36,48	181	619	48,6	5
26	30	-1	2	1100	36	6,25	32,23	29,41	194	604	48,0	4
33	31	0	2	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	180	618	48,6	5

ANEXA 5

Valorile factorilor de control, a caracteristicilor mecanice și a analizei microstructurale pentru probele sudate din aliaj de nichel, Inconel 625, spuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale, utilizate ca date de intrare pentru rularea programului MINITAB.

Std Order	Run Order	PtT ype	Blocks	Temp	Timp ment	CO ₂	CO	SO ₂	Duritate	Rez rupere	Alung rup	Anal micro
13	1	1	1	1000	1	7,78	48,65	36,48	175	646	49,0	5
12	2	1	1	1200	36	4,72	48,65	22,34	260	584	47,6	4
22	3	0	1	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	220	610	48,6	5
16	4	1	1	1200	36	7,78	48,65	36,48	250	582	47,5	4
9	5	1	1	1000	1	4,72	48,65	22,34	179	648	49,1	5
10	6	1	1	1200	1	4,72	48,65	36,48	180	636	48,8	5
20	7	0	1	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	226	610	48,6	5
15	8	1	1	1000	36	7,78	48,65	22,34	230	592	48,2	5
8	9	1	1	1200	36	7,78	15,81	22,34	242	583	47,8	4
17	10	0	1	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	229	610	48,6	5
21	11	0	1	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	229	610	48,6	5
18	12	0	1	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	229	610	48,6	5
5	13	1	1	1000	1	7,78	15,81	22,34	166	647	49,0	5
11	14	1	1	1000	36	4,72	48,65	36,48	220	590	48,1	4
4	15	1	1	1200	36	4,72	15,81	36,48	238	585	47,8	4
7	16	1	1	1000	36	7,78	15,81	36,48	220	588	48,1	4
2	17	1	1	1200	1	4,72	15,81	22,34	173	637	48,8	5
14	18	1	1	1200	1	7,78	48,65	22,34	184	635	48,8	5
1	19	1	1	1000	1	4,72	15,81	36,48	175	650	49,2	5
3	20	1	1	1000	36	4,72	15,81	22,34	220	586	48,1	4
19	21	0	1	1100	18,5	6,25	32,23	29,41	229	610	48,6	5
6	22	1	1	1200	1	7,78	15,81	36,48	180	636	48,8	5
28	23	-1	2	1100	18,5	7,78	32,23	29,41	236	620	48,6	5
27	24	-1	2	1100	18,5	4,72	32,23	29,41	230	622	48,6	5
30	25	-1	2	1100	18,5	6,25	48,65	29,41	229	621	48,6	5
31	26	-1	2	1100	18,5	6,25	32,23	22,34	220	620	48,6	5
24	27	-1	2	1200	18,5	6,25	32,23	29,41	240	610	48,0	5
25	28	-1	2	1100	1	6,25	32,23	29,41	173	640	49,0	5
32	29	-1	2	1100	18,5	6,25	32,23	36,48	226	619	48,6	5
26	30	-1	2	1100	36	6,25	32,23	29,41	240	604	48,0	4

ANEXA 6

Rezultate privind efectul factorilor de control: temperatură, timp de menținere, CO₂, SO₂, asupra caracteristicilor mecanice și a analizei microstructurale pentru probele sudate din oțel X5CrNi18-10, supuse mediului coroziv rezultat din arderea amestecului biomasă-cărbune

Response Surface Regression: Duritate versus Block; Temperatura; Timp menținere; CO₂; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Duritate

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	121,968	60,6858	2,010	0,064
Block	0,170	0,2105	0,810	0,432
Temp	-0,017	0,1533	-0,109	0,915
Timp ment	-0,254	0,0569	-4,470	0,001
CO2	5,361	3,8224	1,403	0,183
SO2	0,065	0,0213	3,054	0,009
Temp*Temp	0,000	0,0001	0,730	0,478
Timp ment*Timp ment	0,000	0,0002	0,730	0,478
CO2*CO2	-0,048	0,2053	-0,233	0,819
SO2*SO2	-0,000	0,0000	-3,123	0,007
Temp*Timp ment	0,000	0,0001	7,557	0,000
Temp*CO2	-0,006	0,0017	-3,325	0,005
Temp*SO2	-0,000	0,0000	-1,511	0,153
Timp ment*CO2	0,007	0,0026	2,720	0,017
Timp ment*SO2	0,000	0,0000	0,907	0,380
CO2*SO2	0,001	0,0007	0,907	0,380

S = 0,8271 R-Sq = 99,5% R-Sq(adj) = 98,9%

Analysis of Variance for Duritate

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0,42	0,4486	0,44856	0,66	0,432
Regression	14	1812,67	1812,6730	129,47664	189,27	0,000
Linear	4	1749,72	20,6311	5,15777	7,54	0,002
Square	4	8,58	8,5758	2,14394	3,13	0,049
Interaction	6	54,37	54,3750	9,06250	13,25	0,000
Residual Error	14	9,58	9,5770	0,68407		
Lack-of-Fit	10	9,58	9,5770	0,95770	*	*
Pure Error	4	0,00	0,0000	0,00000		
Total	29	1822,67				

Unusual Observations for Duritate

Obs	StdOrder	Duritate	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	14	170,000	171,206	0,672	-1,206	-2,50 R
20	3	180,000	178,650	0,672	1,350	2,80 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Response Surface Regression: Rezistenta la rupere versus Block; Temperatura; Timp mentinere; CO₂; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Rez rupere

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	514,606	75,7696	6,792	0,000
Block	-0,457	0,2628	-1,738	0,104
Temp	0,098	0,1914	0,512	0,616
Timp ment	-0,122	0,0711	-1,719	0,108
CO ₂	2,877	4,7725	0,603	0,556
SO ₂	0,035	0,0266	1,328	0,206
Temp*Temp	-0,000	0,0001	-0,795	0,440
Timp ment*Timp ment	0,000	0,0003	1,519	0,151
CO ₂ *CO ₂	-0,402	0,2564	-1,566	0,140
SO ₂ *SO ₂	-0,000	0,0000	-1,566	0,140
Temp*Timp ment	-0,000	0,0001	-2,179	0,047
Temp*CO ₂	0,004	0,0022	1,695	0,112
Temp*SO ₂	-0,000	0,0000	-1,210	0,246
Timp ment*CO ₂	-0,002	0,0033	-0,726	0,480
Timp ment*SO ₂	0,000	0,0000	0,242	0,812
CO ₂ *SO ₂	0,001	0,0009	1,210	0,246

S = 1,033 R-Sq = 99,4% R-Sq(adj) = 98,7%

Analysis of Variance for Rez rupere

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	22,82	3,2218	3,22177	3,02	0,104
Regression	14	2432,12	2432,1205	173,72289	162,91	0,000
Linear	4	2406,83	5,9073	1,47683	1,38	0,289
Square	4	13,41	13,4121	3,35303	3,14	0,049
Interaction	6	11,87	11,8750	1,97917	1,86	0,160
Residual Error	14	14,93	14,9295	1,06640		
Lack-of-Fit	10	14,93	14,9295	1,49295	*	*
Pure Error	4	0,00	0,0000	0,00000		
Total	29	2469,87				

Unusual Observations for Rez rupere

Obs	StdOrder	Rez rupere	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
22	23	558,000	559,853	0,753	-1,853	-2,62 R
30	24	540,000	537,741	0,753	2,259	3,19 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Response Surface Regression: Alungirea la rupere versus Block; Temperatura; Timp mentinere; CO₂; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Alungire

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-6,44844	45,9813	-0,140	0,890
Block	0,19568	0,1595	1,227	0,240
Temp	0,13186	0,1161	1,136	0,275
Timp ment	0,03671	0,0431	0,851	0,409
CO ₂	0,24175	2,8962	0,083	0,935
SO ₂	0,00295	0,0162	0,183	0,858
Temp*Temp	-0,00006	0,0001	-0,928	0,369
Timp ment*Timp ment	-0,00015	0,0002	-0,928	0,369
CO ₂ *CO ₂	0,05334	0,1556	0,343	0,737
SO ₂ *SO ₂	0,00001	0,0000	0,470	0,646
Temp*Timp ment	-0,00011	0,0000	-2,593	0,021
Temp*CO ₂	-0,00204	0,0013	-1,556	0,142
Temp*SO ₂	-0,00002	0,0000	-1,795	0,094
Timp ment*CO ₂	0,00262	0,0020	1,316	0,209
Timp ment*SO ₂	0,00003	0,0000	1,556	0,142
CO ₂ *SO ₂	0,00087	0,0005	1,636	0,124

S = 0,6267 R-Sq = 91,9% R-Sq(adj) = 83,3%

Analysis of Variance for Alungire

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0,1402	0,59117	0,59117	1,51	0,240
Regression	14	62,5683	62,56832	4,46917	11,38	0,000
Linear	4	53,9194	1,06283	0,26571	0,68	0,619
Square	4	1,1101	1,11012	0,27753	0,71	0,601
Interaction	6	7,5387	7,53875	1,25646	3,20	0,034
Residual Error	14	5,4982	5,49818	0,39273		
Lack-of-Fit	10	5,4982	5,49818	0,54982	*	*
Pure Error	4	0,0000	0,00000	0,00000		
Total	29	68,2067				

Unusual Observations for Alungire

Obs	StdOrder	Alungire	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	15	48,800	47,476	0,509	1,324	3,62 R
17	2	47,800	48,665	0,509	-0,865	-2,36 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Response Surface Regression: Analiza microstructurala versus Block; Temperatura; Timp mentinere; CO₂; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Analiza micro

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	14,9115	14,7945	1,008	0,331
Block	0,0409	0,0513	0,797	0,439
Temp	-0,0216	0,0374	-0,577	0,573
Timp ment	0,0179	0,0139	1,293	0,217
CO ₂	-0,6163	0,9319	-0,661	0,519
SO ₂	0,0046	0,0052	0,889	0,389
Temp*Temp	0,0000	0,0000	0,718	0,484
Timp ment*Timp ment	0,0000	0,0001	0,718	0,484
CO ₂ *CO ₂	0,0360	0,0501	0,718	0,484
SO ₂ *SO ₂	0,0000	0,0000	0,718	0,484
Temp*Timp ment	-0,0000	0,0000	-2,480	0,026
Temp*CO ₂	0,0000	0,0004	0,000	1,000
Temp*SO ₂	-0,0000	0,0000	-2,480	0,026
Timp ment*CO ₂	-0,0000	0,0006	-0,000	1,000
Timp ment*SO ₂	-0,0000	0,0000	-2,480	0,026
CO ₂ *SO ₂	0,0000	0,0002	0,000	1,000

S = 0,2016 R-Sq = 94,7% R-Sq(adj) = 89,1%

Analysis of Variance for Analiza micro

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0,6000	0,025837	0,025837	0,64	0,439
Regression	14	9,6308	9,630808	0,687915	16,92	0,000
Linear	4	8,4444	0,120304	0,030076	0,74	0,580
Square	4	0,4364	0,436364	0,109091	2,68	0,075
Interaction	6	0,7500	0,750000	0,125000	3,07	0,039
Residual Error	14	0,5692	0,569192	0,040657		
Lack-of-Fit	10	0,5692	0,569192	0,056919	*	*
Pure Error	4	0,0000	0,000000	0,000000		
Total	29	10,8000				

Unusual Observations for Analiza micro

Obs	StdOrder	Analiza micro	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
22	23	5,000	4,685	0,147	0,315	2,28 R
30	24	3,000	3,352	0,147	-0,352	-2,55 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

ANEXA 7

Rezultate privind efectul factorilor de control: temperatură, timp de menținere, CO₂, SO₂, asupra caracteristicilor mecanice și a analizei microstructurale pentru probele sudate din oțel X5CrNi18-10, supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Response Surface Regression: Duritate versus Block; Temperatura; Timp menținere; CO₂; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Duritate

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	68,0504	203,652	0,334	0,743
Block	0,0227	0,711	0,032	0,975
Temp	0,0491	0,388	0,126	0,901
Timp ment	1,1416	0,542	2,107	0,054
CO2	17,0074	10,818	1,572	0,138
SO2	0,7748	2,372	0,327	0,749
Temp*Temp	-0,0000	0,000	-0,130	0,899
Timp ment*Timp ment	-0,0203	0,006	-3,550	0,003
CO2*CO2	-1,1651	0,749	-1,555	0,142
SO2*SO2	-0,0145	0,035	-0,415	0,685
Temp*Timp ment	0,0002	0,000	0,537	0,600
Temp*CO2	-0,0008	0,005	-0,179	0,861
Temp*SO2	0,0004	0,001	0,358	0,726
Timp ment*CO2	0,0187	0,026	0,716	0,486
Timp ment*SO2	0,0010	0,006	0,179	0,861
CO2*SO2	-0,0347	0,065	-0,537	0,600

S = 2,795 R-Sq = 97,3% R-Sq(adj) = 94,4%

Analysis of Variance for Duritate

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	232,07	0,008	0,0080	0,00	0,975
Regression	14	3714,42	3714,416	265,3154	33,96	0,000
Linear	4	3335,89	70,369	17,5924	2,25	0,116
Square	4	368,53	368,527	92,1318	11,79	0,000
Interaction	6	10,00	10,000	1,6667	0,21	0,966
Residual Error	14	109,38	109,384	7,8131		
Lack-of-Fit	10	84,38	84,384	8,4384	1,35	0,415
Pure Error	4	25,00	25,000	6,2500		
Total	29	4055,87				

Unusual Observations for Duritate

Obs	StdOrder	Duritate	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
22	23	171,000	166,455	2,037	4,545	2,38 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Response Surface Regression: Rezistenta la rupere versus Block; Temperatura; Timp mentinere; CO₂; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Rez rupere

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	106,388	62,9646	1,690	0,113
Block	0,123	0,2199	0,558	0,586
Temp	0,799	0,1200	6,658	0,000
Timp ment	0,225	0,1675	1,341	0,201
CO ₂	0,669	3,3447	0,200	0,844
SO ₂	0,005	0,7334	0,007	0,994
Temp*Temp	-0,000	0,0001	-6,872	0,000
Timp ment*Timp ment	-0,001	0,0018	-0,419	0,682
CO ₂ *CO ₂	-0,097	0,2317	-0,419	0,682
SO ₂ *SO ₂	-0,005	0,0109	-0,419	0,682
Temp*Timp ment	-0,000	0,0001	-2,893	0,012
Temp*CO ₂	-0,000	0,0014	-0,000	1,000
Temp*SO ₂	0,000	0,0003	0,579	0,572
Timp ment*CO ₂	0,000	0,0081	0,000	1,000
Timp ment*SO ₂	-0,001	0,0017	-0,579	0,572
CO ₂ *SO ₂	-0,000	0,0200	-0,000	1,000

S = 0,8642 R-Sq = 98,0% R-Sq(adj) = 95,9%

Analysis of Variance for Rez rupere

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	38,400	0,2325	0,2325	0,31	0,586
Regression	14	477,444	477,4439	34,1031	45,66	0,000
Linear	4	388,167	41,2389	10,3097	13,80	0,000
Square	4	82,527	82,5273	20,6318	27,62	0,000
Interaction	6	6,750	6,7500	1,1250	1,51	0,247
Residual Error	14	10,456	10,4561	0,7469		
Lack-of-Fit	10	10,456	10,4561	1,0456	*	*
Pure Error	4	0,000	0,0000	0,0000		
Total	29	526,300				

Unusual Observations for Rez rupere

Obs	StdOrder	Rez rupere	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
22	23	535,000	536,499	0,630	-1,499	-2,53 R
27	21	530,000	531,277	0,630	-1,277	-2,16 R
30	24	530,000	528,610	0,630	1,390	2,35 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Response Surface Regression: Alungire la rupere versus Block; Temperatura; Timp mentinere; CO₂; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Alungire

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	84,5099	33,7321	2,505	0,025
Block	0,0593	0,1178	0,503	0,623
Temp	-0,0901	0,0643	-1,401	0,183
Timp ment	0,2233	0,0897	2,488	0,026
CO2	2,2774	1,7919	1,271	0,224
SO2	0,1671	0,3929	0,425	0,677
Temp*Temp	0,0000	0,0000	1,486	0,159
Timp ment*Timp ment	-0,0004	0,0009	-0,407	0,690
CO2*CO2	-0,1146	0,1241	-0,923	0,372
SO2*SO2	-0,0004	0,0058	-0,063	0,951
Temp*Timp ment	-0,0001	0,0001	-1,674	0,116
Temp*CO2	-0,0006	0,0008	-0,810	0,432
Temp*SO2	-0,0001	0,0002	-0,594	0,562
Timp ment*CO2	-0,0105	0,0043	-2,430	0,029
Timp ment*SO2	-0,0021	0,0009	-2,214	0,044
CO2*SO2	-0,0006	0,0107	-0,054	0,958

S = 0,4630 R-Sq = 83,4% R-Sq(adj) = 65,6%

Analysis of Variance for Alungire

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0,1215	0,05432	0,054323	0,25	0,623
Regression	14	14,9445	14,94454	1,067467	4,98	0,002
Linear	4	11,2633	2,06702	0,516755	2,41	0,098
Square	4	0,5475	0,54745	0,136864	0,64	0,644
Interaction	6	3,1338	3,13375	0,522292	2,44	0,080
Residual Error	14	3,0010	3,00096	0,214354		
Lack-of-Fit	10	3,0010	3,00096	0,300096	*	*
Pure Error	4	0,0000	0,00000	0,000000		
Total	29	18,0670				

Unusual Observations for Alungire

Obs	StdOrder	Alungire	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
19	1	43,400	44,296	0,376	-0,896	-3,32 R
20	3	45,200	44,381	0,376	0,819	3,03 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Response Surface Regression: Analiza microstructurala versus Block; Temperatura; Timp mentinere; CO₂; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Analiza micro

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-17,5054	19,7867	-0,885	0,391

Block	0,1295	0,0691	1,874	0,082
Temp	0,0463	0,0377	1,226	0,240
Timp ment	-0,0416	0,0526	-0,791	0,442
CO2	0,4977	1,0511	0,474	0,643
SO2	-0,2761	0,2305	-1,198	0,251
Temp*Temp	-0,0000	0,0000	-1,244	0,234
Timp ment*Timp ment	0,0009	0,0006	1,689	0,113
CO2*CO2	-0,0906	0,0728	-1,244	0,234
SO2*SO2	0,0058	0,0034	1,689	0,113
Temp*Timp ment	-0,0000	0,0000	-0,921	0,373
Temp*CO2	0,0004	0,0004	0,921	0,373
Temp*SO2	-0,0001	0,0001	-0,921	0,373
Timp ment*CO2	-0,0070	0,0025	-2,762	0,015
Timp ment*SO2	-0,0005	0,0005	-0,921	0,373
CO2*SO2	0,0058	0,0063	0,921	0,373

S = 0,2716 R-Sq = 98,4% R-Sq(adj) = 96,7%

Analysis of Variance for Analiza micro

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0,8167	0,25909	0,259091	3,51	0,082
Regression	14	63,1174	63,11742	4,508387	61,13	0,000
Linear	4	61,6667	0,24016	0,060041	0,81	0,537
Square	4	0,5758	0,57576	0,143939	1,95	0,158
Interaction	6	0,8750	0,87500	0,145833	1,98	0,138
Residual Error	14	1,0326	1,03258	0,073755		
Lack-of-Fit	10	1,0326	1,03258	0,103258	*	*
Pure Error	4	0,0000	0,00000	0,000000		
Total	29	64,9667				

Unusual Observations for Analiza micro

Obs	StdOrder	Analiza micro	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
28	22	2,000	2,446	0,198	-0,446	-2,40 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

ANEXA 8

Rezultate privind efectul factorilor de control: temperatură, timp de menținere, CO₂, CO, SO₂, asupra caracteristicilor mecanice și a analizei microstructurale pentru probele sudate din Inconel 601, supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Response Surface Regression: Duritate versus Block; Temperatura; Timp menținere; CO₂; CO; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Duritate

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	691,707	174,385	3,967	0,002
Block	-0,932	0,525	-1,773	0,104
Temp	-1,070	0,329	-3,247	0,008
Timp ment	-1,543	0,457	-3,377	0,006
CO ₂	3,214	9,164	0,351	0,732
CO	0,605	0,569	1,064	0,310
SO ₂	1,703	2,010	0,848	0,415
Temp*Temp	0,001	0,000	3,371	0,006
Timp ment*Timp ment	0,011	0,005	2,363	0,038
CO ₂ *CO ₂	-0,207	0,636	-0,325	0,751
CO*CO	-0,009	0,006	-1,669	0,123
SO ₂ *SO ₂	-0,040	0,030	-1,333	0,210
Temp*Timp ment	0,001	0,000	4,298	0,001
Temp*CO ₂	-0,001	0,004	-0,215	0,834
Temp*CO	0,000	0,000	0,215	0,834
Temp*SO ₂	0,001	0,001	0,645	0,532
Timp ment*CO ₂	-0,005	0,022	-0,215	0,834
Timp ment*CO	-0,001	0,002	-0,645	0,532
Timp ment*SO ₂	-0,001	0,005	-0,215	0,834
CO ₂ *CO	0,000	0,023	0,000	1,000
CO ₂ *SO ₂	0,023	0,054	0,430	0,676
CO*SO ₂	-0,000	0,005	-0,000	1,000

S = 2,327 R-Sq = 97,0% R-Sq(adj) = 91,3%

Analysis of Variance for Duritate

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0,06	17,020	17,0198	3,14	0,104
Regression	20	1940,63	1940,631	97,0316	17,92	0,000
Linear	5	1687,06	130,164	26,0327	4,81	0,014
Square	5	147,08	147,076	29,4151	5,43	0,009
Interaction	10	106,50	106,500	10,6500	1,97	0,141
Residual Error	11	59,55	59,551	5,4137		
Lack-of-Fit	6	59,55	59,551	9,9251	*	*
Pure Error	5	0,00	0,000	0,0000		
Total	32	2000,24				

Unusual Observations for Duritate

Obs	StdOrder	Duritate	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
16	7	179,000	179,995	2,286	-0,995	-2,29 R
18	14	184,000	183,050	2,286	0,950	2,19 R
20	3	178,000	178,884	2,286	-0,884	-2,03 R
27	24	190,000	194,153	1,720	-4,153	-2,65 R
33	23	184,000	179,486	1,720	4,514	2,88 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Response Surface Regression: Rezistenta la rupere versus Block; Temperatura; Timp mentinere; CO₂; CO; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Rez rupere

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	632,580	330,555	1,914	0,082
Block	-4,739	0,996	-4,759	0,001
Temp	0,088	0,624	0,141	0,891
Timp ment	-2,967	0,866	-3,425	0,006
CO ₂	-4,206	17,372	-0,242	0,813
CO	0,277	1,078	0,257	0,802
SO ₂	0,782	3,809	0,205	0,841
Temp*Temp	-0,000	0,000	-0,204	0,842
Timp ment*Timp ment	0,008	0,009	0,860	0,408
CO ₂ *CO ₂	0,609	1,205	0,505	0,623
CO*CO	0,003	0,010	0,328	0,749
SO ₂ *SO ₂	-0,001	0,056	-0,026	0,979
Temp*Temp	0,001	0,001	1,417	0,184
Temp*CO ₂	-0,002	0,007	-0,283	0,782
Temp*CO	-0,000	0,001	-0,510	0,620
Temp*SO ₂	-0,000	0,002	-0,057	0,956
Timp ment*CO ₂	0,016	0,041	0,397	0,699
Timp ment*CO	0,002	0,004	0,624	0,546
Timp ment*SO ₂	-0,001	0,009	-0,057	0,956
CO ₂ *CO	0,002	0,044	0,057	0,956
CO ₂ *SO ₂	-0,064	0,102	-0,624	0,546
CO*SO ₂	-0,006	0,009	-0,624	0,546

S = 4,410 R-Sq = 98,5% R-Sq(adj) = 95,6%

Analysis of Variance for Rez rupere

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	383,0	440,484	440,484	22,64	0,001
Regression	20	13436,6	13436,617	671,831	34,54	0,000
Linear	5	13278,6	233,166	46,633	2,40	0,105
Square	5	86,4	86,381	17,276	0,89	0,521
Interaction	10	71,6	71,625	7,162	0,37	0,937
Residual Error	11	214,0	213,974	19,452		

210 Anexe

Lack-of-Fit	6	214,0	213,974	35,662	*	*
Pure Error	5	0,0	0,000	0,000		
Total	32	14033,6				

Unusual Observations for Rez rupere

Obs	StdOrder	Rez rupere	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	15	592,000	593,678	4,333	-1,678	-2,04 R
14	11	590,000	591,678	4,333	-1,678	-2,04 R
20	3	586,000	587,705	4,333	-1,705	-2,07 R
22	6	636,000	634,233	4,333	1,767	2,15 R
28	25	640,000	648,579	3,261	-8,579	-2,89 R
30	26	604,000	595,135	3,261	8,865	2,98 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Response Surface Regression: Alungirea la rupere versus Block; Temperatura; Timp mentinere; CO₂; CO; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Alungire

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	28,8211	6,72765	4,284	0,001
Block	0,0111	0,02027	0,546	0,596
Temp	0,0378	0,01271	2,977	0,013
Timp ment	0,0094	0,01763	0,533	0,605
CO ₂	-0,0836	0,35356	-0,237	0,817
CO	0,0212	0,02195	0,965	0,355
SO ₂	0,0180	0,07753	0,232	0,821
Temp*Temp	-0,0000	0,00001	-3,073	0,011
Timp ment*Timp ment	-0,0002	0,00019	-1,332	0,210
CO ₂ *CO ₂	0,0101	0,02453	0,410	0,690
CO*CO	0,0001	0,00021	0,410	0,690
SO ₂ *SO ₂	0,0005	0,00115	0,410	0,690
Temp*Timp ment	-0,0000	0,00001	-1,950	0,077
Temp*CO ₂	0,0000	0,00015	0,279	0,786
Temp*CO	-0,0000	0,00001	-1,393	0,191
Temp*SO ₂	-0,0000	0,00003	-0,279	0,786
Timp ment*CO ₂	0,0007	0,00084	0,836	0,421
Timp ment*CO	-0,0001	0,00008	-0,836	0,421
Timp ment*SO ₂	-0,0002	0,00018	-0,836	0,421
CO ₂ *CO	0,0002	0,00089	0,279	0,786
CO ₂ *SO ₂	-0,0040	0,00207	-1,950	0,077
CO*SO ₂	-0,0003	0,00019	-1,393	0,191

S = 0,08976 R-Sq = 98,5% R-Sq(adj) = 95,7%

Analysis of Variance for Alungire

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0,04379	0,002400	0,002400	0,30	0,596

Regression	20	5,90637	5,906366	0,295318	36,65	0,000
Linear	5	5,58500	0,101670	0,020334	2,52	0,093
Square	5	0,21012	0,210116	0,042023	5,22	0,011
Interaction	10	0,11125	0,111250	0,011125	1,38	0,302
Residual Error	11	0,08863	0,088634	0,008058		
Lack-of-Fit	6	0,08863	0,088634	0,014772	*	*
Pure Error	5	0,00000	0,000000	0,000000		
Total	32	6,03879				

Unusual Observations for Alungire

Obs	StdOrder	Alungire	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
27	24	48,000	48,197	0,066	-0,197	-3,25 R
33	23	48,800	48,608	0,066	0,192	3,18 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Response Surface Regression: Analiza microstructurala versus Block; Temperatura; Timp mentinere; CO₂; CO; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Analiza micro

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-3,16817	10,7065	-0,296	0,773
Block	-0,02329	0,0323	-0,722	0,485
Temp	0,01133	0,0202	0,560	0,587
Timp ment	0,18227	0,0281	6,497	0,000
CO ₂	0,26478	0,5627	0,471	0,647
CO	0,01186	0,0349	0,339	0,741
SO ₂	0,05835	0,1234	0,473	0,646
Temp*Temp	-0,00000	0,0000	-0,543	0,598
Timp ment*Timp ment	-0,00179	0,0003	-6,015	0,000
CO ₂ *CO ₂	-0,02118	0,0390	-0,543	0,598
CO*CO	-0,00018	0,0003	-0,543	0,598
SO ₂ *SO ₂	-0,00099	0,0018	-0,543	0,598
Temp*Timp ment	-0,00014	0,0000	-7,000	0,000
Temp*CO ₂	-0,00000	0,0002	-0,000	1,000
Temp*CO	0,00000	0,0000	0,000	1,000
Temp*SO ₂	-0,00000	0,0001	-0,000	1,000
Timp ment*CO ₂	0,00000	0,0013	0,000	1,000
Timp ment*CO	0,00000	0,0001	0,000	1,000
Timp ment*SO ₂	-0,00000	0,0003	-0,000	1,000
CO ₂ *CO	-0,00000	0,0014	-0,000	1,000
CO ₂ *SO ₂	-0,00000	0,0033	-0,000	1,000
CO*SO ₂	0,00000	0,0003	0,000	1,000

S = 0,1429 R-Sq = 98,6% R-Sq(adj) = 95,9%

Analysis of Variance for Analiza micro

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
--------	----	--------	--------	--------	---	---

212 Anexe

Blocks	1	1,5152	0,01064	0,010637	0,52	0,485
Regression	20	14,1392	14,13916	0,706958	34,64	0,000
Linear	5	10,2778	0,96426	0,192852	9,45	0,001
Square	5	2,8614	2,86138	0,572276	28,04	0,000
Interaction	10	1,0000	1,00000	0,100000	4,90	0,007
Residual Error	11	0,2245	0,22448	0,020407		
Lack-of-Fit	6	0,2245	0,22448	0,037413	*	*
Pure Error	5	0,0000	0,00000	0,000000		
Total	32	15,8788				

Unusual Observations for Analiza micro

Obs	StdOrder	Analiza			Residual	St Resid
		micro	Fit	SE Fit		
1	13	5,000	4,945	0,140	0,055	2,06 R
2	12	3,000	3,056	0,140	-0,056	-2,10 R
4	16	3,000	3,056	0,140	-0,056	-2,10 R
5	9	5,000	4,945	0,140	0,055	2,06 R
9	8	3,000	3,056	0,140	-0,056	-2,10 R
13	5	5,000	4,945	0,140	0,055	2,06 R
15	4	3,000	3,056	0,140	-0,056	-2,10 R
19	1	5,000	4,945	0,140	0,055	2,06 R
27	24	5,000	4,773	0,106	0,227	2,36 R
28	25	5,000	5,218	0,106	-0,218	-2,26 R
30	26	4,000	3,773	0,106	0,227	2,36 R
33	23	5,000	5,218	0,106	-0,218	-2,26 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

ANEXA 9

Rezultate privind efectul factorilor de control: temperatură, timp de menținere, CO₂, CO, SO₂, asupra caracteristicilor mecanice și a analizei microstructurale pentru probele sudate din Inconel 625, supuse mediului coroziv rezultat din arderea deșeurilor speciale

Response Surface Regression: Duritate versus Temperatura; Timp menținere; CO₂; CO; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Duritate

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-1139,63	657,178	-1,734	0,108
Temp	2,61	1,245	2,096	0,058
Timp ment	1,00	1,733	0,575	0,576
CO2	-56,41	34,676	-1,627	0,130
CO	-0,08	2,155	-0,037	0,971
SO2	1,61	7,604	0,212	0,835
Temp*Temp	-0,00	0,001	-2,093	0,058
Timp ment*Timp ment	-0,06	0,018	-3,070	0,010
CO2*CO2	3,94	2,403	1,640	0,127
CO*CO	0,00	0,021	0,129	0,899
SO2*SO2	-0,02	0,113	-0,137	0,893
Temp*Timp ment	0,00	0,001	2,209	0,047
Temp*CO2	0,00	0,014	0,227	0,825
Temp*CO	0,00	0,001	0,510	0,619
Temp*SO2	-0,00	0,003	-0,170	0,868
Timp ment*CO2	0,01	0,082	0,170	0,868
Timp ment*CO	0,00	0,008	0,453	0,659
Timp ment*SO2	-0,02	0,018	-0,906	0,383
CO2*CO	-0,00	0,088	-0,057	0,956
CO2*SO2	0,13	0,204	0,623	0,545
CO*SO2	-0,02	0,019	-1,133	0,279

S = 8,828 R-Sq = 95,9% R-Sq(adj) = 89,2%

Analysis of Variance for Duritate

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	20	22072,8	22072,81	1103,64	14,16	0,000
Linear	5	17966,8	519,77	103,95	1,33	0,315
Square	5	3486,5	3486,53	697,31	8,95	0,001
Interaction	10	619,5	619,50	61,95	0,79	0,637
Residual Error	12	935,2	935,25	77,94		
Lack-of-Fit	6	865,8	865,82	144,30	12,47	0,004
Pure Error	6	69,4	69,43	11,57		
Total	32	23008,1				

Response Surface Regression: Rezistenta la rupere versus Temperatura; Timp mentinere; CO₂; CO; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Rez rupere

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	449,844	549,744	0,818	0,429
Temp	0,341	1,042	0,328	0,749
Timp ment	-2,827	1,450	-1,951	0,075
CO ₂	1,946	29,007	0,067	0,948
CO	0,552	1,803	0,306	0,765
SO ₂	2,138	6,361	0,336	0,743
Temp*Temp	-0,000	0,000	-0,367	0,720
Timp ment*Timp ment	0,004	0,015	0,271	0,791
CO ₂ *CO ₂	0,117	2,010	0,058	0,955
CO*CO	-0,001	0,017	-0,048	0,962
SO ₂ *SO ₂	-0,025	0,094	-0,261	0,799
Temp*Timp ment	0,001	0,001	0,846	0,414
Temp*CO ₂	-0,002	0,012	-0,169	0,868
Temp*CO	-0,000	0,001	-0,305	0,766
Temp*SO ₂	-0,000	0,003	-0,034	0,974
Timp ment*CO ₂	0,016	0,069	0,237	0,817
Timp ment*CO	0,002	0,006	0,372	0,716
Timp ment*SO ₂	-0,001	0,015	-0,034	0,974
CO ₂ *CO	0,002	0,073	0,034	0,974
CO ₂ *SO ₂	-0,064	0,171	-0,372	0,716
CO*SO ₂	-0,006	0,016	-0,372	0,716

S = 7,385 R-Sq = 95,3% R-Sq(adj) = 87,6%

Analysis of Variance for Rez rupere

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	20	13379,2	13379,18	668,959	12,27	0,000
Linear	5	13278,6	216,79	43,358	0,80	0,574
Square	5	28,9	28,94	5,789	0,11	0,989
Interaction	10	71,6	71,63	7,163	0,13	0,998
Residual Error	12	654,5	654,46	54,538		
Lack-of-Fit	6	599,6	599,60	99,933	10,93	0,005
Pure Error	6	54,9	54,86	9,143		
Total	32	14033,6				

Response Surface Regression: Alungirea la rupere versus Temperatura; Timp mentinere; CO₂; CO; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Alungire

Term	Coef	SE Coef	T	P
------	------	---------	---	---

Constant	29,2477	6,48366	4,511	0,001
Temp	0,0373	0,01229	3,032	0,010
Timp ment	0,0091	0,01710	0,531	0,605
CO2	-0,0980	0,34211	-0,286	0,779
CO	0,0205	0,02126	0,966	0,353
SO2	0,0148	0,07502	0,197	0,847
Temp*Temp	-0,0000	0,00001	-3,131	0,009
Timp ment*Timp ment	-0,0002	0,00018	-1,329	0,209
CO2*CO2	0,0112	0,02371	0,473	0,645
CO*CO	0,0001	0,00021	0,473	0,645
SO2*SO2	0,0005	0,00111	0,473	0,645
Temp*Timp ment	-0,0000	0,00001	-2,009	0,068
Temp*CO2	0,0000	0,00014	0,287	0,779
Temp*CO	-0,0000	0,00001	-1,435	0,177
Temp*SO2	-0,0000	0,00003	-0,287	0,779
Timp ment*CO2	0,0007	0,00081	0,861	0,406
Timp ment*CO	-0,0001	0,00008	-0,861	0,406
Timp ment*SO2	-0,0002	0,00018	-0,861	0,406
CO2*CO	0,0002	0,00087	0,287	0,779
CO2*SO2	-0,0040	0,00201	-2,009	0,068
CO*SO2	-0,0003	0,00019	-1,435	0,177

S = 0,08710 R-Sq = 98,5% R-Sq(adj) = 96,0%

Analysis of Variance for Alungire

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	20	5,94775	5,947754	0,297388	39,20	0,000
Linear	5	5,58500	0,099270	0,019854	2,62	0,080
Square	5	0,25150	0,251504	0,050301	6,63	0,004
Interaction	10	0,11125	0,111250	0,011125	1,47	0,262
Residual Error	12	0,09103	0,091034	0,007586		
Lack-of-Fit	6	0,09103	0,091034	0,015172	*	*
Pure Error	6	0,00000	0,000000	0,000000		
Total	32	6,03879				

Response Surface Regression: Analiza microstructurala versus Temperatura; Timp mentinere; CO₂; CO; SO₂

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Analiza micro

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4,64807	4,05046	1,148	0,274
Temp	-0,00175	0,00768	-0,228	0,823
Timp ment	0,06589	0,01068	6,169	0,000
CO2	0,45846	0,21372	2,145	0,053
CO	0,03821	0,01328	2,876	0,014
SO2	-0,05854	0,04686	-1,249	0,235
Temp*Temp	0,00000	0,00000	0,398	0,697
Timp ment*Timp ment	-0,00159	0,00011	-14,022	0,000
CO2*CO2	0,00590	0,01481	0,398	0,697

216 Anexe

CO*CO	0,00005	0,00013	0,398	0,697
SO2*SO2	0,00028	0,00069	0,398	0,697
Temp*Temp ment	-0,00004	0,00001	-4,595	0,001
Temp*CO2	-0,00041	0,00009	-4,595	0,001
Temp*CO	-0,00004	0,00001	-4,595	0,001
Temp*SO2	0,00009	0,00002	4,595	0,001
Temp ment*CO2	0,00233	0,00051	4,595	0,001
Temp ment*CO	0,00022	0,00005	4,595	0,001
Temp ment*SO2	-0,00051	0,00011	-4,595	0,001
CO2*CO	0,00249	0,00054	4,595	0,001
CO2*SO2	-0,00578	0,00126	-4,595	0,001
CO*SO2	-0,00054	0,00012	-4,595	0,001

S = 0,05441 R-Sq = 99,4% R-Sq(adj) = 98,4%

Analysis of Variance for Analiza micro

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	20	6,02508	6,02508	0,301254	101,75	0,000
Linear	5	3,77778	0,17203	0,034406	11,62	0,000
Square	5	1,62230	1,62230	0,324460	109,59	0,000
Interaction	10	0,62500	0,62500	0,062500	21,11	0,000
Residual Error	12	0,03553	0,03553	0,002961		
Lack-of-Fit	6	0,03553	0,03553	0,005921	*	*
Pure Error	6	0,00000	0,00000	0,000000		
Total	32	6,06061				