

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA
FACULTATEA DE INGINERIE HUNEDOARA**

TEZĂ DE DOCTORAT

**Conducător științific:
PROF. DR. ING. HEPUȚ TEODOR**

**Doctorand:
ING. MAGAON MIRUNA**

**HUNEDOARA
2021**

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA
FACULTATEA DE INGINERIE HUNEDOARA**

TEZĂ DE DOCTORAT

**CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA
PROCESELOR DE DEGAZARE SI DEZOXIDARE
A OȚELURILOR PENTRU ȚEVI**

**Conducător științific:
PROF. DR. ING. HEPUȚ TEODOR**

**Doctorand:
ING. MAGAON MIRUNA**

**HUNEDOARA
2021**

CUPRINS

Cap/subDenumire	Pag
Lista figuri.....	7
Lista tabele.....	12
Prefața.....	13
1.Plan de desfășurare a experimentărilor și cercetărilor.....	17
1.1.Descrierea esențializată a obiectului cercetării.....	17
1.2.Prezentarea cadrului experimental la nivel industrial i.....	18
1.2.1.Scurt istoric privind TMK Reșița.....	18
1.2.2.Gama de fabricație.....	20
1.2.3.Facilități de producție.....	20
1.2.4.Tehnologia de fabricare (sinteză).....	20
1.2.5.Facilități și echipamente utilizate pentru verificări și controlul calității produselor.....	22
1.3.Strategia cercetării.....	23
PARTEA I – STUDIU DIN LITERATURA DE SPECIALITATE PRIVIND ELABORAREA ÎN25 CUPTOARE CU ARC ELECTRIC ȘI TURNAREA CONTINUĂ A OȚELULUI	
2.Elaborarea în cuptoare cu arc electric tip EBT, procesarea în oală și turnarea continuă a oțelului.....	26
2.1.Sinteză privind procesul fluxul tehnologic de elaborarea a oțelului.....	26
2.1.1.Considerații tehnologice.....	26
2.1.2.Elaborarea oțelului în cuptorul cu arc electric tip EBT.....	28
2.1.2.1.Considerații constructive și funcționale la cuptorul cu arc electric tip EBT.....	28
2.1.2.2.Procesul tehnologic de elaborare a oțelului în cuptorul cu arc electric tip EBT.....	30
2.1.2.3.Oala de turnare.....	36
2.2.Tratamentul secundar al oțelului în oala de turnare.....	37
2.2.1.Considerații tehnologice.....	37
2.2.2.Instalației LF (Ladle-Furnace).....	39
2.2.2.1.Construcția instalației LF (Ladle-Furnace).....	39
2.2.2.2.Funcționarea instalației LF.....	40
2.2.2.3.Efecte tehnico – economice.....	42
2.2.3.Instalația VD (vidare – degazare).....	42
2.2.3.1.Considerații tehnologice.....	42
2.2.3.2.Descrierea fluxului tehnologic de vidare.....	43
2.2.3.3.Efecte tehnico – economice.....	44
2.3.Turnarea continuă a oțelului.....	45
2.3.1.Considerații tehnologice.....	45
2.3.2.Tipuri de instalații.....	45
2.3.3.Elementele instalației de turnare continuă cu fir curbat.....	47
2.3.3.1.Tubul de protecție (ladle shroud).....	48
2.3.3.2.Distribuitoare.....	49
2.3.3.3.Tubul de imersie.....	50
2.3.3.4.Cristalizările.....	51
2.3.3.5.Zona de răcire secundară, elemente de susținere, extragerea, debitarea și îndreptarea semifabri-55 catului	55
2.3.3.6.Turnarea secvențială.....	58
2.4.Concluzii.....	59
3.Studiu din literatura de specialitate privind reducerea gazelor din baia de oțel.....	61
3.1.Considerații tehnologice.....	61
3.2.Influența gazelor asupra oțelului.....	62
3.2.1.Influența hidrogenului.....	62
3.2.2.Influența azotului.....	62
3.3.Surse de impurificare a produselor siderurgice.....	62

3.3.1.Surse primare de hidrogen și azot	62
3.4.Solubilitatea hidrogenului și azotului în aliaje feroase.....	63
3.4.1.Solubilitatea gazelor în fierul solid.....	63
3.4.2.Solubilitatea hidrogenului și azotului în fierul lichid. Influența temperaturii și presiunii.....	63
3.4.3.Solubilitatea hidrogenului și azotului în fierul lichid. Influența diferitelor elemente asupra solubilității.....	64
3.4.4.Trecerea hidrogenului și azotului din atmosferă în oțelul lichid.....	66
3.4.5.Trecerea hidrogenului din zgură în oțel.....	68
3.5.Posibilități de eliminare a hidrogenului și azotului din oțeluri	68
3.5.1.Eliminarea cu bulele de oxid de carbon.....	68
3.5.2.Degazarea oțelului prin barbotare cu gaze inerte.....	70
3.5.3.Degazarea oțelului prin vidare.....	72
4.Studiu privind reducerea oxigenului din baia de oțel.....	73
4.1.Considerații tehnice.....	73
4.2.Dezoxidarea prin precipitare.....	73
4.2.1.Considerații generale.....	73
4.2.2.Particularitățile dezoxidării cu diferiți dezoxidanți.....	74
4.2.2.1.Dezoxidarea prin precipitare cu un dezoxidant uzual.....	74
4.2.2.2.Dezoxidarea prin precipitare cu dezoxidanți speciali.....	76
4.2.2.3.Dezoxidarea combinată.....	76
4.2.3.Avantajele și dezavantajele dezoxidării prin precipitare.....	77
4.3.Dezoxidarea prin extracție.....	77
4.3.1.Principiul metodei.....	77
4.3.2.Aspecte tehnologice.....	77
4.3.3.Avantajele și dezavantajele dezoxidării prin extracție.....	79
4.4.Dezoxidarea oțelului în vid.....	79
4.4.1.Principiul metodei.....	79
4.4.2.Aspecte tehnologice	80
4.4.3.Avantajele și dezavantajele dezoxidării în vid.....	82
4.5.Formarea și îndepărtarea incluziunilor nemetalice.....	82
4.5.1.Natura incluziunilor nemetalice.....	82
4.5.2.Proveniența incluziunilor nemetalice.....	83
4.5.3.Influența incluziunilor nemetalice asupra proprietăților oțelului	83
4.5.4.Formarea, creșterea și îndepărtarea incluziunilor nemetalice.....	83
4.5.4.1.Formarea incluziunilor nemetalice.....	83
4.5.4.2.Creșterea incluziunilor nemetalice.....	84
4.5.4.3.Procesul de îndepărtare a incluziunilor nemetalice.....	84
PARTEA II – CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PRIVIND DEGAZAREA OȚELURILOR PROCESATE ÎN INSTALAȚII DE VIDARE DE TIP VD	86
5.Cercetări și experimentări privind reducerea conținutului de hidrogen la procesarea oțelului în instalații de vidare tip VD. Concluzii.....	87
5.1.Considerații tehnologice privind degazarea oțelului.....	87
5.2.Cadrul tehnologic experimental	88
5.3.Prelucrarea datelor. Rezultate și analize tehnologice. Concluzii.....	89
5.3.1.Rezultate obținute în programul EXCEL.....	89
5.3.1.1.Corelații referitoare la conținutul de hidrogen după vidare.....	90
5.3.1.2.Corelații referitoare la randamentul de eliminare a hidrogenului.....	92
5.3.1.3.Analiza tehnologică a rezultatelor obținute.....	94
5.3.2.Rezultate obținute în programul MATLAB.....	96
5.3.2.1.Corelații referitoare la conținutul de hidrogen după vidare. Analiza tehnologică. Concluzii.....	96
5.3.2.2.Corelații referitoare la randamentul de eliminare a hidrogenului prin tratarea oțelului în instalația de vidare VD. Analiza tehnologică. Concluzii.....	107
5.4.Absorbția hidrogenului în oțel după vidare.....	118
5.4.1.Prelucrarea datelor experimentale. Rezultate.....	119
5.4.1.1.Rezultate la prelucrarea datelor în programul EXCEL.....	119

5.4.1.2. Rezultate la prelucrarea datelor în programul MATLAB.....	120
5.4.2. Analiza rezultatelor obținute.....	121
5.4.2.1. Analiza rezultatelor pe baza corelațiilor EXCEL.....	121
5.4.2.2. Analiza rezultatelor pe baza corelațiilor MATLAB.....	122
5.4.3. Concluzii.....	122
6. Cercetări privind reducerea conținutului de azot prin vidare în oțelurile pentru țevi.....	123
6.1. Considerații tehnologice privind degazarea oțelului.....	123
6.2. Cadrul tehnologic experimental.....	123
6.3. Prelucrarea datelor. Rezultate și analize tehnologice. Concluzii.....	123
6.3.1. Rezultate obținute în programul EXCEL.....	123
6.3.1.1. Corelații referitoare la conținutul de azot din oțelul vidat.....	123
6.3.1.2. Corelații referitoare la randamentul de eliminare a azotului.....	126
6.3.1.3. Corelații referitoare la cantitatea de azot eliminată din baia metalică pe durata vidării.....	128
6.3.1.4. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute.....	130
6.3.2. Rezultate obținute în programul MATLAB.....	135
6.3.2.1. Corelații duble privind randamentul de eliminare a azotului.....	135
6.3.2.2. Analiza tehnologică a corelațiilor obținute.....	139
6.3.3. Corelații triple privind randamentul de îndepărtare a azotului și cantitatea îndepărtată din baia de oțel.....	141
6.3.3.1. Corelații triple privind randamentul de îndepărtare a azotului din baia de oțel.....	141
6.3.3.2. Corelații triple referitoare la cantitatea de azot îndepărtată la vidare. Analiza tehnologică. Concluzii.....	142
6.4. Absorbția azotului în oțel după vidare.....	147
6.4.1. Prelucrarea datelor. Rezultate.....	147
6.4.1.1. Rezultate la prelucrarea datelor în programul EXCEL.....	147
6.4.1.2. Rezultate la prelucrarea datelor în programul MATLAB.....	148
6.4.2. Analiza rezultatelor obținute.....	149
6.4.2.1. Analiza rezultatelor pe baza corelațiilor EXCEL.....	149
6.4.2.2. Analiza rezultatelor pe baza corelațiilor MATLAB.....	150
6.4.3. Concluzii.....	150
7. Cercetări privind reducerea conținutului de oxigen prin vidare în oțeluri pentru țevi.....	151
7.1. Experimentări și rezultate.....	151
7.1.1. Rezultate obținute în programul EXCEL.....	151
7.1.1.1. Corelații tehnologice.....	151
7.1.1.2. Analiza rezultatelor obținute în programul de calcul EXCEL.....	154
7.1.2. Rezultate obținute în programul MATLAB.....	156
7.1.2.1. Corelații tehnologice.....	156
7.1.2.2. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute în programul de calcul MATLAB.....	164
7.1.3. Concluzii.....	169
7.2. Rezultate privind natura și compoziția chimică a incluziunilor nemetalice conținute de semifabricatele turnate continuu.....	170
7.2.1. Tehnica experimentală. Rezultate obținute.....	170
7.2.2. Analiza rezultatelor obținute.....	189
7.2.3. Concluzii.....	191
7.3. Practica curentă la TMK Reșița privind dezoxidarea oțelurilor de înaltă puritate.....	191
7.3.1. Evacuarea oțelului lichid din cuptor în oala de turnare.....	191
7.3.2. Tratamentul oțelului lichid în instalația LF.....	192
7.3.2.1. Tratamentul LF în cazul oțelurilor resulfurate.....	193
7.3.3. Studiu de caz privind impurificarea oțelului în cristalizor.....	194
7.3.3.1. Cadru experimental.....	194
7.3.3.2. Rezultatul studiului de laborator (preliminar) la TMK Artrom.....	194
7.3.3.3. Rezultatul analizei de laborator privind compoziția chimică.....	196
7.3.3.4. Compararea nivelului de incluziuni pe firele Mașinii TC.....	197
7.3.3.5. Compararea între nivelul incluziunilor (realizată FSIM-UP).....	198
8. Verificarea industrială a rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor efectuate.....	202
8.1. Considerații tehnologice.....	202
8.2. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute.....	202

PARTEA III – CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR. DISEMINAREA REZULTATELOR

9. Concluzii finale. Contribuții originale, Direcții de continuare a cercetărilor.....	207
9.1. Concluzii finale recapitulative.....	207
9.2. Contribuții originale.....	212
9.3. Direcții de continuare a cercetărilor.....	214
DISEMINARE REZULTATE.....	215
Bibliografie.....	217
Anexe.....	222
Anexe figuri.....	222
Anexe tabele.....	227

LISTĂ FIGURI

- Figura 1.1. Modelul de intrări - ieșiri al obiectului cercetării
- Figura 1.2. Fluxul tehnologic TMK Resița
- Figura 2.1. Cuptorul electric cu arc de tip EBT
- Figura 2.2. Fazele de elaborare în cuptorul electric E.B.T.
- Figura 2.3. Schema procesului tehnologic de elaborare
- Figura 2.4. Instalația de tratament secundar de tip LF
- Figura 2.5. Schema procesului tehnologic de tratare în oala de turnare (LF)
- Figura 2.6. Instalație de vidare VD vedere generală
- Figura 2.7. Instalație de vidare, conducere automată
- Figura 2.8. Tipurile de turnare continuă a oțelului
- Figura 2.9. Tipuri de orificii de turnare imersate în baia din cristalizor
- Figura 2.10. Alimentarea cu oțel lichid a cristalizorului din distribuitor
- Figura 2.11. Zona de răcire secundară
- Figura 2.12. Creșterea grosimii crustei, prin stropire cu apă
- Figura 3.1. Influența azotului asupra alungirii relative la oțeluri
- Figura 3.2. Solubilitatea hidrogenului (a) și azotului (b) în fierul solid
- Figura 3.3. Solubilitatea hidrogenului în aliajele fierului la presiunea de 1 at și temperatura de 1600°C
- Figura 3.4. Efectul elementelor de aliere asupra coeficientului de activitate a hidrogenului în aliajele fierului la 1592°C
- Figura 3.5. Solubilitatea azotului în aliajele fierului la presiunea de 1 at și temperatura de 1600°C
- Figura 3.6. Efectul elementelor de aliere asupra coeficientului de activitate a azotului în fier la 1600°C
- Figura 3.7. Eliminarea hidrogenului și azotului din oțelul lichid cu bulele de CO
- Figura 3.8. Corelația între viteza de degazare și viteza de decarburare pentru $[H]_0=2-3,5$ cm³/100g
- Figura 3.9. Eliminarea hidrogenului și azotului din oțelul lichid cu bulele de argon
- Figura 3.10. Scăderea conținutului de hidrogen în oțel, în funcție de consumul specific de argon pentru barbotare
- Figura 4.1. Variația conținutului de oxigen din baia metalică
- Figura 4.2. Deplasarea izotermei [C] - [O] în funcție de presiune
- Figura 5.1. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{tv})$
- Figura 5.2. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{va})$
- Figura 5.3. Corelația $[H]_{fVD} = f(P_{va})$
- Figura 5.4. Corelația $[H]_{fVD} = f(D.T)$
- Figura 5.5. Corelația $[H]_{fVD} = f(T_{inVD})$
- Figura 5.6. Corelația $[H]_{fVD} = f(T_{isVD})$
- Figura 5.7. Corelația $R_H = f(D_{tv})$
- Figura 5.8. Corelația $R_H = f(D_{va})$
- Figura 5.9. Corelația $R_H = f(P_{va})$
- Figura 5.10. Corelația $R_H = f(D.T)$
- Figura 5.11. Corelația $R_H = f(T_{inVD})$
- Figura 5.12. Corelația $R_H = f(T_{isVD})$
- Figura 5.13. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v.}, D_{v.a.})$
- Figura 5.14. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v.}, D_{v.a.})$
- Figura 5.15. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v.}, D_{v.a.})$
- Figura 5.16. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v.}, P_{v.a.})$

- Figura 5.17. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v...}, P_{v.a})$
- Figura 5.18. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v...}, P_v.)$
- Figura 5.19. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v...}, D.T.)$
- Figura 5.20. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v...}, D.T.)$
- Figura 5.21. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{v.a...}, D.T.)$
- Figura 5.22. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{v.a...}, P_{v.a.})$
- Figura 5.23. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{v.a...}, P_{v.a.})$
- Figura 5.24. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{v.a...}, P_{v.a.})$
- Figura 5.25. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{v.a...}, D.T.)$
- Figura 5.26. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{v.a...}, D.T.)$
- Figura 5.27. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{v.a...}, D.T.)$
- Figura 5.28. Corelația $[H]_{fVD} = f(P_{v.a...}, D.T.)$
- Figura 5.29. Corelația $[H]_{fVD} = f(P_{v.a...}, D.T.)$
- Figura 5.30. Corelația $[H]_{fVD} = f(P_{v.a...}, D.T.)$
- Figura 5.31. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, D_{va})$
- Figura 5.32. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, D_{va})$
- Figura 5.33. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, D_{va})$
- Figura 5.34. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, P_{va})$
- Figura 5.35. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, P_{va})$
- Figura 5.36. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, P_{va})$
- Figura 5.37. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, D.T.)$
- Figura 5.38. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, D.T.)$
- Figura 5.39. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, DT)$
- Figura 5.40. Corelația $\eta_H = f(D_{va}, P_{va})$
- Figura 5.41. Corelația $\eta_H = f(D_{va}, P_{va})$
- Figura 5.42. Corelația $\eta_H = f(D_{va}, P_{va})$
- Figura 5.43. Corelația $\eta_H = f(D_{va}, D.T.)$
- Figura 5.44. Corelația $\eta_H = f(D_{va}, D.T.)$
- Figura 5.45. Corelația $\eta_H = f(D_{va}, D.T.)$
- Figura 5.46. Corelația $\eta_H = f(P_{va}, D.T.)$
- Figura 5.47. Corelația $\eta_H = f(P_{va}, D.T.)$
- Figura 5.48. Corelația $\eta_H = f(P_{va}, D.T.)$
- Figura 5.49. Corelați $H_{abs} = f(\text{Conținutul final de hidrogen la ieșirea din VD})$
- Figura 5.50. Corelația $H_{abs} = f(\text{Durata de menținere a oțelului în oală, ieșire VD – Distribuitor})$
- Figura 5.51. Corelația $H_{abs} = f(\text{Timp VD-TC, Temp. VD - TC Ecuția 1 - (5.2)})$
- Figura 5.52. Corelația $H_{abs} = f(\text{Timp VD-TC, Temp. VD - TC Ecuția 2 - (5.3)})$
- Figura 5.53. Corelația $H_{abs} = f(\text{Timp VD-TC, Temp. VD - TC Ecuția 3 - (5.4)})$
- Figura 5.54. Funcții de apartenență „Corecție viteză Δv^3 ”
- Figura 6.1. Corelația $[N]_{fVD} = f(D_{tv})$
- Figura 6.2. Corelația $[N]_{fVD} = f(D_{va})$
- Figura 6.3. Corelația $[N]_{fVD} = f(P_{va})$
- Figura 6.4. Corelația $[N]_{fVD} = f(P_{va})$
- Figura 6.5. Corelația $[N]_{fVD} = f(D.T.)$
- Figura 6.6. Corelația $[N]_{fVD} = f(T_{inVD})$
- Figura 6.7. Corelația $[N]_{fVD} = f(T_{ișVD})$
- Figura 6.8. $R_H = f(D_{tv})$
- Figura 6.9. $R_H = f(D_{va})$
- Figura 6.10. $R_H = f(P_{va})$
- Figura 6.11. $R_H = f(P_{bAr})$
- Figura 6.12. $R_H = f(D.T.)$
- Figura 6.13. $R_H = f(T_{inVD})$
- Figura 6.14. $R_H = f(T_{ișVD})$

- Figura 6.15. Corelația $\Delta[N]_e = f(D_{tv})$
 Figura 6.16. Corelația $\Delta[N]_e = f(D_{va})$
 Figura 6.17. Corelația $\Delta[N]_e = f(P_{va})$
 Figura 6.18. Corelația $\Delta[N]_e = f(P_{bAr})$
 Figura 6.19. Corelația $\Delta[N]_e = f(D.T.)$
 Figura 6.20. Corelația $\Delta[N]_e = f(T_{inVD})$
 Figura 6.21. Corelația $\Delta[N]_e = f(T_{isVD})$
 Figura 6.22. Corelația $R_N = f(P_{va}, T_{isVD})$
 Figura 6.23. Corelația $R_N = f(P_{va}, T_{inVD})$
 Figura 6.24. Corelația $R_N = f(P_{va}, D.T.)$
 Figura 6.25. Corelația $R_N = f(P_{va}, P_{bAr}.)$
 Figura 6.26. Corelația $R_N = f(D_{va}, T_{isVD})$
 Figura 6.27. Corelația $R_N = f(D_{va}, D.T.)$
 Figura 6.28. Corelația $R_N = f(D_{va}, P_{bAr}.)$
 Figura 6.29. Corelația $R_N = f(D_{va}, P_{va})$
 Figura 6.30. Corelația $\Delta N = f(D_{vid.}, D_{via.av.}); T_{int.VD} = T_{int.VD.medie} = 1677,888^{\circ}C;$
 Figura 6.31. Corelația $\Delta N = f(D_{vid.}, D_{via.av.}); D_{vid} = D_{vid-mediu} = 23,21min;$
 Figura 6.32. Corelația $\Delta N = f(D_{vid.}, D_{via.av.}); T_{iesVD} = T_{iesVD-mediu} = 1615,245^{\circ}C;$
 Figura 6.33. Corelația $\Delta N = f(D_{vid.}, D_{via.av.}); ST_{VD} = ST_{VD-mediu} = 48,579^{\circ}C$
 Figura 6.34. Corelația $\Delta N = f(T_{intVD}, T_{iesVD}); D_{vid av.} = D_{vid av. mediu} = 13,789min; relația (9.20)$
 Figura 6.35. Corelația $\Delta N = f(T_{iesVD}, D_{vid.av.}); (T_{intVD} = (T_{intVD-medie} = 1667,895.^{\circ}C$
 Figura 6.36. Corelația $N_{abs} = f(\text{Durata de menținere a oțelului în oală, ieșire VD – Distribuitor})$
 Figura 6.37. Corelația $N_{distribuitor} = f(N_{abs})$
 Figura 6.38. Corelația $N_{abs} = f(\text{Timp VD-TC, Temp. VD - TC Ecuația 1 - (5.2)}$
 Figura 6.39. Corelația $N_{abs} = f(\text{Timp VD-TC, Temp. VD - TC Ecuația 2 - (5:3)}$
 Figura 6.40. Corelația $N_{abs} = f(\text{Timp VD-TC, Temp. VD - TC Ecuația 3 - (5.4)}$
 Figura 7.1. Corelația conținut de oxigen = f(durata vidării)
 Figura 7.2. Corelația conținut de oxigen = f(durata vidării sub vid avansat)
 Figura 7.3. Corelația conținut de oxigen = f(consum specific Ar la barbotare)
 Figura 7.4. Corelația conținut de oxigen = f(Presiunea la vidare avansată)
 Figura 7.5. Corelația conținut de oxigen = f(temperatura oțelului la intrare în VD)
 Figura 7.6. Corelația conținut de oxigen = f(temperatura oțelului la ieșire din VD)
 Figura 7.7. Corelația conținut de oxigen = f(scăderea de temperatură pe durata vidării)
 Figura 7.8. Conținutul de oxigen după vidare = f($D_v, \Delta T$) – A
 Figura 7.9. Conținutul de oxigen după vidare = f($D_v, Q_{Ar,}$) – A
 Figura 7.10. Conținutul de oxigen după vidare = f($D_v, T,$) – A
 Figura 7.11. Conținutul de oxigen după vidare = f($D_{vid. av.}, Q_{Ar,} - A$)
 Figura 7.12. Conținutul de oxigen după vidare = f($D_{vid av.}, \Delta T$) – A
 Figura 7.13. Conținutul de oxigen după vidare = f($D_{vid av.}, T$) – A
 Figura 7.14. Conținutul de oxigen după vidare = f(T, Q_{Ar}) – A
 Figura 7.15. Conținutul de oxigen după vidare = f($\Delta T, Q_{Ar}$) – A
 Figura 7.16. Conținutul de oxigen după vidare = f($D_v, \Delta T$) – B
 Figura 7.17. Conținutul de oxigen după vidare = f(D_v, Q_{Ar}) – B
 Figura 7.18. Conținutul de oxigen după vidare = f(D_v, T) – B
 Figura 7.19. Conținutul de oxigen după vidare = f($D_{vid av.}, Q_{Ar}$) – B
 Figura 7.20. Conținutul de oxigen după vidare = f($D_{vid av.}, \Delta T$) – B
 Figura 7.21. Conținutul de oxigen după vidare = f($D_{vid av.}, T$) – B
 Figura 7.22. Conținutul de oxigen după vidare = f($T, Q_{Ar,}$) – B
 Figura 7.23. Conținutul de oxigen după vidare = f($\Delta T, Q_{Ar}$) – B
 Figura 7.24. Conținutul de oxigen după vidare = f($D_v, \Delta T$) – C
 Figura 7.25. Conținutul de oxigen după vidare = f(D_v, Q_{Ar}) – C

- Figura 7.26. Conținutul de oxigen după vidare = $f(D_v, T) - C$
- Figura 7.27. Conținutul de oxigen după vidare = $f(D_{\text{vid av.}}, Q_{\text{Ar}}) - C$
- Figura 7.28. Conținutul de oxigen după vidare = $f(D_{\text{vid av.}}, \Delta T) - C$
- Figura 7.29. Conținutul de oxigen după vidare = $f(D_{\text{vid av.}}, T) - C$
- Figura 7.30. Conținutul de oxigen după vidare = $f(T, Q_{\text{Ar}}) - C$
- Figura 7.31. Conținutul de oxigen după vidare = $f(\Delta T, Q_{\text{Ar}}) - C$
- Figura 7.32. Variația conținutului de oxigen din semifabricat în funcție de corelația utilizată
- Figura 7.33. Variația sub formă de histograme conținutului de oxigen din semifabricat în funcție de corelația utilizată
- Figura 7.34. Variația diferenței conținutului de oxigen (ppm) comparativ cu valoarea de referință (20ppm)
- Figura 7.35. Variația diferenței conținutului de oxigen (%) comparativ cu valoarea de referință (0%)
- Figura 7.36. Aspectul morfologic al probei. Imagine microscopie electronică de baleiaj (SEM) la o mărire de 100x.
- Figura 7.37. Microstructura suprafeței incluziunii probei la o mărire de 500 x.
- Figura 7.38. Microstructura suprafeței ce prezintă zona unde a fost efectuată analiza EDAX la o mărire de 500x
- Figura 7.39. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe micro aria prezentată în fig.7.38 – zona 1
- Figura 7.40. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria din fig.7.38 – zona 2
- Figura 7.41. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.38. și distribuția razelor X
- Figura 7.42. Imagine de microscopie electronică de baleiaj (SEM) ce prezintă aspectul probei la o mărire de 100x.
- Figura 7.43. Microstructura suprafeței incluziunii probei la o mărire de 400 x.
- Figura 7.44. Microstructura suprafeței ce prezintă zona unde a fost efectuată analiza EDAX la o mărire de 1000x.
- Figura 7.45. Spectrul de raze X dispersive în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.44 – zona 1.
- Figura 7.46. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.63. și distribuția razelor X
- Figura 7.47. Imagine de microscopie electronică de baleiaj (SEM), ce prezintă aspectul probei la o mărire de 100x.
- Figura 7.48. Microstructura suprafeței incluziunii probei la o mărire de 500 x.
- Figura 7.49. Microstructur suprafeței ce prezintă zona unde a fost efectuată analiza EDAX la o mărire de 500x.
- Figura 7.50. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.49.– zona 1.
- Figura 7.51. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.49.– zona 2.
- Figura 7.52. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.49. și distribuția razelor X
- Figura 7.53. Imagine de microscopie electronică de baleiaj (SEM) ce prezintă aspectul probei la o mărire de 100x.
- Figura 7.54. Microstructura suprafeței incluziunii probei la o mărire de 500 x.
- Figura 7.55. Microstructura suprafeței ce prezintă zonele unde a fost efectuată analiza EDAX la o mărire de 500x
- Figura 7.56. Spectrul de raze X dispersive în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.55 – zona 1.

- Figura 7.57. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.55 – zona 2.
- Figura 7.58. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.55. și distribuția razelor X
- Figura 7.59. Imagine de microscopie electronică de baleiaj (SEM), ce prezintă aspectul probei la o mărire de 100x
- Figura 7.60. Microstructura suprafeței incluziunii probei la o mărire de 500 x
- Figura 7.61. Microstructura suprafeței ce prezintă zonele unde a fost efectuată analiza EDAX la o mărire de 500x.
- Figura 7.62. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.61 – zona 1.
- Figura 7.63. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.61 – zona 2.
- Figura 7.64. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.61. și distribuția razelor X
- Figura 7.65. Imagine de microscopie electronică de baleiaj (SEM) ce prezintă aspectul probei la o mărire de 100x
- Figura 7.66. Microstructura suprafeței incluziunii probei la o mărire de 400 x.
- Figura 7.67. Microstructura suprafeței ce prezinta zonele unde a fost efectuată analiza EDAX la o mărire de 400x
- Figura 7.68. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.67 – zona 1.
- Figura 7.69. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.67 – zona 2
- Figura 7.70. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.66. și distribuția razelor X
- Figura 7.71. Fisură în tubul de imersie
- Figura 7.72. Microfotografii cu defecte pe suprafața exterioră-(a)și interioară-(b) a țevii
- Figura 7.73. Compoziția chimică a incluziunilor
- Figura 7.74. Evaluarea la microscop in cadrul laboratorului metalografic TMK Artrom
- Figura 7.75. Nivelul incluziunilor – probe firul 1
- Figura 7.76. Nivelul incluziunilor – probe firul 2
- Figura 7.77. Nivelul incluziunilor – probe firul 3
- Figura 2.1.A. Turnul mașinii de turnare continuă
- Figura 2.2.A. Fire de turnare TC
- Figura 2.3.A Sistem închidere-deschidere oală TC
- Figura 2.4.A. Distribuitor MTC
- Figura 2.5.A. Introducerea oalei în recipientul instalației VD
- Figura 2.6.A. Ieșirea semifabricatelor din camera de ceață și intrarea în cajele de tragere - îndreptare
- Figura 3.1.A. Valorile reale pentru hidrogen după tratamentul de vidare VD
- Figura 3.2.A. Valori reale pentru azot după tratamentul de vidare VD
- Figura 7.1.A. Tratamentul de globulizare cu Ca metalic
- Figura 7.2.A. Diagrama de echilibru a sistemului binar $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$

LISTĂ TABELE

- Tabelul 2.1. Caracteristicile tehnice ale cuptorului electric tip EBT
- Tabelul 2.2. Parametri medii de exploatare ai cuptorului electric tip EBT
- Tabelul 2.3. Durate de elaborare la cuptorul EBT
- Tabelul 2.4. Componența și compoziția zgurii de la afinare
- Tabelul 2.5. Durata fazelor tehnologice după evacuare, min
- Tabelul 2.6. Temperatura oțelului la procesarea în oala de turnare, °C
- Tabelul 3.1. Conținutul de hidrogen în fontă, fierul vechi și feroaliaje
- Tabelul 3.2. Solubilitatea hidrogenului și azotului în unele zguri siderurgice
- Tabelul 4.1. Compoziția chimică a aliajelor de lantanide, %
- Tabelul 4.2. Compoziții chimice pentru zguri dezoxidante
- Tabelul 6.1. Corelații triple privind randamentul de îndepărtare a azotului din oțel.
- Tabelul 6.2. Valorile minime,maxime și medii pentru parametrii urmăriți la îndepărtarea azotului din baia de oțel
- Tabelul 7.1. Valori de referință pentru parametrii urmăriți - corelații multiple
- Tabelul 7.2. Compoziția chimică elementală cantitativă pentru microaria zona 1 (fig. 7.38)
- Tabelul 7.3. Compoziția chimică elementală cantitativă pentru microaria zona 1 (fig.7.44)
- Tabelul 7.4. Compoziția chimică elementală cantitativă pentru microaria zona 1 (fig. 7.49)
- Tabelul 7.5. Compoziția chimică elementală cantitativă pentru microaria zona 1 (fig.7.55)
- Tabelul 7.6. Compoziția chimică elementală cantitativă pentru microaria zona 1 (fig 7.61)
- Tabelul 7.7. Compoziția chimică elementală cantitativă pentru microaria zona 1 (fig 7.67)
- Tabelul 7.8. Calitatea zgurei la LF
- Tabelul 7.9. Determinarea puritatii conform ASTM E45, metoda A
- Tabelul 7.10. Mărimea incluziunilor nemetalice pe cele trei fire
- Tabelul 8.1. Durata principalelor operații tehnologice efective și transfer între agregatele/utilajele de elaborare și turnare a oțelului
- Tabelul 8.2. Valorile parametrilor vidării și conținuturilor de gaze (H,N și O)
- Tabelul 8.3. Valori pentru parametrii dependenți
- Tabelul 8.4. Date referitoare la eliminarea hidrogenului c
- Tabelul 8.5. Date referitoare la eliminarea azotului
- Tabelul 8.6. Date referitoare la eliminarea oxigenului
- Tabelul 5.1. A. Compoziția chimică a șarjelor de oțel marca **ST 52-3**
- Tabelul 5.2. A. Compoziția chimică a șarjelor de oțel marca **ST 52-3 (intrare în LF)**
- Tabelul 5.3. A. Compoziția chimică a șarjelor de oțel marca **ST 52-3 (ieșire LF, intrare VD)**
- Tabelul 5.4. A. Compoziția chimică a șarjelor de oțel marca **ST 52-3 (ieșire din VD)**
- Tabelul 5.5. A. Compoziția chimică a șarjelor de oțel marca **ST 52-3 (distribuitor)**
- Tabelul 5.6.A. Parametrii vidării cu referire la eliminarea hidrogenului din oțel
- Tabelul 5.7.A. Parametrii cu referire la absorbția hidrogenului pe traseul VD- TC
- Tabelul 6.1.A. Parametrii vidării și conținutul de azot din oțel după vidare
- Tabelul 6.2.A. Parametrii vidării și randamentul de îndepărtare a azotului din oțel la vidare
- Tabelul 6.3.A. Parametrii vidării și conținutul de azot din oțel pe traseul VD-MTC
- Tabelul 6.4. A. Parametrii cu referire la absorbția azotului pe traseul VD- TC
- Tabelul 7.1.A. Parametrii vidării cu referire la eliminarea oxigenului din oțel
- Tabelul 7.2.A. Compoziția chimică oțel marca **AMJ 21C**

PREFAȚĂ

Industria metalurgică (siderurgie, metale și aliaje neferoase, pulberi metalice, materiale compozite, aliaje cu memoria formei, aliaje metalice speciale etc) reprezintă baza dezvoltării industriale avansate pentru orice țară.

Istoric vorbind, siderurgia a avut importanța ei în crearea UE, țările europene începând din 1950 să se unească, din punct de vedere economic și politic, în cadrul Comunității Europene a Cărbunelui și Oțelului, propunându-și totodată să asigure o pace durabilă.

Semnificativă pentru situația dificilă a siderurgiei europene, este faptul că "s-a apropiat nepermis de mult de pragul de rentabilitate", de trecere definitiv în zona cu pierderi economice, dacă UE întârzie în acțiuni propuse pentru redresarea economică de ansamblu. Sunt foarte clare următoarele riscuri și provocări la care este supusă siderurgia europeană [1]:

- deplasarea producției siderurgice spre Asia (China, Japonia, India, Coreea de Sud);
- dezechilibrarea balanței de materii prime necesare siderurgiei, ca urmare a creșterii explozive a producției de oțel din China;
- echilibrarea politicii comerciale și a mediului concurențial, accesul pe piața de materii prime și combustibili dar și practica de reglementare a prețurilor de producție pe piața internă și externă ale produselor siderurgice;
- reglementarea asimetrică aplicată protecției mediului. Reglementările europene ETS au un efect negativ asupra competitivității siderurgiei europene. Siderurgia europeană este obligată să își asume costuri suplimentare, din cauza caracterului obligatoriu al ETS și al impactului acestora asupra planificării producției posibile de realizat, dar și asupra nivelului de preț al energiei electrice [2]. Este greu de admis că la o sporire a creșterii consumului de oțel într-o anumită țară/regiune, restricțiile de mediu vor conduce la reducerea producției de oțel din UE și la nevoia de a se recurge la importuri din zone non-UE. Această soluție este departe de a favoriza, global, protecția mediului înconjurător. De asemenea, trebuie ținut cont de actualele prevederi de mediu pentru perioada post 2020 sunt nesustenabile tehnic[3].

- reducerea forței de muncă calificată, necesară siderurgiei europene.

Industria siderurgică din Europa este lider mondial în cazul anumitor segmente de pe piața produselor siderurgice, reprezintă 1,3% din PIB-ul UE și, în 2015, oferea aproximativ 328.000 de locuri de muncă. Această industrie este, de asemenea, o sursă importantă de locuri de muncă indirecte, deoarece joacă un rol însemnat pentru multe alte domenii, cum ar fi industria auto. În ciuda potențialului sectorului siderurgic european și a eforturilor semnificative depuse pentru inovare și modernizare, poziția sa competitivă pe piața mondială a oțelului s-a deteriorat în ultimii ani[4].

Schimbările climatice reprezintă cea mai mare provocare legată de mediu, cu care se confruntă în prezent lumea întreagă. Creșterea temperaturii globale va determina schimbări ale caracteristicilor meteorologice, creșterea nivelului mării și creșterea frecvenței și intensității fenomenelor meteorologice extreme. Acest fenomen ne afectează pe toți, dar în același timp toți putem fi parte a soluției acestor probleme.

Problematika schimbărilor climatice, Climate Change, indusă de activitatea umană la nivelul planetar, a fost recunoscută pentru prima dată la nivelul ONU în conferința de la Rio din 1992, după care, a urmat formarea Convenției cadru a Națiunilor Unite (UNFCCC) privind schimbările climatice în 1994. În anul 1997 o serie de state au semnat **Protocolul de la Kyoto**, acesta fiind un document internațional care a intrat în vigoare în 2005 (193 de state au ratificat acest protocol); fiecare stat își asumă reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră cu 5,2% față de perioada anului 1990 până în perioada 2008-2012. În 2015 s-a încheiat și Acordul de la Paris –Conferința părților (COP).

Comunitatea Europeană este cea care a dat startul reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră, procesul a fost demarat prin adoptarea Directivei 2003/87/13.10.2003 a Parlamentului și Consiliului European care stabilește un sistem de comercializare a cotelor de emisie de gaze cu efect de seră în cadrul Comunității. Categoriile de activități prevăzute în directivă sunt: activitățile din domeniul energetic, producerea și prelucrarea metalelor feroase, industria minerelelor, alte activități privind instalațiile industriale de producere celuloză, hârtie și carton. Directiva dorește să:

- reducă emisiile de gaze cu efect de seră pentru a evita schimbările climatice periculoase;
- instituie un sistem de comercializare a cotelor de emisie de gaze cu efect de seră pentru a promova reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră într-un mod rentabil și eficient din punct de vedere economic.

Conform Directivei 2003/87/UE, certificatele de emisii de gaze cu efect de seră alocate cu titlu gratuit în 2013 reprezintă 80% din valoarea corespunzătoare emisiilor totale la nivel comunitar din perioada 2005-2007. Ulterior, alocarea cu titlu gratuit a certificatelor de emisii de gaze cu efect de seră ar trebui să scadă cu aceeași cantitate, până la un procent de 30% alocări gratuite în 2020, pentru a se ajunge la eliminarea totală a alocării gratuite în 2027.

Sectorul siderurgic a fost puternic afectat de criză, ca și celelalte sectoare economice din România. Deși semnele anilor 2010-2012 părea să confirme redersarea economică, din a doua jumătate a anului 2013 încep să se "tulbure apele piețelor de metal", iar după a doua jumătate a anului 2015 și începutul lui 2016, piața și economia se manifestă ca și cum ne-am afla în criza. Este clar că nu ne mai putem gândi la cifrele de dinainte de 1989, iar cifra de 4,5 mil.t/an care părea rezonabilă cu doi ani în urmă, acum pare o țintă care are o mare problemă în fața suflului crizei.

Pe plan internațional, dar în mod deosebit pe plan național, industria siderurgică se confruntă cu dificultatea de a se menține competitivă în raport cu alte sectoare economice și, în același timp, cu necesitatea de a continua să satisfacă cerințele tot mai severe a consumatorilor de oțel, concretizate în filozofia economică de piață, sintetizată în: „obiectivul primordial al unei întreprinderi, este acela de a produce și a vinde ceea ce dorește consumatorul, în modul în care acesta dorește, când și unde dorește și la prețul la care acesta este dispus să plătească sau să negocieze”.

În sensul, celor prezentate, industria siderurgică națională actuală (puternic restructurată după 1990, în mod deosebit după 1999), s-a văzut pusă în situația de a obține, la prețuri cât mai competitive, oțeluri cu caracteristici fizico-mecanice și tehnologice din ce în ce mai restrictive, cerute de exigențele utilizatorilor/beneficiarilor, care urmăresc consumuri specifice mici/scăzute de oțel și durabilități mari în exploatarea a produselor obținute și de a veni în întâmpinarea beneficiarilor, oferindu-le produse cu cele mai bune/favorabile raporturi preț/calitate.

De menționat că în urma restructurării și ca urmare a privatizării industriei siderurgice naționale, cele 4 oțelăriile Siemens-Martin (din care 3 cu flux integrat - 2 la Hunedoara și 1 la Reșița - și pe flux neintegrat oțelăria de la Oțelu Roșu). cu turnarea oțelului sub formă de lingouri au fost complet dezafectate. De asemenea a fost complet dezafectată oțelăria electrică nr. 1 de la Hunedoara (elaborare oțeluri aliate, turnate sub formă de lingouri și laminate la Laminorul 800 mm). În prezent oțelăriile rămase în funcțiune (Hunedoara, Reșița, Oțelu Roșu, Târgoviște și Călărași sunt echipate cu cuptoare cu arc electric tip EBT, instalații de procesare în oală (LF și VD) și cu mașini de turnare continuă (MTC). De menționat că la Galați mai funcționează pe flux integrat o oțelărie (din 3) cu convertizoare tip LD și turnare continuă (MTC), cu mențiunea că după restructurare din cele 6 furnale în funcțiune a rămas un singur furnal, iar uzina cocso-chimică este dezafectată (ar putea fi considerat flux integrat parțial).

De menționat că prin privatizare s-a urmărit gruparea în același concern a fluxului elaborare (elaborare-turnare continuă- laminare la faza semifabricat) cu fluxul de laminare de la semifabricat –laminat finit: În acest sens sunt reprezentative TMK (Reșița-Slatina), ArcelorMittal (Hunedoara-Roman), Tenaris (Călărași-Zalău)

Având în vedere cele prezentate, cercetările efectuate pentru realizarea tezei de doctorat au fost orientate în direcția perfecționării procesului de elaborare a oțelului pe următorul flux tehnologic: cuptor electric cu arc tip EBT, instalații de procesare în oală (LF și VD) și instalație de turnare continuă pentru semifabricate (blumuri, țagle, bare), flux tehnologic care asigură un grad redus de poluare (dar care poate fi îmbunătățit). În sensul menționat anterior, pe fluxul de elaborare s-a avut în vedere efectuarea unor cercetări privind

realizarea unei degazări și dezoxidării avansate (reducerea conținutului de gaze hidrogen și azot, respectiv și de oxigen).

Cu ocazia definitivării tezei de doctorat, doresc să adresez mulțumiri tuturor celor care m-au îndrumat, sprijinit și împărtășit cunoștințe profesionale.

În primul rând doresc să îi mulțumesc conducătorului de doctorat, domnului Prof. dr. ing. Hepuț Teodor pentru îndrumarea de înalt nivel științific pe toată perioada elaborării tezei de doctorat.

Mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare doamnelor Conf. dr. ing. Vîlceanu Lucia. Conf. dr. ing. Ardelean Erika și domnului Șef. lucr. ing. Puțan Vasile, pentru informațiile furnizate privind efectuarea experimentărilor, prelucrarea datelor, interpretarea rezultatelor obținute, precum și sugestiilor referitoare la elaborarea unor lucrări științifice publicate fie în reviste de specialitate la nivel național și internațional, fie prezentate la diferite simpozioane organizate pe plan național / internațional.

Aduc mulțumiri și celorlalte cadre didactice din Departamentul de Inginerie și Management; Doamnei Prof. dr. ing. Socalici Virginia, domnilor Conf.dr.ing. Kiș Imre, Conf. dr. ing. Ardelean Marius pentru buna colaborare pe toată durata elaborării tezei de doctorat.

Doresc să mulțumesc tuturor specialiștilor și colaboratorilor din TMK S.A. Reșița, în mod deosebit domnului Manager dr. ing. Ioan Romulus Vasile pentru sprijinul acordat la efectuarea experimentărilor industriale, determinări de laborator, prelucrarea și interpretarea tehnologică a datelor.

Nu în ultimul rând doresc să aduc mulțumiri conducerii Universității Politehnica Timișoara, Facultății de Inginerie din Hunedoara și a Departamentului de Inginerie și Management, pentru asigurarea cadrului propice pe toată durata elaborării tezei și în final mulțumesc familiei mele pentru susținere și încurajare pe tot parcursul acestui proiect.

CAPITOLUL 1

PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTĂRILOR ȘI CERCETĂRILOR

1.1 Descrierea esențializată a obiectului cercetării

Tema tezei de doctorat este de actualitate și se referă la realizarea unor studii și cercetări privind elaborarea oțelurilor în cuptoare cu arc electric tip EBT, procesarea în oala de turnare (procedeele LF și VD) și turnare continuă. Pe fluxul de elaborare s-a cercetat în mod deosebit eliminarea gazelor (hidrogen, azot și oxigen din baia de oțel la procesarea în vid, puritatea în incluziuni nemetalice, scopul final fiind îmbunătățirea calității semifabricatelor turnate continuu și evident creșterea scoaterii de metal.

Procesul de turnare continuă are drept scop turnarea oțelului sub formă de semifabricat de diferite secțiuni: rotund, pătrat, dreptunghiular precum și de formă apropiată de secțiunea finală. Comparativ cu turnarea clasică sub forma de lingouri, în cazul turnării continue, scoaterea de metal bun este de minim 96% când se toarnă o singură șarjă iar la turnarea secvențială, când se toarnă fără întreruperea procesului mai multe șarje, scoaterea depășește de cele mai multe ori 99%, comparativ cu turnarea clasică, unde în medie scoaterea este cuprinsă între 82-85%, această tehnologie este net superioară. Pe lângă acest avantaj de necontestat, trebuie avut în vedere faptul că se reduc substanțial investițiile pentru: hala blooming/slebing, cuptoarele adânci, acestea fiind eliminate din fluxul tehnologic. De asemenea, se reduc consumurile de energie termică nemaifiind necesară încălzirea lingourilor în cuptoarele adânci, energie electrică pentru acționarea laminoarelor degrositoare și evident consumul de manoperă. Principalii parametri care influențează procesul de turnare a oțelului, respectiv calitatea produselor obținute atât la turnarea clasică, cât și la cea continuă, sunt temperatura oțelului și viteza de turnare. Temperatura de turnare poate fi controlată mai ușor în cazul turnării clasice decât la turnarea continuă. Pentru turnarea continuă s-au studiat factorii care influențează temperatura de turnare a oțelului din oala de turnare în distribuitor și din distribuitor în cristalizor. La turnarea continuă fiind obligatorie barbotarea oțelului, s-a studiat și procesul de tratare a oțelului în instalațiile cu aport de căldură (L.F. – oala cuptor) și fără aport de căldură (VD – vidare degazare). În aceste instalații se procesează oțelul evacuat din cuptor, în sensul că se barbotează cu gaz inert, se rafinează cu zguri sintetice și se videază. De asemenea, se finalizează dezoxidarea prin precipitare și se reglează temperatura în vederea încadrării în limitele prevăzute de instrucțiunile tehnologice.

Cercetările efectuate și prezentate în cadrul tezei de doctorat au avut obiectiv îmbunătățirea calității semifabricatelor de oțel turnate continuu,

acționând asupra principalilor parametri ai procesului de vidare (tratament în oală pe fluxul L.F-V.D) și la turnarea continuă.

În figura 1.1 se prezintă modelul cercetării

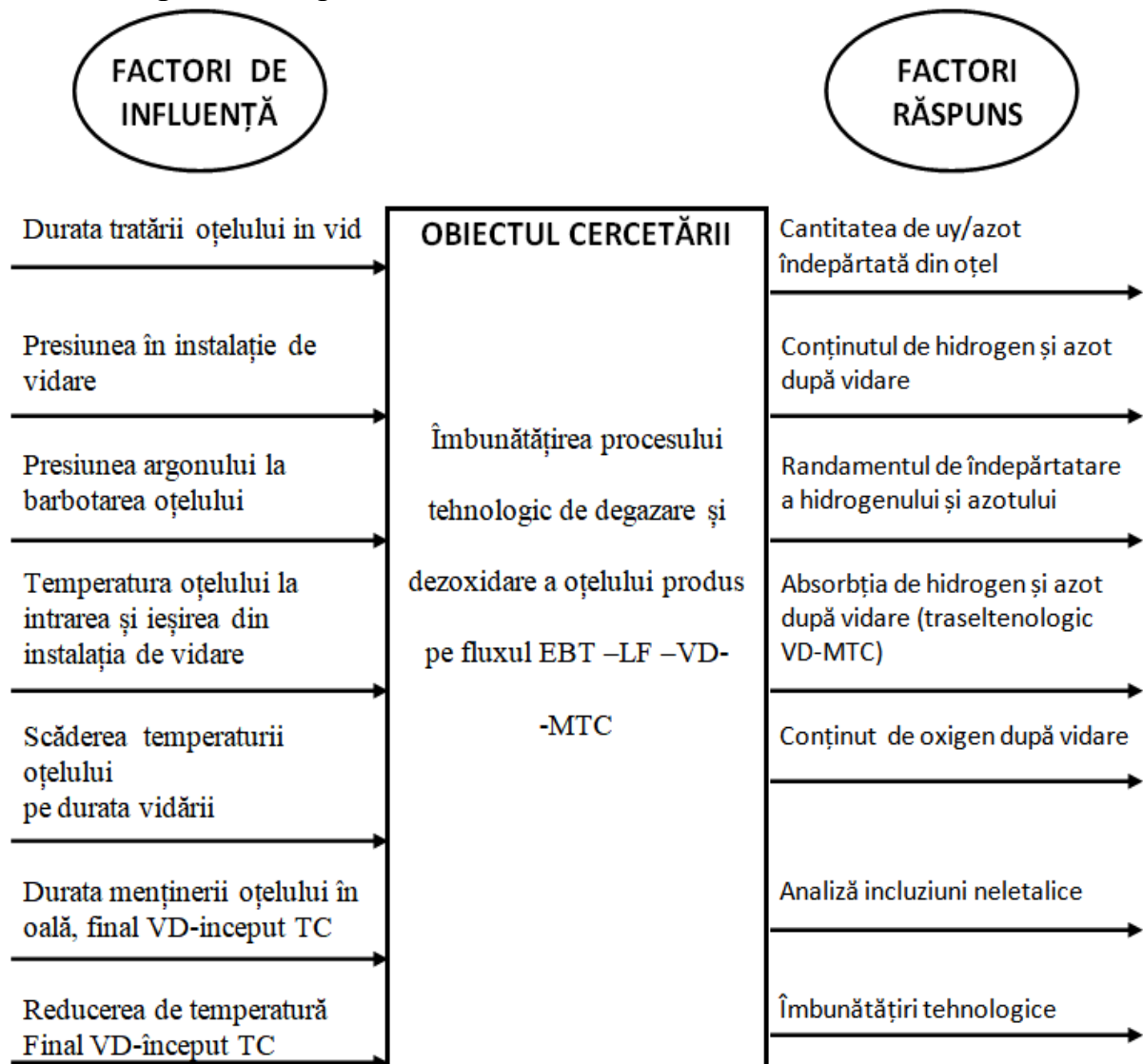


Fig. 1.1. Modelul de intrări - ieșiri al obiectului cercetării

1.2. Prezentarea cadrului experimental la nivel industrial

Experimentările industriale privind îmbunătățirea proceselor de degazare și dezoxidarea a oțelului pentru țevi pe fluxul EBT-LF-VD-MTCs-au desfășurat la TMK S.A. Reșița.

1.2.1. Scurt istoric privind TMK Reșița

TMK- REȘIȚA S.A. (fostul Combinat Siderurgic Reșița) este o companie specializată în producția de țagle destinate fabricării țevelor fără sudură, turnate continuu din oțel carbon, slab aliat și aliat.

Reșița este situată în partea de sud-vest a României într-o pitorească zonă depresionară a Banatului Montan, la vest de munții Semenicului.

Activitate siderurgică a început în 3 iulie 1771 prin darea în exploatare a primelor furnale și forje și reprezintă cea mai veche unitate industrială din România și una din cele mai vechi din Europa. Prin momentul inaugurării lor (3 iulie 1771), uzinele din Reșița devansează fondarea unor fabrici de renume precum Krupp Germania (1811), Vitkovice (1829), Donavitz (1836), MAN (1834), Sulzer (1834) Burmeister Wain (1843), Skoda (1851).

Dacă începutul a fost consacrat sectorului metalurgic/siderurgic, treptat s-a constituit și s-a dezvoltat sectorul construcției de mașini ajungând ca în ultimul sfert al secolului XIX, acest sector să devină preponderent. Cele două sectoare au coexistat vreme îndelungată completându-se reciproc în cadrul aceleiași unități complet integrate.

Cele mai importante evenimente tehnice și organizatorice au fost în :

- 1876 – aplicarea procedurii Siemens – Martin pentru producerea oțelului;
- 1920 – înființarea societății anonime “Uzinele de Fier și Domeniile Reșița – UDR”;
- 1936 – înființarea grupului Reșița – Malaxa;
- 1948 – construirea barajului Gozna – Văliug;
- 1967 – modernizarea Laminoarelor de profile mijlocii și ușoare;
- 1978 – punerea în funcțiune a Laminorului degrositor și de semifabricate;
- 1999 – punerea în funcțiune a Oțelăriei electrice – cuptor de 100 t.

Din septembrie 2000 Combinatului Siderurgic Reșița (CSR) este preluat de firma americană Noble Ventures. O privatizare care a fost un eșec, perioada până în 2003 în Reșița au avut loc un val de convulsii sociale, culminând în anul 2002 cu oprirea totală a activității. Din 2004 uzina este preluată de Grupul TMK din Rusia. Din anul 2006 uzina își va schimba denumirea din C.S. Reșița în TMK Reșița.

Grupul TMK au adus un suflu nou în uzină dezvoltând un plan de investiții atât în sectorul ecologic cât și tehnologic. Este pusă în funcție instalația de desprăfuire de la oțelăria electrică în 25 octombrie 2005, iar în 21/22 februarie 2007 este pusă în funcție mașina de turnare continuă, "MTC". Instalația de turnare continuă, cu o capacitate de 450000 t/an, era o investiție cu o valoare de 24,8 mil \$. După primele teste de turnare ale bloom-ului 270x340 mm, utilizat în primă fază pentru relaminarea țaglei țevi pentru TMK-Artrom, acesta a fost, ulterior, oferit clienților de pe piața europeană. După pornirea MTC, a existat o perioadă de tranziție în care s-a turnat bloom pentru relaminare țagă țevă și lingou. Lingoul și bloomul de relaminare erau încălziți și linați în țagă țevă și profile rotunde în LDS. Apoi, odată cu omologarea produsului rotund TC Ø177,250, 280 mm, s-a renunțat la relaminare și la turnarea în lingou.

Ulterior a fost asimilată și dimensiunea Ø 220 și Ø 350 mm la turnarea continuă. În anul 2008 este pusă în funcție instalația de tratamente în vid. În perioada 2004-2019 au fost efectuate investiții în valoare de 70 milioane \$. În prezent TMK Reșița este o uzină producătoare de oțel cu o capacitate de 450.000 t/an, care produce oțeluri carbon de calitate, slab aliate, aliate și

resulfurate care sunt tratate in vid și turnate continuu în țagă rotundă.

Grupul TMK este o companie înregistrată în Federația Rusă și listată la bursele de la Londra și Moscova. Grupul TMK deține mai multe uzine metalurgice (două în România) și exportă în întreaga lume produse prin rețele proprii de distribuție.

Cele două uzine metalurgice deținute de TMK în România, sunt:

TMK-ARTROM S.A. Slatina – producător de țevi din oțel, fără sudură, laminate la cald, laminate și trase la rece;

TMK-REȘIȚA S.A. - producător de țagle destinate producerii țevilor, în special pentru TMK ARTROM.

Ambele uzine funcționează ca un subgrup românesc al TMK, subgrup condus de o echipă română de management.

1.2.2. Gama de fabricație

La TMK S.A. Reșița se fabrică în prezent următoarele produse [5]:

- țagle rotunde Ø 177 mm, Ø 220 mm, Ø 280 mm și Ø 350 mm, turnate continuu pentru țevi din oțel carbon, slab aliat și aliat, destinate laminării țevilor mecanice, a țevilor pentru schimbătoare de căldură, a țevilor petroliere / de gaz, a țevilor de presiune și a țevilor pentru construcții;

- semifabricate rotunde Ø 177 mm, Ø 220 mm, Ø 280 mm și Ø 350 mm, turnate continuu din oțel carbon, slab aliat și aliat, destinate prelucrării plastice la cald prin forjare/matrițare (flanșe, inele, axe, pinioane);

1.2.3. Facilități de producție

TMK S.A. Reșița dispune de agregate, instalații și echipamente moderne pentru elaborarea produselor de calitate superioară și anume:

- cuptor electric cu arc tip EBT (Excentric Bottom Tapping) de 100 t, pus în funcțiune în anul 1999, și modernizat complet în septembrie 2009;
- cuptor oală (LF-Ladle Furnace) de 100 t, pus în funcțiune în anul 1998;
- instalație de vidare a oțelului lichid tip VD (Vidare- Degazare) de capacitate 100 t, pusă în funcțiune în anul 2008;
- mașină de Turnare Continuă (MTC) cu 3 fire curbe, pusă în funcțiune în anul 2007.

Mentenanța echipamentelor de producție este realizată de către propria secție de întreținere și reparații.

1.2.4. Tehnologia de fabricare (sinteză)

Materiile prime și materialele sunt aprovizionate de pe piața liberă, controlate de propriul Serviciu de Control a Calității și depozitate în mod distinct. Fierul vechi (principală materie primă) este controlat privind radioactivitatea și depozitat în mod corespunzător pe categorii de fier vechi (după grad de aliere, greutate etc).

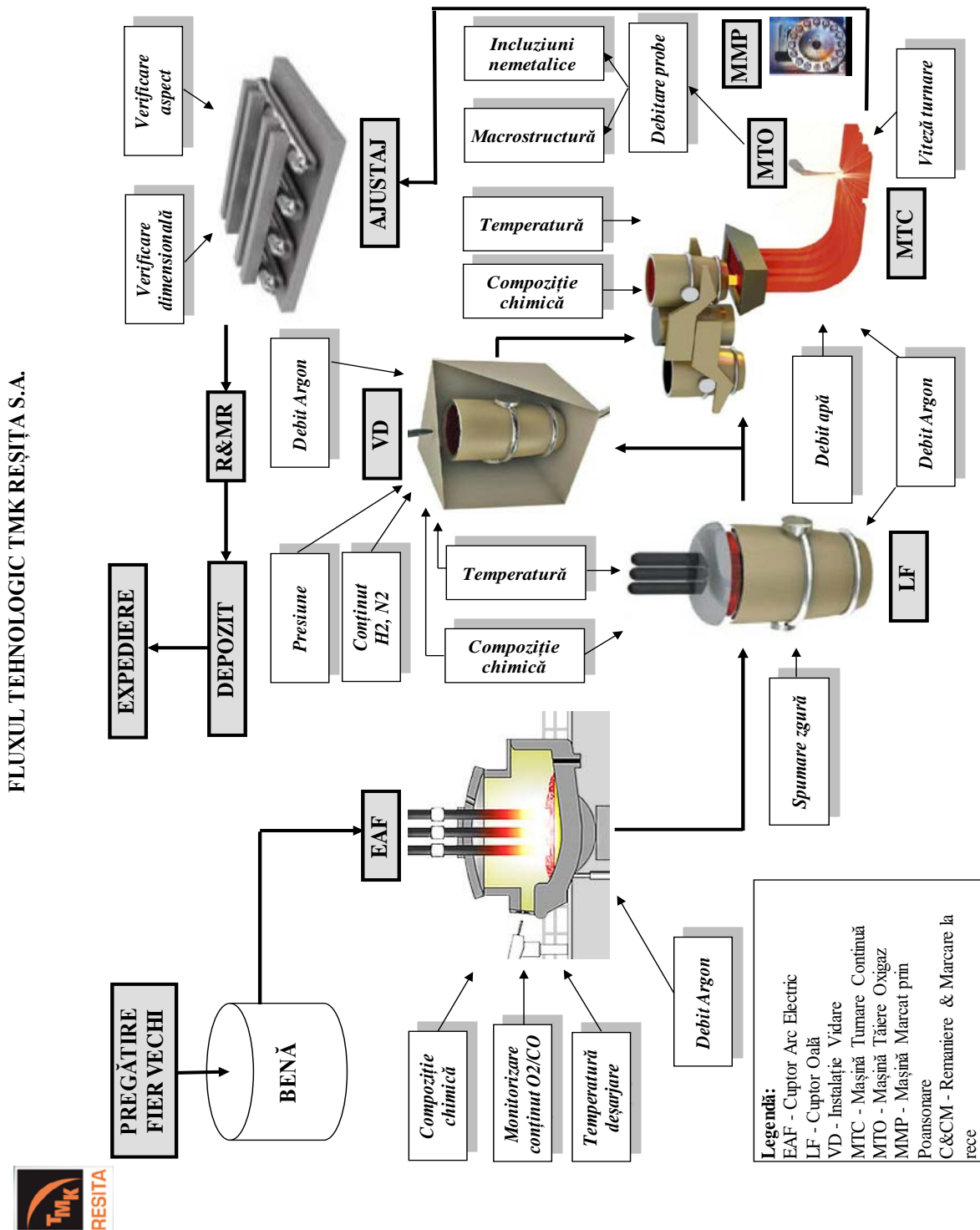


Fig. 1.2. Fluxul tehnologic TMK Reșița

Oțelul este produs în cuptor de topire cu arc electric (tip EBT), cu tratament primar în oală (LF) și tratament secundar în vid (VD), turnat continuu (MTC) în format rotund, cuptorul având rolul exclusiv de agregat de topire a încărcăturii metalice (100% solidă).

După deșarjarea oțelului din cuptorul cu arc electric, urmează tratarea oțelului lichid în cuptorul oală (LF), destinat în special alierii, desulfurării,

dezoxidării și corecțiilor de temperatură, iar pentru omogenizarea termică, chimică, decantarea incluziunilor nemetalice și degazare are loc barbotarea băii cu gaze inerte (argon).

La cererea beneficiarului, oțelul lichid este degazat prin vidare după procedeul VD, prin realizarea unei depresiuni în camera de vid (recipientul).

După terminarea tratamentului final al oțelului la LF sau și VD (vid – degazare), oțelul lichid este turnat continuu la mașina de turnare continuă MTC, Parametrii procesului tehnologic (temperatura oțelului, viteza de turnare, debite și presiune apă răcire, etc.) se înregistrează de asemenea în Fișa șarjei, aceștia rămânând înregistrați și în PLC –ul mașinii de turnare.

Analiza chimică pe oțel lichid este efectuată cu un spectrometru verificat metrologic (periodic) și totodată zilnic utilizând etaloane internaționale.

După turnarea propriu-zisă, semifabricatele sunt debitate (cu flacăra oxigaz) la lungimea de livrare, marcate la cald prin poansonare cu numărul șarjei, numărul firului și numărul de ordine al barei în fir, după care sunt încărcate pe vagoane în vederea transportării la ajustajul MTC. Pe parcursul fluxului de fabricație parametrii de proces sunt înregistrați în fișe de urmărire care însoțesc oțelul pe întregul flux de fabricație. Înainte de încărcarea și expedierea vagoanelor, are loc prelevarea probelor pentru încercări metalografice. Controlul de aspect și dimensional este efectuat vizual în proporție de 100% conform standardului de firmă SF-TMK-03.

După control, ajustarea și etichetarea țăgurilor, datele se înregistrează în Fișa de Ajustaj pentru fiecare țagă, precum și în Sistemul Informatic. Produsele neconforme sunt izolate prin depozitare separată, iar dacă este necesar, barele pot fi îndreptate sau cojite.

Macrostructura este verificată în conformitate cu norma internă NI-MTC-01 pentru produse turnate continuu, criteriile de acceptare fiind indicate în standardul de firmă SF-TMK-03.

Certificatul de calitate este întocmit de către Departamentul Calitate în baza buletinelor de încercări (compoziție chimică, analiză metalografică, verificare radioactivitate, etc.) și este expediat la beneficiar o dată cu semifabricatele.

În final, barele se încarcă în mijloacele de transport, se cântăresc și se expediază sau se depozitează în depozit.

În fig 1.2 se prezintă fluxul tehnologic de fabricație

1.2.5. Facilități și echipamente utilizate pentru verificări și controlul calității produselor

Uzina TMK S.A. dispune de laborator propriu echipat pentru verificări și controlul calității produselor, conform cu procedurile interne :

- determinarea compoziției chimice;
- verificarea materialului, dimensional și calitativ;
- examinări metalografice;

- controlul radioactivității.
- aparate pentru încercarea materialelor;
- aparatură pentru analize metalografice;
- aparate pentru determinarea analizelor chimice;
- echipamente pentru controlul dimensional.

1.3. Strategia cercetării

Strategia de cercetare aplicată în vederea elaborării tezei de doctorat a constat în parcurgerea următoarelor etape:

- studiu bibliografic din literatura de specialitate cu privire la:
 - elaborarea oțelului în cuptoare cu arc electric tip EBT, procesate în oala de turnare și turnate continuu;
 - reducerea conținutului de gaze (H, N și O) din baia de oțel;
 - tehnici de analiză a incluziunilor nemetalice din oțel
- cercetări și experimentări industriale privind stabilirea unor corelații între parametrii procesării oțelului în vid și turnării continue asupra:
 - conținutului final de hidrogen din oțelul vidat și randamentul de eliminare a hidrogenului, absorbția de hidrogen pe traseul tehnologic VD→MTC;
 - conținutului final de azot din oțelul vidat și randamentul de eliminare a azotului, cantitatea de azot eliminată, absorbția de azot pe traseul tehnologic VD→MTC;
 - conținutului final de oxigen din oțelul vidat și analiza incluziunilor nemetalice;
 - verificarea industrială a rezultatelor cercetării efectuate;
 - concluzii finale, contribuții originale, diseminarea rezultatelor cercetărilor

Teza de doctorat este structurată pe 9 capitole, cuprinse în 3 părți, astfel:

Prefață

Capitolul 1. Plan de desfășurare a experimentărilor și cercetărilor;

Partea I-a

Studiu din literatura de specialitate privind elaborarea în cuptoare cu arc electric și turnarea continuă a oțelului;

Capitolul 2.Elaborarea în cuptoare cu arc electric tip EBT, procesarea în oală și turnarea continuă a oțelului;

Capitolul 3.Studiu din literatura de specialitate privind reducerea gazelor din baia de oțel;

Capitolul 4.Studiu privind reducerea oxigenului din baia de oțel

Partea a II-a

Cercetări și experimentări privind degazarea oțelurilor procesate în instalații de vidare de tip VD.

Capitolul 5. Cercetări și experimentări privind reducerea conținutului de hidrogen la procesarea oțelului în instalații de vidare de tip VD. Concluzii.

Capitolul 6. Cercetări și experimentări privind reducerea conținutului de azot la procesarea oțelului în instalații de vidare de tip VD. Concluzii.

Capitolul 7. Cercetări și experimentări privind dezoxidarea oțelului în instalații de vidare tip VD. Concluzii.

Capitolul 8. Verificarea industrială a rezultatelor obținute

Partea a III-a

Concluzii finale. Contribuții originale.

Capitolul 9. Concluzii finale. Contribuții originale. Direcții de continuare a cercetărilor. Diseminarea rezultatelor.

Anexe.

PARTEA I-a

STUDIU DIN LITERATURA DE SPECIALITATE PRIVIND ELABORAREA ÎN CUPTOARE CU ARC ELECTRIC ȘI TURNAREA CONTINUĂ A OȚELULUI

CAPITOLUL 2

ELABORAREA ÎN CUPTOARE CU ARC ELECTRIC TIP EBT, PROCESAREA ÎN OALĂ ȘI TURNAREA CONTINUĂ A OȚELULUI

2.1. Sintează privind procesul fluxul tehnologic de elaborarea a oțelului

2.1.1. Considerații tehnologice

Descoperirea fierului și începuturile utilizării lui de către om marchează o etapă importantă în evoluția societății umane, și anume epoca fierului (începând cu anul 1220 î.e.n). Fierul face parte din cele 7 metale ale lumii antice – aur, cupru, fier, plumb, staniu, argint și mercur - primele 6 fiind menționate și în Biblie, mai precis în Vechiul Testament [6, 7, 8, 9].

Oțelul (aliaj al fierului cu carbonul) este unul dintre cele mai importante materiale ale epocii noastre, din oțel fiind produse partea activă a fondurilor fixe ale economiei.

În concordanță cu importanța oțelului, producția mondială a acestuia a crescut puternic ajungând la: 1,07 mild.tone în 2008; 1.615 mil.tone în 2015, 1.629 mil. tone în 2016 și 1.808mld tone în 2018 [10, 11].

În anul 2017 China a avut o pondere de 50,3% din producția mondială de oțel, iar în 2018 aceasta a crescut la 51,3%/. Primele 10 țări producătoare de oțel (în ordinea cantității produse – anul 2018-) sunt: China, India, Japonia, S.U.A., Coreea de Sud, Rusia, Germania, Turcia, Brazilia și Iran [10, 11].

Pe plan mondial structura producției de oțel în anul 2018 a fost următoarea: China 51,3%; India 5,9%, Japonia 5,8%; USA 4,8%; Coreea de Sud 4,0%; Rusia 4,0%; Turcia 2,1%; Brazilia 1,9%; U.E. (28) 9,3% și RoW (total alte țări) 11%. De menționat că 4 țări din Asia (China, India, Japonia și Coreea de Sud) au împreună o pondere de 67% din totalul producției mondiale de oțel [10, 11].

Consumul specific de oțel (kg/locuitor) reprezintă unul din indicatorii principali ai progresului tehnic și prin aceasta a potențialului economic (deci a gradului de civilizație). Valoarea acestui indicator care se găsește în directă corelație cu venitul național, diferă foarte mult de la o țară la alta (fiind neglijabil în țările slab dezvoltate 5-10 kg-locuitor) în comparație cu țările dezvoltate (650-700kg/locuitor) [10, 11, 12, 13].

În epoca industrializării societății mondiale, tehnologiile de fabricație a oțelurilor, considerat ca cel mai important material metalic în construcții de mașini, utilaje, echipamente industriale, construcții metalice și infrastructură, au avut drept suport tehnic, în principal următoarele tipuri de agregate termice: convertizoare cu aer (Bessemer și Thomas), cuptoarele Siemens – Martin, cuptoare cu arc electric, cuptoare electrice cu inducție și convertizoare cu oxigen. După intrarea în funcțiune a convertizoarelor cu oxigen (LD, Lincz-Donawitz) în 1952, s-a redus

simțitor ponderea oțelului elaborat în cuptoarele Siemens Martin, astfel încât în prezent aceasta este sub 0,5% [9, 10]. Cuptoarele cu căptușelă bazică sunt cele care au permis dezvoltarea siderurgiei, deoarece comparativ cu cele cu căpușeală acidă, este posibilă defosforarea și desulfurarea băii metalice (restricții mai puțin severe privitor la încărcătura metalică) [8, 9, 10, 11, 13, 14, 15].

În aceeași perioadă s-a introdus în practică turnarea continuă, astfel încât în prezent ponderea acesteia depășește 96% din total de oțel turnat (continuu, sub presiune și lingou) [10]. În prezent se toarnă oțel sub formă de lingou destinat prelucrării plastice prin forjare, precum și o gamă redusă de oțeluri aliate la care apar probleme calitative deosebite la turnarea continuă (ex. oțelurile pentru scule).

În ceea ce privește industria siderurgică din România, ca urmare a restructurării economice care s-a produs după 1989, toate cele 4 oțelării Siemens - Martin au fost dezafectate, ultima O.S.M.II Hunedoara în iunie 1999. În aceste noi condiții au rămas ca agregate de bază pentru elaborarea oțelului convertizoarele cu oxigen și cuptoarele cu arc electric [15].

Din cele 4 oțelării Siemens - Martin, 3 au funcționat după varianta fontă-lichidă fier vechi/flux integrat (OSM Reșița, OSM I și OSM II Hunedoara, la ultima cu folosire intensă de oxigen suflat prin lance în baia metalică, precum și la nivelul arzătoarelor) și 1 după varianta fier vechi-fontă solidă/flux neintegrat (OSM Oțelu Roșu). Ponderea oțelului produs în OSM era de cca 25% din totalul producției de oțel din România (3,3 mil tone). Scoterea din funcțiune a oțelăriilor Siemens-Martin în perioada 1990-1999 a determinat o reducere a producției de oțel cu 3,3 mil tone, care nu a fost acoperită de creșterea producției în alte agregate (cuptoare cu arc electric, dar în mod deosebit în convertizoarele cu oxigen).

Ca urmare a închiderii fluxurilor tehnologice cu oțelării Siemens-Martin (ultima OSM II la 12 iunie 1999, la 115 ani de la înființarea cunoscutului Combinat Siderurgic Hunedoara -12 iunie 1884) în mod special cele prevăzute cu varianta fontă lichide-fier vechi, au apărut o serie de probleme la asimilarea unor mărci pe fluxul oțelării electrice cauzate de conținutul de elemente însoțitoare. La varianta de elaborare fontă lichidă - fier vechi (ponderea fontei lichide 50-65%) ca urmare a conținutului scăzut de elemente nocive (Cu, Sn, As, Pb, Zn) nu au apărut probleme de încadrare în normele impuse de STANDARD, din punct de vedere al compoziției chimice și caracteristicilor mecanice, în schimb apar la unele mărci de oțel elaborate în cuptoarele cu arc electric, generate de structura încărcăturii și a modului/tehnologiei de pregătire a încărcăturii [15, 16, 17, 18, 19, 21].

În concluzie nu toate mărcile de oțel elaborate la oțelăriile Siemens Martin au fost asimilate la oțelăriile electrice (cauza principală calitatea fierului vechi).

Ca urmare a privatizării industriei siderurgice românești, atât în oțelăriile electrice care au rămas funcționale după restructurarea tehnico-economică, cât și în cele nou construite (Reșița), au fost instalate cuptoare cu arc electric moderne tip EBT (Eccentric Bottom Tapping), echipate cu transformatoare de mare și foarte mare putere. De asemenea aceste oțelării au fost echipate cu instalații de turnare continuă și ca urmare acestea pot fi considerate oțelării moderne [15, 17, 18, 19].

Tot ca urmare a privatizării industriei metalurgice la ArcelorMittal Galați a

rămas funcțională numai o oțelărie din cele trei, ba mai mult, în fluxul tehnologic a fost închisă/dezafectată definitiv cocseria, cocsul metalurgic fiind importat.

2.1.2. Elaborarea oțelului în cuptorul cu arc electric tip EBT

2.1.2.1. Considerații constructive și funcționale la cuptorul cu arc electric tip EBT

Cuptorul cu arc electric, ca urmare a perfecționărilor aduse atât din punct de vedere constructiv, cât și tehnologic, precum și cuplarea acestuia în fluxul tehnologic de elaborare cu instalații de tratament în oală, a permis pe de o parte, dezvoltarea “Metalurgiei în Oală”, iar pe de altă parte extinderea procedurii de turnare continuă și la oțelăriile electrice.

Echiparea oțelăriilor electrice (atât a celor noi construite, cât și a celor modernizate) cu cuptoare cu arc electric tip EBT și instalații de procesare în oală (fără sau cu aport de căldură) LF, RH, VD, VAD, VOD etc., asigură elaborarea atât a oțelurilor carbon obișnuite sau oțeluri slab aliate, cât și a celor înalt aliate, acestea construindu-se în limite foarte largi de capacitate [15, 18, 26, 29, 30, 33].

Cuptorul EBT este prevăzut cu o instalație de desprăfuire a gazelor arse cu dog house, concentrația de pulberi realizată la emisie fiind scăzută, de regulă sub 20 mg/m^3 . Agregat tipic pentru topire, cuptorul cu arc electric este alimentat cu curent electric trifazat prin trei electrozi verticali, confecționați din grafit. Arcul electric, se formează între cei trei electrozi prin încărcătura metalică [15, 16, 17].

În continuare se prezintă cele mai semnificative progrese și tendințe în elaborarea oțelurilor de calitate în cuptoarele cu arc electric [15, 17, 26, 27].

a) Creșterea continuă a puterii instalate, reprezintă în primul rând un progres constructiv al cuptorului cu arc electric, implicațiile funcționale și tehnologice fiind constant benefice [15, 17, 26, 27].

În literatura de specialitate [15, 17, 26, 27], sunt consacrate trei domenii pentru domeniile de putere specifică instalată (kW/t) a transformatoarelor cuptoarelor cu arc electric.

- High Power (HP), pentru $P = 200\text{-}450 \text{ kW/t}$;
- Ultra High Power(UHP), pentru $P = 450\text{-}800 \text{ kW/t}$;
- Supra High Power(SHP), pentru $P = 800\text{-}1200 \text{ kW/t}$;

Un dezavantaj al creșterii puterii specifice instalate a transformatoarelor cuptoarelor cu arc electric este reprezentat de creșterea nivelului de zgomot în funcționarea cuptorului, în mod deosebit la topire. Acest dezavantaj a fost înlăturat prin realizarea unei incinte din panouri izolatoare fonic în jurul cuptorului, nivelul zgomotului lângă cuptor scăzând cu cca. 30% (de la 120 la 85 dB) [15,17].

b) Introducerea pereților și a bolților răcite cu apă face posibilă utilizarea arcelor electrice mai lungi și cu putere mai mare (tensiune înaltă, curent mediu) în scopul utilizării superioare a radiațiilor arcului electric pentru topirea încărcăturii și mai ales pentru un consum specific (kg/t) mai mic de electrozi [15, 17, 26, 27, 28].

c) Metoda de lucru cu zgură spumantă îmbunătățește randamentul transferului de căldură prin reducerea pierderilor de energie prin radiație (se lucrează cu arc lung imersat în zgură/arc acoperit) [15, 17, 26, 27, 28].

d) Introducerea arzătoarelor oxi-combustibil și utilizarea intensă a

oxigenului asigură creșterea vitezei de topire a fierului vechi și înlocuirea unei părți din energia electrică cu energie termică [15, 17, 26, 27, 28].

f) Evacuarea excentrică prin vatra (fundul) cuptorului asigură o serie de avantaje și anume [15, 17, 26, 27]:

- oțeluri mai pure și control mai bun a calității;
- creșterea scoaterii de oțel;
- unghi de basculare mai mic (12 grade);
- zonă mai mare de acoperire cu panouri răcite cu apă (până la 90%);
- întreținere mai ușoară a orificiului de evacuare;
- costuri mai mici pentru materialele refractare;
- consum specific mai mic de energie și electrozi;
- reducerea duratei evacurii, jet mai scurt (absorbție de gaze mai redusă) și creșterea numărului de șarje/zi (creșterea productivității).

g) Utilizarea materialelor prereduse (burete de fier) în cuptoarele cu arc electric prezintă în principal următoarele avantaje [15, 17, 26, 27, 21, 47]:

- economie de energie, dependentă de calitatea buretelui, respectiv de gradul de metalizare, indicele de bazicitate și granulație;
- obținerea de oțeluri de calitate superioară (conținut mai redus de azot și hidrogen, dar în mod deosebit elemente reziduale: Zn, Pb, Cu, Sn etc.).

Folosirea materialelor prereduse poate fi justificată numai dacă:

- acestea pot fi produse cu costuri destul de scăzute comparativ cu costul deșeurilor;

- au următoarele caracteristici referitor la compoziția chimică : $Fe_{met}=77-91\%$;
 $Fe_{tot}=85-95\%$; grad de metalizare 91-96%; $\sum Fe_xO_y =5-10\%$; $\sum (Cu+Sn+Cr+Ni+Mo)<0,5\%$; $P=0,03-0.10\%$ și $S=0,003-0,03\%$;

- din considerații legate de calitatea oțelului este necesar în încărcătură un component feros de intrare cu conținut redus de elemente reziduale (care nu pot fi satisfăcute de încărcături formate din 100% deșeuri);

- prețul de cost este atractiv.

Se poate considera că în etapa actuală din considerente de ordin ecologic, ar putea fi utilizat (cel puțin experimenta) în încărcătura cuptorului cu arc electric, burete de fier cu conținut mai redus de fier (30-50%Fe) în proporție de până la 5%, din practică fiind bine cunoscut faptul că de multe ori o parte din scoarțe (provenite din zgură) au conținut de fier în aceste limite sau chiar mai mic. Un calcul economic care să aibă în vedere creșterea cheltuielilor de producție și compararea acestora cu penalizările pentru poluarea mediului, vor demonstra sustenabilitatea acestei propuneri (mai devereme sau mai târziu) [47].

În prezent, pe plan mondial există câteva mari oțelării echipate cu cuptoare cu arc electric, care utilizează în proporție mare materiale prereduse pentru a îmbunătăți calitatea oțelului, și anume: Sidbec Dosco în Canada, Sidor în Venezuela, Asindar în Argentina, Iscor în Africa de Sud etc. [15, 17, 21, 26, 47].

f) Computerizarea procesului de elaborare presupune utilizarea simultană atât a unui model termic cât și a unui model metalurgic pentru controlul și

conducerea procesului cu ajutorul calculatorului [17, 26, 27].

Transformarea cuptorului electric în “mașină de topire” și cuplarea acestuia cu instalații de tratament în oală, a permis pe de o parte, dezvoltarea “Metalurgiei în Oală”, iar pe de altă parte a impus testarea și implementarea de soluții pentru evacuarea din cuptor a oțelului fără zgură, condiție esențială la tratamentul în oală [17, 26, 27].

Evacuarea fără zgură și într-un timp cât mai scurt au fost principalele deziderate care au condus la ideea evacuării oțelului din cuptor pe la partea inferioară a vetrei [17, 26, 27].

Acest sistem satisface principalele necesități tehnologice, permițând întreruperea controlată a procesului de evacuare prin înclinarea cuptorului [17, 26].

Orificiul de evacuare, care în ideea proiectanților de la Witten era amplasat exact în centrul vetrei, a fost deplasat mai aproape de peretele cuptorului, caracterul excentric fiind conferit de abaterea de 600 – 800 mm față de centrul vetrei (figura 2.1) [15, 17, 26, 27].

2.1.2.2. Procesul tehnologic de elaborare a oțelului în cuptorul cu arc electric tip EBT

Din punct de vedere a etapelor de elaborare (figura 2.2), acestea sunt similare cu cele de la un cuptor electric clasic, existând însă mici diferențe, avându-se în vedere modernizările suferite de cuptorul electric, atât din punct de vedere constructiv, cât și în mod deosebit al tehnologiei de elaborare. Astfel, în cele ce urmează, sunt punctate aceste diferențe și modul în care acestea influențează productivitatea și calitatea oțelului elaborat.

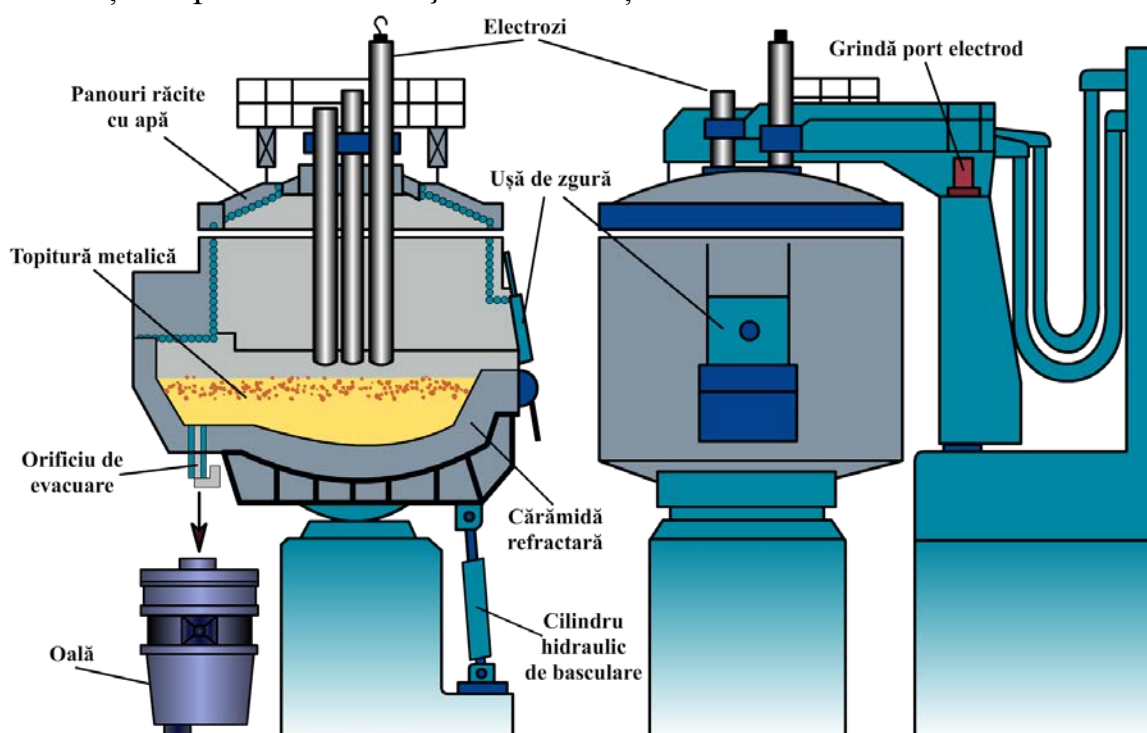


Fig. 2.1. Cuptorul electric cu arc de tip EBT [15].

În tabelul 2.1. se prezintă principalele caracteristici ale unui cuptor cu arc electric modern tip EBT, iar în tabelul 2.2 se evidențiază parametrii medii de

exploatare ai cuptorului [15].

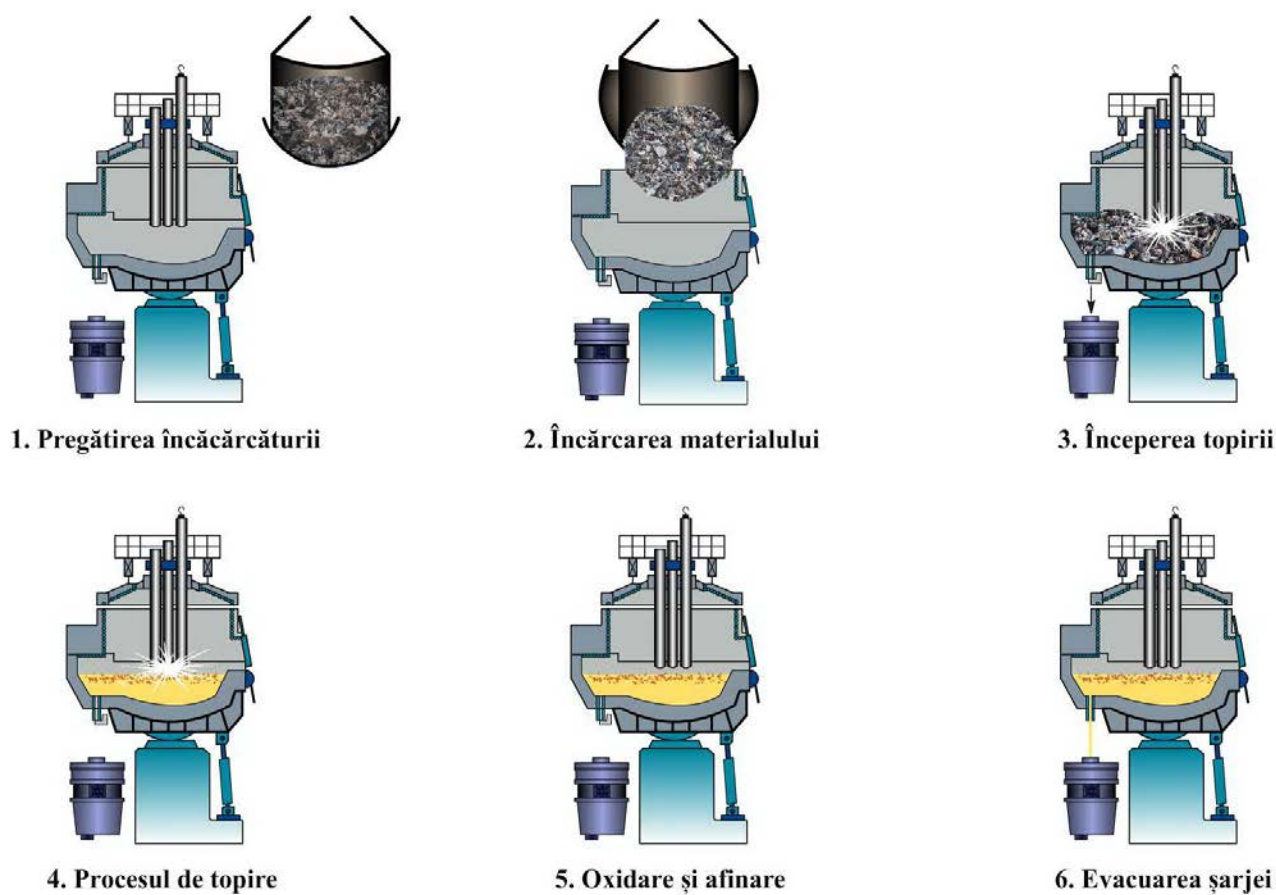


Fig. 2.2. Fazele de elaborare în cuptorul electric E.B.T.

Tabelul 2.1. Caracteristicile tehnice ale cuptorului electric tip EBT [15].

Nr.crt	Caracteristica	Valoare
1	Capacitatea nominală	100 tone
2	Puterea transformatorului	75 MVA
3	Tensiune în primar	35 kV
4	Tensiune în secundar	70-650 V
5	Diametru electrozi	610 mm
6	Diametru cuvă	6200 mm
7	Arzătoare oxigen	5
8	Lănci răcite cu apă	2 (oxigen + praf de cărbune)
9	Rest oțel lichid	în medie 15t (denumire uzinală călcâi)

Tabelul 2.2 Parametri medii de exploatare ai cuptorului electric tip EBT [15].

Nr.crt	Parametru	Valoare parametru
1	Încărcare cuptor	3 bene
2	Consum specific de energire energie	440 kWh/t
3	Consum specific electrozi	2,55 kg/t
4	Consum secific oxigen	11,75 Nm ³ /t
5	Tap-to-tap	112 min
6	Timp sub sarcină	72%
7	Temperatură evacuare	1635 °C

În tabelul 2.3 sunt prezentate date privind durata operațiilor tehnologice.

Tabelul 2.3 Durate de elaborare la cuptorul EBT [10].

Etapă elaborare	Durată, [min]
Ajustare	6 - 8
Încărcare	6- 10
Topire	30-40
Afinare	9-15
Evacuare+dezoxidare	4-5
TOTAL	55-78

a) **Încărcătura și încărcarea** cuptorului electric cu arc cu fier vechi se face în mod mecanizat cu ajutorul benelor (bena I-60t., bena II-30t., bena-III 30t.), de regulă în trei reprize (fier vechi avansat pregătit), de dorit nu mai mult de patru. Materialele auxiliare se adaugă cu un sistem de benzi transportoare printr-un orificiu practicat în boltă. Pe plan mondial există însă cuptoare la care încărcarea se face continuu, pe la partea superioară, nefiind necesare bene de încărcare [15, 21].

La încărcarea cuptorului se are în vedere în primul rând gradul de pregătire al încărcăturii (balotarea fierului vechi ușor, debitarea la dimensiuni șarjabile a celui mijlociu și “spargerea” fierului vechi greu), aceasta reprezentând o prioritate în secțiunile de pregătire materii prime, precum și sortarea după gradul de aliere (pe cât posibil, mai ușor în cazul colectării deșeurilor direct de pe fluxul tehnologic și mai dificil în cazul colectării din diverse surse) [13, 15, 16, 19, 20, 36, 47].

Astfel, încărcătura cuptorului EBT trebuie să corespundă atât din punct de vedere al compoziției chimice, cât și condițiilor topirii (ordinea de încărcare, greutatea specifică, grad de pregătire, structură etc), pentru creșterea în timp cât mai scurt a volumului băii de oțel lichid (a “călcâiului” de oțel lichid reținut în cuptor, de la șarja precedentă) cu scopul de a proteja vatra, pereții și bolta împotriva radiației căldurii de la arcul electric [15, 19, 27, 47].

De asemenea, trebuie ținut seama de aceleași reguli care se aplică și la un cuptor clasic privind ordinea în care se face încărcarea materialelor metalice în benă și durata încărcării, având în vedere că aceasta se realizează cu bolta ridicată, ceea ce înseamnă o pierdere de energie de 10 - 20kWh la fiecare ridicare a bolții.

Încărcătura cuptorului EBT este format de regulă din 100% încărcătură metalică (între 80-95% fier vechi propriu-zis și restul fontă solidă), pentru a asigura un nivel optim de carbon în încărcătură, <C>, în practica oțelăriilor se folosește cocs mărunț sau antracit [13, 26, 47].

Pentru a asigura condiții corespunzătoare obținerii unei calități superioare este recomandabil ca la elaborarea oțelurilor să se utilizeze încărcături metalice de calitate bună, neruginite și cu conținut mic de fosfor și sulf (de dorit sub 0,04%), pe cât posibil fără metale neferoase (Cu, Sn, Zn, Pb etc), beton, resturi refractare, pământ etc. Încărcătura metalică trebuie pregătită astfel încât să se asigure un timp de încărcare cât mai redus [13, 15, 26, 27, 47].

Proporțiile de materiale din întreaga componentă a încărcăturii se stabilesc

pe baza ecuațiilor de bilanț a elementelor oxigen și carbon, având în vedere și sortimentele de fier vechi disponibile [13, 15, 26, 27, 47].

Procesul de elaborare este controlat cu ajutorul a 5 calculatoare de proces amplasate în cabina de comanda a cuptorului [15, 27].

b) Încălzirea încărcăturii se suprapune parțial cu perioada de încărcare.

La pregătirea și alcătuirea încărcăturii trebuie să se țină seama de scopul propus (calitatea oțelului elaborat) și în același timp, în funcție de conjunctura economică, de disponibilitățile de moment privind materiile prime și materiale de adaos.

Pregătirea încărcăturii vizează în principal o mai bună utilizare a agregatului de elaborare în sensul micșorării duratei de topire, a pierderilor chimice și termice, precum și a creșterii durabilității căptușelii refractare. O pregătire avansată a fierului vechi conduce la reducerea numărului de bene de încărcare (de regulă 3 și de dorit nu mai mult de 4) [13, 15, 19, 22, 27, 47].

O atenție deosebită trebuie acordată materialelor metalice neferoase, deoarece o parte ajunse în baia de oțel (Ni, Mo, Cu, Co, Sn, Zn, Sb, Pb) nu mai pot fi îndepărtate și pot contribui la declasarea șarjei, pe de o parte, iar pe de altă parte se face o risipă de elemente de aliere deficitare pentru siderurgie și foarte scumpe (Ni, Mo, Co). În cazul metalelor neferoase Cu și Pb acestea pot fi relativ ușor separate din deșeurile feroase (sortare după culoare și greutate) și expediate pe fluxurile tehnologice specifice metalurgiei neferoase. De dorit ar fi ca și deșeurile feroase zincate și cele cositorite să fie procesate în vederea recuperării zincului și staniului, ceea ce ar permite pe de o parte recuperarea într-o anumită măsură a acestora, iar pe de altă parte reducerea riscului de declasare a șarjelor de oțel [55].

De asemenea, eliminarea (pe cât posibil) din încărcătură a materialelor nemetalice (refractare, zgură, nisip, beton, pământ, materiale plastice etc.) conduce la reducerea cantității de zgură, a consumului specific de energie electrică și electrozi, precum la creșterea scoaterii de metal lichid) [13, 15, 19, 25, 27, 47, 55].

c) Topirea reprezintă o fază foarte importantă a elaborării oțelului în cuptoarele cu arc electric (cea mai importantă din punct de vedere a duratei și a consumului specific de energie) datorită modificărilor aduse în agregate performante de topire [12, 13, 15, 19, 26, 27, 47].

Durata topirii este determinată de gradul de pregătire a încărcăturii, de compactarea încărcăturii, de puterea transformatorului, de utilizarea arzătoarelor oxi-combustibil) și de conducerea topirii. În timpul topirii, în paralel cu procesul fizic al trecerii încărcăturii în stare lichidă au loc procese fizico-chimice de oxidare a elementelor și de formare a zgurii [13, 15, 19, 27, 47].

Căldura necesară topirii provine din două surse, astfel [13, 15, 16, 26, 27]:

- energia degajată de arcul electric format între electrozii din grafit și încărcătura metalică. Inițial se stabilește o tensiune intermediară, pe durata căreia circa 15% din încărcătură este topită. După ce electrozii pătrund prin încărcătură, tensiunea este mărită la o treaptă superioară, iar căldura radiată de arcul electric format nu mai are o influență atât de negativă asupra bolții (ca urmare a formării

craterelor în zona electrozilor). După stabilizarea completă a arcului electric, se poate trece la o putere mărită a transformatorului.

- energia chimică, asigurată de arzătoarele oxigaz sau lancea de oxigen.

Arzătoarele oxigaz (de regulă în număr de 5) utilizează un amestec de gaz metan și oxigen (sau oxigen și aer, respectiv aer îmbogățit în oxigen) [13, 17, 27].

Căldura degajată prin arderea acestui combustibil este transferată încărcăturii prin radiație și convecție de către produsele arderii iar în interiorul încărcăturii prin conducție.

Bucățile mai mari de fier vechi se topesc de regulă mai greu decât fierul vechi mijlociu sau mărunț. În aceste cazuri se utilizează insuflarea prin țevă consumabilă a oxigenului gazos (sub bucățile masive de fier vechi) care „taie” aceste bucăți. Odată ce este formată o baie metalică, insuflarea se poate face direct în aceasta, caz în care oxigenul reacționează cu elemente din baie, oxidându-le (C, Mn, Si, P, Al, Fe, Zn, V, Ti, B etc) [13, 15, 26, 27, 28].

Aceste reacții sunt exoterme (cu cedare de căldură) ceea ce duce la creșterea cantității de căldură din proces. Produsele rezultate trec în zgură sau în gazele de ardere.

Spre sfârșitul topirii este redusă tensiunea în electrozi, prelevându-se totodată probă de oțel pentru determinarea compoziției chimice și determinarea temperaturii.

Procesele metalurgice care au loc până la sfârșitul **perioadei de topire** sunt legate în principal de transferul de masă și energie.

d) Afinarea reprezintă perioada în care este continuat procesul de oxidare al elementelor însoțitoare din baia metalică (C, Mn, Si, P, Cr, W etc.), reprezentativă fiind oxidarea carbonului (afinarea în practica curentă este cunoscută și sub numele de oxidare, fierbere, decarburare) [12, 13, 15, 16, 25, 26, 27].

În prezent, tehnologia aplicată la cuptorul de tip EBT (de capacitate 100t), prevede o insuflare de grafit de circa 1120 kg/șarjă (11,2 kg/t oțel lichid) care, concomitent cu o insuflare de oxigen prin lance, generează zgură spumantă. Carbonul injectat, reduce % FeO din zgură cu formare de Fe care difuzează în baie iar formarea de CO ajută la spumarea zgurii. Valoarea vitezei de decarburare este cuprinsă în intervalul 1-4% C/h. Se are în vedere și durata fierberii, respectiv de 15-20 min. [15, 26, 27].

Oxidarea C la forma CO are loc cu degajarea unei cantități relativ mari de căldură (30-40% din necesarul de căldură). Totodată cu eliminarea CO are loc și degazarea oțelului, respectiv îndepărtarea azotului (la valori de 60-80ppm) și respectiv a hidrogenului (de la 8ppm la 4ppm în 10min) [12, 13, 15, 16, 25, 26, 27].

Manganul poate scădea de regula la 0,06%, reacția de oxidare a acestuia având loc simultan cu oxidarea C.

În ceea ce privește îndepărtarea fosforului, aceasta este posibilă în proporție de 20-50% din <P>, oxidarea fiind mai intensă la temperatură relativ joasă, conținut ridicat de (FeO) și (CaO). Însă, dacă temperatura este ridicată și respectiv la un conținut scăzut de FeO în zgură poate avea loc refosforarea băii metalice (de

regulă bazicitatea zgurei este de 2,5-3,5 astfel încât poate anula efectul nefavorabil al temperaturii) [12, 13, 15, 26, 27, 33, 47].

Procesul de desulfurarea în cuptorul EBT, respectând nivelul de IB =2,5-3,5 produce o scădere a $\% < S >$, până la 50% din conținutul inițial. Conținutul optim de sulf la evacuarea oțelului în oala de tratament este ca $\%[S]$ în metalul lichid să fie mai mic de 0,030%. Tehnologiile actuale de desulfurare în timpul tratamentului secundar (LF și după caz și VD) face posibil obținerea unui oțel cu $\% [S] < 0,004\%$.

În cea mai mare parte, afinarea se suprapune cu ultima parte a perioadei de topire [15, 26, 27].

Înainte de evacuarea oțelului din cuptor are loc îndepărtarea zgurii mai ales având în vedere conținutul bogat în compuși ai fosforului.

În tabelul 2.4 se prezintă principalele surse de proveniență a oxizilor prezenți în zgură și limitele de compoziție chimică a acesteia.

e) **Evacuarea** (turnarea în oala de turnare) se poate realiza imediat ce compoziția chimică și temperatura sunt conform fișei tehnologice, prin deschiderea orificiului de turnare, dar trebuie avut în vedere și corelarea cu instalațiile LF și VD.

Tabelul 2.4 Componența și compoziția zgurii de la afinare [15].

Component	Sursă	Cantitate, [%]
CaO	încărcătură (var)	35-40
SiO ₂	oxidarea Si	10-18
FeO	oxidarea Fe	20-35
MgO	încărcătură (dolomită)	5-12
CaF ₂	încărcătură (fluorină de calciu)	1-2
MnO	oxidarea Mn	3-6
S	difuzat din oțel	0,05
P ₂ O ₅	oxidarea P	0,30-060

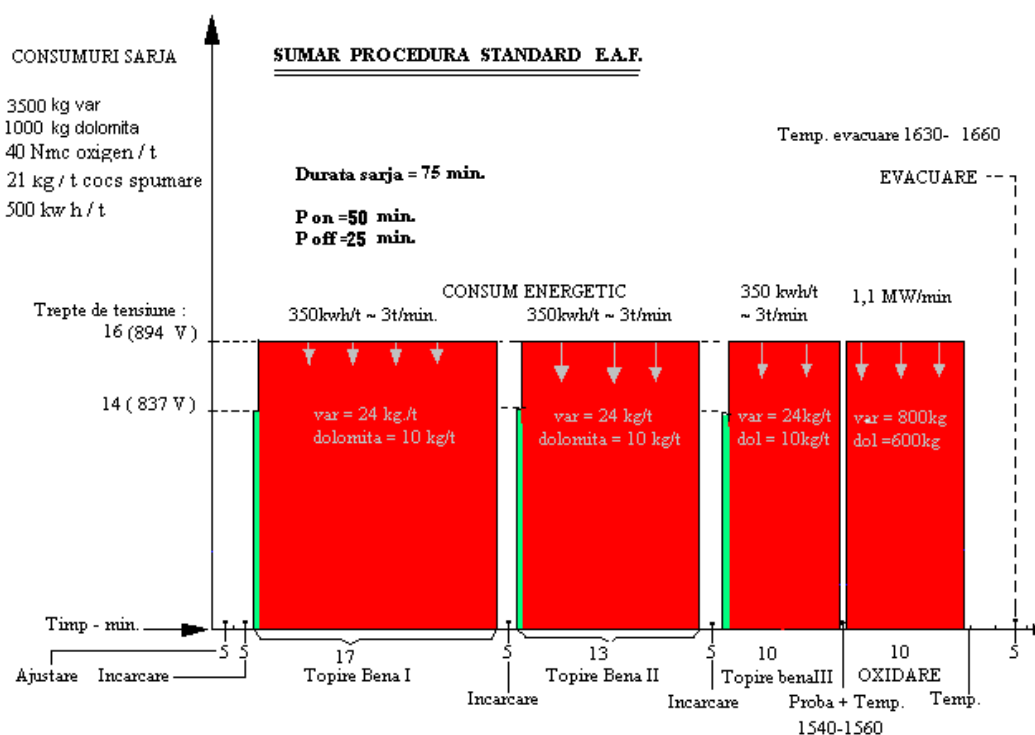


Fig. 2.3. Schema procesului tehnologic de elaborare [15].

Oțelul este turnat în oala de turnare, fiind pregătit pentru următoarea operație: dezoxidarea. Se recomandă utilizarea dezoxidanților de tipul FeSi, SiMn și eventual Al. De asemenea, are loc formarea unei zguri noi, pe bază de Ca și Al, cu un puternic caracter desulfurant [13, 15, 26, 27].

În figura 2.3. se prezintă o schemă tehnologică a procesului de elaborare a oțelului în cuptorul cu arc electric tip E.B.T. [15].

În timpul evacuării se fac adausuri de feroaliaje (SiMn, FeMn, FeSi) și alte aliaje funcție de marca de oțel ce urmează să fie realizată. Concomitent se fac adausuri de carburare (cocs mărut) și adausuri pentru reducerea zgurei și formarea acesteia: aluminiu granule, zguri sintetice desulfurante și fluidificatoare, var pentru realizarea bazicității zgurii la LF etc.

2.1.2.3. Oala de turnare

Reprezintă elementul de legătură între cuptorul de elaborare a oțelului și mașina propriu-zisă de turnare continuă, trebuind să îndeplinească o serie de funcții tehnologice, dintre care cele mai importante sunt: menținerea unei temperaturi cât mai constante a oțelului; separarea cât mai completă a zgurii de oțel; curgerea cât mai liniștită a metalului și debit constant de turnare. În același timp, oala de turnare trebuie să prezinte o siguranță cât mai mare în exploatare și o durabilitate avansată a căptușelii refractare, mai ales la procesarea oțelului lichid în aceasta (LF și VD, sau alte procedee cu sau fără aport de căldură) [14, 34].

Capacitatea oalelor de turnare variază între limite largi, în funcție de dimensiunile semifabricatelor, numărul firelor, viteza de turnare, de căderile admisibile de temperatură a oțelului lichid, precum și de necesitatea preluării întregii șarje din agregatul de elaborare. Astfel cele mai mici instalații industriale, care toarnă țagle cu productivități reduse, sunt alimentate cu oale de 5-10 t capacitate, în timp ce instalațiile noi de sleburi mari folosesc oale până la 300-400 t capacitate [14, 16, 26, 27, 34, 37, 38, 39, 40].

Deoarece tehnologia modernă de turnare continuă se bazează pe turnarea întregii șarje dintr-o singură oală, capacitatea oalelor de turnare este egală, în general, cu capacitatea cuptorului de elaborare [17, 18, 34, 37, 38, 39, 41, 42].

Căderile practice de temperatură variază în medie astfel: 0,10 °C/min pentru șarjele de 250 t; 0,30 °C/min pentru șarjele de 100 t; 0,70 °C/min pentru șarjele de 50 t și 10°C/min pentru șarjele de 20 t. Căptușeala oalei, care nu este nevoie să difere de cea a oalelor utilizate pentru turnarea convențională a lingourilor, depinde de cerințele locale și de metoda intenționată de tratament în oală [34, 50, 51, 54].

Durabilitatea medie a oalei de turnare este de 45-50 sarje/campanie pentru fluxurile care nu practică tratament VD și 65 sarje/campanie pentru fluxurile cu tratament VD.

În vederea uniformizării temperaturii băii metalice se prevede barbotarea (agitarea) oțelului cu gaze inerte (argon, foarte rar azot), prin cărămizi poroase amplasate la fundul oalei (variantă frecvent utilizată) [34, 38, 39, 42, 51, 53, 55].

Barbotarea cu introducerea gazului pe fundul oalei, utilizând dacă este posibil 2 – 3 cărămizi poroase (fig. 2.1.A), asigură o agitare mai eficientă. De

asemenea, prezintă avantajul că barbotarea poate fi deja începută în timpul golirii cuptorului. Riscul producerii unor avarii la oala de turnare este minim, dacă materialele din care sunt confecționate părțile componente ale ansamblului de insuflare a gazului inert sunt adecvate și dacă se supraveghează cu atenție uzura oalei [14, 34, 53, 54].

Oțelul din oala de turnare, trebuie acoperit cu prafuri termoizolante atât pentru a evita/reduce scăderea de temperatură, cât și pentru a împiedica absorbția de gaze (O, H, N). Desigur astfel de compuși nu trebuie să reacționeze cu oțelul și nici să formeze o zgură foarte fluidă, care ar putea fi absorbită în distribuitor și posibil în cristalizor [27, 34, 38, 39, 42, 50, 55].

2.2. Tratamentul secundar al oțelului în oala de turnare

2.2.1. Considerații tehnologice

Cerințele crescânde de oțeluri de înaltă puritate (conținut redus de gaze și incluziuni nemetalice) și cu caracteristicile fizico-chimice și mecanice deosebite, au favorizat realizarea unei game foarte variate de prelucrare a oțelului lichid în afara agregatului de elaborare, diversificarea acestor procedee fiind determinată, în afara prescripțiilor de calitățile oțelului, de factori legați de condițiile locale ca: procedeul de elaborare și turnare, dotarea cu utilaje, economia de energie electrică, electrozii și de materiale (feroaliaje, adaosuri speciale, gaze inerte etc.) [28, 31].

Introducerea în fluxul tehnologic de elaborare a oțelului a tehnologiilor de procesare a oțelului în oala de turnare, la început în instalații fără aport de căldură (barbotarea cu gaz inert, barbotare cu gaz inert + vidare) urmate de cele cu aport de căldură, a condus la gruparea acestora sub denumirea de **"METALURGIA ÎN OALĂ"**, frecvent cunoscut și sub denumirea de **"METALURGIE SECUNDARĂ"** [15, 26, 27, 33].

Pentru o tratare sistematică, procedeele de tratare a oțelului lichid în afara agregatului de elaborare, pornind de la cele simple spre cele mai complexe, pot fi clasificate în felul următor [33]:

- Barbotarea cu gaze inerte;
- Barbotarea cu gaze inerte + adaosuri în oala de turnare;
- Barbotarea cu gaze inerte + adaosuri în oala de turnare + reîncălzirea oțelului lichid;
- Tratarea cu zgure sintetice;
- Dezoxidarea oțelului în instalațiile de turnare continuă;
- Tratarea sub vid;
- Tratarea sub vid + adaosuri în baia metalică;
- Tratarea sub vid + adaosuri în baia metalică + reîncălzirea:
 - cu aport de căldură sub formă de energie electrică;
 - cu aport de căldură sub formă de energie chimică.

O clasificare a procedeelelor de tratare a oțelului lichid în oala de turnare este și aceea în funcție de aportul de căldură [33]:

- Fără aport de căldură:
 - Barbotare cu gaze inerte în oală;

- Barbotare cu gaze inerte+tratament cu zgure sintetice;
- Tratament în vid în oala de turnare;
- DH (Dortmund Horder – Hutten Union);
- RH (Ruhrstahl Hareus), VD (Vacuum Degassing);
- VD (Vacuum Degassing).
- Cu aport de căldura sub formă de energie electrică:
 - LF (Ladle Furnace);
 - VAD (Vacuum Arc Degassing), barbotarea băii cu argon;
 - ASEA – SKF, barbotarea băii prin agitare electromagnetică;
 - cuptor cu inducție în vid.
- Cu aport de căldură chimică:
 - VOD (Vacuum Oxygen Decarburization);
 - SS-VOD (Stong Stirring –VOD);
 - VODK (Vacuum Oxygen Decarburation Konverter);
 - RH-OB (Ruhstahl Hareus - Oxygen Blowing).

Un procedeu foarte eficient aplicat în multe oțelării este cel cunoscut sub denumirea VAD-VOD, practic o combinație între cele două procedee (menționate mai sus). Instalația are două stații separate: una de încălzire și rafinare în vid (VAD) și alta de rafinare (VOD). Instalația VOD este destinată rafinării oțelurilor anticorozive de înaltă puritate și conținut foarte scăzut de carbon, în condițiile unor adaosuri mari de elemente de aliere în cuptorul oală. În funcție de calitatea oțelului, oala cu oțel este transportată de la agregatul primar (cuptorul cu arc electric) fie la stația VAD, fie la stația VOD, unde în ambele cazuri este conectată la instalația de vidare (există o singură instalație de vidare). Fiecare stație este prevăzută cu o instalație de dozare a adaosurilor în timpul rafinării (fără întreruperea vidării). În timp ce stația VAD este echipată cu sistem de încălzire cu electrozi (aport de energie fizică), stația VOD este echipată cu o lance pentru insuflarea oxigenului (aport de căldură chimică), ambele sisteme fiind prevăzute cu dispozitive telescopice de etanșare, pentru a evita pierderea vidului în recipientul de vidare [33].

- Procedeu prezentat are următoarele avantaje [13,15, 26, 27, 28, 31, 32, 33].
- obținerea unor conținuturi scăzute de oxigen (<20ppm), hidrogen (<1,5ppm), azot(<60ppm) și incluziuni nemetalice în oțel (punctaj 1-2);
 - obținerea unor compoziții chimice foarte precise precum o foarte bună omogenitate și puritate a semifabricatelor turnate continuu;
 - reducerea duratei șarjelor elaborate în cuptorul cu arc electric datorită posibilității de evacuare a metalului lichid în vederea tratării secundare pentru a putea realiza analiza chimică a oțelului;
 - micșorarea consumurilor de energie electrică ca urmare a creșterii randamentelor energetice;
 - scăderea costurilor de producție, în special datorită posibilității utilizării în oală a ferocromului cu conținut ridicat de carbon, care este ieftin în comparație cu cromul metalic sau ferocromul cu conținut scăzut de carbon, precum și datorită gradului de asimilare a cromului care ajunge la 98%

comparativ cu 90-95% cât se obține în mod curent la elaborarea într-un singur agregat (cuptorul cu arc electric).

La fostul Combinat Siderurgic Hunedoara (CSH), devenit ArcelorMittal după privatizare, au funcționat 2 instalații de vidare tip VAD-VOD la oțelăriile electrice (OE1 și OE2) și o instalație VOD la OE1, în prezent complet dezafectate.

Actualmente la această societate (la fel la TMK, precum și la alte oțelării din țară) funcționează o instalație de vidare tip VD, componentă a fluxului tehnologic EBT – LF – VD - MTC.

2.2.2. Instalației LF (Ladle-Furnace)

2.2.2.1. Construcția instalației LF (Ladle-Furnace)

Procedul LF (Ladle Furnace – Oală Cuptor) valorifică potențialul efect al rafinării oțelului cu zgure sintetice, prin încălzirea cu arc electric la presiune atmosferică și amestecării sub influența injectării gazelor inerte (de regulă argon). O instalației LF de rafinare a oțelului lichid este prezentată în figura 2.4. [15].



a) vedere generală

b) bolta și electrozi

Fig. 2.4. Instalația de tratament secundar de tip LF [15].

Instalațiile LF sunt prevăzute cu închizător tip ”sertar” și sistem de insuflare a argonului prin dop poros ceramic (la oalele mai mari de 150t sunt montate 2 dopuri poroase), pentru omogenizarea termică și chimică a băii metalice, precum și degazarea (eliminarea gazelor, hidrogen și azot). De menționat că omogenizarea băii se poate face și prin agitare electromagnetă (situație mai rar întâlnită în practică), dar cu degazarea mai puțin eficientă. Pentru protecție împotriva excesului de radiații termice pe durata desfășurării operațiilor tehnologice, cuptorul – oală este acoperit cu o capac/boltă răcit cu apă, în care sunt practicate 4 orificii : 3 pentru cei trei electrozi și unul pentru introducerea adaosurilor în vederea formării zgurii reducătoare, a feroaliajelor (inclusiv sub formă de sârmă, respectiv

fir umplut) din alimentator, prelevarea probelor și măsurarea temperaturii băii metalice. Gazele și praful rezultate din proces sunt captate prin intermediul unei hote, trecute prin instalația de epurare pentru reținerea prafului, iar după epurare sunt exhaustate în atmosferă și praful (de dorit) procesat prin peletizare și utilizat ca material secundar în siderurgie [13, 14, 15, 21, 26, 27, 28, 31, 32, 47].

În cele mai multe oțelării există în funcțiune un flux de procesare a prafului prin peletizare, peletele fiind introduse (de dorit metalizate) în încărcătura cuptorului. Dacă praful nu se procesează trebuie depozitate în iazuri, situație nedorită atât din motive economice, cât și mai mult din motive ecologice (ca urmare a restructurării industriei siderurgice din România, cea mai mare parte din praful de oțelărie electrică se depozitează în halele dezafectate) [21, 27, 36, 47].

În practica curentă există instalații prevăzute cu posibilități de menținere a unei atmosfere neutre între boltă instalației și oțelul lichid, de regulă prin suflare de argon în spațiul respectiv (mai ales dacă pe fluxul tehnologic nu se practică și vidarea –VD-) [14, 15, 26, 27, 28, 31, 32, 35].

2.2.2.2 Funcționarea instalației LF

Instalațiile LF funcționează în sistem duplex cu agregatul de elaborare primară, cuptorul electric cu arc sau convertizorul cu oxigen, acestea putând fi considerate în etapa actuală ca "stații tampon" între oțelării și masinile de turnare continuă (MTC). Instalația LF este agregatul siderurgic în care oțelul lichid evacuat din cuptor, este prelucrat în continuare, printr-un proces de încălzire (pentru încadrarea temperaturii în limitele prescrise) și control a adausurilor de feroaliaje în vederea realizării analizei chimice finale.

Pe durata procesării oțelului în instalația LF, de capacitate 100t oțel lichid elaborat în cuptorul cu arc electric tip EBT, au loc următoarele operații tehnologice (prezentate în figura 2.5) [15, 26, 27, 46, 47]:

- în timpul evacuării din cuptor a metalului lichid în oalei, timp de circa 5 min., se pornește barbotare pentru omogenizarea termică și chimică, în care se fac o serie de adaosuri constând în feroaliaje pentru continuarea dezoxidării (FeMn, FeSi, la unele șarje Al) și alte materiale (var, bauxita, var dolomitic, topex, etc.) pentru formarea unei zguri reducătoare (desulfurante și dezoxidante);

- preluarea oalei cu oțel lichid pe transfercarul LF, conectarea la rețeaua de barbotare, poziționarea transfercarul (oalei cu oțel) sub capacul/bolta LF, măsurarea temperaturii oțelului în oală, prelevarea probei de oțel și de zgură pentru determinarea compoziției chimice și reglarea debitul de barbotare cu argon în jurul valorii de 45 l/min (capacitatea oalei 100t oțel);

- încălzirea cu arc electric și formarea zgurii de rafinare prin adaosuri de var (1800 kg) și bauxită (600 kg) în 3 porții egale (600 var + 200 bauxită), timp de 20 min. În acest timp, după formarea zgurii se fac adaosurile de FeSi, grafit, FeMn și SiMn în cantitățile necesare pentru încadrarea în ecarturile chimice corespunzătoare mărcii de oțel din programul de elaborare;

- se decuplează arcul electric, se măsoară temperatura oțelului, se prelevează proba de compoziție chimică intermediară;

- se procedează la încălzirea finală pentru încadrarea în limitele de temperatură specifice fiecărei mărci de oțel (4-8 min.), timp în care se fac corecțiile finale la compoziția chimică a oțelului;
- se reduce intensitatea barbotării la un debit de Argon de 35 l/min;
- dacă oțelul nu se vedează se adaugă prin imersare de Al fir (40-60 kg) și după o pauză de 3-4 min, se imersează SiCa fir (90 kg.). Dacă oțelul parcurge procesul de vidare aceste adausuri se facă la finalizarea tratamentului în VD;
- după 4 min. de omogenizare, se prelevează proba finală de compoziție chimică, se măsoară temperatura oțelului, se adaugă praf de acoperire pe zgură, (dacă marca de oțel nu parcurge procesul de tratament în vid, dacă oțelul trebuie vidat adausul de parf de acoperire se face la finalul tratamentului VD), se oprește și se deconectează barbotarea cu Argon, după care se expediază oala cu oțel la mașina de turnare continuă, dacă nu se prevede tratamentul în instalația de vidare sau la instalația de vidare VD dacă în instrucțiunile tehnologice se prevede tratamentul sub vid;
- timp total de tratament secundar = 44 - 50 min/ oală;
- se preia oala de turnare următoare din secvență.

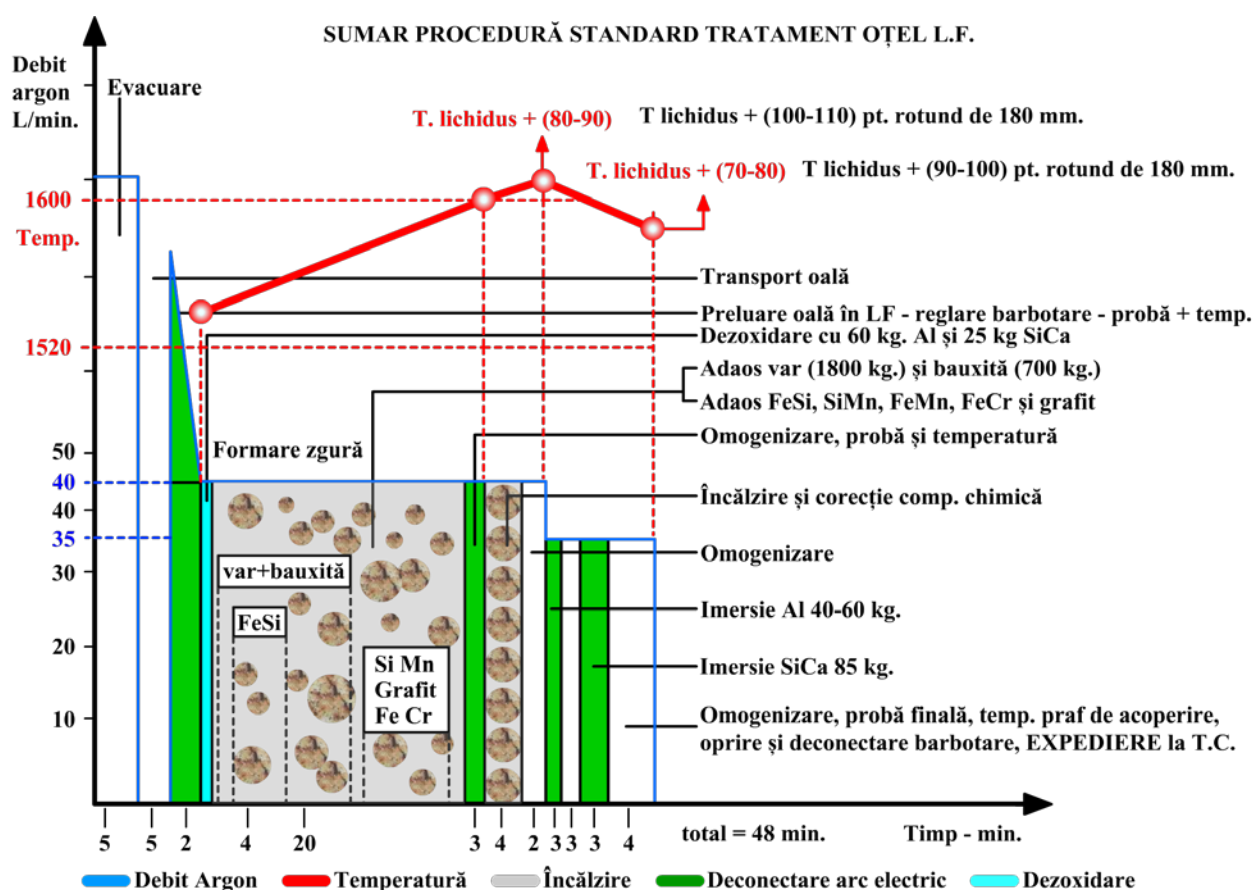


Fig. 2.5. Schema procesului tehnologic de tratare în oala de turnare (LF) [15]:

Procesul tehnologic de tratament secundar a oțelului lichid este condus prin intermediul unui sistem computerizat de control, care optimizează funcționarea instalației LF [15, 26, 27].

2.2.2.3 Efecte tehnico – economice

În instalația de tratament secundar LF se realizează corecția compoziției chimice, formarea unei zguri corespunzătoare (bazică) pentru o bună desulfurare, dezoxidare și degazare, precum și încălzirea băii metalice, în vederea încadrării temperaturii oțelului în limitele prescrise de tehnologia de turnare continuă.

Procesarea oțelului în instalația LF asigură obținerea următoarelor efecte metalurgice [15, 18, 19, 26, 27, 28, 33, 46, 47]:

- reglarea temperaturii oțelului lichid;
- corecția compoziției chimice;
- dezoxidare și desulfurare avansată cu zguri sintetice;
- îmbunătățirea purității oțelului în incluziuni nemetalice și degazarea;
- sincronizarea șarjelor la turnarea continuă;

Efectele economice care se obțin în urma desfășurării procesului de elaborare și rafinare a oțelului pe ansamblul duplexului metalurgic CAE – LF se reflectă în [13, 14, 15, 18, 19, 27, 28, 46, 47]:

- reducerea duratelor de elaborare în agregatul primar, a generat o reducere a consumului de energie electrică la cuptor, prin reducerea timpului de elaborare și a temperaturii de evacuare a oțelului din agregatul primar de elaborare cu 40-80 °C. Instalația LF a făcut posibilă scăderea consumului de energie la cuptor cu 120-150 Kwh/t față de schema clasică de elaborare. Pe ansamblu procesele de topire-tratament (EBT-LF) comparative cu schema clasică de elaborare conduc la reducerea consumului de energie electrică de 80-90 Kwh/t;

- reducerea uzurii și consumului de materiale refractare cu 10-20%, datorită funcționării cu temperatură mai scăzută;
- reducerea consumului specific de electrozi cu 1,5 – 3,5 kg/t electrozii de la cuptor;
- reducerea consumului de feroaliaje cu 25%;
- creșterea productivității cuptorului EBT;
- ponderea mai mare a timpului de utilizarea transformatorului la putere aproape de cea instalată.

2.2.3. Instalația VD (vidare – degazare)

2.2.3.1. Considerații tehnologice

Instalația de vidare VD (figura 2.5.A) are rolul de degazare a oțelului. Vidarea – degazarea oțelului lichid (minimizarea conținutului de hidrogen, azot și oxigen din oțelul lichid) se produce prin realizarea unei depresiuni în camera de vid (recipientul). Oțelul lichid este în permanent agitat prin barbotare cu argon pentru a se accelera degazarea și se asigură astfel o omogenitatea chimică și termică avansată a oțelului lichid.

Modificările fizico – chimice care au loc în cursul procesului de elaborare și turnare a oțelului sunt determinate ca sens și intensitate de desfășurare de următorii parametrii [14, 15, 18, 19, 26, 27, 28, 33, 46, 47]:

- concentrația componentelor băii metalice;
- temperatura băii metalice;

- presiunea în instalația de vidare (evidențiată cea sub 1 torr);
- presiunea argonului la barbotare;
- durata vidării (evidențiată cea la presiune sub 1 torr, cunoscută în practică ca durata vidării avansate).

Includerea instalației pentru degazarea oțelului sub vid, în fluxul tehnologic de elaborare și turnarea continuă a oțelului, are ca scop îmbunătățirea calității oțelului prin influența presiunii asupra [43]:

- solubilității gazelor (scăderea acesteia, difuzia în bulele de argon);
- eliminarea produselor sub formă gazoasă ce rezultă din reacțiile dintre carbon și oxigen ($[C]+[O]=\{CO\}$), precum și dintre carbon și sulf $[C]+[S]=\{CS\}$. (ca urmare a scăderii presiunii în instalația de vidare, respectiv deasupra băii metalice, are loc deplasarea curbelor de echilibru $[C]-[O]$, $[C]-[S]$ spre conținuturi mai mici de carbon, astfel încât sunt reactivate cele două reacții);
- eliminarea incluziunilor nemetalice simple (MnO), (SiO_2), (Al_2O_3) precum și complexe de forma: ($[FeOSiO_2]$), ($[2CaOSiO_2]$), ($[Al_2O_3]$), ($[FeOAl_2O_3]$), ($[FeOMnOSiO_2]$), ($[CaOSiO_2Al_2O_3]$) etc., unde $[Me_nO_m]$ reprezintă o fază de zgură lichidă, o incluziune nemetalică lichidă, din interiorul băii metalice, incluziune care tinde să decanteze din baia de oțel ca urmare a diferenței de densitate oțel – zgură, pe de o parte, iar pe de altă parte tensiunii interfațice.

Calitatea oțelului este influențată de prezența gazelor (oxigen, hidrogen, azot) dizolvate și absorbite, sau sub formă de combinații chimice cu elemente însoțitoare (frecvent oxizi și nitruri).

2.2.3.2. Descrierea fluxului tehnologic de vidare

Fluxul tehnologic este completat automatizat, fiind condus din cabina de comandă (figura 2.6 și 2.7) și are următoarele etape principale [27, 28, 47, 49, 53]:

- oala cu oțel lichid preluată de la LF este introdusă cu ajutorul podului rulant de turnare în recipientul de vidare;
- se cuplează instalația de barbotare a oțelului în oală prin dopurile poroase;



Fig. 2.6. Instalație de vidare VD vedere generală [53].



Fig. 2.7. Instalație de vidare, conducere automată [53].

- după deplasarea podului rulant de turnare de la recipientul de vidare, se translatează deasupra recipientului căruciorul cu capacul/bolta instalației, se așează

pe recipient în poziție ermetică, după care se pornește în trepte succesive pompa de vid care evacuează gazele rezultate din oțelul lichid, barbotat permanent cu gaz inert, de regulă argon. Gazele extrase din recipientul de vidare sunt trecute printr-o instalație de epurare pentru reținerea prafului. De dorit ca praful rezultat să fie procesat și reintrodus în fluxul siderurgic (elaborare fontă, oțel, feroaliaje);

- la sfârșitul tratamentului se îndepărtează capacul și se fac corecții ale compoziției oțelului lichid prin adaos de feroaliaje, după caz: fir de aluminiu, S (de regulă sub formă de fir umplut, numai în cazul oțelurilor resulfurate cu destinația prelucrărilor prin așchiere) și C pentru realizarea analizei chimice finale, iar în final se adaugă fir umplut cu SiCa sau Ca metalic, tratamentul de globulizare a aluminaților.

Elaborarea oțelului în sistemul menționat mai sus, prezintă avantajul existenței posibilităților de reglarea a temperaturii mai precise și în interval mai bine definit.

Date privind funcționarea unei instalații de vidare de tip VD se prezintă în tabelele 2.5 și 2.6. [15]:

Tabelul 2.5 Durata fazelor tehnologice după evacuare, min [15].

Limite de variație	Durata fazelor tehnologice, min								
	EBT → LF	LF	LF→VD	VidareVD	Vid adânc	2+3+4	VD→MTC	TC	1+6+7+8
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Min	8	42	9	20	12	71	29	86	194
Max	22	110	16	30	16	156	47	107	380
Med	14	73	13	25	14	111	45	91	302

Tabelul 2.6 Temperatura oțelului la procesarea în oala de turnare, °C [15].

Limite de variație	Temperatura oțelului, °C							
	→ LF	LF→	$\Delta T=(3)-(2)$	→VidareVD	VidareVD→	$\Delta T=(4)-(5)$	MTC-D*	$\Delta T=(7)-(T_L)$
0	1	2	3	4	5	6	7	
Min	1554	1630	76	1608	1582	26	1545	28
Max	1689	1633	56	1622	1586	36	1562	35
Med	1622	1673	97	1665	1618	46	1548	42

*Temperatura oțelului în distribuitor, °C; T_L - Temperatura lichidus a oțelului, °C

2.2.3.3. Efecte tehnico – economice

Tratamentul oțelului în instalația VD are ca scop garantarea unui nivel calitativ superior a oțelului ce urmează să fie turnat continuu. Oțelurile care au fost tratate în vid sunt destinate aplicațiilor special în care se solicită de către clienți caracteristici deosebite. Ca urmare a aplicării în practica procesul de elaborare a oțelului în fluxul CAE (tip EBT) – LF – VD), se obțin următoarele efecte calitative [15, 26, 27, 28, 31, 32, 35, 47, 49]:

- se asigură un conținut scăzut de hidrogen, azot precum și o mai bună decantare a incluziuni nemetalice datorită barbotării continue pe toată perioada

vidării;

- parametrii barbotării (durată, presiunea în instalația VD, debit de argon și temperatura oțelului) au o influență puternică asupra randamentului de eliminare a hidrogenului și azotului fapt confirmat de rezultatele obținute la prelucrarea datelor experimentale și verificate în practica industrială;

- creșterea valorii adăugate a oțelului care permite creșterea prețului de vânzare a semifabricatului TC;

2.3. Turnarea continuă a oțelului

2.3.1. Considerații tehnologice

Odata cu perfecționarea tehnologiilor de elaborare, era normal să se perfecționeze și tehnologiile de turnare, mai precis a avut loc trecerea de la turnarea sub formă de lingouri la turnarea continuă secvențială.

Turnarea continuă în comparație cu turnarea clasică, pe fluxul tehnologic oțelărie - laminoare prezintă o serie de avantaje tehnologice și economice, cele mai semnificative fiind [34, 38, 42, 45, 49, 50, 66. 67]:

- scoaterea de metal de minim 96% la turnarea singulară (șarjă cu șarjă) și de peste 99% la turnarea secvențială;
- reducerea fluxului de obținere semifabricatelor de la oțel lichid la țagă/bloom pentru deformare plastic. Această "scurtătură" a generat: reducerea consumurilor specifice de energie electrică și termică, material refractar, manoperă, care în final a condus la o reducere a costurilor cu 65-75€t;
- îmbunătățirea condițiilor de muncă;
- reducerea costurilor cu forța de muncă;
- reducerea gradului de poluare la nivel aer, apă și sol.
- reduce suprafața de teren ocupată cu producerea oțelului, prin reducerea substanțială a habitatului și a anexelor de producție. Elaborarea și turnarea putându-se derula într-un spațiu cu 50 % mai mic decât fluxurile clasice;

Progresul extrem de rapid al turnării continue a oțelului, atât din punct de vedere metalurgic, cât și în ceea ce privește construcția instalațiilor, a condus la dezvoltarea intensă a acestui procedeu în industria siderurgică [34, 53, 54].

Pe lângă preocupările pentru utilizarea cât mai intensă a acestui procedeu, specialiștii își îndreaptă tot mai mult atenția asupra îmbunătățirii caracteristicilor mașinilor de turnare, a calității semifabricatelor obținute ca și a trecerii pe acest flux a unui număr tot mai mare de mărci de oțel [34, 50, 51, 53, 54, 55].

În ceea ce privește construcția mașinilor de turnare continuă, în ultima perioadă nu s-au făcut modificări esențiale, tipul construcției utilizat în prezent fiind cel cu cristalizor și fir curbat după o singură rază.

Preocupările în acest domeniu se referă mai ales la posibilitatea creșterii cantității de oțel turnat și la îmbunătățirea calității acestuia.

2.3.2. Tipuri de instalații

În ceea ce privește construcția mașinilor de turnarea continuă în ultimul timp

nu s-au făcut modificări esențiale. Tipurile de instalații de turnare sunt prezentate în figura 2.8.

Instalațiile cu fir drept de tip I se pretează la turnarea cu viteză scăzută a semifabricatelor cu secțiuni mari și a țevelor cu diametru mare, complicând și ridicând costurile construcției.

La instalațiile de tipul II (a), cu solidificare verticală și curbarea firului la orizontală, se reduce parțial înălțimea de construcție (în medie cu 20%), care ajunge până la 30 m.

La astfel de instalații de turnare continuă a oțelului, prin curbarea și îndreptarea firului se pot introduce tensiuni interne și chiar fisuri locale în semifabricatul turnat, datorită rezistenței mecanice reduse la temperaturile de ieșire din zona de răcire secundară (850 – 950 °C) [34, 37, 38, 39, 40, 53, 54].

Acest lucru permite obținerea unor semifabricate de oțel cu grosimi maxime de 250–270 mm pentru secțiunile pătrate și dreptunghiulare, pe secțiunile circulare limita este de 350 mm diametru.

O reducere în continuare a înălțimii instalației, evidențiată în figura 2.8, fixează limita superioară a acesteia la 25 m și în aceste cazuri, la turnarea semifabricatelor apare pericolul apariției tensiunilor și fisurilor în material. Este recomandat la obținerea unor sortimente variate calitativ și dimensional să fie bine fundamentată tehnologia de turnare.

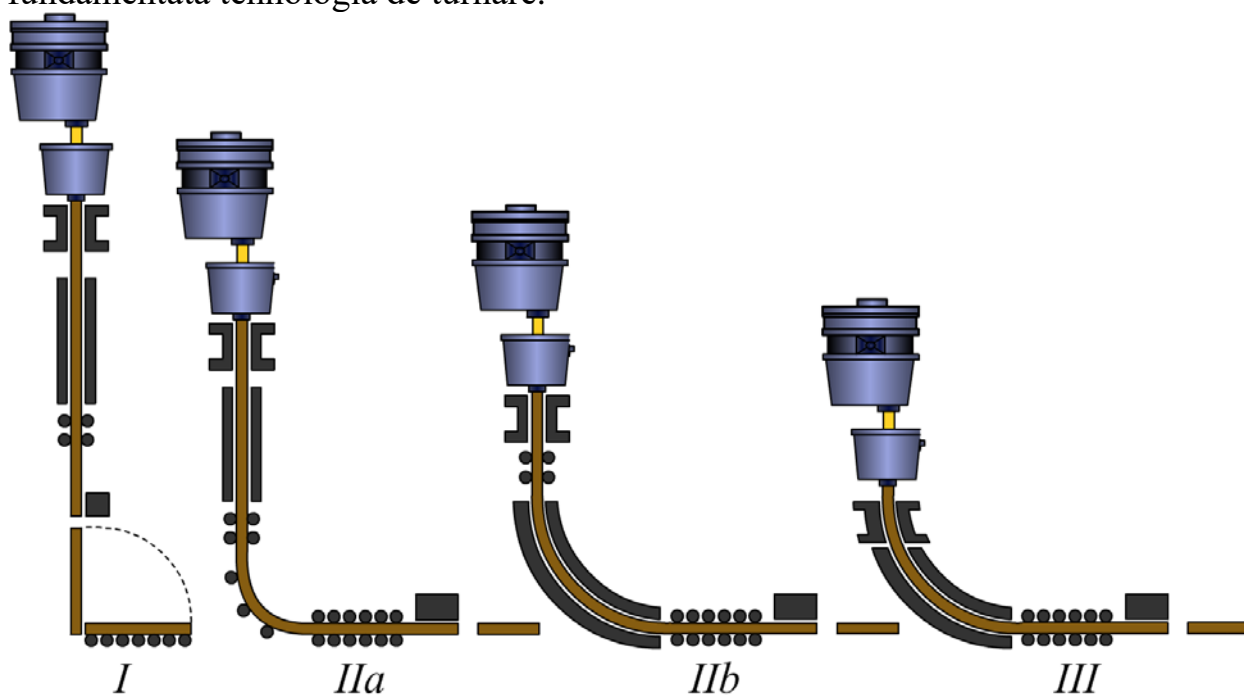


Fig. 2.8. Tipurile de turnare continuă a oțelului.

I-cu fir vertical; IIa – cu fir curb după zona de răcire secundară; IIb – cu fir curb înaintea zonei de răcire; III – cu rază de curbura variabilă

Utilizarea mașinilor de turnare continuă de tipul III conduce la o reducere a cheltuielilor de investiții cu 20% pentru hală și pentru instalații auxiliare. Reducerea înălțimii față de tipul I este de 60 – 70%.

Micșorarea presiunii ferostatice din coloana de metal lichid a permis mărirea vitezei de turnare, facilitată și de mărirea capacității de răcire a cristalizorului,

simultan cu mărirea secțiunii de turnare, acest tip de instalație reprezintă varianta cea mai răspândită în prezent [34, 53, 54].

2.3.3. Elementele instalației de turnare continuă cu fir curbat

În prezent în țările dezvoltate circa 97% din oțelul lichid este turnat continuu. Japonia al doilea mare producător din țările industrializate toarnă continuu 98% din oțelul elaborate, iar China 97% (2010) [10, 11, 34, 42].

Turnarea continuă este foarte răspândită și poate fi aplicată la aproape orice marcă de oțel, având numeroase avantaje.

Noile dezvoltări în turnarea continuă au oferit producătorilor de oțel alternative la turnarea continuă convențională, prin scăderea dimensiunilor semifabricatelor, în sensul apropierei lor de dimensiunea finală [34, 38, 39, 42].

Tendința producătorilor de a se apropia cât mai mult de dimensiunea finală prin turnare continuă, își găsește justificarea prin economiile importante de energie care sunt realizate în urma scurtării/reducerii (simplificării) fluxului tehnologic (energie necesară atât încălzirii, cât și lucrului mecanic de deformare), prin micșorarea pierderilor de metal în timpul procesării și prin eliminarea unor instalații care presupuneau investiții, personal, întreținere etc., [34, 38, 39, 42].

Problema majoră a apropierei semifabricatului turnat continuu de dimensiunea produsului finit este cuplarea “în linie” a mașinii de turnat continuu cu laminorul, urmărindu-se valorificarea optimă a căldurii fizice a semifabricatului și implicit mărirea productivității [34, 38, 39, 42].

Instalațiile de turnare continuă indiferent de varianta tehnologică (în prezent peste 95% cu fir curbat) au următoarele părți componente: turnul MTC (fig.2.1.A.) distribuitor, cristalizor, sistemul de răcire secundară, sistemul de ghidare și de tragere, sistemul de debitare și sistemul de basculare [34, 38, 39, 42].

Presiunea exercitată de producătorii de oțel pentru furnizarea de materiale refractare este forța care a făcut ca produsele refractare actuale să aibă capacitatea de a face posibilă turnarea oțelului de cea mai bună calitate la cele mai scăzute costuri.

Acestă forță economică a făcut posibilă evoluția turnării continue, astfel că:

- s-au putut turna cantități din ce în ce mai mari de oțel într-o singură secvență;
- turnarea oțelului lichid din oala de turnare în distribuitor și apoi în cristalizor se face fără înrăutățirea calității datorită perfecționării zonei de control a curgerii.

Cantitatea și modul de curgere a lichidului sunt foarte importante pentru calitate în tehnica turnării continue a oțelului. Producătorii de semifabricate TC au făcut atât investiții în investigații empirice, cât și cercetare cu hardware și software complicate, prin modelare matematică, pentru a elucida fenomenele termofizice din fluidul aflat în mișcare. Printre aceste fenomene se numără: fluxul de turbulență în zona plăcilor de sertar, a tubului de protecție (LS), a SEN și a cristalizorului; transportul de bule de gaz și particule de incluziune multi-fază, fenomenele curgerii în anasmablul oală de turnare-cristalizor, efectul forțelor

electromagnetice, transferul de căldură, fenomenele interfaciale și interacțiunile dintre suprafața de oțel și straturile de zgură, transportul de elemente și cel al soluției de segregare.

Zona de control a curgerii oțelului lichid este importantă pentru tehnologia TC. Ea este formată din următoarele subzone prin care trece oțelul (fig. 2.2.A):

- Sertarul de închidere/deschidere oală de turnare (ladle gate);
- Tubul de protecție (ladle shroud);
- Distribuitor (tundish lining);
- Sistemul de închidere/deschidere (monoblock stopper or tundish gate);
- Tuburile de imersie (SEN).

De modul cum este proiectată și stăpânită tehnic această zonă a MTC depind mulți parametri hotărâtori ai calității curgerii oțelului lichid, care influențează aspectele legate de stabilității MTC, precum și calitatea semifabricatului TC. Întregul ansamblu este conceput ca o tubulatură, prin care oțelul lichid trebuie să curgă până în cristalizor fără perturbări majore care să conducă la turbulențe și vortexuri, iar în timpul turnării să se evite la maxim contactul cu atmosfera, pentru a evita oxidări secundare și absorbțiile de azot care înrăutățesc calitatea semifabricatului TC. Criteriu de calitate a acestei zone de curgere a oțelului lichid este creșterea a azotului în timpul turnării să fie de maxim 15 ppm, iar pentru o protecție foarte bună pragul de absorbție a azotului este considerat 10 ppm.

În ziua de astăzi, marea majoritate a producătorilor de refractare oferă plăci de sertar pentru toate soluțiile tehnice în zona de control a curgerii oțelului lichid (flow control slide gate): plăci pentru sertarul oalei de turnare (ladle slide gate) și plăci pentru sertarul distribuitorului MTC (tundish slide gate). Următorii factori influențează durabilitatea plăcilor de sertar: marca de oțel; timpul de turnare; șocul termic; zgura care trece prin orificiul plăcilor; ciclul oalelor de turnare; sistemul de prindere a plăcilor (mecanismul sertarului); controlul sertarului în timpul reluării ciclului de turnare precum și în timpul procesului de turnare; forțele exterioare aplicate plăcilor sertarului; mentenanța mecanismului sertarului; gradul de obturare sau lărgire a orificiului plăcii în timpul procesului de turnare.

2.3.3.1. Tubul de protecție (ladle shroud)

Practicienii cunosc și apreciază avantajele utilizării tubului de protecție în tehnica TC. De menționat că, pe lângă efectul cunoscut și apreciat asupra calității semifabricatului TC, acest tub are și efecte asupra siguranței operatorului și asupra costului global cu refractarele pentru distribuitor. Alegerea materialelor refractare pentru această piesă depinde de calitatea oțelului, timpul de turnare și de praful de izolare utilizat în distribuitor, precum și de eventualele intervenții de curățare cu oxigen a interiorului tubului. Intervenția cu oxigen în scopul curățării interioare conduce la arderea C și a grafitului din masa refractară din care este confecționat tubul. Tubul de protecție are scopul de a proteja jetul de oțel lichid împotriva oxidării și reoxidării, precum și împotriva antrenării de gaze. Oțelul lichid curge din oala de turnare prin intermediul unui tub de protecție și cade în cărămida turbostop care asigură liniștirea jetului de oțel la începutul turnării, dar și ordonarea

curgerii și mișcării fluxurilor de oțel (fig. 2.3.A), după ce distribuitorul este plin cu oțel pe toată durata turnării. Când conexiunea dintre colectorul sertarului oalei de turnare și tubul de protecție nu este etanșă, se creează posibilitatea pătrunderii aerului în jetul de oțel, producând reoxidarea și absorbția de azot. Acest proces este favorizat de efectul Venturi datorită curgerii oțelului lichid, care creează o depresiune în interiorul tubului de protecție.

Pentru a reduce la minim aspirația aerului între cele două piese ale zonei de îmbinare, se utilizează următoarele metode:

- Crearea unei perdele de Ar care să asigure o etanșare cu gaz inert;
- Injecția de Ar în scopul creării unei suprapresiuni care să compenseze depresiunea care provoacă absorbția;
- Etanșarea spațiului dintre cele două piese cu un material de etanșare și o variantă simplificată a sistemului cu perdea de Ar.

În cazul monitorizării presiunii inverse, manometrul este un indicator al etanșării acestei zone. Sistemul este utilizat la diferite MTC-uri, dar are o limită legată de momentul când tubul trebuie demontat și schimbat cu unul nou în cadrul unei secvențe. Cea mai nouă tehnologie de etanșare este sistemul PSIS (Power Sealant Injection System), utilizat cu succes pentru a asigura impermeabilitatea la aer între plăcile de sertar și dispozitivul de închidere cu tub. Sistemul PSIS constă în introducerea în interstițiul colector–tub de protecție a unui produs de etanșare care obturează spațiul liber. Produsul de etanșare este introdus în jetul de gaz alimentat de la o celulă prin intermediul unui canal spiralat pe circumferința suprafeței de etanșare a tubului de protecție cu conul sertarului. Canelura practică în zona de etanșare a tubului are o buclă deschisă în scopul evacuării surplusului de material de etanșare și de gaz inert. Din experiența uzinelor care utilizează acest sistem, o cantitate mică de gaz inert (Ar) câțiva litri/min e suficientă pentru a asigura etanșarea. Acest sistem este unul dinamic deoarece oferă posibilitatea de a restabili etanșeitatea atunci când joncțiunea sertar-tub de imersie are scăpări, fără a scoate și înlocui tubul de protecție în timpul turnării.

2.3.3.2. Distribuitorul

Distribuitorul după cum îi spune și numele are rolul să distribuie/repartizeze oțel tuturor cristalizoarelor, fără pierderi majore de căldură, să permită impurităților grosiere să se ridice la suprafața băii de metal, precum și controlul fluxului de oțel în cristalizoare. De asemenea trebuie să ofere suficientă capacitate de stocare pentru schimbarea oalei în cazul turnării secvențiale [27, 34, 50, 51, 54].

Capacitatea distribuitorului este de regulă de 12 - 35tone, funcție de viteza de turnare, secțiunea semifabricatelor și numărul de fire turnate, iar înălțimea distribuitorului este astfel calculată încât asigură o adâncime suficientă a băii de oțel, iar atunci când oalele sunt schimbate, zgura sau compusul de acoperire să nu poată curge prin orificiile distribuitorului în cristalizoare. Practica a demonstrat că o adâncime adecvată a distribuitorului este de 600-700mm, pentru distribuitoare controlate cu dispozitive de oprire [34, 49, 50, 51, 53, 54, 55].

Materialele refractare utilizate pentru captușirea distribuitorului trebuie să

fie de calitate superioară, să permită o funcționare cât mai lungă, fără întreruperi.

Fundul și pereții laterali trebuie să fie drepecți, fără colțuri inutile pentru a evita eroziunea sau „înghețarea” oțelului (fig. 2.4.A)[34, 37, 53, 54].

Un distribuitor trebuie să aibă un jgheab de revărsare pentru a evita revărsarea necontrolată în cazul unui distribuitor cu funcționare liberă [16, 37, 54].

2.3.3.3. Tubul de imersie

Turnarea continuă a oțelului cu tuburi de imersie este practica generală pentru toate dimensiunile de semifabricat suficient de mari, acestea având rol multiplu, astfel [34, 37, 45, 54]:

- asigură intrarea oțelului lichid în cristalizor și îl protejează împotriva reoxidării de către oxigenul din aer, și absorbției de hidrogen și azot din aer;
- dirijează oțelul prin zgura de turnare/lubrefiere (oțelul lichid intră în cristalizor sub nivelul stratului de zgură), astfel încât nici o particulă de zgură nu este antrenată în oțel (deci se evită incluziunile exogene)– figura 2.9.

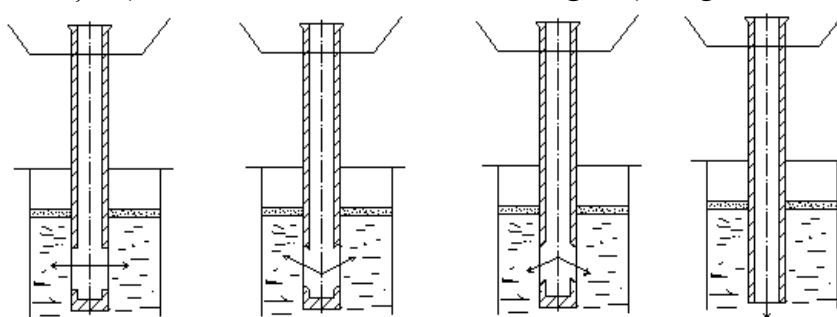


Fig. 2.9. Tipuri de orificii de turnare imersate în baia din cristalizor

Mărimea și forma tubului de imersie trebuie aleasă în concordanță cu condițiile instalației de turnare continuă și viteza de turnare.

Tubul de imersie asigură în condițiile de lucru obișnuite, ieșirea oțelului din acesta la 50 până la 80 mm sub nivelul oțelului din cristalizor, iar când distribuitorul este în poziție joasă la 150 până la 180 mm de la marginea superioară (a cristalizorului). Lungimea tubului de imersie este de asemenea importantă în context cu determinarea mișcării de ridicare a căruciorului distribuitorului, sau a distribuitorului și spațiul deasupra acestuia, care la rândul lui este limitat de către oală [26, 27, 37, 34, 38, 39, 45, 54].

Adâncimea de imersie optimă trebuie să fie cuprinsă între 100 -175 mm. Acest domeniu optim asigură o circulație a oțelului în cristalizor astfel încât să nu producă antrenarea de incluziuni sau praf de lubrefiere în crusta marginală a semifabricatului.

Diametrul interior al tubului de imersie trebuie să fie astfel ales, încât să se asigure o viteză de turnare corespunzătoare secțiunii profilului turnat. De exemplu, pentru vitezele de turnare de până la 700 kg/min este necesar un diametru al orificiului de 55 mm [26, 27, 34, 38, 39, 45].

Materialul refractar al tuburilor de imersie este supus condițiilor grele de lucru în timpul turnării, acestea trebuind să aibă rezistență mare la [34, 38, 39, 45]:

- șocurile termice, având în vedere temperaturile care variază atât pe lungimea, cât și grosimea lui;

- acțiunea corozivă a oțelului și a zgurii de turnare [26, 27, 38, 39, 42].

2.3.3.4 Cristalizoarele

Cristalizoarele reprezintă din punct de vedere tehnologic partea cea mai importantă a mașinilor de turnare continuă. Construcția lor, conductibilitatea termică, precizia de prelucrare și de asamblare, gradul de uzură în timpul funcționării, precum și modul de exploatare și întreținere, au un rol important în obținerea unei productivități maxime, a unei calități superioare a semifabricatelor, precum și a unei scoateri mari de semifabricate turnate (de regulă peste 96% la turnarea unei singure șarje și peste 99% la turnarea secvențială) [34, 38, 39, 54].

Cristalizorul determină forma secțiunii transversale a unui semifabricat turnat continuu, solidificarea oțelului lichid începând în cristalizor, iar crusta firului se formează și continuă să crească în timpul procesului de răcire în cristalizor (răcirea primară) și în zonele următoare de răcire prin pulverizarea apei (răcirea secundară) [34, 38, 39, 45, 54].

Cristalizorul preia pe la partea superioară, prin intermediul tubului de imersie oțelul lichid de la distribuitor (figura 2.10) în condiții precise de temperatură și debit, iar la partea inferioară se extrage cu viteză constantă (variații foarte mici) un semifabricat având o crustă solidificată cu grosime suficientă ca să reziste presiunii ferostatice a oțelului lichid din interior [26, 27, 34, 38, 42, 54].

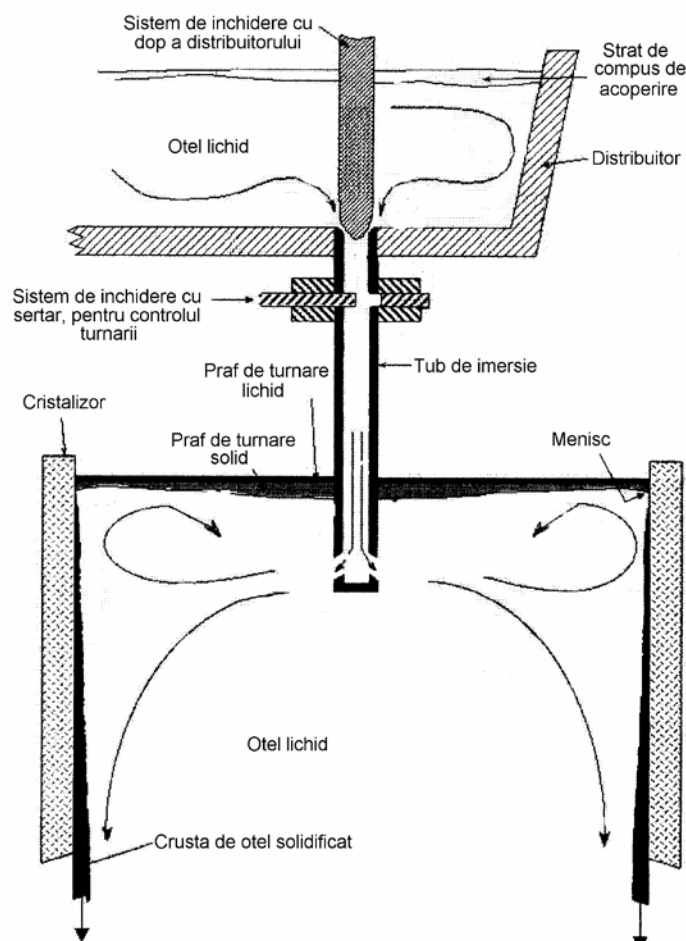


Fig. 2.10. Alimentarea cu oțel lichid a cristalizorului din distribuitor.

Poziția în care semifabricatul s-a separat complet de cristalizor determină lungimea utilă a acestuia, deoarece în continuare, este mai eficientă răcirea directă cu apă. [26, 27, 34, 38, 42, 54].

Ținând seama de înrăutățirea transmisiei de căldură în cazul unui timp mai îndelungat de deplasare a metalului în cristalizor, apare necesitatea ca cristalizorul să fie cât mai scurt posibil, pentru a putea trece cât mai repede la evacuarea căldurii prin stropire directă cu apă. [26, 27, 34, 38, 39, 53, 54].

Această tendință este limitată de anumiți factori de exploatare (de exemplu oscilarea nivelului de metal la turnarea secțiunilor mici) precum și de necesitatea micșorării vitezei de turnare, pentru a asigura obținerea unei cruste solide, suficient de rigide la ieșirea din cristalizor. Prin utilizarea unor cristalizoare mai lungi se poate mări viteza de turnare, rezultând însă o creștere a presiunii ferostatice și a înălțimii instalației [26, 27, 34, 38, 39, 45, 53, 54].

Datorită scăderii randamentului de extragere a căldurii, se impune o lungime cât mai mică a cristalizorului, astfel încât după răcire în cristalizor, firul turnat continuu este răcit direct cu apă, îmbunătățind considerabil condiția de transmitere a căldurii. [34, 38, 39, 42, 45, 54].

Lungimea cristalizorului este însă limitată în jos de rezistența la cald a crustei solidificate față de acțiunea presiunii ferostatice [34, 38, 39, 45, 54].

Limitarea în sus a lungimii este necesară, pentru a nu extinde construcția instalației pe verticală, ceea ce se reflectă în costul ei. Între cele două tendințe se găsește un punct optim de economicitate. Pentru vitezele actuale de turnare, respectiv capacitățile de răcire intensivă, lungimile uzuale ale cristalizoarelor variază între 600 – 800 mm (standard 700mm), corespunzând unei durate de trecere de 15 – 55 s și unei grosimi de crustă de 14 – 30 mm [34, 38, 39, 45, 54].

O altă metodă de mărire a vitezei de turnare constă în creșterea capacității de răcire a cristalizorului, adică a cantității de căldură evacuată pe unitatea de timp și pe unitatea de suprafață, mărindu-se deci viteza de formare a crustei. În scopul măririi capacității de răcire, cristalizoare se construiesc cu pereți subțiri și se adaugă o răcire eficientă cu apă. Pe de altă parte însă, pereții subțiri micșorează rigiditatea și durabilitatea cristalizorului [34, 38, 39, 42, 45, 54].

În scopul măririi capacității de răcire, cristalizoarele se prevăd cu o anumită conicitate (6-9%), laturile fiind mai mici în partea inferioară. În felul acesta se asigură o perioadă mai lungă de contact dintre metal și cristalizor [38, 39, 45, 54].

În regiunea de contact între metal și cristalizor, nu se poate evita frecarea; dacă s-ar utiliza cristalizoare fixe, deplasarea metalului ar produce tensiuni de întindere în crusta subțire solidă și ar apare fisuri (rupturi) în aceasta. Acest inconvenient se elimină prin aplicarea unei mișcări oscilante a cristalizorului, având o viteză de coborâre egală cu viteza de turnare sau mai mare (durata perioadei de coborâre fiind de 1-1,5 s) și o viteză de ridicare de 2-3 ori mai mare decât viteza de turnare, ciclu se repetă continuu în timpul turnării [38, 39, 45, 54].

Tensiunile de întindere în crusta solidificată nu pot fi eliminate integral și este important ca trecerea de la mișcarea de coborâre la cea de ridicare să se facă cât mai lină, deoarece în această poziție tensiunile din metal sunt maxime [42, 54].

Materialul din care este confecționat cristalizorul trebuie să facă față unor cerințe foarte diferite, trebuind să aibă o duritate satisfăcătoare, rezistență împotriva abraziunii și a acțiunilor mecanice, precum totodată și conductibilitate termică ridicată pentru a preveni ca temperatura suprafeței de lucru a cristalizorului să nu devină prea ridicată [26, 37, 38, 39, 42, 54].

Cuprul electrolitic nealiat, fără oxigen, cu 99,9% Cu este unul dintre materialele standard pentru cristalizoarele de turnare continuă. Cuprul electrolitic prezintă în oarecare măsură costuri mai scăzute ale materialelor în comparație cu cuprul aliat, dar ca un dezavantaj, are un conținut rezidual mai ridicat al fosforului provenit de la dezoxidare [38, 42, 53, 54].

Acest conținut de fosfor, conduce pe de o parte, la o temperatură înaltă de recristalizare, iar pe de altă parte scade conductibilitatea termică a cuprului. Astfel, rezistența înaltă la transferul de căldură al cuprului electrolitic duce la o sarcină termică considerabilă pe suprafața fețelor de contact cristalizor-semifabricat de oțel în curs de solidificare, în special în zona nivelului de turnare. În plus, cuprul electrolitic are o comportare comparativ nesatisfăcătoare la contracție și la fluaj sub sarcini termice alternative, care pot crea distorsiunea și deformarea țevii de cupru. Prin urmare, cuprul electrolitic mai este utilizat doar pentru cristalizoarele mari cu plăci [26, 27, 38, 45, 54].

Totuși, aceste dezavantaje joacă un rol minor doar în cazul cristalizoarele pentru profile rotunde, deoarece geometria lor este mai favorabilă și mărimea lor mai mică. Ca urmare, cuprul electrolitic nealiat servește ca material adecvat pentru cristalizoarele pentru profile rotunde [26, 27, 38, 45, 54].

Aliajele cuprului cu Cr (0,7%), Zr (0,06%), și mici adaosuri de Co, Be și Ag au fost testate în special pentru a găsi materialele cu proprietăți de contracție și fluaj îmbunătățite. Rezultate excelente au fost obținute cu cuprul care conține argint, acestea prezentând o conductibilitate termică foarte bună [38, 41, 42, 54].

Fără îndoială, acest material este foarte potrivit pentru cristalizoarele destinate turnării semifabricatelor rotunde. Totuși, trebuie verificat în acest caz singular dacă cheltuielile mai ridicate pentru materiale sunt compensate de avantajele suficient de mari pe durata de funcționare [38, 41, 42, 53, 54, 55].

Când se analizează aceste avantaje, nu trebuie ținut seama doar de durata de funcționare a unui cristalizor de cupru, ci și de siguranța funcțională mai bună datorată deformării mai mici a cristalizorului, ca și disponibilitatea mai mare a mașinii modificării mai reduse a cristalizorului [38, 41, 42, 53, 54].

În condițiile alierii cu crom se ating durității de 160 - 180HB [38, 42, 54].

Uzura cuprului poate fi evitată prin aplicarea de straturi protective pe suprafața cristalizorului. Aceasta este posibilă de exemplu, prin galvanizarea unui strat de 0,10 mm. de crom pe peretele de cupru, care asigură durității până la 100HB [38, 41, 42, 45, 53, 54].

Durabilitatea cristalizoarelor variază în limite foarte largi, date fiind influența factorilor implicați: calitatea și temperatura oțelului, intermitența turnării respectiv realizarea turnării secvențiale, randamentul ungerii, calitatea apei de răcire, respectarea parametrilor optimi de turnare. Cristalizoarele moderne tubulare

ating 100-400 turnări, iar cele cu plăci - executând operații intermediare de rabotare și rectificare - până la 1000 de turnări [37, 38, 42, 53, 54].

Cristalizorul determină forma secțiunii transversale a unui profil turnat. Solidificarea oțelului lichid începe în cristalizor iar crusta firului se formează și continuă să crească în timpul procesului de răcire în cristalizor și în zonele următoare de răcire prin pulverizarea apei.

În funcție de aplicația finală a semifabricatelor turnate, pot fi turnate o varietate de profile cu secțiuni transversale de diverse dimensiuni, de exemplu: profile pătrate, profile dreptunghiulare, profile cave, profile poligonale, profile rotunde [38, 42, 53, 54].

Constructiv se realizează trei tipuri de cristalizoare și anume: compacte, tubulare și cu plăci tubulare [37, 38, 42, 53, 54].

Cristalizoarele compacte sunt formate dintr-un bloc forjat sau turnat din cupru (lungime de 600 – 700mm) în care sunt prevăzute orificii pentru circulația apei de răcire, distribuite uniform și cât mai aproape de fața interioară pentru a favoriza răcirea, se utilizează destul de rar, și numai pentru blumuri mari, datorită capacității reduse de răcire, ceea ce limitează viteza de turnare. De menționat că, prezintă două dezavantaje majore: costuri ridicate de prelucrare și imposibilitatea de re prelucrare pentru suprafețele lor de lucru fără creșterea ariei secțiunii transversale a cristalizorului. Datorită posibilității de recondiționare, cristalizoarele compacte au o durabilitate ridicată, de 600-1000 șarje [37, 38, 45, 53, 54].

Cristalizoarele tubulare sunt foarte răspândite pentru turnarea țagtelor și blumurilor mici cu secțiunea pătrată și dreptunghiulară (sub 200 x 200 mm) și a țagtelor rotunde cu diametre până la 300mm destinate țevilor. Aceste cristalizoare sunt formate dintr-o țevă de cupru înconjurată de o carcasă prin care circulă apa de răcire. Deoarece au capacitate mare de răcire, cristalizoarele tubulare sunt foarte frecvent utilizate pentru turnarea cu viteză mare a țagtelor [38, 45, 53, 54].

Pentru a evita lipirea crustei de oțel de peretele cristalizorului și a reduce pierderile de căldură prin suprafața superioară a băii de oțel din cristalizor, se folosesc prafurile de turnare continuă (prafuri unguente) [34, 45, 53, 54].

La adaosul prafului de turnare în cristalizor, acesta trebuie să se răspândească repede și uniform pe suprafața oțelului, acoperind astfel în întregime oglinda de metal. În acest mod se formează un strat izolator care reduce substanțial pierderile de căldură prin radiație. De asemenea în urma proceselor care au loc la suprafața băii metalice, se formeze un strat relativ subțire de zgură lichidă, capabilă să absoarbă incluziunile nemetalice din oțel și în același timp să curgă în jos peste meniscul de metal, în spațiul dintre fir și peretele cristalizorului, astfel încât se asigură o ungere corespunzătoare a cristalizorului [38, 41, 42, 45, 54].

Praful de turnare continuă, respectiv zgura formată nu trebuie să degaje gaze toxice, să carbureze și să impurifice oțelul [41, 42, 45, 54].

Pentru a evita lipirea crustei semifabricatului de peretele cristalizorului, acesta este supus unei mișcări de oscilații (în sus și în jos). Oscilația cristalizorului este efectuată de către un motor electric, prin oscilator sau placa de oscilație [37].

Oscilația cristalizorului influențează semnificativ aspectul suprafeței

semifabricatului generând pe aceasta urme de oscilație, dar pe de altă parte acestea sunt de dorit (evident în anumite limite) din punct de vedere metalurgic, deoarece ele au o influență favorabilă asupra cedării căldurii spre peretele cristalizorului (se reduce suprafața specifică de contact cu cristalizorul) [37, 38].

În cazul în care suprafața semifabricatului /firului ar fi complet plată, acesta cedează inițial o cantitate pre mare căldură, ceea ce produce o răcire și contracție prea de timpuriu a acestuia. Ca urmare a acestui fenomen, în practică prin pierderea contactului dintre suprafața semifabricatului și peretele cristalizorului, se ajunge la o distribuție neuniformă a tensiunilor și căldurii în semifabricat, ceea ce de regulă determină fisurarea, respectiv ruperea. În aceste condiții, durata totală de contact între fir/semifabricat și cristalizor crește datorită urmelor de oscilație, cedarea de căldură este satisfăcătoare și uniformă, fără să rezulte distorsiunea fisurarea sau ruperea crustei. [37, 38, 41, 42, 45, 53, 54].

Crusta de oțel care se formează în interiorul cristalizorului se contractă în timpul solidificării și răcirii ulterioare. În zona superioară a cristalizorului, crusta inițială a firului este foarte subțire și fierbinte și prin urmare necesită să fie susținută de peretele cristalizorului. În zona inferioară a cristalizorului, crusta este destul de stabilă/rezistentă pentru a se susține, dar nu este necesar, cu toate acestea, să fie în contact cu peretele cristalizorului pentru îndepărtarea în continuare a căldurii [37, 38, 39, 40, 45, 54].

În practică o conicitate de 1,0-1,2% s-a dovedit utilă pentru un cristalizor rotund de 700mm. lungime și pentru viteze de turnare de până la 3,5m/min [38].

Când se toarnă la viteze mari ar putea fi util să nu se aplice o conicitate liniară, de exemplu, o conicitate constantă pe lungimea totală a cristalizorului, ci una variabilă, la care se aplică o valoare mai mare a conicității în zona superioară a cristalizorului și una mai mică în secțiunea inferioară [37, 38, 42, 54].

O toleranță de $\pm 0,1$ mm. pentru măsura interioară a cristalizorului ar trebui să fie la cristalizatoarele noi [38, 42, 54].

În cazul infiltrării apei între tubul cristalizorului și armătura pentru apă, cristalizorul trebuie schimbat. De obicei, durata de funcționare a tubului cristalizorului este de aproximativ 20.000 tone de oțel turnat, după care, tubul este scos din cristalizor și dat la deșeuri fără re-prelucrare [37, 38, 41, 42, 53, 54].

Sistemul de control al nivelului cristalizorului urmărește în permanență nivelul oțelului din cristalizor și în funcție de datele primite, controlează debitul (curgerea) de oțel din distribuitor în cristalizor prin controlarea deschiderii orificiului tubului distribuitorului [53, 55].

2.3.3.5 Zona de răcire secundară, elemente de susținere, extragerea, debitarea și îndreptarea semifabricatului

Scopul răcirii secundare (figura 2.11. și 2.4.A) după cum îi spune și numele, este acela să continue răcirea firului după ce a ieșit din cristalizor (unde a avut loc răcirea primară) și să asigure solidificarea completă a secțiunii transversale a firului, precum și ghidarea în bune condiții a acestuia [38, 41, 42, 45, 53, 54].

Totuși, trebuie avut în vedere faptul că viteza procesului de avansare a

frontului de solidificare este limitată de anumite restricții tehnice, și anume: conductibilitatea termică în crusta firului, eficiența de răcire a agentului răcitor (apă, aer) și nu în ultimul rând, considerații de calitate a semifabricatului (compoziția chimică a oțelului, gradul de aliere, destinația produsului) [53, 54].

Răcire secundară se realizează prin stropire directă cu apă sub presiune – figura 2.12, prin duze, capabilă să străbată stratul de abur format prin evaporarea apei, precum și să asigure contactul continuu și permanent apă – metal (suprafața semifabricatului). Regimul de răcire al oțelurilor impune structurarea zonei în mai multe subzone, aceasta este favorabilă unui program larg de secțiuni turnate, pe de o parte, iar pe de altă parte conferă elasticitate instalației [38, 42, 45, 53, 54].



Fig. 2.11. Ieșirea semifabricatului TC din zona de răcire secundară. [53]

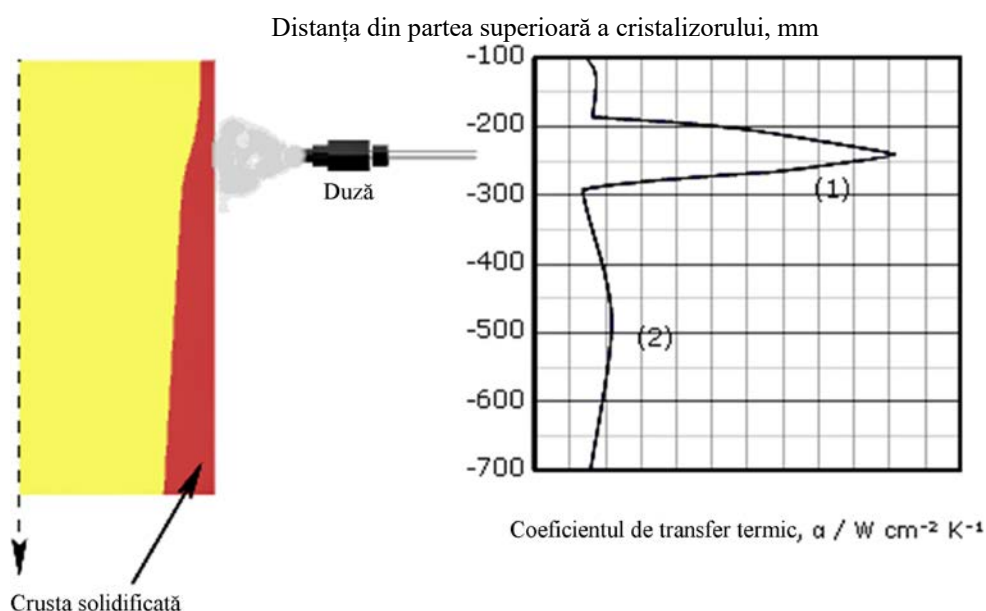


Fig. 2.12. Creșterea grosimii crustei, prin stropire cu apă [53].

Eficacitatea răcirii în zona secundară este determinată atât de debitul de apă utilizat (direct proporțional cu vitezei de turnare), cât și de repartizarea apei de răcire pe suprafața semifabricatului. Stropirea cu apă trebuie să asigure răcirea

continuă, corespunzătoare unei căderii constante de temperatură de la 1200-1300°C la ieșire din cristalizor a semifabricatului, la 700 – 900°C la capătul zonei secundare [38, 41, 42, 45, 53, 54].

Căderea de temperatură se realizează mai ușor în cazul secțiunilor pătrate sau rotunde, unde zona lichidă se micșorează repede. Conținutul de căldură în cazul bramelor este în schimb ridicat un timp mai îndelungat, ceea ce explică existența conului de solidificare și în agregatul de extragere [53, 54, 55].

Zona de răcire secundară începe imediat după ieșirea semifabricatului din cristalizor și de regulă se extinde cu 30% (cel mult până la 50%) din lungimea miezului lichid, fiind divizată în subzone controlate individual (frecvent 4 subzone: 0; 1; 2 și 3). Răcirea este controlată fiind urmărită în permanență temperatura suprafeței firului, aceasta scăzând uniform în direcția de turnare și trebuie să fie uniformă pe circumferința firului [53, 54, 55].

Debitul apei pulverizate scade de la cristalizor în direcția de turnare, fiind mai mari în partea superioară, asigurându-se astfel creșterea rapidă a crustei firului și implicit a rezistenței mecanice la cald a acesteia (trebuie acordată atenție deosebită temperaturii în zona de îndreptare a firului) [53, 54, 55].

Realizarea unui timp redus de solidificare prin răcirea secundară intensă este determinat de conductibilitatea termică scăzută a crustei de oțel.

O răcirea foarte intensă a suprafeței crustei nu conduce la un gradient de temperatură care scade constant în interiorul crustei, ci la o scădere bruscă a curbei de temperatură la suprafața exterioară a firului, ceea ce cauzează tensiuni termice locale în crustă și în consecință fisurare internă și de suprafață în fir. Unele oțeluri cu rezistență ridicată sunt deosebit de sensibile în această privință [53, 54, 55].

Sistemul de răcire prin pulverizare este divizat în bucle și zone controlate individual [53, 55].

Duzele de pulverizare, unghiul de pulverizare, distanțele dintre duze și presiunea apei trebuie să fie în așa fel reglate încât o temperatură uniformă sau aproape uniformă a suprafeței să se realizeze în jurul periferiei firului la un anumit nivel. Mai multe zone de răcire sunt aranjate în succesiune de-a lungul firului și sunt controlate pentru a asigura scăderea debitelor de pulverizare și eficiența răcirii în concordanță cu viteza și cu lungimea miezului lichid al firului [53, 54, 55].

Cantitatea de apă de pulverizare necesară depinde de viteza de turnare. Se presupune un punct de lucru reprezentând debitul la viteza maximă de turnare ca bază de referință. Modificările debitului de apă sunt în proporție liniară față de viteza de turnare. Unitatea de control calculează o valoare de referință care servește ca multiplicator pentru a determina debitul actual la fiecare viteză de turnare [53].

Pulverizarea este menținută constantă la un nivel minim preselectat. Acesta este necesară pentru a menține un minim al răcirii chiar la viteze scăzute de turnare a oțelului [53, 54, 55].

Toate zonele de pulverizare sunt supravegheate pentru a putea detecta duzele înfundate, țevile sau furtunurile sparte. Din acest motiv, sistemele de control compară continuu raportul teoretic presiune în funcție de debit al fiecărei zone (curba caracteristică a duzei) cu presiunile și debitele actuale ale apei. Se inițiază o

alarmă dacă apar discrepanțe. Sunt supravegheate și debitele actuale și cele dorite ale apei de răcire [53, 54, 55].

Zona cajelor de extragere - îndepărtare realizează pe lângă funcțiunile de extragere și îndreptare a firului și operația de introducere (armare) a barei false în poziția de start turnare. În acest scop el este prevăzut cu role libere, răcite la interior sau stropite cu apă, viteza lor periferică reprezentând propriu-zis viteza de turnare [53, 54, 55].

Creșterea numărului de perechi de role motrice reduce solicitarea mecanică asupra firului turnat [53, 54, 55].

Bara falsă obturează partea de jos a cristalizorului la începutul turnării și antrenează firul turnat până la angajarea lui între rolele de extragere. La ieșirea din zona cajelor de extragere – îndreptare, capul barei false trebuie desprins și îndepărtat de semifabricatul TC [53, 55].

Semifabricatul TC este antrenat de bara falsă pe tot traseul de la cristalizor – zona de răcire secundară (camera de ceață) – sistemul de îndreptare tragere.

În prezent la instalațiile cu fir curb bara este executată din elemente articulate de lanț cu plăci iar capul de prindere este detașabil, cu profil de gheară, ceea ce permite decuplarea ușoară printr-o mișcare de ridicare [53, 54].

Capul de prindere se execută din oțel de calitate sau slab aliat, cu 0,2 - 0,25% C și înainte de introducerea în cristalizor, se preîncălzește la 200°C, se acoperă cu mortar refractar și grafit. Capul de prindere pătrunde în cristalizor deasupra muchiei inferioare a acestuia cu 100 - 150 mm.

Interspațiile între capul de prindere și pereții cristalizorului se închid etanș cu fire de sticlă sau ceramice și se acoperă cu bucăți de tablă. Pentru accelerarea solidificării primei porții de oțel turnat și în vederea creării spațiului de contracție în cavitatea capului se încarcă fâșii de tablă. [53, 54, 55].

Debitarea firului turnat continuu la lungimile de utilizare se execută prin tăiere mecanică sau cu oxigen. În prezent sunt frecvent răspândite instalațiile de tăiere cu oxigen cu puritate minimă de 99,5% și la presiunea de 12 – 20at.[54, 55].

Consumul de oxigen depinde de secțiunea și lungimile semifabricatelor tăiate și variază între 0,2 - 0,3 Nm³/t pentru țagle și blumuri de 6m lungime și 0,8 – 1 Nm³/t pentru țagle și blumuri și brame de 6m, tăierea având loc la 800°C, odată cu scăderea temperaturii consumul specific de oxigen crește [53, 54, 55].

Pentru instalațiile de tăiere cu oxigen se utilizează combustibili cu aprindere lentă - gaz natural, propan și în cazuri de necesitate acetilenă sau hidrogen. Viteza de tăiere depinde de temperatură și grosimea semifabricatului, fiind la temperatura uzuală de 800°C de 0,75 m lățime/min pentru 100 mm grosime, de 0,55 m/min pentru 200 mm [53, 54, 55].

2.3.3.6 Turnarea secvențială

La primele instalații de turnare continuă a oțelului, regimul de lucru era discontinuu în sensul că după fiecare șarjă, instalația se golea și se pregătea pentru șarja următoare. Ca urmare era necesară golirea completă de oțel lichid a distribuitorului, introducerea barei de pornire și etanșarea capului acesteia în

cristalizor, precum și pregătirea distribuitorului cu elemente noi pentru componentele solicitate (dop și orificiul de turnare). Durata totală a acestor operații era de 15-60 min., funcție de tipul acestor instalații, ceea ce limita timpul efectiv de lucru la 50% din total [37, 38, 41, 42, 45, 53, 54, 55].

Prin introducerea unor materiale refractare de calitate superioară și prin unele măsuri constructive și de exploatare, a devenit posibilă turnarea fără întrerupere a unui număr mai mare de șarje, procedeu denumit turnare secvențială.

Actualmente pe plan mondial dar și național, turnarea secvențială reprezintă tehnologia standard pentru toate instalațiile de turnare continuă (diferă însă numărul șarjelor turnate într-o secvență și frecvența secvențelor), care sunt prevăzute cu dispozitive de schimbare rapidă a oalei de turnare și a distribuitorului.

Largă răspândire a turnării continue secvențiale a oțelului turnat se datorează următoarelor avantaje [53, 54, 55]:

- mărirea productivității și a randamentului în urma reducerii timpilor pauză între șarje;
- reducerea consumului specific de metal (respectiv creșterea scoaterii de metal bun) datorită reducerii resturilor de la șarje și șutajelor de la capete;
- un echilibru termic mai favorabil al mașinii de turnare continuă, în mod deosebit în ceea ce privește distribuitorul;
- cheltuieli de întreținere și exploatare mai mici (în special pentru rolele intermediare și manoperă);
- reducerea cheltuielilor cu manopera.

Trebuie însă avut în vedere faptul că, extinderea turnării continue secvențiale a oțelului la un număr mare de șarje, impune și o serie de condiții, în special de ordin tehnologic (inclusiv disciplina tehnologică), dintre care cele mai semnificative sunt:

- comenzi mari din aceeași marcă de oțel și dimensiune de semifabricat;
- sincronizarea foarte bună între ciclurile de elaborare a cuptoarelor (inclusiv a instalațiilor de procesare în oală) și ciclurile de turnare continuă;
- certitudinea și constanța compoziției chimice, precum și a temperaturii de turnare a oțelului, pentru a putea fi dirijat mereu la turnarea continuă și a omogeniza/amesteca (după caz) șarjele;
- funcționarea corectă a instalației de turnare continuă pentru a reduce la minimum opririle (funcționarea în limitele prevăzute a parametrilor tehnologici);
- calitatea superioară a cristalizoarelor (material, proiectare, execuție), exploatarea conform instrucțiunilor tehnologice, astfel poate avea loc turnarea prelungită, asigurând o transmisie constantă de căldură și păstrarea formei inițiale.

2.4. Concluzii

Din studiul prezentat se desprind următoarele concluzii:

- în prezent pe plan mondial, majoritatea oțelărilor electrice sunt echipate cu cuptoare cu arc electric de mare putere tip E.B.T., instalații de procesare în oală și mașini de turnare continuă;

-
- în România ca urmare a restructurării industriei siderurgice, oțelăriile electrice sunt echipate cu cuptoare cu arc electric de mare putere tip E.B.T., instalații de procesare în oală (LF și VD) și mașini de turnare continuă (MTC);
 - durata șarjei la asemenea cuptoare este cuprinsă între 40 – 80 min (foarte apropiată de cea la convertizoarele cu oxigen);
 - productivitatea în medie 100t/h;
 - în fluxul de fabricație este prevăzută procesarea oțelului prin metalurgie în oală, de regula în instalații de tip LF, de cele mai multe ori în flux cu instalații de vidare (VD);
 - durata procesării în asemenea instalații este cuprinsă între 40 – 100 minute, fiind influențată de structura secvenței de turnare;
 - se tinde spre creșterea cantității de oțel turnat într-o secvență (respectiv a numărului de oale turnate);
 - instalațiile moderne de turnare asigură turnarea unei game variate de semifabricate de diferite secțiuni poligonale, circulare și produse plate;
 - tendința actuală este de a se turna semifabricate cu secțiune cât mai apropiată de cea finală.

CAPITOLUL 3

STUDIUL DIN LITERATURA DE SPECIALITATE PRIVIND REDUCEREA GAZELOR DIN BAIA DE OȚEL

3.1. Considerații tehnologice

Îndepărtarea gazelor din baia de oțel este o problemă permanentă a inginerilor metalurgi, apărută odată cu dezvoltarea producției de oțel, astfel încât acest proces tehnologic este tot mai mult studiat în ultimii ani, mai ales în cadrul operației de rafinare.

Minimizarea conținutului de gaze (H, N) ca obiectiv major în programele de fabricație a oțelurilor durabile, trebuie legată de cunoașterea influenței pe care o exercită gazele asupra calității oțelului, apreciată prin valorile diverselor caracteristici calitative, respectiv comportarea în exploatarea acestora.

Punerea în funcțiune (1952) și perfecționarea tehnologiilor de elaborare a oțelului în convertizoarele cu oxigen, a determinat scoaterea în timp din funcțiune a cuptoarelor Siemens – Martin, deci ca urmare a rămas un singur tip de flux integrat pentru elaborarea oțelului (cocserie – aglomerare – furnale - convertizoare cu oxigen - turnare continuă - laminare).

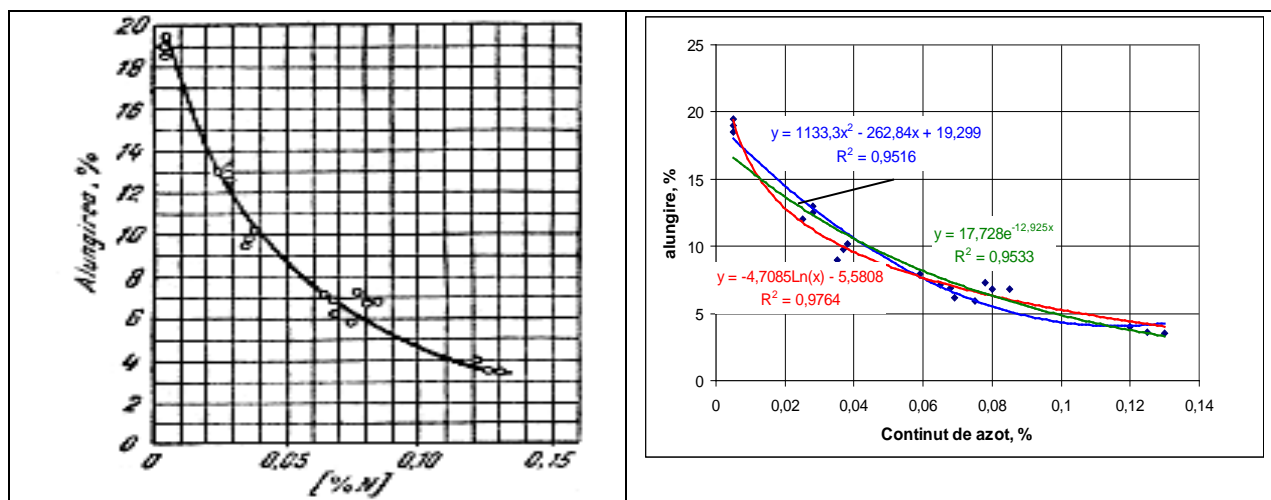
De asemenea, o mare parte din procesele care s-au desfășurat în agregatele de elaborare au fost transferate în oala de turnare, în mod deosebit în instalații cu oala de turnare și cu aport de căldură (ex. LF), sau/și de vidare fără aport de căldură (VD, RH, DH), respectiv cu aport de căldură (VAD, VOD).

Perfecționările constructive din domeniul cuptoarelor cu arc electric, precum și a tehnologiilor de elaborare, au determinat creșterea productivității acestor agregate, ajungând să concureze din acest punct de vedere convertizoarele cu oxigen. Evident în această situație s-au studiat procesele care au fost transferate total sau parțial din cuptor în oală.

Așa cum s-a prezentat și în capitolul anterior, introducerea în fluxul tehnologic de elaborare a oțelului în cuptorului cu arc electric tip EBT și a „metalurgie în oală”, a produs o adevărată revoluție tehnică în siderurgie.

Cu toate că pe parcursul anilor problema rafinării, inclusiv a conținutului de gaze a fost mereu analizată, sunt încă aspecte care mai necesită cercetări. Sunt precizate sistemele binare și respectiv ternare pentru zgurile sintetice reducătoare, iar în prezent dispunând de tehnica modernă de analiză chimică se pot stabili corelații între caracteristicile zgurii, parametrii barbotării cu argon și cei ai vidării asupra conținutului de gaze în oțel după vidare, cantitatea de gaze îndepărtată și randamentul de eliminare a acestora. La fel ca oxigenul, atât hidrogenul cât și azotul sunt impurități pentru produsele siderurgice, dar influența lor negativă se manifestă mai ales în oțel. În unele cazuri, azotul este element de aliere (de exemplu, în oțelurile inoxidabile, în care poate înlocui parțial nichelul) și are efect

pozitiv asupra rezistenței la uzură a pieselor. În sensul celor prezentate anterior, în figura 3.1 se prezintă influența conținutului de azot din oțel asupra unei caracteristici de plasticitate a oțelului [15, 20].



a) b)
Fig.3.1. Influența azotului asupra alungirii relative la oțeluri:
 a) din literatură [11]; b) prelucrare date din literatură[15].

3.2. Influența gazelor asupra oțelului

3.2.1. Influența hidrogenului

Hidrogenul are o influență negativă asupra oțelului manifestată prin aceea că acesta [13, 15, 16, 25, 32]:

- constituie una din cauzele apariției suflurilor în lingouri și piese turnate din oțeluri calmate;
- contribuie la apariția defectului numit „fulgi” (fisuri foarte mici cu formă stelară) în oțelurile aliate cu crom și nichel, care reduc substanțial rezistența la oboseală a pieselor din oțel;
- micșorează plasticitatea și tenacitatea oțelului;
- afectează proprietățile electrice și magnetice ale oțelurilor.

3.2.2. Influența azotului

Influența negativă a azotului în oțeluri se manifestă în următoarele considerente [13, 15, 16, 25, 29, 32]:

- reduce plasticitatea și tenacitatea oțelului;
- în asociere cu hidrogenul contribuie la apariția suflurilor în oțelul turnat;
- provoacă fenomenul de îmbătrânire a oțelului prin depunere de nitruri la limitele grăunților structurali.

3.3. Surse de impurificare a produselor siderurgice

În timpul proceselor de elaborare a oțelului în cuptoare de tip E.B.T. există diferite surse de gaze, care în anumite condiții de presiune și temperatură fac posibilă absorbția acestora în baia metalică.

3.3.1. Surse primare de hidrogen și azot

Din studiul literaturii de specialitate [16, 25], se poate considera ca principale surse de hidrogen și azot în oțelăriile electrice (cuptoare cu arc electric tip EBT) următoarele:

- încărcătura metalică propriu-zisă (sortimentele de deșeuri feroase, fonta, feroaliaje, burete de fier, pelete metalizate, aglomerat metalizat etc.);
 - umiditatea încărcăturii metalice, neexistând întotdeauna posibilitatea tehnică de preîncălzire a încărcăturii din bene;
 - adaosurile necesare formării zgurii, minereu, calcar, var, topex etc., precum și modul de aprovizionare cu var și var dolomitic, acestea pe timpul transportului și staționării în buncărele de stocare absorb umiditatea din aerul atmosferic (mai ales acolo unde nu se dispune de fabrică de var proprie), funcție de durata de staționare, de granulație, de gradul de ardere;
 - atmosfera cuptorului, datorită metodelor constructive (panouri, boltă și alte elemente răcite cu apă) pot apărea cazuri accidentale de spargere a acestor elemente și astfel pentru scurte perioade de timp, dar cu presiuni mari de lucru, apa de răcire pătrunde în atmosfera de elaborare a agregatului.
 - efectul ionizant al atmosferei cuptorului generat de arcului electric, care contribuie la dizolvarea N și H mai ales în cazul unui strat foarte subțire de zgură.
- Conținutul de hidrogen și azot în diferite materiale metalice folosite sau produse în siderurgie este dat în tabelul 3.1 [25].

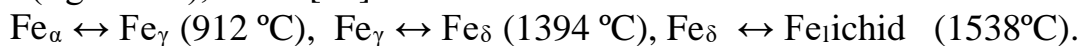
Tabelul 3.1. Conținutul de hidrogen în fontă, fierul vechi și feroaliaje

Materialul	[%H]	[%N]
Fonta	0,001...0,0025	0,005
Fierul vechi	0,0005...0,0008	0,003...0,005
Feromanganul	0,0015...0,0030	0,02...0,05
Ferosiliciul	0,0007...0,0035	0,005...0,01
Silicomanganul	0,0035...0,0070	0,019...0,039
Silicocalciul	0,0035	0,03
Ferocromul	0,0005...0,0015	0,012...0,043
Nichelul termic	0,008...0,009	0,003

3.4. Solubilitatea hidrogenului și azotului în aliaje feroase

3.4.1. Solubilitatea gazelor în fierul solid

Solubilitatea hidrogenului și azotului în fierul solid crește cu temperatura, dar nu monoton, ci cu salturi pozitive și negative la temperaturile transformărilor de fază (figura 3.2), astfel [20]:



3.4.2. Solubilitatea hidrogenului și azotului în fierul lichid. Influența temperaturii și presiunii.

Dizolvarea hidrogenului și azotului (în general a gazelor biatomice) în fierul lichid are loc după reacțiile [11, 20, 27, 28]:

$$1/2 \{ \text{H}_2 \} \leftrightarrow [\text{H}]; K_H = \frac{\alpha_{[\text{H}]}}{P_{\text{H}_2}^{1/2}} = \frac{f_{\text{H}}[\% \text{H}]}{P_{\text{H}_2}^{1/2}} \quad (3.1)$$

$$1/2 \{ \text{N}_2 \} \leftrightarrow [\text{N}]; K_N = \frac{\alpha_{[\text{N}]}}{P_{\text{N}_2}^{1/2}} = \frac{f_{\text{N}}[\% \text{N}]}{P_{\text{N}_2}^{1/2}} \quad (3.2)$$

Din (3.1) și (3.2) rezultă că:

$$[\text{H}] = \frac{K_H}{f_{\text{H}}} \sqrt{P_{\text{H}_2}} \quad (3.3)$$

$$[N] = \frac{K_N}{f_N} \sqrt{P_{N_2}} \quad (3.4)$$

Variația cu temperatura a constantei de echilibru pentru reacțiile (3.1) și 3.2) are loc conform relațiilor [32, 33]:

$$\lg K_H = -\frac{1745}{T} - 1,72 \quad (3.5)$$

$$\lg K_N = -\frac{788}{T} - 1,25 \quad (3.6)$$

Relațiile (3.5) și (3.6) pot fi reunite într-o relație generală, valabilă pentru dizolvarea oricărui gaz biatomic (legea lui Sievert) [32, 33]:

$$[G] = \frac{K_G}{f_G} \sqrt{P_{G_2}} \quad (3.7)$$

unde: $[G]$ – conținutul de gaz în metal;

K_G – constanta de dizolvare a gazului;

P_{G_2} – presiunea parțială;

f_G – coeficientul de activitate al gazului dizolvat în metal.

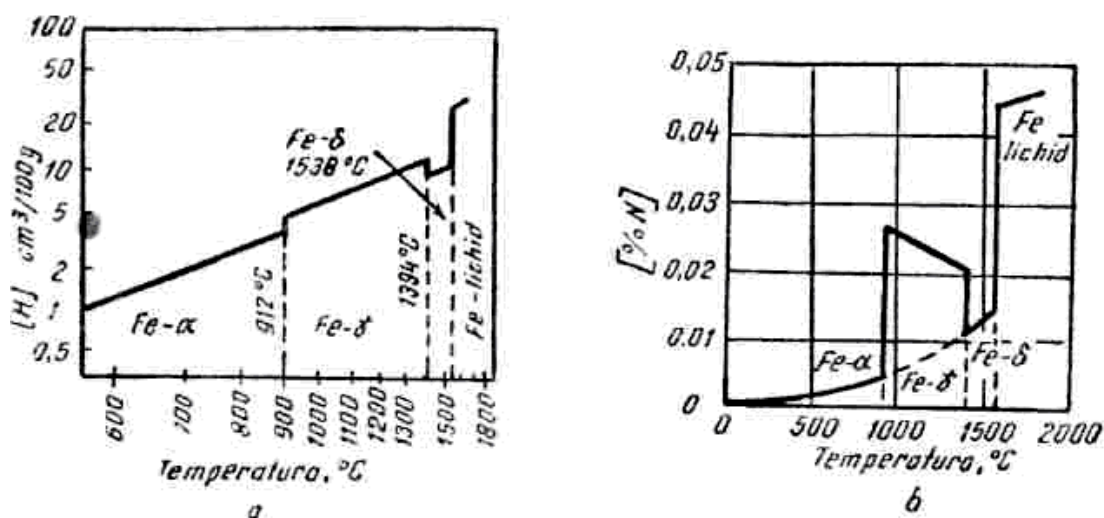


Fig.3.2. Solubilitatea hidrogenului (a) și azotului (b) în fierul solid[16].

Din analiza relațiilor (3.3) și (3.4) rezultă că solubilitatea hidrogenului și azotului crește cu creșterea temperaturii (K_H și K_N cresc cu temperatura) și presiunii (P_H și P_N sunt dependente de presiune) [32, 33];

La temperatura de 1600°C (temperatură de referință la cercetarea proceselor ce au loc în oțelul lichid), fierul pur dizolva max.: 0,0027% H (27ppm, respectiv 30cm³/100g Fe) și 0,045% N (450ppm, respectiv 36cm³/100g Fe) [25].

3.4.3. Solubilitatea hidrogenului și azotului în fierul lichid. Influența diferitelor elemente asupra solubilității.

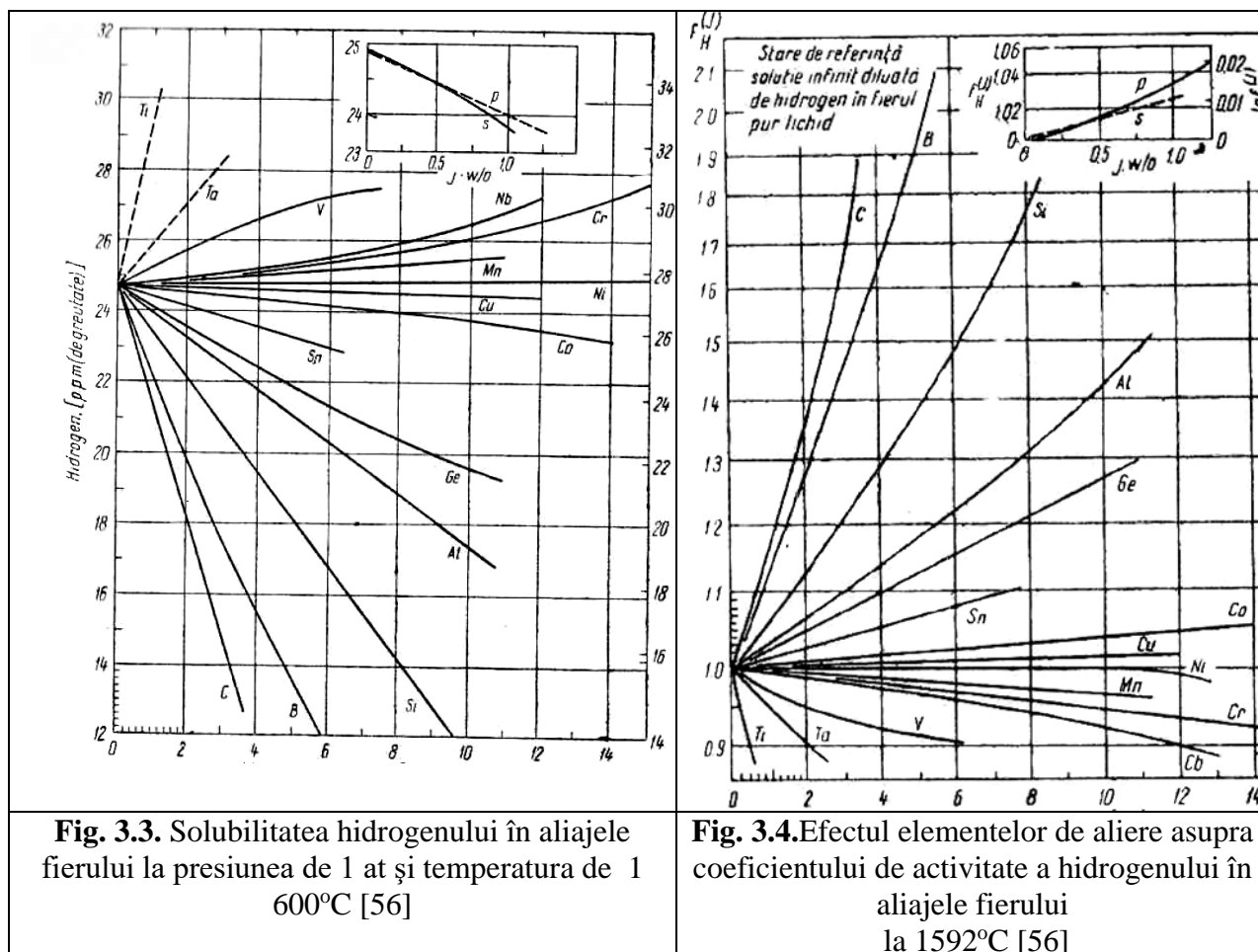
În afară de presiune și temperatură, solubilitatea gazelor în metalele lichide este influențată și de compoziția și gradul de aliere al respectivului metal.

Solubilitatea unui gaz într-o topitură metalică este cu atât mai mare cu cât activitatea gazului în soluție este mai mică și invers, o valoare a activității gazului dizolvat reprezintă expresia slabei sale solubilități în topitura respectivă.

Față de solubilitatea în fierul pur, în aliajele pe bază de fier, solubilitatea hidrogenului crește sau scade în funcție de natura și cantitatea elementului adăugat.

În figura 3.3 este reprezentată influența diferitelor elemente din baie asupra solubilității hidrogenului în aliajele binare lichide ale acestora cu fierul. Se observă că, în ordine descrescătoare a influenței lor, Ti, Ta, V, Nb, Cr, Mn și Ni măresc solubilitatea hidrogenului în fierul lichid aliat cu aceste elemente, în timp ce Cu, Co, Sn, Ge, Al, Si, B și C micșorează solubilitatea [20, 25, 32, 33, 56].

În figura 3.4 este reprezentată influența elementelor de aliere asupra valorii coeficientului de activitate f^i_H a hidrogenului dizolvat în soluțiile binare ale fierului cu aceste elemente.



Alierea cu elementele care în conformitate cu fig.3.3 măresc solubilitatea hidrogenului, determină valori subunitare ale coeficientului de activitate, în timp ce elementelor care micșorează solubilitatea hidrogenului le corespund valori supraunitare ale coeficientului de activitate.

În figura 3.5 și figura 3.6 este reprezentată influența elementelor de aliere asupra solubilității azotului în aliajele binare lichide ale fierului, și respectiv influența aceluiași elemente asupra coeficientului de activitate f^i_N .

Mecanismul influenței diferitelor elemente de aliere asupra solubilității azotului în fier/oțel este strâns legată de configurația electronică a elementelor respective și este asemănător celei care stă la baza modificării solubilității carbonului. Se presupune că elementele care au în stratul d mai puțini electroni decât fierul măresc solubilitatea azotului (Cr, V, Mn etc), iar cele care au în acel substrat mai mulți electroni decât fierul (Cu, Ni, Mo, Cu, Sn, Si, C, P etc)

micșorează solubilitatea azotului în fier/oțel [25, 32, 33, 56].

Dizolvarea azotului în fier nu este un simplu proces chimic, ea fiind condiționată de interacțiunea electronilor d ai fierului cu cei de tip p a azotului.

Conform teoriei sibotaxisurilor, în topiturile metalice feroase există un echilibru dinamic între atomi Fe_I din interiorul sibotaxisurilor și atomii Fe_{II} din afara lor ($Fe_I - Fe_{II}$), acesta deplasându-se spre dreapta cu creșterea temperaturii. Interacțiunea azotului cu elementele de aliere are loc în special cu atomii de Fe_{II} , care dispun de de mai multă energie decât atomii de Fe_I . Atomii de azot cu trei electroni p cu spinii necompensați, a căror interacțiune cu electronii d ai Fe_{II} este aceea care condiționează dizolvarea azotului.

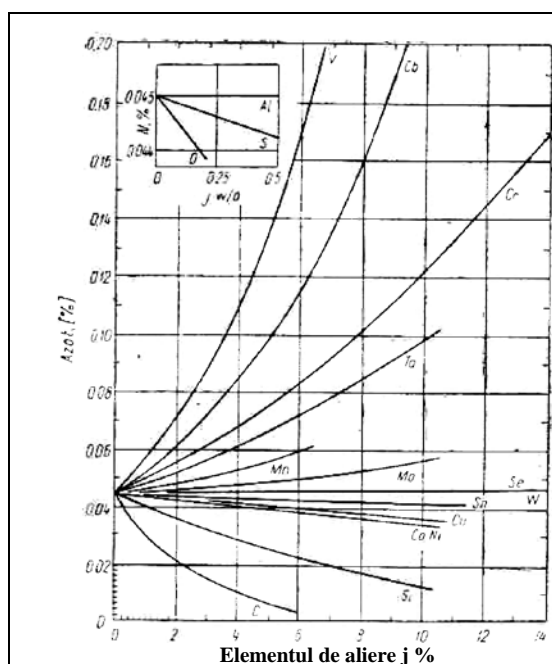


Fig. 3.5. Solubilitatea azotului în aliajele fierului la presiunea de 1 at și temperatura de 1600°C [56]

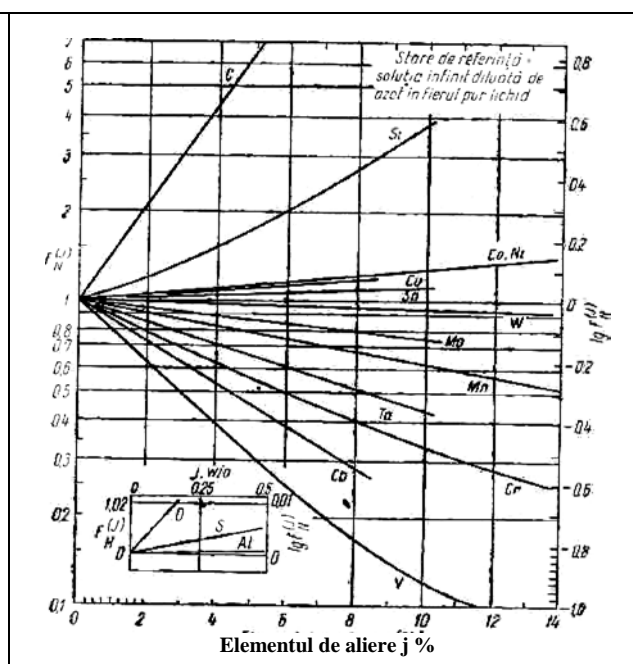


Fig. 3.6. Efectul elementelor de aliere asupra coeficientului de activitate a azotului în fier la 1600°C [56].

Deci dizolvarea azotului în fier are la bază un mecanism *donor-acceptor*, ca și dizolvarea carbonului.

Întrucât carbonul este „*donor*” de electroni, el micșorează deficitul de electroni în substratul d al Fe_{II} și astfel micșorează solubilitatea azotului, mărindu-și în totodată coeficientul de activitate (similar acționează și Si, Ge, Sn, Al, Ga, In).

Pentru oțeluri nealiat a fost dedusă expresia [25]:

$$\text{Lg}[\%N] = -10^3 T^{-1} - 0,86 - 0,06[\%Si] - 0,24[Si] + 0,015[\%Mn] \quad (3.8)$$

În oțelurile lichide nealiat, conținutul de hidrogen este cuprins în limitele 0,0003-0,0007% (3,3-7,7 cm³/100g, iar conținutul de azot între 0,003-0,005% (3,75—6,3cm³/100g) [25].

3.4.4. Trecerea hidrogenului și azotului din atmosferă în oțelul lichid

În general, hidrogenul și azotul trec din atmosfera gazoasă a agregatului de elaborare în oțel nu direct, ci prin intermediul zgurii. Excepție de la acest fenomen fac procedeele bazate pe suflarea oxigenului sau a amestecurilor gazoase (oxigen, argon, abur etc.) direct în oțelul lichid (procedeul L.D și variantele lui A.O.D.,

V.O.D. etc.) și în mică măsură cuptoarele electrice unde în zona centrală arcele electrice dau la o parte zgura din zona lor de acțiune. În aceste cazuri, trecerea hidrogenului și azotului din faza gazoasă în oțel poate fi redată prin reacțiile [25]:



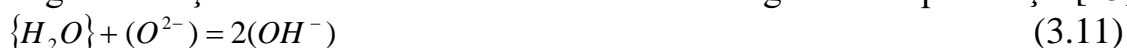
Trecerea prin zgură spre baia metalică a hidrogenului și azotului este posibilă datorită faptului că ele sunt solubile în zgură, ceea ce reiese din datele prezentate în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2. Solubilitatea hidrogenului și azotului în unele zguri siderurgice[25]

Zgura	(%H)	(%N)
Siemens-Martin, bazică	0,0023...0,0046	0,002...0,008
Siemens-Martin, acidă	0,0016...0,0025	0,0015...0,003
De cuptor electric bazic, albă	~ 0,0045	0,018...0,065
De cuptor electric bazic, carbidică	~ 0,0052	~0,2

Solubilitatea mai mică a hidrogenului și azotului în zgurile acide este legată de structura zgurilor.

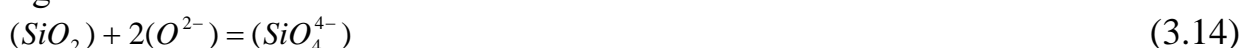
În ceea ce privește permeabilitatea la trecerea hidrogenului și solubilitatea acestuia în zguri, acestea sunt puse în legătură cu concentrația anionilor de oxigen (O^{2-}) în zgură. Acești anioni favorizează dizolvarea hidrogenului după reacția [25]:



$$(\%OH^-) = K \sqrt{P_{H_2O}} \quad (3.12)$$

$$\text{unde: } K = [3,69 + 0,5 \frac{(CaO)}{(SiO_2)}] \cdot 10^{-3} \quad (3.13)$$

În zgurile acide concentrația anionilor de oxigen este mică, datorită legării lor de către silice:



De aceea zgurile acide au permeabilitate mai mică pentru hidrogen și protejează mai bine oțelul lichid împotriva pătrunderii hidrogenului.

Pe baza acestor considerente a fost obținută și relația care dă conținutul final de hidrogen în oțel în funcție de compoziția zgurii:

$$[H] = \sqrt{\frac{10 \cdot B \cdot \{\%volH_2O\}}{(\%FeO)}} \quad (3.15)$$

$$\text{unde: } -B = \frac{(\%CaO) + 0,39(\%MnO)}{0,93(\%SiO_2) + 1,18(\%P_2O_5)} \quad (3.16)$$

- $\{\%vol. H_2O\}$ — conținutul de vapori de apă în atmosfera cuptorului.

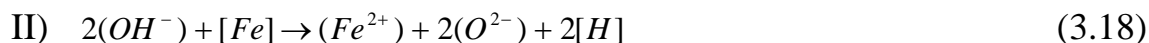
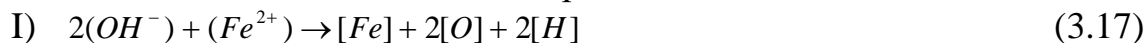
În zgurile acide $B < 1$, de aceea $[H]$ este mai mic decât la elaborarea oțelului sub zguri bazice. După datele din literatura de specialitate [12, 13, 16, 20, 25] **nu se cunoaște precis cauza pentru care solubilitatea azotului în zgurile acide este mai mică decât în cele bazice.**

De menționat faptul că, în timpul fierberii băii metalice, bulele de CO rezultate în urma procesului de oxidare a carbonului, ies din baia metalică în atmosfera agregatelor de elaborare și antrenează stropi de oțel, care vin în contact

direct cu atmosfera agregatului de elaborare și pot dizolva hidrogen, respectiv azot. Acești stropi revenind în baia metalică aduc cu ei hidrogen și azot (evident procesul este mai intens la suflarea oxigenului gazos în baia de oțel pentru intensificarea oxidării carbonului).

3.4.5. Trecerea hidrogenului din zgură în oțel

Această trecere/difuzie se realizează pe una din următoarele căi [25]:



Modul de trecere a azotului din zgură în oțel n-a fost încă elucidat. Trecerea directă a azotului în oțel se realizează în zona arcelor electrice (în cuptoarele cu arc electric) sau în zona de contact între jetul de oxigen sau amestec oxidant la convertizoare (L.D., AOD, etc). De aceea puritatea oxigenului suflat trebuie să fie foarte mare (peste 99,5 %), cunoscut în practica metalurgică sub denumirea de oxigen tehnic [25].

3.5. Posibilități de eliminare a hidrogenului și azotului din oțeluri

3.5.1. Eliminarea cu bulele de oxid de carbon

În procesul de elaborare a oțelului în cuptoarele cu vatră (cupatoare cu arc electric, Siemens-Martin, dacă acestea din urmă mai există în funcțiune), hidrogenul și azotul se elimină în timpul fierberii (decarburării/oxidării/afinării).

În figura 3.7 se prezintă schema eliminării gazelor cu bulele de oxid de carbon sau argon/gaze inerte. Imediat după formarea lor, în bulele de CO, presiunea parțială a hidrogenului și azotului este practic egală cu zero, ceea ce face ca aceste gaze dizolvate în oțelul lichid să difuzeze în bulele de CO, care le „transportă” în afara oțelului lichid (în atmosfera agregatului de elaborare)[25, 31].

Ca urmare între degazare și decarburare există o strânsă legătură care poate fi exprimată și prin relații cantitative.

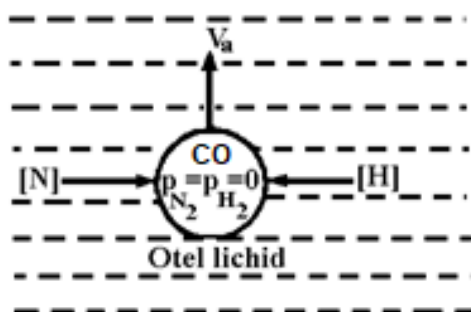


Fig.3.7.Eliminarea hidrogenului și azotului din oțelul lichid cu bulele de CO [25]

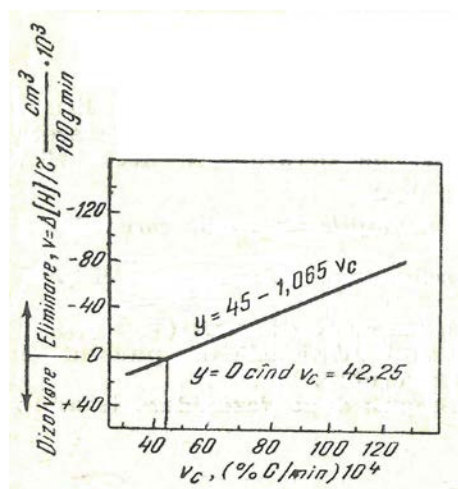


Fig. 3.8.Corelația între viteza de degazare și viteza de decarburare pentru $[\text{H}]_0=2-3,5 \text{ cm}^3/100\text{g}$

Concomitent cu eliminarea din oțel a hidrogenului și azotului are loc și un proces de dizolvare a acestora în oțel.

Variația conținutului de hidrogen și azot în oțel este funcție de diferența între viteza de dizolvare și cea de eliminare a acestor gaze:

$$\Delta(H, N) = f(V_{\text{diz.}}^{H,N} - V_{\text{elim.}}^{H,N}) \quad (3.20)$$

Pentru ca pe durata elaborării oțelului conținutul de hidrogen și azot să scadă $\Delta(H, N) < 0$ este necesar ca $V_{\text{elim.}}^{H,N} > V_{\text{diz.}}^{H,N}$.

În cazul în care se obține $V_{\text{elim.}}^{H,N} < V_{\text{diz.}}^{H,N}$ conținutul de hidrogen și azot crește ($\Delta(H, N) > 0$). Având în vedere că viteza de degazare/(eliminarea gazelor) depinde de viteza de decarburare, rezultă că viteza critică de decarburare este aceea care trebuie depășită pentru ca să se obțină în oțel conținut suficient de scăzut de hidrogen, figura 3.8.

Analizând datele din figura 3.8 curbele de regresie (viteza de decarburare $v.c$ %C/min.) rezultă că viteza critică de decarburare este de cca 0,25%C/h.

În perioada de dezoxidare viteza de decarburare $v.c = 0$, deci $V_{\text{elim.}}^H$ și $V_{\text{elim.}}^N$ sunt egale cu zero, dar $V_{\text{diz.}}^{H,N} > 0$ și ca urmare are loc creșterea conținutului de hidrogen și azot în oțel.

După Levin [25] viteza de dizolvare a hidrogenului în oțel ca urmare a trecerii acestuia prin stratul de zgură este dat de relația:

$$V_{\text{diz.}}^H = V_0 + K_r(S/q)(v.c.)^{1/2} \quad (3.21)$$

- $V_{\text{diz.}}^H$ viteza de dizolvare a hidrogenului în oțel;
- V_0 , viteza de dizolvare a hidrogenului în oțel, în absența fierberii;
- K_r , constantă de proporționalitate;
- S/q , suprafața specifică de contact între zgură și oțelul lichid (S -suprafața de separație zgură lichidă-oțel lichid și q cantitatea de oțel lichid);
- $v.c.$, viteza de decarburare.

Caracterul tehnologic al relației (3.21) se explică prin faptul că o dată cu creșterea vitezei de decarburare crește și cantitatea de stropi de oțel care intră în zgură, aceștia în atmosfera agregatului se saturează în hidrogen și, apoi revenind în oțel, măresc conținutul de hidrogen a acestuia. În ansamblu, admitând ca valabilă relația prezentată anterior, având în vedere că: $V_{\text{elim.}}^H \sim v.c.$ și $V_{\text{diz.}}^H \sim (v.c.)^{1/2}$ se poate considera că creșterea vitezei de decarburare (în anumite limite desigur) are efect pozitiv asupra eliminării hidrogenului din oțel, deoarece $V_{\text{elim.}}^H$ crește mai repede odată cu creșterea vitezei de decarburare decât $V_{\text{diz.}}^H$ (analiză valabilă și pentru azot).

Rezumând cele prezentate anterior pot fi enunțate condițiile favorabile care asigură conținut minim de hidrogen și azot în oțel:

- folosirea unor materii prime materiale cu conținut scăzut de umiditate sau H și N (încărcătură metalică, minereu, var, calcar, var dolomitic, feroaliaje etc.)
- asigurarea unei viteze de decarburare suficient de mari, mai precis superioare cele critice ($v.c. > v.c._{cr}$);
- folosirea unei zguri cu bazicitate minimă admisibilă din punct de vedere a altor procese (defosforare, desulfurare etc).

- durată de menținere a oțelului în cuptor deoarece după dezoxidare v.c.=0 și deci $V_{elim}^{H,N} = 0$.

3.5.2. Degazarea oțelului prin barbotare cu gaze inerte

Pentru îndepărtarea avansată a gazelor dizolvate în oțelul lichid se practică barbotarea cu un gaz inert (în general argon), iar în cazul oțelului inoxidabil aliat chiar și cu azot.

Procesul de degazare cu gaze inerte presupune introducerea acestora la partea inferioară a băii metalice prin intermediul unei lănci (introdusă în oala de turnare pe la partea superioară, în variantă veche care se mai întâlnește în practică) sau prin dopuri poroase a unul sau două montate în zidăria fundului oalei de turnare (varianta utilizată în prezent). În aceste condiții, procesul de degazare are la bază următorul mecanism:

- difuzia atomilor de gaz dizolvat din volumul băii metalice la suprafața bulelor de gaz inert; difuzia are loc ca urmare a apariției unui gradient de concentrație între zona până gaz-lichid unde se elimină foarte rapid gazele dizolvate și restul volumului topiturii;

- absorbția atomilor gazului dizolvat la suprafața bulelor de gaz inert;
- formarea la suprafața bulelor de gaz inert a moleculelor de gaz dizolvat;
- absorbția moleculelor de pe suprafața bulelor în interiorul acestora;
- eliminarea bulelor de gaz inert, purtătoare de gaz dizolvat, în faza gazoasă.

Schema eliminării gazelor dizolvate în oțel, hidrogenul și azotul, prin intermediul bulelor de argon este prezentată în figura 3.9.[25].

Imediat după formarea lor în baia metalică, în bulele de argon presiunea parțială a hidrogenului și azotului este practic egală cu zero. De aceea, hidrogenul și azotul dizolvate în oțelul lichid tind să difuzeze în bulele de argon, care le „transportă” în atmosfera agregatului de tratare.

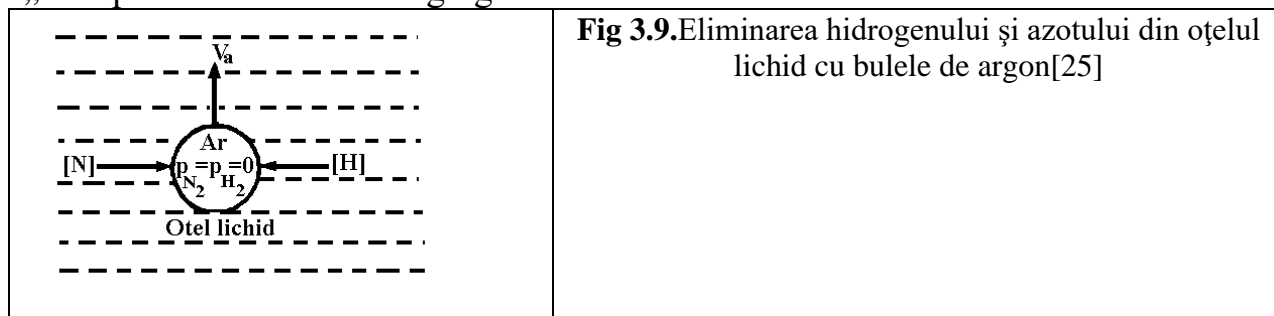


Fig 3.9. Eliminarea hidrogenului și azotului din oțelul lichid cu bulele de argon[25]

Considerându-se că în timpul barbotării cu gaze inerte se realizează o stare de echilibru, adică presiunea parțială a gazului dizolvat aflat în bula de gaz inert, care părăsește topitura, este egală cu presiunea parțială pentru concentrația de la un moment dat a gazului dizolvat în topitură, atunci se poate scrie relația [25]:

$$-dV_G = (dV_B + dV_G) \frac{p_G}{p_B + p_G} \quad (3.22)$$

în care: V_G – volumul gazului dizolvat în oțelul lichid;

V_B – volumul gazului utilizat pentru barbotare;

p_G și p_B – presiunea parțială în bulă a gazului dizolvat și respectiv a gazului de barbotare.

Întrucât $p_G \ll p_B$ și concentrația gazului care trebuie îndepărtat este mult mai

mică decât cea a gazului cu care se execută barbotarea, atunci relația (3.22) devine:

$$-dV_G = dV_B \frac{p_G}{p_B} \quad (3.23)$$

În situația în care $p_B = 1$ at

$$-dV_B = -dV_G \frac{1}{p_G} = -\frac{22,41}{M_G} \cdot \frac{G_{top}}{100} \cdot \frac{dC_G}{p_G} \quad (3.24)$$

unde: C_G – concentrația gazului dizolvat, în % de greutate;

G_{top} – greutatea topiturii;

M_G – masa moleculară a gazului dizolvat.

Pentru gazele biatomice dizolvate în oțel, presiunea parțială de echilibru în baza legii lui Sieverts este dată de relația:

$$p_G = \left(\frac{C_G}{K_G} \right)^2 \quad (3.25)$$

în care K_G este constanta de echilibru a reacției de dizolvare a gazului luat în discuție.

Prin înlocuirea și integrarea relației se va obține volumul teoretic de gaz (V_B), necesar pentru barbotarea topiturii de greutate (G_{top}), astfel încât concentrația gazului dizolvat să scadă de la C_0 la C :

$$V_B = \frac{22,41}{M_G} \cdot \frac{G_{top}}{100} \cdot K_G^2 \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} \right) \quad (3.26)$$

Întrucât starea de echilibru între fazele reactante nu poate fi atinsă, necesarul de gaz inert pentru barbotare ($V_{Ar,N}$) este mai mare decât cel teoretic ($V_{Ar,T}$):

$$V_{Ar,N} = V_{Ar,T} (1/k),$$

unde k este un coeficient de eficiență;

$$\text{pentru: } V_{Ar,T} (1/k) < 0,7 \text{ m}^3/\text{t} \dots \dots \dots k=0,93$$

$$V_{Ar,T} (1/k) = 0,9 \dots 1,5 \text{ m}^3/\text{t} \dots \dots \dots k=0,85$$

$$V_{Ar,T} (1/k) > 5,0 \text{ m}^3/\text{t} \dots \dots \dots k=0,35$$

În mod obișnuit, $V_{Ar,N} = 0,25 - 1,5 \text{ m}^3/\text{t}$ $p=4-5$ at. În vid, eficiența barbotării cu argon crește, această creștere fiind generate de scăderea presiunii deasupra băii metalice, respectiv în bula de argon și ca urmare se intensifică difuzia gazelor din baie în interiorul acestora [13, 16, 25, 31, 32].

Degazarea prin barbotarea cu argon se practică și la unele convertizoare speciale (AOD) precum și la procesarea oțelului în oala de turnare (metalurgia în oală).

Gradul de degazare prin barbotare cu argon este cu atât mai mare, cu cât cantitatea de argon suflat în baia de oțel este mai mare, dar nu depășește 15 -30% pentru hidrogen și 5 – 15% pentru azot.

În figura 3.10 se prezintă variația conținutului de hidrogen din baia metalică, în funcție de consumul specific de argon.

Gradul de degazare este mai mare și consumul specific de argon este mai mic la reducerea conținutului de hidrogen de la valori inițiale $[H_i]$ mari, la valori finale $[H_f]$ nu prea scăzute, și dacă bulele de argon sunt mici (dar suficient de mari să poată ieși din baia metalică) și crește puternic dacă se cere $[H_f]$ foarte mic.

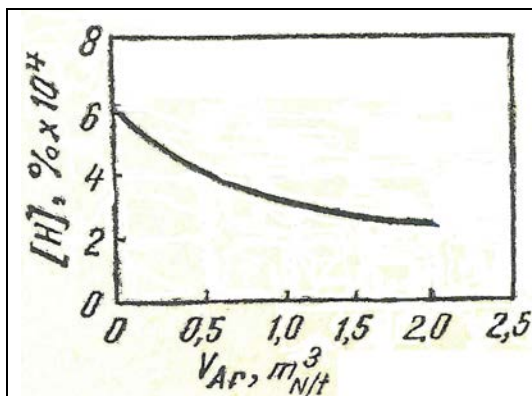


Fig. 3.10. Scăderea conținutului de hidrogen în oțel, în funcție de consumul specific de argon pentru barbotare

3.5.3. Degazarea oțelului prin vidare

În practica curentă o îndepărtare mai avansată a gazelor din oțel se obține prin tratarea acestuia sub vid (fig.3.1.A și 3.2.A), mai ales sub vid avansat (sub $10^2 - 10^4$ mmHg)

Efectul vidării poate fi analizat pe baza legii lui Sieverts (baza degazării în vid), conform căreia conținutul de gaze în soluție, la echilibru, este direct proporțională cu presiunile parțiale în faza gazoasă (3.28).

$$[G] = K_G (P_G)^{1/2} \quad (3.28)$$

Conținuturile de $[H_f]$ și de $[N_f]$ sunt mai mari decât cele corespunzătoare echilibrului, chiar la vid foarte avansat. Astfel, față de $1 \text{ cm}^3\text{H}/100\text{g}$ oțel corespunzător echilibrului la 1600°C și la o presiune de cel mult 5 torr, se obține până la $3 \times 10^{-4} \%$ (3ppm), suficient de scăzut ca să nu se formeze fulgi în produsul turnat (se formează la concentrații peste 10ppm). De asemenea, se obțin conținuturi mai mari de azot decât cele corespunzătoare echilibrului la 1600°C și la o presiune de cel mult 5 torr (0,002 - 0,003%N), [25].

Gradul de degazare variază în general mult în funcție de solubilitatea gazelor în oțel, de starea lor (libere sau în combinație) și de anumite caracteristici ale procedeelor de tratare în vid, ca de exemplu starea de agitație, suprafața expusă vidului etc. Ca valori de reper se poate admite că se îndepărtează 60 – 70% din hidrogen și 0 – 40% din azot (în medie 30%) [25, 31, 32].

În practica există o corelație între degazarea și decarburarea în vid, explicabilă prin faptul că scăderea presiunii deasupra băii metalice, activează reacția de oxidare a carbonului și bulele de oxid de carbon {CO} antrenează hidrogenul și azotul și, în plus, agitând oțelul lichid, facilitează difuzia și degajarea lor. Prin aceste efecte conjugate, la procesarea oțelurilor în instalații cu vid de $10^{-2} - 10^{-3}$ mmHg se poate ajunge la un conținut $[H_f] = 0,5\text{ppm}$ (0,00005%).

De menționat faptul că la procesarea oțelului în instalații de vidare (fără sau cu aport de căldură-RH., VD., respectiv VOD., VAD. Etc-)) baia metalică este agitată frecvent prin barbotarea cu argon (se poate utiliza și azot pentru unele oțeluri inoxidabile) sau agitare electromagnetică (prin inducție).

CAPITOLUL 4

STUDIU PRIVIND REDUCEREA OXIGENULUI DIN BAIA DE OȚEL

4.1. Considerații tehnice

În practica elaborării oțelurilor este cunoscut faptul că o dată cu scăderea conținutului de carbon în oțel, crește cel de oxigen, ceea ce face ca la finalizarea perioadei de afinare conținutul de oxigen dizolvat este relativ mare (0,02 – 0,06%, respectiv 200 – 600 ppm) și crește puternic când [C] scade sub 0,20%. Conținuturi atât de mari de oxigen nu sunt admise în oțeluri deoarece dăunează calității acestora prin:

- ”fragilizarea la cald” care se manifestă în susceptibilitate mărită la supraîncălzire și apariția de crăpături în timpul deformării la cald, ca urmare a depunerilor de oxizi și oxisulfuri la limita grăunțlor structurali;
- formarea suflurilor (golorilor de metal) în timpul solidificării produsului turnat (specifice oțelurilor necalmate și semicalmate turnate sub formă de lingouri – nesemnificativ în etapa actuală);

Din motivele menționate conținutul de oxigen dizolvat în oțelul calmat nu trebuie să depășească limitele de 0,0040 – 0,0080% (40 – 80ppm) iar la semicalmat și necalmat 150 - 300ppm. La oțelurile semicalmate și necalmate (incomplet dezoxidate), suflurile nu sunt considerate defecte de fabricație, deoarece având conținut scăzut de carbon (sub 0,20%) au sudabilitate mare la cald și în timpul deformării plastice la cald suflurile se închid prin sudarea pereților acestora.

Dezoxidarea este operația tehnologică prin care se reduce conținutul de oxigen dizolvat în oțel până la limita admisibilă în fiecare tip de oțel (calmat, semicalmat și necalmat).

Dezoxidarea se face prin următoarele metode: precipitare, extracție/difuziune și cu ajutorul vidului.

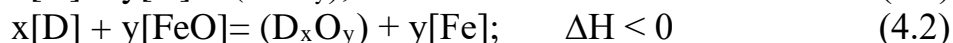
4.2. Dezoxidarea prin precipitare

4.2.1. Considerații generale

Această metodă de dezoxidare constă în esență în introducerea în oțelul lichid a unor materiale, **denumite dezoxidanți**, care au în componența lor elemente cu afinitate față de oxigen mai mare decât a fierului, aceasta fiind **o primă condiție ca un element să fie dezoxidant**.

Elementul dezoxidant se combină cu oxigenul dizolvat în oțel și formează oxizi stabili și insolubili în oțelul lichid, care se separă (precipită) în faze oxidice distincte, aceasta fiind **a doua condiție ca elementul să fie dezoxidand**.

Reacția generală de dezoxidare prin precipitare este[25]:



unde: [O] și [FeO] sunt oxigenul și respectiv oxidul feros dizolvate în oțel;

[D] - elementul dezoxidant;

(D_xO_y) - oxidul dezoxidantului (faza oxidică).

Puterea de dezoxidare a unui dezoxidant este dată de conținutul de oxigen din oțel, aflat în echilibru cu dezoxidantul

Cu cât puterea de dezoxidare a dezoxidantului D este mai mare, cu atât oxigenul dizolvat în oțelul lichid [O] este mai mic.

Se consideră că puterea de dezoxidare a unui dezoxidant este cu atât mai mare, cu cât potențialul de oxigen al oțelului dezoxidat este mai mic.

Conținutul minim de oxigen care poate sta în echilibru cu elementul dezoxidant depinde de următorii factori [16, 25, 33]:

- temperatura băii metalice; puterea de dezoxidare a unui dezoxidant crește o dată cu scăderea temperaturii, deoarece K_D crește cu scăderea temperaturii, reacțiile de dezoxidare sunt exoterme;

- activitatea termodinamică a dezoxidantului; cu cât aceasta este mai mare, cu atât puterea de dezoxidare este mai mare. De menționat că în același sens influențează și coeficientul de activitate al oxigenului;

- activitatea termodinamică a oxidului elementului dezoxidant; cu cât aceasta este mai mică, cu atât puterea de dezoxidare este mai mare. Într-adevăr, în cazul în care se folosesc dezoxidanți complecși (silicomangan, silicocalciu, aluminiu –mangan –siliciu, aluminiu – calciu - siliciu, lantan – ceriu – praseodim – neodim, etc), ca produși de dezoxidare se formează compuși complecși în care activitatea termodinamică a fiecărui dezoxidant este mai mică decât unu.

Pentru ca un dezoxidant să fie eficient, pe lângă cele două condiții menționate anterior, trebuie să aibă greutate specifică și granulație mari pentru a putea pătrunde în oțelul lichid (sau cel puțin la interfața zgură-oțel) și să reacționeze cu oxigenul dizolvat în oțel. De aceea elementele dezoxidante se folosesc sub formă de feroaliaje (fierul mărește densitatea aliajului) în bucăți (nu prăfoase). Pentru reducerea pierderilor elementelor de dezoxidare se practică adaosul acestora pe fundul oalei și la evacuare în jetul de oțel (când oala este umplută cu oțel lichid în proporție de cca. 30%). O altă soluție tehnologică este aceea de imersare în baia de oțel a feroaliajului sub formă de sârmă (fir de aluminiu) sau fir umplut (silico-calciu, aluminiu–calciu-siliciu). Ca urmare aceste aspecte reprezintă **o a treia condiție pentru ca un element să fie dezoxidant.**

Pentru ca un element să poată fi utilizat în practică ca dezoxidant acesta trebuie să fie convenabil din punct de vedere economic, **deci practic este a patra condiție impusă pentru un element dezoxidant.**

4.2.2. Particularitățile dezoxidării cu diferiți dezoxidanți

4.2.2.1. Dezoxidarea prin precipitare cu un dezoxidant uzual

Dezoxidarea cu mangan. Manganul este un dezoxidant slab, neputând lega tot oxigenul dizolvat în oțel, astfel încât rezultatul dezoxidării nu este MnO pur,

ci soluții solide sau lichide din sistemul FeO – MnO. De dorit formarea soluțiilor lichide, deoarece decantează mai avansat din baie în zgură și ele se formează când $[O] \geq 0,15\%$. Dezoxidarea completă a oțelului numai cu mangan nu este posibilă, dar cu toate acestea manganul poate fi folosit singur numai pentru dezoxidarea oțelurilor necalmate și semicalmate [16, 25, 33].

Dezoxidarea cu siliciu. Siliciul este un dezoxidant mai puternic decât manganul și la un conținut de 0,22%Si în baie oțelul este complet calmat, ceea ce face ca acest element să poată fi folosit cu eficiență pentru dezoxidarea oțelurilor calmate (min 0,22%Si), semicalmate (Si = 0,10 - 0,17%Si) și necalmate (max. 0,07%Si, dacă oțelul are conținut scăzut de mangan și carbon). În practica industrială siliciu pentru dezoxidare se folosește sub formă de ferosiliciu (FeSi45, FeSi75, silicomangan (SiMn20), alți dezoxidanți complecși (AlMnSi, AlCaSi etc).

La conținuturi mici de siliciu, produșii de dezoxidare cu siliciu sunt silicați de fier (în sistemul FeO - SiO₂, de dorit lichizi mai mult sau mai puțin bogăți în SiO₂, precum și SiO₂ solid la conținuturi mari de siliciu [16, 25, 33].

Dezoxidarea cu aluminiu. Aluminiul este un dezoxidant mai puternic decât siliciul și se folosește atât sub formă de aluminiu primar (calup, sârmă, granule etc) sau secundar (calup, granule etc), cât și sub formă de feroaliaje complexe (FeAl, AlMnSi, AlCaSi etc), dar aproape întotdeauna numai pentru completarea dezoxidării, după dezoxidarea cu Mn și Si, fiind dezoxidant foarte puternic. Produșii de dezoxidare sunt Al₂O₃ solid și spinelul FeO Al₂O₃ (hercynit). La conținuturi obișnuite de aluminiu în oțel (0,20 – 0,50%) conținutul de oxigen realizabil în condiții de echilibru este de 0,0010-0,0005% (10-5ppm) deci mult sub limita admisă pentru oțelurile calmate [16, 25, 33].

Dacă în cazul dezoxidării oțelului cu mangan și siliciu produșii de dezoxidare nu se pot forma prin germinare omogenă ci numai neomogenă (se formează pe suprafețe existente de ex. pe suprafața altor produse/incluziuni), în schimb la dezoxidarea cu aluminiu se degajă suficientă căldură din reacția de dezoxidare astfel încât poate avea loc germinarea omogenă (se formează o nouă suprafață interfazică (oțel lichid - produs de dezoxidare/incluziune). Deși se formează produși de dezoxidare de dimensiuni mici, aceștia se îndepărtează avansat din baia metalică ca urmare a tensiunii interfazice mari, dar rămân suficiente particule (de dimensiuni mici) în baia de oțel care acționează ca centri de cristalizare și rezultă grăunți fini de austenită. În practică elaborării și turnării oțelului pentru ca aluminiul și să acționeze asupra mărimii grăuntelui de austenită, oțelul trebuie să aibă un conținut de aluminiu în limitele 0,02 - 0,08%. De menționat că mărimea grăuntelui de austenită se poate face și prin intermediul altor dezoxidanți, și anume: V, Ti, Zr, B etc. [12, 13, 16, 25].

Pentru a aprecia comparativ puterea de dezoxidare a acestora se poate reține că, concentrațiile reziduale de oxigen în oțel, corespunzătoare echilibrului cu 0,10% Mn, Si și Al sunt de respectiv 0,175; 0,021% și 0,0028% la 1600°C și de 0,12%; 0,009% și 0,00013% la 1500°C. Din analiza acestor date rezultă că puterea de dezoxidare a acestor dezoxidanți crește în ordinea Mn → Si → Al, în

practica curentă aceștia sunt considerați dezoxidanți uzuali [25].

4.2.2.2. Dezoxidarea prin precipitare cu dezoxidanți speciali

Dezoxidarea cu vanadiu. Vanadiul are o putere de dezoxidare comparabilă cu a manganului, la conținuturi de $[V] < 0,20\%$, produși de dezoxidare sunt de forma (V_2O_3FeO) , iar pentru $[V] > 0,20\%$ este V_2O_3 [12, 13, 25].

Dezoxidarea cu titan. Titanul are o putere de dezoxidare mare comparabilă cu a aluminiului, la conținuturi de titan sub $0,05\%$ se formează spinelul de forma (TiO_2FeO) , iar la conținuturi de $0,10 - 0,50\%$ se formează rutil (TiO_2) . Unii cercetători au identificat în produșii de reacție și oxizii Ti_2O_5, Ti_2O_3 și TiO [16, 25].

Calmarea oțelului se realizează la circa $0,15\%Ti$, de aceea pentru a se evita formarea oxizilor inferiori, solubili în fier, la dezoxidare se limitează conținutul la $0,16 - 0,20\% Ti$. Titanul are influență pozitivă asupra sudabilității oțelului [11].

Dezoxidarea cu zirconiu. Zirconiu este un dezoxidant cu putere de dezoxidare apropiată de a aluminiului, produsul dezoxidării fiind ZrO_2 [25].

Dezoxidarea cu elemente din grupa lantanidelor. Lantanidele (La, Ce, Nd, Pd etc) utilizate în oțelării și cunoscute frecvent în practică și sub denumirea de pământuri rare (PR) au putere foarte mare de dezoxidare și de desulfurare, dar fiind foarte scumpe se folosesc numai pentru completarea dezoxidării și desulfurării oțelurilor cu destinație specială. Un dezavantaj prezentat de aceste elemente este faptul că se oxidează foarte ușor la suprafața băii metalice, ceea ce împiedică dizolvarea acestora în topitură, motiv pentru care lantanidele nu se folosesc numai sub formă de aliaje de tipul Fe-Si-P.R. (tabelul 4.1) [30, 33].

Tabelul 4.1. Compoziția chimică a aliajelor de lantanide, %

Element	Mișmetal	Cermetal	Lantanmetal	Didymmetal
Ceriu	50 – 55	99,9	0,10 – 0,20	0,30 – 0,50
Lantan	20 - 25	<0,05	99,5	5,0 - 10
Neodim	15 - 17	<0,04	<0,01	70 -75
Praseodim	4,5 – 5,5	<0,02	0,10 – 0,15	15 - 19

4.2.2.3. Dezoxidarea combinată.

Această metodă de dezoxidare este cea mai utilizată în practică pentru dezoxidarea oțelurilor calmate și aliate. Cel mai utilizat feroaliaj complex este silicomanganul (SiMn), simanalul (SiMnAl) etc. Dezoxidarea combinată se poate realiza prin adaos concomitent de dezoxidanți simpli (de exemplu FeMn și FeSi) sau adaos de dezoxidant complex SiMn, efectul fiind mai intens în al doilea caz deoarece sunt condiții mai favorabile pentru formarea produșilor complecși (capacitate mai mare de decantare) [12, 13, 16, 25].

Dezoxidarea cu aliaje complexe pe bază de calciu, magneziu și bariu dezoxidanți foarte puternici, produșii dezoxidării fiind (CaO) , (MgO) și (BaO) .

Datorită faptului că se topesc la temperaturi sub $1500^{\circ}C$ și au presiune de vapori mare nu se folosesc ca atare ci numai sub formă de aliaj complex cu până la $35\%Ca$ (SiCa-30%Ca+60%Si); CaAl- (30%Ca+70%Al); CaSiAl (30%Ca +38%Si

+21%Al). Acești dezoxidanți se folosesc după o dezoxidare cu dezoxidanți mai slabi. De menționat că aceleași măsuri se aplică și în cazurile când se folosesc magneziu, respectiv bariu [25].

4.2.3. Avantajele și dezavantajele dezoxidării prin precipitare

Avantajele dezoxidării prin precipitare sunt:

- durata mică a operațiunii de dezoxidare în comparație cu dezoxidarea prin extracție;
- posibilitatea obținerii unui conținut foarte redus de oxigen în oțel;
- posibilitatea reglării mărimii grăuntelui de austenită;

Dezavantajele metodei sunt:

- consum important de dezoxidant cu influență asupra prețului de cost a oțelului;
- impurificarea oțelului cu produși de dezoxidare, respectiv cu incluziuni nemetalice endogene

De menționat că această metodă se aplică industrial la orice șarjă de oțel, indiferent de agregatul de elaborare și metoda de turnare.

4.3. Dezoxidarea prin extracție

4.3.1. Principiul metodei

Dezoxidarea oțelului utilizând această metodă are la bază faptul că oxigenul, respectiv oxidul feros FeO, este solubil atât în oțel, cât și în zgură. Conform legii repartiției (a lui Nernst) între cele două faze lichide în contact se stabilește un echilibru de repartiție, redat de raportul de repartiție a oxigenului sau oxidului feros [12, 13, 16, 25]:

$$L_O = (O)/[O] = \text{const.}, \text{ pentru } T = \text{const.} \quad (4.3)$$

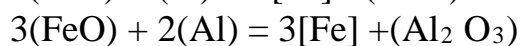
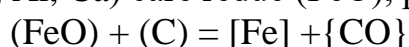
$$L_{FeO} = (FeO)/[FeO] = \text{const.}, \text{ pentru } T = \text{const.} \quad (4.4)$$

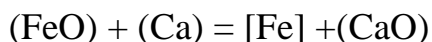
În sinteză, în cazul dezoxidării oțelului după această metodă se creează condiții ca oxigenul din oțel să fie "extras" în zgură (să difuzeze). Acționându-se asupra zgurii în sensul micșorării concentrației oxigenului în această fază și în virtutea raportului de repartiție care are o valoare constantă la o temperatură constantă, se obține micșorarea conținutului de oxigen în baia de oțel (4.3, 4.4) dacă se micșorează numărătorul, pentru ca L_O sau L_{FeO} să rămână constant trebuie să scadă în aceeași măsură/proportional și numitorul [12, 25].

4.3.2. Aspecte tehnologice

Trecând de la aspectul matematic la cel tehnologic, practic dezoxidarea prin extracție înseamnă folosirea unor zgurii cu conținut foarte redus de FeO (sub 1,5%) prin [12, 13, 16, 25]:

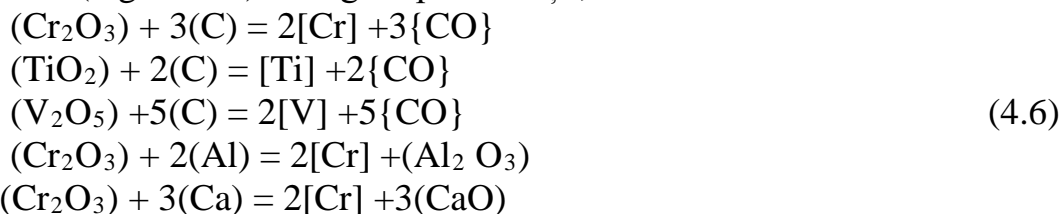
- a) introducerea în zgură a unor elemente cu afinitate mare față de oxigen (C, Si, Al, Ca) care reduc (FeO), practic acționează ca dezoxidanți;





- b) înlocuirea zgurii de afinare oxidante și bazice cu o nouă zgură cu caracter reducător (cu conținut de FeO sub 1,5% și bazică);
 c) tratarea oțelului în oala de turnare cu zguri sintetice bazice și conținut de (FeO) sub 1,5%

Varianta a se aplică atunci când zgura de afinare bogată în (FeO) conține și oxizi ai unor elemente de aliere scumpe (Cr, Ti, V, W, Nb etc.) care pot fi recuperate (regenerate) din zgură prin reacții, ca:



Varianta b se aplică atunci când zgura nu conține și oxizi ai unor elemente care să justifice recuperarea lor. În acest caz zgura de afinare bogată în (FeO) se evacuează din cuptor (în proporție de 90 – 100%) și se formează o nouă zgură cu caracter reducător, formată din amestecuri de var, fluorină (CaF₂), cocs, ferosiliciu, aluminiu și silicocalciu.

La ambele variante amestecul reducător este în proporție (în medie) de 4% din greutatea șarjei și se adaugă în proporție de 0,8-1,0% în 4-5 reprize la intervale de 10-12 min. Zgura rezultată este reducătoare, cu (FeO) max.1,5%. Tipurile principale de zguri reducătoare utilizate pentru dezoxidarea oțelului în cuptor sunt:

1) zgură albă caracterizată prin conținut de (CaC₂) sub 1,0% (uneori sub 0,10% când nu se adaugă pe zgură cocs), se folosește la dezoxidarea oțelurilor cu conținut mediu, mic și foarte mic de carbon.

2) zgura carbidică cu 1-0 – 3,5% CaC₂ se folosește de regulă la oțelurile cu conținut de carbon mediu și mare (ex. oțelurile pentru rulmenți C=0,95-1,05%; pentru scule 0,60-2,0% etc)

Variantele a și b de dezoxidare prin extracție se pot aplica cu rezultate bune numai la cuptoarele cu arc electric, deoarece numai aici se poate menține o atmosferă reducătoare (nu este posibilă la convertizoarele cu oxigen și cuptoarele Siemens-Martin, acestea din urmă fiind pe plan mondial scoase din uz) [20].

În urma arderii cocsului de pe zgură și se creează în cuptor o atmosferă ușor reducătoare (2,5%O₂; 22%CO; 5%CO₂; 1,5%H₂; 69%N₂; componente cu caracter reducător 22%CO+1,5%H₂+69%N₂ =92,5%) care permit menținerea unei atmosfere reducătoare și o dezoxidare avansată [25].

Varianta c de dezoxidare prin extracție se aplică la procesarea oțelului în oala de turnare cu zguri sintetice bazice și (FeO) sub 1,5% (mai rar adaos de zgură lichidă, frecvent amestec reducător solid). Ca urmare a căldurii preluate de la oțelul lichid, acest amestec se topește și formează o zgură reducătoare (dezoxidantă), de menționat fiind faptul că oțelul din oală este barbotat cu argon.

La toate cele trei variante, pentru restabilirea echilibrului repartiției oxigenului, respectiv oxidului feros, între zgură și oțel, oxigenul dizolvat în baia metalică difuzează ($[O] \rightarrow (O)$), mai precis trece în zgură până se restabilește un nou raport de repartiție (de aceea dezoxidare prin extracție este cunoscută în practică și sub denumirea de dezoxidare prin difuziune) [25].

În tabelul 4.2 se prezintă compozițiile chimice pentru zguri dezoxidante [25].

Tabelul 4.2. Compoziții chimice pentru zguri dezoxidante

Tipul zgurei	Compoziții chimice, z								
	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaS	CaF ₂	CaC ₂
Albă	55-65	15-20	10-12	2-3	max.1,5	max.1,0	max.1,0	5-10	0,5-1,0
Carbhidică	55-65	9-15	8-10	2-3	max.0,5	max.0,6	max.2,0	8-12	1,0-3,5
Sintetică	45-55	0-25	5-10	10-45	max.1,0	-	-	3-5	-

4.3.3. Avantajele și dezavantajele dezoxidării prin extracție

Avantajul principal al dezoxidării prin extracție este acela că oțelul astfel dezoxidat are puritate mare (nu se formează produși de dezoxidare în baia metalică).

Dezavantajele dezoxidării prin extracție în cuptor sunt:

- durata este mare; pentru o dezoxidare avansată sunt necesare 60-90 min, ceea ce reduce mult productivitatea cuptoarelor (de regulă acolo unde se mai practică nu depășește 60min.).

- zgurile reducătoare carbidice cu (CaC₂ ridicat) au aderență mare la baia metalică, astfel că impurifică oțelul cu incluziuni de zgură (în practică se transformă zgura carbhidică în zgură albă cu cca.10 min. înainte finalizării, adaos de țundăr pe zgură, ceea ce va reduce conținutul de CaC₂).

Din motivele menționate anterior, pe de o parte și ca urmare a perfecționărilor constructive a cuptoarelor cu arc electric, a tehnologiilor de elaborare, precum și a extinderii Metalurgiei în Oală, pe de altă parte, dezoxidarea prin extracție în cuptor se aplică din ce în ce mai puțin la oțelăriile din societăți siderurgice, mai întâlnită fiind în societățile industriale din domeniul construcțiilor de mașini.

Dezoxidarea cu zguri sintetice în afara cuptorului nu prezintă dezavantajele menționate anterior, realizându-se în condițiile emulsionării oțelului cu zgura (care nu conține CaC₂) decurgând foarte rapid (10-12 min). Această metodă de dezoxidare se practică în prezent în instalații cu reîncălzirea oțelului în oală (de tip LF) precum și de vidare fără aport de căldură (tip VD, RH) și cu aport de căldură (VAD, VOD, RHO). De menționat că metoda este extinsă foarte mult în practică.

4.4. Dezoxidarea oțelului în vid

4.4.1. Principiul metodei

Dezoxidarea în vid reprezintă unul din procedeele de mare eficiență de dezoxidare a oțelului cu multiple aplicații la elaborarea oțelurilor de înaltă puritate.

Scopul dezoxidării în vid este transferul oxigenului, dizolvat în baia metalică, în faza gazoasă, pe baza reacției de autodezoxidare cu carbon [12, 16, 25, 33]:



Dezoxidarea în vid se poate realiza și prin următoarele două reacții:

- disocierea oxidului feros prin reacția:



- volatilizarea oxizilor dizolvați în oțel:



Ultimele două reacții nu prezintă importanță deosebită pentru procesul de elaborare a oțelului [25, 33].

Dezoxidarea/autodezoxidarea cu carbon în vid este posibilă datorită faptului că scăderea presiunii deasupra băii metalice mărește puterea de dezoxidare cu carbon (mai precis scade conținutul de oxigen în echilibru cu carbonul și se reactivează reacția dintre aceste două elemente). Din analiza constantei de echilibru a reacției (4.7):

$$K_c = p_{CO} / (f_C f_O [\%C][\%O]) \quad (4.10)$$

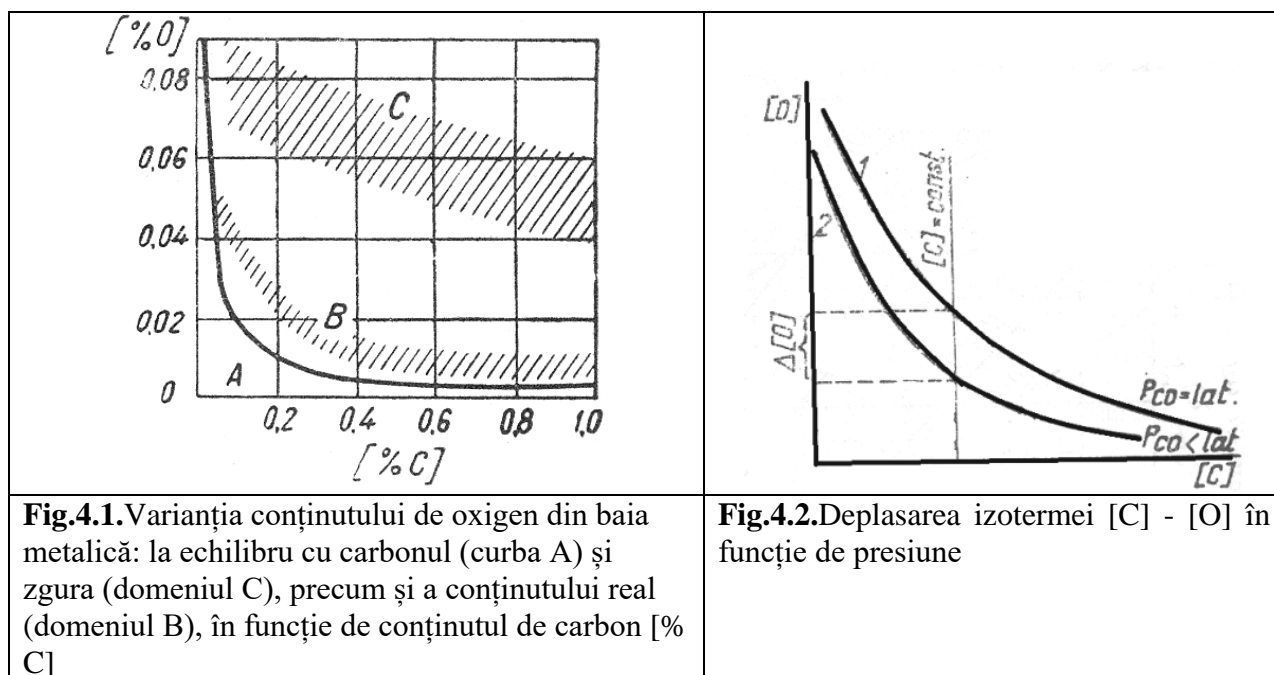
rezultă:

$$[\%O] = p_{CO} / (f_C f_O [\%C]) \quad (4.11)$$

Conform relației (4.11) conținutul de oxigen în oțel $[\%O]$ la o temperatură dată, depinde de conținutul de carbon (fig.4.1.) și în mare măsură de presiune (fig.4.2), deoarece constanta K_c este funcție numai de temperatură.

4.4.2. Aspecte tehnologice

În condițiile procesării oțelului sub vid, presiunea p_{CO} se micșorează permanent, fapt care determină ca oxidul de carbon să părăsească în mod continuu baia metalică, ceea ce face ca echilibrul reacției (4.7) să se deplaseze puternic spre dreapta, cu conținuturi foarte scăzute de carbon și oxigen în oțelul lichid [11, 20].



Grafic, influența scăderii presiunii asupra echilibrului $[C] - [O]$ este redată în figura 4.2. Se observă că scăderea presiunii determină deplasarea curbei de echilibru în jos și spre origine [12, 16, 25, 33]

Este de menționat însă faptul că, în instalațiile industriale de tartare în vid a oțelului practic nu se atinge starea de echilibru. Este evident că există o neconcordanță între datele experimentale și cele rezultate din calcul, aceasta putând fi generate, în mică măsură, și de erorile de analiză la determinarea conținuturilor de carbon și mai ales de oxigen din oțel. Cu toate acestea, efectul vidului este puternic, dependența reacției (4.7) de presiune constituind, esența eliminării oxigenului din oțel [12, 16, 25, 33].

Fără producerea reacției (4.7), dezoxidare în vid nu ar fi de conceput, simpla absorbție a oxigenului dizolvat în baia metalică prin tratarea în vid (proces posibil în cazul eliminării hidrogenului prin vidare) fiind complet exclusă. Aceste afirmații sunt confirmate de faptul că la temperatură de 1600°C presiunea de echilibru a oxigenului dizolvat în oțel la saturare este de 10^{-8}at , mult sub valoarea de $10^{-3}\dots 10^{-4}\text{at}$, presiune care practice se poate realiza în instalațiile industriale de vidare sau chiar sub valoarea 10^{-6}at , ce se poate obține în vid înaintat în instalațiile de retopire. Prin urmare, se constată că există o strânsă interdependență între conținuturile de carbon și oxigen dizolvate în baia de oțel, procesul de dezoxidare fiind în același timp și un proces de decarburare a oțelului, conform reacției (4.14). Din această cauză, pe măsura consumării carbonului, viteza de dezoxidare sub vid scade considerabil, devenind insignifiantă la conținuturi de carbon mici de $0,005 - 0,010\%C$ în oțel, chiar și în cazul celor mai scăzute valori ale presiunii, realizate în instalațiile de tratare în vid. În același timp, pentru a se realiza o decarburare foarte avansată în vid, este necesar să existe un conținut determinat de oxigen dizolvat în oțel. În acest sens pare justificat procedeul de suflare cu oxigen a băii metalice înainte de tratarea în vid, ce se aplică în unele instalații industriale, când se urmărește obținerea unor oțeluri cu conținut foarte scăzut în carbon (sub $0,01\%C$), [12, 16, 25, 33].

Din practica industrială se constată că, la presiuni scăzute, carbonul devine un dezoxidant foarte puternic, mai eficient decât manganul, siliciul și chiar decât aluminiul, fiind posibile reacțiile:



unde, $[(\text{MeO})]$, reprezintă o fază nemetalică existentă în baia metalică (un oxid de Mn, Si, Al, Cr, Nb etc sau combinații ale acestora). Faptul că la presiuni scăzute carbonul devine un dezoxidant puternic, determină ca dezoxidarea în vid, în practica elaborării oțelului, să prezinte o importanță deosebită, permițând reducerea apreciabilă a consumului specific de feroaliaje, reducerea pierderilor de elemente

prin ardere și volatilizare, simultan cu reducerea duratei șarjei, precum și o îmbunătățire a purității [16, 25, 33, 48].

4.4.3. Avantajele și dezavantajele dezoxidării în vid

Avantajul principal al reacției (4.7) îl reprezintă puritatea avansată a oțelului, deoarece produsul dezoxidării este oxidul de carbon, care se degaje în totalitate din oțel, spre deosebire de produșii dezoxidării prin precipitare, din care o mică parte rămân în baia metalică și dau naștere incluziunilor nemetalice.

Pentru a se accentua cât mai mult acest avantaj în practică este indicat ca finalizarea dezoxidării prin precipitare și alierea și se facă după tratarea oțelului în vid. În acest mod oxigenul dizolvat în oțel se elimină în cea mai mare parte sub formă de CO, iar când se adaugă feroaliajele pentru dezoxidare și aliere, oțelul este în mod practice dezoxidat și deci se formează o cantitate foarte mică de incluziuni nemetalice. În plus, lucrându-se în acest fel, se realizează și o degazare mai bună, sub influența barbotării oțelului de către bulele de CO. În cazul în care oțelul este tratat în vid după o dezoxidare prin precipitare (uneori prea avansată), carbonul trebuie în mare parte să acționeze (reacțiile 4.12; 4.13; 4.14) asupra oxizilor (simplici și complecși) deja formați, care fiind mai stabili decât FeO, sunt mai greu de redus de către carbon și ca urmare oțelul rămâne cu puritate mai mică.

Dezoxidarea în vid este ajutată și de faptul că în permanență baia metalică este agitată prin barbotare cu argon (uneori agitare electromagnetică) ceea ce favorizează omogenitatea băii metalice atât din punct de vedere termic cât și chimic. În cazul tratării oțelului în instalații de vidare fără aport de căldură (VD, DH, RH etc) durata tratamentului este limitată de scăderea de temperatură (50-80°C), factor neesențial la instalațiile cu aport de căldură (RHO, VAD, VOD etc). Trebuie menționat faptul că, în asemenea cazuri sunt mai multe procese tehnologice transferate din oală în aceste instalații. Durata procesării oțelurilor în asemenea instalații ajunge până la 120 min.

Calitatea oțelurilor procesate în instalațiile de vidare din punct de vedere a conținutului de oxigen (total și dizolvat) depind în mare măsură de următorii factori tehnologici; durata totală a vidării, durata vidării sub vid avansat (de dorit sub 1 torr), presiunea în instalația de vidare, temperatura oțelului la intrare și ieșire din instalația de vidare, presiunea și debitul argonului utilizat la barbotare.

Dezavantajele sunt determinate de cheltuielile de investiții și exploatare în vid precum și de necesitatea supraîncălzirii, dar sunt recuperate atât prin calitatea oțelului, cât și posibilitatea elaborării oțelurilor cu conținuturi foarte scăzute de carbon.

4.5. Formarea și îndepărtarea incluziunilor nemetalice

4.5.1. Natura incluziunilor nemetalice

Incluziunile nemetalice sunt impurități de diferite proveniențe, care rămân în oțel după solidificare și au influență negativă asupra caracteristicilor fizico-mecanice a acestuia. După natura lor incluziunile se împart în [16, 21, 25]:

- incluziuni oxidice (MnO , SiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 , V_2O_5 și compuși lor);
- incluziuni sulfidice (FeS , MnS , CaS , Al_2S_3 etc);
- incluziuni de fosfuri (Fe_3P , Mn_2P etc);
- incluziuni de carburi (Fe_3C , TiC , Cr_7C_3 etc);
- incluziuni de nitruri (TiN , ZrN , AlN , CrN etc.).

În oțeluri majoritatea incluziunilor nemetalice sunt de natură oxidică.

4.5.2. Proveniența incluziunilor nemetalice

După proveniența lor, incluziunile nemetalice sunt grupate astfel:

- incluziuni endogene, care provin din procesele propriu zise de elaborare și mai ales din procesele de dezoxidare, majoritatea lor au diametre mici (5-50 μm) dar unele pot ajunge la diametre de 300 μm [16, 20, 25];
- incluziuni exogene, provenite din materiile prime și auxiliare/secundare, zgură, căptușeala refractară a cuptoarelor de elaborare, a oalelor de turnare, a ansamblurilor de turnare (poduri de turnare la turnarea clasică, distribuitor și tuburi de imersie la turnarea continuă, prafuri de turnare) etc; acestea au în general dimensiuni mai mari (500-800 μm sau chiar la peste 1 mm [16, 20, 25];
- incluziuni de reoxidare, care se formează în urma interacțiunii între oțelul deja dezoxidat și aer, în timpul evacuării și turnării (la turnarea continuă jetul este protejat) [16, 20, 25].

4.5.3. Influența incluziunilor nemetalice asupra proprietăților oțelului

Principalele aspecte ale acestei influențe se manifestă astfel [16, 20, 25]:

- incluziunile nemetalice se depun la limitele grăunților structurali și determină în acest fel “fragilitatea la cald” a oțelului, mai ales când în incluziuni este prezent și sulful (se formează compuși eutectici FeO-FeS);
- unele incluziuni ușor fuzibile de silicați se alungesc în sensul deformării plastic și contribuie la crearea anizotropiei proprietăților mecanice ale oțelurilor;
- incluziunile nemetalice reduc tensiunea și rezistența la oboseală a pieselor din oțel, constituind concentratori de tensiune și amorse de rupere a oțelului.

4.5.4. Formarea, creșterea și îndepărtarea incluziunilor nemetalice

4.5.4.1. Formarea incluziunilor nemetalice

Incluziunile endogene sunt în principal incluziuni oxidice și prezintă produși de dezoxidare prin precipitare (oxizi, silicați, aluminați etc.), fiind constituite ca o fază distinctă în masa oțelului lichid și se formează pe două căi: germinare omogenă și germinarea eterogenă.

Germinarea omogenă reprezintă procesul de apariție a germenilor de incluziuni nemetalice în masa initial omogenă a oțelului lichid. În cazul germinării omogene a produșilor de dezoxidare trebuie să se consume energie pentru formarea unei noi suprafețe interfazice, iar dintre dezoxidanții uzuali (Mn, Si, Al) numai în cazul aluminiului rezultă suficientă caldură pentru formarea unor germeni de oxid, respectiv a unei noi suprafețe într-o baie metalică perfect curate [20, 25];

Germinarea eterogenă este procesul de apariție a germeilor de incluziuni nemetalice pe suprafețe intrafazice preexistente în oțel (particule de zgură, de material refractare, pe incluziuni nemetalice germinate omogen, pe suprafața unor bule de gaz folosit la barbotare etc. Procesul de germinare eterogenă decurge în condiții mai favorabile comparative ce cel omogen [20, 25];.

4.5.4.2. Creșterea incluziunilor nemetalice

Dintre germeni formați în baia de oțel, sunt viabili aceia a căror rază, este mai mare decât raza critică ($r > r_{cr}$) cresc și se transformă în incluziuni nemetalice, mecanismul creșterii lor este foarte complicat și cuprinde câteva moduri de creștere, astfel [16, 25];:

- creșterea datorită difuziei oxigenului dizolvat în oțelul lichid sau a oxigenului și dezoxidantului din incluziuni mai mici care nu se află în echilibru cu mediul lichid învecinat;

- creștere prin ciocniri determinate de mișcarea browniană, însoțite de fenomenul de coalescență;

- creșterea prin ciocniri cauzate de viteze diferite de ridicare la suprafață după legea lui Stokes (incluziunile cu rază mai mare urcă cu viteză mai mare spre suprafața băii cu viteză mai mare și le ajung din urmă pe cele mici, se ciocnesc și le înglobează astfel pe cele mici, formând incluziuni cu rază mai mare și crescând astfel șansele de decantare avansată din baia de oțel;

- creșterea prin ciocniri în urma mișcării (agitării) oțelului și apariției unor gradienti de viteză între incluziuni.

Ultimile două moduri de creștere și în mod deosebit ultimul reprezintă rezerve importante pentru creșterea purității oțelului (atât ca mărime cât și dimensiuni). Elementul comun a acestor moduri de creștere este **coalescența** (contopirea a două sau mai multor incluziuni într-una singură) și ca urmare creșterea vitezei de ridicare la suprafața băii și reținerea în zgură [20, 25].

Creșterea mărimii incluziunilor nemetalice prin coalescență în virtutea legii lui Stokes se explică prin aceea că incluziunile cu rază mare au viteză ascensională mai mare și ajung din urmă pe cele cu rază mică, astfel acestea se ciocnesc și în majoritatea cazurilor are loc fenomenul de coalescență, efectul fiind cel de creștere a dimensiunilor incluziunilor în ansamblu. Coalescența este cu atât mai eficientă, cu cât tensiunea interfazică oțel-incluziune nemetalică este mai mare, iar vâscozitatea incluziunilor este mai mică [20, 25].

4.5.4.3. Procesul de îndepărtare a incluziunilor nemetalice

Procesul de îndepărtare a incluziunilor nemetalice din oțelul lichid decurge în mare măsură cu procesul de formare și creștere a acestora, importanță deosebită având creșterea pe orice cale a vitezei de îndepărtare a incluziunilor.

Conform legii lui Stokes cu cât acestea sunt mai apropiate de forme sferică și au diametru mai mare se îndepărtează avansat mai din oțelul lichid. Ca urmare, multă vreme s-a considerat că pentru a se asigura condiții optime pentru

îndepărtarea incluziunilor nemetalice din oțelul lichid este necesar să se dezoxideze, astfel încât să se obțină produși de dezoxidare lichizi la temperatura băii metalice. Cele menționate, corespund introducerii dezoxidaților în ordinea creșterii puterii lor de dezoxidare $Mn \rightarrow Si \rightarrow Al$ etc sau utilizării unor dezoxidați complecși ($SiMn$, $SiMnAl$), obținându-se astfel ca produși de dezoxidare sisteme complexe de oxizi, cu temperatură de topire scăzută. Acești produși de dezoxidare complecși fiind lichizi iau o formă sferică și mărimu-și diametrul prin coalescență, dobândesc (conform legii lui Stokes) o viteză crescândă de ascensiune, fiind astfel favorizată îndepărtarea lor din baia de oțel lichid [20, 25].

Procesul de îndepărtare a incluziunilor nemetalice este mult influențat de tensiune interfazică oțel-incluziune, cu cât aceasta este mai mare eliminarea acestora din baie se face mai repede. În acest mod se explică (în particular) eliminarea rapidă în anumite condiții (să ajungă incluziunea la suprafața interfazică oțel lichid-zgură) a incluziunilor de Al_2O_3 [16, 20, 25].

Prin urmare pentru ca viteza de îndepărtare a incluziunilor nemetalice din oțelul lichid să fie cât mai mare, este necesar ca incluziunile să fie cât mai puțin umectate de oțel și în același timp ele trebuie să fie cât mult umectate de zgură.

Un rol important în eliminarea incluziunilor nemetalice îl au factorii hidrodinamici. Agitarea oțelului (prin barbotare cu gaz inert sau electromagnetic) se reflectă pozitiv asupra vitezei de eliminare a incluziunilor ca urmare a accelerării procesului de coalescență, a formării îngrămădirilor și de trecere a incluziunilor în zgură. În practică agitarea oțelului se realizează prin inducție (procedeul ASEA-SKF) sau prin barbotare cu argon/azot (procedeul Finkl-Mhor).

De menționat că la barbotarea cu argon/azot poate avea loc și eliminarea incluziunilor nemetalice neumectate de oțel, prin fenomenul de flotație.

Eliminarea incluziunilor nemetalice prin tratarea oțelului cu zguri sintetice prin folosirea zgurelor din sistemele $CaO-Al_2O_3$, $CaO-Al_2O_3$ –flux, cu conținuturi variabile de SiO_2 , MgO și conținut foarte scăzut de oxizi de fier și mangan. Folosirea zgurelor sintetice cu tensiune superficială mare favorizează trecerea incluziunilor din oțel în zgură ca urmare a creșterii adeziunii între zgură și incluziuni [16, 20, 25].

Distrugerea /reducerea incluziunilor nemetalice în vid se bazează pe faptul că afinitatea carbonului pentru oxigen crește astfel încât acesta este un dezoxidant foarte puternic, reduce incluziunea și CO părăsește baia metalică (procesul a fost analizat la subcapitolul 4.4.-dezoxidarea în vid-).

Referitor la flotația incluziunilor slab umectate de oțel, acestea aderă la bulele de CO , Ar , N care trec prin oțel, în acest fel eliminându-se prin flotație. În etapa actuală este dificil de apreciat eficiența procesului.

PARTEA II-a

CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PRIVIND DEGAZAREA ȘI DEZOXIDAREA OȚELURILOR PROCESATE ÎN INSTALAȚII DE VIDARE DE TIP VD

CAPITOLUL 5

CERCETARI ȘI EXPERIMENTĂRI PRIVIND REDUCEREA CONȚINUTULUI DE HIDROGEN LA PROCESAREA OȚELULUI ÎN INSTALAȚII DE VIDARE TIP VD.

5.1. Considerații tehnologice privind degazarea oțelului.

La contactul oțelului lichid cu atmosfera agregatelor de elaborare, are loc un proces de difuziune a gazelor prin intermediul zgurii în baia metalică, pe de o parte, iar pe de altă parte de trecere a acestora din baie în atmosferă agregatului. Sensul în care decurg aceste procese, este determinat de mai mulți factori, și anume: calitatea materiilor prime și auxiliare (conținut de umiditate, uleiuri, materiale plastice etc), caracteristicile zgurilor utilizate, intensitatea și durata fierberii, temperatura băii metalice, durata evacuării, timpul de staționare în oală, valorile parametrilor de procesare în oala de turnare (LF, VD) etc., [15, 16, 25].

Indiferent de procesul de elaborare, turnare și laminare a oțelului, în structura acestuia rămân prinse, chiar și în cantități foarte mici ca impurități, pe lângă incluziuni nemetalice și gaze, cele mai reprezentative fiind: hidrogenul, azotul și oxigenul [15, 16, 25].

Referitor la hidrogen, acesta reprezintă o impuritate pentru produsele siderurgice, influența lui negativă se manifestă prin aceea că: poate forma sufluri în oțelurile calmate, micșorează plasticitatea și tenacitatea oțelului, contribuie la defectul denumit "fulgi" în oțelurile aliate cu crom, nichel și molibden, care reduc substanțial rezistența la oboseală a pieselor de oțel și afectează proprietățile electrice și magnetice ale oțelurilor. Pentru producerea oțelurilor cu conținut cât mai redus de hidrogen pe fluxul tehnologic de fabricație trebuie luate o serie de măsuri dintre care pot fi amintite: utilizarea unei încărcături de bună calitate, fără umiditate, uleiuri, materiale plastice, cu adaosuri calcinate, var proaspăt ars; tratarea oțelului în vid, încălzirea corespunzătoare a utilajului de turnare (oală de turnare, distribuitor) [14, 16, 25, 31, 32].

Influența negativă a azotului în oțel se manifestă astfel: reduce plasticitatea și tenacitatea oțelului, în asociere cu hidrogenul contribuie la apariția suflurilor în oțelul turnat, generează fenomenul de îmbătrânire a oțelului prin depunere de nitruri la limitele grăunților structurali [14, 29].

În cursul elaborării oțelului un rol foarte important în procesul de degazare îl are fierberea băii metalice, generată de degajarea bulelor de {CO}. În momentul formării acestor bule de {CO} presiunea parțială a hidrogenului, respectiv a azotului este practic nulă și de aceea, gazele difuzează în interiorul acestor bule,

sub acțiunea gradientilor de concentrație, fiind apoi antrenate în afara băii, deci practic eliminate din oțel. Pentru ca viteza de eliminare a gazelor din baia de oțel să fie mai mare decât viteza lor de trecere prin zgură în baia metalică și deci, conținutul acestora să scadă, este necesar ca viteza de decarburare să fie suficient de mare pentru a depăși o anumită valoare critică, care să determine presiuni în bula de {CO} superioare presiunii ferostatice [14, 15, 16, 25].

$$P_{CO} \geq \Sigma P = P_a + P_z + P_o + P_s = P_a + h_{zg} \gamma_{zg} + h_o \gamma_o + 2\sigma / r_{rbCO} , \quad (5.1.)$$

unde:

- P_a , presiunea atmosferică;
- P_z , presiunea determinată de stratul de oțel;
- P_o , presiunea determinată de stratul de oțel de deasupra bulei de CO;
- P_s , presiunea superficială;
- h_{zg}, h_o , adâncimea stratului de zgură, respectiv de oțel;
- γ_{zg}, γ_o , greutatea specifică a zgurii, respectiv a oțelului;
- σ , tensiunea superficială a oțelului;
- r_{rbCO} , raza bulei de {CO}.

Referitor la oțelăriile electrice echipate cu cupatoare electrice cu arc de tip EBT, s-a asigurat condiții foarte bune pentru reducerea absorbția gazelor în baia de oțel (viteză mare de fierbere a băii metalice prin suflare intensă de oxigen), spumarea zgurii și posibilitatea barbotării cu argon în cuptor [15, 16, 25, 31, 32].

Introducerea în fluxul tehnologic de elaborare a oțelului a „Metalurgiei în oală” a produs o adevărată revoluție tehnică în siderurgie, o parte din procesele care s-au desfășurat în agregatele de elaborare au fost transferate în oala de turnare, în mod deosebit în instalații de tip L.F. și de vidare fără aport de căldură (R.H., V.D.) și cu aport de căldură (V.A.D., V.O.D. etc) în cazul elaborării oțelurilor aliate, mai ales a celor înalt aliate [14, 15, 16, 25, 31, 32].

În cazul barbotării băii metalice cu argon (de exemplu tehnologia LF) presiunea parțială a hidrogenului în bulele de argon este nulă, ceea ce intensifică difuzia în acestea a hidrogenului din baia metalică, Eliminarea hidrogenului este mai intensă în cazul barbotării cu argon suflat în oțel prin dop poros montat la fundul oalei, comparativ cu lance cu dop poros introdusă în oțel pe la partea superioară a oalei, ca urmare a creșterii suprafeței de contact oțel-argon [31, 32].

Vidarea oțelului asigură reducerea mai avansată a conținutului de hidrogen din oțelul lichid ca urmare atât a barbotării cu argon, dar în mod deosebit datorită reducerii foarte avansate a presiunii deasupra băii de oțel din oală [15, 31, 32].

5.2. Cadrul tehnologic experimental

În cadrul cercetărilor efectuate și a căror rezultate sunt prezentate în lucrare, s-a urmărit posibilitățile de reducere a conținutului de hidrogen din oțelurile destinate fabricației de țevi utilizate în transportul hidrocarburilor.

Cercetările s-au efectuat la o oțelărie electrică, echipată cu un cuptor electric

cu arc tip EBT, instalație LF, instalație VD și instalație de turnare continuă cu 3 fire. Au fost analizate pe fluxul tehnologic prezentat (cap. II) un număr de 22 de șarje de oțel marca ST 52-3 turnat continuu în țagă rotund de $\phi 280\text{mm}$ (tabelul 5.1.A). Cele 22 de șarje au fost urmărite pe tot fluxul tehnologic, etapă cu etapă (tabelele 5.2.A- 5.6.A), și anume:

- elaborare în cuptor: încărcătura de bună calitate, fără fier vechi cu uleiuri, umiditate, rugină sub cca 2%, var proaspăt ars, minereul de fier calcinat, oala de turnare încălzită corespunzător;

- tratarea în instalațiile LF și VD: respectarea limitelor de variație a parametrilor tehnologici (încălzire, barbotare), adausuri fără umiditate (pentru formarea zgurii și aliere), omogenizare chimică și termică prin barbotare cu argon urmate de tratamentul în instalația de vidare fără aport de căldură VD, la turnare oală încălzită corespunzător și la fel distribuitorul;

- respectarea parametrilor turnării continue: viteza de turnare corelată cu temperatura de turnare, debitul și presiunea apei de răcire pe fiecare zonă de răcire.

Cercetările prezentate în cadrul acestui capitol au avut în vedere stabilirea unor corelații tehnologice între parametrii dependenței și cei independenți, astfel:

- parametri dependenți:

- conținutul de hidrogen din baie la terminarea vidării $[H]_{FVD}$, ppm ;
- randamentul de eliminare a hidrogenului R_H , %.

- parametri independenți:

- durata totală a vidării (D_{TV}), min;
- durata vidării sub vid avansat ($D_{vid.av}$) min;
- presiunea în instalația de vidare la vid avansat ($P_{vid.av}$), mBar;
- presiunea argonului la barbotare (P_{bAr}) în VD, atm;
- reducerea de temperatură pe durata vidării (ΔT), $^{\circ}\text{C}$;
- temperatura oțelului la intrarea în instalația de vidare (T_{inVD}), $^{\circ}\text{C}$;
- temperatura oțelului la ieșire din instalația de vidare (T_{isVD}), $^{\circ}\text{C}$;

Determinările privind conținuturile inițiale și finale de hidrogen pe baza cărora s-a determinat randamentul de eliminare a hidrogenului au fost determinate în laboratoarele societății.

Parametrii independenți au fost înregistrați și determinați pe baza indicațiilor aparatelor de măsură și control.

5.3.Prelucrarea datelor. Rezultate și analize tehnologice. Concluzii

O dată cunoscute valorile pentru parametri menționați (tabelele 5.7.A- 5.8.A), datele au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB, rezultatele obținute fiind prezentate în continuare.

5.3.1.Rezultate obținute în programul EXCEL

În cadrul acestui program au fost stabilite ecuații de corelație polinomiale de gradul 1; 2; 3; 4 și logaritmice, în fiecare caz rezultatele fiind prezentate grafic și analitic. De asemenea pentru fiecare caz este prezentat și coeficientul de corelație.

5.3.1.1. Corelații referitoare la conținutul de hidrogen după vidare

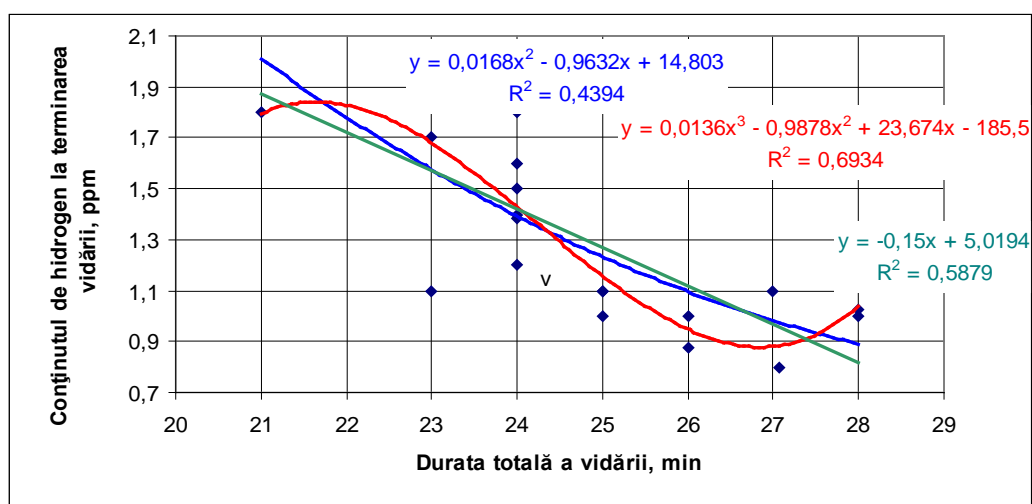


Fig 5.1. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{TV})$

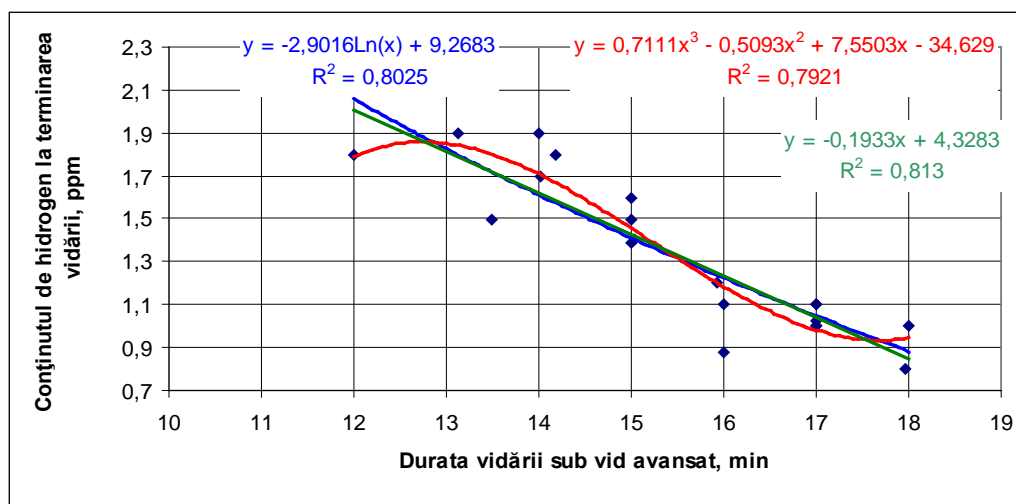


Fig.5.2. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{vid.av})$

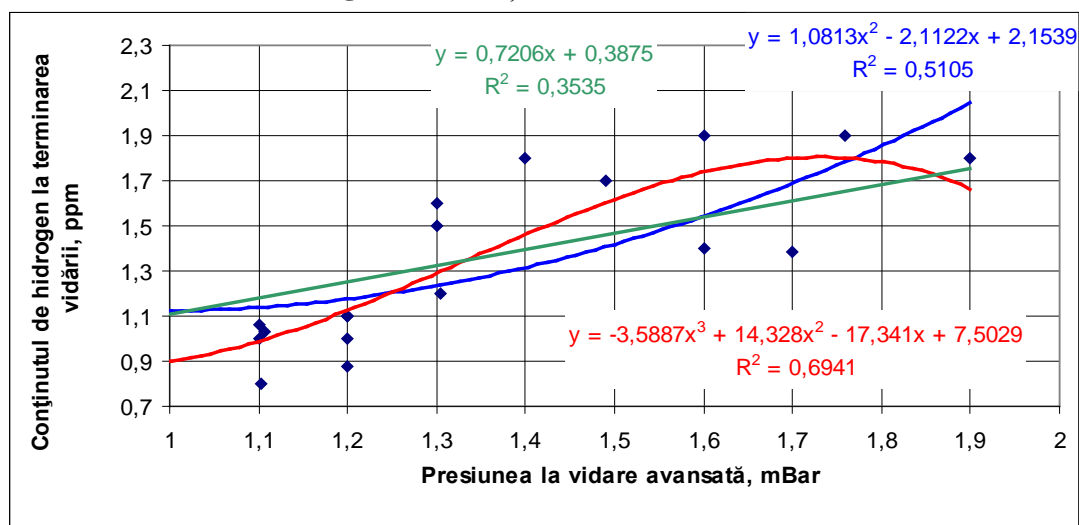
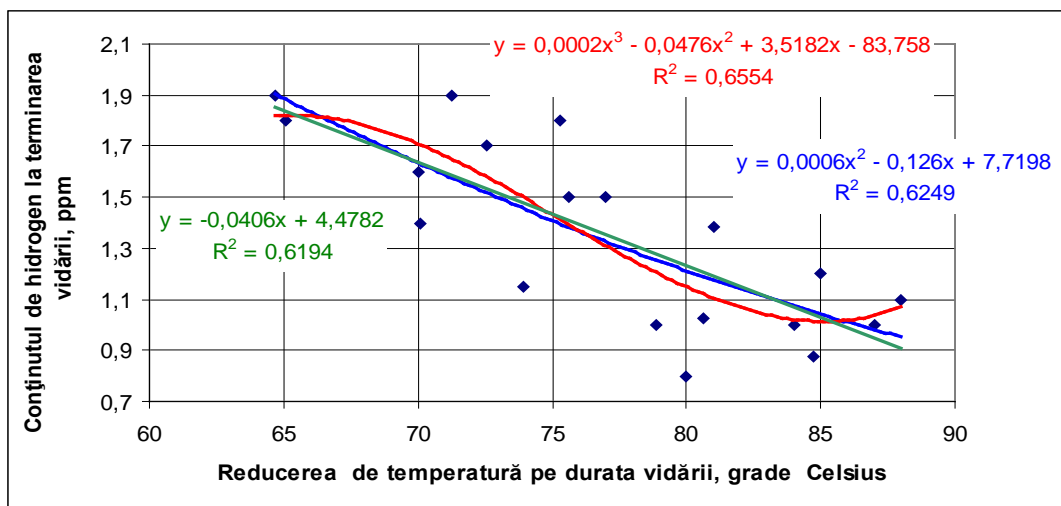
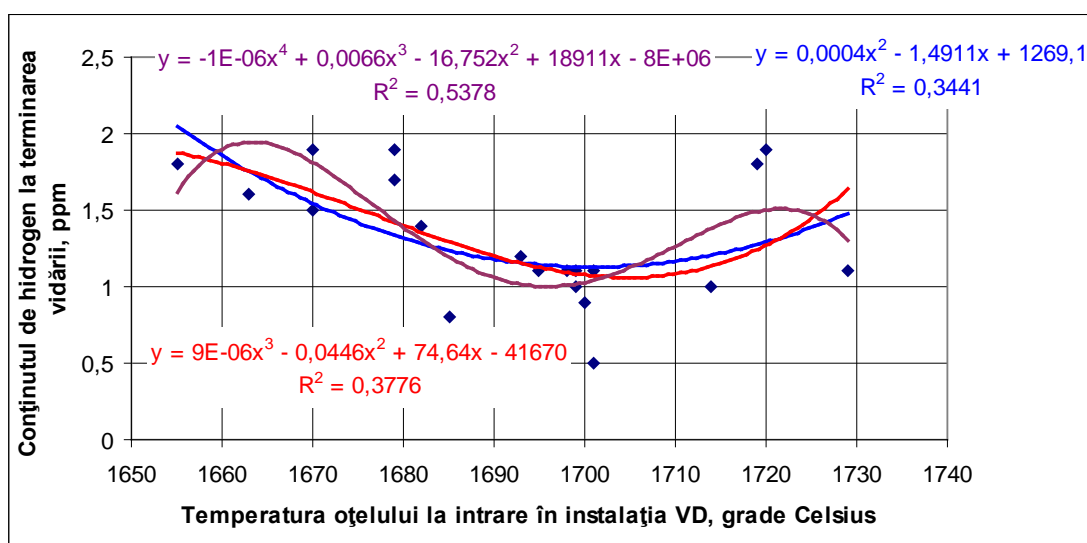
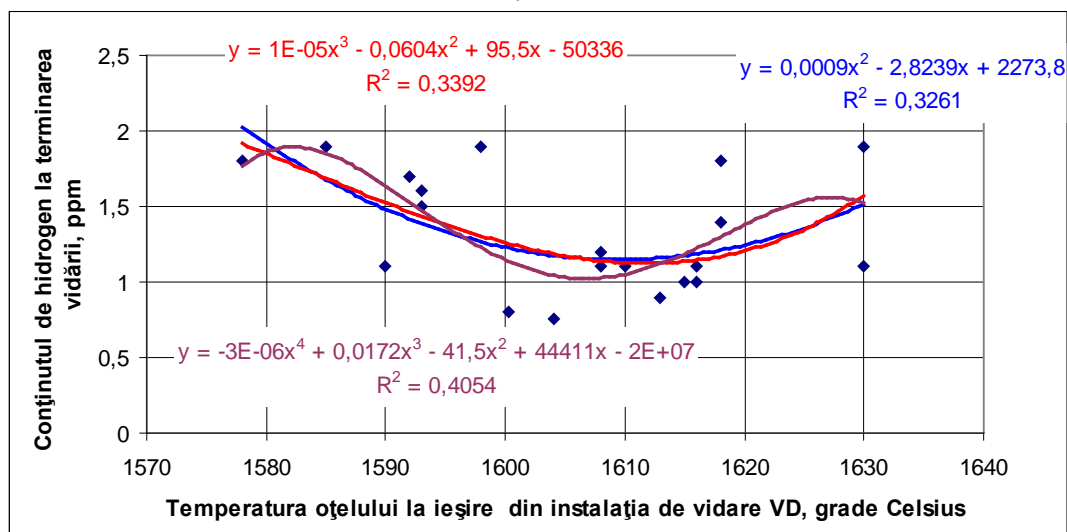


Fig.5.3. Corelația $[H]_{fVD} = f(P_{vid.av})$

Fig.5.4. Corelația $[H]_{fVD} = f(\Delta.T)$ Fig. 5.5. Corelația $[H]_{fVD} = f(T_{inVD})$ Fig. 5.6. Corelația $[H]_{fVD} = f(T_{isVD})$

5.3.1.2. Corelații referitoare la randamentul de eliminare a hidrogenului

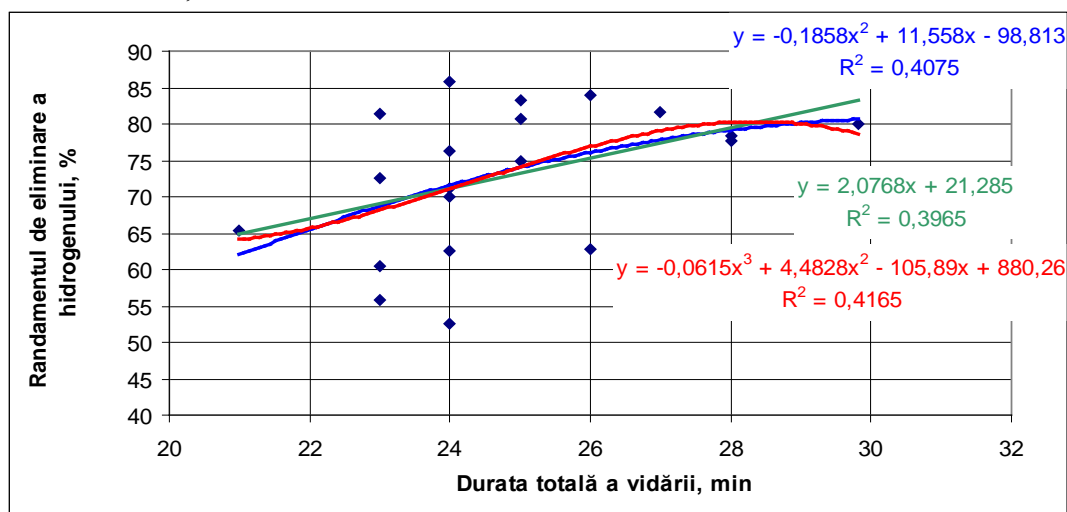


Fig. 5.7. Corelația $R_H=f(D_{tv})$

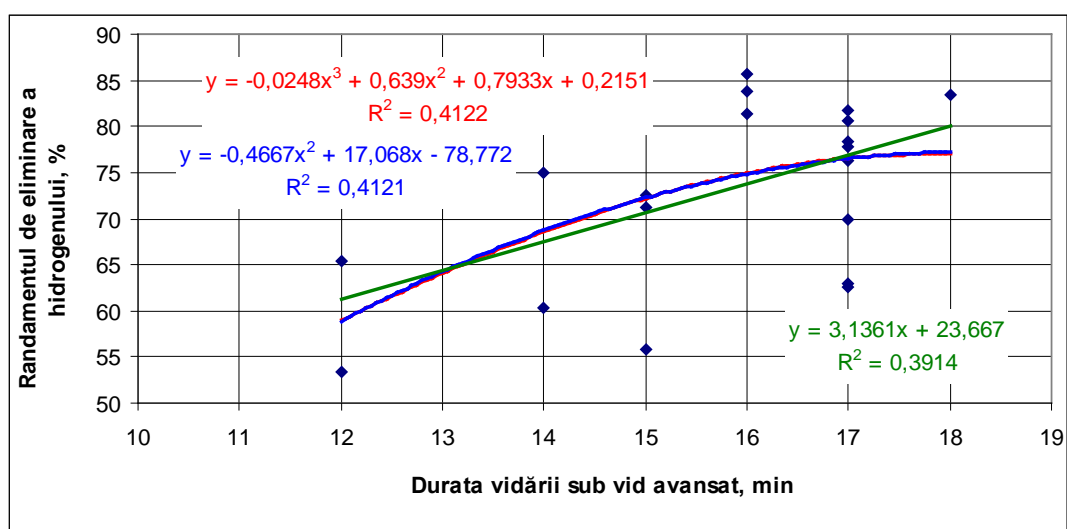


Fig. 5.8. Corelația $R_H=f(D_{vid.av})$

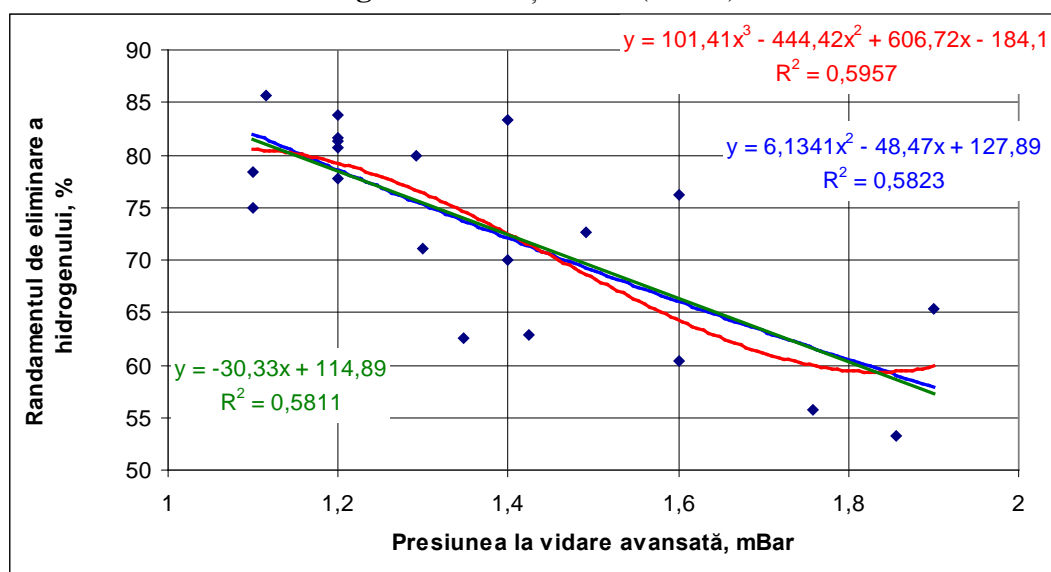


Fig. 5.9. Corelația $R_H=f(P_{vid.av})$

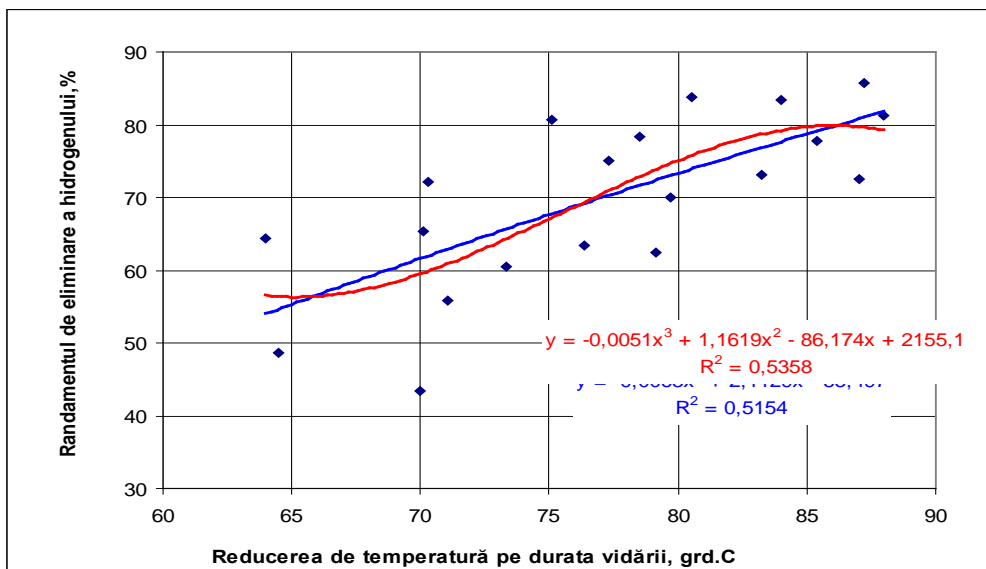


Fig. 5.10. Corelația $R_H=f(\Delta.T)$

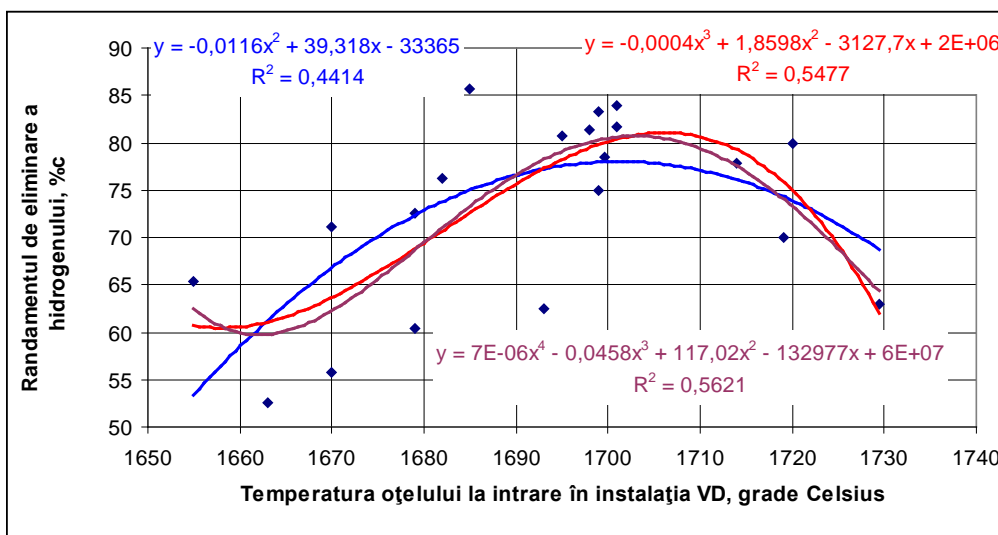


Fig. 5.11. Corelația $R_H=f(T_{inVD})$

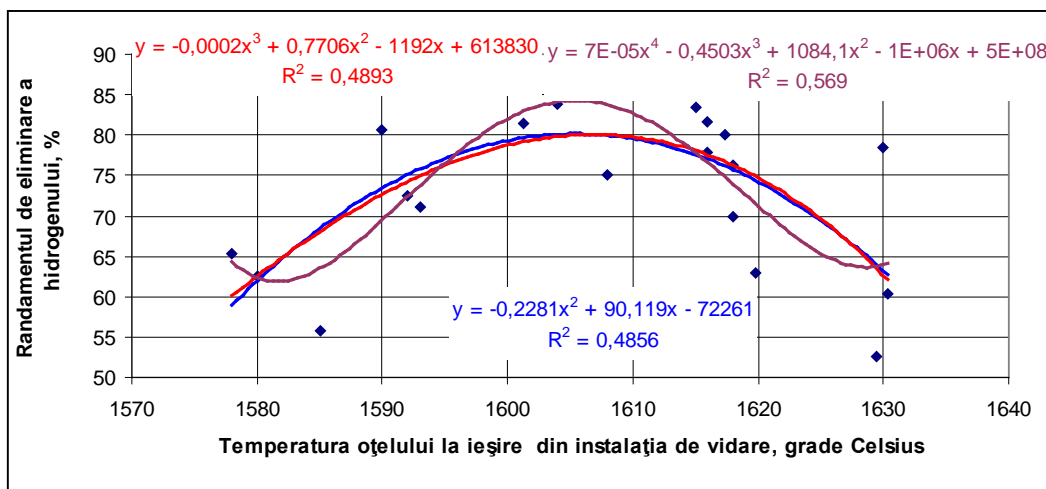


Fig. 5.12. Corelația $R_H=f(T_{isVD})$

5.3.1.3. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute

Din analiza tehnologică a corelațiilor obținute în programul de calcul EXCEL rezultă următoarele concluzii [58,59,61,62,64,65,68]:

- creșterea duratei totale de vidare a oțelului în instalația de vidare tip VD, conduce la reducerea avansată a conținutului final de hidrogen (fig. 5.1.), de dorit durata totală a vidării să fie cuprinsă în intervalul 25-28 min., ceea ce este foarte bine pentru o instalație de vidare fără aport de căldură pe durata tratamentului. Procesarea oțelului în instalația de vidare în limitele de timp precizate conduce la un conținut de hidrogen de 0,8-1,1ppm. De menționat că valorile pentru conținutul final de hidrogen sunt apropiate în cazul celor trei corelații. Creșterea duratei tratamentului sub vid, în limitele admise de temperatură, asigură condiții favorabile (în primul rând timp suficient) pentru difuzia hidrogenului din baie în bulele de argon, de îndepărtarea acestora din baie, respectiv din spațiul vidat;

- pentru durate totale a tratamentului sub vid de până la 28 min asigură pentru vidarea sub vid avansat (sub 2 mBar) durata de 12-18min; la o durată de vidare avansată de 16-18min. conținutul de hidrogen scade sub 1,1ppm ca urmare a scăderii solubilității acestuia în baia de oțel. Creșterea duratei de tratament sub vid avansat conduce la scăderea conținutului de hidrogen din baia de oțel (fig. 5.2.), scăderea fiind semnificativă, indiferent de corelația analizată. Evident că temperatura băii metalice asigură asemenea durate de tratament;

- referitor la presiunea în instalația de vidare la vid avansat, scăderea acesteia, în mod deosebit sub 1,3mBar (1,1-1,3mBar) determină o reducere a conținutului de hidrogen din oțel (fig. 5.3.), explicabilă tehnologic prin reducerea presiunii pe care trebuie să le învingă bula de argon; presiunea în instalația de vidare la vid avansat este cuprinsă în limitele 1,1-1,9 mBar, la presiuni sub 1,2mBar conținutul de hidrogen scade sub 1,1ppm; indiferent de tipul de corelație între variabila dependentă și cea independentă, ele sunt reprezentative și au sens tehnologic;

- din analiza corelațiilor prezentate sub formă analitică și grafică prezentate în fig. 5.4. rezultă pentru cele trei tipuri de corelații valori foarte apropiate (atât analitic, cât și grafic) ceea ce confirmă valabilitatea acestora atât din punct de vedere matematic, cât și tehnic; reducerea temperaturii într-un interval mai extins (60-90°C) asigură condiții favorabile degazării (fluiditate oțel, timp suficient de tratare, etc), la reduceri de temperaturi spre limita superioară se obține la finalul tratamentului conținuturi de hidrogen sub 1,1ppm; reducerea de temperatură în limitele 80-90°C asigură conținut de hidrogen sub 1,1ppm;

- analizând rezultatele prezentate în fig. 5.5. se constată că temperatura oțelului la intrare în instalația de vidare influențează conținutul de hidrogen din oțel la terminarea tratamentului de vidare; rezultatele cercetărilor sunt prezentate în acest caz sub forma unor funcții polinomiale de gradul 2; 3 și 4, la fel ca și în

celelalte situații, acestea sunt prezentat analitic și grafic. Corelațiile prezintă puncte de minim situate în intervalul de temperatură 1690 – 1710°C, în care conținutul de hidrogen scade sub 1,1ppm, acest interval de temperatură fiind optim deoarece asigură pentru oțel o bună fluiditate și în același timp dizolvarea de hidrogen în baie nefiind prea intensă;

- din punct de vedere al reprezentărilor grafice, corelațiile prezentate în fig. 5.6. sunt asemănătoare cu cele prezentate anterior (sunt tot funcții polinomiale de gradul 2; 3 și 4) și de asemenea sunt prezentate și sub formă analitică; pentru temperatura oțelului la ieșirea din instalația de vidare cuprinsă în intervalul 1600-1620°C rezultă în baia de oțel un conținut de hidrogen la terminarea vidării de sub 1,1ppm. Analizând aceste rezultate cu cele din fig. 5.5 și 5.4. rezultă ca acestea sunt foarte bine corelate, astfel: diferența dintre temperaturile oțelului la intrare și ieșire din instalația de vidare cuprinse în intervalele optime de variație corespunde cu cea indicată la analiza corelațiilor din fig. 5.4. (pentru care rezultă valori pentru hidrogen de sub 1,1ppm.

- referitor la influența asupra randamentului de eliminare a hidrogenului a duratei totale de vidare (fig.5.7) și respectiv a celei sub vid avansat (fig.5.8), se constată o creștere a randamentului o dată cu creșterea acestor durate; rezultatele obținute se corelează foarte bine cu cele din fig. 5.1. și 5.2., în sensul că pentru subdomeniile (25-28min și respectiv 16-18min.) care asigură cel mai scăzut conținut de hidrogen la terminarea vidării (sub 1,1ppm), se obțin valori superioare pentru randamentul de eliminare a hidrogenului (peste 70%). De menționat faptul că în ambele reprezentări grafice corelațiile exprimate prin funcții polinomiale de gradul 2; 3 și 4 aproape se suprapun, ceea ce este o dovadă a valabilității acestora (confirmată și de valorile coeficienților de regresie);

- din datele prezentate în fig.5.9 reiese faptul că o dată cu reducerea presiunii în instalația de vidare crește randamentul de eliminare a hidrogenului, rezultatele fiind foarte bine corelate cu cele din fig.5.3.; o reducere a presiunii în instalația de vidare sub 1,3mBar (1,1-1,3mBar) asigură obținerea pentru randamentul de eliminare a hidrogenului a unor valori mai mari de 70% (70-86%).

- din analiza rezultatelor prezentate în fig. 5.10, rezultă că o creștere a reducerii temperaturii pe durata tratamentului de vidare conduce la creșterea randamentului, rezultate foarte bine corelate cu cele din fig. 5.4.; o reducere de temperatură în intervalul 60-90°C asigură pentru randamentul de eliminare a hidrogenului cuprinse în intervalul 80-90%;

- din analiza rezultatelor prezentate în fig. 5.11 se constată că referitor la randamentul de eliminare a hidrogenului se obțin valori de peste 70% pentru temperaturi la intrare în instalația de vidare de 1690-1720°C (toate cele trei curbe de corelație prezintă maxim) existând o foarte bună corespondență cu rezultatele prezentate în fig 5.5;

-analizând rezultatele prezentate în fig. 5.12 se constată că referitor la randamentul de eliminare a hidrogenului se obțin valori de peste 70% pentru temperaturi la intrare în instalația de vidare de 1590-1620⁰C (toate cele trei curbe de corelație prezintă maxim), existând o foarte bună corespondență cu rezultatele prezentate în fig 5.6.

5.3.2.Rezultate obținute în programul MATLAB

Prin prelucrarea datelor în programul de calcul MATLAB au rezultat ecuații de corelație multiplă (dublă) între parametrul dependent (z), cei independenți (x și y) și a₁-a₉ coeficienții, rezultatele fiind prezentate atât sub formă analitică cât și grafică (suprafața de corelație, curbele de nivel proiecție spațială și plană.

Pentru stabilirea corelațiilor au fost utilizate funcții/ecuații de forma:

$$\text{Ecuția 1} \quad z = a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3 + a_5y + a_6y^2 + a_7y^3 + a_8y^4 + a_9y^5$$

(5.2)

$$\text{Ecuția 2} \quad z = a_1 + a_2 \log x + a_3 (\log x)^2 + a_4 (\log x)^3 + a_5 / y + a_6 / y^2 + a_7 / y^3 + a_8 / y^4 + a_9 / y^5$$

(5.3)

$$\text{Ecuția 3} \quad z = a_1x^2 + a_2y^2 + a_3xy + a_4x + a_5y + a_6$$

(5.4)

5.3.2.1. Corelații referitoare la conținutul de hidrogen după vidare.

Analiza tehnologică. Concluzii

a) Corelații duble

Conținutul de hidrogen la terminarea tratamentului sub vid (considerat din punct de vedere matematic parametru dependent) a fost corelat cu următorii parametri ai vidării (considerați de asemenea din punct de vedere matematic parametri independenți, aceștia având din punct de vedere tehnologic rol de primă importanță):

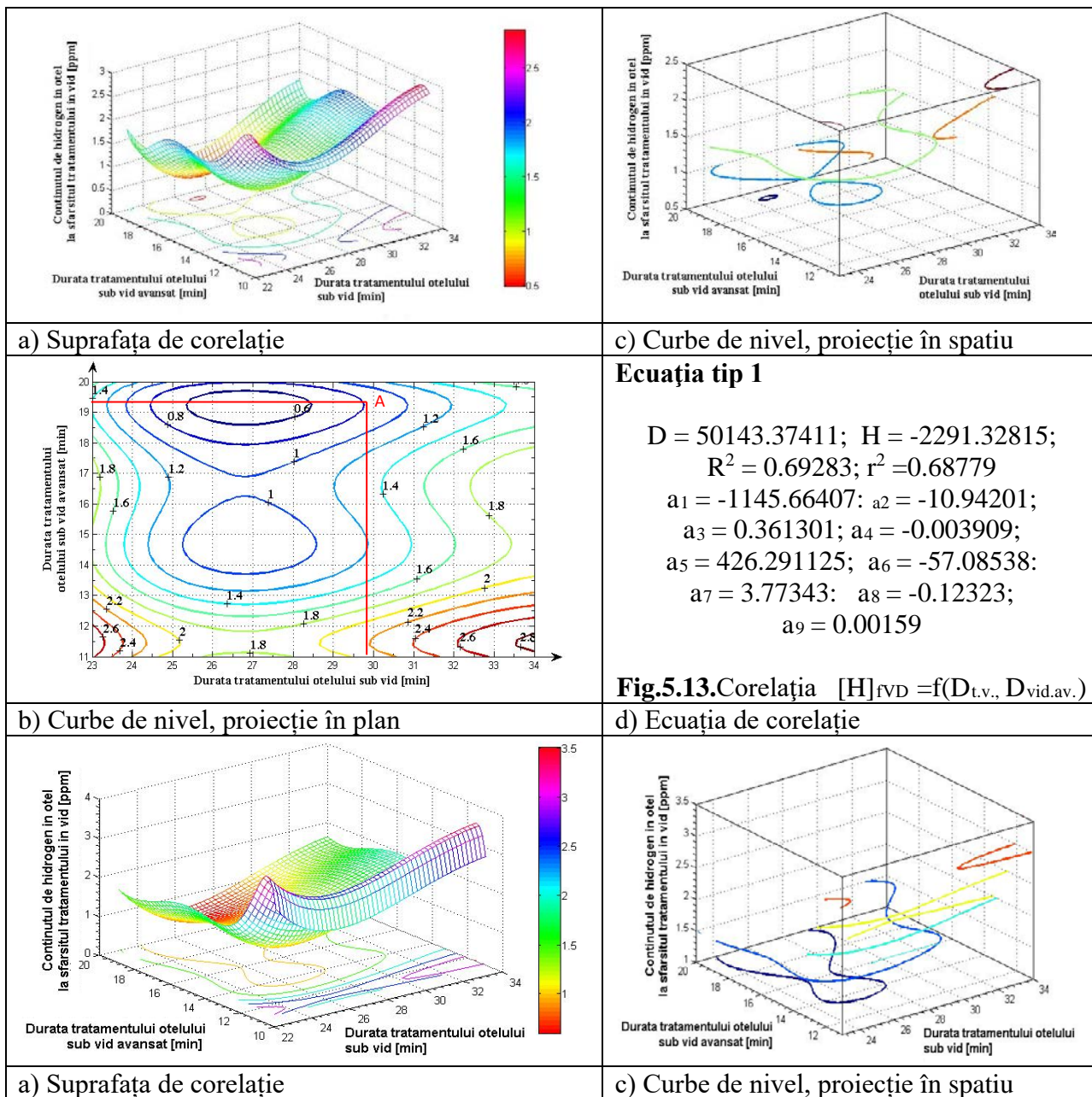
- durata totală vidării D_{tv} ;
- durata vidării sub vid avansat $D_{vid.av}$;
- presiunea în instalația de vidare P_{va} ;
- reducerea de temperatură ΔT .

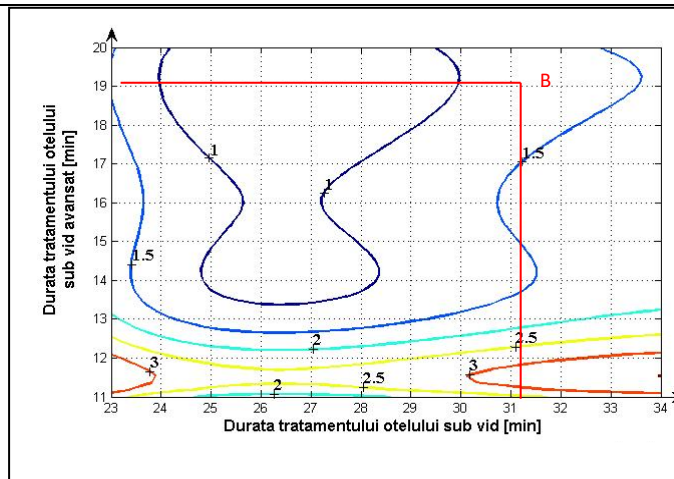
Au fost efectuate 6 grupe de corelații duble, în fiecare grupă fiind cuprinse corelațiile după cele trei tipuri de ecuații.

Rezultatele obținute din corelațiile efectuate în acest program sunt prezentate atât sub formă grafică (suprafețe de corelație, curbe de nivel în proiecție spațială și plană), cât și sub formă analitică (ecuații de corelație).

De menționat că pe baza acestor rezultate fiecare corelație este analizată din punct de vedere tehnologic, pe baza căreia sunt indicate limitele de variație pentru parametri independenți.

În continuare sunt prezentate rezultatele obținute în urma prelucrării datelor experimentale.



**Ecuția tip 2**

$$D = -53361734.97141; H = 9129.39647;$$

$$R^2 = 0.68287; r^2 = 0.67703;$$

$$a_1 = 4564.69823;$$

$$a_2 = -2883.35866; a_3 = 845.627604;$$

$$a_4 = -82.52299; a_5 = -99622.18974;$$

$$a_6 = 3037813.21626;$$

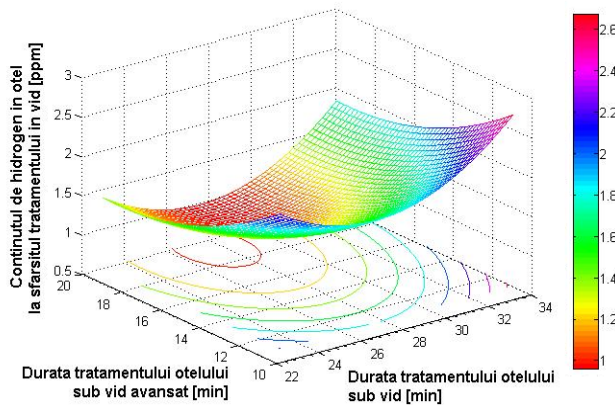
$$a_7 = -45789786.20388;$$

$$a_8 = 341126005.604936;$$

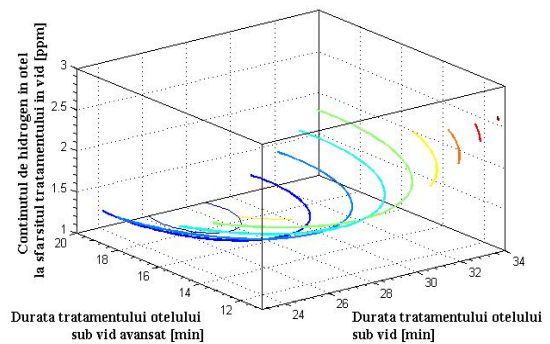
$$a_9 = -1004504954.21221$$

Fig.5.14. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v.}, D_{vid.av.})$

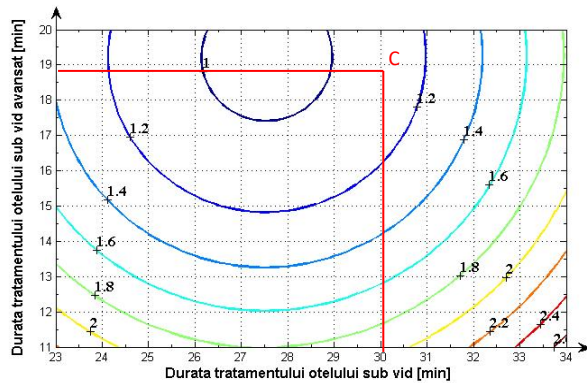
b) Curbe de nivel, proiecție în plan



d) Ecuția de corelație



a) Suprafața de corelație



c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu

Ecuția tip 3

$$D = -54361834.97456; H = 9929.39661;$$

$$R^2 = 0.59876;$$

$$r^2 = 0.58246;$$

$$a_1 = 0.02052; a_2 = 0.01238;$$

$$a_3 = -0.000285; a_4 = -1.12525;$$

$$a_5 = -0.46862; a_6 = 20.96577;$$

Fig.5.15. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v.}, D_{vid.av.})$

b) Curbe de nivel, proiecție în plan

d) Ecuția de corelație

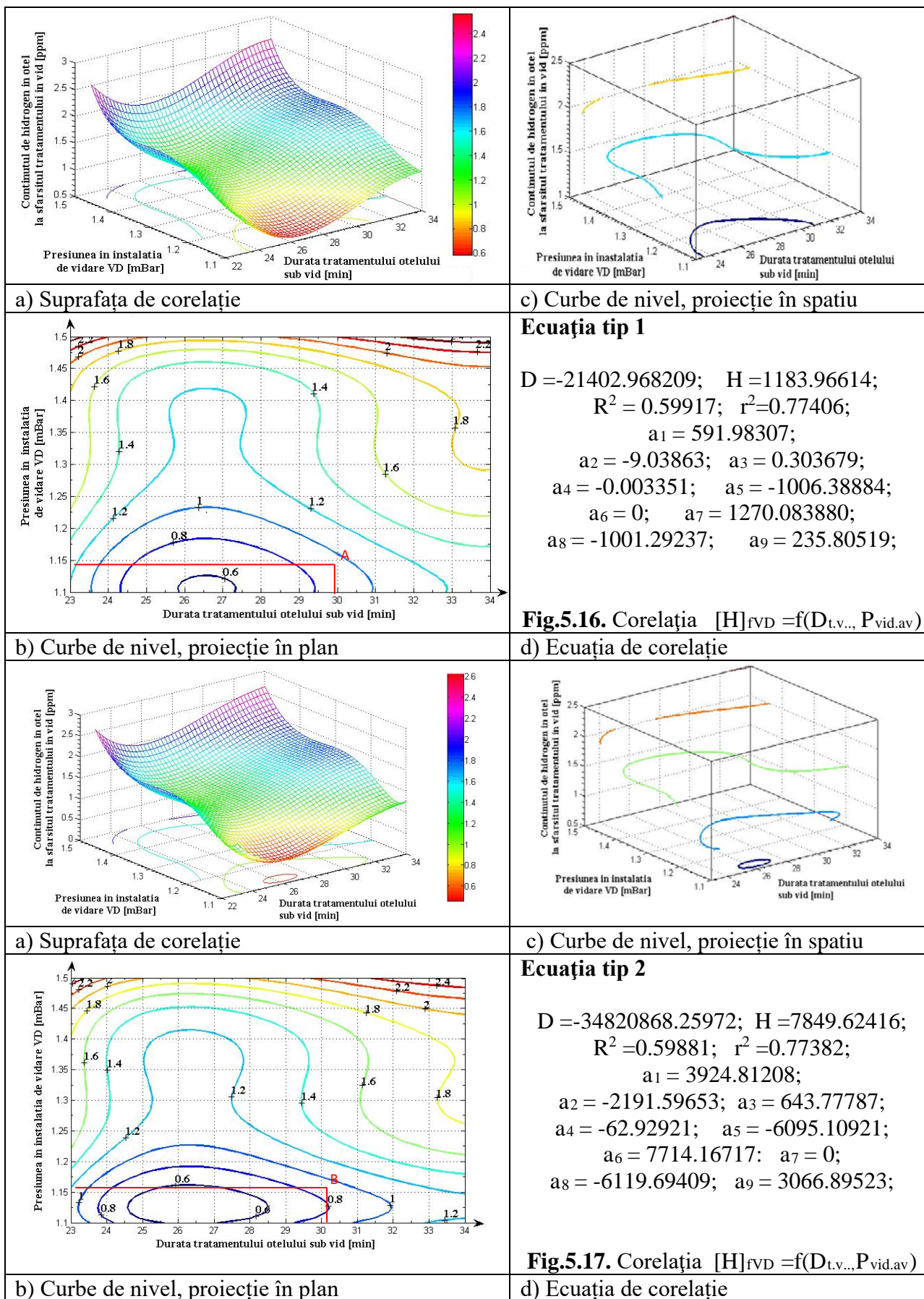
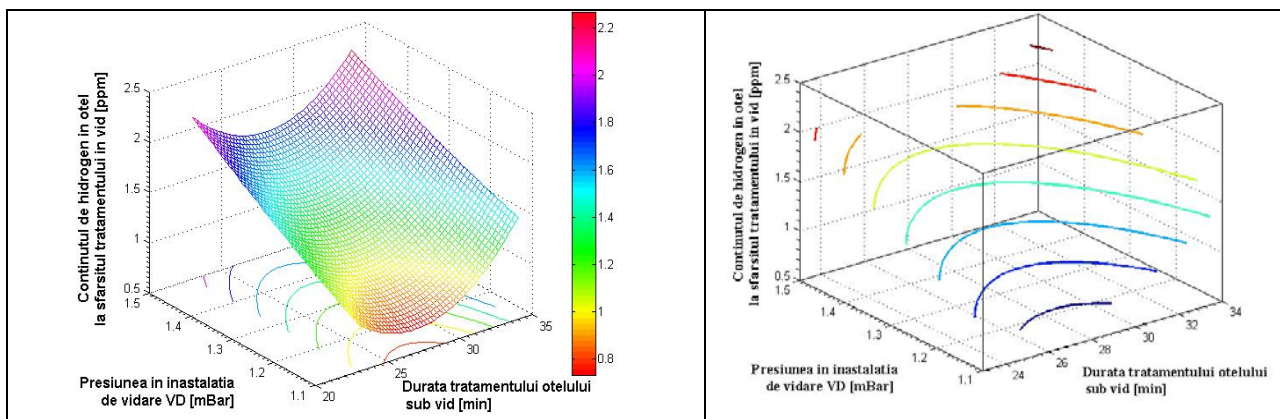


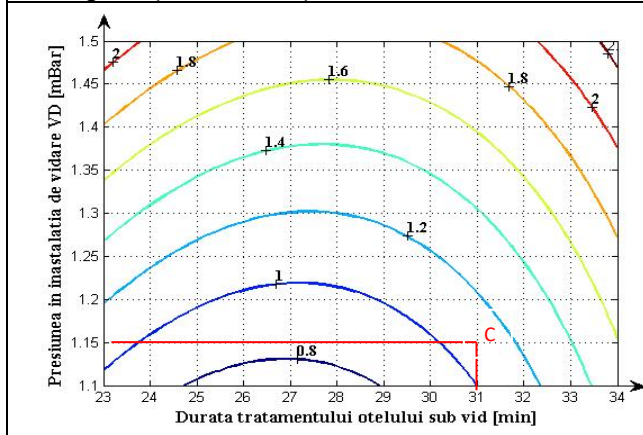
Fig.5.16. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v...}, P_{vid.av})$

Fig.5.17. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v...}, P_{vid.av})$



a) Suprafața de corelație

c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu



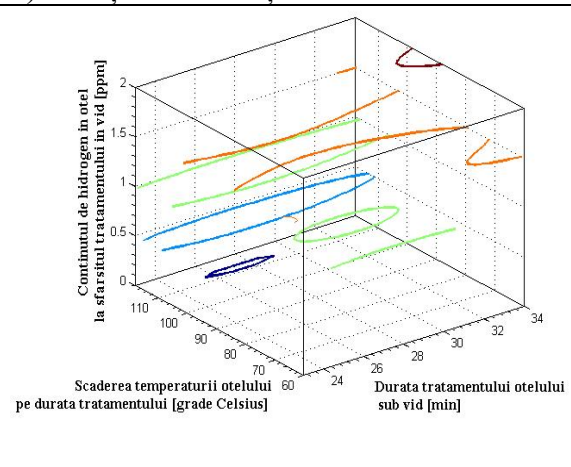
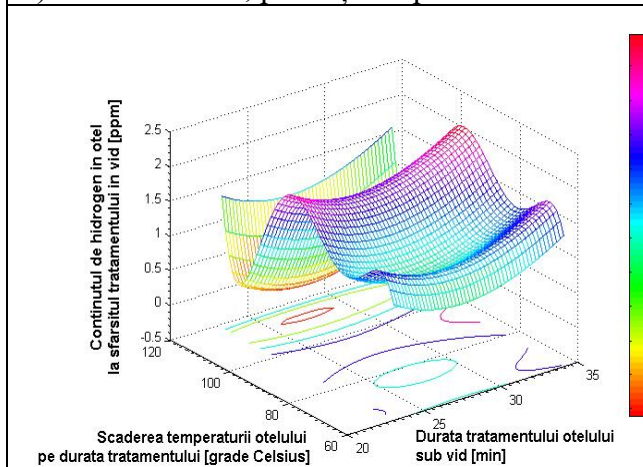
Ecuția tip 3

$$\begin{aligned}
 D &= 0.054954; & H &= 0.030394, \\
 R^2 &= 0,82365 & r^2 &= 0.72162; \\
 a_1 &= 0.0151972; & a_2 &= 1.04289; \\
 a_3 &= -0.09187; & a_4 &= -0.714028; \\
 a_5 &= 2.28989; & a_6 &= 7.88193;
 \end{aligned}$$

Fig.5.18. Corelația $[H]_{FVD} = f(D_{t.v...}, P_{vid..av})$

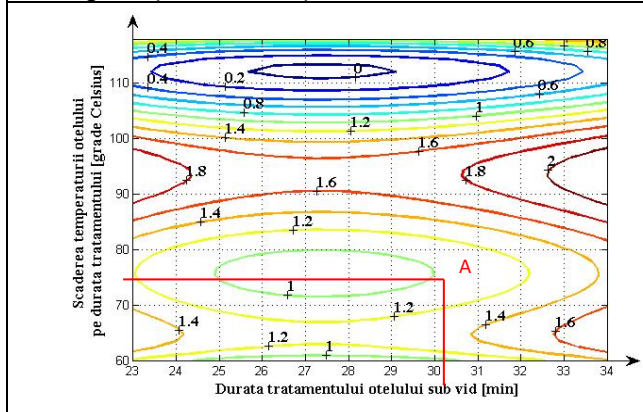
b) Curbe de nivel, proiecție în plan

d) Ecuția de corelație



a) Suprafața de corelație

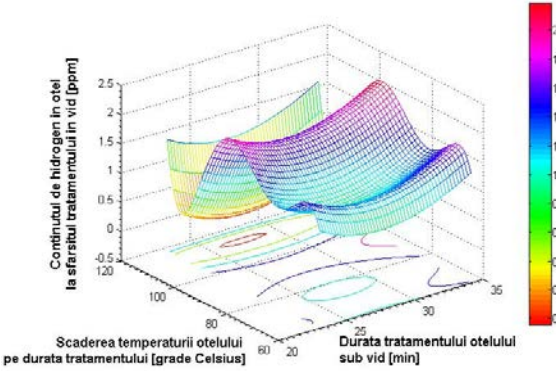
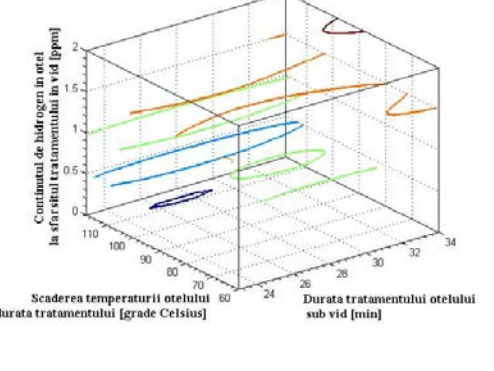
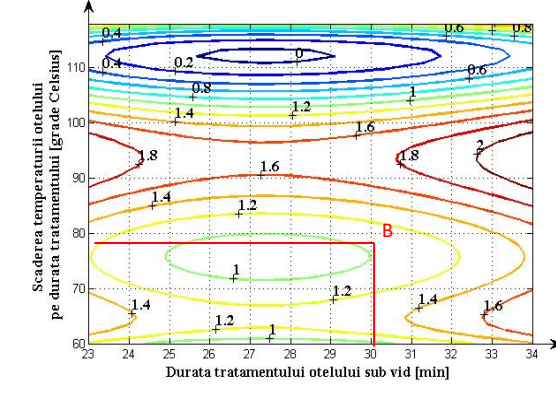
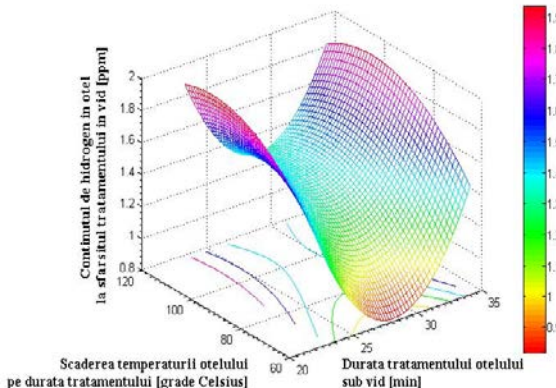
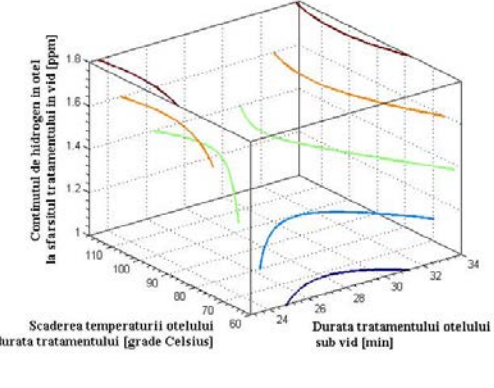
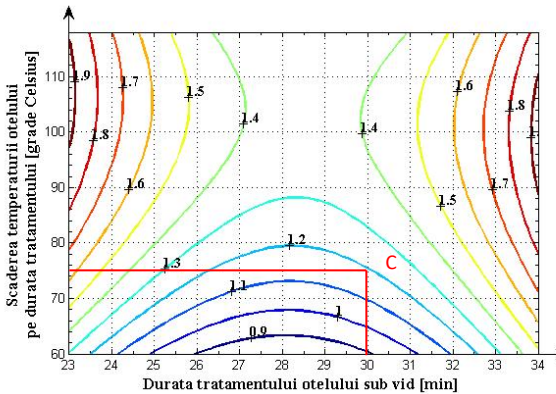
c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu

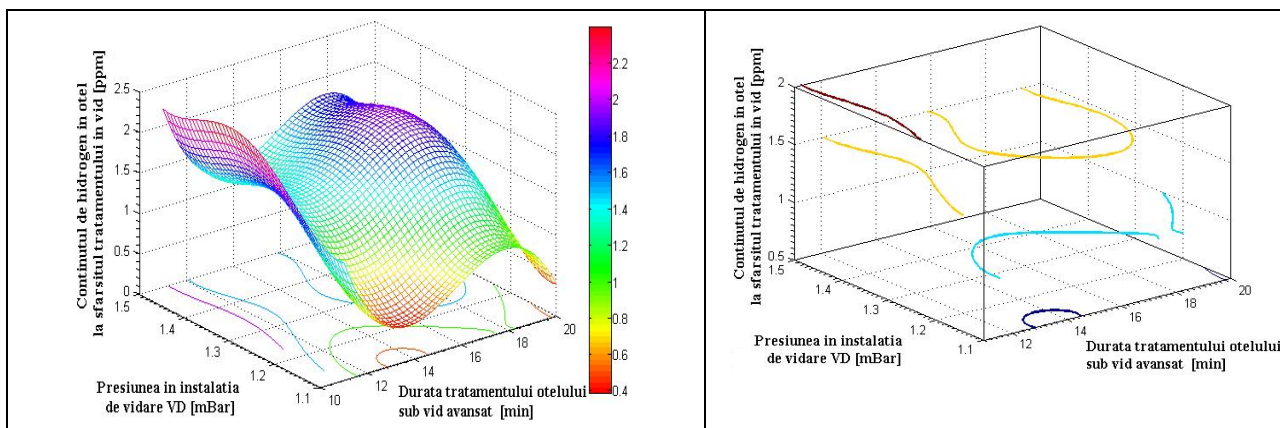


Ecuția tip 1

$$\begin{aligned}
 D &= 7791.336304; & H &= -2473.444308; \\
 R^2 &= 0.554809; & r^2 &= 0.74485; \\
 a_1 &= -1236.72215; \\
 a_2 &= -1.57499; & a_3 &= 0.043454; \\
 a_4 &= -0.000357; & a_5 &= 76.78162; \\
 a_6 &= -1.852201; & a_7 &= 0.022024; \\
 a_8 &= -0.000129; & a_9 &= 0;
 \end{aligned}$$

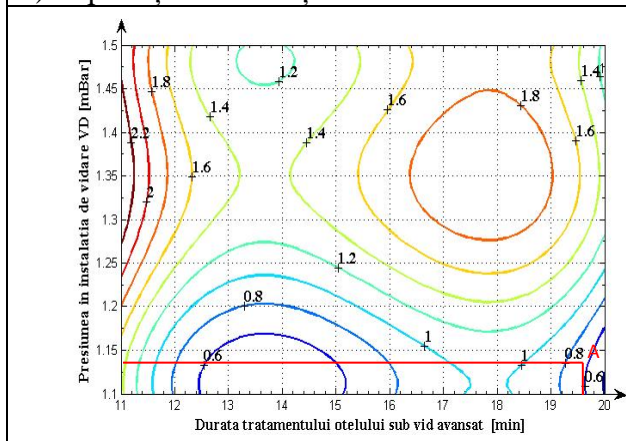
Fig.5.19. Corelația $[H]_{FVD} = f(D_{t.v...}, \Delta T.)$

<p>b) Curbe de nivel, proiecție în plan</p> 	<p>d) Ecuația de corelație</p> 
<p>a) Suprafața de corelație</p> 	<p>c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu</p> <p>Ecuația tip 2</p> $D = -2931199.4192; \quad H = 1729.6901$ $R^2 = 0.422522; \quad r^2 = 0.650017;$ $a_1 = 864.84508;$ $a_2 = -831.15991; \quad a_3 = 236.43427;$ $a_4 = -22.33452; \quad a_5 = 34960.30999;$ $a_6 = -4190887.606; \quad a_7 = 219058469.7883;$ $a_8 = -4223734695.9615; \quad a_9 = 0;$ <p>Fig.5.20. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{t.v...}, \Delta T.)$</p>
<p>b) Curbe de nivel, proiecție în plan</p> 	<p>d) Ecuația de corelație</p> 
<p>a) Suprafața de corelație</p> 	<p>c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu</p> <p>Ecuația de tip 3</p> $D = -2.16e-05; \quad H = 0.03710;$ $R^2 = 0,8235; \quad r^2 = 0.560541;$ $a_1 = 0.01855; \quad a_2 = -0.0002895;$ $a_3 = -0.000382; \quad a_4 = -1.01734;$ $a_5 = 0.07069; \quad a_6 = 12.20237;$ <p>Fig.5.21. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{v...}, \Delta T.)$</p>
<p>b) Curbe de nivel, proiecție în plan</p>	<p>d) Ecuația de corelație</p>



a) Suprafața de corelație

c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu



Ecuția de tip 1

$$D = -25804.29908; \quad H = 1100.9862;$$

$$R^2 = 0.52185; \quad r^2 = 0.72239;$$

$$a_1 = 550.4931;$$

$$a_2 = -11.71846; \quad a_3 = 0.75717;$$

$$a_4 = -0.01601; \quad a_5 = -958.55512;$$

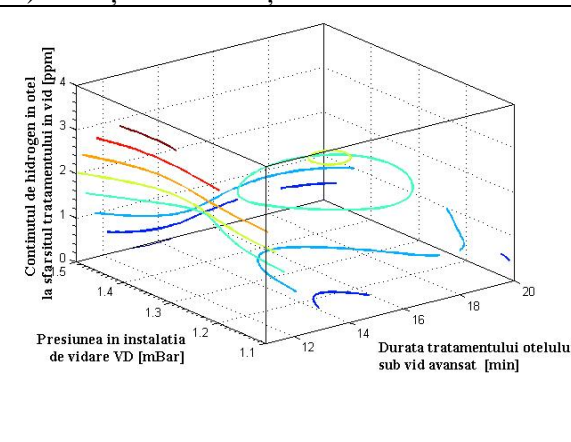
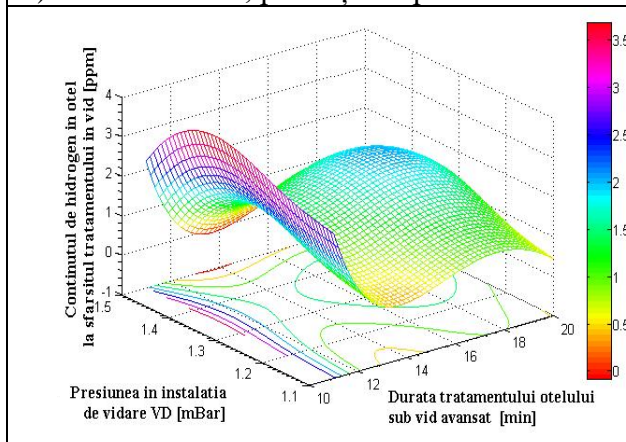
$$a_6 = 0; \quad a_7 = 1145.16551;$$

$$a_8 = -875.04711; \quad a_9 = 199.2611;$$

Fig.5.22.Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{vid.av.}, P_{vid.av.})$

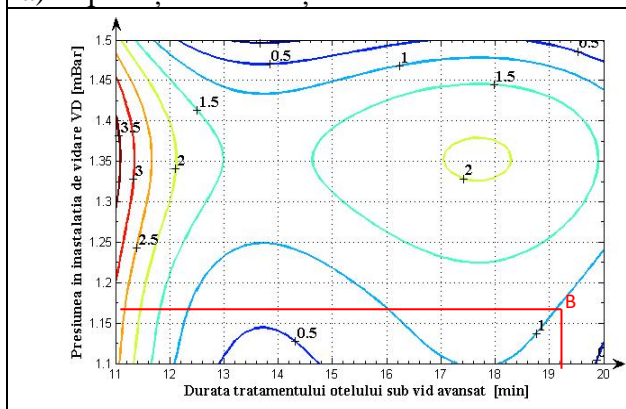
b) Curbe de nivel, proiecție în plan

d) Ecuția de corelație



a) Suprafața de corelație

c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu



Ecuția de tip 2

$$D = -4286170.14509; \quad H = 1105.60627;$$

$$R^2 = 0.78475; \quad r^2 = 0.72186;$$

$$a_1 = 552.80313;$$

$$a_2 = -1753.21723; \quad a_3 = 639.87045;$$

$$a_4 = -77.6772; \quad a_5 = 4189.74343;$$

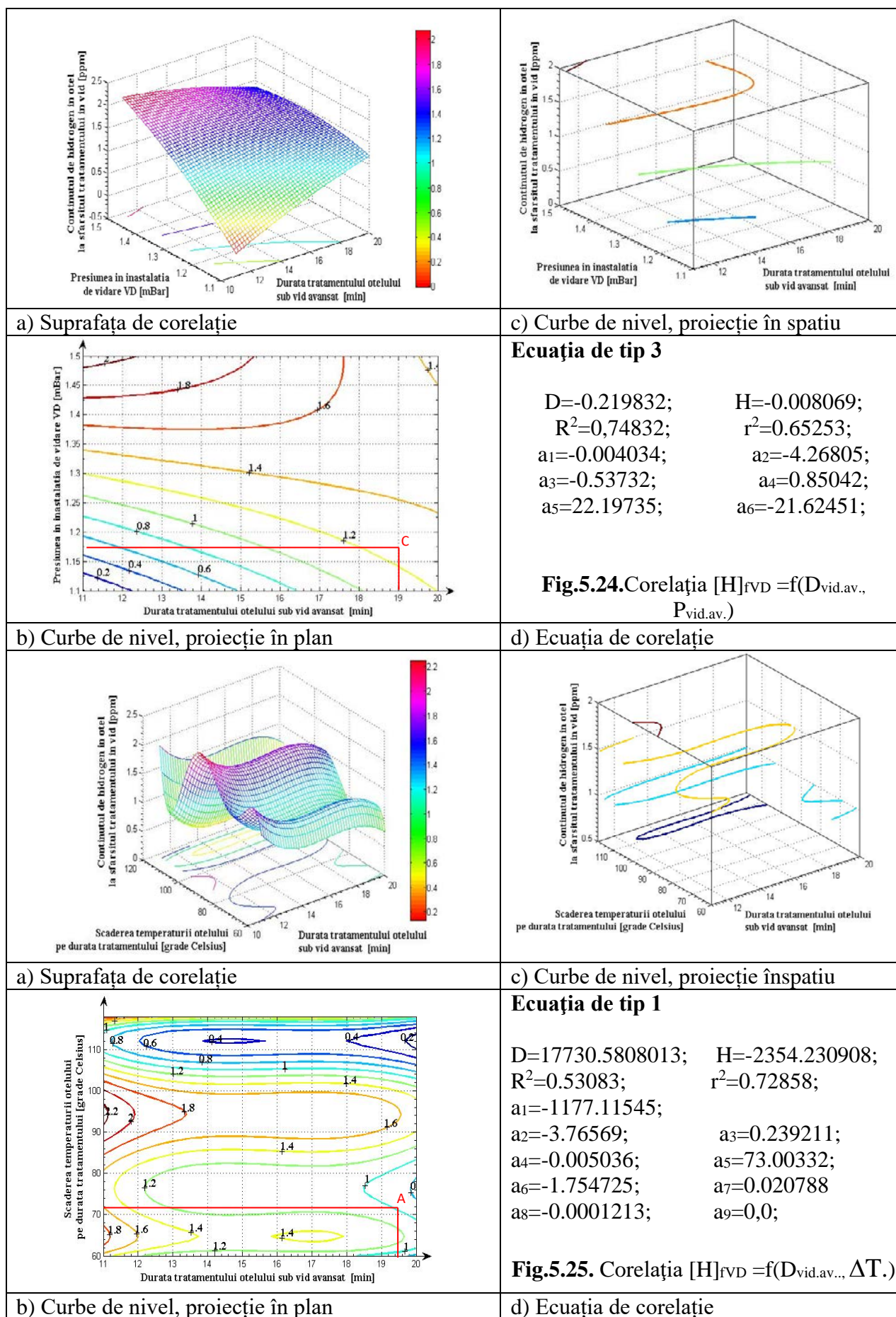
$$a_6 = -5008.31045; \quad a_7 = 0;$$

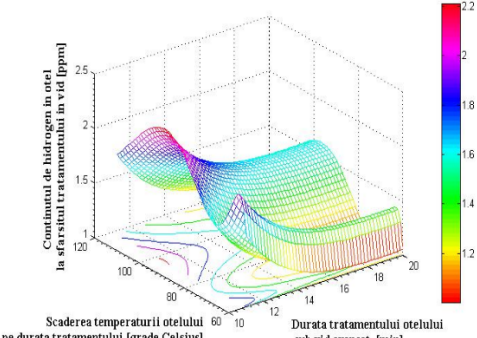
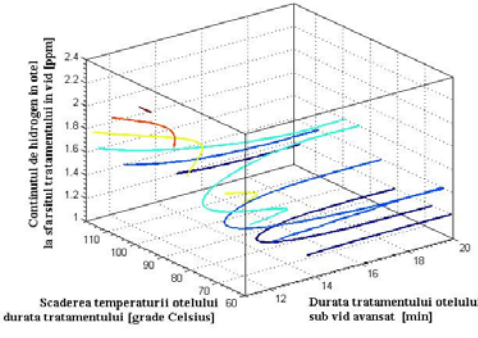
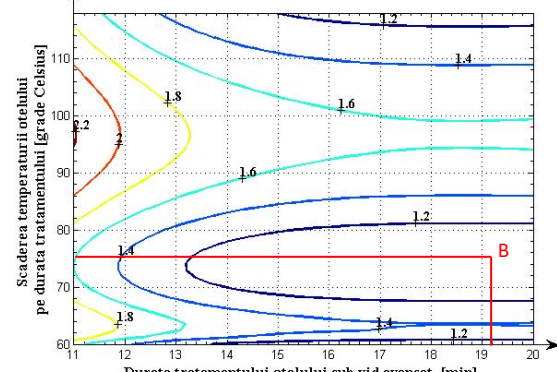
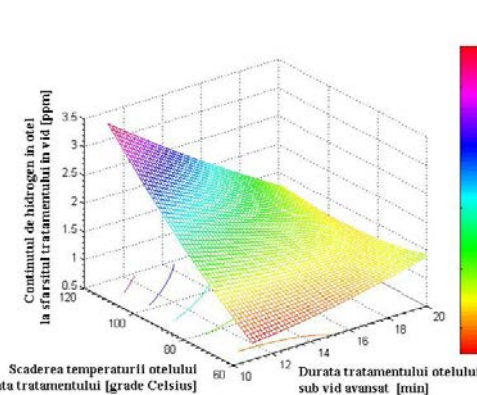
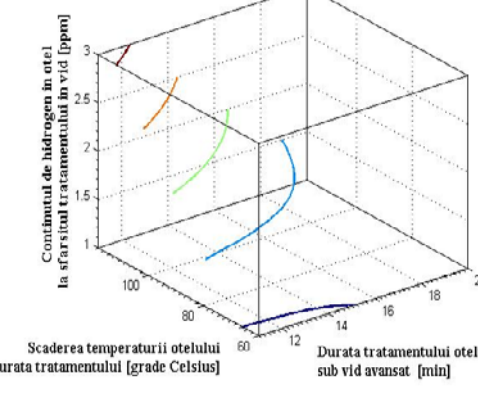
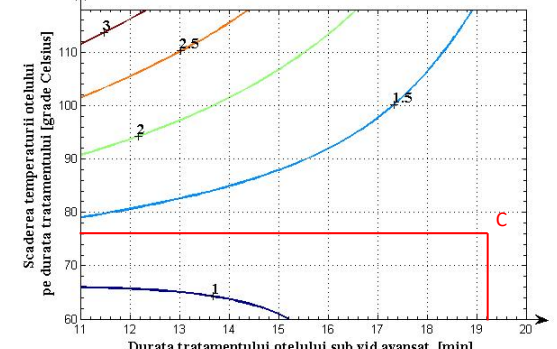
$$a_8 = 3534.2579; \quad a_9 = -1671.75313;$$

Fig.5.23.Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{vid.av.}, P_{vid.av.})$

b) Curbe de nivel, proiecție în plan

d) Ecuția de corelație



 <p>Scaderea temperaturii oțelului pe durata tratamentului [grade Celsius]</p> <p>Durata tratamentului oțelului sub vid avansat [min]</p>	 <p>Scaderea temperaturii oțelului pe durata tratamentului [grade Celsius]</p> <p>Durata tratamentului oțelului sub vid avansat [min]</p>
<p>a) Suprafața de corelație</p>	<p>c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu</p>
 <p>Scaderea temperaturii oțelului pe durata tratamentului [grade Celsius]</p> <p>Durata tratamentului oțelului sub vid avansat [min]</p>	<p>Ecuția de tip 2</p> $D = -96419.89852; \quad H = 652.58094;$ $R^2 = 0.43949; \quad r^2 = 0.66294;$ $a_1 = 326.29047; \quad a_2 = -73.42107;$ $a_3 = 24.36214; \quad a_4 = -2.69198;$ $a_5 = -117291.97043; \quad a_6 = 21298262.9721$ $a_7 = -1882891276.021;$ $a_8 = 81181908340.26$ $a_9 = -1368431890047.13$ <p>Fig.5.26. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{vid.av...}, \Delta T.)$</p>
<p>b) Curbe de nivel, proiecție în plan</p>	<p>d) Ecuția de corelație</p>
 <p>Scaderea temperaturii oțelului pe durata tratamentului [grade Celsius]</p> <p>Durata tratamentului oțelului sub vid avansat [min]</p>	 <p>Scaderea temperaturii oțelului pe durata tratamentului [grade Celsius]</p> <p>Durata tratamentului oțelului sub vid avansat [min]</p>
<p>a) Suprafața de corelație</p>	<p>c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu</p>
 <p>Scaderea temperaturii oțelului pe durata tratamentului [grade Celsius]</p> <p>Durata tratamentului oțelului sub vid avansat [min]</p>	<p>Ecuția de tip 3</p> $D = -2.35114133680876e-05$ $H = 0.006804;$ $R^2 = 0.76341 \quad r^2 = 0.58542;$ $a_1 = 0.003402; \quad a_2 = 0.000174;$ $a_3 = -0.00508; \quad a_4 = 0.266044;$ $a_5 = 0.06884; \quad a_6 = -3.94954;$ <p>Fig.5.27. Corelația $[H]_{fVD} = f(D_{vid.av...}, \Delta T.)$</p>
<p>b) Curbe de nivel, proiecție în plan</p>	<p>d) Ecuția de corelație</p>

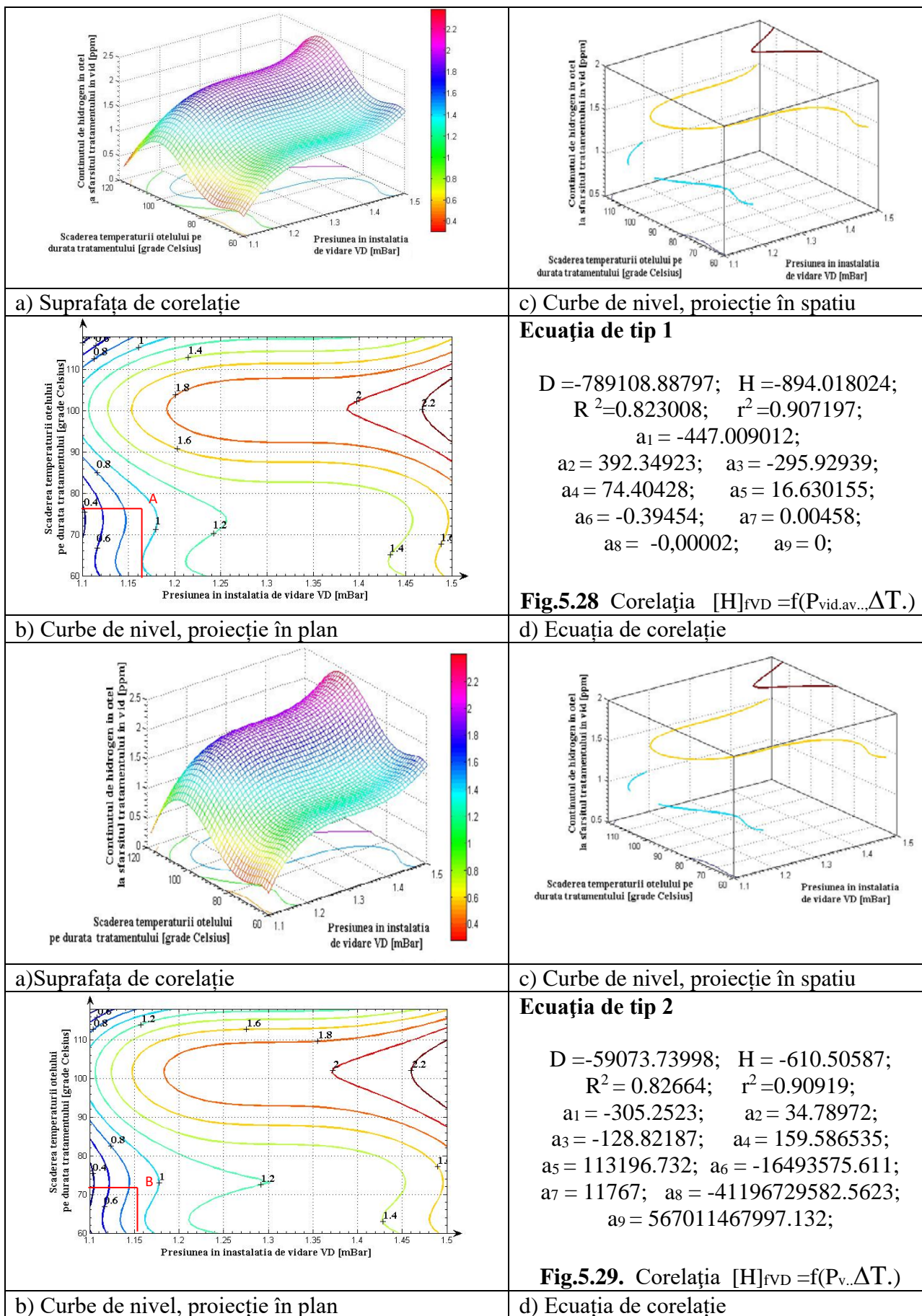
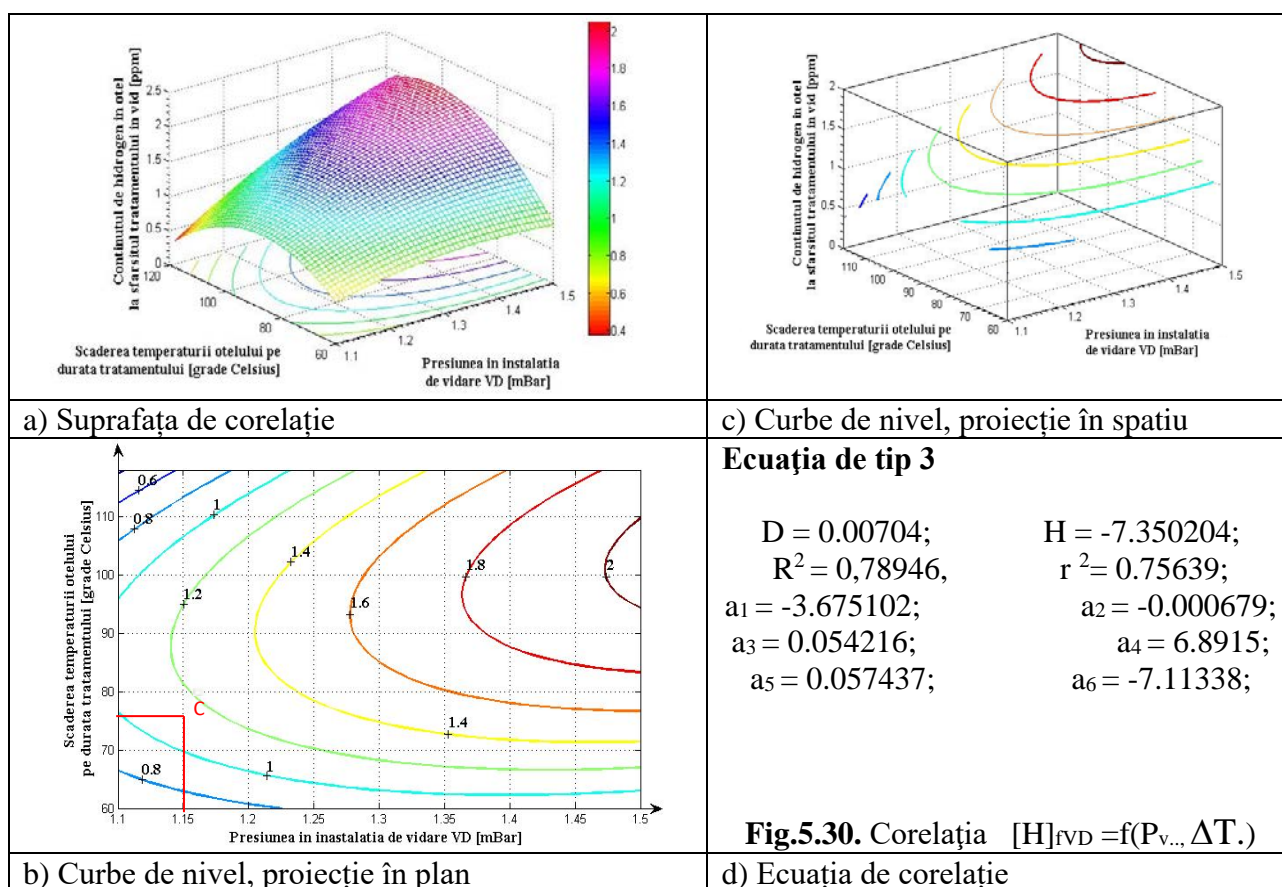


Fig.5.28 Corelația $[H]_{fVD} = f(P_{vid.av...}\Delta T.)$

Fig.5.29. Corelația $[H]_{fVD} = f(P_v..\Delta T.)$



b) Analiza tehnologică a rezultatelor obținute

Din analiza reprezentărilor grafice se constată că parametrii vidării au influență semnificativă asupra conținutului final de hidrogen, respectiv la terminarea procesării în instalația de vidare fără aport de căldură.

De asemenea, iese în evidență faptul că există o foarte bună corespondență între valorile obținute pentru parametrul dependent după cele trei ecuații, în sensul că aceste sunt foarte apropiate (uneori identice) pentru aceleași valori a parametrilor independenți, ceea ce este o confirmare a valabilității rezultatelor obținute.

În cadrul analizei tehnologice comparative pentru cei 4 parametri independenți au fost alese următoarele valori:

- durata totală vidării $D_{tv} = 30\text{min.}$;
- durata vidării sub vid avansat $D_{vid.av.} = 19\text{ min.}$;
- presiunea în instalație la vidare avansată $P_{v.a.} = 1,16\text{ mBar}$;
- reducerea de temperatură pe durata vidării $\Delta T = 76\text{ }^\circ\text{C}$.

În continuare se prezintă analiza tehnologică pentru cele 6 grupe de corelații duble, în fiecare grupă fiind cuprinse corelațiile după cele trei tipuri de ecuații.

Corelația 1: $[H]_{fVD} = f(D_{tv}, D_{vid.av.})$ prezentată în figurile 5.13; 5.14 și 5.15 cu punctele de coordonate spațiale A(30; 19; 0,9); B(30; 19; 1,0) și respectiv C(30; 19; 1,1). Diferență de 0,2ppm $[H]_{fVD}$ este admisibilă având în vedere max. de

1,1ppm. Rezultate foarte bune se obțin pentru $D_{tv} = 25-31$ min și $D_{vid.av} = 15-20$ min, rezultând $[H]_{fVD}$ sub 1,4ppm;

Corelația 2: $[H]_{fVD} = f(D_{tv}, P_{vid.av})$ prezentată în figurile 5.16; 5.17 și 5.18 cu punctele de coordonate spațiale A(30;1,16; 1,0); B(30; 1,16; 0,85) și respectiv C(30;1,16; 1,0). Diferență de 0,15ppm $[H]_{fVD}$ admisibilă având în vedere max. de 1,1ppm. Rezultate foarte bune se obțin pentru $D_{tv} = 25-31$ min și $P_{vid.av}$ sub 1,35mBar, rezultând $[H]_{fVD}$ sub 1,4ppm;

Corelația 3: $[H]_f = f(D_{tv}, \Delta.T.)$ prezentată în figurile 5.19; 5.20 și 5.21 cu punctele de coordonate spațiale A(30; 76; 1,0); B(30; 76; 1,0) și respectiv C(30; 76; 1,2). Diferență de 0,20ppm $[H]_{fVD}$ admisibilă având în vedere max. de 1,2ppm $[H]$. Rezultate foarte bune se obțin pentru $D_{tv} = 25-31$ min și $\Delta.T. = 60 - 90$ min, rezultând $[H]_{fVD}$ sub 1,4ppm;

Corelația 4: $[H]_{fVD} = f(D_{vid.av}, P_{vid.av})$ prezentată în figurile 5.22; 5.23 și 5.24 cu punctele de coordonate spațiale A(19;1,16; 0,95); B(19; 1,16. 1,1) și respectiv C(19; 1,16; 1,15). Diferență de 0,20ppm $[H]_{fVD}$ admisibilă având în vedere max. de 1,15ppm $[H]$. Rezultate foarte bune la $D_{vid.av} = 15-20$ min și P_{va} sub 1,35 mBar, rezultând $[H]_{fVD} < 1,4$ ppm;

Corelația 5: $[H]_{fVD} = f(D_{vid.av}, \Delta.T.)$ prezentată în figurile 5,25; 5.26 și 5.27 cu punctele de coordonate spațiale A(19;76; 1,0); B(19; 1,16. 1,0) și respectiv C(19; 76; 1,25). Diferență de 0,25ppm $[H]_{fVD}$ admisibilă având în vedere max. de 1,25ppm, respectiv valori egale în punctele A și B. Rezultate foarte bune la $D_{vid.av} = 15-20$ min și $\Delta.T. = 60 - 90$ min, $[H]_{fVD}$ sub 1,4ppm;

Corelația 6: $[H]_f = f(P_{vid.av}, \Delta.T.)$ prezentată în figurile 5.28; 5.29 și 5.30 cu punctele de coordonate spațiale A(1,16;76; 0,75); B(1,16;0,76;0,95) și respectiv C(1,16; 76; 1,1). Diferență de 0,1ppm $[H]_{fVD}$ admisibilă având în vedere max. de 1,1ppm. Rezultate foarte bune la $P_{vid.av}$ sub 1,35mBar și $\Delta.T. = 60 - 90$ °C $[H]_{fVD}$ sub 1,4ppm.

La toate corelațiile prezentate, se pot alege valori pentru variabilele independente, respectiv interval de variație, astfel încât pentru conținutul final de hidrogen (parametru dependent) să se obțină o valoare apropiată de cea dorită, sau chiar cea dorită.

c) Concluzii

Din prelucrarea datelor în programul de calcul MATLAB după cele trei tipuri de ecuații și analiza tehnologică a rezultatelor obținute, se pot concluziona următoarele:

- tratamentul oțelului în instalația de vidare fără aport de căldură asigură conținut de hidrogen în oțelul lichid la ieșirea din instalația de vidare VD sub 2,0ppm (în proporție de cel puțin la 90% din șarje);
- tratarea oțelului în instalația VD asigură pe de o parte, o bună omogenizare termică și chimică și pe de altă parte o rafinare avansată privind conținutul de gaze și incluziuni nemetalice;
- ca urmare a tratamentului în instalația VD se poate asigura/controla o scădere de temperatură pe durata tratamentului în vid de până la 90 °C

(foarte rar peste 90°C), ceea ce poate asigura o durată totală de tratament sub vid de până la 35 minute și de vidare adâncă (sub 1,5mBar) de 20 minute;

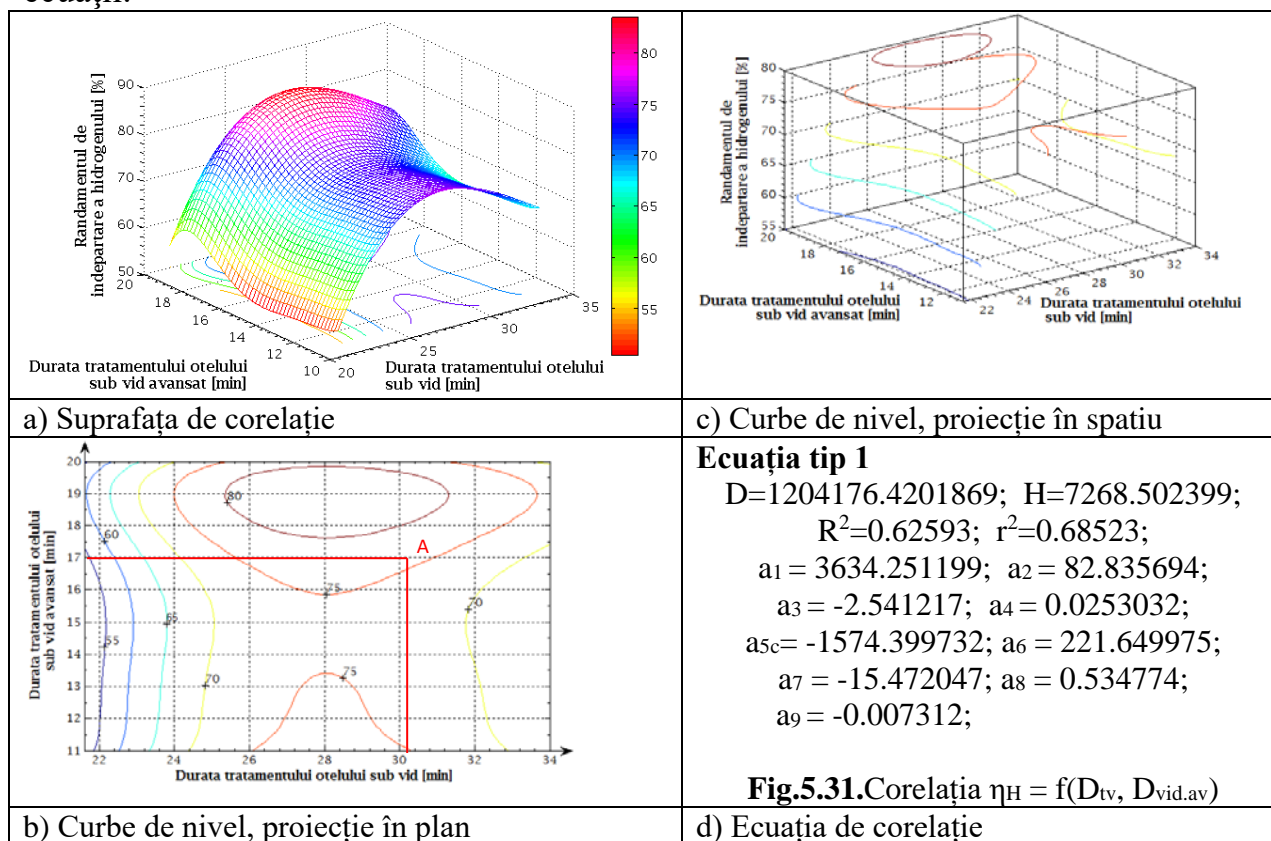
- pentru a asigura în oțel conținut de hidrogen sub 2,0 ppm se recomandă următoarele limite de variație pentru parametri independenți:
 - durata totală a tratamentului sub vid 25-31 minute;
 - durata tratamentului sub vid avansat 15-20 minute;
 - presiune în instalație la vidare avansată sub 1,5 mBar;
 - scăderea de temperatură pe durata tratamentului de vidare $\Delta T = 60 - 90$ °C

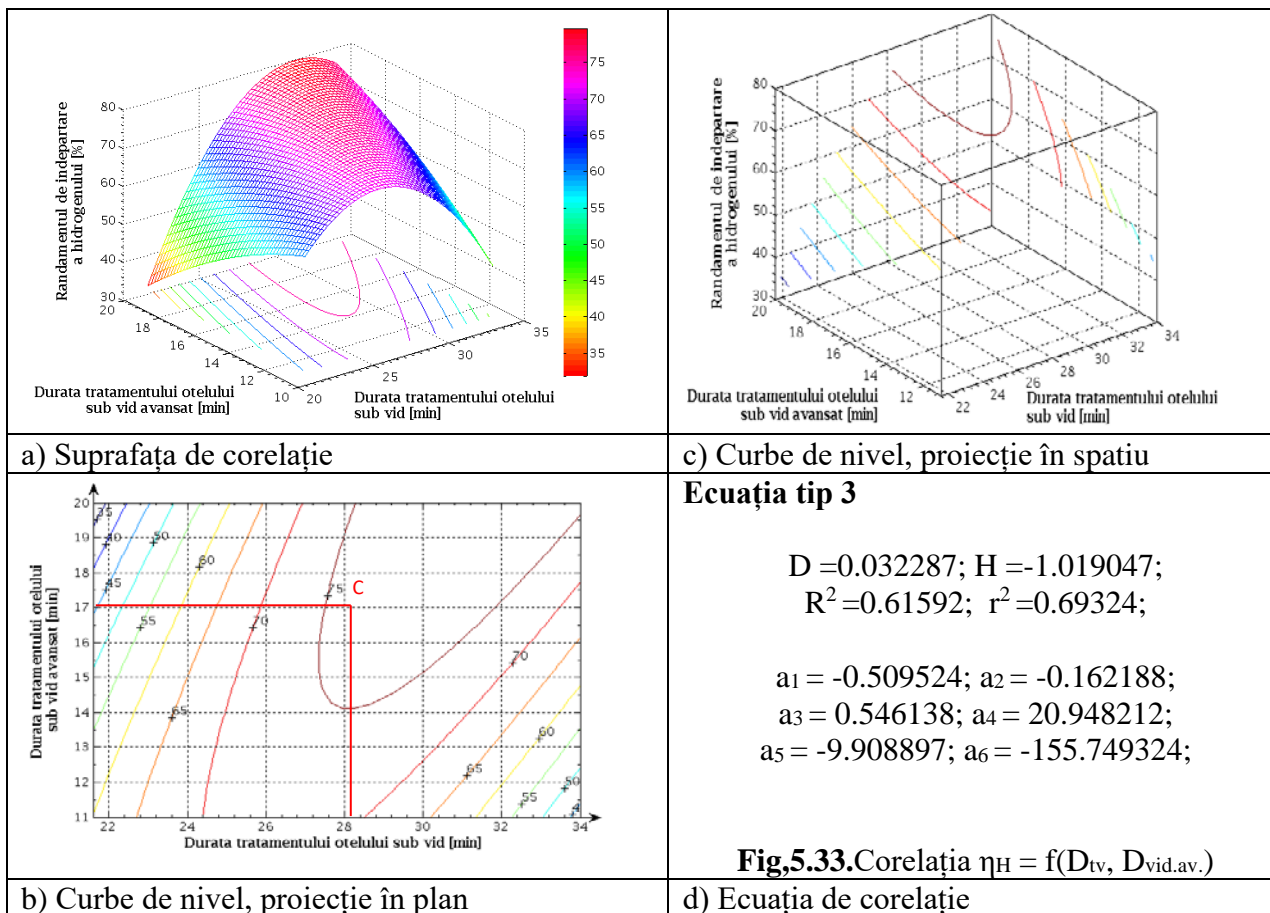
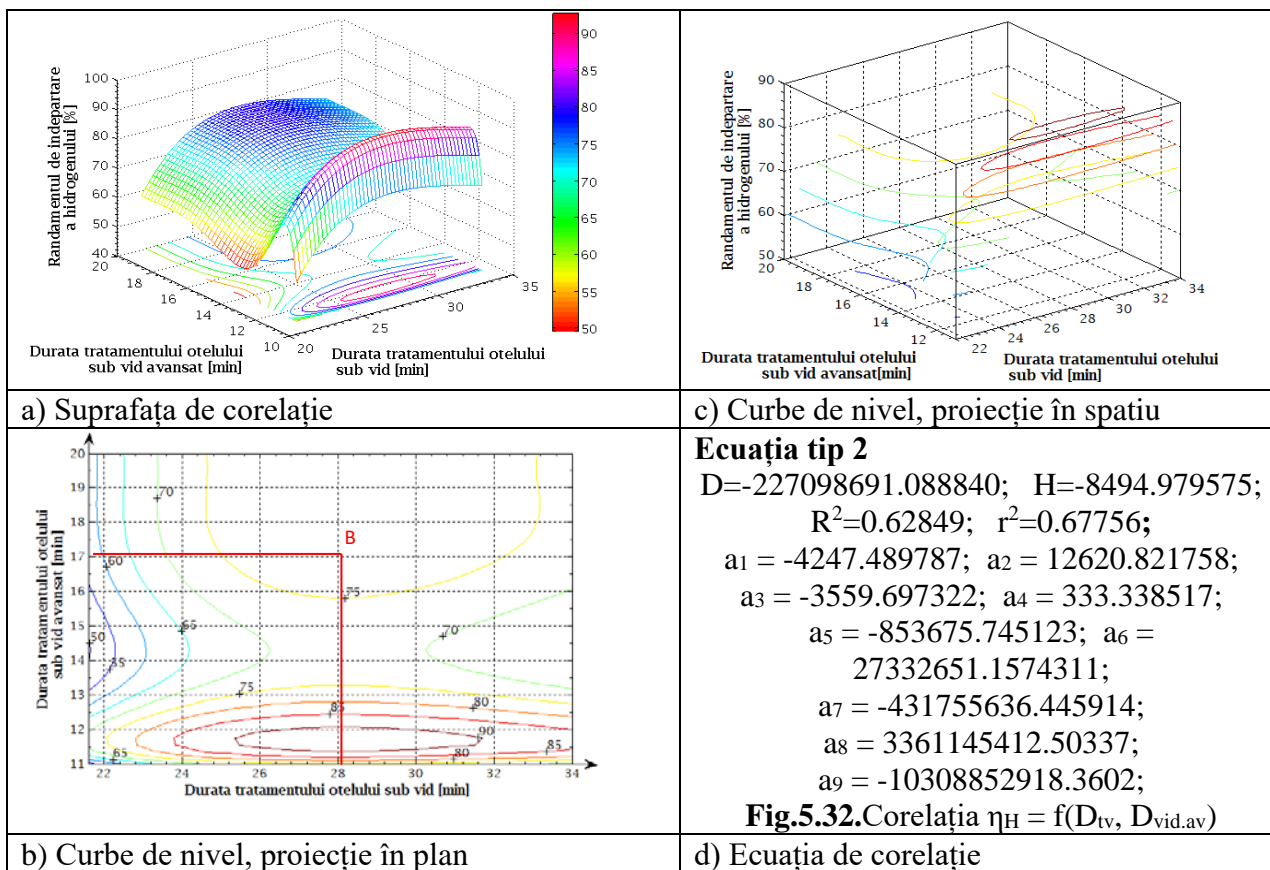
5.3.2.2. Corelații referitoare la randamentul de eliminare a hidrogenului prin tratarea oțelului în instalația de vidare VD. Analiza tehnologică. Concluzii.

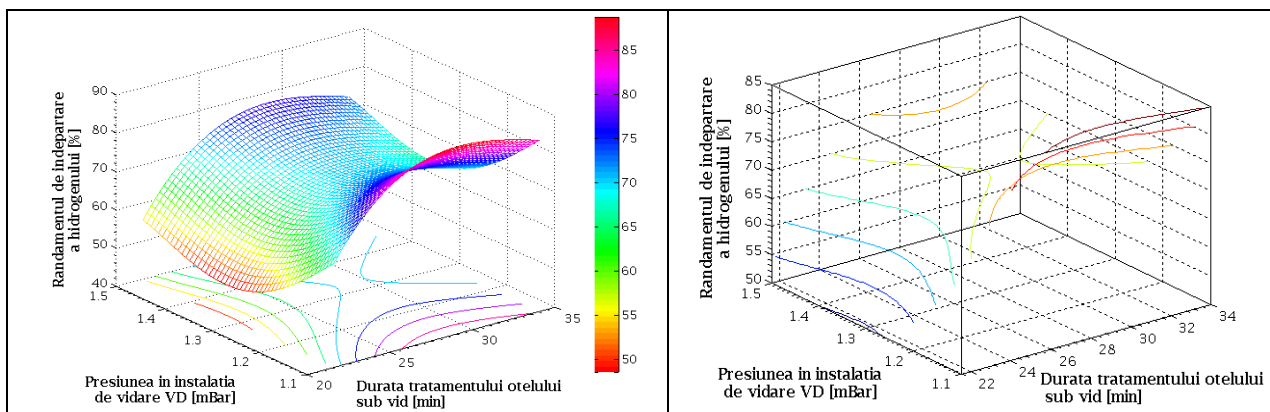
a) Corelații duble

Randamentul de eliminare a hidrogenului prin tratarea oțelului în instalația de vidare a fost corelat cu aceiași parametri ai vidării ca în cazul conținutului final de hidrogen la finalul vidării (cap.5.3.2.1.), astfel: durata totală a vidării $D_{tv.}$; durata vidării sub vid avansat $D_{vid.av.}$; presiunea în instalația la vidare avansată $P_{vid.av.}$; reducerea (diferența/scăderea) de temperatură ΔT .

De asemenea, ca și cazul anterior, corelațiile au fost efectuate 6 grupe de corelații duble, în fiecare grupă fiind cuprinse corelațiile după cele trei tipuri de ecuații.

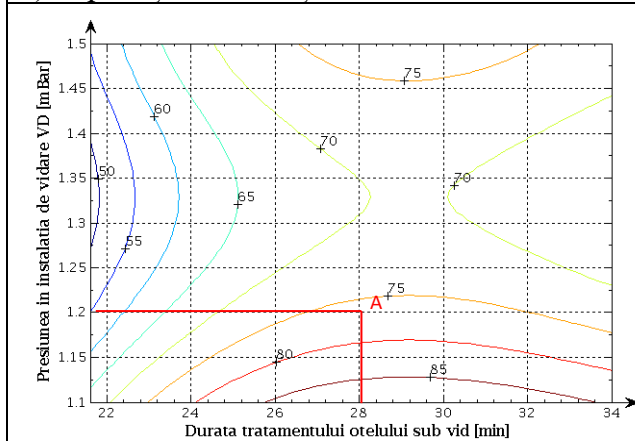






a) Suprafața de corelație

c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu



Ecuția tip 1

$$D = -579853.449162; H = -5099.090107;$$

$$R^2 = 0.81398; r^2 = 0.88768;$$

$$a_1 = -2549.545054; a_2 = 56.858240;$$

$$a_3 = -1.695909; a_4 = 0.016482;$$

$$a_5 = 4315.469804; a_6 = 0;$$

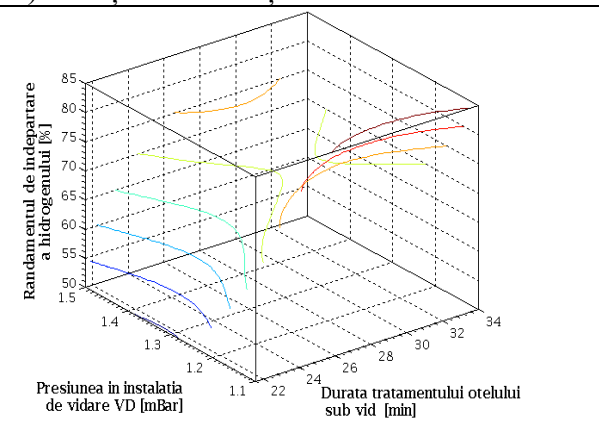
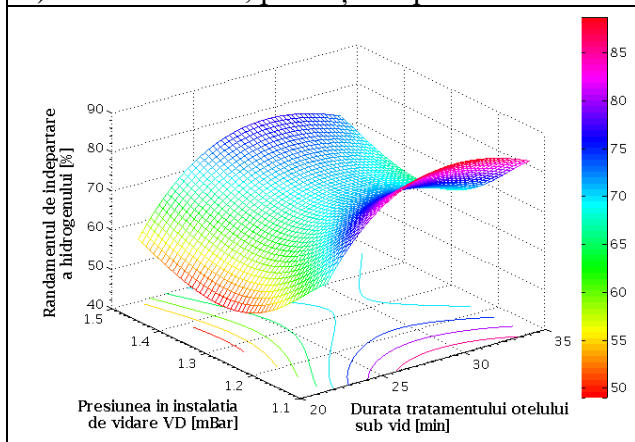
$$a_7 = -5872.558640;$$

$$a_8 = 4681.379595; a_9 = -1099.701291;$$

Fig.5.34. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, P_{vid.av.})$

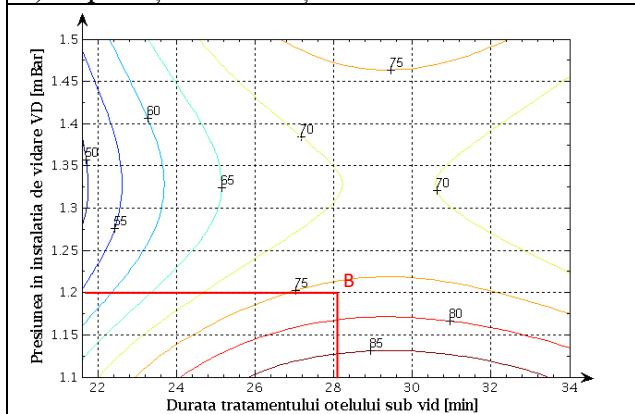
b) Curbe de nivel, proiecție în plan

d) Ecuția de corelație



a) Suprafața de corelație

c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu



Ecuția tip 2

$$D = -51716664.862349; H = -11497.368232;$$

$$R^2 = 0.813174; R^2 = 0.87657;$$

$$a_1 = -5748.684116; a_2 = 2240.481223;$$

$$a_3 = -444.285486; a_4 = 22.264222;$$

$$a_5 = 11801.863611; a_6 = -16518.494261;$$

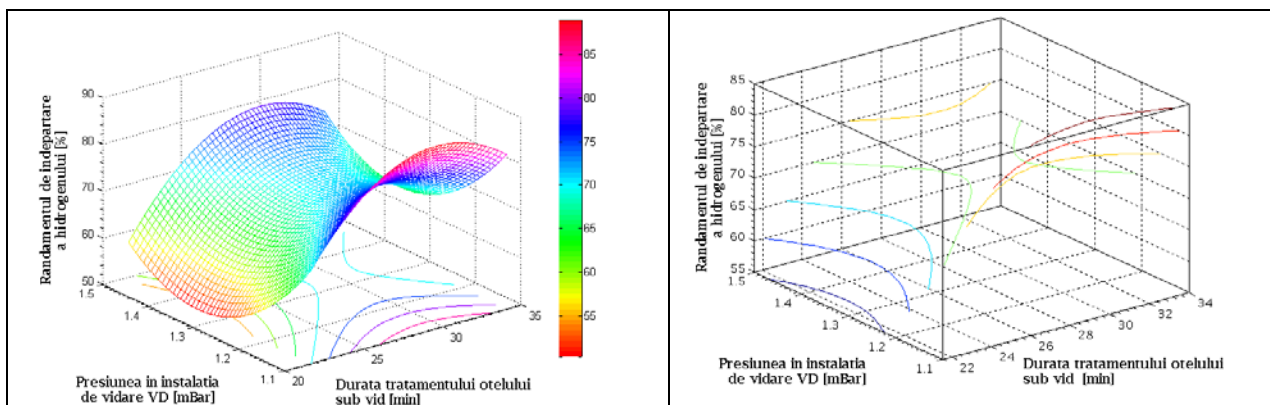
$$a_7 = 0; a_8 = 15124.512797;$$

$$a_9 = -7935.099992;$$

Fig.5.35. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, P_{vid.av.})$

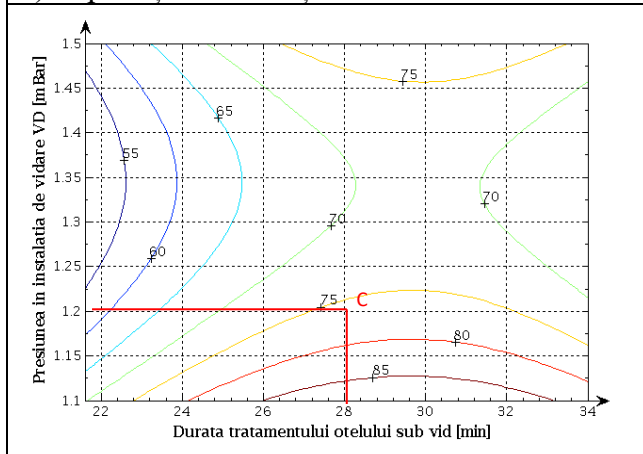
b) Curbe de nivel, proiecție în plan

d) Ecuția de corelație



a) Suprafața de corelație

c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu



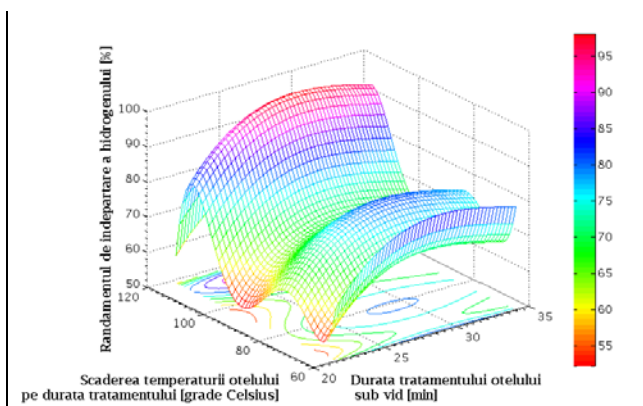
b) Curbe de nivel, proiecție în plan

Ecuția tip 3

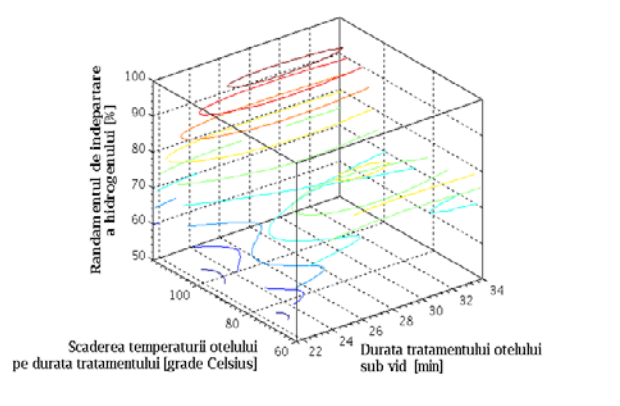
$$\begin{aligned}
 D &= -382.805329; & H &= -0.605992; \\
 R^2 &= 0.811736; & r^2 &= 0.862425; \\
 a_1 &= -0.302996; & a_2 &= 315.556306; \\
 a_3 &= 0.597084; & a_4 &= 17.262844; \\
 a_5 &= -863.644527; & a_6 &= 392.178339;
 \end{aligned}$$

Fig. 5.36. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, P_{vid.av})$

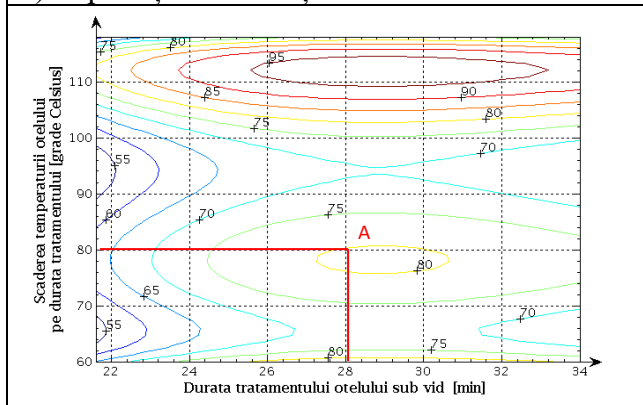
d) Ecuția de corelație



a) Suprafața de corelație



c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu



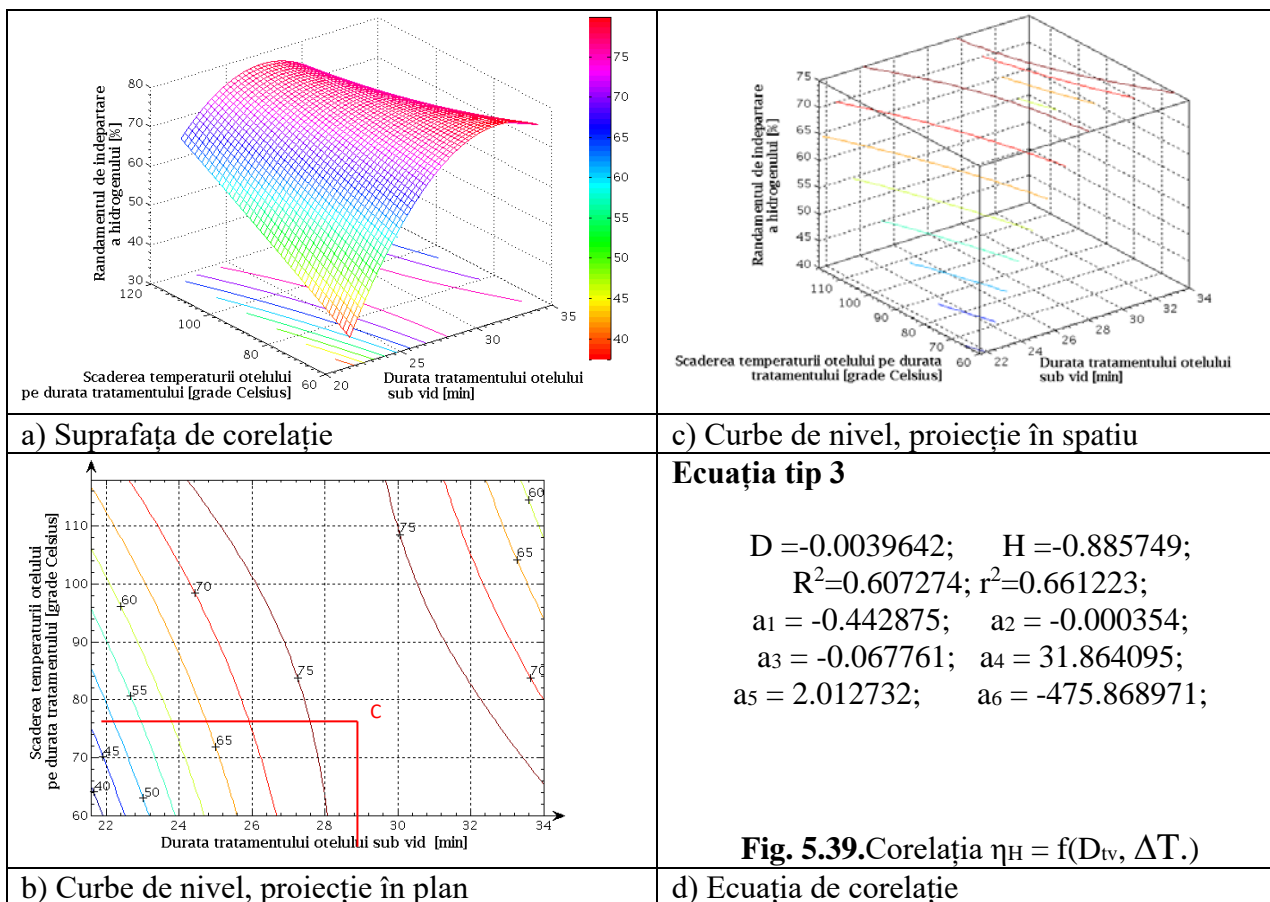
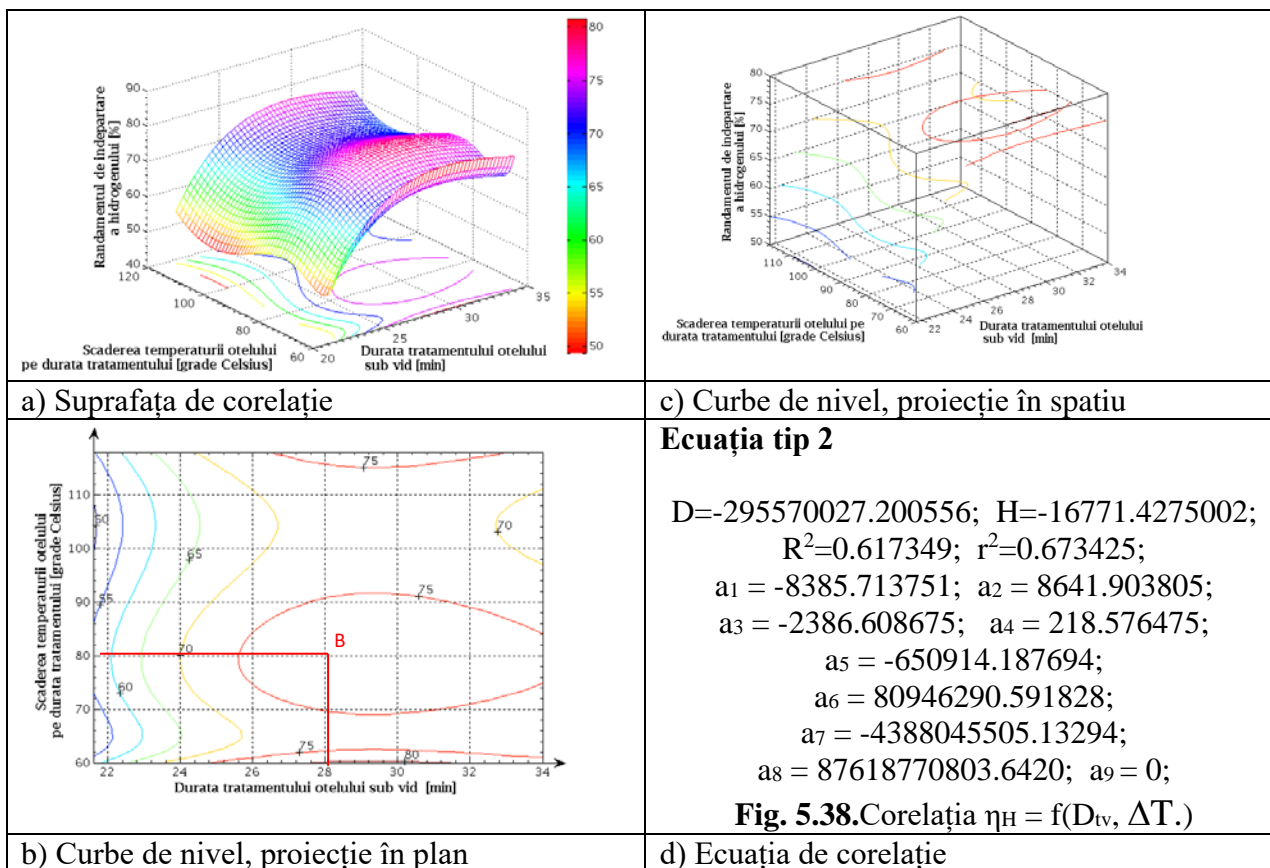
b) Curbe de nivel, proiecție în plan

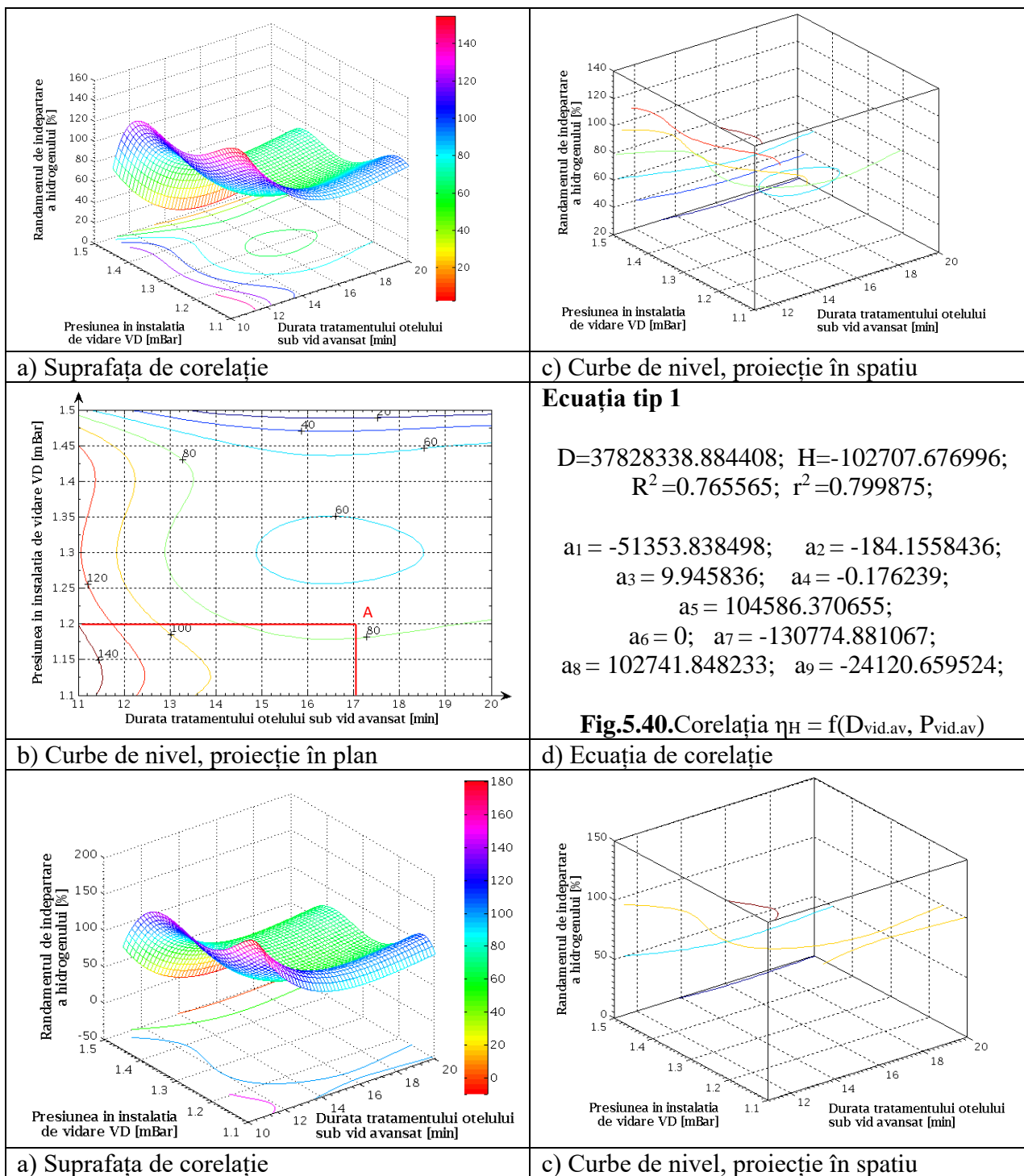
Ecuția tip 1

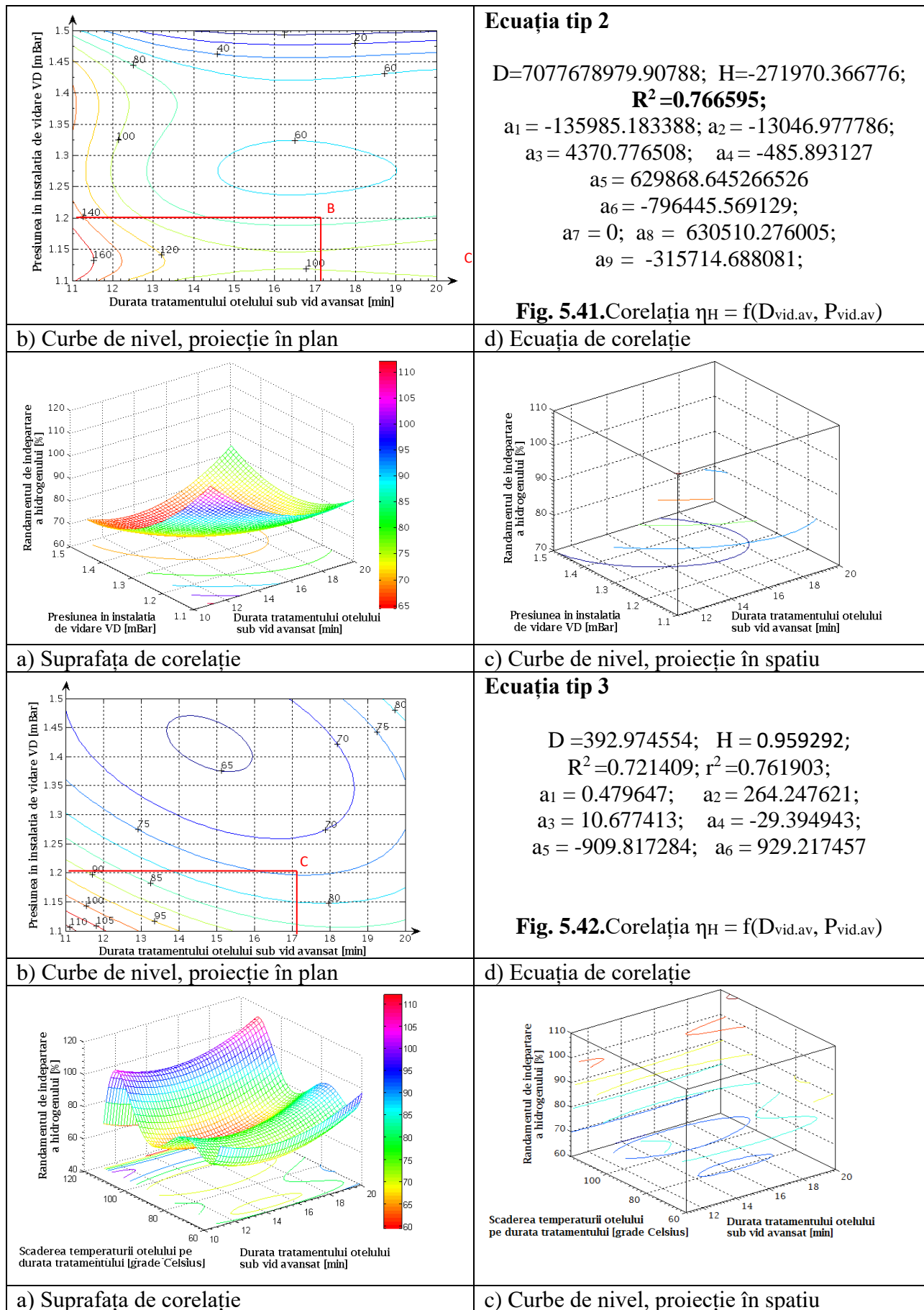
$$\begin{aligned}
 D &= 5453705.003949; & H &= 53466.032424; \\
 R^2 &= 0.699047; & r^2 &= 0.789135; \\
 a_1 &= 26733.0162121; & a_2 &= 51.001609; \\
 a_3 &= -1.542222; & a_4 &= 0.0152138; \\
 a_5 &= -1641.459396; & a_6 &= 39.083854; \\
 a_7 &= -0.459088; & a_8 &= 0.002661; \\
 a_9 &= -6.083938e-06;
 \end{aligned}$$

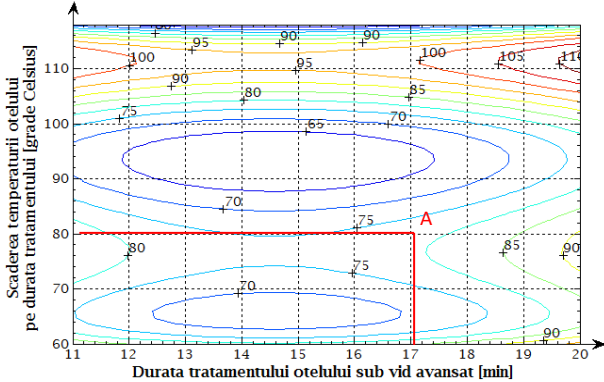
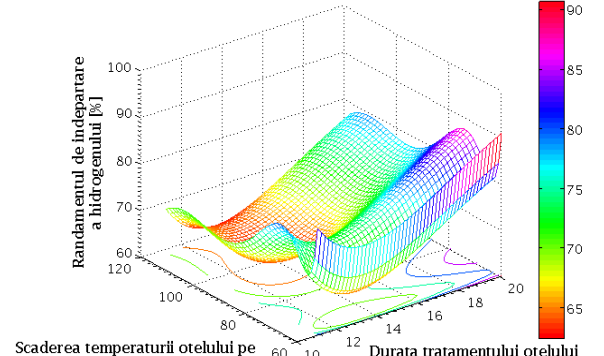
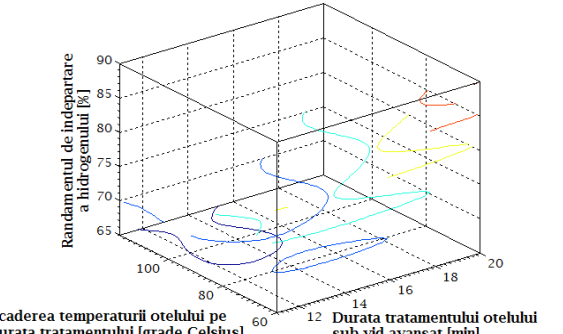
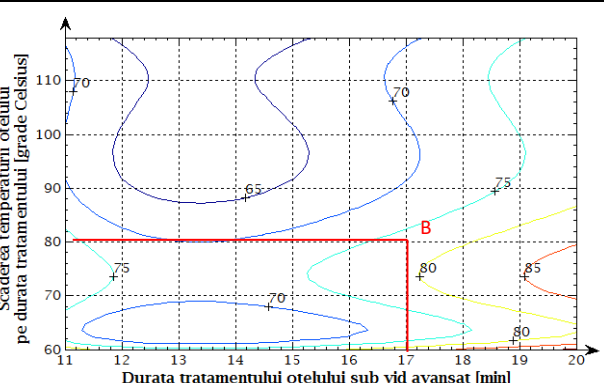
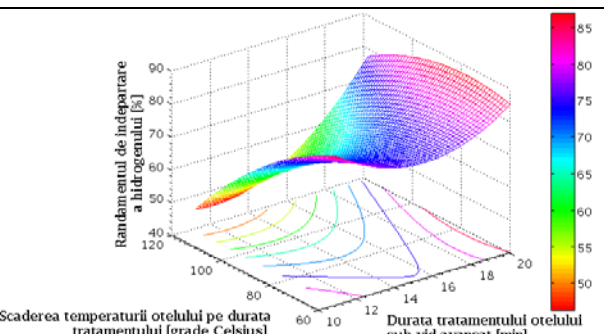
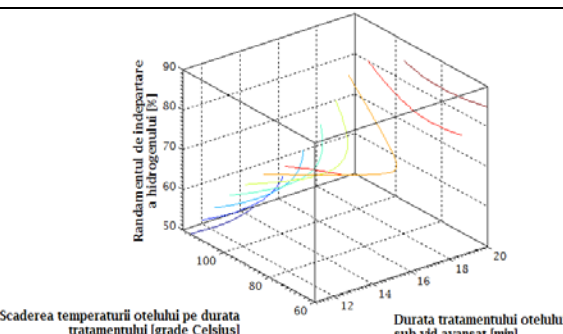
Fig. 5.37. Corelația $\eta_H = f(D_{tv}, \Delta T.)$.

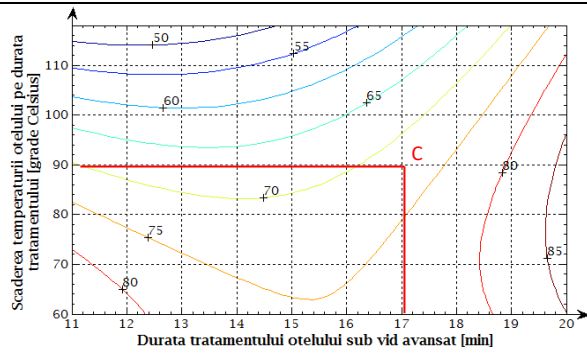
d) Ecuția de corelație







 <p>Scaderea temperaturii otelului pe durata tratamentului [grade Celsius]</p> <p>Durata tratamentului otelului sub vid avansat [min]</p>	<p>Ecuatia tip 1</p> $D = -3253235.745099; H = 68146.544789;$ $R^2 = 0.692811; r^2 = 0.741802;$ $a_1 = 34073.272395; a_2 = -23.869403;$ $a_3 = 1.043994; a_4 = -0.010308;$ $a_5 = -2055.304369; a_6 = 49.282922;$ $a_7 = -0.583079; a_8 = 0.003404;$ $a_9 = -7.839154e-06;$ <p>Fig. 5.43.Corelația $\eta_H = f(D_{\text{vid.av}}, \Delta T.)$</p>
<p>b) Curbe de nivel, proiectie în plan</p>  <p>Randamentul de indepartare a hidrogenului [%]</p> <p>Scaderea temperaturii otelului pe durata tratamentului [grade Celsius]</p> <p>Durata tratamentului otelului sub vid avansat [min]</p>	<p>d) Ecuatia de corelație</p>  <p>Randamentul de indepartare a hidrogenului [%]</p> <p>Scaderea temperaturii otelului pe durata tratamentului [grade Celsius]</p> <p>Durata tratamentului otelului sub vid avansat [min]</p>
<p>a) Suprafata de corelație</p>  <p>Scaderea temperaturii otelului pe durata tratamentului [grade Celsius]</p> <p>Durata tratamentului otelului sub vid avansat [min]</p>	<p>c) Curbe de nivel, proiectie în spatiu</p> <p>Ecuatia tip 1</p> $D = 73778796.037318; H = -9435.643499;$ $R^2 = 0.540905; r^2 = 0.621832;$ $a_1 = -4717.821751; a_2 = -4012.673389;$ $a_3 = 1394.817232; a_4 = -159.644971;$ $a_5 = 3753902.229455$ $a_6 = -646582467.386792;$ $a_7 = 54840571520.0829;$ $a_8 = -2289583435138.86;$ $a_9 = 37650484635534.7;$ <p>Fig. 5.44.Corelația $\eta_H = f(D_{\text{vid.av}}, \Delta T.)$</p>
<p>b) Curbe de nivel, proiectie în plan</p>  <p>Randamentul de indepartare a hidrogenului [%]</p> <p>Scaderea temperaturii otelului pe durata tratamentului [grade Celsius]</p> <p>Durata tratamentului otelului sub vid avansat [min]</p>	<p>d) Ecuatia de corelație</p>  <p>Randamentul de indepartare a hidrogenului [%]</p> <p>Scaderea temperaturii otelului pe durata tratamentului [grade Celsius]</p> <p>Durata tratamentului otelului sub vid avansat [min]</p>
<p>a) Suprafata de corelație</p>	<p>c) Curbe de nivel, proiectie în spatiu</p>



Ecuția tip 3

$$D = -0.015187; \quad H = 0.965186;$$

$$R^2 = 0.490493; \quad r^2 = 0.541462;$$

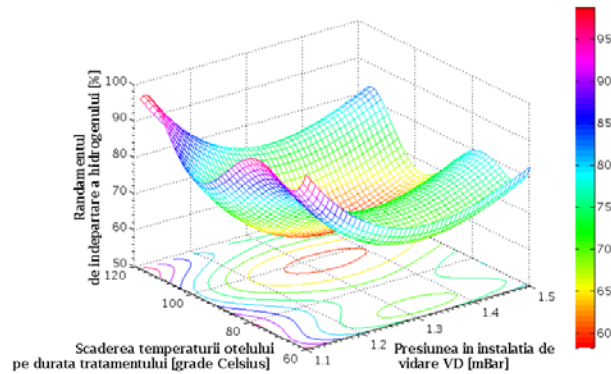
$$a_1 = 0.482593; \quad a_2 = -0.006089;$$

$$a_3 = 0.058588; \quad a_4 = -18.478427;$$

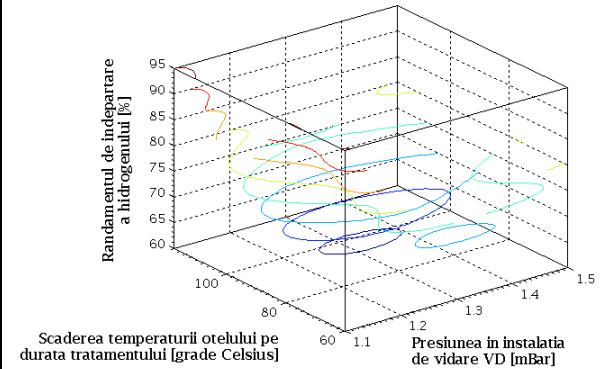
$$a_5 = -0.218783; \quad a_6 = 226.222193;$$

Fig. 5.45. Corelația $\eta_H = f(D_{\text{vid.av}}, \Delta T.)$

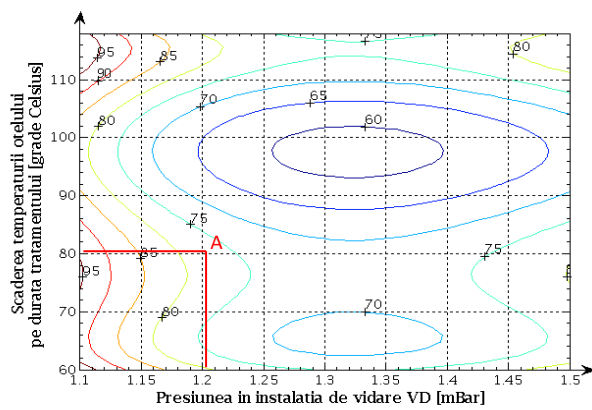
b) Curbe de nivel, proiecție în plan



d) Ecuția de corelație



a) Suprafața de corelație



c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu

Ecuția tip 1

$$D = -243690027.268494; \quad H = 31855.621;$$

$$R^2 = 0.871799; \quad r^2 = 0.936241;$$

$$a_1 = 15927.8104105; \quad a_2 = -3729.112441;$$

$$a_3 = 2470.555288; \quad a_4 = -534.762992;$$

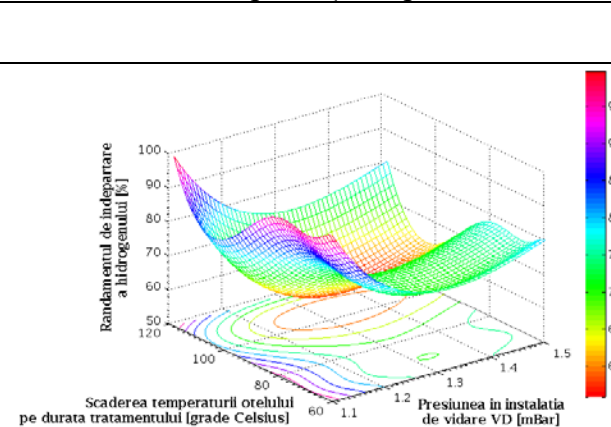
$$a_5 = -840.010034; \quad a_6 = 19.845046;$$

$$a_7 = -0.230788; \quad a_8 = 0.001321;$$

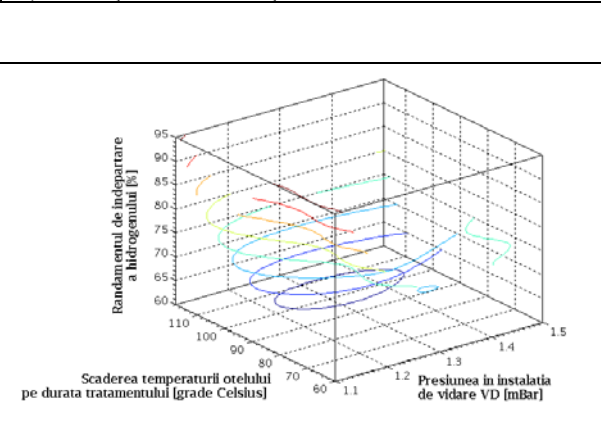
$$a_9 = -2.976114e-06;$$

Fig. 5.46. Corelația $\eta_H = f(P_{\text{vid.av}}, \Delta T.)$

b) Curbe de nivel, proiecție în plan



d) Ecuția de corelație



a) Suprafața de corelație

c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu

	<p>Ecuția tip 2</p> <p>$D = -27403810.658833$; $H = 22981.930567$; $R^2 = 0.866319$; $r^2 = 0.895264$; $a_1 = 11490.965284$; $a_2 = -551.989788$; $a_3 = 1425.562598$; $a_4 = -1050.341679$; $a_5 = -4475492.722156$; $a_6 = 693803424.611918$; $a_7 = -52988339546.2268$; $a_8 = 1996853893538.53$; $a_9 = -29739498095600.3$;</p> <p>Fig. 5.47.Corelația $\eta_H = f(P_{vid.av}, \Delta T.)$</p>
b) Curbe de nivel, proiecție în plan	d) Ecuția de corelație
a) Suprafața de corelație	c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu
	<p>Ecuția tip 3</p> <p>$D = 15.649285$; $H = 699.290278$; $R^2 = 0.766593$; $r^2 = 0.856634$;</p> <p>$a_1 = 349.6451386$; $a_2 = 0.01122486$; $a_3 = -0.222684$; $a_4 = -925.346841$; $a_5 = -1.856198$; $a_6 = 778.185799$;</p> <p>Fig. 5.48.Corelația $\eta_H = f(P_{vid.av}, \Delta T.)$</p>
b) Curbe de nivel, proiecție în plan	d) Ecuția de corelație

b) Analiza tehnologică a rezultatelor obținute

Din analiza reprezentărilor grafice, se constată că parametrii vidării au influență semnificativă asupra randamentului de eliminare a hidrogenului la vidarea oțelului în instalații de tip VD.

De asemenea, iese în evidență faptul că există o foarte bună corespondență între valorile obținute pentru parametrul dependent după cele trei ecuații, în sensul că aceste sunt foarte apropiate (uneori identice) pentru aceleași valori a parametrilor independenți, ceea ce este o confirmare a valabilității rezultatelor obținute.

În cadrul analizei tehnologice comparative privind randamentul de eliminare a hidrogenului la vidarea oțelului în instalații de vidare tip VD, pentru cei 4 parametri independenți au fost alese aceleași valori ca în cazul analizei referitoare la conținutul de hidrogen (la terminarea vidării), și anume:

- durata totală vidării $D_{tv} = 28\text{min.}$;
- durata vidării sub vid avansat $D_{vid.av.} = 17\text{ min.}$;
- presiunea în instalația de vidare la vidare avansată, $P_{vid.av} = 1,1\text{ mBar}$;
- reducerea (diferența/scăderea) de temperatură $\Delta T. = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

În continuare se prezintă analiza tehnologică pentru cele 6 grupe de corelații duble, în fiecare grupă fiind cuprinse corelațiile după cele trei tipuri de ecuații.

Corelația 1: $\eta_H = f(D_{tv}, D_{vid.av})$ prezentată în figurile 5.31, 5.32 și 5.33 cu punctele de coordonate spațiale A(28; 17; 78); B(28; 17; 78) și respectiv C (28; 17; 76). Diferență de 2% pentru randament este admisibilă (ne semnificativă) având în vedere limitele de variație a acestuia (53-87%). Rezultate foarte bune se obțin pentru $D_{tv} = 24-28\text{ min}$ și $D_{vid.av} = 16-18\text{ min}$, rezultând randament valori de peste 70%. Având în vedere faptul că instalația de vidare este fără aport de căldură, durata tratamentului sub vid este dependentă de temperatura oțelului;

Corelația 2: $\eta_H = f(D_{tv}, P_{vid.av})$ prezentată în figurile 5.34, 5.35 și 5.36 cu punctele de coordonate spațiale A(28;1,2; 77); B(28; 1,2; 77) și respectiv C(28;1,2; 76). Diferență de 1% pentru randament este admisibilă având în vedere limitele de variație a acestuia. Rezultate foarte bune se obțin pentru $D_{tv} = 24-28\text{ min}$ și $P_{vid.av}$ sub 1,4mBar, rezultând pentru η_H valori de peste 75%;

Corelația 3 : $\eta_H = f(D_{tv}, \Delta T)$ prezentată în figurile 5.37, 5.38 și 5.39 cu punctele de coordonate spațiale A(28; 80; 80); B(28; 80; 80) și respectiv C(28; 80; 78). Diferență de 2% [H] admisibilă având în vedere limitele de variație a acestuia. Rezultate foarte bune se obțin pentru $D_{tv} = 24-28\text{ min}$ și $\Delta T = 60 - 90\text{min}$, rezultând pentru η_H valori de peste 75%;

Corelația 4: $\eta_H = f(D_{vid.av}, P_{vid.av})$ prezentată în figurile 5.40, 5.41 și 5.42 cu punctele de coordonate spațiale A(17;1,2;79); B(19; 1,16, 78) și respectiv C(19; 1,16; 75). Diferență de 4% pentru randament este admisibilă având în vedere limitele de variație a acestuia. Rezultate foarte bune la $D_{va} 16-18\text{ min}$ și $P_{vid.av}$ sub 1,4 mBar, rezultând pentru randamentul de eliminare a hidrogenului de peste 75%;

Corelația 5: $\eta_H = f(D_{va}, \Delta T)$ prezentată în figurile 5.25, 5.26 și 5.27 cu punctele de coordonate spațiale A(17; 80; 78); B(17;80;78) și respectiv C(17; 78; 75). Diferență de 3% pentru randament este admisibilă având limitele de variație a acestuia, respectiv valori egale în punctele A și B. Rezultate foarte bune pentru $D_{va} = 15-18\text{ min}$ și $\Delta T = 60 - 90\text{ }^{\circ}\text{C}$, rezultând pentru randament de peste 75%;

Corelația 6: $\eta_H = f(P_{VD}, \Delta T)$ prezentată în figurile 5.28, 5.29 și 5.30 cu punctele de coordonate spațiale A(1,2; 80;78); B(1,2; 80; 78) și respectiv C(1,2; 80;73). Diferență de 5% pentru randament este admisibilă având în vedere limitele de variație a acestuia. Rezultate foarte bune se obțin pentru P_{VD} sub 1,4 mBar și $\Delta T = 60 - 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ (valori de peste 75%);

La toate corelațiile prezentate, se pot alege valori pentru variabilele independente, respectiv interval de variație, astfel încât randamentul de eliminare a hidrogenului să varieze în limitele 75-85%.

c) Concluzii

Din prelucrarea datelor în programul de calcul MATLAB după cele trei tipuri de ecuații și analiza tehnologică a rezultatelor obținute, se pot concluziona următoarele:

- tratamentul oțelului în instalația de vidare fără aport de căldură (cu o procesare anterioară în instalația LF) asigură obținerea pentru randamentul de eliminare a hidrogenului din oțel în limitele 75-85% (în proporție de cel puțin 90% din șarje);
- tratarea oțelului în instalația VD asigură pe lângă o bună omogenizare termică și chimică și o rafinare avansată privind conținutul de gaze și incluziuni nemetalice, ceea ce asigură încadrarea oțelului în condițiile calitative impuse de diferite standarde;
- ca urmare a tratamentului în instalația LF se poate asigura/controla o scădere de temperatură pe durata tratamentului în vid de până la 90°C (mai rar peste 90°C), ceea ce poate asigura o durată totală de tratament sub vid de până la 35 minute și de vidare adâncă (sub 1,5mBar) de 18 minute;
- pentru a asigura un randament de eliminare a hidrogenului la vidare de peste 70% se recomandă următoarele limite de variație pentru parametri independenți:
 - durată totală a tratamentului sub vid 24-28minute;
 - durată tratamentului sub vid avansat 16-28minute;
 - presiune în instalația de vidare sub 1,4mBar;
 - scăderea de temperatura pe durata tratamentului $\Delta T = 60 - 90$ °C

5.4. Absorbția hidrogenului în oțel după vidare

În cadrul acestui subcapitol sunt prezentate rezultatele cercetărilor referitoare la absorbția hidrogenului în oțelul din oală, după ieșirea din VD până la turnarea în distribuitor. Datele obținute în cadrul cercetărilor au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB, rezultatele obținute fiind prezentate atât analitic cât și grafic. Pe baza analizei tehnologice a rezultat o serie de concluzii aplicabile în practică și cercetare

5.4.1. Prelucrarea datelor experimentale. Rezultate

Prin prelucrarea datelor în programele de calcul EXCEL și MATLAB s-a avut în vedere stabilirea unor corelații între cantitatea de hidrogen absorbită în oțelul lichid după vidare, mai precis pe timpul transportului de la instalația de vidare VD la distribuitorul instalației TC (considerat parametru dependent - H_{abs})

și o parte din parametrii vidării menționați mai sus, ca parametri independenți, și anume, conținutul de hidrogen existent în oțelul lichid din oală la ieșirea acesteia din instalația VD și al doilea parametru durata de menținere a oțelului în oală, de la ieșirea din instalația de vidare VD până terminarea turnării întregii cantități de oțel în distribuitor.

Pentru a obține un oțel de calitate bună și foarte bună se impune să existe/să funcționeze o bună corelare între etapele de elaborare – turnare continuă secvențială prevăzute pe fluxul de fabricație

5.4.1.1. Rezultate la prelucrarea datelor în programul EXCEL

În cazul prelucrării datelor în acest program s-a avut în vedere obținerea unor corelații reprezentative: exponențiale și polinomiale de gradul 2 și 3. Corelațiile obținute la prelucrarea datelor experimentale sunt prezentate în continuare, atât sub formă analitică cât și grafică

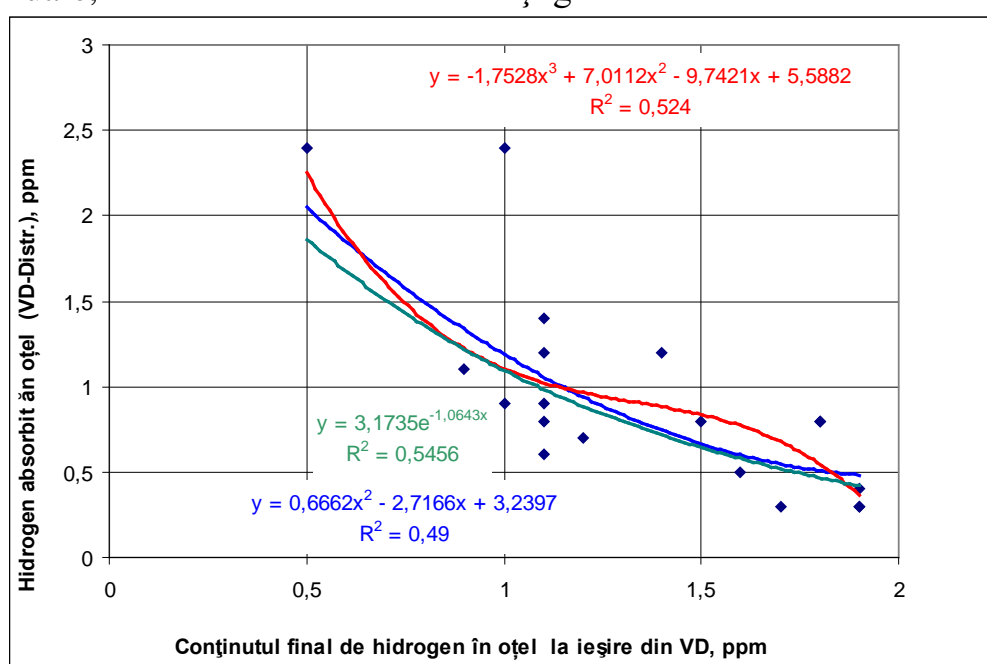


Fig. 5.49. Corelați $H_{abs} = f(\text{Conținutul de hidrogen – ieșire VD})$

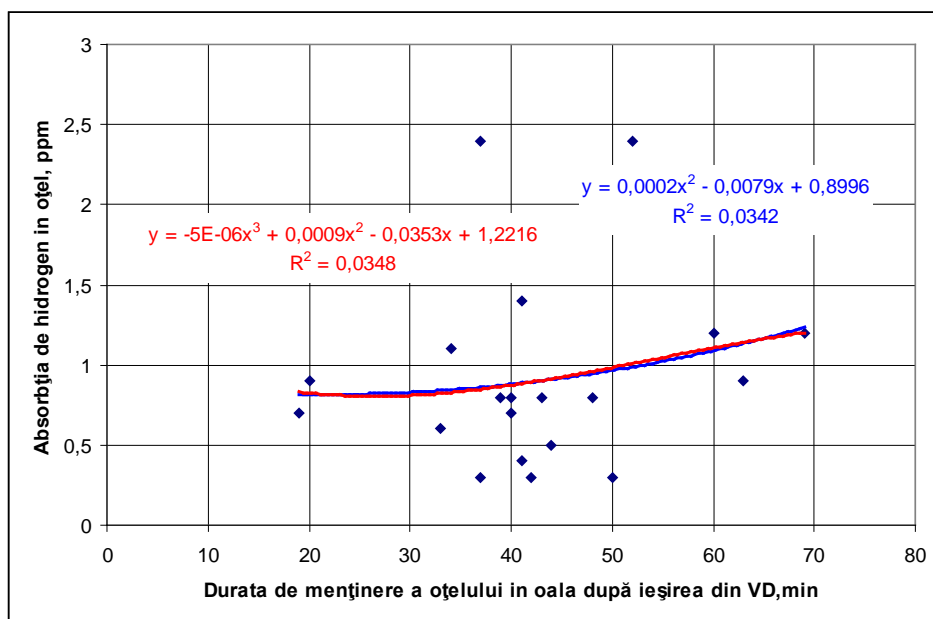


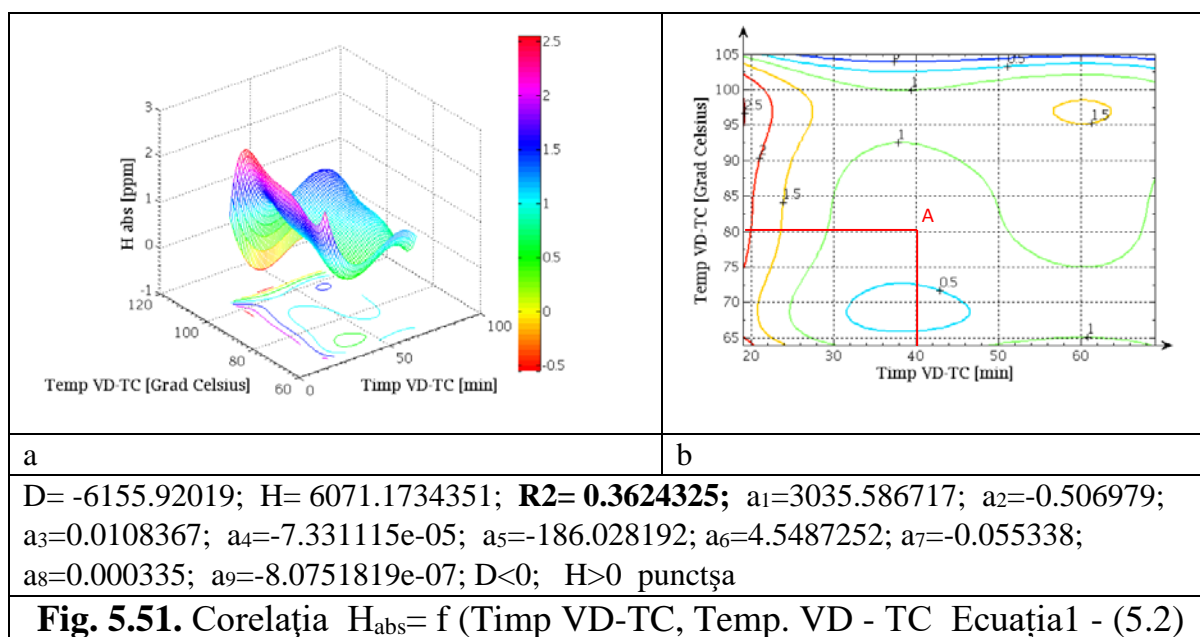
Fig. 5.50. Corelația $H_{abs} = f(\text{Durata de menținere a oțelului în oală, ieșire VD – Distribuitor})$

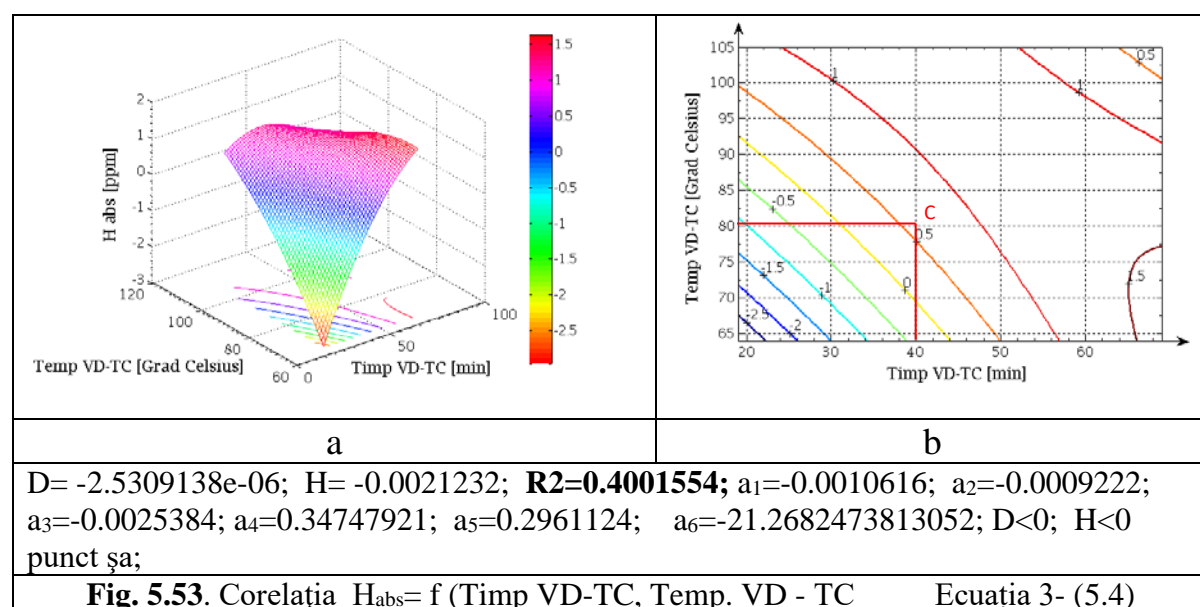
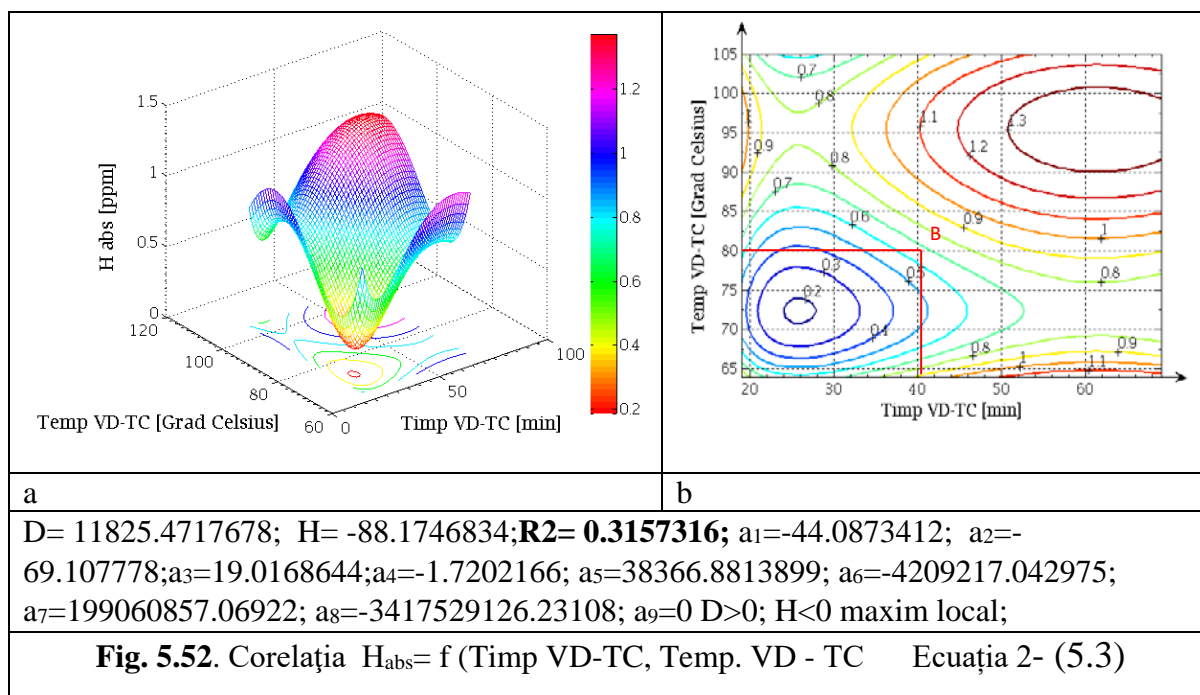
5.4.1.2. Rezultate la prelucrarea datelor în programul MATLAB

Pentru prelucrarea datelor în programul MATLAB au fost trei tipuri de ecuații (z - parametru dependent; x, y – parametri independenți), prezentate în cadrul subcapitolului 5.3.2, și anume: Ecuația 1- (5.2); Ecuația 1- (5.3) și Ecuația 3- (5.4);

Rezultatele obținute sunt prezentate sub formă grafică, astfel: a) suprafața de corelație; b) curbele de nivel în proiecție plană; c) coeficienții ecuației de corelație.

La o primă analiză, se poate observa că ecuația 3 are cea mai simplă formă analitică (polinomială de gradul 2) comparativ cu cea polinomială de gradul 5 (ecuația 2) și mai ales cu ecuația 3 (combinație logaritmică - polinomială).





5.4.2 ANALIZA REZULTATELOR OBTINUTE

5.4.2.1. Analiza rezultatelor pe baza corelațiilor EXCEL

Pe baza corelațiilor exprimate sub formă analitică, dar în mod deosebit grafică se pot analiza procesul din punct de vedere tehnologic.

Din fig.5.59 se constată că absorbția de hidrogen în baia de oțel este mai intensă la conținuturi de hidrogen sub 1ppm, ca urmare este suficient o obținere la ieșirea din instalația de vidare a unui conținut de 1ppm în oțelul vidat.

Din fig. 5.50 se constată că o creștere a duratei de menținere a oțelului în oala de turnare după terminarea vidării, conduce la creșterea absorbției

hidrogenului. De dorit ca menținerea în oală să nu depășească 30min, ceea ce impune o bună concordanță între diferitele faze de pe fluxul tehnologic.

5.4.2.2 Analiza rezultatelor pe baza corelațiilor MATLAB

Indiferent de ecuația utilizată, corelațiile obținute sunt semnificative, la fel ca și în formei analitice și în cea grafică, cea mai simplă formă se obține pentru ecuația 3. În fiecare caz, curbele de nivel (bine scoase în evidență în proiecție plană –reprezentarea b- în figuri) delimitează domeniile de variație pentru conținutul de gaze absorbite.

Pentru analiza rezultatelor obținute în acest caz considerăm timpul de menținere a oțelului în oală după ieșirea oalei de turnare din VD de 40 de minute, iar scăderea de temperatură de 80°C.

Referitor la absorbția de hidrogen acesta este de 0,7ppm după ecuația 1-fig.5.51, de 0,55 ppm după ecuațiile 2 și 3 –fig. 5.52 și 5.53, deci în medie de 0,6ppm.

În practică pe baza acestor corelații se poate estima conținutul final de gaze în oțel, în funcție de datele obținute la terminarea vidării.

5.4.3. Concluzii

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor efectuate precum și a unor aspecte tehnologice observate pe durata urmăririi șarjelor experimentale, pot fi concluzionate următoarele:

- cercetarea s-a efectuat într-o oțelărie care poate fi considerată modernă dacă avem în vedere că se elaborează oțeluri carbon, carbon de calitate și slab aliate;
- referitor la calitatea sortimentelor de încărcătură metalică, nu întotdeauna aceasta este de calitate bună sau foarte bună, ceea ce afectează calitatea oțelului produs și consumurile specifice;
- tratamentele în oala de turnare mai precis LF și VD sunt eficiente atât din punct de vedere economic cât și tehnologic;
- pe baza cunoașterii corelațiilor simple și multiple se poate estima conținutul de hidrogen și respectiv se pot regla parametrii tehnologici.

CAPITOLUL 6

CERCETARI PRIVIND REDUCEREA CONȚINUTULUI DE AZOT PRIN VIDARE ÎN OTELURILE PENTU ȚEVI

6.1. Considerații tehnologice privind degazarea oțelului.

Considerațiile privind degazarea oțelurilor prezentate în cadrul subcapitolului 3.1. au în vedere și reducerea conținutului de azot din oțel.

6.2. Cadrul tehnologic experimental

Cadrul tehnologic experimental a fost același ca cel prezentat în cazul cercetărilor privind reducerea conținutului de hidrogen din oțeluri (subcapitolul 5.2.), cu următoarele precizări (datele sunt prezentate în tabelele 6.1.A-6.4.A):

- parametrii independenți sunt aceiași;
- parametrii dependenți sunt:
 - conținutul de azot la terminarea vidării;
 - randamentul de îndepărtare a azotului pe durata vidării;
 - cantitatea de azot îndepărtată pe durata vidării.

6.3. Prelucrarea datelor. Rezultate și analize tehnologice. Concluzii

O dată cunoscute valorile pentru parametri menționați datele au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB.

6.3.1. Rezultate obținute în programul EXCEL

În cadrul acestui program au fost stabilite ecuații de corelație polinomiale de gradul 1; 2; 3 și 4, în fiecare caz rezultatele fiind prezentate atât grafic cât și analitic. De asemenea pentru fiecare caz este prezentat și coeficientul de corelație.

6.3.1.1. Corelații referitoare la conținutul de azot din oțelul vidat

Rezultatele sunt prezentate prin corelații polinomiale de gradul 1, 2, 3 și 4.

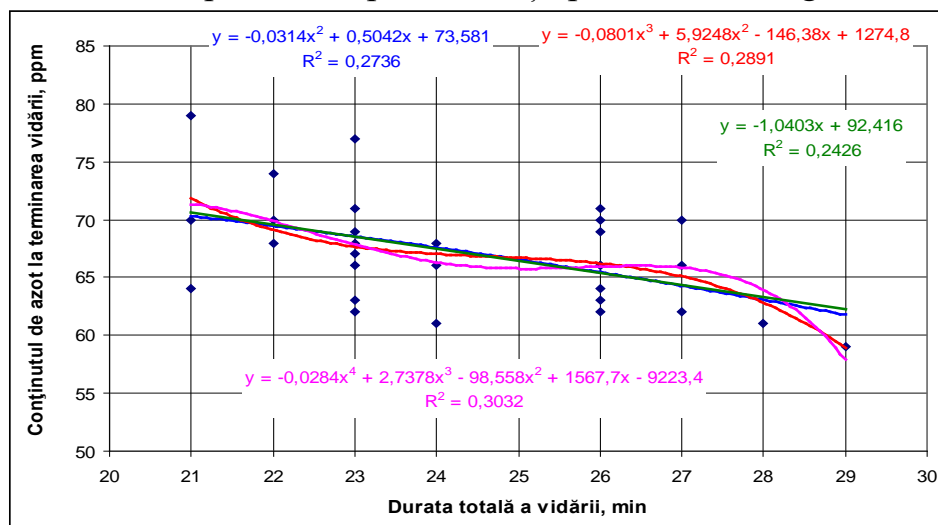
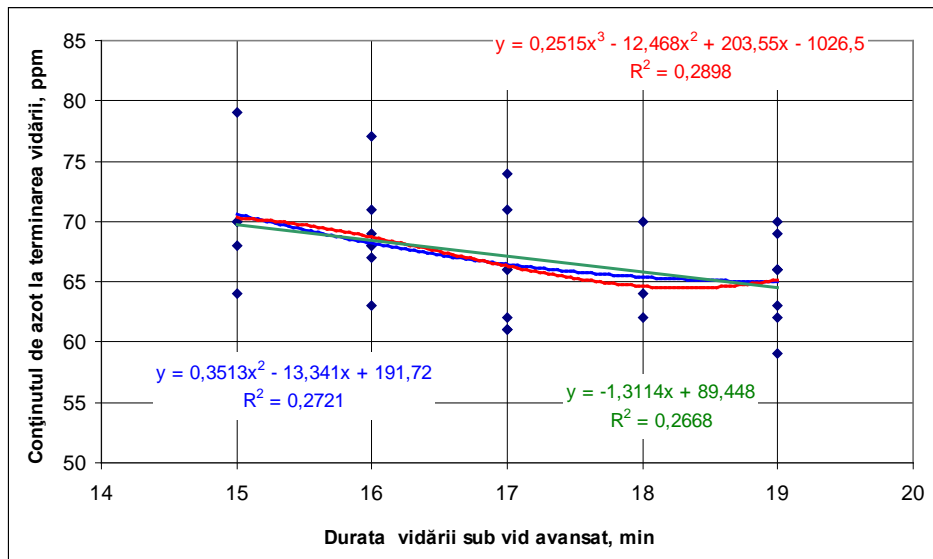
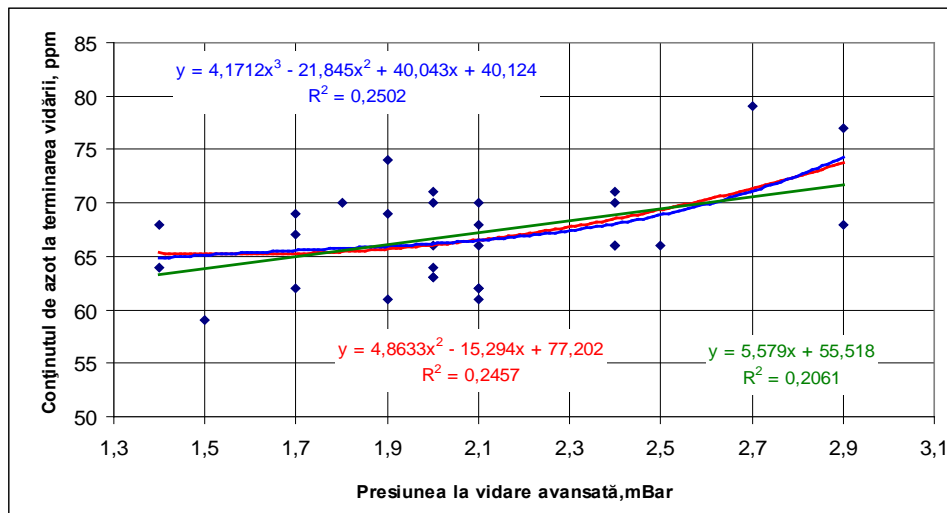
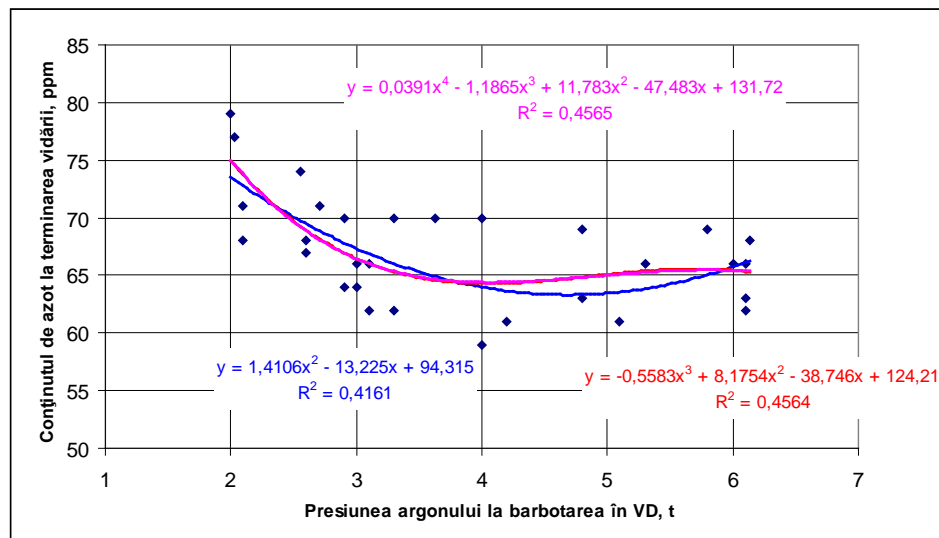


Fig. 6.1. Corelația $[N]_{fVD} = f(D_{tv})$

Fig.6.2. Corelația $[N]_{fVD} = f(D_{vid.av})$ Fig. 6.3. Corelația $[N]_{fVD} = f(P_{vid.av})$ Fig. 6.4. Corelația $[N]_{fVD} = f(P_{b.Ar})$

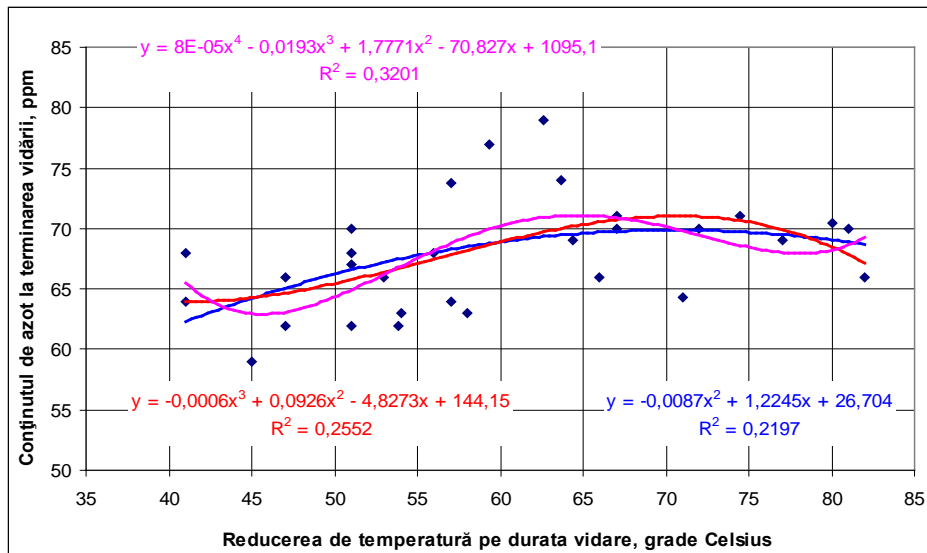


Fig. 6.5. Corelația $[N]_{fVD} = f(\Delta T.)$

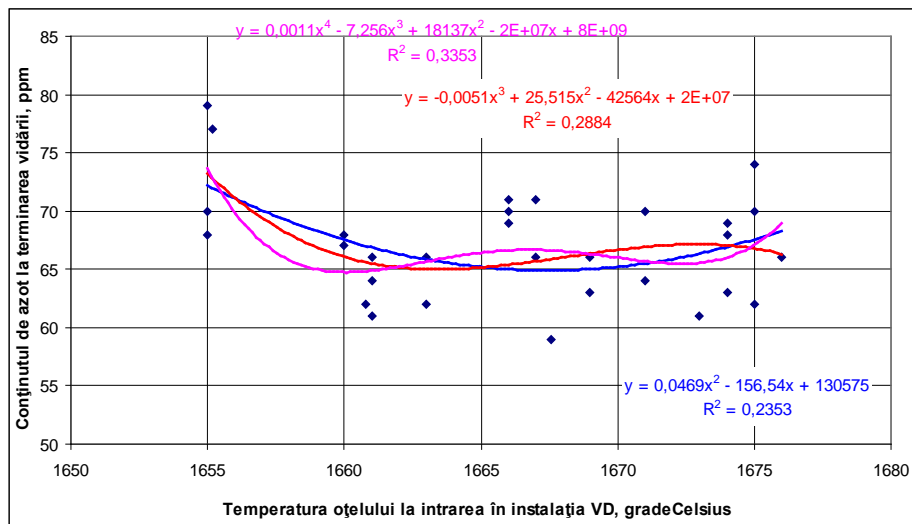


Fig.6.6. Corelația $[N]_{fVD} = f(T_{inVD})$

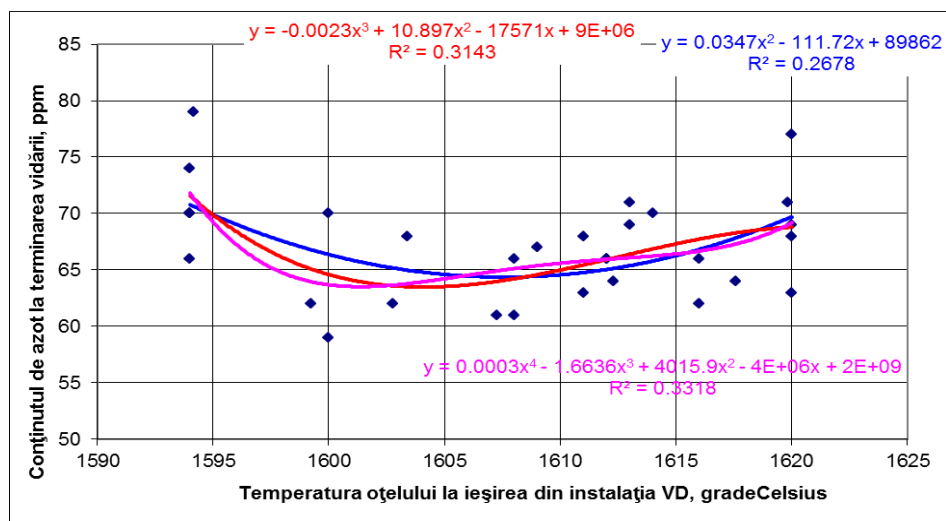


Fig.6.7. Corelația $[N]_{fVD} = f(T_{isVD})$

6.3.1.2. Corelații referitoare la randamentul de eliminare a azotului

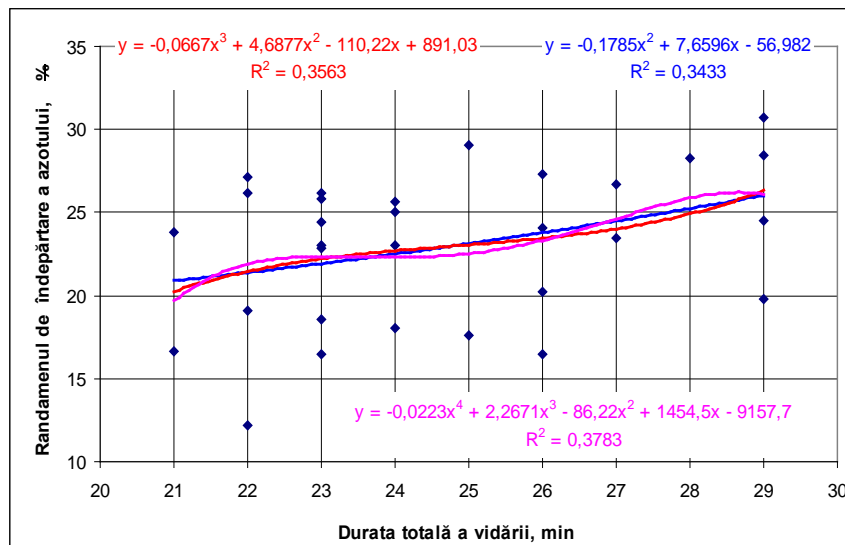


Fig. 6.8. Corelația $R_N = f(D_{tv})$

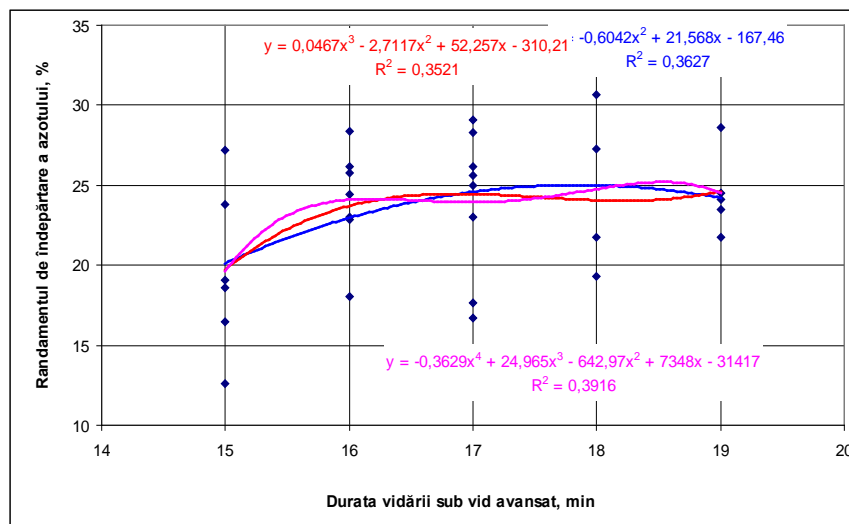


Fig. 6.9. Corelația $R_N = f(D_{vid.av.})$

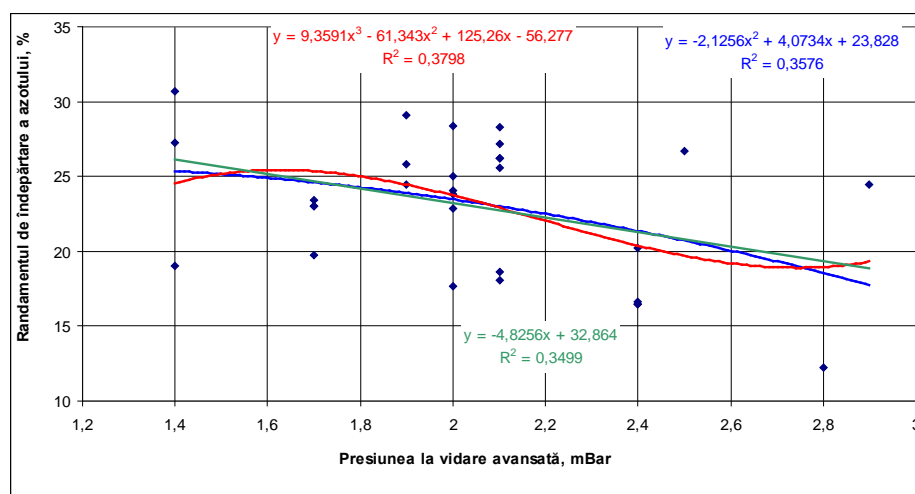
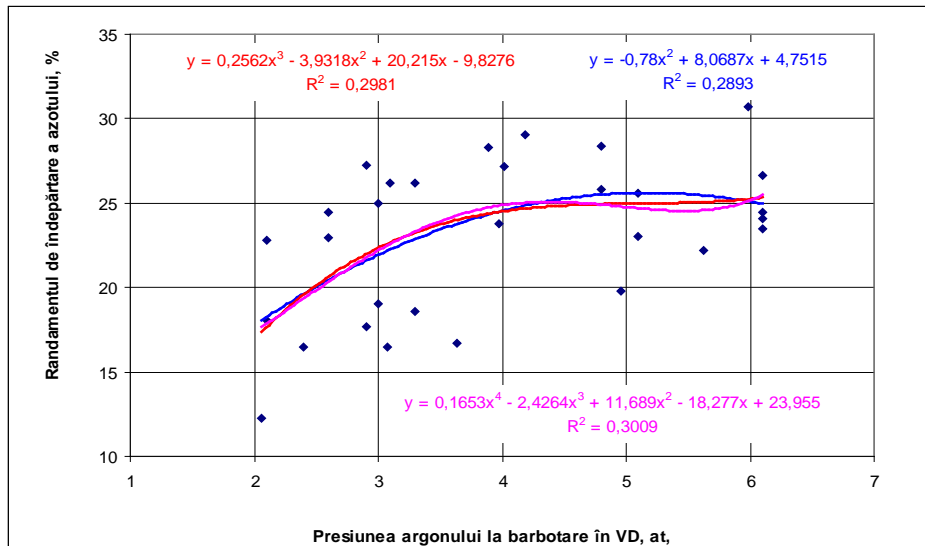
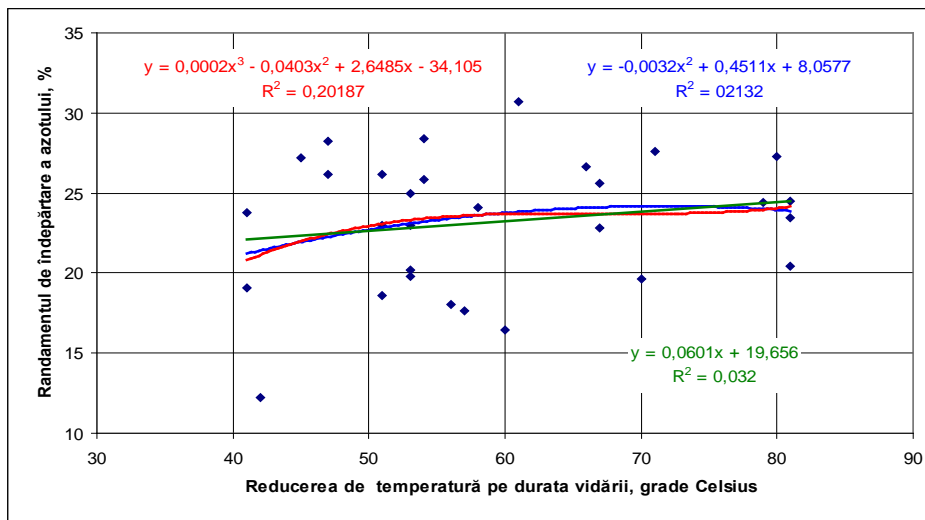
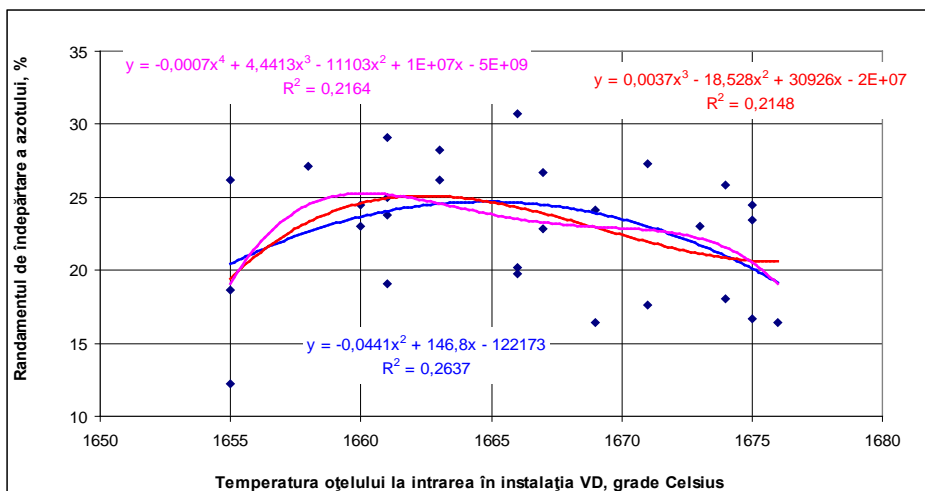
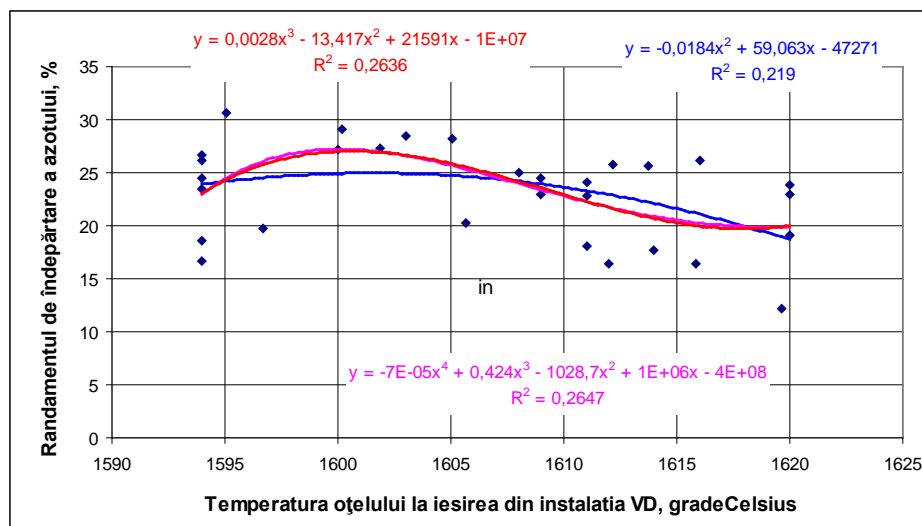
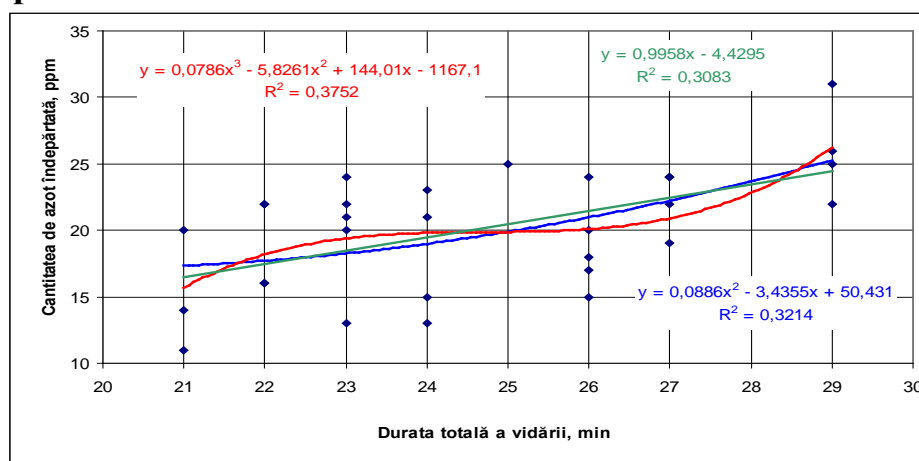
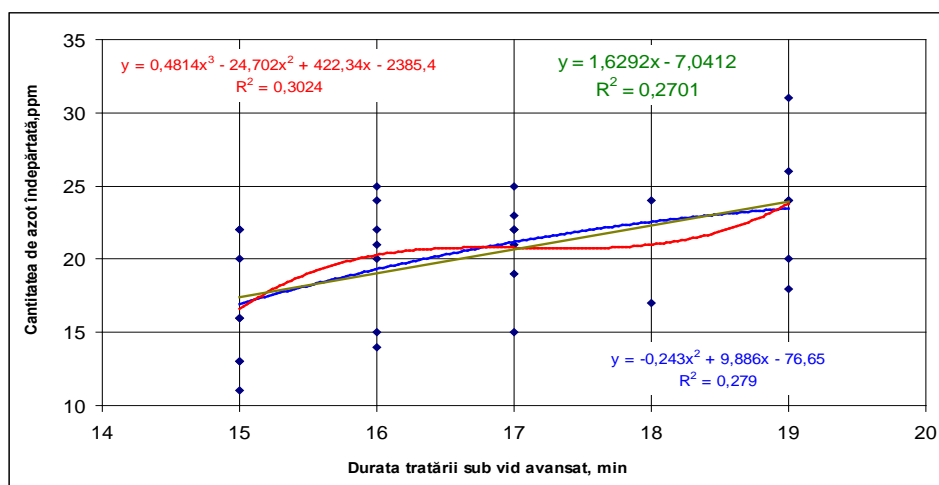


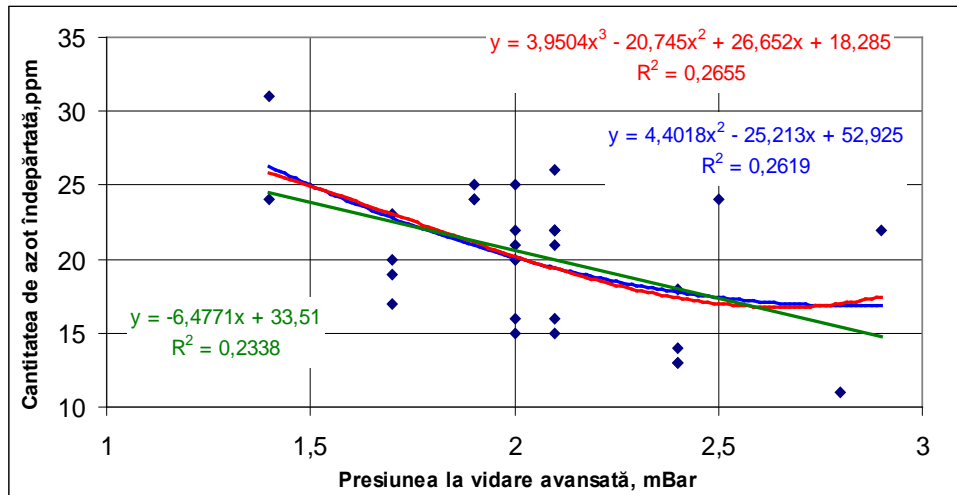
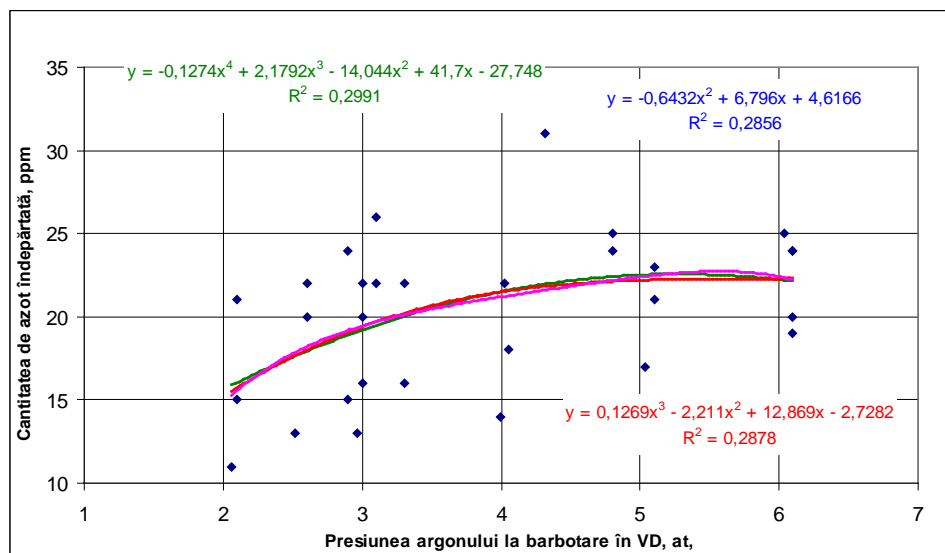
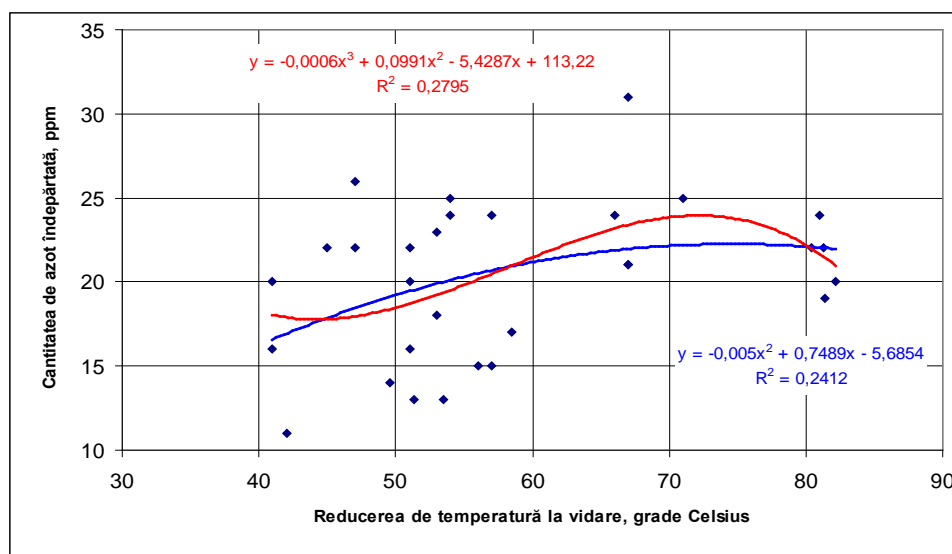
Fig. 6.10. Corelația $R_N = f(P_{vid.av.})$

Fig. 6.11. Corelația $R_N = f(P_{bAr})$ Fig. 6.12. Corelația $R_N = f(\Delta.T.)$ Fig. 6.13. Corelația $R_N = f(T_{inVD})$

Fig. 6.14. Corelația $R_N = f(T_{ișVD})$

6.3.1.3. Corelații referitoare la cantitatea de azot eliminată din baia metalică pe durata vidării

Fig. 6.15. Corelația $\Delta[N]_e = f(D_{tv})$ Fig. 6.16. Corelația $\Delta[N]_e = f(D_{vid.av})$

Fig. 6.17. Corelația $\Delta[N]_e = f(P_{vid.av})$ Fig. 6.18. Corelația $\Delta[N]_e = f(P_{bAr})$ Fig. 6.19. Corelația $\Delta[N]_e = f(\Delta T)$

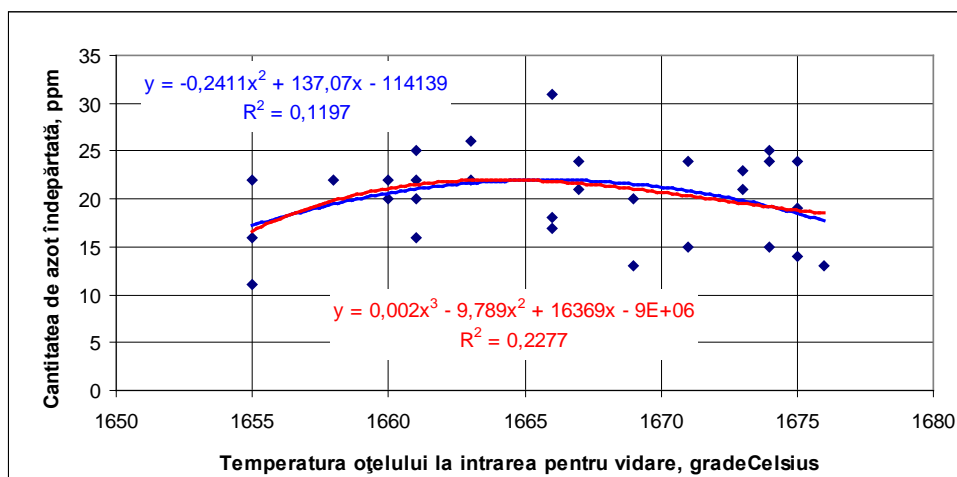


Fig. 6.20. Corelația $\Delta[N]_e = f(T_{inVD})$

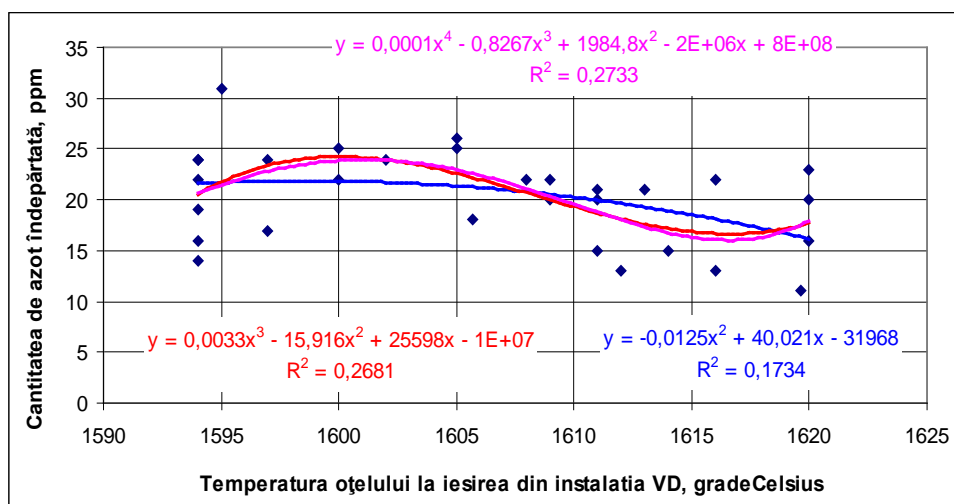


Fig. 6.21. Corelația $\Delta[N]_e = f(T_{isVD})$

6.3.1.4. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute

Pe baza analizei tehnologice a corelațiilor obținute în programul de calcul EXCEL pot fi scoase în evidență următoarele concluzii [59,60,63, 65.68]:

a) conținutul de azot din oțelul vidat

- creșterea duratei totale de vidare a oțelului în instalația de vidare tip VD, conduce la reducerea avansată a conținutului de azot la terminarea vidării (fig. 6.1.), de dorit durata totală a vidării să fie cuprinsă în intervalul 23-28 min. (relativ mare pentru o instalație de vidare fără aport de căldură pe durata tratamentului, dar posibilă cu o procesare anterioară în instalația LF). Procesarea oțelului în instalația de vidare VD în limitele de timp menționate, asigură obținerea la finalul vidării a unui conținut de azot de 60 -70 ppm. Creșterea duratei tratamentului sub vid, în limitele menționate anterior, asigură condiții favorabile (în primul rând timp suficient) pentru difuzia azotului din baie în bulele de argon și de îndepărtare a acestora din baie, respectiv din

spațiul vidat;

- realizarea pentru durata totale a tratamentului sub vid de 23 - 28 min., asigură pentru vidarea sub vid avansat (sub 2mBar) o durată de 15-19min; la o durată de vidare avansată de 16-18min. conținutul de azot scade în limitele 60 -70ppm. Creșterea duratei de tratament sub vid avansat conduce la scăderea conținutului de azot din baia de oțel la terminarea vidării (fig. 6.2.);

- reducerea presiunii în instalația de vidare la vid avansat, în mod deosebit sub 1,3mBar (1,1-1,3mBar) determină o reducere a conținutului de azot din oțel (fig. 6.3.), explicabilă tehnologic prin reducerea presiunii pe care trebuie să o învingă bula de argon; presiunea în instalația de vidare la vid avansat este sub 2,9 mBar, la presiuni sub 2mBar conținutul de azot scade în limitele 60 – 70 ppm;

- din analiza corelațiilor prezentate sub formă analitică și grafică în fig. 6.4., rezultă pentru cele trei tipuri de corelații (polinomiale de grad 2; 3 și 4) valori foarte apropiate (atât analitic, cât și grafic, practic aceleași valori pentru cele de grad 3 și 4), ceea ce confirmă valabilitatea acestora atât din punct de vedere matematic, cât și tehnic; creșterea presiunii argonului la barbotarea băii metalice pe durata vidării, conduce la scăderea conținutului de azot, scăderea fiind mai intensă la presiuni în intervalul 2-4 at, și mai puțin pronunțată în intervalul 4-6 at. O creștere a presiunii argonului conduce la intensificarea omogenizării băii metalice, respectiv a procesului de difuziune a azotului din oțel în bulele de argon., putând fi indicat intervalul 3-5at;

- corelațiile prezentate în fig.6.5. conduc la concluzia că reducerea temperaturii într-un interval mai extins (65-90⁰C) asigură condiții favorabile degazării (fluiditate oțel, timp suficient de tratare, etc), la reduceri de temperaturi spre limita inferioară se obține la finalul tratamentului conținuturi de azot sub 70ppm;

- din analiza rezultatelor obținute la prelucrarea datelor experimentale și prezentate în fig. 6.6. se constată că temperatura oțelului la intrare în instalația de vidare influențează conținutul de azot din baia de oțel la terminarea tratamentului de vidare; rezultatele cercetărilor sunt prezentate în acest caz sub forma unor funcții polinomiale de gradul 2; 3 și 4, la fel ca și în celelalte situații, acestea sunt prezentat analitic și grafic. Corelațiile reprezentative atât sub aspect matematic, cât și tehnologic, prezintă intervale de minim pentru conținutul de azot, situate în intervalul de temperatură 1660 – 1675⁰C în care conținutul de azot se situează în limitele 60-70ppm;

- din punct de vedere al reprezentării grafice, corelațiile prezentate în fig. 6.7. sunt asemănătoare cu cele prezentate anterior (sunt tot funcții polinomiale de gradul 2; 3 și 4) și de asemenea sunt prezentate și sub formă

analitică, acestea fiind reprezentative sub aspect matematic și tehnologic; pentru temperatura oțelului la ieșirea din instalația de vidare cuprinsă în intervalul 1600-1620°C rezultă în baia de oțel un conținut de azot la terminarea vidării cuprins în intervalul 60 – 70ppm. Analizând aceste rezultate cu cele din fig. 6.6. și 6.5. rezultă ca acestea sunt foarte bine corelate; astfel, diferența dintre temperaturile oțelului la intrare și ieșire din instalația de vidare cuprinse în intervalele optime de variație corespunde cu cea indicată la analiza corelațiilor din fig. 6.5. (pentru care rezultă valori pentru conținutul de azot de 60-70ppm;

b) randamentul de eliminare a azotului

- referitor la influența asupra randamentului de eliminare a azotului, a duratei totale a vidării (fig. 6.8) și respectiv a celei sub vid avansat (fig. 6.9), se constată o creștere a acestui la valori de 25-30%, o dată cu creșterea acestor durate (în primul caz la 25-29 min., iar în al doilea la 17-19 min.; rezultatele obținute se corelează foarte bine cu cele prezentate în fig. 6.1. și 6.2., în sensul că pentru subdomeniile (25-29 min și respectiv 17-19 min.) care asigură cel mai scăzut conținut de azot la terminarea vidării (60-70ppm), se obțin valori superioare pentru randamentul de eliminare a azotului de peste 25%. De menționat faptul că în ambele reprezentări grafice corelațiile exprimate prin funcții polinomiale de gradul 2; 3 și 4 aproape se suprapun, ceea ce este o dovadă a valabilității acestora (confirmată și de valorile coeficienților de regresie;

- din datele prezentate în fig. 6.10 reiese faptul că o dată cu reducerea presiunii în instalația de vidare crește randamentul de eliminare a azotului, rezultatele fiind foarte bine corelate cu cele din fig. 6.3.; o reducere a presiunii în instalația de vidare sub 1,9mBar, asigură obținerea pentru randamentul de eliminare a azotului a unor valori mai mari de 25% (ca urmare a scăderii solubilității azotului în baia de oțel);

- analizând rezultatele privind influența presiunii barbotării cu argon pe durata vidării oțelului asupra randamentului de îndepărtare a azotului (fig. 6.11) se constată că, o dată cu creșterea acesteia crește și randamentul; creșterea este mai intensă în intervalul de presiune 2-5 at (mai ales 2-4 at), după care până la valori de 6at creșterea este mai puțin semnificativă; există o corelație foarte bună cu corelațiile prezentate în fig. 6.4; cu creșterea presiunii argonului la barbotare, se intensifică gradul de agitare a băii, respectiv de difuziune a azotului din baie în bulele de argon (cu îndepărtarea din atmosfera vidată);

- din analiza rezultatelor prezentate în fig. 6.12, rezultă că o creștere a reducerii temperaturii pe durata tratamentului de vidare conduce la creșterea randamentului, rezultate foarte bine corelate cu cele din fig. 6.5.; o reducere de temperatură în intervalul 60-80°C asigură pentru randamentul de eliminare a

azotului cuprinse în intervalul 20-30%; de asemenea valori pentru reducerea de temperatură poate asigura durată mai mare pentru vidare (inclusiv sub vid avansat, cu efectele bine cunoscute);

- un parametru tehnologic și anume, temperatura oțelului la intrare în instalația de vidare determină durata vidării, ca urmare are influență deosebită asupra conținutului de azot la terminarea acestei operații tehnologice, deci și asupra randamentului de îndepărtare a azotului; analizând datele prezentate în fig.6.13 se constată că se obține pentru intervalul de temperatură 1660-1670°C un maxim a valorilor pentru randament (20-30%); la valori mai mici pentru temperatura se poate considera că durata tratamentului sub vid este prea redusă, iar la temperaturi mai mari crește solubilitatea azotului în baia de oțel;

- referitor la temperatura oțelului la ieșire din instalația de vidare VD (dependentă de temperatura de intrare și durata totală a tratamentului sub vid), din datele prezentate în fig.6.14 se constată că pentru intervalul de temperatură 1595-1610 °C se obțin pentru randament valori în intervalul 20-30%, ceea ce conduce la concluzia că există o bună corelație cu temperatura de intrare și durata totală de tratare a oțelului în instalația VD; din reprezentarea grafică se constată o suprapunere a curbelor de corelație determinate de funcții polinomiale de gradul 3 și 4, pe de o parte, iar pe de altă parte apropiate de cea determinată de funcția polinomială de gradul 2, deci se poate considera că aceste corelații sunt semnificative atât din punct de vedere tehnologic, cât și matematic;

c) cantitatea de azot îndepărtată din baia metalică

- din analiza rezultatelor prezentate în fig.6.15 și 6.16 rezultă că o creștere a duratei totale a vidării, respectiv a vidării sub vid avansat, conduce la o creștere a cantității de azot îndepărtat din baia metalică; pentru durata totală de vidare 23-29 min., respectiv de vidare avansată de 17-19min., se elimină din baia de oțel o cantitate de 20-30ppm; corelațiile sunt semnificative atât din punct de vedere matematic, cât și tehnologic, valorile foarte apropiate pentru parametru dependent la aceeași valoare a parametrului independent, este încă o confirmare a valabilității acestora;

- micșorarea presiunii în instalația de vidare pe durata tratamentului, conduce la creșterea cantității de azot îndepărtat din baia de oțel (fig. 6.17), la valori ale acesteia sub 2mBar, aceasta crește la 20-30ppm; la reprezentarea grafică se observă că aproape se suprapun curbele de corelație, ceea ce analizată împreună cu forma analitică confirmă valabilitatea rezultatelor obținute; o reducere a presiunii în instalația de vidare intensifică difuzia azotului din baia de oțel, deci asigură o creștere a vitezei de îndepărtare;

- o creștere a presiunii argonului la barbotarea băii de oțel, conduce la

creșterea cantității de azot îndepărtat din baie (fig. 6.18.), respectiv la intensificarea agitării /amestecării băii metalice mai ales în intervalul 2-5 at, ceea ce determină o îndepărtare de 20-30 ppm din baia de oțel; baia metalică este foarte bine omogenizată termic și chimic, ceea ce asigură transfer intens de azot în bulele de argon, pe de o parte, iar pe de altă parte îndepărtarea acestora din atmosfera vidată; curbele de corelație sunt aproape suprapuse, ceea ce corelat cu forma analitică a acestora confirmă valabilitatea rezultatelor;

- rezultatele prezentate în fig. 6.19. conduc la concluzia că o creștere a valorilor pentru scăderea de temperatură (mai ales în domeniul 60-80°C), determină o creștere a cantității de azot îndepărtat din baia metalică de 20-30 ppm, explicabil tehnologic prin posibilitatea de asigurarea unor durate suficient de mari pentru durata tratării oțelului în instalația de vidare VD;

- referitor la temperatura băii de oțel la intrarea în instalația de vidare se constată că o creștere a acesteia conduce la creșterea cantității de azot îndepărtat din baia de oțel (peste 15 ppm pentru temperaturi de până la valori de 1675°C, fig. 6.20.), fapt explicat tehnologic prin asigurarea unei durate corespunzătoare pentru durata vidării (evident și fluiditate corespunzătoare pentru baia de oțel); rezultatele obținute sunt valabile atât sub aspect tehnologic și matematic;

- pentru temperatura băii de oțel la ieșire din instalația de vidare (determinată de temperatura de intrare și de reducerea pe durata tratamentului) în limitele 1600 -1610°C se obține pentru cantitatea de azot îndepărtată din baia de oțel valori de peste 20 ppm (fig. 6.21), practic valori la limita superioară, putându-se considera faptul că s-a realizat o bună corelație tehnologică între temperatura de intrare-ieșire din instalația de vidare și scăderea de temperatură pe durata vidării.

În urma analizei celor trei grupe de corelații tehnologice (funcție de parametrul tehnologic dependent urmărit) pot fi foarte bine scoase în evidență următoarele concluzii:

- corelațiile obținute sunt semnificative/reprezentative atât din punct de vedere matematic cât și tehnologic;

- atât parametrii dependenți, cât și cei independenți au fost bine stabiliți și sunt reprezentativi pentru procesul tehnologic cercetat;

- valorile foarte apropiate (uneori aproape identice pentru parametrul tehnologic calculat după funcțiile polinomiale de gradul 2-4, confirmă valabilitatea acestora;

- rezultatele obținute pot fi utilizate atât în practica curentă de elaborare a oțelului, cât și în cercetare proceselor de tratare a oțelului în instalații de vidare;

- obținerea pentru valori optime (realizabile în practica curentă) a unor

domenii de variație a parametrilor dependenți pentru eliminarea hidrogenului și azotului din oțelul lichid (proces care se desfășoară concomitent), confirmă pe de o parte valabilitatea rezultatelor obținute, iar pe de altă parte importanța tehnologică a procesării oțelului lichid în oala de turnare.

6.3.2. Rezultate obținute în programul MATLAB

În cadrul acestui program, au fost stabilite ecuații de corelație polinomiale duble de gradul 2, rezultatele fiind prezentate atât grafic cât și analitic. De asemenea pentru fiecare caz este prezentat și coeficientul de corelație.

Ecuația este de forma:

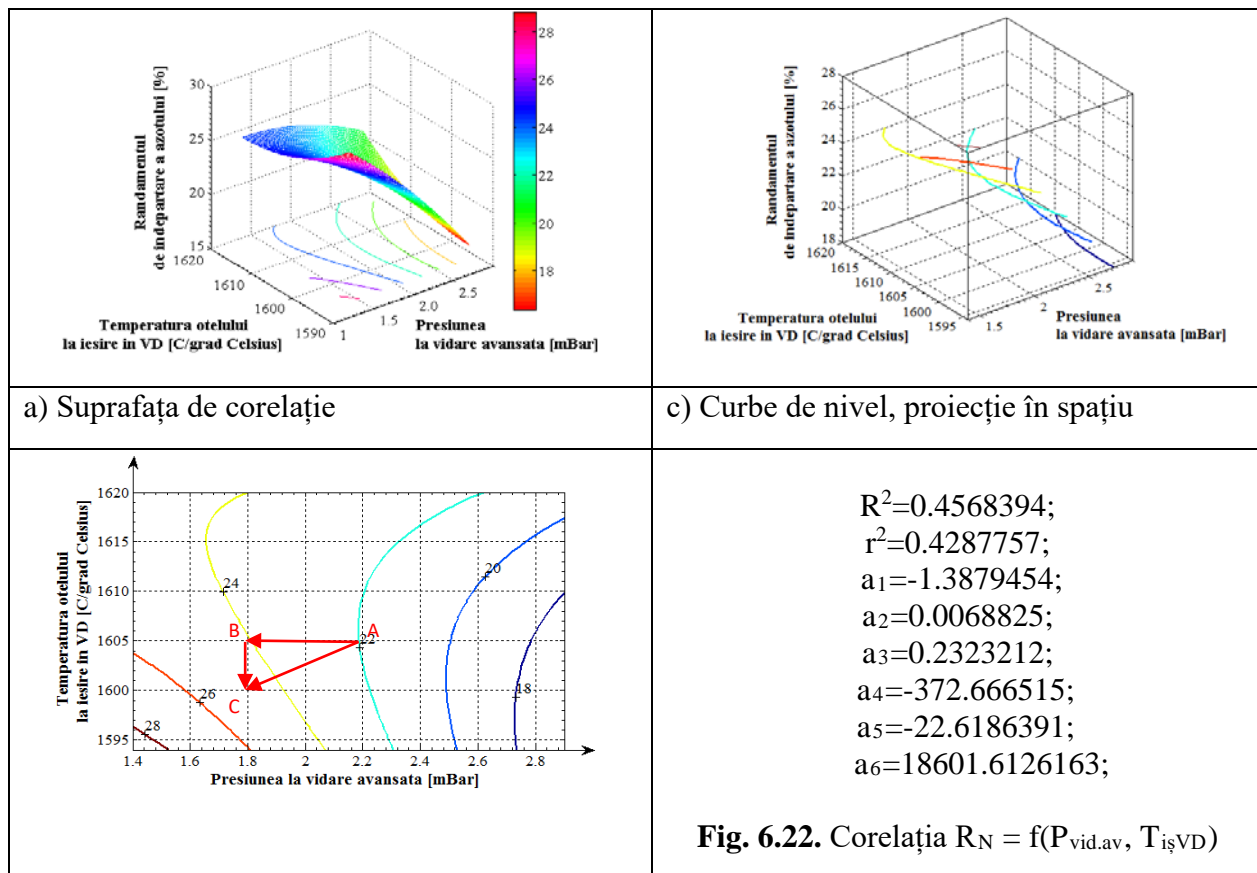
$$z = a_1x^2 + a_2y^2 + a_3xy + a_4x + a_5y + a_6, \quad (6.1)$$

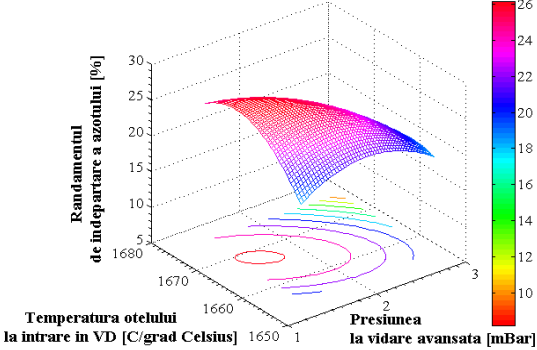
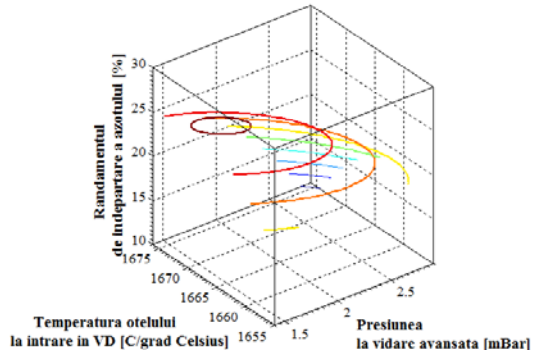
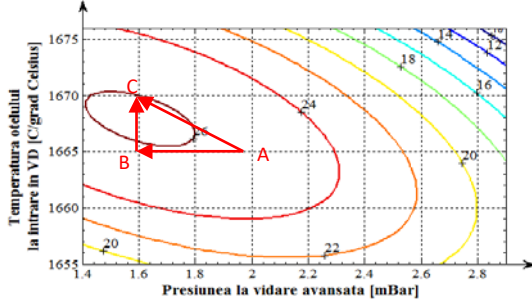
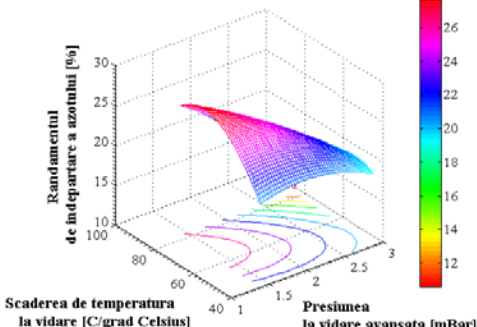
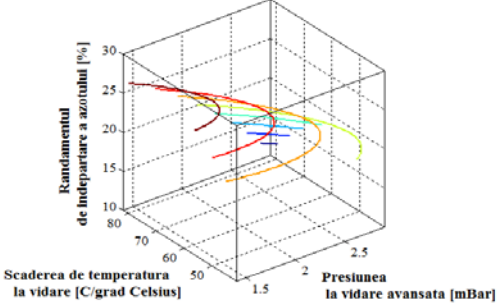
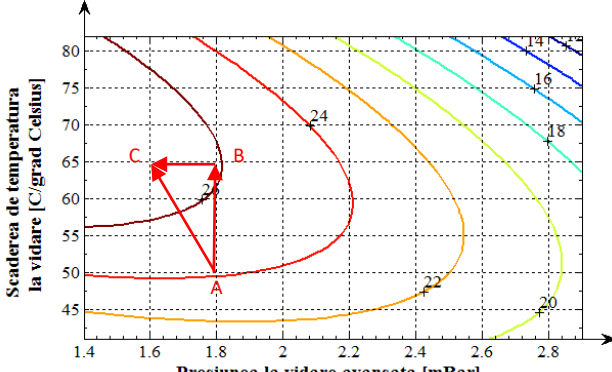
unde:

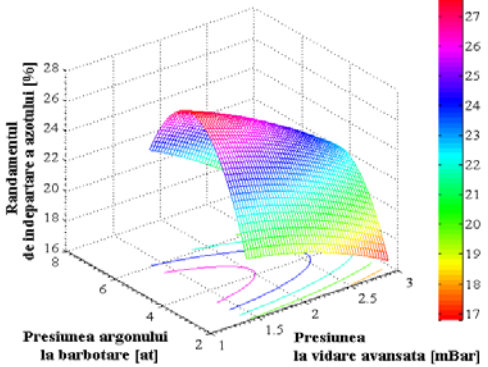
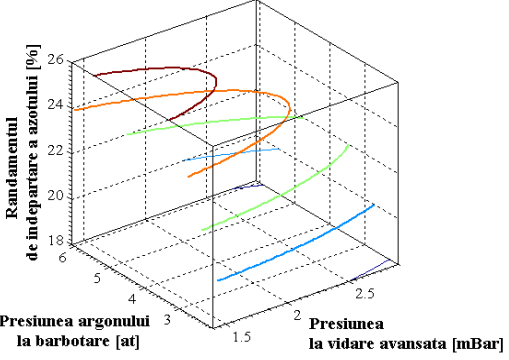
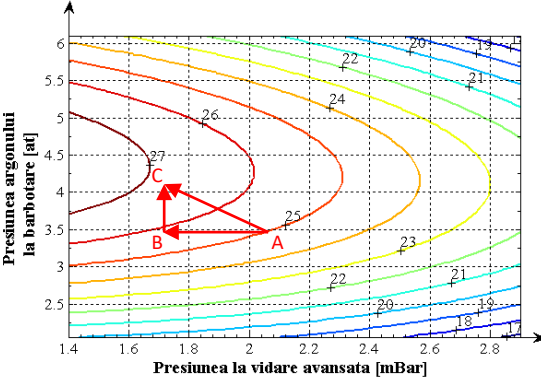
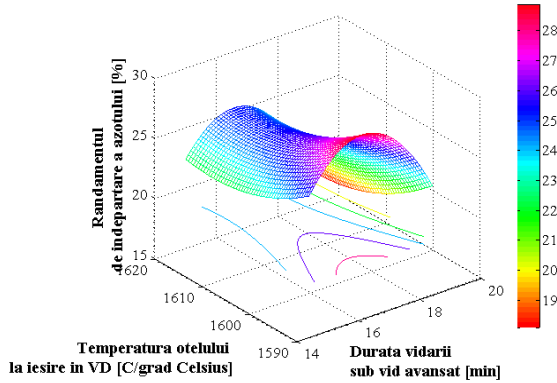
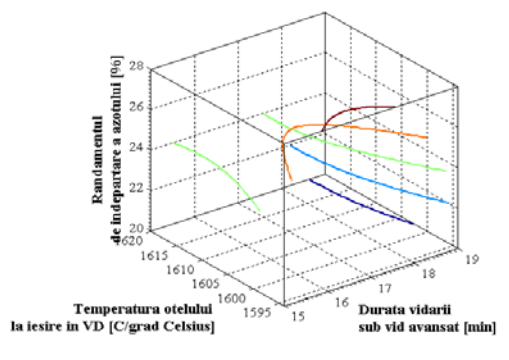
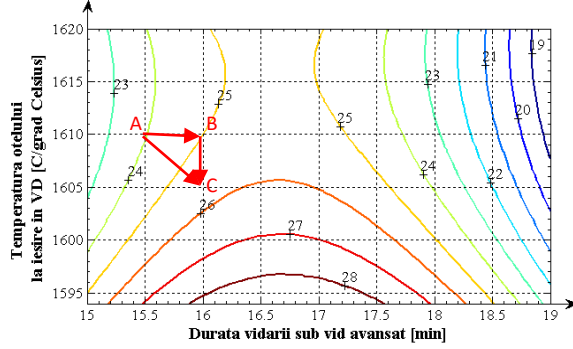
- z - parametru dependent;
- x,y - parametrii independenți.

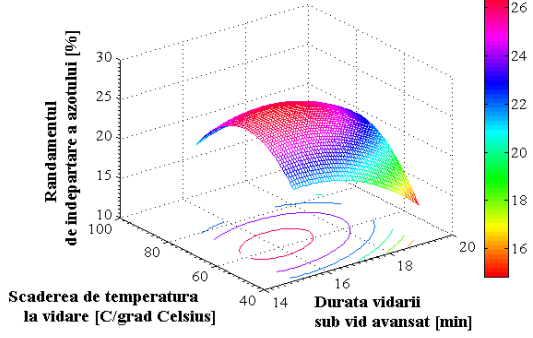
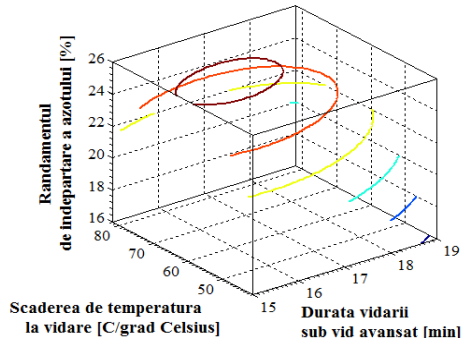
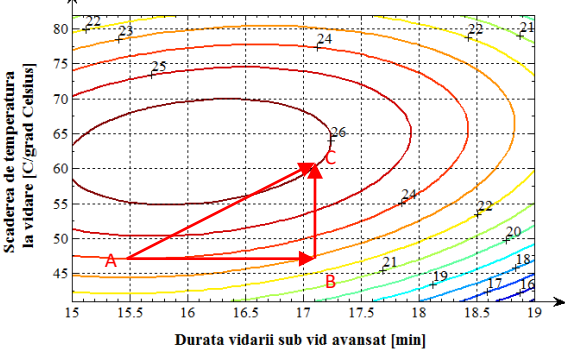
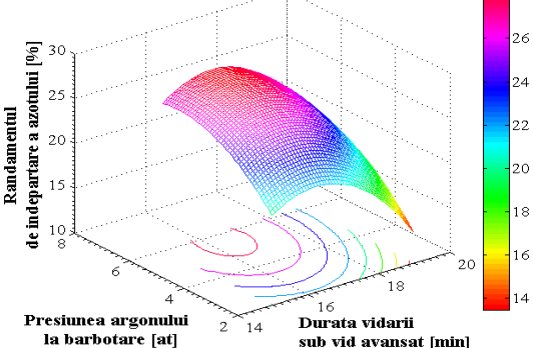
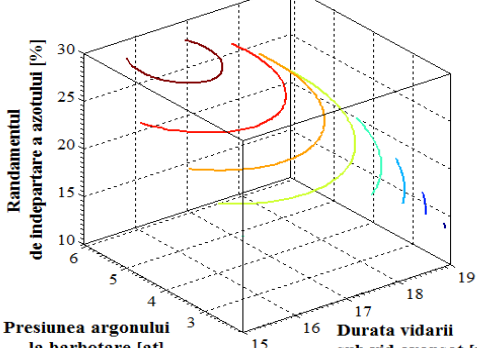
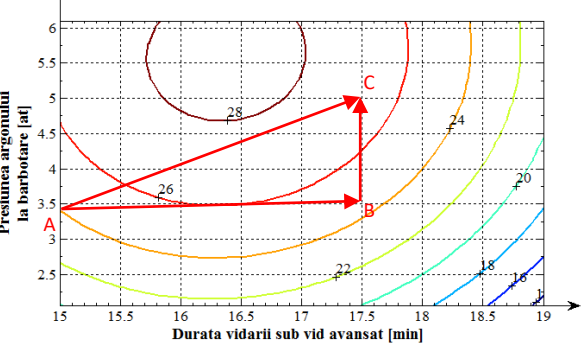
În continuare se prezintă rezultatele obținute la prelucrarea datelor în programul de calcul MATLAB.

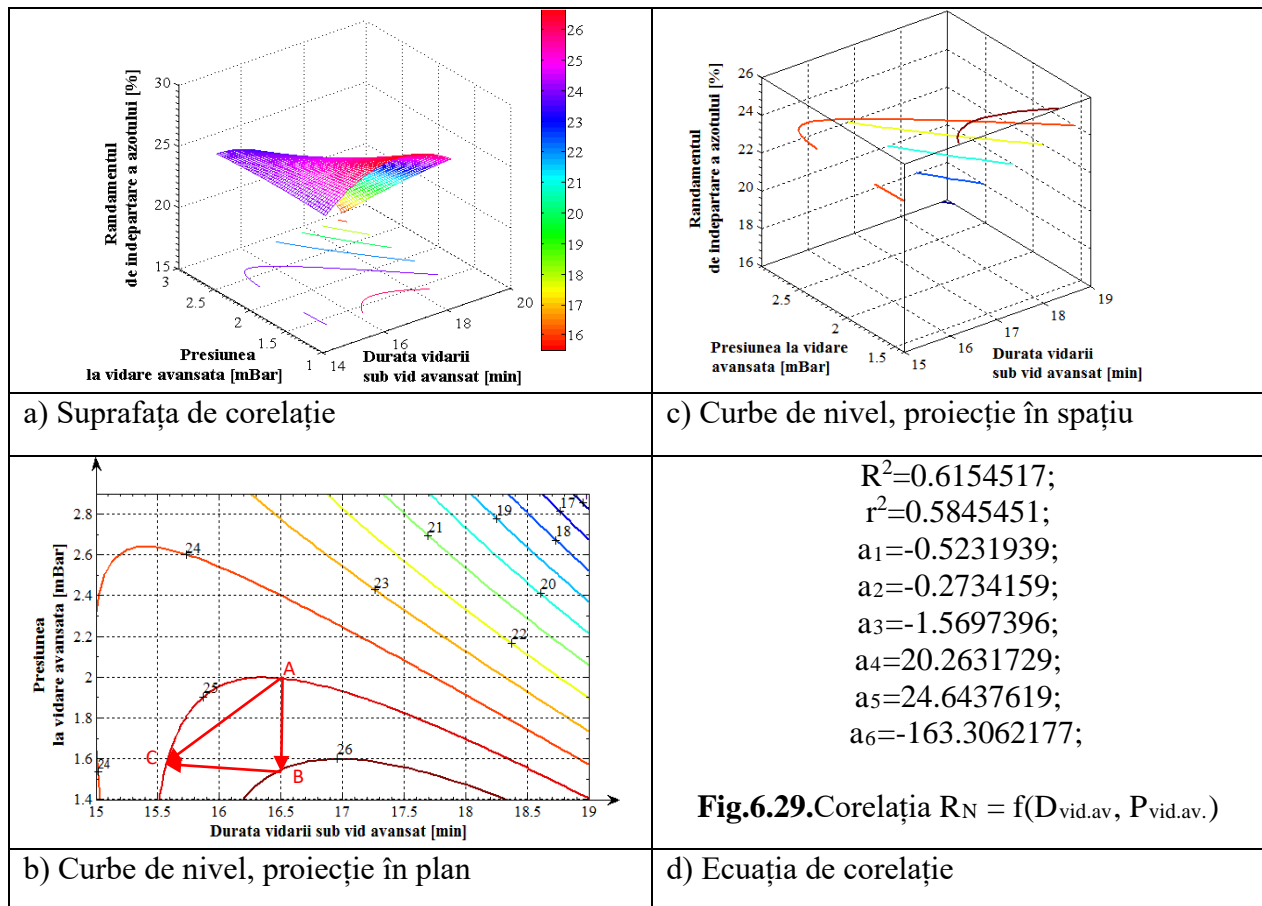
6.3.2.1. Corelații duble privind randamentul de eliminare a azotului



b) Curbe de nivel, proiecție în plan	d) Ecuația de corelație
 <p>3D surface plot showing the relationship between nitrogen recovery efficiency (Randamentul de îndepărtare a azotului [%]), inlet steel temperature (Temperatura oțelului la intrare în VD [C/grad Celsius]), and advanced discharge pressure (Presiunea la vidare avansată [mBar]). The z-axis ranges from 10 to 26, the x-axis from 1 to 3, and the y-axis from 1650 to 1670.</p>	 <p>3D contour plot showing the relationship between nitrogen recovery efficiency (Randamentul de îndepărtare a azotului [%]), inlet steel temperature (Temperatura oțelului la intrare în VD [C/grad Celsius]), and advanced discharge pressure (Presiunea la vidare avansată [mBar]). The z-axis ranges from 10 to 30, the x-axis from 1.5 to 2.5, and the y-axis from 1655 to 1675.</p>
a) Suprafața de corelație	c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu
 <p>2D contour plot showing the relationship between nitrogen recovery efficiency (Randamentul de îndepărtare a azotului [%]), inlet steel temperature (Temperatura oțelului la intrare în VD [C/grad Celsius]), and advanced discharge pressure (Presiunea la vidare avansată [mBar]). The y-axis ranges from 1655 to 1675, and the x-axis from 1.4 to 2.8. Contour lines are labeled with values like 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26.</p>	$R^2=0.5786524;$ $r^2=0.5368716;$ $a_1=-6.0295213;$ $a_2=-0.0381522;$ $a_3=-0.5102061;$ $a_4=870.3281864;$ $a_5=128.0878794;$ $a_6=-107492.1015987;$ <p>Fig. 6.23. Corelația $R_N = f(P_{vid.av}, T_{inVD})$</p>
b) Curbe de nivel, proiecție în plan	d) Ecuația de corelație
 <p>3D surface plot showing the relationship between nitrogen recovery efficiency (Randamentul de îndepărtare a azotului [%]), temperature drop (Scaderea de temperatura la vidare [C/grad Celsius]), and advanced discharge pressure (Presiunea la vidare avansată [mBar]). The z-axis ranges from 12 to 26, the x-axis from 1 to 3, and the y-axis from 40 to 100.</p>	 <p>3D contour plot showing the relationship between nitrogen recovery efficiency (Randamentul de îndepărtare a azotului [%]), temperature drop (Scaderea de temperatura la vidare [C/grad Celsius]), and advanced discharge pressure (Presiunea la vidare avansată [mBar]). The z-axis ranges from 10 to 30, the x-axis from 1.5 to 2.5, and the y-axis from 60 to 80.</p>
a) Suprafața de corelație	c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu
 <p>2D contour plot showing the relationship between nitrogen recovery efficiency (Randamentul de îndepărtare a azotului [%]), temperature drop (Scaderea de temperatura la vidare [C/grad Celsius]), and advanced discharge pressure (Presiunea la vidare avansată [mBar]). The y-axis ranges from 45 to 80, and the x-axis from 1.4 to 2.8. Contour lines are labeled with values like 14, 16, 18, 20, 22, 24.</p>	$R^2=0.57220556;$ $r^2=0.57220556;$ $a_1=-2.7636865;$ $a_2=-0.0089394;$ $a_3=-0.2337171;$ $a_4=20.5184815;$ $a_5=1.5772978;$ $a_6=-39.3140327;$ <p>Fig.6.24. Corelația $R_N = f(P_{vid.av}, \Delta.T.)$</p>

<p>b) Curbe de nivel, proiecție în plan</p> 	<p>d) Ecuația de corelație</p> 
<p>a) Suprafața de corelație</p> 	<p>c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu</p> $R^2 = 0.6023;$ $r^2 = 0.5692;$ $a_1 = -0.8828;$ $a_2 = -1.3963;$ $a_3 = -0.5632;$ $a_4 = 2.7910;$ $a_5 = 13.0644;$ $a_6 = -1.5104,$ <p>Fig.6.25. Corelația $R_N = f(P_{\text{vid.va}}, P_{\text{bAr}})$</p>
<p>b) Curbe de nivel, proiecție în plan</p> 	<p>d) Ecuația de corelație</p> 
<p>a) Suprafața de corelație</p> 	<p>c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu</p> $R^2 = 0.5657$ $r^2 = 0.5657$ $a_1 = -0.0001$ $a_2 = 0.0000$ $a_3 = -0.0000$ $a_4 = 0.0065$ $a_5 = -0.0024$ $a_6 = 1.8709$ <p>Fig.6.26. Corelația $R_N = f(D_{\text{vid.av}}, T_{\text{ișVD}})$</p>
<p>b) Curbe de nivel, proiecție în plan</p>	<p>d) Ecuația de corelație</p>

 <p>Scaderea de temperatura la vidare [C/grad Celsius]</p> <p>Durata vidării sub vid avansat [min]</p>	 <p>Scaderea de temperatura la vidare [C/grad Celsius]</p> <p>Durata vidării sub vid avansat [min]</p>
a) Suprafața de corelație	c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu
 <p>Scaderea de temperatura la vidare [C/grad Celsius]</p> <p>Durata vidării sub vid avansat [min]</p>	$R^2=0.6321344;$ $r^2=0.5801231;$ $a_1=-0.5102723;$ $a_2=-0.0117798;$ $a_3=0.0335826;$ $a_4=14.3278585;$ $a_5=0.9300177;$ $a_6=-117.6659111;$ <p>Fig.6.27. Corelația $R_N = f(D_{\text{vid.av.}}, \Delta.T)$</p>
b) Curbe de nivel, proiecție în plan	d) Ecuația de corelație
 <p>Presiunea argonului la barbotare [at]</p> <p>Durata vidării sub vid avansat [min]</p>	 <p>Presiunea argonului la barbotare [at]</p> <p>Durata vidării sub vid avansat [min]</p>
a) Suprafața de corelație	c) Curbe de nivel, proiecție în spațiu
 <p>Presiunea argonului la barbotare [at]</p> <p>Durata vidării sub vid avansat [min]</p>	$R^2=0.67076476;$ $r^2=0.67076476;$ $a_1=-1.0917056;$ $a_2=-0.5392111;$ $a_3=0.0727901;$ $a_4=35.3488038;$ $a_5=4.8642596;$ $a_6=-274.6389053;$ <p>Fig.6.28. Corelația $R_N = f(D_{\text{vid.av.}}, P_{\text{bAr}})$</p>
b) Curbe de nivel, proiecție în plan	d) Ecuația de corelație



6.3.2.2. Analiza tehnologică a corelațiilor obținute

Din analiza tehnologică a reprezentărilor grafice prezentate în fig. 6.22- fig. 6.34 pot fi scoase în evidență următoarele concluzii:

Referitor la tratarea oțelului sub vid avansat din datele prezentate în fig. 6.22 se observă că o dată cu reducerea presiunii în instalația de vidare crește randamentul de îndepărtare a azotului, mai ales dacă la ieșirea din instalația de vidare temperatura oțelului este spre limita inferioară admisă, ceea ce indică de regulă o durată de vidare mai mare pe de o parte, iar pe de altă parte scăderea este determinată și de scăderea solubilității acestuia în oțel. De ex. o scădere a presiunii în instalația de vidare de la 2,2mBar la 1,8mBar la temperatura băii de 1605⁰C randamentul crește de la 22 la 24%, de unde o scădere a temperaturii de la 1605⁰C la 1600⁰C, conduce la o creștere a randamentului de la 24% la 25% (A(2,2; 1605; 22)→B(1,8; 1605; 24)→C(1,8; 1600; 25));

Din diagrama prezentată în fig. 6.23 se constată ca și în cazul anterior o creștere a randamentului de eliminare a azotului o dată cu scăderea presiunii în instalația de vidare (la vidare avansată) fiind în același timp influențat de temperatura oțelului la intrare în instalația de vidare, existând un domeniu reprezentativ în care randamentul de vidare este mai mare de 24% (Ex. A(2,0; 1665; 25)→B(1,6; 1670; 26); C(1,6; 1668; 27)); tehnologic dacă oțelul are la intrarea în instalația de vidare temperatura în limitele 1660 – 1675⁰C este

asigurată o durată de tratare a oțelului sub vid avansat corespunzătoare, pe de o parte, iar pe de altă parte o bună fluiditate a oțelului, care permite ieșirea azotului din baia de oțel, trecerea în bulele de argon și îndepărtare acestora din instalația de vidare;

Analizând datele prezentate în fig. 6.24 se constată o foarte bună corelație cu cele prezentate anterior, respectiv în fig.6.23. Presiunea redusă la vidarea avansată conduce ca și în celelalte cazuri la creșterea randamentului de vidare în mod deosebit în limitele de scădere a temperaturii pe durata vidării, mai precis între 50 - 90 °C, ceea ce se poate asigura având în vedere tratarea oțelului înaintea operației de vidare în instalația LF. (Ex. A(1,8; 50; 24)→B(1,8; 63; 26); C(1,6; 65; 27));

O foarte bună corelație există între reprezentările grafice din fig 6.25 cu cele din fig.6.23 și 6.24. Influența presiunii din instalația de vidare la vidarea avansată are același sens ca în cazurile anterioare. Referitor la al doilea parametru de influență din corelația analizată, respectiv presiunea argonului la barbotare influențează semnificativ randamentul de eliminare a azotului, fiind indicat ca aceasta să fie cuprinsă în limitele 2,75-5,5at. La valori mai mici ale presiunii argonului la barbotare baia metalică este insuficient agitată, iar la presiuni mai mari se produce o amestecare prea intensă a oțelului cu zgura. De dorit ca presiunea în instalația de vidare la vidarea avansată să fie sub 2mBar, (Ex. (A(2,1; 3,5; 25)→B(1,7; 3,5;26)→C(1,6;4,0;27));

Din analiza tehnologică a rezultatelor prezentată în fig. 6.26 se constată, influența cumulată a duratei de vidare avansată a oțelului și temperaturii acestuia la ieșirea din instalația de vidare asupra randamentului de îndepărtare a azotului din baia de oțel. Referitor la durata vidării sub vid avansat (parametru independent foarte important pentru eficiența vidării) o creștere a acestui până la cca. 18 min asigură o eficiență foarte bună a vidării, (Ex. A(15,5; 1610; 24)→B(16; 1610;25)→C(16;1603;26));

Referitor la corelațiile prezentate în fig. 6.27 se poate observa că există o bună dependență între cei doi parametri tehnologici independenți (durata vidării sub vid avansat și scăderea de temperatură pe durata vidării oțelului) și parametrul dependent (randamentul de îndepărtare a azotului din oțel). În ceea ce privește scăderea de temperatură pe durata vidării, se confirmă afirmațiile prezentate pentru fig.6.22, respectiv cele privind durata vidării oțelului sub vid avansat fig. 6.26, ((Ex. A(51,5; 1610; 24)→B(16; 1610;25)→C(16;1603;26));

Din datele prezentate în fig.6.28 rezultă influența parametrilor tehnologici independenți, durata vidării sub vid avansat și presiunea argonului pentru barbotarea oțelului pe durata vidării, asupra parametrului dependent, randamentul de îndepărtare a azotului din baia de oțel. Modul de acțiune/influență a acțiunii presiunii argonului este același ca cel prezentat la analiza corelației expuse în fig.6.25, iar referitor la influența duratei vidării sub

vid avansat, acțiunea acestui parametru este în același sens ca în cazurile prezentate anterior, (Ex. A(15; 3,5; 24)→B(16; 3,5;26)→C(16;4,8;28));

Analiza tehnologică a rezultatelor prezentate în fig. 6.29 confirmă influența în sens pozitiv a doi parametrii reprezentativi ai vidării, durata vidării sub vid avansat și presiunea în instalația de vidare la vidare avansată asupra randamentului de îndepărtare a azotului. Variația acestor parametrii în limitele tehnologice (în sensul creșterii duratei de vidare avansată și a scăderii presiunii la vidare avansată) conduce la creșterea randamentului de vidare (Ex.A(15; 3,5; 24)→B(16; 3,5;26)→C(16;4,8;28));

6.3.3. Corelații triple privind randamentul de îndepărtare a azotului și cantitatea îndepărtată din baia de oțel.

6.3.3.1. Corelații triple privind randamentul de îndepărtare a azotului din baia de oțel.

Pentru obținerea unor corelații triple, privind modul de influență a unor parametrii independenți asupra randamentului de îndepărtare a azotului din baia de oțel, considerat parametru dependent, am ales 4 parametrii independenți reprezentativi pentru tratamentul oțelului în instalații de vidare tip VD (fără aport de căldură).

Ca urmare au fost aleși următorii parametrii independenți:

- x, pentru durata totală a vidării (min.) - D_{tv} ;
- y, pentru durata vidării sub vid avansat (min.) - $D_{vid.,av.}$;
- z, presiune în instalația de vidare la vidare avansată (mBar) - $P_{vid.,av.}$;
- u, presiunea argonului la barbotarea oțelului pe durata tratamentului de vidare (at) - $P_{b.,Ar.}$;

Parametrul dependent a fost :

- t, randamentul de îndepărtare a azotului din baia de oțel (%) - R_N

Datele referitoare la acești parametrii au fost prelucrate în programul de calcul MATLAB, obținându-se corelații multiple prezentate în tabelul 6.1.

Prin permutări efectuate asupra celor 4 parametrilor independenți au fost obținute 4 ecuații de corelație triplă. Se poate considera ca din punct de vedere a valori coeficientului de regresie pentru corelațiile triple acestea sunt reprezentative. De asemenea sunt prezentați și coeficienți pentru corelațiile duble, considerați reprezentativi.

Tabelul 6.1. Corelații triple privind randamentul de îndepărtare a azotului din oțel.

$t=f(xyz)$	$t=a_1x^2+a_2y^2+a_3z^2+a_4xy+a_5xz+a_6yz+a_7x+a_8y+a_9z+a_{10}$
	$a_1=-1.995611; a_2=-5.777019; a_3=0.439347; a_4=6.775378; a_5=1.865146;$ $a_6=-3.933093; a_7=-25.502192; a_8=43.740622; a_9=18.381462; a_{10}=-45.492255;$ $r^2=0.7521609469;$ $r_{21}=0.187957565352; r_{22}=0.4622953265450; r_{23}=0.7178708165790$
$t=f(xyu)$	$t=a_1x^2+a_2y^2+a_3u^2+a_4xy+a_5xu+a_6yu+a_7x+a_8y+a_9u+a_{10}$
	$a_1=-1.071999; a_2=-2.468931; a_3=1.112461; a_4=3.186959; a_5=1.633948;$ $a_6=-3.511872; a_7=-11.074757; a_8=22.371869; a_9=12.425656; a_{10}=-44.864458,$ $r^2=0.7769839706;$ $r_{21}=0.0925147068564332; r_{22}=0.353373958338357;$ $r_{23}=0.619001300772934;$
$t=f(xzu)$	$t=a_1x^2+a_2z^2+a_3u^2+a_4xz+a_5xu+a_6zu+a_7x+a_8z+a_9u+a_{10}$
	$a_1=0.110275; a_2=2.409268; a_3=-0.281629; a_4=-1.858092; a_5=-0.297988;$ $a_6=0.522698; a_7=-1.521789; a_8=31.338777; a_9=9.699394; a_{10}=3.944185;$ $r^2=0.6692290931;$ $r_{21}=0.2503691534; r_{22}=0.5247633889; r_{23}=0.5874847156;$
$t=f(yzu)$	$t=a_1x^2+a_2z^2+a_3u^2+a_4xz+a_5xu+a_6zu+a_7x+a_8z+a_9u+a_{10}$
	$a_1=-0.801619; a_2=4.064905; a_3=-0.118824; a_4=-2.165892; a_5=-0.384978;$ $a_6=1.226538; a_7=31.599834; a_8=13.635879; a_9=6.977489; a_{10}=-259.540425;$ $r^2=0.7221425601;$ $r_{21}=0.12100069174; r_{22}=0.65669692712; r_{23}=0.5331287061;$

6.3.3.2. Corelații triple referitoare la cantitatea de azot îndepărtată la vidare. Analiza tehnologică. Concluzii.

a) corelații tehnologice (triple/duble)

În cadrul acestui subcapitol sunt prezentate rezultatele obținute la prelucrarea datelor de la experimentările industriale, efectuată în programul de calcul MATLAB, avându-se în vedere determinarea corelațiilor multiple. În cazul corelațiilor multiple s-au obținut ecuații de corelație triplă și dublă (cu trei, respectiv doi parametri independenți) exprimate prin funcții polinomiale de gradul 2. Deoarece funcțiile cu 4 parametri (1 parametru dependent și 3 independenți) nu pot fi reprezentate în spațiul tridimensional, s-a atribuit prin permutări unui parametru independent valoarea medie, rezultând astfel din fiecare corelația cu 3 parametri independenți, 3 corelații duble (cu 2 parametri independenți), prezentate atât analitic cât și grafic (suprafețe de corelație, proiecția plană)

Parametru dependent a fost considerat ca fiind cantitatea de azot (ΔN) îndepărtată din baia metalică pe durata vidării. Parametrii vidării urmăriti cu limitele de variație sunt prezentate în tabelul 6.2.

În cazul corelațiilor multiple s-au obținut ecuații de corelație triplă și dublă (cu trei, respectiv doi parametri independenți) exprimate prin funcții

polinomiale de gradul 2. Deoarece funcțiile cu 4 parametri nu pot fi reprezentate în spațiul tridimensional, s-a atribuit prin permutări unui parametru independent valoarea medie, rezultând astfel din fiecare corelația cu 3 parametri independenți, 3 corelații duble (cu 2 parametri independenți), prezentate atât analitic cât și grafic (suprafețe de corelație, proiecția plană).

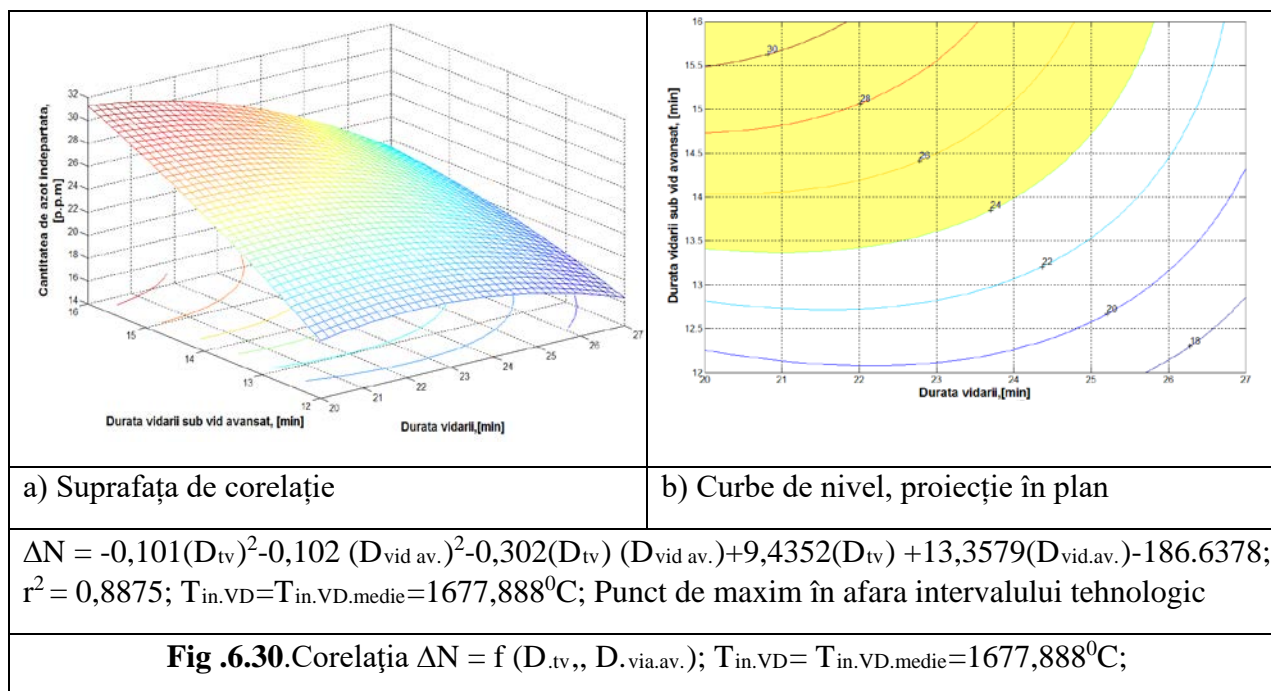
Tabelul 6.2. Valorile minime, maxime și medii pentru parametri urmăriți la îndepărtarea azotului din baia de oțel

Nr. crt.	Parametru	Simbolizare parametru	Unitate de măsură	Valoare		
				Min.	Max	Med.
1	Durata vidării	D_{tv}	minute	20	27	22,21
2	Durata vidării sub vid avansat	$D_{vid\ av.}$	minute	14	21	12,16
3	Temperatura oțelului la intrarea VD	$T_{int.\ VD}$	$^{\circ}C$	1658	1683	1667,8
4	Temperatura oțelului la ieșire VD	$T_{iș.\ VD}$	$^{\circ}C$	1610	1635	1619,3
	Cantitatea de N îndepărtat din oțel	ΔN	ppm	16	32	23,12

În continuare se prezintă ecuațiile de corelație triplă, precum și cele duble rezultate din cele triple, cu mențiune că cele duble sunt prezentate și sub formă grafică.

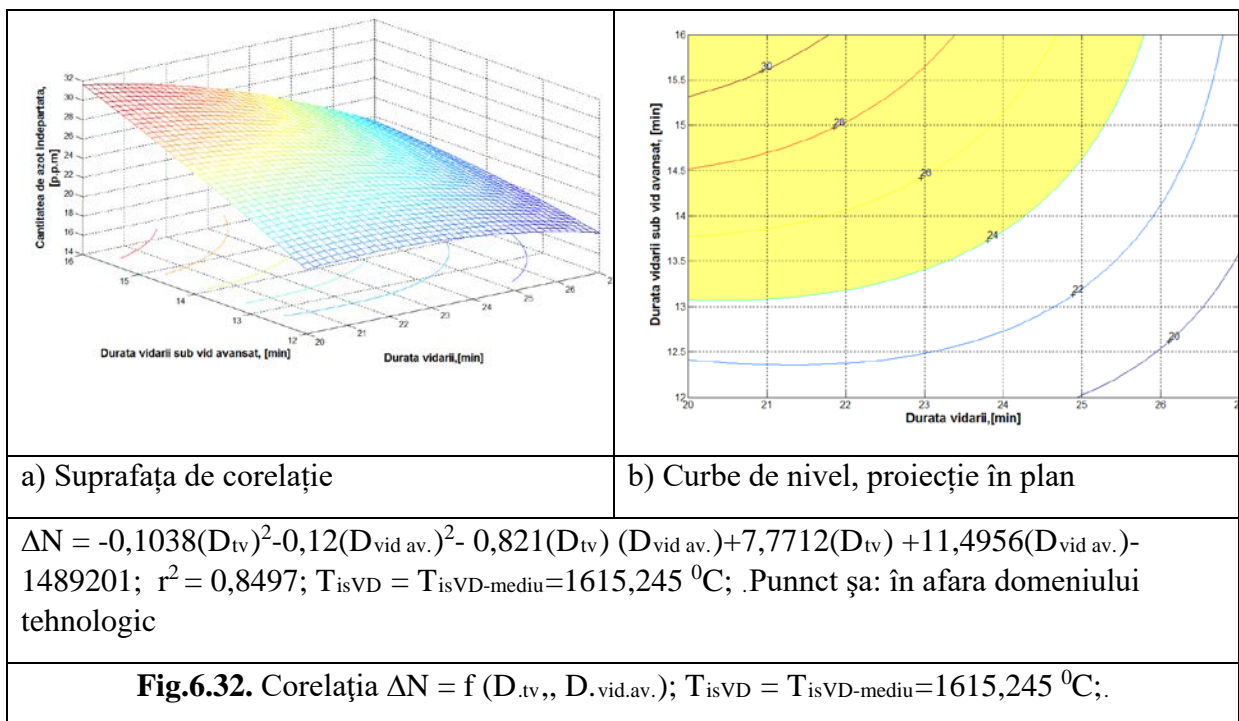
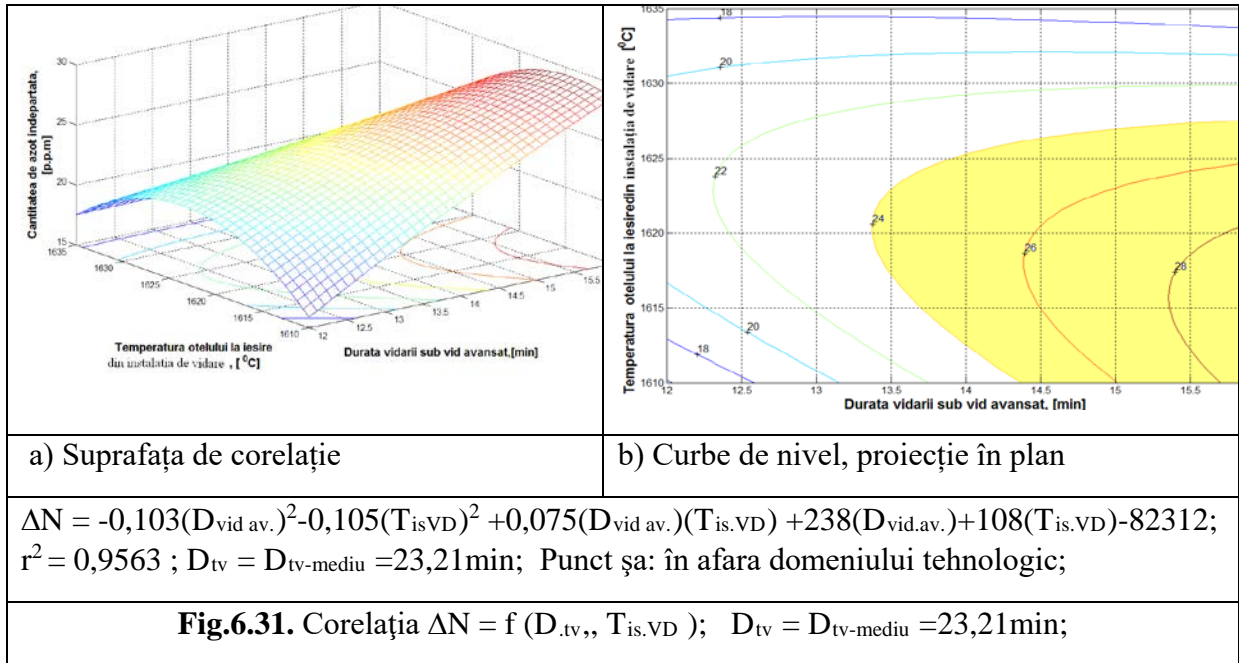
$$\Delta N = -0,101(D_{tv})^2 - 0,102(D_{vid\ av.})^2 - 0,302(D_{vid}) (D_{vid\ av.}) - 0,11(D_{tv}) (T_{in.VD}) - 0,1(D_{vid.av.})(T_{in.VD}) + 112,3(D_{tv}) + 182,5(D_{vid.av.}) - 6,32z(T_{in.VD}) - 7789,98; \quad r^2 = 0,8765$$

(6.2)

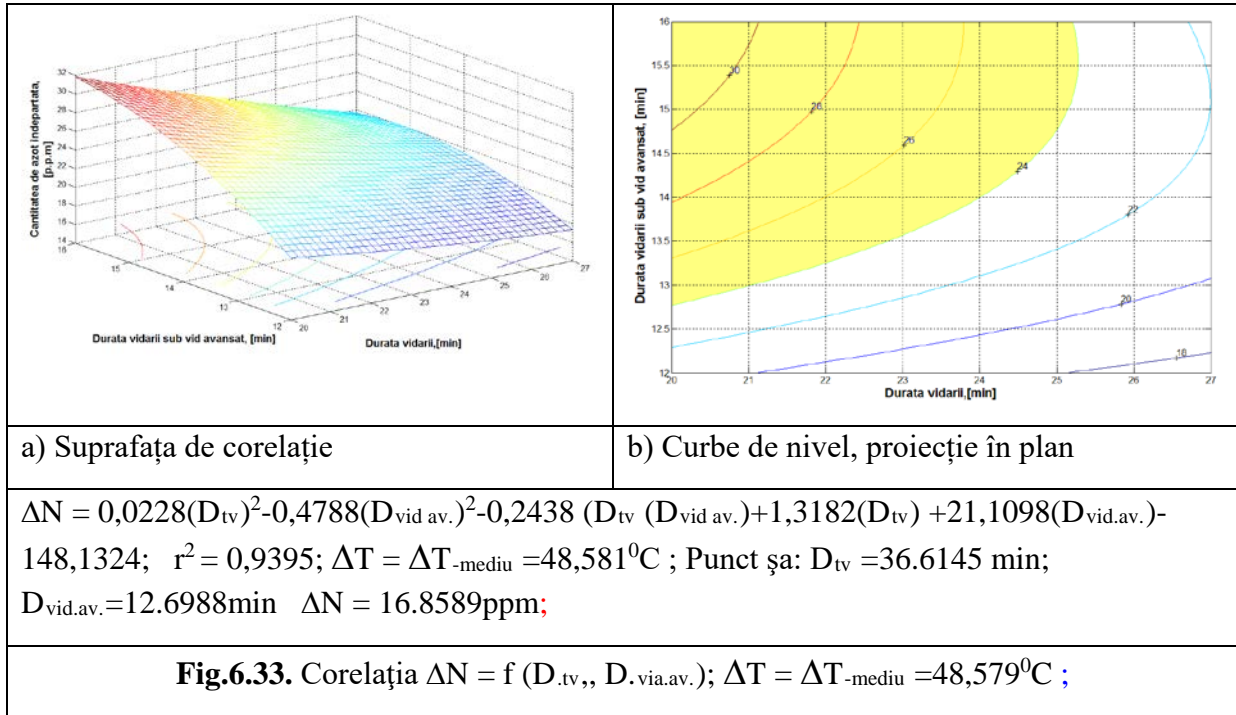


$$\Delta N = -0,102(D_{tv})^2 - 0,104(D_{vid.av.})^2 - 0,105(T_{isVD})^2 + 0,0821(D_{tv})(D_{vid.av.}) - 0,11(D_{tv})(T_{is.VD}) + 0,075(D_{vid.av.})(T_{is.VD}) - 471(D_{tv}) + 241(D_{vid.av.}) + 993(T_{is.VD}) - 81201;$$

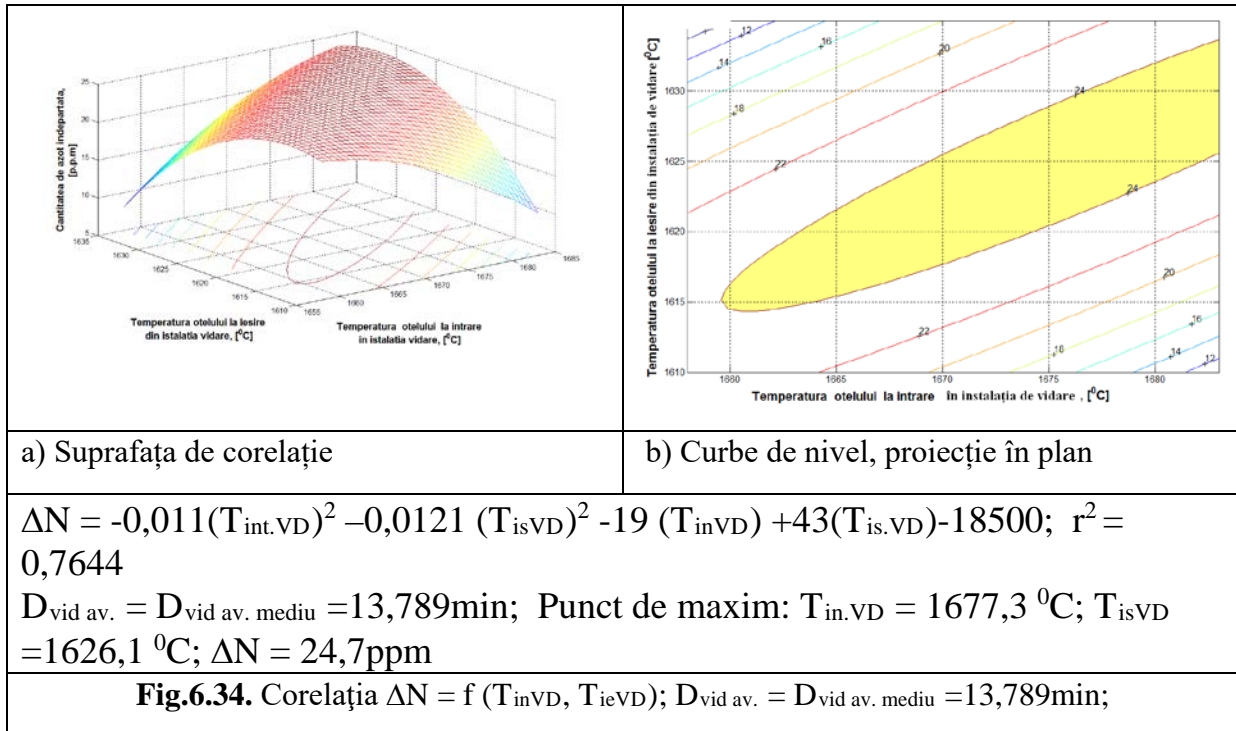
$$r^2 = 0,9488 \quad (6.3)$$

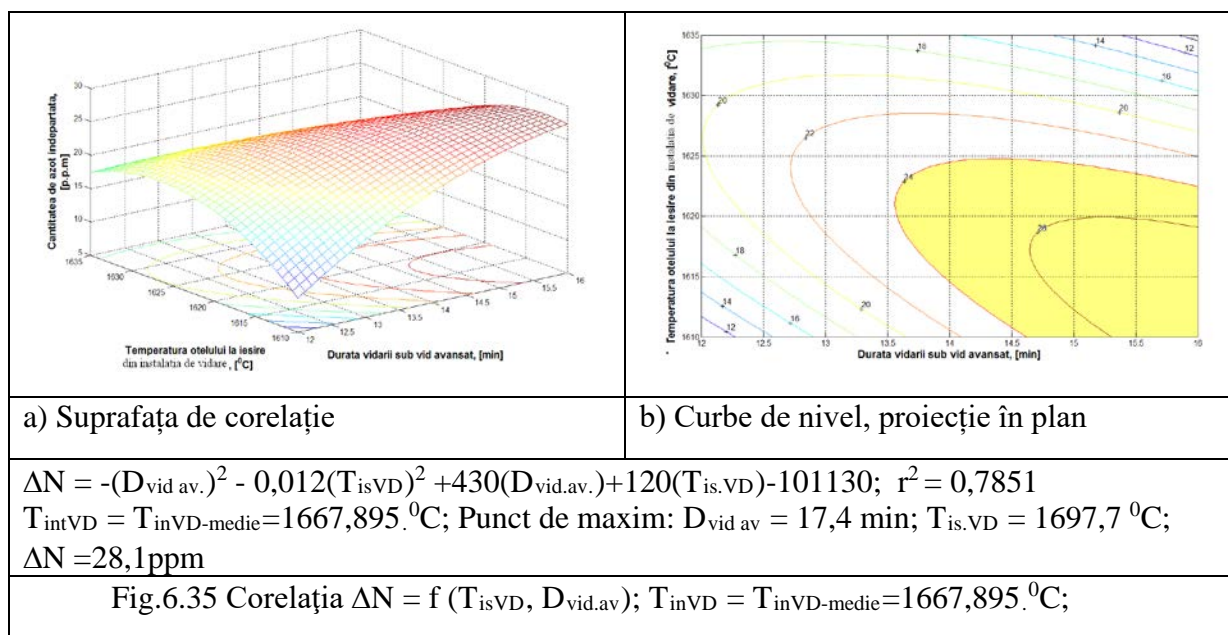


$$\begin{aligned} \Delta N = & 0,0228(D_{tv})^2 - 0,4788(D_{vid.av.})^2 - 0,0291(\Delta T)^2 - 0,2438(D_{tv})(D_{vid.av.}) \\ & + 0,0179(D_{tv})(\Delta T) + 0,1229(D_{vid.av.})(\Delta T) + 0,4551(D_{tv}) + 13,2345(D_{vid.av.}) \\ & + 0,2947(\Delta T) - 85,7602; \quad r^2 = 0,9401 \end{aligned} \quad (6.4)$$



$$\begin{aligned} \Delta N = & -1,03(D_{vid.av.})^2 - 0,011(T_{in.VD})^2 - 0,0121(T_{isVD})^2 - 127,1(D_{vid.av.}) - \\ & 45,92(T_{is.VD}) - 16619; \quad r^2 = 0,8547 \end{aligned} \quad (6.5)$$





b) Analiza tehnologică a rezultatelor obținute (corelațiilor triple/duble) în programul MATLAB

La prelucrarea datelor în programul menționat mai sus au fost obținute în prima fază corelații triple, după care din fiecare corelație triplă au rezultat 3 corelații duble, posibil de reprezentat grafic. Din prelucrarea datelor referitoare la cantitatea de azot îndepărtată din baia de oțel lichid au rezultat 6 corelații triple din care am ales un număr de 4 considerate cele mai reprezentative, din care au derivat 12 corelații duble, din care sunt prezentate 6 (considerate de asemenea ca fiind cele mai reprezentative), atât analitic cât și grafic.

Din analiza corelațiilor se constată că din punct de vedere a valorilor atât pentru coeficienții corelațiilor triple cât și duble acestea sunt reprezentativi.

Pentru fiecare corelație dublă se prezintă coordonatele punctelor de extrem, respectiv inflexiune și valoare medie a parametrului considerat constant (dacă aceștia sunt cuprinși în intervalul tehnologic)

Având în vedere importanța duratei vidării și respectiv a celei sub vid avansat, o atenție deosebită s-a acordat corelațiilor care conțin acești parametri, în lucrare fiind prezentate mai multe corelații duble cu acești parametri, dar derivate din corelații triple diferite.

Cantitatea medie de azot îndepărtat din baia de oțel pentru șarjele urmărite a fost de 23,08 ppm (min. 16 ppm și max. 32 ppm). Se poate considera în baza rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul MATLAB că se pot obține valori pentru cantitatea de azot îndepărtat din baia de oțel de cel puțin 23 ppm (puțin superioare valorii medii), acestea găsindu-se în

subdomeniile ”hașurate”. Ca urmare parametrii independenți trebuie să aibă asemenea valori (corelate între ele) astfel încât valorile pentru cantitatea de azot îndepărtat să se situeze în domeniul ”hașurat”, în același timp urmărindu-se și valorile pentru randamentul de îndepărtare a azotului.

6.4. Absorbția azotului în oțel după vidare

În cadrul acestui subcapitol sunt prezentate rezultatele cercetărilor referitoare la absorbția azotului în oțelul din oală, după ieșirea din VD până la turnarea în distribuitor. Datele obținute în cadrul cercetărilor au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB, rezultatele obținute fiind prezentate atât analitic cât și grafic. Pe baza analizei tehnologice a rezultat o serie de concluzii aplicabile în practică și cercetare

6.4.1. Prelucrarea datelor. Rezultate

Prin prelucrarea datelor în programele de calcul EXCEL și MATLAB s-a avut în vedere stabilirea unor corelații între cantitatea de azot absorbită în oțelul lichid după vidare, mai precis pe timpul transportului de la instalația de vidare VD la distribuitorul instalației TC (considerați parametru dependenți- N_{abs}) și o parte din parametrii vidării menționați mai sus.

6.4.1.1. Rezultate la prelucrarea datelor în programul EXCEL

În cazul prelucrării datelor în acest program s-a avut în vedere obținerea unor corelații reprezentative: exponențiale și polinomiale de gradul 2 și 3. Corelațiile sunt prezentate atât sub formă analitică cât și grafică.

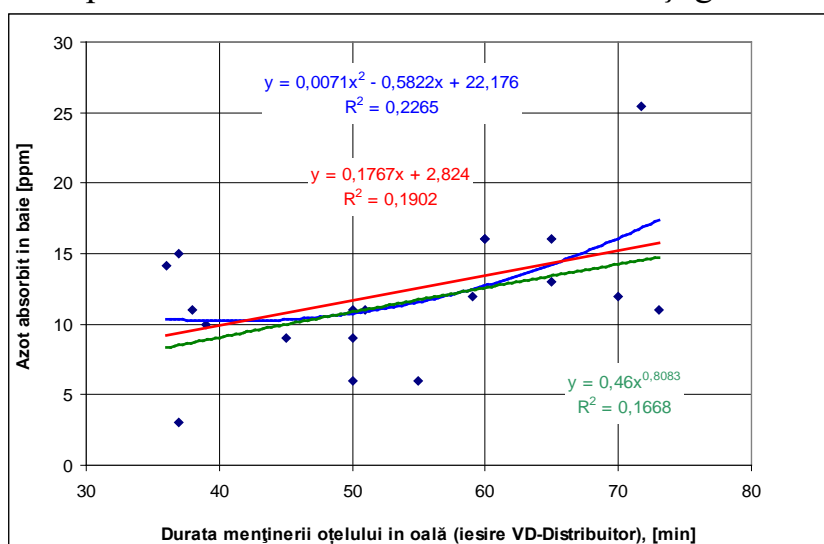


Fig. 6.36. Corelația $N_{abs} = f(\text{Durata de menținere a oțelului în oală, ieșire VD – Distribuitor})$

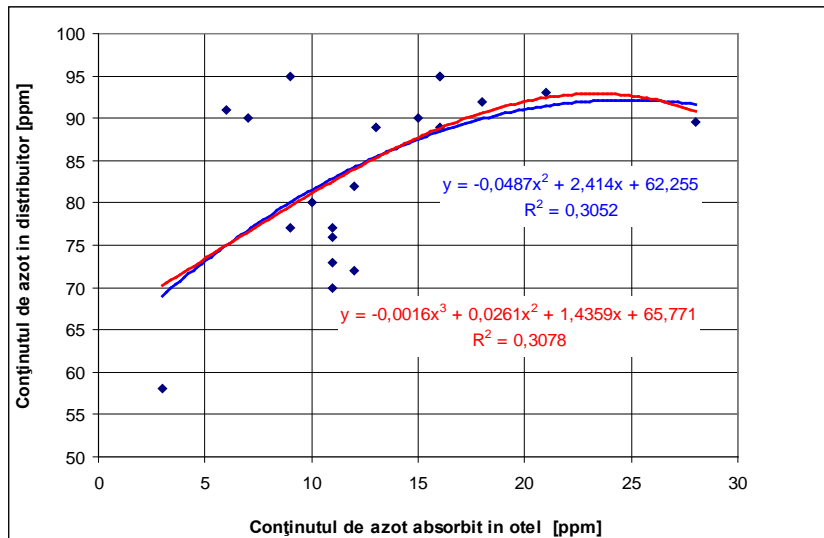
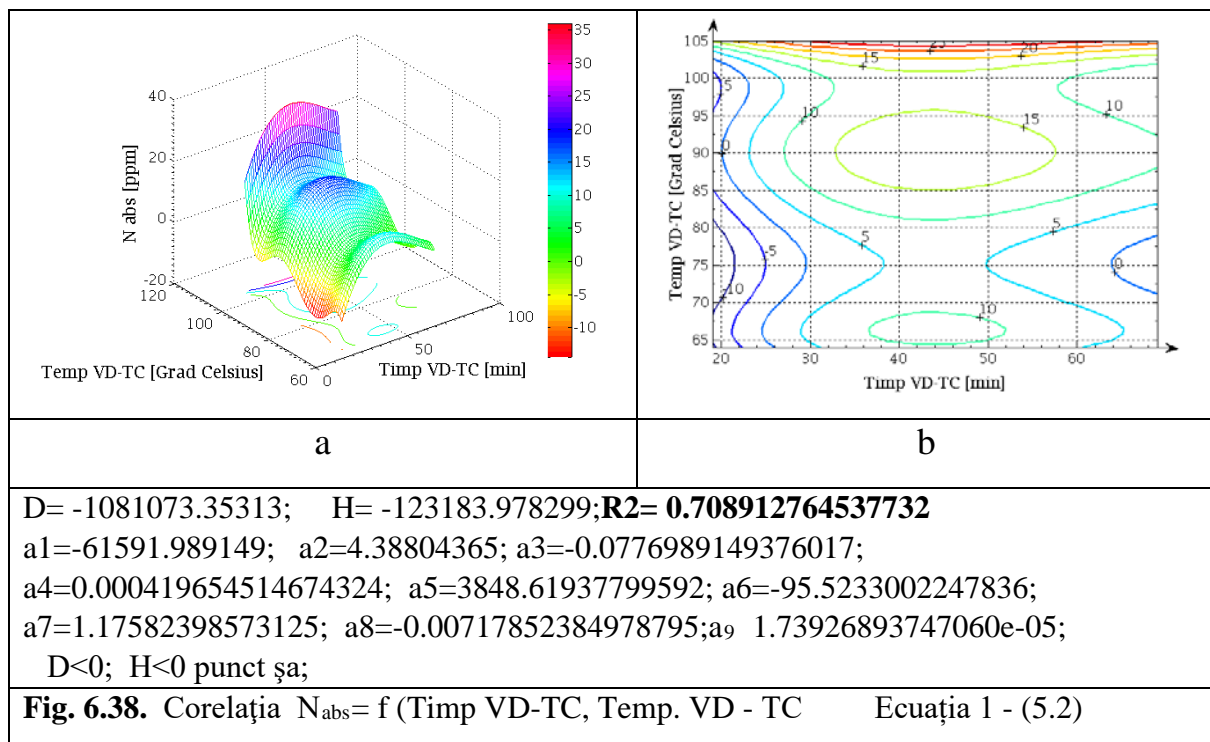


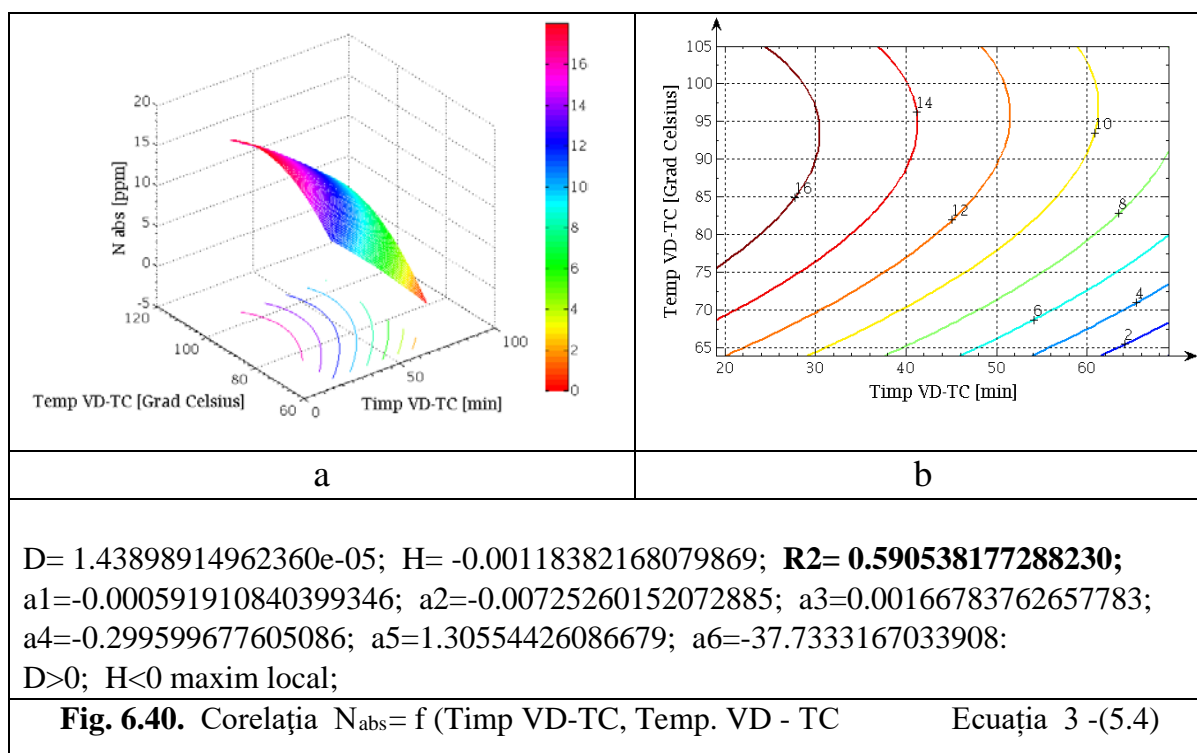
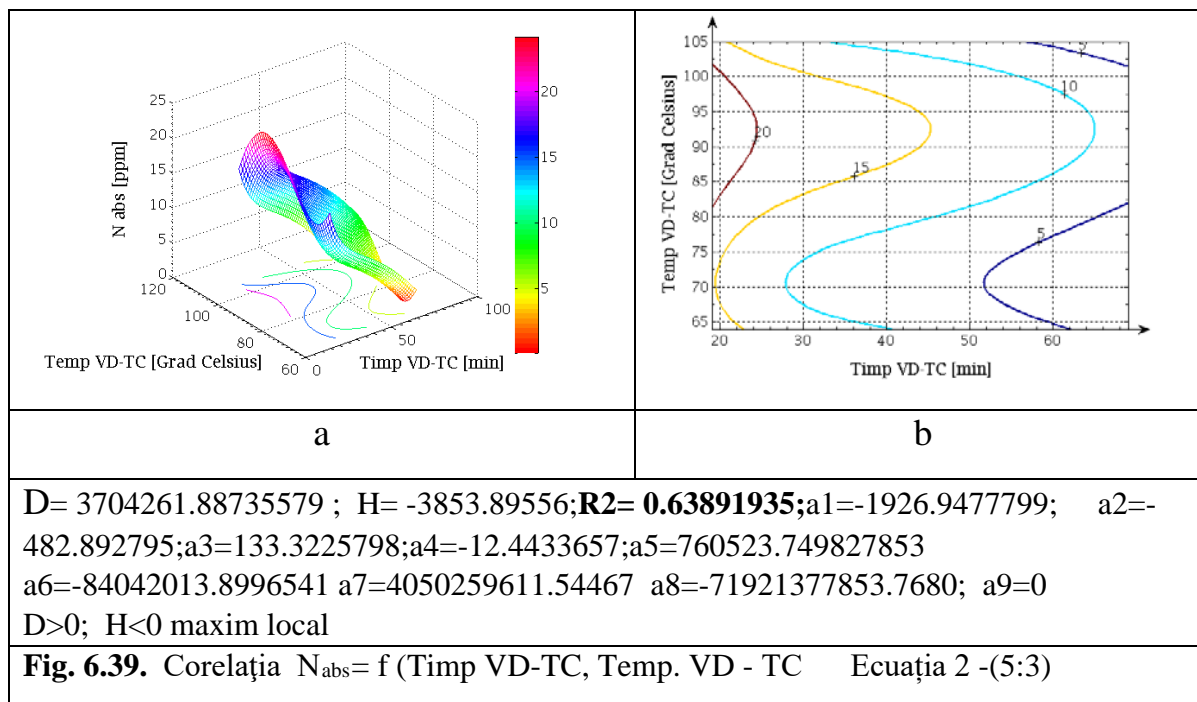
Fig. 6.37. Corelația $N_{\text{distribuitor}} = f(N_{\text{abs}})$

6.4.1.2. Rezultate la prelucrarea datelor în programul MATLAB

Pentru prelucrarea datelor în programul MATLAB au fost (la fel ca și în cazul hidrogenului) trei tipuri de ecuații (z - parametru dependent; x , y – parametri independenți), prezentate în cadrul subcapitolului 5.3.2, și anume: Ecuația 1- (5.2); Ecuația 1- (5.3) și Ecuația 3- (5.4);

De asemenea ca și în cazul hidrogenului rezultatele obținute sunt prezentate sub formă grafică, astfel: a) suprafața de corelație; b) curbele de nivel în proiecție plană; c) coeficienții ecuației de corelație.





6.4.2. Analiza rezultatelor obținute

6.4.2.1. Analiza rezultatelor pe baza corelațiilor EXCEL

Pe baza corelațiilor exprimate sub formă analitică, dar în mod deosebit grafică se pot analiza procesul din punct de vedere tehnologic.

Din figura 6.36 se constată că o creștere a duratei de menținere a oțelului în oala de turnare după terminarea vidării, conduce la creșterea absorbției azotului. De dorit ca menținerea în oală să nu depășească 30min, ceea ce impune o bună concordanță între diferitele faze de pe fluxul tehnologic. Referitor la figura 6.37 se observă o creștere intensă a conținutului de azot din distribuitor în funcție de cantitatea de azot absorbită.

6.4.2.2. Analiza rezultatelor pe baza corelațiilor MATLAB

Pentru analiza rezultatelor obținute în acest caz considerăm timpul de menținere a oțelului în oală după ieșirea oalei de turnare din VD de 40 de minute, iar scăderea de temperatură de 80°C.

În ceea ce privește absorbția de azot la aceeași durată de menținere în oală după vidare până la turnarea continuă, respectiv la aceeași supraîncălzire se obțin următoarele rezultate: 8 ppm după ecuația 1 - figura 6.38, de 11 ppm după ecuația 2 - figura 6.39, 12,5 ppm ecuația 3 - figura 6.40, deci în medie de 10,66 ppm.

În practică pe baza acestor corelații se poate estima conținutul final de gaze în oțel, în funcție de datele obținute la terminarea vidării.

6.4.3. Concluzii

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor efectuate precum și a unor aspecte tehnologice observate pe durata urmăririi celor 22 de șarje, pot fi concluzionate următoarele:

- cercetarea s-a efectuat într-o oțelărie care poate fi considerată modernă dacă avem în vedere că se elaborează oțeluri carbon, carbon de calitate și slab aliate;
- referitor la calitatea sortimentelor de încărcătură metalică, nu întotdeauna aceasta este de calitate bună sau foarte bună, ceea ce afectează calitatea oțelului produs și consumurile specifice;
- tratamentele în oala de turnare mai precis LF și VD sunt eficiente atât din punct de vedere economic cât și tehnologic;
- pe baza cunoașterii corelațiilor simple și multiple se pot estima conținutul de azot, respectiv se pot regla parametrii tehnologici.

CAPITOLUL 7

CERCETARI PRIVIND REDUCEREA CONȚINUTULUI DE OXIGEN PRIN VIDARE ÎN OȚELURILE PENTU ȚEVI

Bazele teoretice referitoare la reducerea conținutului de oxigen din oțeluri, sunt prezentate în capitolul 4, astfel încât în prezentul capitol se prezintă o serie de rezultate obținute în cadrul unor experimentări industriale.

7.1. Experimentări și rezultate

În cadrul experimentărilor au fost urmărite un număr de 22 șarje (aceleași șarje analizate în capitolele anterioare), dezoxidarea fiind făcută după toate cele trei metode: dezoxidare prin precipitare (la evacuare din cuptorul EBT în oala de turnare, în LF și VD, prin difuziune cu zguri sintetice reducătoare în LF și VD, respectiv sub vid în VD. În cadrul experimentărilor s-a urmărit obținerea unor corelații între conținutul de oxigen total din oțel după vidare (parametru dependent) și principalii parametri ai vidării (parametrii independenți): durata vidării, durata vidării sub vid avansat, temperatura oțelului la intrarea în instalația de vidare respectiv la ieșire, scăderea de temperatură pe durata vidării, debitul de argon și presiunea în instalația de vidare (tabelul 7.1. A).

În vederea stabilirii ecuațiilor de corelație datele obținute pe fluxul de elaborare au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB, rezultatele obținute fiind prezentate atât grafic cât și analitic.

7.1.1. Rezultate obținute în programul EXCEL

7.1.1.1. Corelații tehnologice

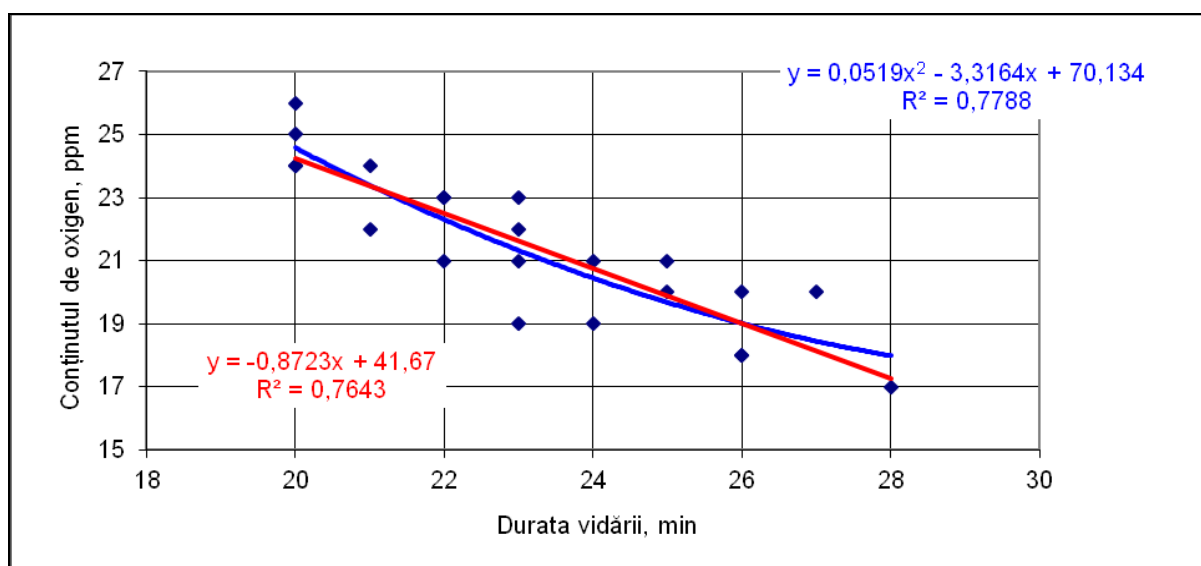


Fig.7.1. Corelația conținut de oxigen = f (durata vidării)

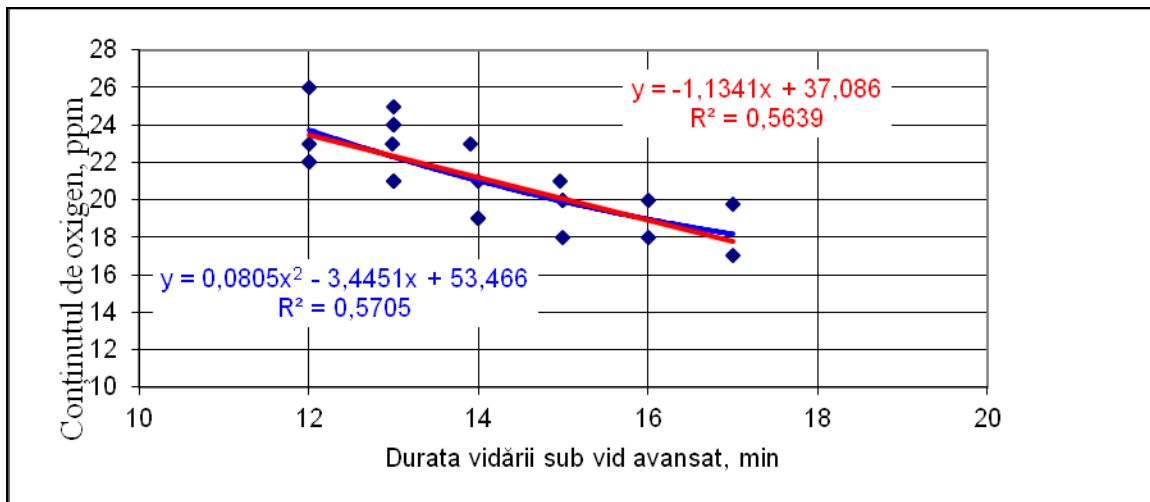


Fig.7.2. Corelația conținut de oxigen =f(durata vidării sub vid avansat)

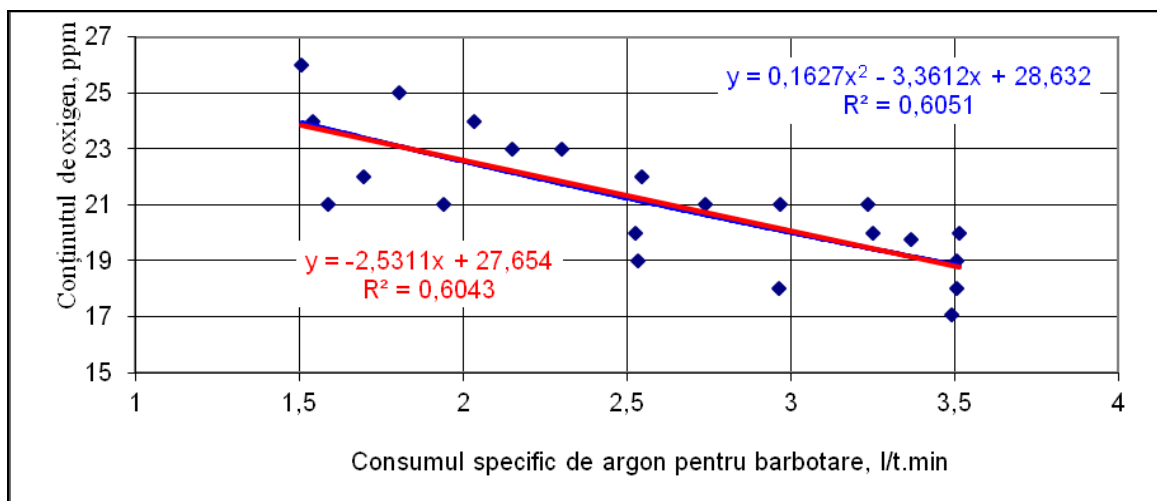


Fig.7.3. Corelația conținut de oxigen =f(consum specific Ar la barbotare)

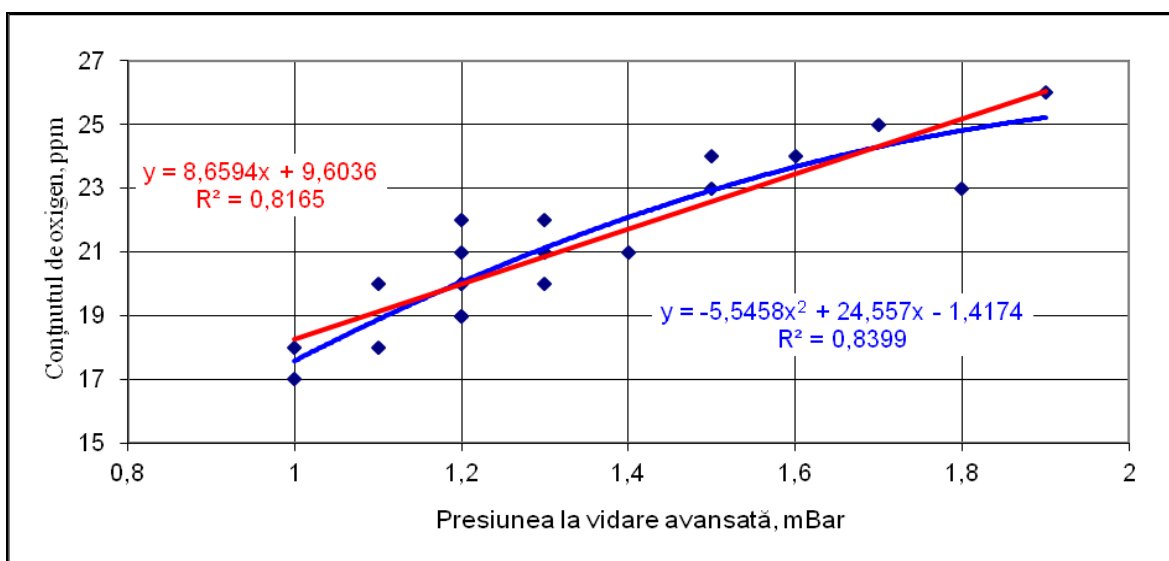


Fig.7.4. Corelația conținut de oxigen =f(Presiunea la vidare avansată)

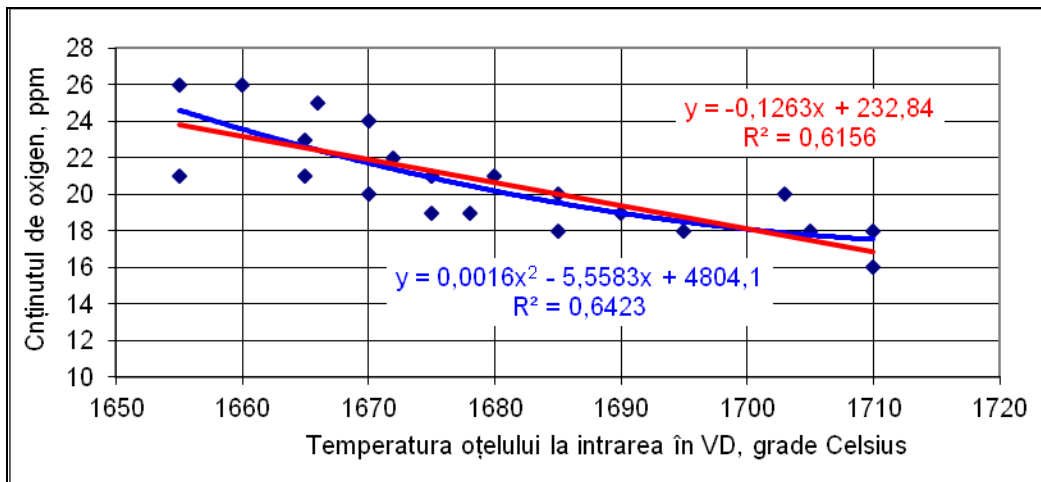


Fig.7.5. Corelația conținut de oxigen =f(temperatura oțelului la intrare în VD)

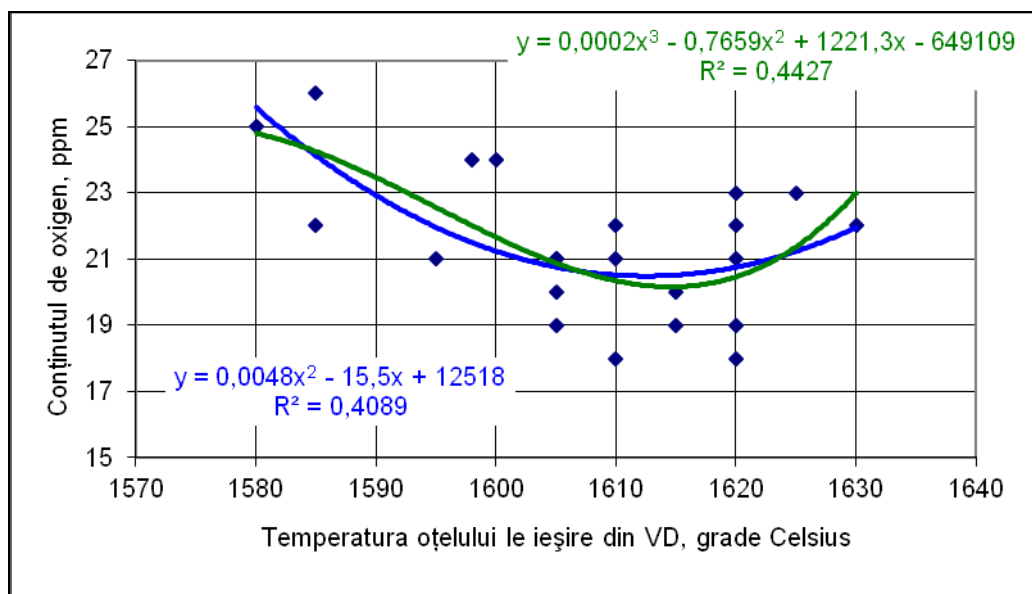


Fig.7.6. Corelația conținut de oxigen =f(temperatura oțelului la ieșire din VD)

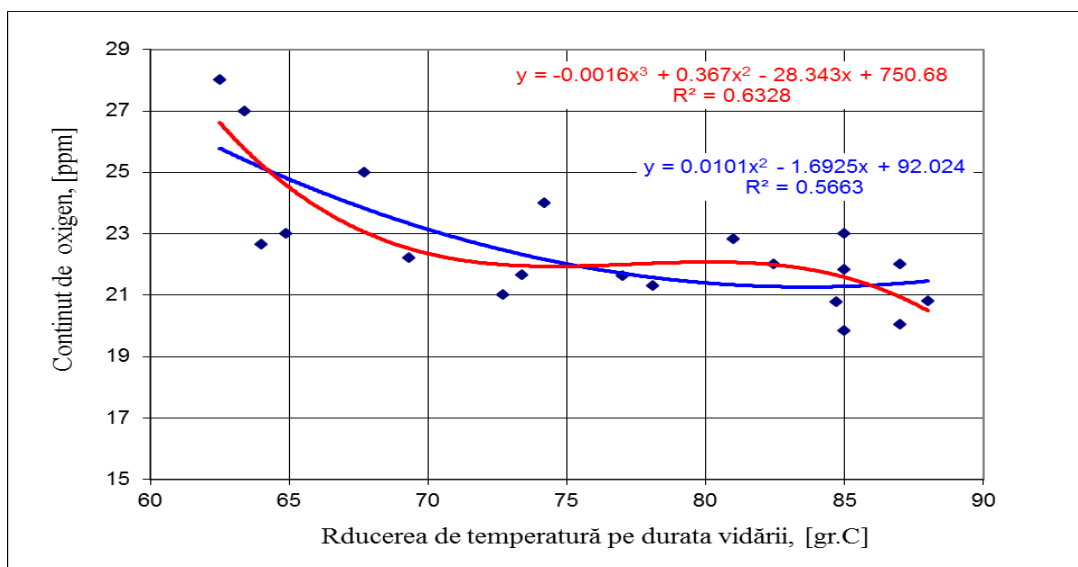


Fig.7.7. Corelația conținut de oxigen =f(reducerea de temperatură pe durata vidării)

7.1.1.2. Analiza rezultatelor obținute în programul de calcul EXCEL

Din analiza rezultatelor obținute la prelucrarea datelor au fost obținute 7 corelații simple, exprimate prin funcții polinomiale de gradul 1, 2 și 3. Corelațiile prezentate sunt reprezentative, atât din punct de vedere a valorilor pentru coeficienții de corelație, cât și a sensului tehnologic, toate fiind prezentate sub formă grafică și analitică.

Referitor la durata tratării oțelului sub vid (fig. 7.1), respectiv sub vid avansat (fig. 7.2) se constată că o dată cu creșterea acestor durate, se asigură o scădere a conținutului de oxigen, tehnologic explicabil prin timp mai mare de difuzie a oxigenului din baia de oțel în spațiul vidat. Din prezentarea analitică a acestor ecuații se constată valori foarte apropiată pentru coeficienți de regresie, iar în reprezentarea grafică ele practic coincid. Corelația polinomială de gradul 2 exprimată sub formă grafică practic se suprapune cu cea de gradul 1. Având în vedere aceste aspecte se poate considera că în cercetare și practica curentă se poate utiliza corelația liniară.

Durata totală a vidării variază în limitele 20 – 28 de minute, din care durata vidării sub vid avansat este cuprinsă între 12 – 17 minute. Iar conținutul de oxigen se reduce de la 26 ppm la 17 ppm. De dorit ar fi ca durata pentru cele 2 faze ale vidării se fie cât mai apropiată de cea maximă, dar trebuie avut în vedere faptul că instalația de vidare este fără aport de căldura, ceea ce limitează durata tratamentului (temperatura nu trebuie să scadă sub o anumită valoare). Utilizarea pentru zidăria oalei de turnare a materialelor de calitate superioară (rezistente la acțiunea de corodare a zgurei și oțelului și cu capacitate de izolare termică avansată), precum și o bună corelarea a fazelor tehnologice pe fluxul de elaborare turnare continuă secvențială a oțelului, a permis creșterea duratei de vidare de la 15 min până la 28 min., cu rezervă de chiar 30 min (pentru vidare avansată 19 min), evident cu efecte pozitive asupra calității oțelului.

Pe durata operației de vidare, oțelul din oala de turnare este supus procesului tehnologic de omogenizare chimică și termică prin barbotare cu argon, ceea ce asigură o bună difuzie a oxigenului în bulele de argon, precum și eliminarea acestora din baia metalică în atmosfera vidată. În fig.7.3 sunt prezentate sub formă analitică și grafică corelațiile dintre conținutul de oxigen din oțel după vidare și consumul specific de argon utilizat la barbotare (l/t.min). Corelația menționată se prezintă prin funcții polinomiale de gradul 1 și 2, semnificative atât din punct de vedere a coeficienților de regresie, cât și tehnologic. Din reprezentarea grafică se observă că o dată cu creșterea consumului specific de argon se reduce conținutul de oxigen din baia de oțel, efectul fiind determinat de buna omogenizare chimică și termică a oțelului.

Deoarece corelațiile exprimate grafic aproape sunt suprapuse este mai simplu de analizat procesul după corelația polinomială de gradul 1.

Consumul specific de argon a variat între 1,5-3,5 l/t.min, de dorit fiind ca acesta să fie cuprins în limitele 2,5-3,5l/t.min.

În fig 7.4 se prezintă dependența dintre presiunea în instalația de vidare pe durata vidării avansate și conținutul de oxigen din oțel după vidare, corelațiile obținute fiind reprezentative atât din punct de vedere matematic, cât și tehnologic. Analizând reprezentarea grafică se constată că o scădere a presiunii în instalația de vidare conduce la o reducere a conținutului de oxigen, determinată din punct de vedere tehnologic prin favorizarea condițiilor de îndepărtare avansată a bulelor de argon (în care a difuzat oxigenul) din baia de oțel. Prin prelucrarea datelor au fost obținute ecuații de corelație între parametrii studiați, exprimate prin funcții polinomiale de gradul 1 și 2, reprezentative atât din punct de vedere matematic cât și tehnologic. Din reprezentarea grafică se constată că cele două reprezentări grafice sunt foarte apropiate, astfel încât aplicativ este mai simplu a se utiliza corelația polinomială de gradul 1.

Temperatura oțelului la intrarea/ieșire în/din instalația de vidare, precum și scăderea temperaturii pe durata tratamentului în instalația de vidare, sunt alți trei parametri importanți pentru calitatea oțelului tratat în vid, în cazul studiat. Din reprezentarea grafică prezentată în fig. 7.5, rezultă că la o temperatură a oțelului la intrare în instalație spre limita superioară, se pot obține valori mai mici pentru conținutul de oxigen. Tehnologic se explică prin condiții favorabile (fluiditate) pentru difuzia oxigenului din baia de oțel în bulele de argon și îndepărtarea lor din instalație de vidare. Corelațiile sunt exprimate prin funcții polinomiale de gradul 1 și 2, reprezentative atât din punct de vedere matematic cât și tehnologic (de dorit ca temperatura să fie în intervalul 1660-1710°C).

Referitor la corelația cu temperatura oțelului la ieșirea din instalația de vidare (fig.7.6) se constată că acestea sunt semnificative fiind prezentate sub formă polinomială de gradul 2 și 3. Valorile apropiate pentru coeficienți de corelație, precum și valorile foarte apropiate pentru conținutul de oxigen, obținute pentru aceeași valoare a temperaturii, precum și valorile coeficienților de regresie confirmă valabilitatea acestor corelații. De dorit ca temperatura oțelului la ieșirea din instalația de vidare să fie cuprinsă în intervalul 1600-1630°C, ceea ce conduce la concluzia că temperatura la intrare în instalație a fost spre limita superioară, astfel asigurându-se timp suficient pentru vidare, pe de o parte, iar pe de altă parte o bună corelație între fazele tehnologice.

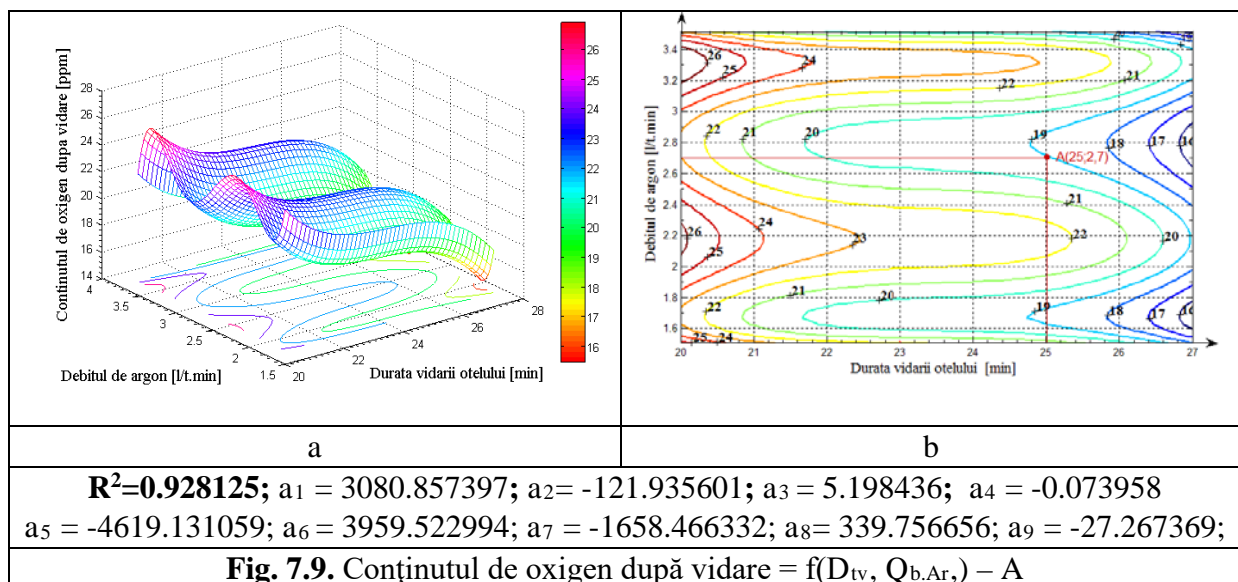
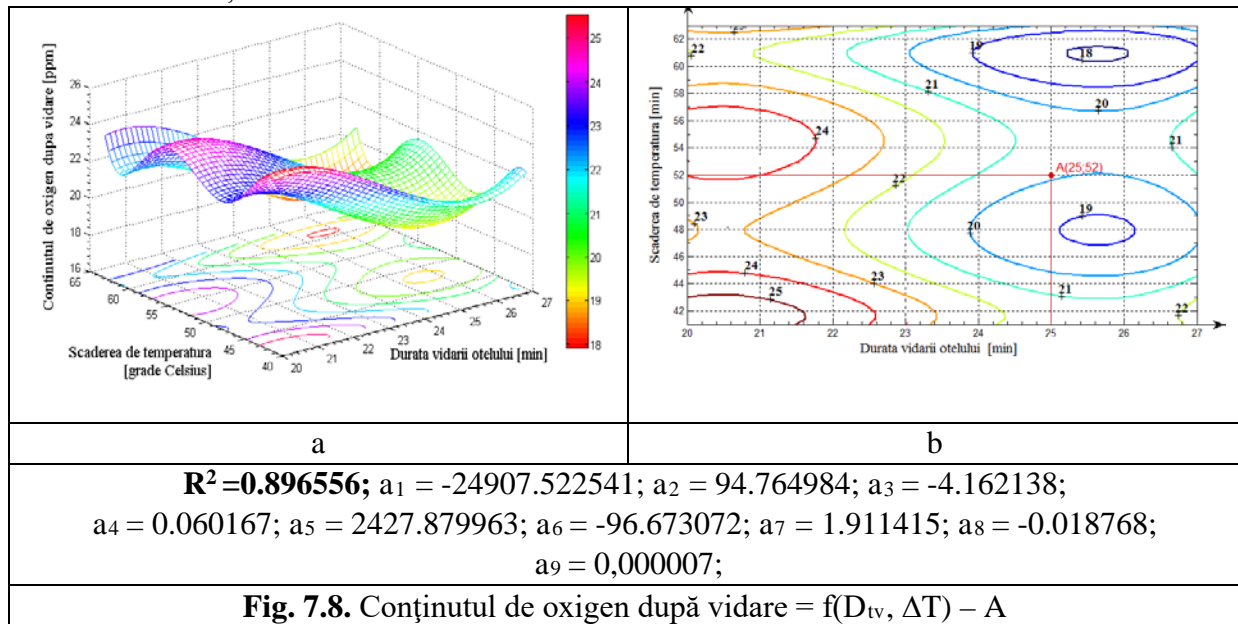
În privința corelației reducerii temperaturii pe durata vidării cu conținutul de oxigen după vidare este prezentată în fig. 7.7, corelațiile sunt prezentate sub

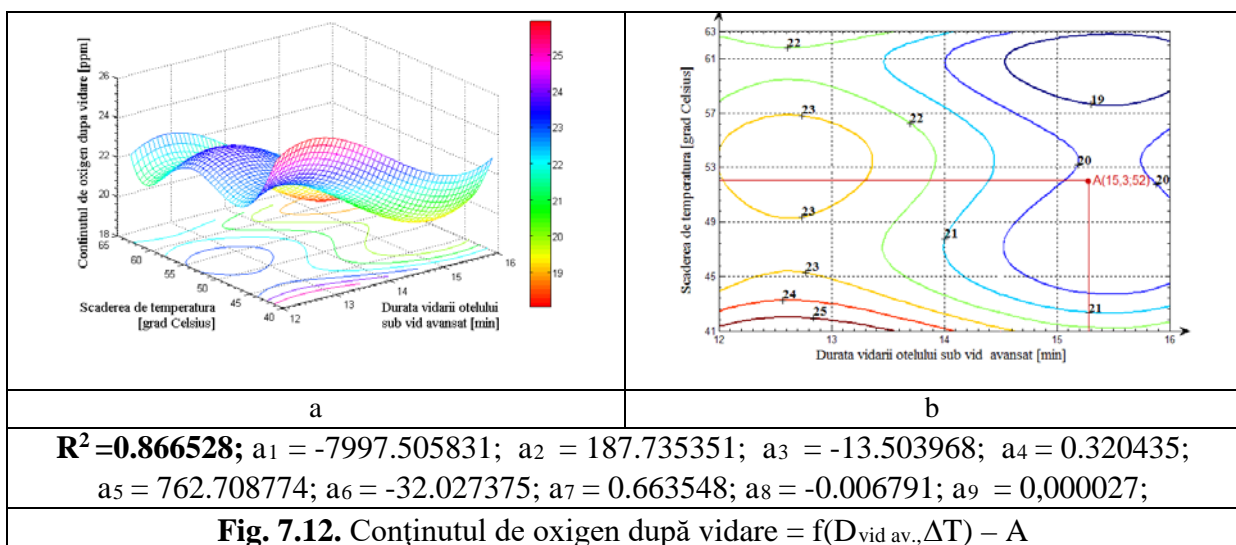
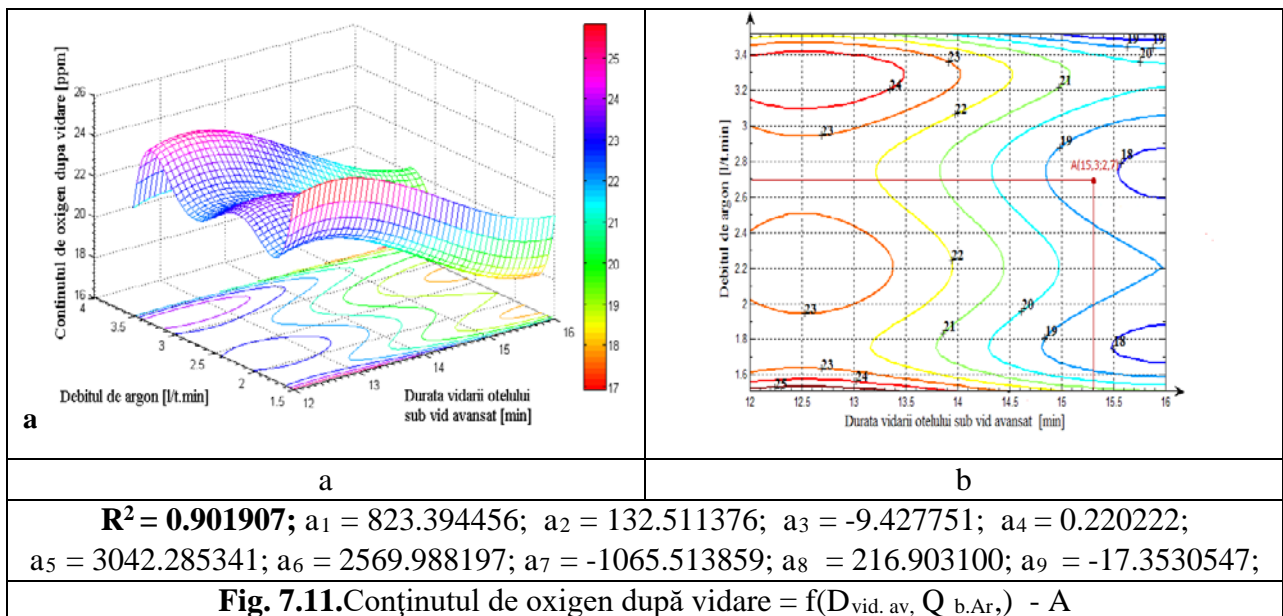
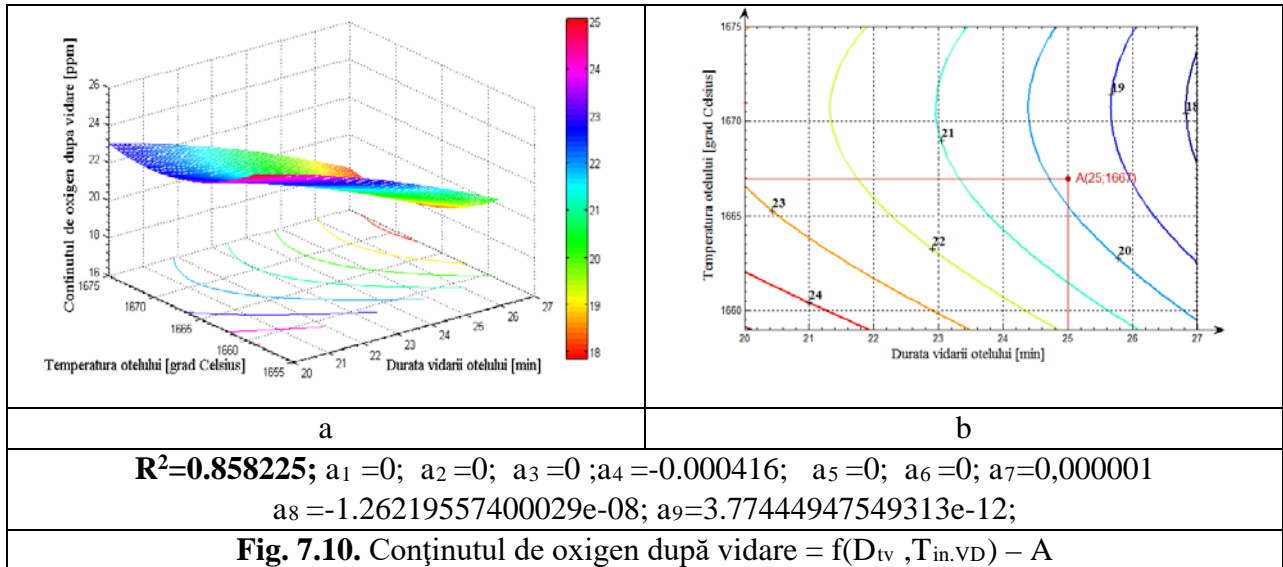
forma funcțiilor polinomiale de gradul 2 și 3 (reprezentative). De dorit ca acest parametru să fie cuprins în limitele 50 – 90 °C.

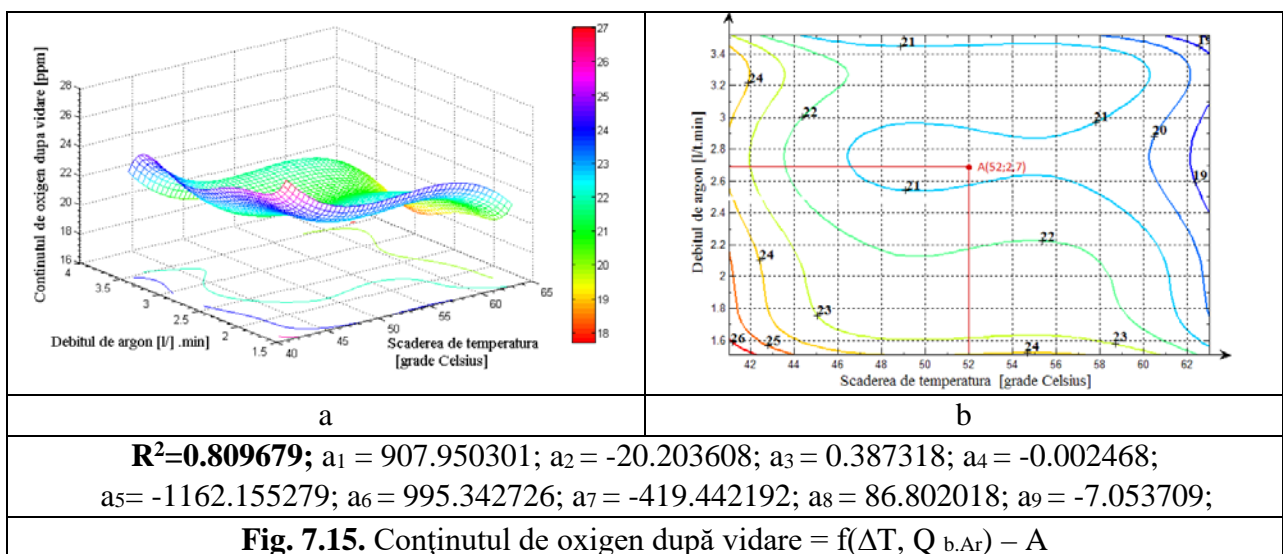
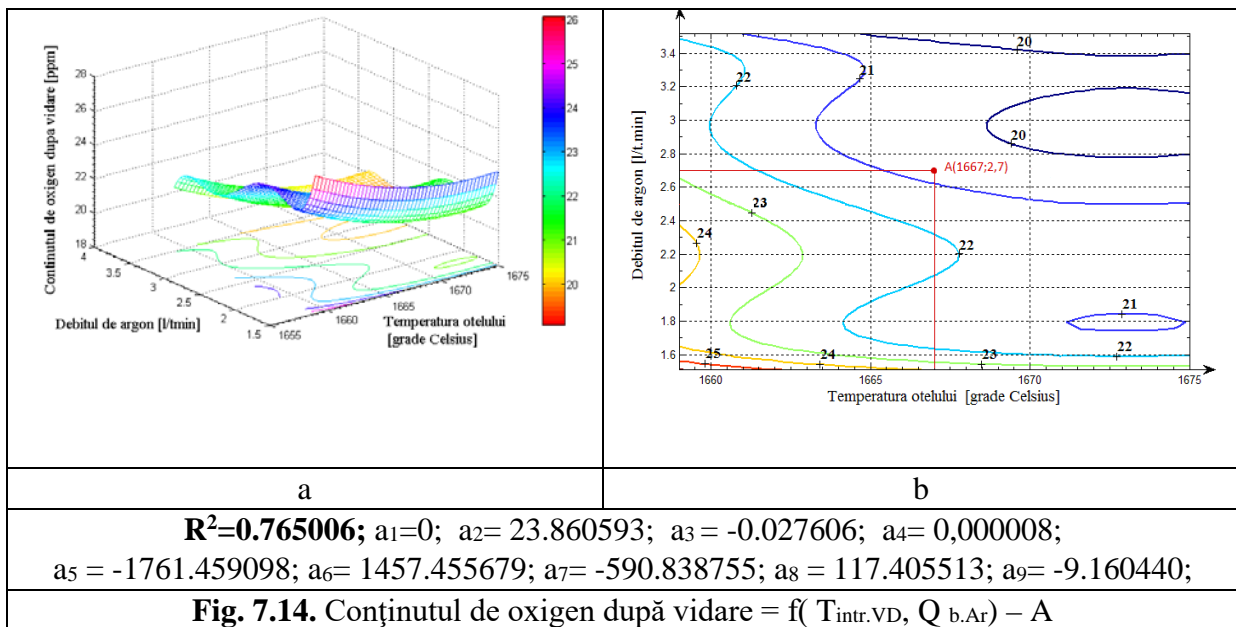
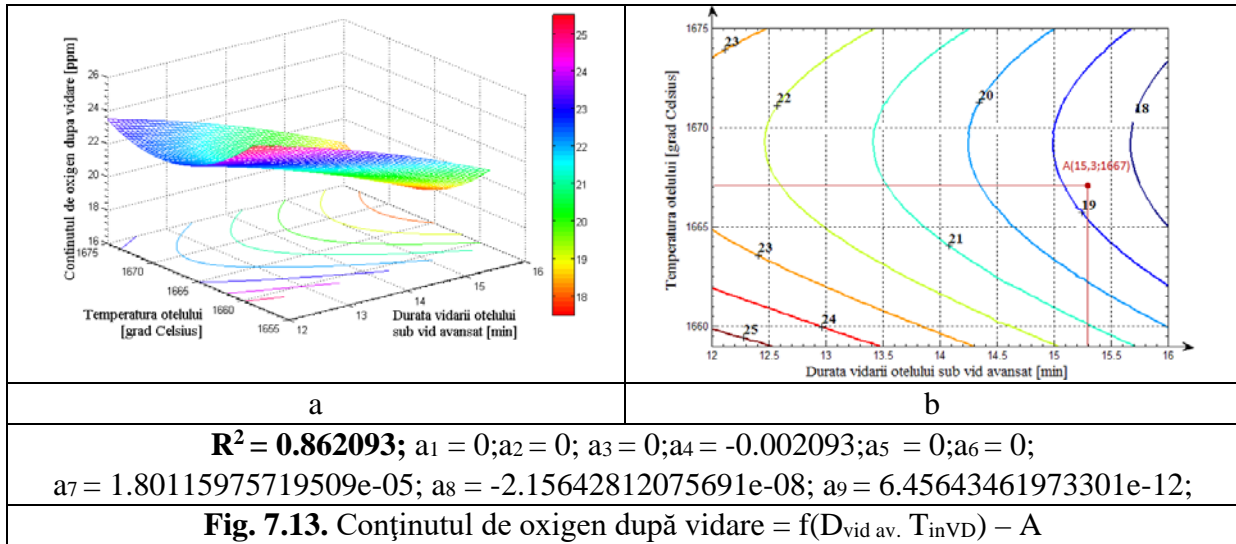
7.1.2. Rezultate obținute în programul MATLAB

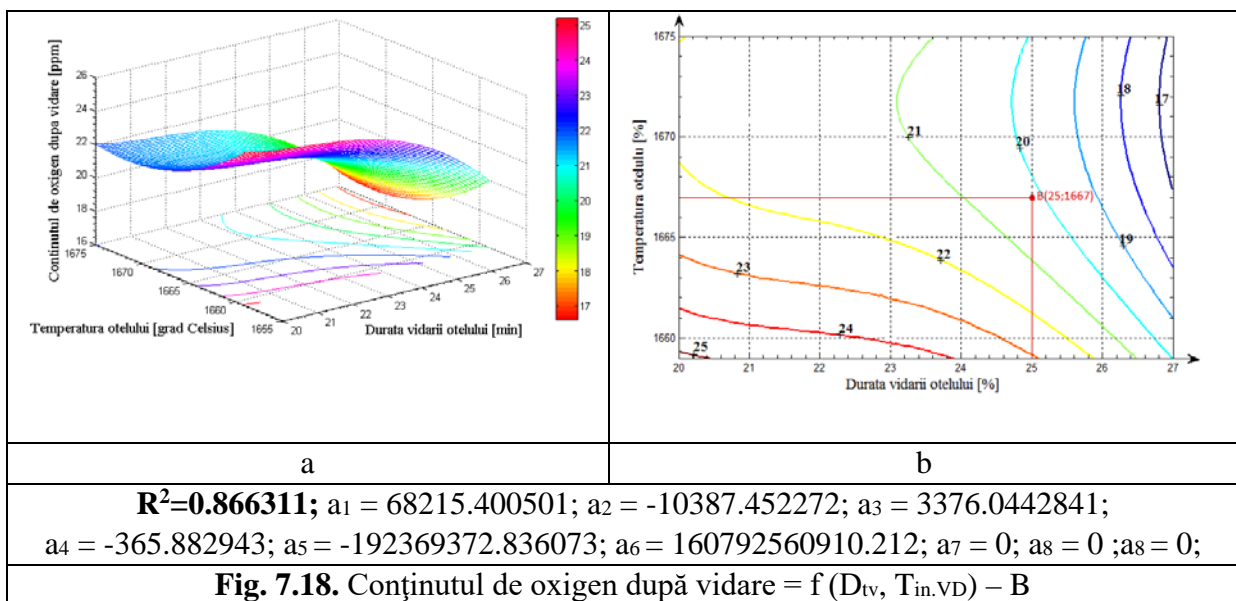
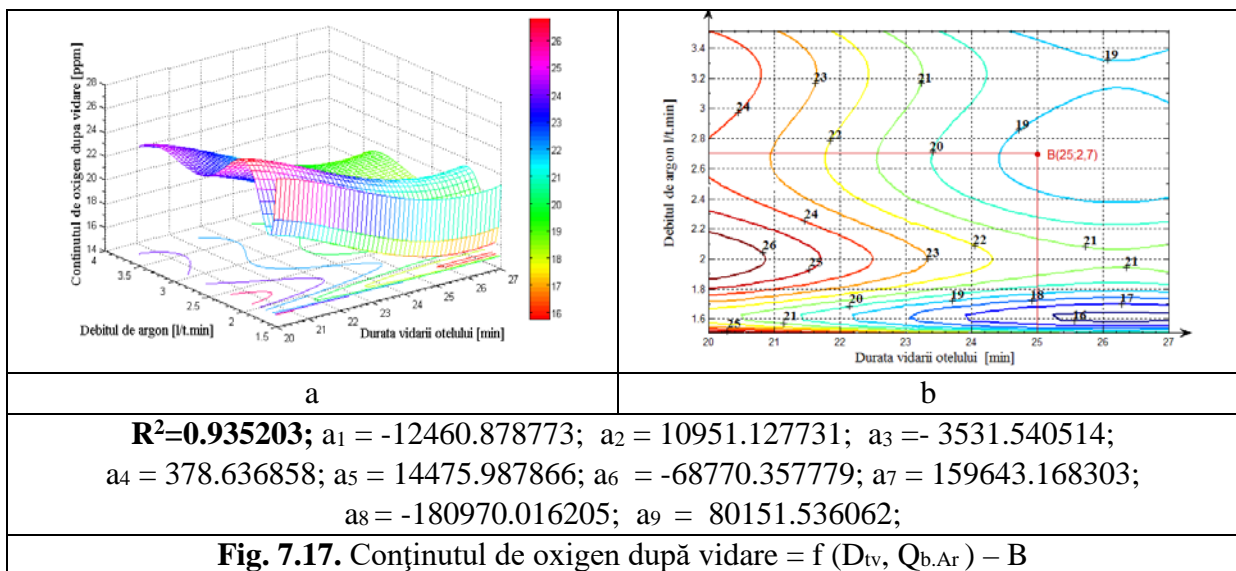
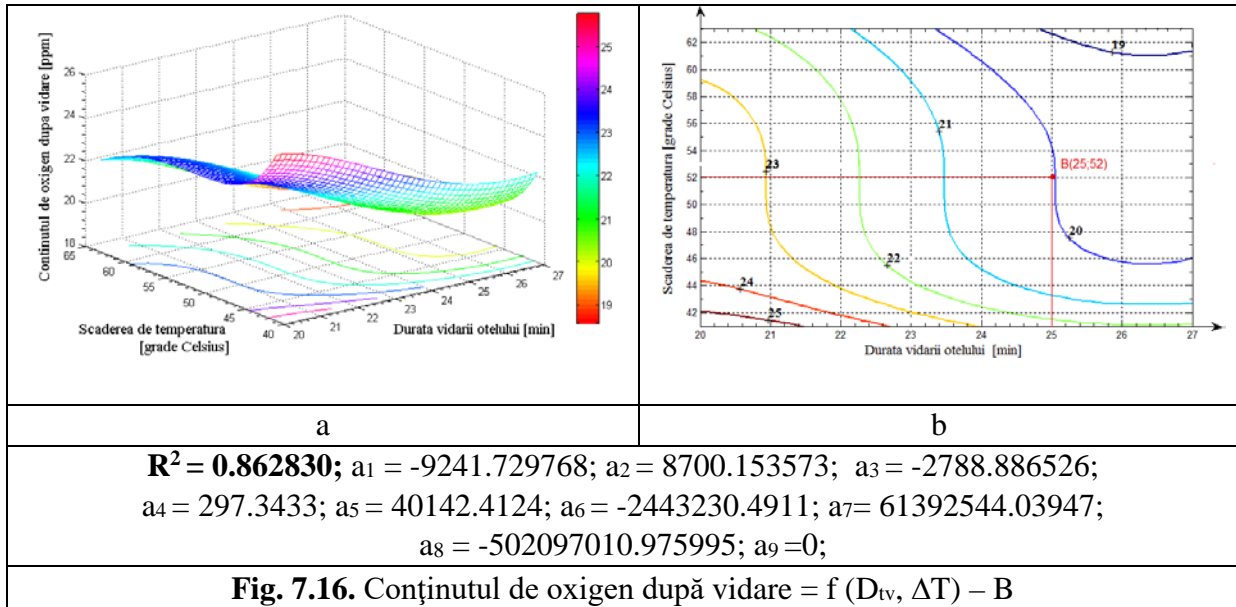
7.1.2.1. Corelații tehnologice

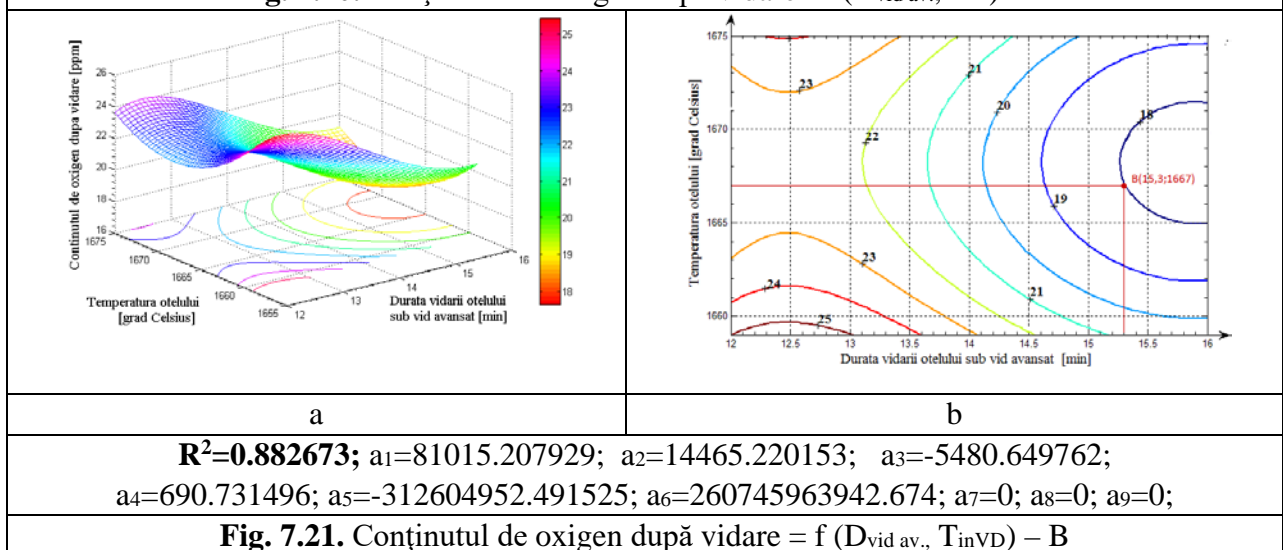
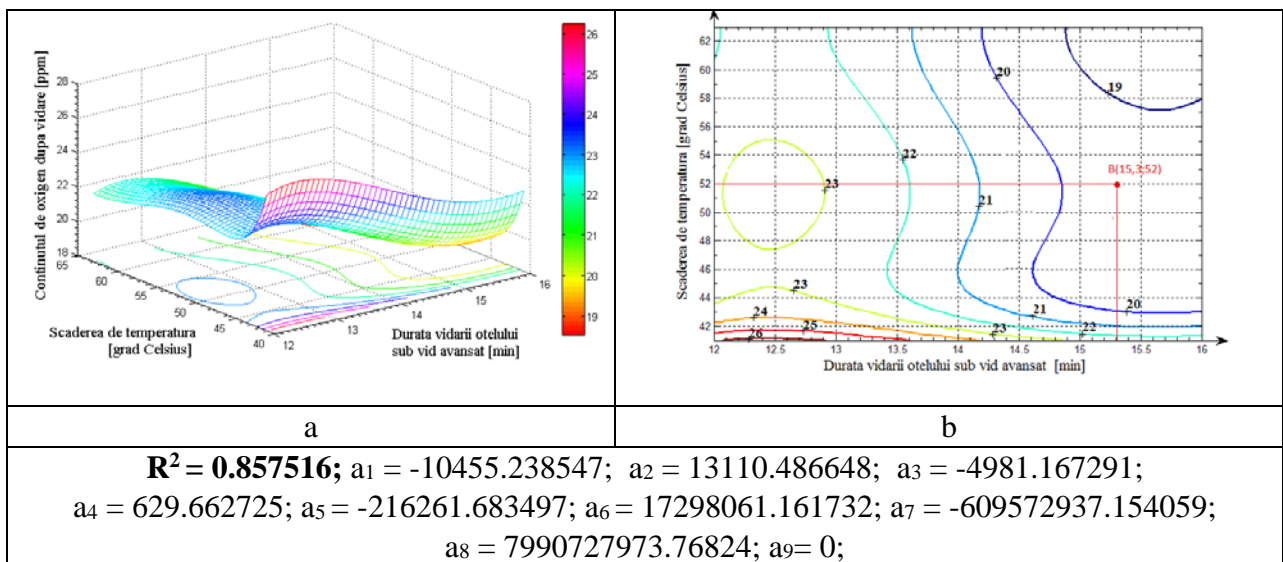
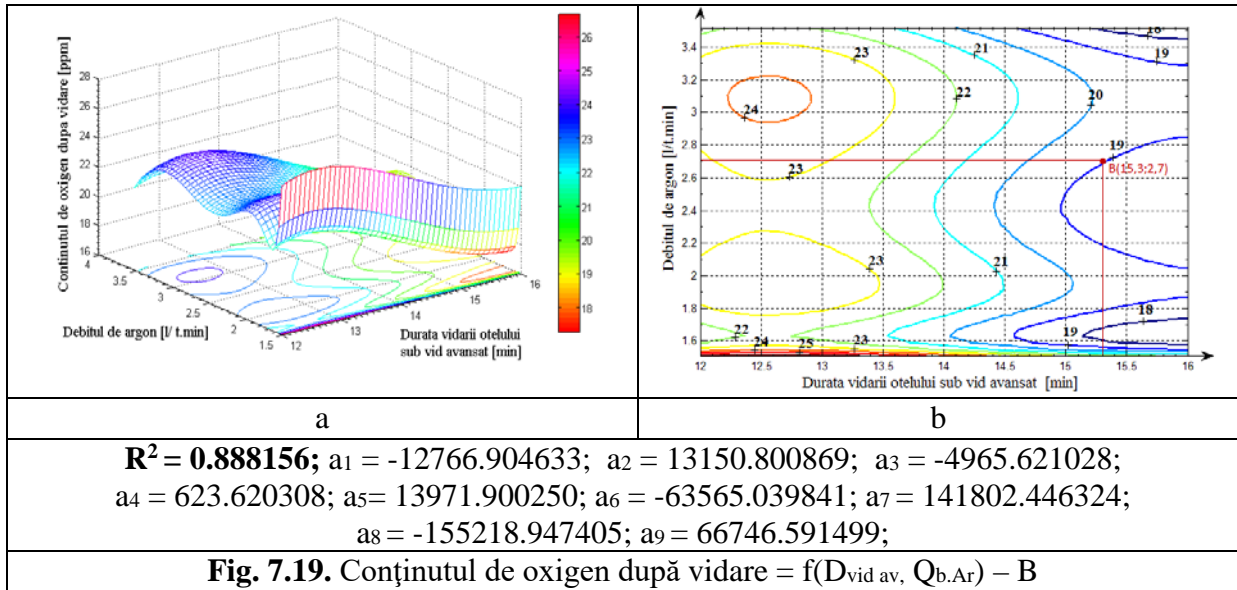
Corelațiile multiple au fost stabilite pentru aceeași parametri ca în cazul celor simple, folosind ecuațiile prezentate în subcapitolul 5.3.2., respectiv ecuațiile (5.2/ setul A), (5.3/setul B) și (5.4/setul C). În continuare se prezintă rezultatele obținute.

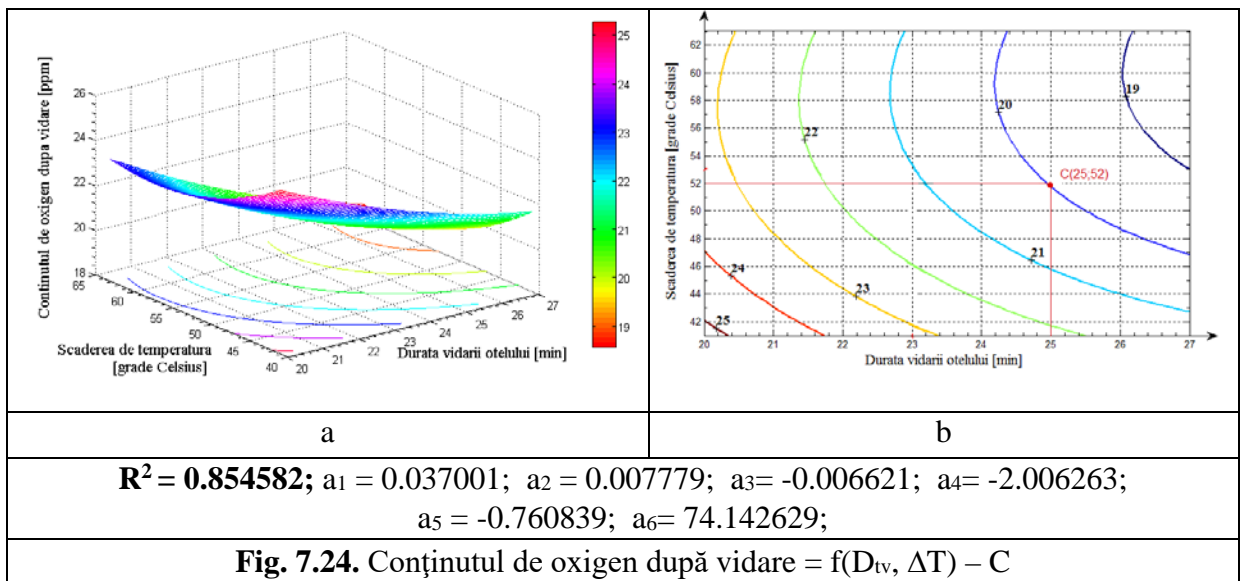
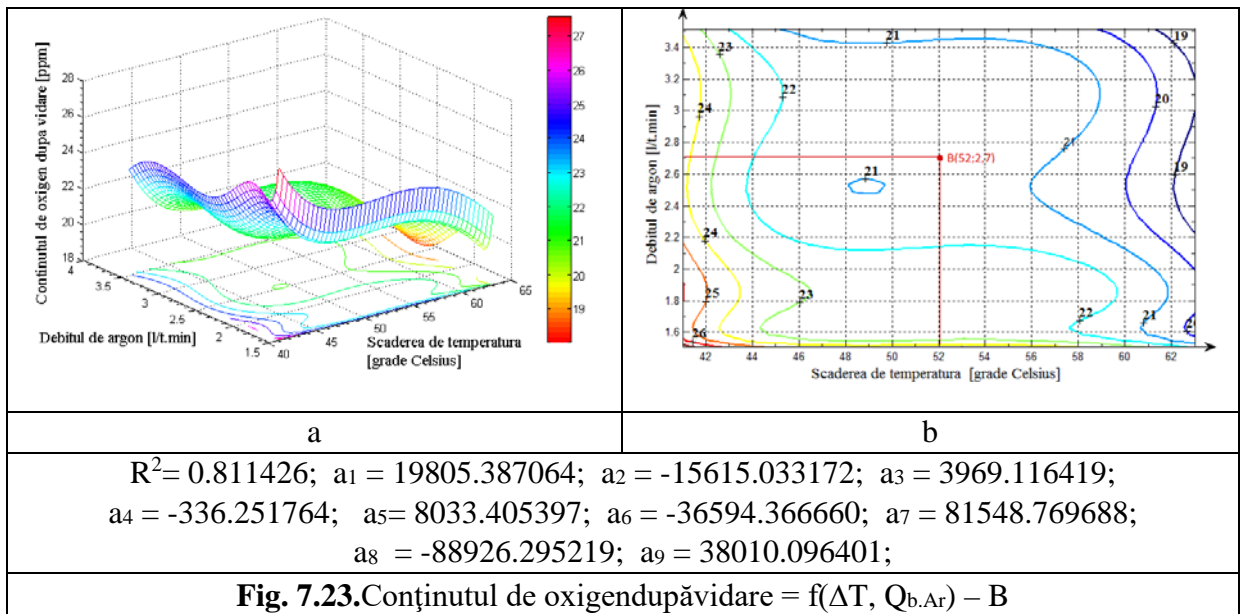
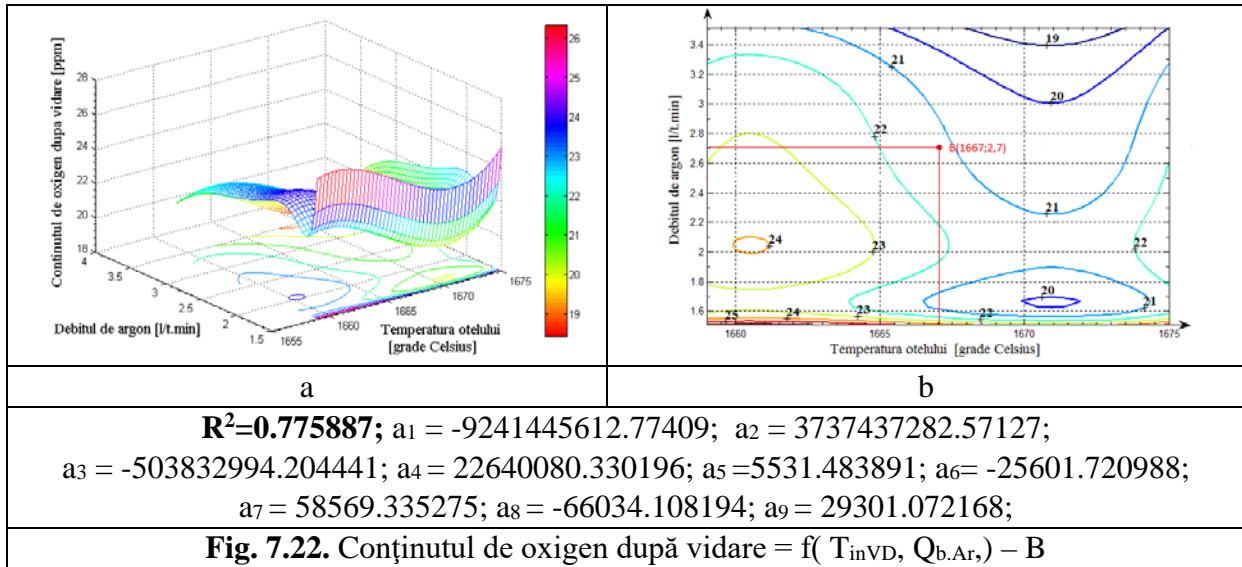


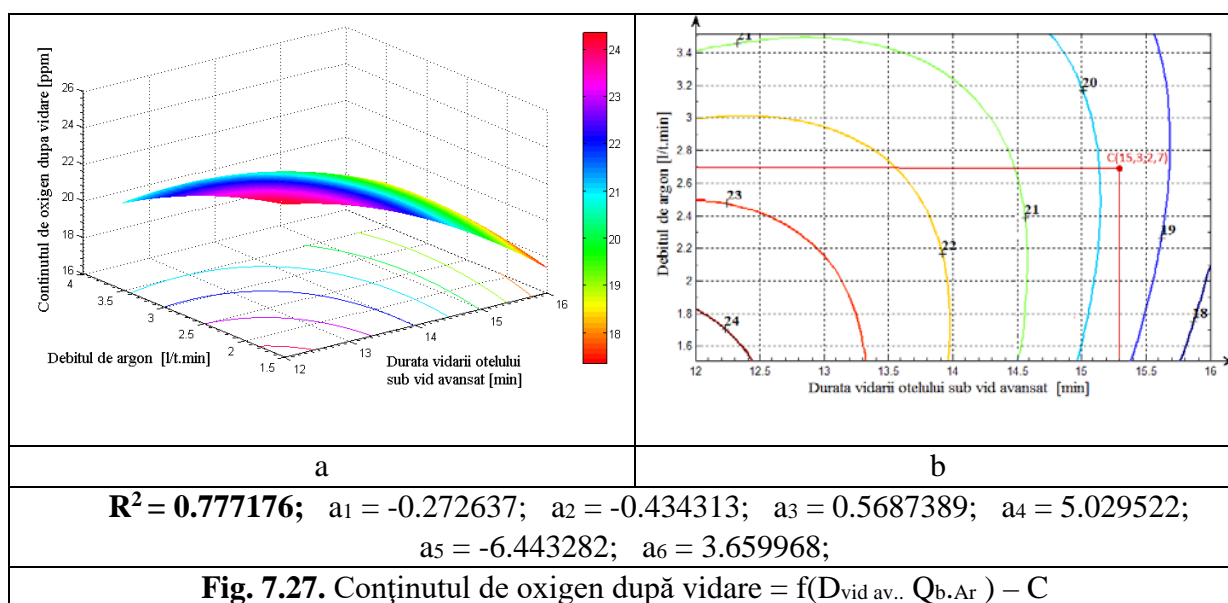
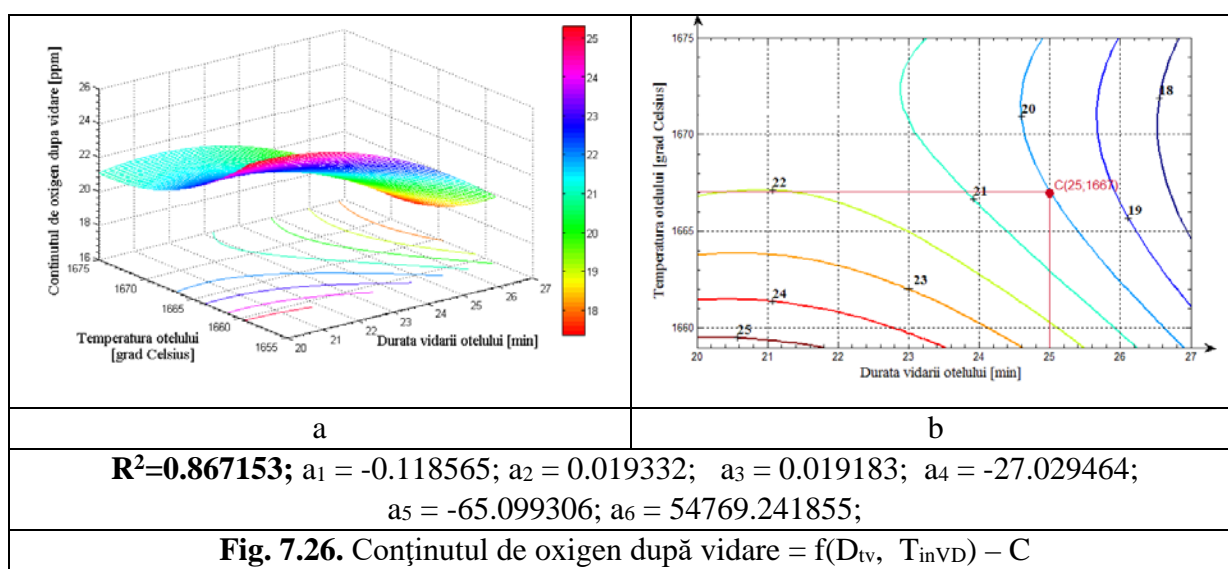
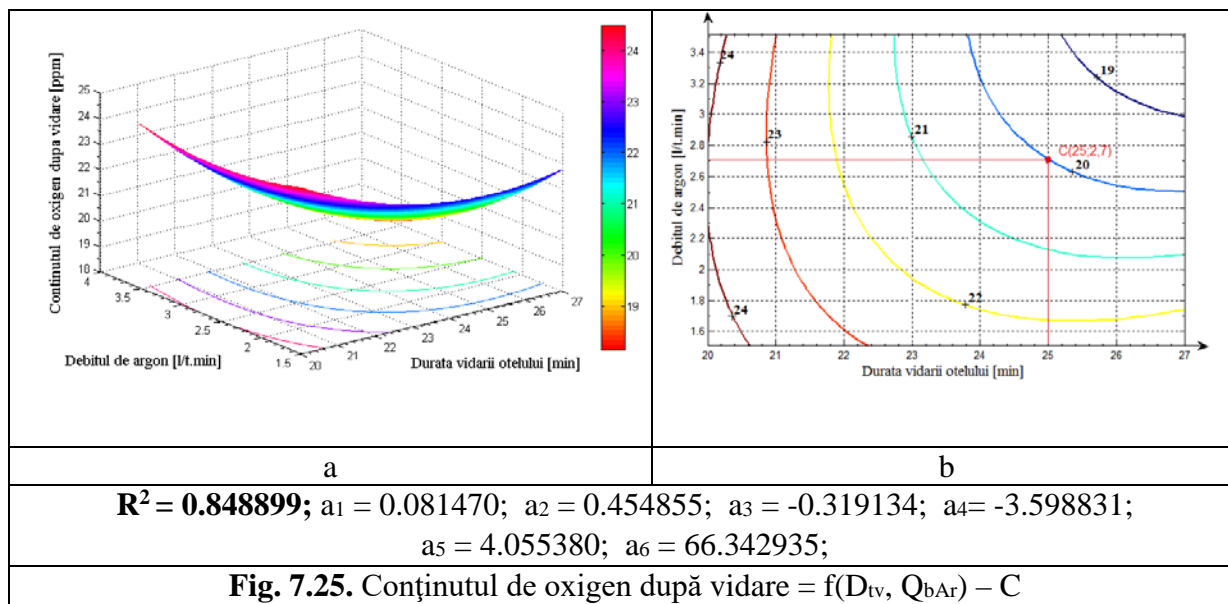


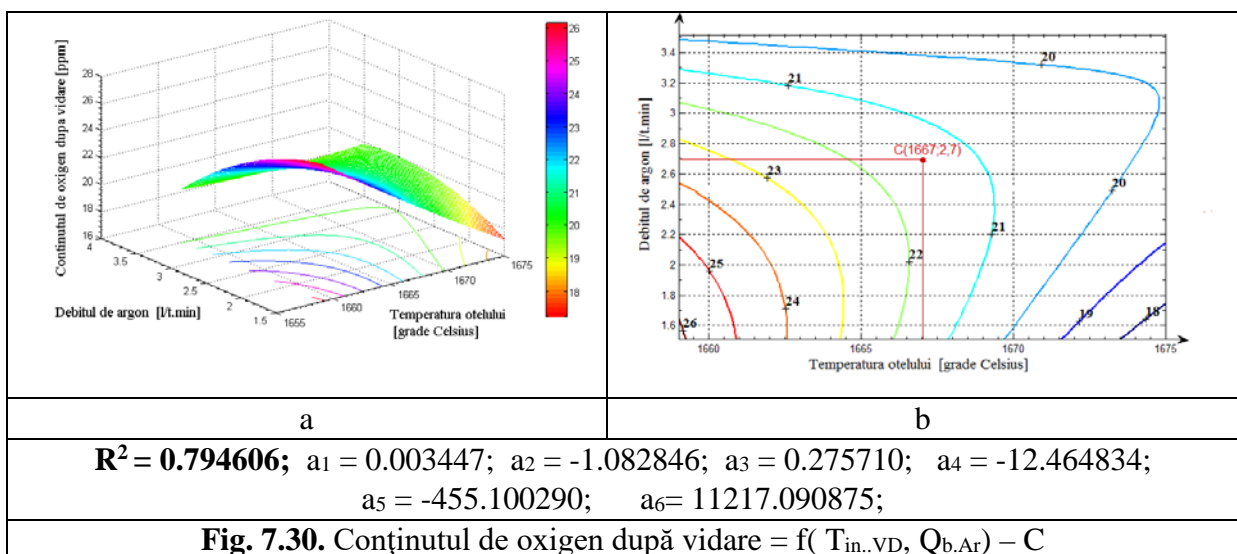
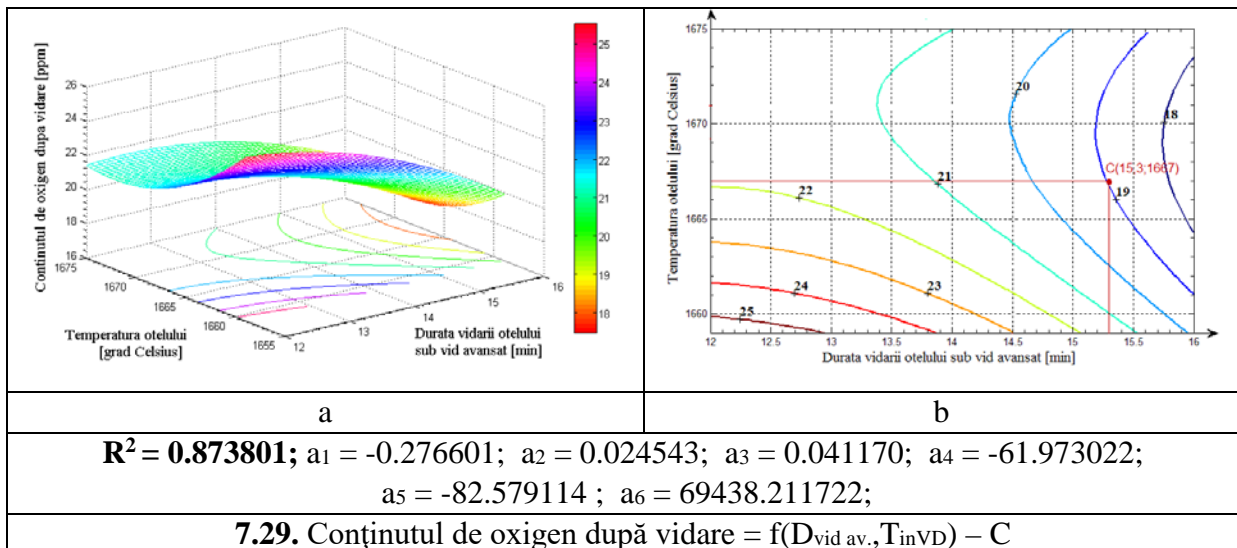
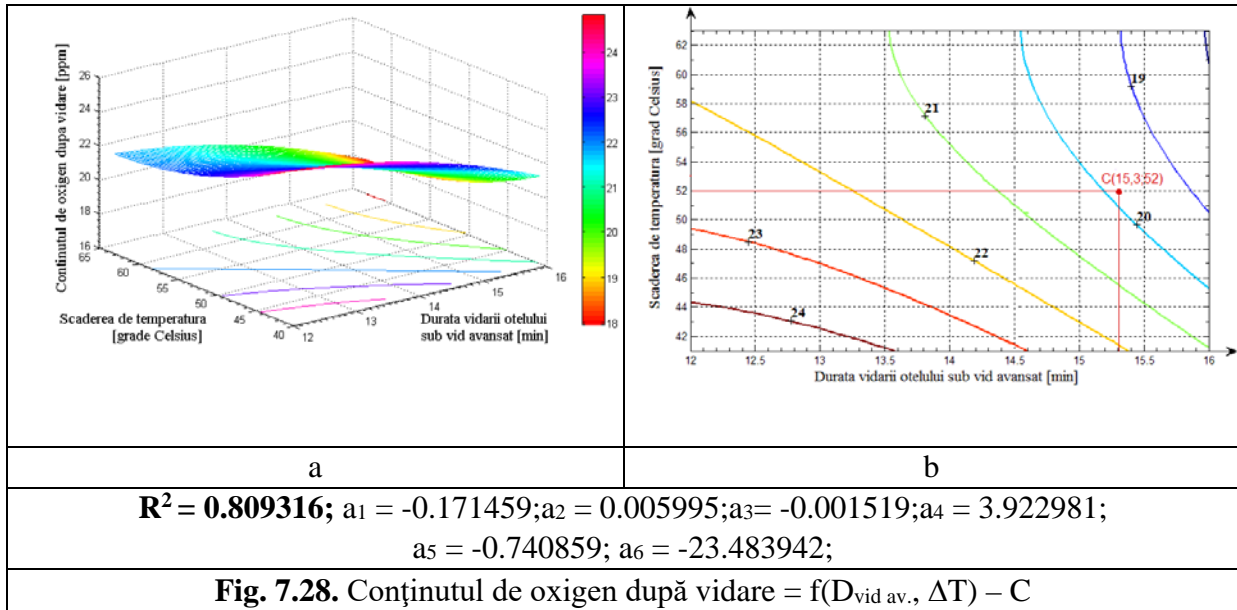


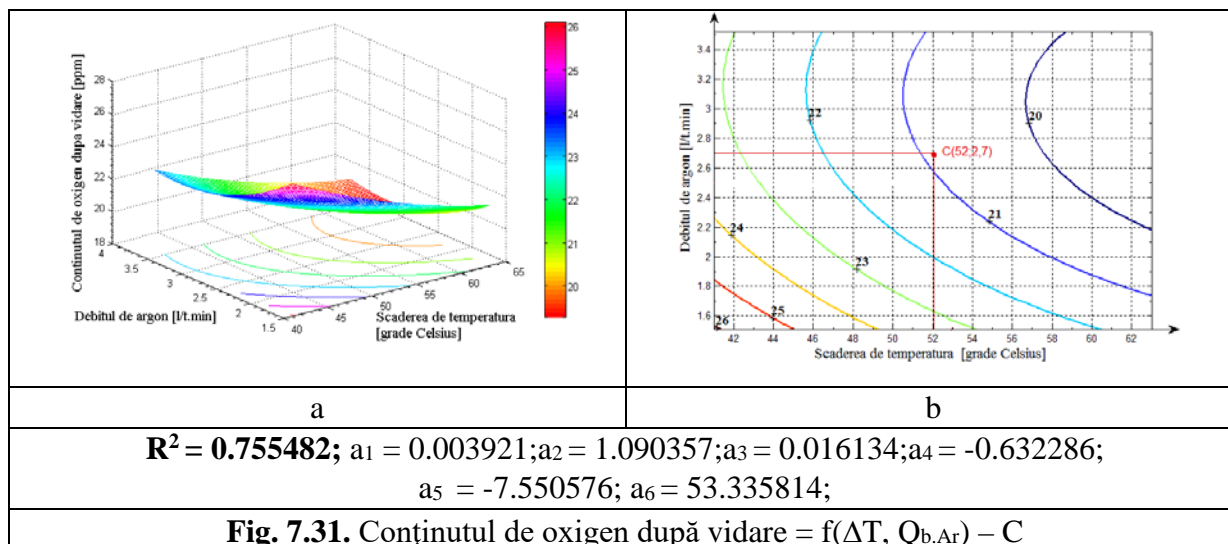












7.1.2.2. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute în programul de calcul MATLAB

Din prelucrarea datelor în programul de calcul MATLAB utilizând cele trei tipuri de ecuații menționate în subcapitolul anterior (pentru care reprezentările grafice corespunzătoare sunt A, B și C) s-au obținut corelațiile duble, în lucrare fiind prezentate **un număr 8 corelații, atât sub formă grafică, cât și analitică**. Fiecare corelație este prezentată după toate cele trei tipuri de ecuații (în total 24 de corelații).

Analizând din punct de vedere tehnologic modul de influență a parametrilor vidării luați în studiu, se constată ca și în cazul corelațiilor duble, atât sensul matematic, cât și cel tehnologic al acestora se menține același ca în cazul corelațiilor simple, ba mai mult, se observă o amplificare a efectului de reducere a conținutului de oxigen (cumulare a acestora în sens favorabil), mai vizibil în reprezentarea grafică după **setul de ecuații tip (5.4) (respectiv C, în cazul reprezentării grafice a curbilor de nivel în proiecție plană - fig. 7.24- fig. 7.31)**. Ca urmare analiza tehnologică este similară cu cea prezentată la corelațiile simple obținute în programul EXCEL, pe baza ei se pot determina/stabili domeniile optime de variație a parametrilor tehnologici în vederea obținerii unui conținut cât mai scăzut de oxigen.

În continuare se prezintă analiza tehnologică pentru cele 8 grupe de corelații duble, în fiecare grupă fiind cuprinse corelațiile după cele trei tipuri de ecuații. **Pentru conținutul de oxigen s-a ales valoarea de referință 20 ppm.**

Corelația 1: $[O]_{FVD} = f(D_{tv}, \Delta T)$ prezentată în figurile 7.8; 7.16 și 7.24 cu punctele de coordonate spațiale A(25; 52; 20,1); B(25; 52; 20,00) și respectiv C (25; 52; 20). Diferențele de 0,1ppm, 0,0 ppm și 0,0ppm $[O]_{FVD}$ sunt admisibile (practic nesemnificative) având în vedere max. de 26ppm. Rezultate

foarte bune se obțin pentru $D_{tv} = 20-28$ min și $\Delta T = 40-70$ °C, putându-se obține $[O]_{fVD}$ sub 24ppm;

Corelația 2: $[O]_{fVD} = f(D_{tv}, Q_{bAr})$ prezentată în figurile 7.9; 7.17 și 7.25 cu punctele de coordonate spațiale A(25; 2,7; 19); B(25; 2,7; 18,75) și respectiv C(25; 2,7; 20). Diferențele de -1,0 ppm, -1,25 ppm și 0 ppm $[O]_{fVD}$ sunt admisibile având în vedere max. de 26 ppm, ba mai mult și faptul că este sub cea de referință (20 ppm). Rezultate foarte bune se obțin pentru $D_{tv} = 20-28$ min și $Q_{bAr} = 2,5l/t.min-3,5l/t.min$, putându-se obține $[O]_{fVD}$ sub 24ppm;

Corelația 3: $[O]_{fVD} = f(D_{tv}, T_{in.VD.})$ prezentată în figurile 7.10; 7.18 și 7.26 cu punctele de coordonate spațiale A(25; 1667; 19,80); B(25; 1667; 20,20) și respectiv C(25; 1667; 20). Diferențele de -0,20 ppm, +0,20 ppm și 0 ppm $[O]_{fVD}$ sunt ne semnificative/admisibile având în vedere max. de 26 ppm. Rezultate foarte bune se obțin pentru $D_{tv} = 20-28$ min și $T_{in.VD.} = 1665 - 1685$ °C, fiind posibilă realizarea de $[O]_{fVD}$ sub 24ppm;

Corelația 4: $[O]_{fVD} = f(D_{vid.av}, Q_{bAr})$ prezentată în figurile 7.11; 7.19 și 7.27 cu punctele de coordonate spațiale A(15,3; 2,7; 18,40); B(15,3; 2,7; 19) și respectiv C(15,3; 2,7; 19,70). Diferențele de -1,6 ppm, -1,0 ppm și respectiv -0,3 ppm $[O]_{fVD}$ față de valoarea de referință de 20 ppm sunt foarte bune, mai ales având în vedere max. de 26ppm $[O]_{fVD}$, ba mai mult valoarea de referință de 20ppm. Rezultate foarte bune se pot obține la $D_{vid.av} = 12-20$ min și $Q_{bAr} = 2,5l/t.min-3,5l/t.min$ rezultând $[O]_{fVD}$ sub 24ppm;

Corelația 5: $[O]_{fVD} = f(D_{vid.av}, \Delta T)$ prezentată în figurile 7.12; 7.20 și 7.28 cu punctele de coordonate spațiale A(15,3; 52; 19,50); B(15,3; 52; 19,40) și respectiv C(15,3; 52; 19,80). Diferențele de -0,50ppm, -0,60ppm și -0,20ppm $[O]_{fVD}$ față de valoarea de referință de 20 ppm sunt foarte bune mai ales având în vedere max. de 26ppm $[O]_{fVD}$, respectiv valori foarte apropiate în cele trei puncte A, B și C. Rezultate foarte bune se obțin pentru $D_{vid.av} = 12-20$ min și $\Delta T = 50 - 90$ °C, putându-se obține $[O]_{fVD}$ sub 24 ppm;

Corelația 6: $[O]_{fVD} = f(D_{vid.av}, T_{in.VD.})$ prezentată în figurile 7.13; 7.21 și 7.29 cu punctele de coordonate spațiale A(15,3; 1667; 18,80); B(15,3; 0,1667; 18) și respectiv C(15,3; 1667; 19). Diferențele de -1,2 ppm, -2 ppm și -1,0 ppm $[O]_{fVD}$ sunt admisibile, ba mai mult sunt dorite având în vedere valoarea de referință de 20ppm, precum și max. de 26ppm. Rezultate foarte bune pentru $D_{vid.av} = 12-20$ min. și $T_{in.VD.} = 1665 - 1685$ °C $[O]_{fVD}$, putându-se obține valori de sub 24 ppm.

Corelația 7: $[O]_{fVD} = f(T_{in.VD.}, Q_{b.Ar})$ prezentată în figurile 7.14; 7.22 și 7.30 cu punctele de coordonate spațiale A(1667; 2,7; 20,80); B(1667; 2,7; 21,0) și respectiv C(1667; 2,7; 21,50). Diferențele de 0,20 ppm, 1,0 ppm și 1,50 $[O]_{fVD}$ sunt admisibile având în vedere max. de 26 ppm. Rezultate foarte bune se pot obține pentru $T_{in.VD.} = 1665 - 1685$ °C și $Q_{bAr} = 2,5l/t.min-3,5l/t.min$ estimându-se valori pentru $[O]_{fVD}$ de sub 24 ppm;

Corelația 8: $[O]_{fVD}=f(\Delta T, Q_{bA})$ prezentată în figurile 7.15; 7.23 și 7.31 cu punctele de coordonate spațiale A(52; 2,7; 20,60); B(52; 2,7; 21,40) și respectiv C(52; 2,7; 20,80). Diferențele de 0,60ppm, 1,40ppm și 0,80ppm sunt admisibile având în vedere valoarea de max. 26 ppm $[O]_{fVD}$, pe de o parte, iar pe de altă parte valoarea de referință de 20 ppm. Rezultate foarte bune se estimează a se obține pentru $\Delta T = 50 - 90$ °C și $Q_{Af}=2,5l/t.min-3,5l/t.min$ rezultând $[O]_{fVD}$ sub 24 ppm;

La toate corelațiile prezentate, se pot alege valori pentru variabilele independente, respectiv interval de variație, astfel încât pentru conținutul final de oxigen (parametru dependent) să se obțină o valoare apropiată de cea dorită, sau chiar cea dorită.

În vederea comparării valorilor referitoare la conținutul de oxigen pentru același tip de corelație (cu aceeași parametri independenți), calculată după cele trei seturi de relații, s-a luat ca valori de referință pentru parametri independenți valorile prezentate în tabelul 7.1.

Pentru conținutul de oxigen am ales valoarea de referință 20ppm, având în vedere că din cele 24 de valori obținute pentru conținutul de oxigen cu valorile de referință pentru parametri independenți, 18 (respectiv 75%) sunt situate în intervalul [19-21] ppm, 20 ppm fiind media acestui interval, pe de o parte, iar pe de altă parte am avut în vedere ca această valoare s-a obținut la corelația cu trei parametri foarte importanți pentru procesul de vidare: D_{tv} – durata vidării, ΔT - scăderea temperaturii oțelului pe durata vidării și $T_{in.VD}$. temperatura oțelului la intrarea în instalația de vidare.

Având în vedere valorile foarte apropiate pentru parametrul dependent calculat după cele 3 seturi de ecuații de corelație diferența maximă de 1,50 ppm (fig. 7.30 și tabelul. 7.1) se consideră că procesul de vidare poate fi analizat/condus după oricare set de ecuații de corelație, dar având în vedere simplitatea ecuațiilor și a reprezentărilor grafice este de preferat **setul C**, și eventual verificat după celelalte două seturi, respectiv corelațiile cu aceiași parametri independenți.

Tabelul 7.1. Valori de referință pentru parametri urmăriți - corelații multiple

Nr.fig./cor.	Parametri independenți	Valori de referință parametri independenți	Set relații -Conținut de oxigen în semifabricat, ppm	Conținut de oxigen raportat la referință +/-	
				ppm	%
7.8-A	$D_{tv}; \Delta T$	25min 52 °C	A – 20,1	0,1	0,5
7.16-B			B – 20,00	0,0	0,0
7.24-C			C – 20,00	0	0
7.9-A	$D_{tv}; Q_{bAr}$	25 min 2,7l/t.min	A – 19,00	-1,0	-5,0
7.17-B			B – 18,75	-1,25	-6,25
7.25-C			C – 20,0	0,0	0,0
7.10-A	$D_{tv}; T_{in.VD}$	25 min 1667 °C	A – 19,80	-0,20	-1,00
7.18-B			B – 20,20	0,20	1,00
7.26-C			C – 20	0	0
7.11-A	$D_{vid av}; Q_{bAr}$	15,3 min. 2,7l/t.min.	A – 18,40	-1,60	-8,0
7.19-B			B – 19,0	-1,00	-5,00
7.27-C			C – 19,70	- 0,30	- 1,50
7.12-A	$D_{vid av.}, \Delta T$	15,3 min. 52 °C	A – 19,50	-0,50	-2,5
7.20-B			B – 19,40	-0,6	-3,00
7.28-C			C – 19,80	- 0,20	-1,00
7.13-A	$D_{vid av.}; T_{in.VD}$	15,3 min 1667 °C	A – 18,80	-1,20	-6,0
7.21-B			B – 18,0	-2,00	-10,00
7.29-C			C – 19,00	-1,00	-5,0
7.14-A	$T_{in.VD}; Q_{bAr}$	1667 °C 2,5l/t.min	A – 20,80	0,8	4,00
7.22-B			B – 21,0	1,00	5,00
7.30-C			C – 21,50	1,50	7,50
7.15-A	$\Delta T, ; Q_{bAr}$	52 °C 2,7l/t.min	A – 20,60	0,60	3,00
7.23-B			B – 21,40	1,40	7,00
7.31-C			C – 20,80	0,80	4,00

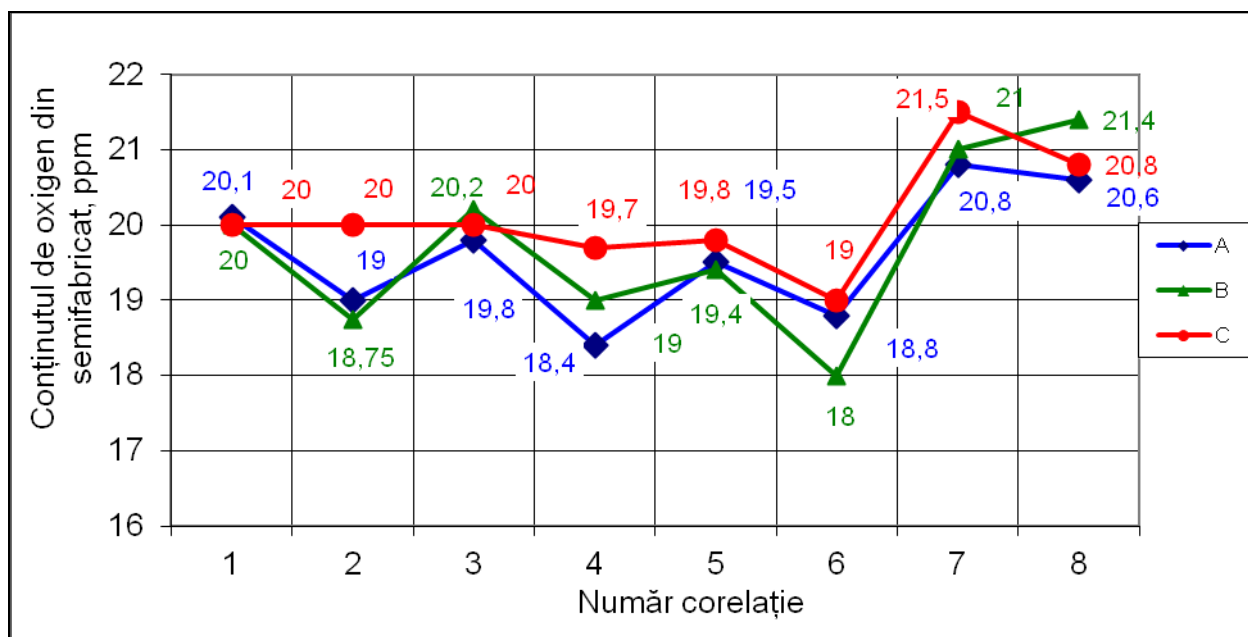


Fig. 7.32. Variația conținutului de oxigen din semifabricat în funcție de corelația utilizată

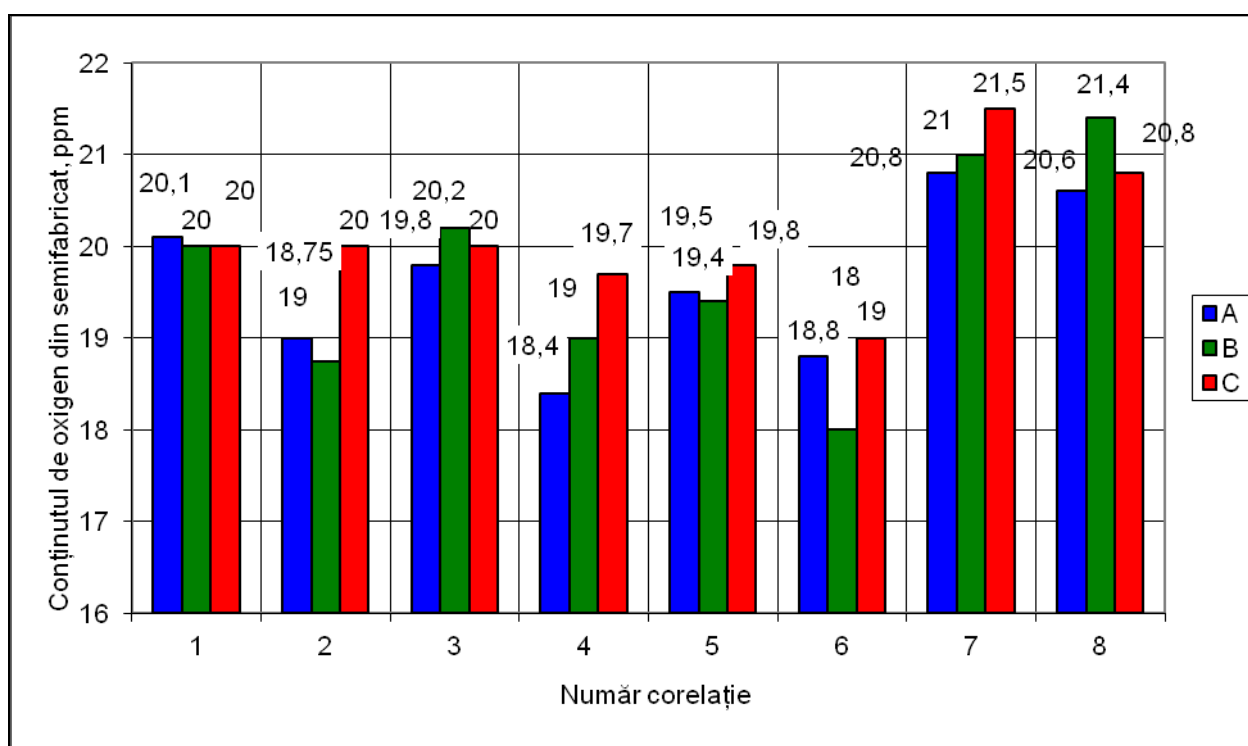


Fig. 7.33. Variația sub formă de histograme conținutului de oxigen din semifabricat în funcție de corelația utilizată

Analizând datele din fig. 7.34 și 7.35 rezultă că majoritatea valorilor (66%) pentru conținutul de oxigen nu depășesc 20 ppm (la 4-16,66%- egale cu această valoare și la 12-50% - sub aceasta).

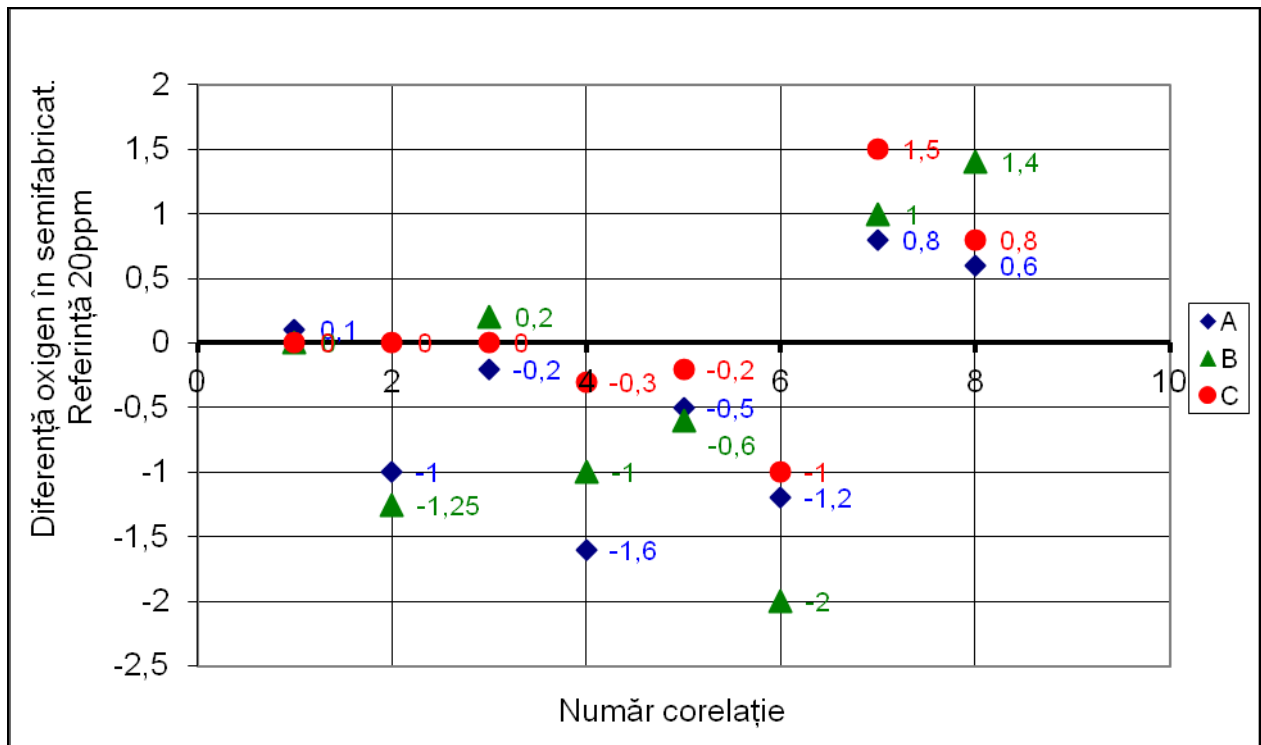


Fig. 7.34. Variația diferenței conținutului de oxigen (ppm) comparativ cu valoarea de referință (20 ppm)

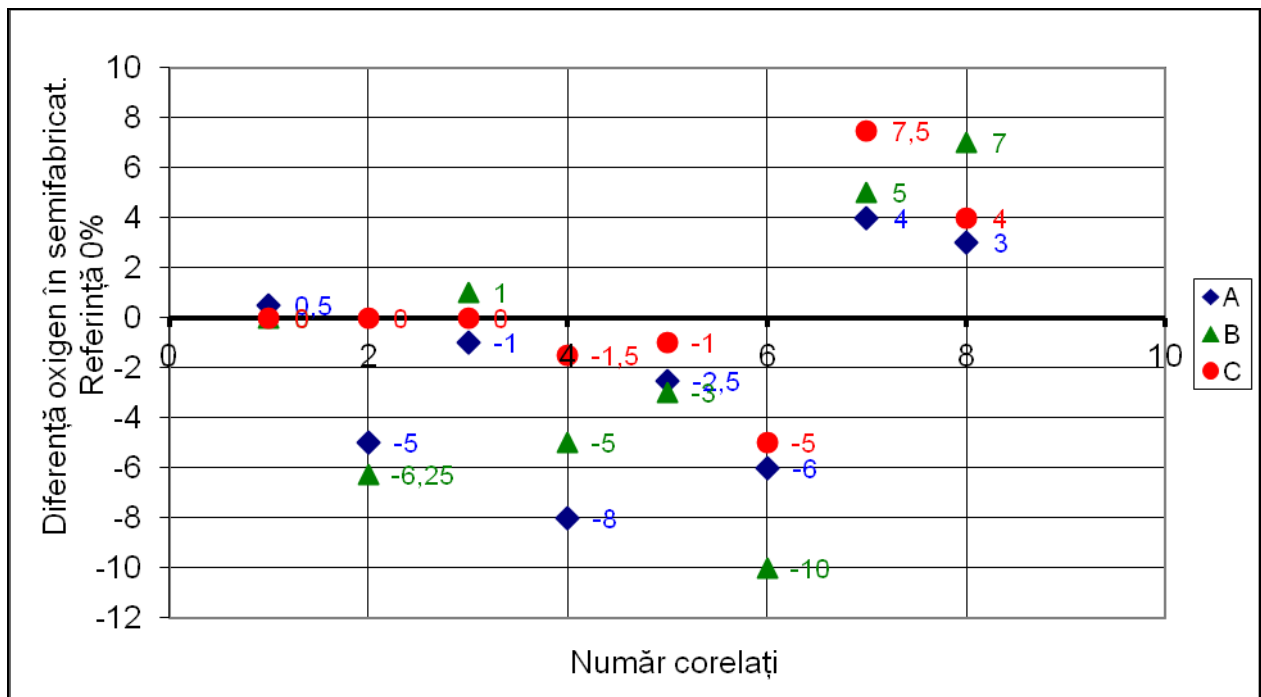


Fig. 7.35. Variația diferenței conținutului de oxigen (%) comparativ cu valoarea de referință (0%)

7.1.3. Concluzii

Din analiza rezultatelor certărilor experimentale efectuate privind efectul vidării asupra dezoxidării oțelului, prezentate anterior se pot concluziona

următoarele:

- fluxurile tehnologice de elaborare și turnare a oțelului sunt echipate cu agregatul primar de elaborare (convertizor cu oxigen pentru fluxul integrat , cuptor cu arc electric pentru flux neintegrat), mașini de turnare continuă a oțelului cu până la 5 fire, precum și cu instalații moderne de procesare a oțelului în oala de turnare (metalurgia în oală sau metalurgia secundară) constând în cele mai multe cazuri din instalații de tip LF (Ladle Furnace – Oală Cuptor) și instalații de vidare de tip VD (Vidare Degazare); instalațiile de tip LF permit reglarea temperaturii, fie în vederea turnării continue, fie în vederea tratării în instalațiile de vidare fără aport de căldură, problemă tehnologică de primă importanță pentru turnarea continuă secvențială;

- prin prelucrarea datelor în cele două programe de calcul EXCEL și MATLAB au fost obținute ecuații de corelație între parametrii tehnologici ai vidării și cantitatea de oxigen din semifabricatul de oțel vidat, reprezentative atât din punct de vedere a valorilor pentru coeficienți de corelație cât și a sensului/interpretării tehnologic/tehnologice;

- corelațiile tehnologice stabilite în programul de calcul EXCEL sunt prezentate sub forma analitică prin funcții polinomiale de gradul 1; 2 și 3;

- situarea valorilor obținute pentru conținutul de oxigen utilizând ecuațiile de corelație multiplă în proporție de 91,66% sub 21 ppm (conținut max 26 ppm), confirmă pe de o parte valabilitatea corelațiilor obținute, iar pe de altă parte posibilitatea utilizării acestora în practica curentă;

- corelațiile obținute sunt utile pentru practica curentă, ele permițând alegerea și corelarea valorilor pentru parametrii independenți, astfel încât să se obțină în semifabricatele turnate (tratate în instalațiile LF și VD) conținuturi cât mai scăzute de oxigen (evident în același timp și de H și N);


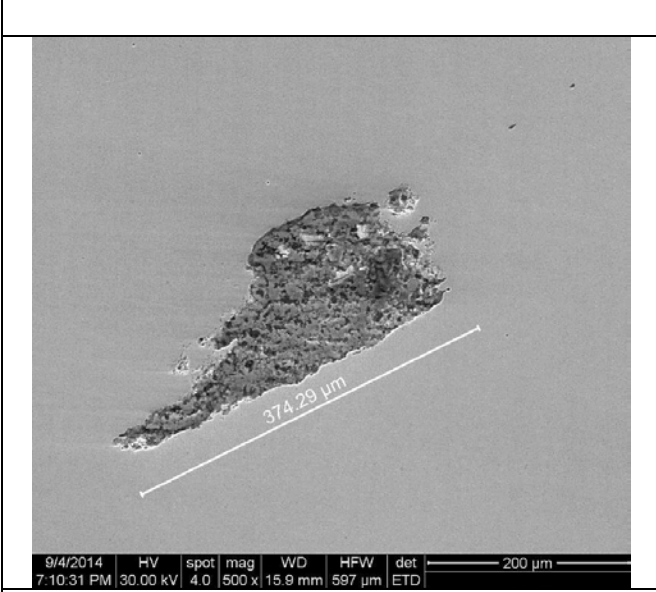
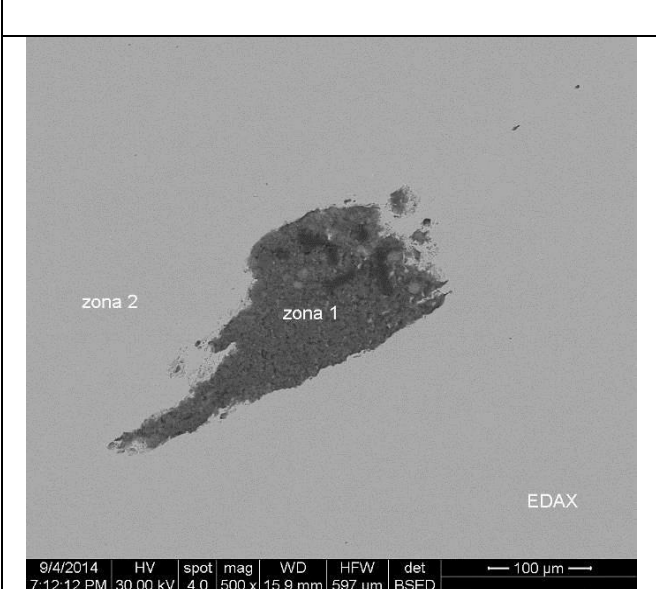
7.2. Rezultate privind natura și compoziția chimică a incluziunilor nemetalice conținute de semifabricatele turnate continuu.

În cadrul acestui capitol se prezintă și rezultatele cercetărilor efectuate la turnarea continuă a oțelului (calitatea AMJ 21C-Tabelul 7.2.A) scopul fiind determinarea naturii și compoziției chimice a incluziunilor nemetalice pentru un număr de 6 probe.

7.2.1. Tehnica experimentală. Rezultate obținute.

Stabilirea naturii incluziunilor s-a efectuat prin analiză microstructurală realizată prin microscopie electronică de baleiaj (SEM) și prin microanaliză de raze X dispersivă în energie (EDAX) la microscopul electronic cu baleiaj *Quanta Inspect F*. (Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor – Universitatea Politehnica București). Din șarjele turnate au fost prelevate probe și analizate din bara a 2 de la 6 șarje.

PROBA Nr.1

	<p>Fig 7.36. Aspectul morfologic al probei. Imagine microscopie electronică de baleiaj (SEM) la o mărire de 100x.</p>
	<p>Fig. 7.37. Microstructura suprafeței incluziunii probei la o mărire de 500 x.</p>
	<p>Fig. 7.38. Microstructura suprafeței ce prezintă zona unde a fost efectuată analiza EDAX la o mărire de 500x</p>

Label A:

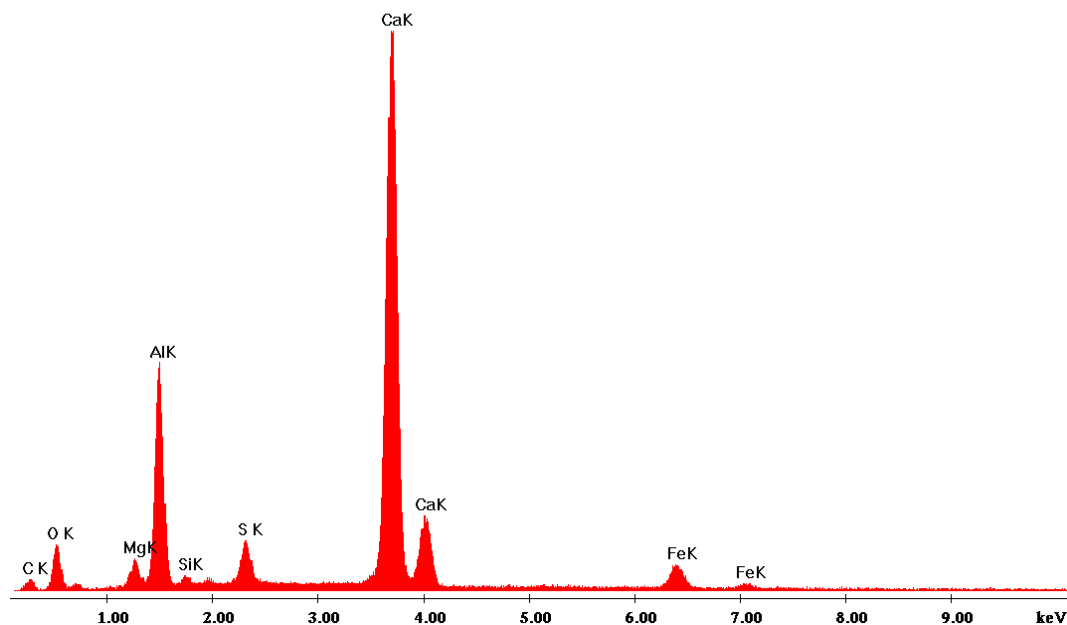


Fig 7.39. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.38 – zona 1. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **C, O, Mg, Al, Si, S, Ca și Fe;**

Label A:

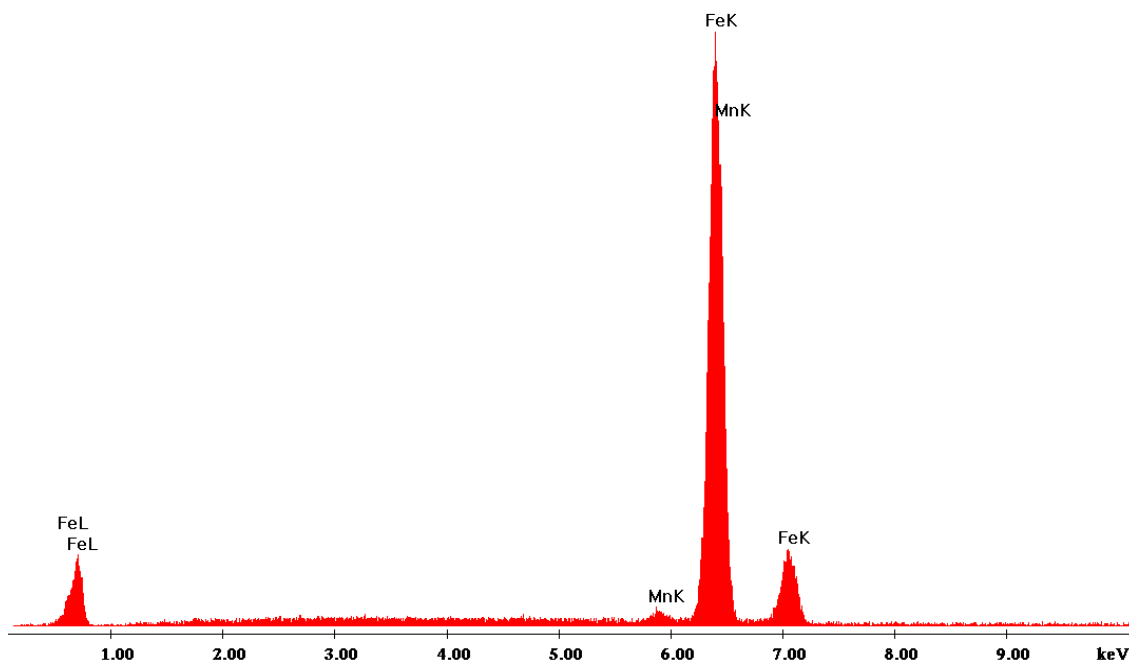


Fig.7.40. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria din fig.7.38–zona 2. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **Fe și Mn;**

Tabelul 7.2. Compoziția chimică elementală cantitativă pentru microaria zona 1 (fig.7.38)

Nr.crt	Element chimic	Procente de greutate, %	Procente atomice,%
1	O	26,90	44,08
2	Mg	3,36	3,63
3	Al	20,65	20,06
4	Si	1,07	1,00
5	S	3,24	2,65
6	Ca	41,03	26,83
7	Fe	3,74	1,76
8	Total	100	100

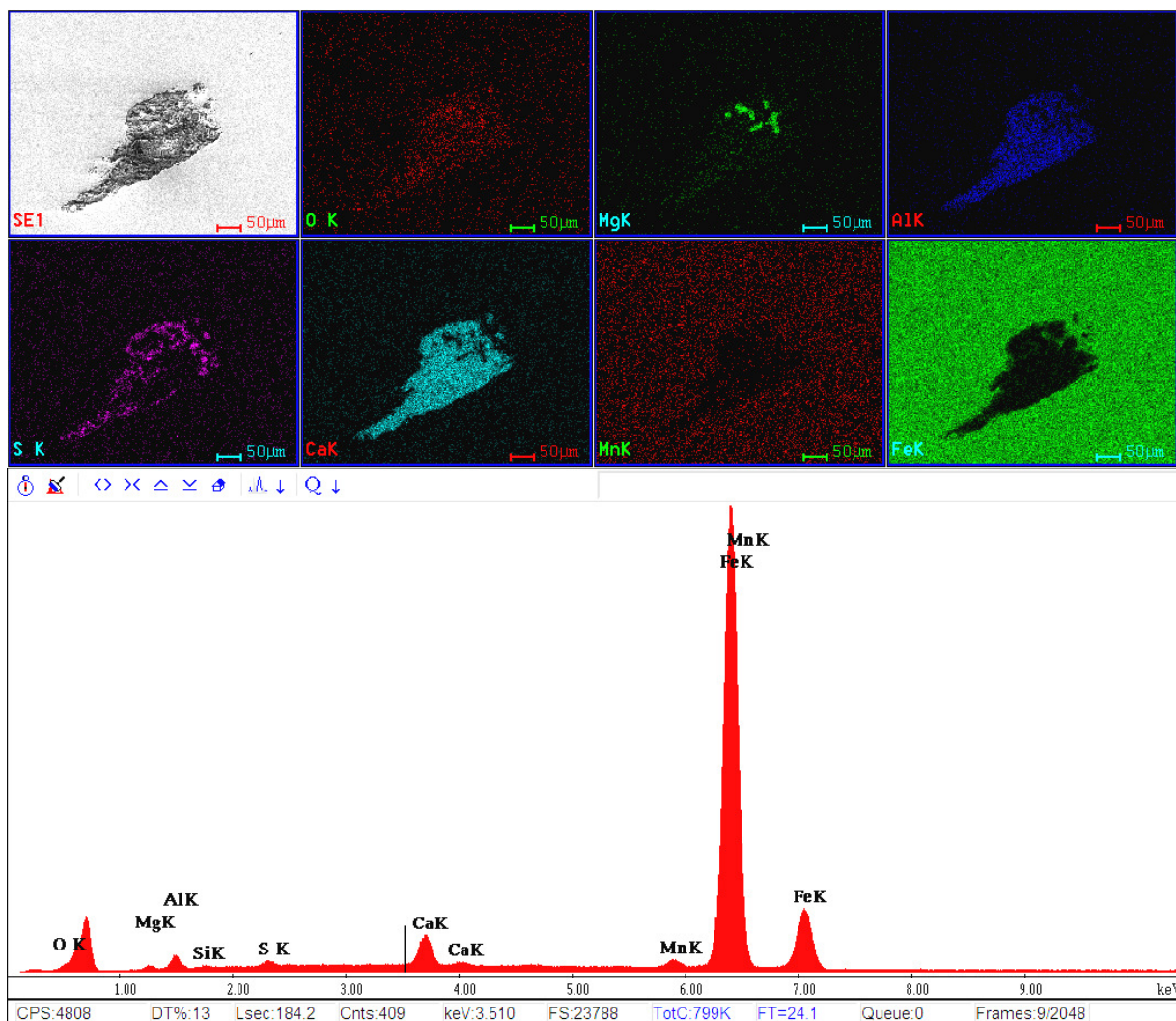
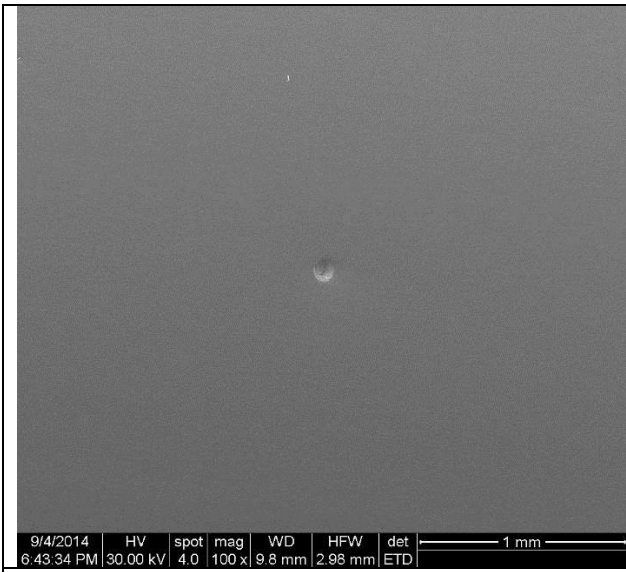
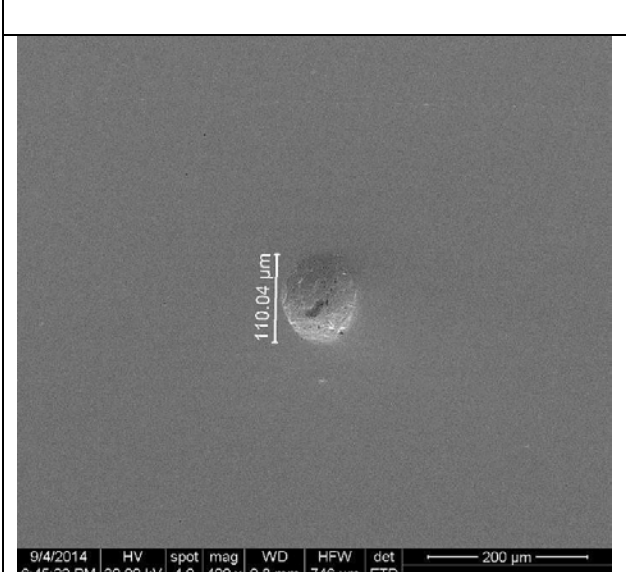
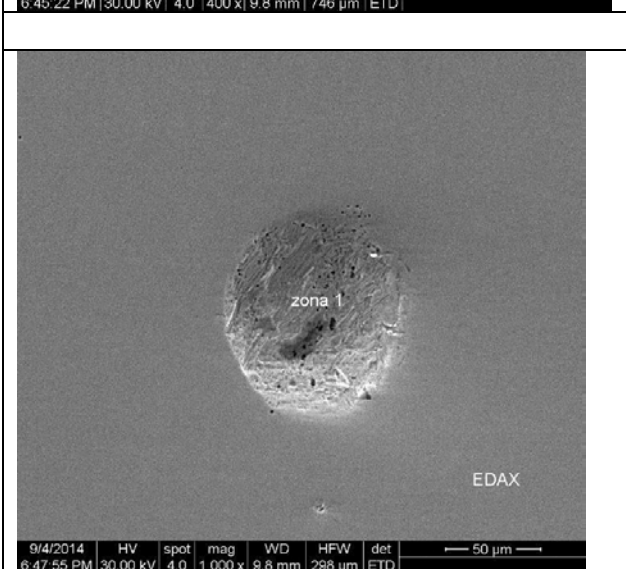


Fig. 7.41. a) În partea de jos a imaginii este evidențiat spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.38. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **O, Al, Mg, Si, S, Ca, Mn și Fe;**

b) În colțul din stânga sus al imaginii este evidențiat aspectul microariei analizate prezentă și în fig.7.38;

c) Celelalte cadre ale imaginii prezintă distribuția razelor X caracteristice în microaria din cadrul din stânga sus al imaginii (imagine prezentă și în fig. 7.38). Imaginea de mai sus arată prezența unei **incluziuni complexe având în compoziție elementele: oxigen(O), aluminiu (Al), calciu(Ca), magneziu (Mg) și sulf (S).**

PROBA Nr.2

	<p>Fig. 7.42. Imagine de microscopie electronică de baleiaj (SEM) ce prezintă aspectul probei la o mărire de 100x.</p>
	<p>Fig. 7.43. Microstructura suprafeței incluziunii probei la o mărire de 400 x.</p>
	<p>Fig. 7.44. Microstructura suprafeței ce prezintă zona unde a fost efectuată analiza EDAX la o mărire de 1000x.</p>

Label A:

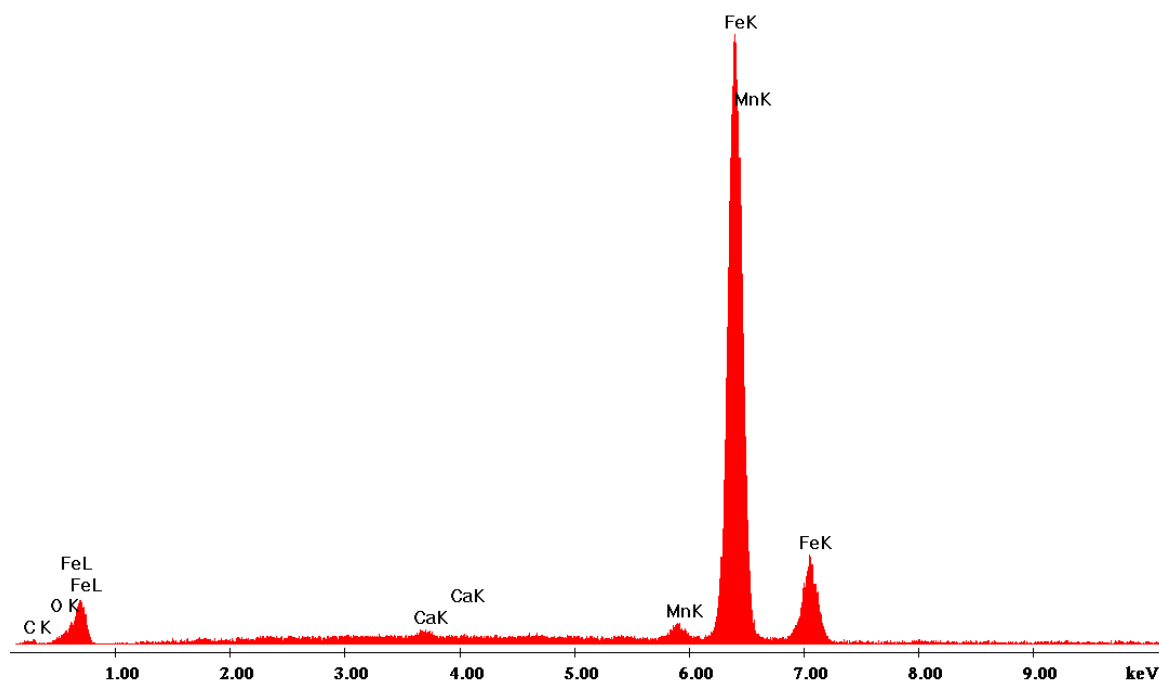


Fig.7.45. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.44– zona 1. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **C, O, Ca, Mn și Fe;**

Tabelul 7.3. Compoziția chimică elementală cantitativă pentru microaria zona 1(fig.7.44)

Nr.crt	Element chimic	Procente de greutate, %	Procente atomice,%
1	*C	5,66	20,87
2	O	2,08	5,77
3	Ca	0,52	0,57
4	Mn	2,10	1,70
5	Fe	89,63	71,09
6	Total	100	100

*Conținutul de carbon nu trebuie luat în considerare.

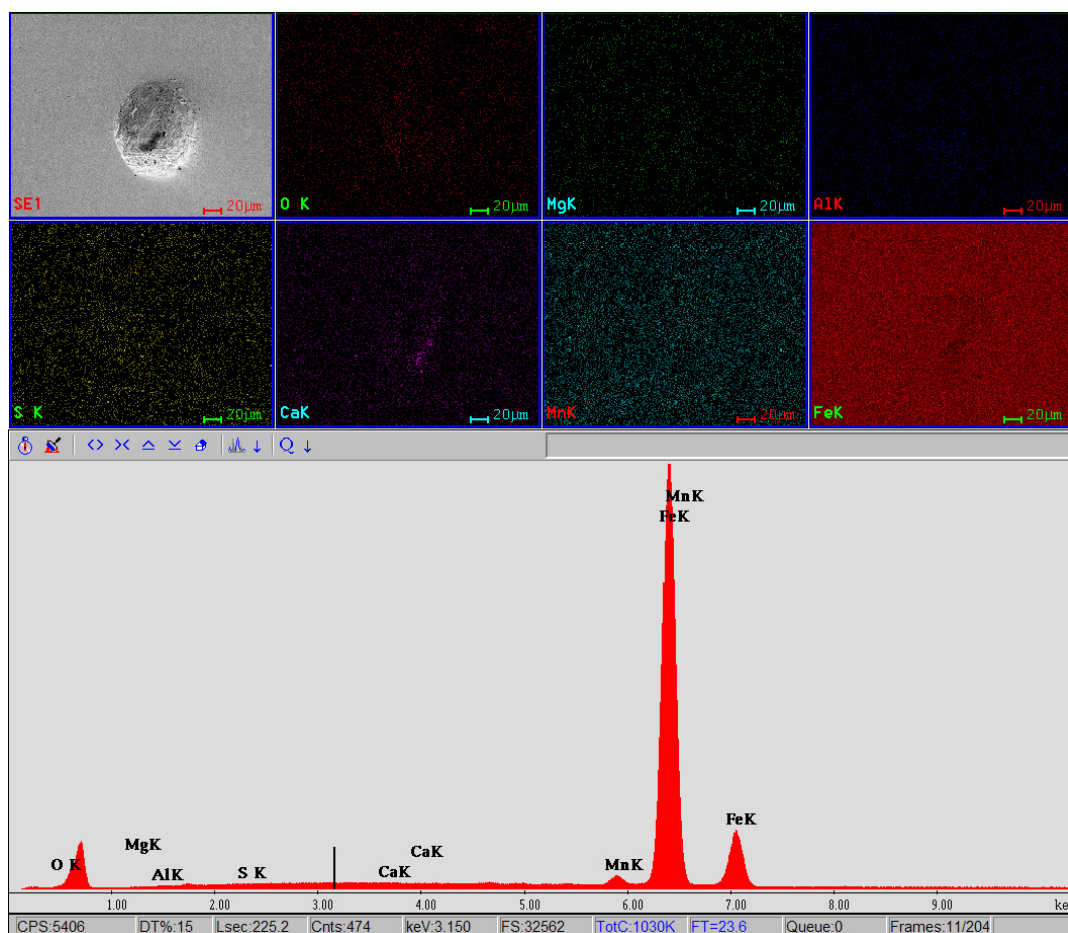

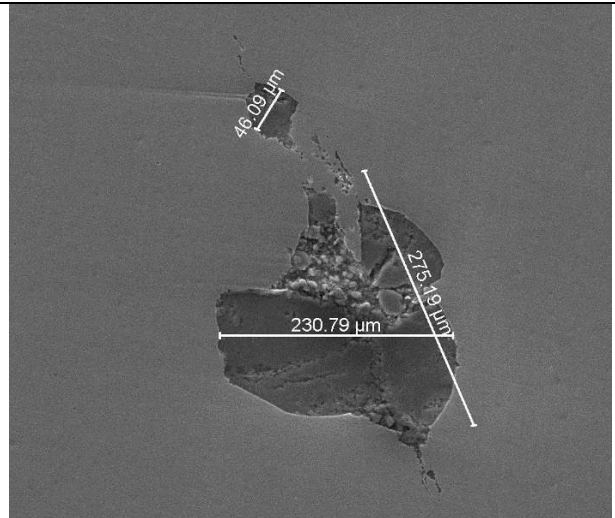
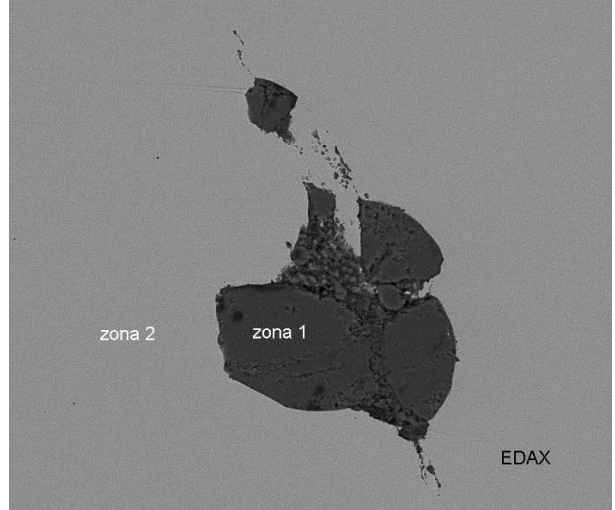


Fig.7.46. a) În partea de jos a imaginii este evidențiat spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în figura 7.44. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **O, Al, Mg, S, Ca, Mn și Fe;**

b) În colțul din stânga al imaginii este evidențiat aspectul microariei analizate prezentă și în fig. 7.44;

c) Celelalte cadre ale imaginii prezintă distribuția razelor X caracteristice în microaria din cadrul din stânga sus al imaginii (image prezentă și în fig.7.44). Imaginea de mai sus arată prezența în **incluziunea din zona 1 – imaginea fig 7.44.,** a elementelor **oxigen(O), aluminiu (Al), calciu (Ca), magneziu (Mg) și sulf (S),** prezența atât de scăzută în concentrație a acestor elemente se datorează faptului că incluziunea a fost smulsă în cursul procesului de pregătire (șlefuire – lustruire) a probei.

PROBA Nr.3

 <p>9/4/2014 HV spot mag WD HFW det 4:30:17 PM 30.00 kV 4.0 100 x 9.9 mm 2.98 mm ETD</p>	<p>Fig. 7.47. Imagine de microscopie electronică de baleiaj (SEM), ce prezintă aspectul probei la o mărire de 100x.</p>
 <p>9/4/2014 HV spot mag WD HFW det 4:33:28 PM 30.00 kV 4.0 500 x 10.1 mm 597 μm ETD</p>	<p>Fig. 7.48. Microstructura suprafeței incluziunii probei la o mărire de 500 x.</p>
 <p>9/4/2014 HV spot mag WD HFW det 4:43:11 PM 30.00 kV 4.0 500 x 10.1 mm 597 μm BSED</p>	<p>Fig. 7.49. Microstructura suprafeței ce prezintă zona unde a fost efectuată analiza EDAX la o mărire de 500x.</p>

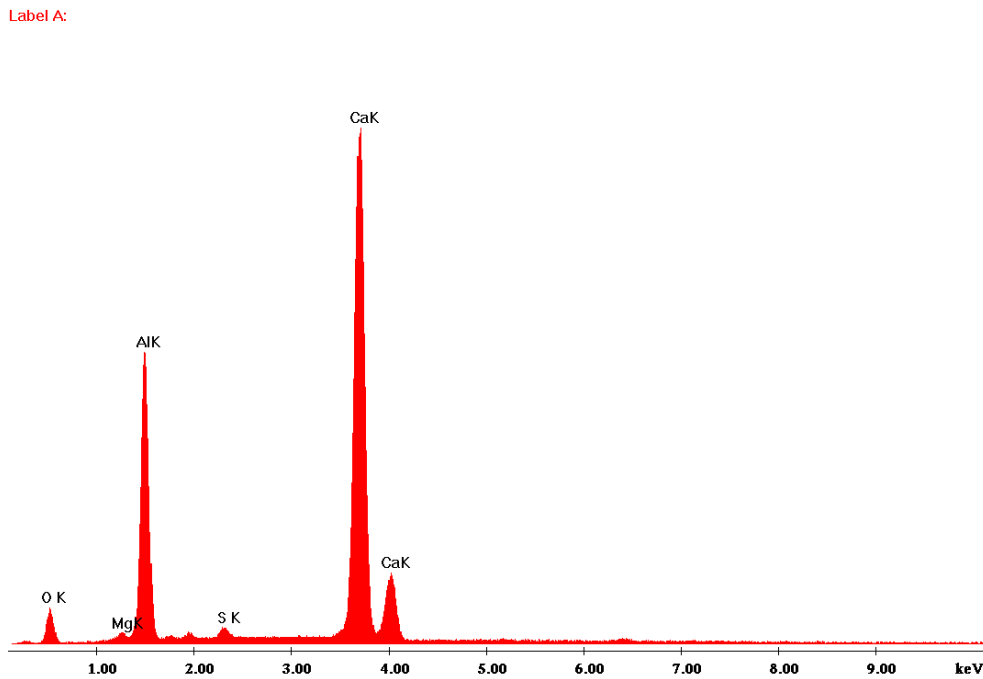


Fig.7.50. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.49.– zona 1. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **O, Mg, Al, S și Ca**;

Label A:

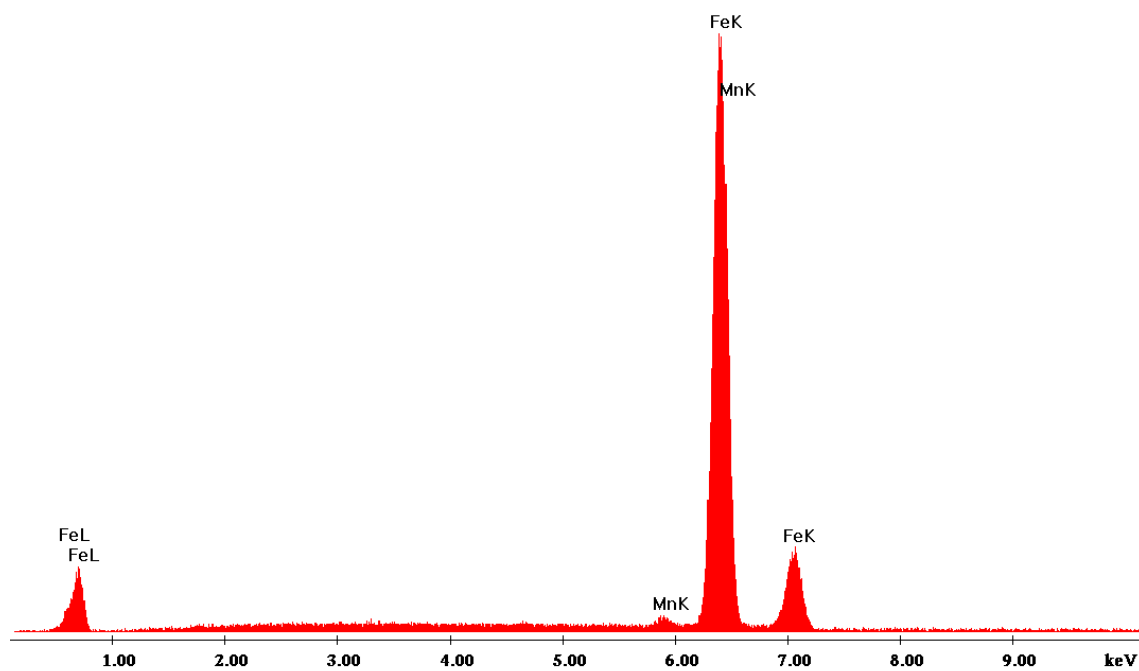


Fig.7.51. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.49.– zona 2. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **Fe și Mn**;

Tabelul 7.4. Compoziția chimică elementală cantitativă pentru microaria zona 1 (fig. 7.49)

Nr.crt	Element chimic	Procente de greutate, %	Procente atomice,%
1	O	27,72	44,36
2	Mg	3,24	3,50
3	Al	21,66	20,51
4	Si	1,09	1,03
5	S	3,36	2,84
6	Ca	41,11	26,01
7	Fe	1,82	1,75
8	Total	100	100

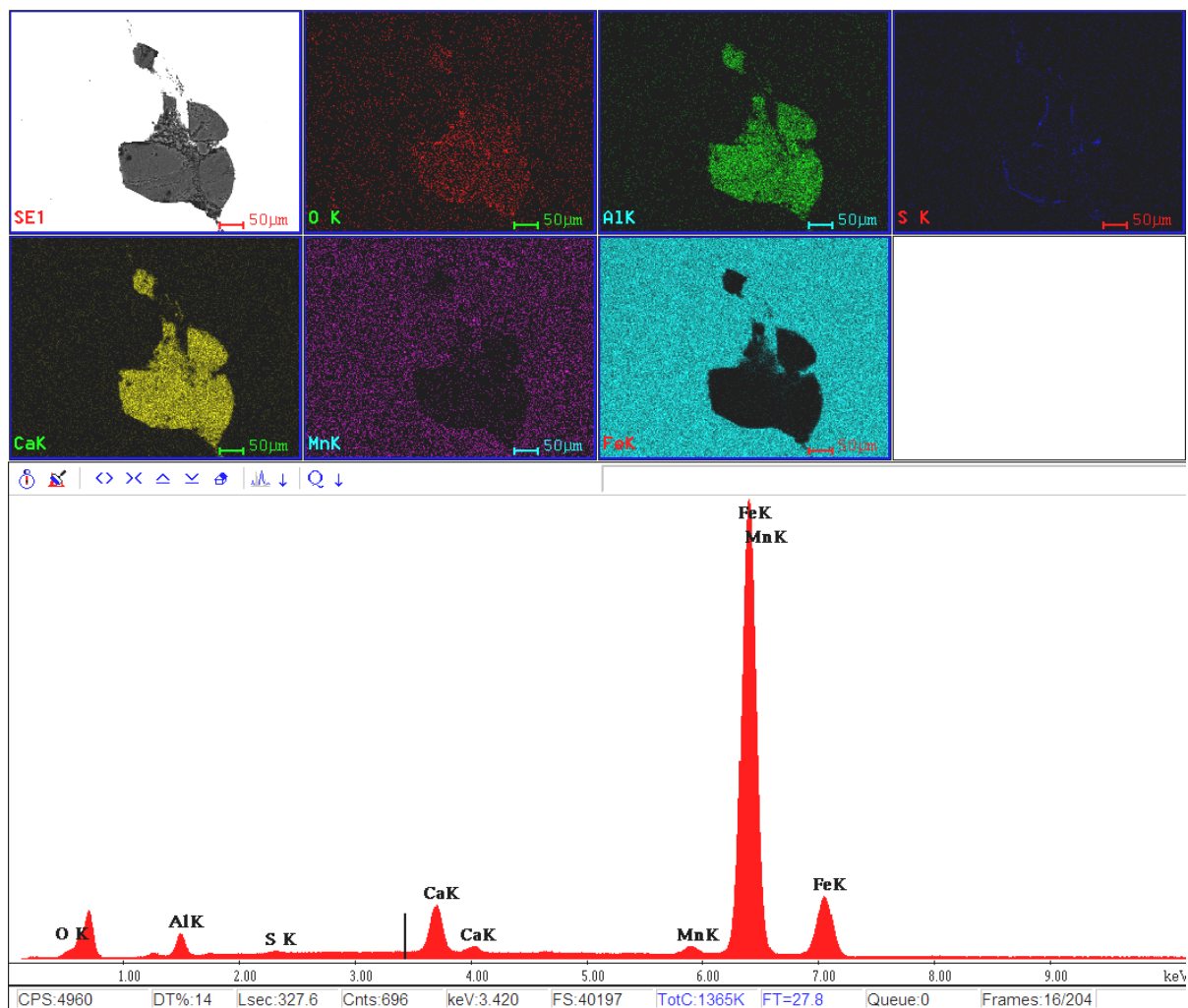
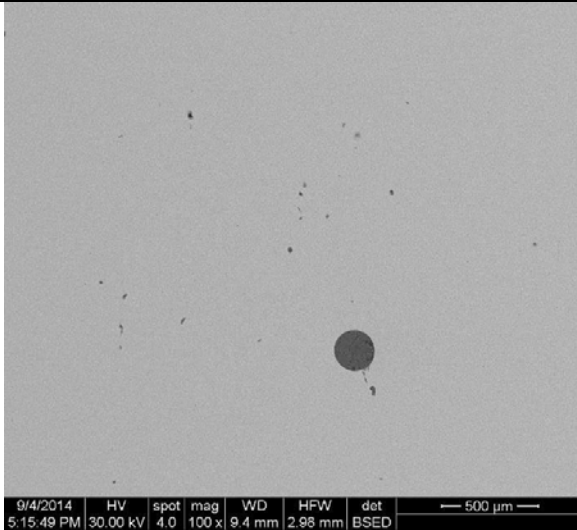
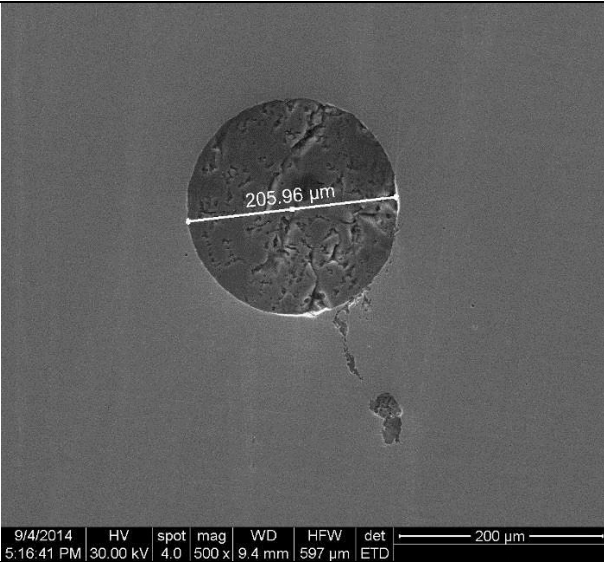
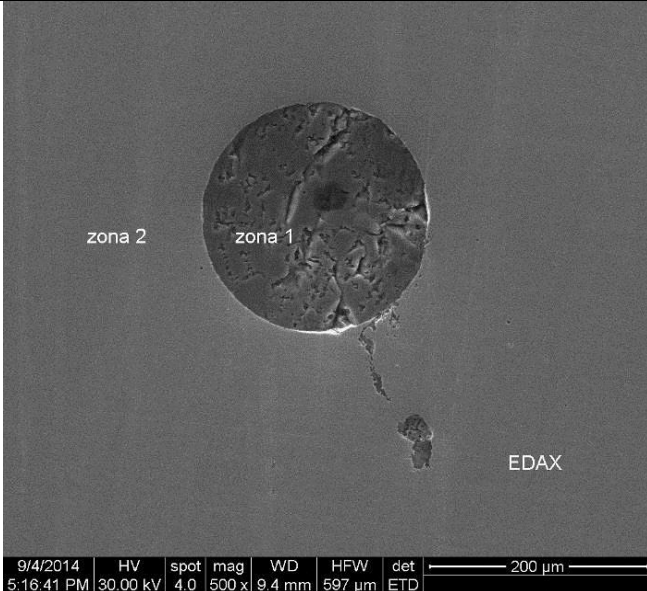


Fig.7.52. a) În partea de jos a imaginii este evidențiat spectrul de raze X dispersive în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.49. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **O, Al, S, Ca, Mn și Fe**;

b) În colțul din stânga sus al imaginii este evidențiat aspectul microariei analizate prezentă și în fig.7.49;

c) Celelalte cadre ale imaginii prezintă distribuția razelor X caracteristice în microaria din cadrul din stânga sus al imaginii (imagine prezentă și în fig.7.49). Din imaginea de mai sus, rezultă prezența în **includiunea din zona 1 – imaginea în fig. 7.49**, a elementelor **oxigen (O), aluminiu (Al), calciu (Ca) și sulf (S)**

PROBA Nr.4

	<p>Fig. 7.53. Imagine de microscopie electronică de baleiaj (SEM) ce prezintă aspectul probei la o mărire de 100x.</p>
	<p>Fig. 7.54. Microstructura suprafeței incluziunii probei la o mărire de 500 x.</p>
	<p>Fig.7.55. Microstructura suprafeței ce prezintă zonele unde a fost efectuată analiza EDAX la o mărire de 500x</p>

Label A:

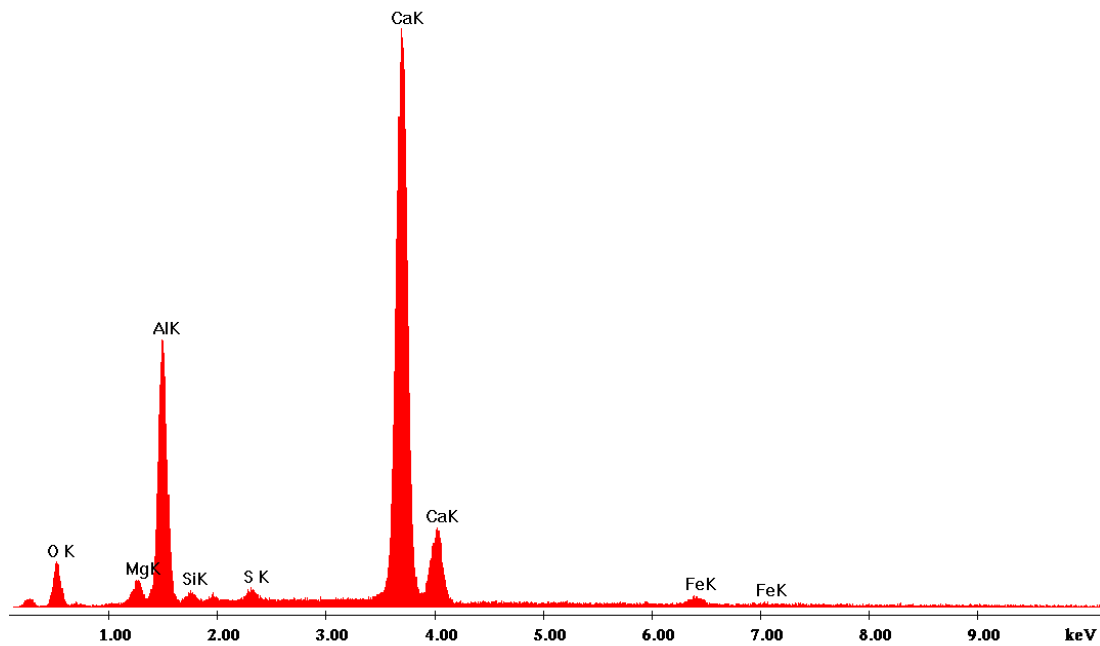


Fig. 7.56. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.55 – zona 1. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **O, Mg, Al, Si, S, Ca și Fe;**

Label A:

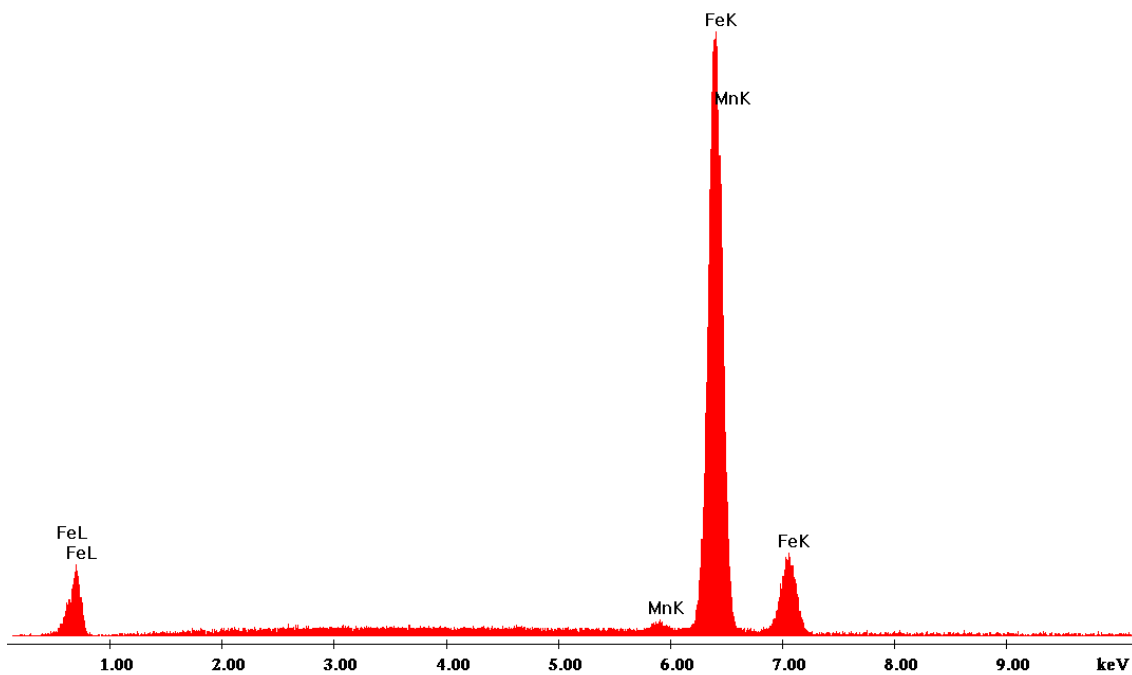


Fig. 7.57. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.55– zona 2. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **Fe și Mn**

Tabelul 7.5. Compoziția chimică elementală cantitativă pentru microaria zona 1 (fig.7.55)

Nr.crt	Element chimic	Procente de greutate, %	Procente atomice,%
1	O	26,81	43,43
2	Mg	3,06	3,26
3	Al	24,36	23,40
4	Si	1,36	1,26
5	S	1,01	0,81
6	Ca	42,18	27,27
7	Fe	1,22	0,57
8	Total	100	100

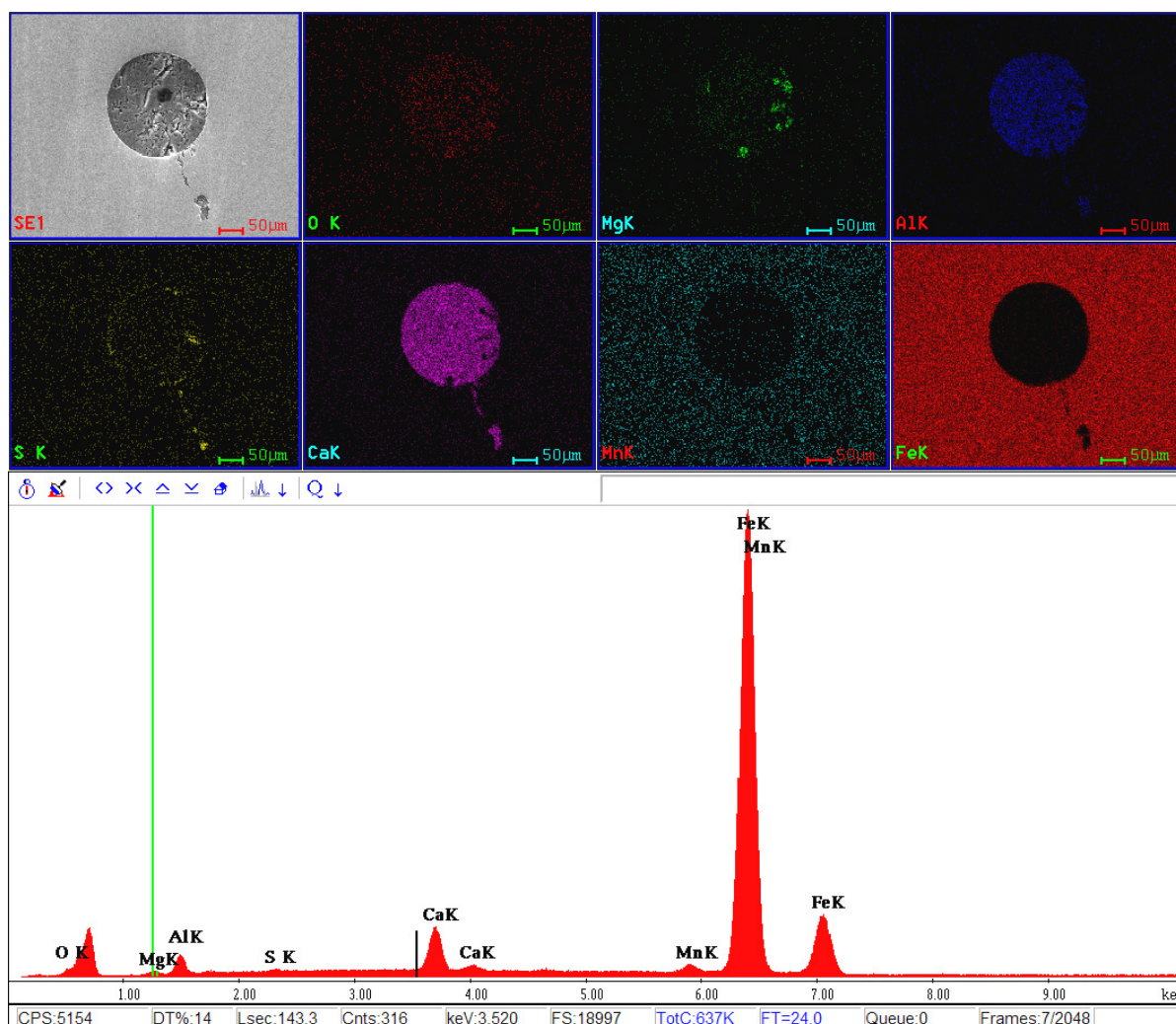
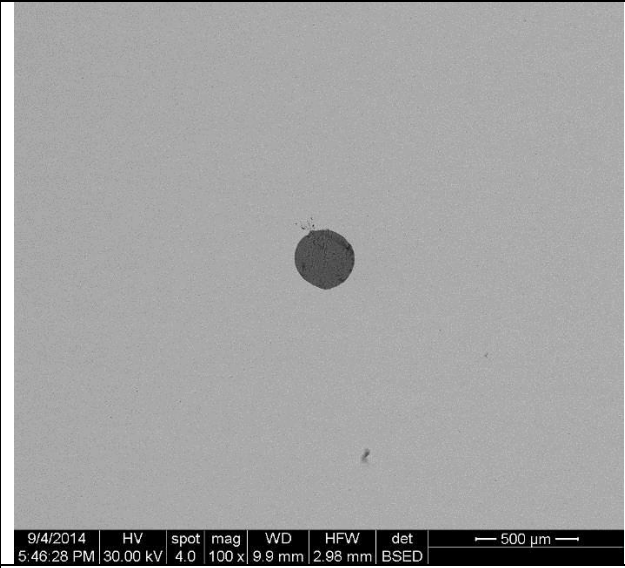
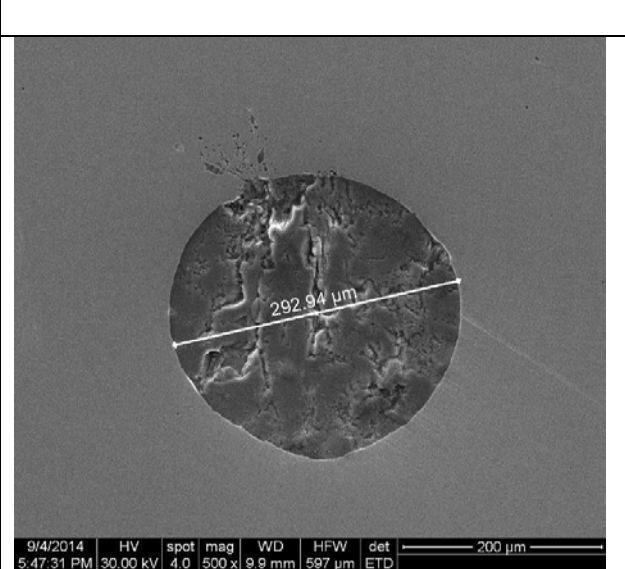
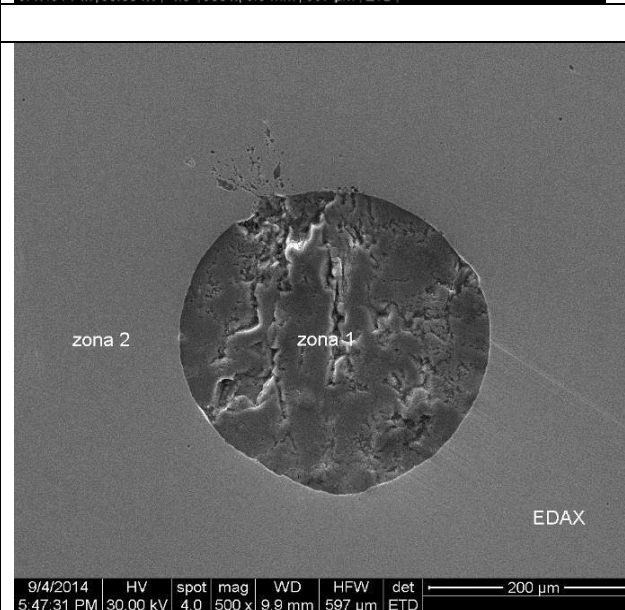


Fig.7.58. a) În partea de jos a imaginii este evidențiat spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.55. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **O, Mg, Al, S, Ca, Mn și Fe;**

b) În colțul din stânga sus al imaginii este evidențiat aspectul microariei analizate prezentă și în figura 7.55;

c) Celelalte cadre ale imaginii prezintă distribuția razelor X caracteristice în microaria din cadrul din stânga sus al imaginii (imagine prezentă și în fig.7.55). Imaginea de mai sus arată prezența în **incluziunea din zona 1 – imaginea fig. 6.20** a elementelor **oxigen (O), magneziu (Mg), aluminiu (Al), calciu (Ca) și sulf (S)**

PROBA Nr.5

	<p>Fig. 7.59. Imagine de microscopie electronică de baleiaj (SEM), ce prezintă aspectul probei la o mărire de 100x.</p>
	<p>Fig. 7.60. Microstructura suprafeței incluziunii probei la o mărire de 500 x.</p>
	<p>Fig. 7.61. Microstructura suprafeței ce prezintă zonele unde a fost efectuată analiza EDAX la o mărire de 500x.</p>

Label A:

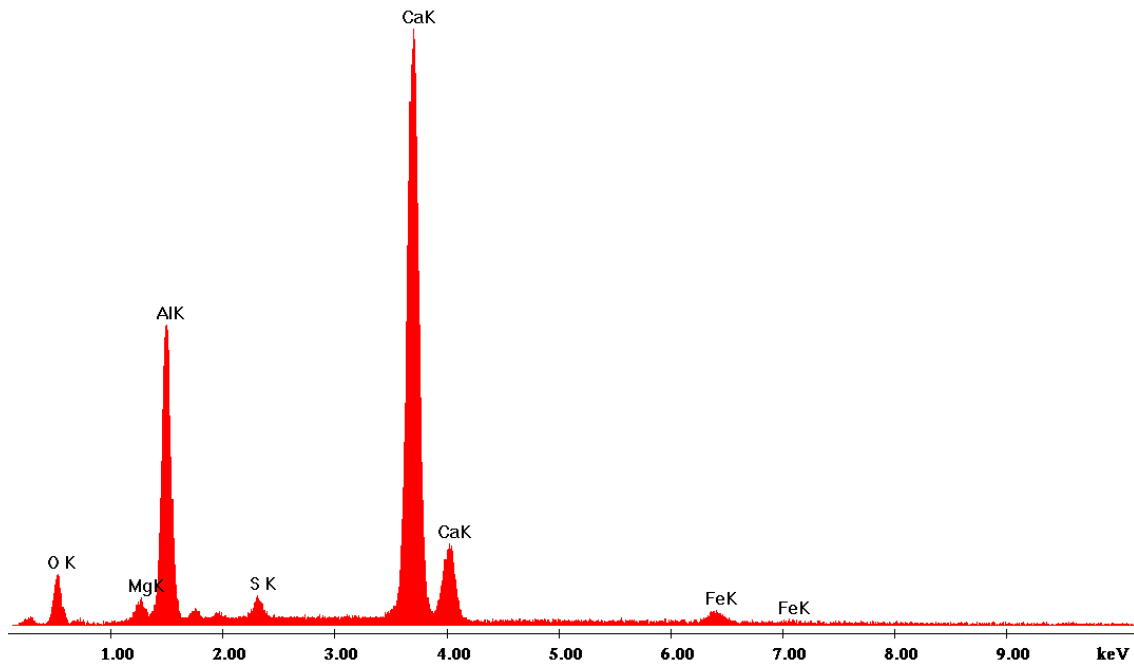


Fig.7.62. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.61– zona 1. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **O, Mg, Al, S, Ca și Fe;**

Label A:

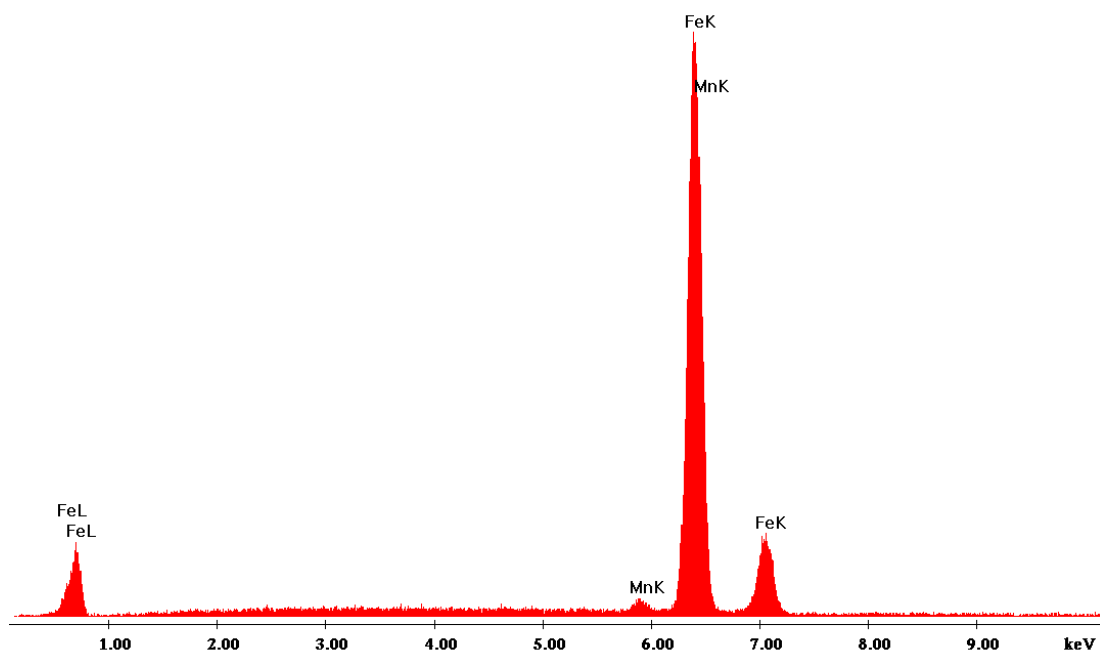


Fig.7.63. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.61– zona 2. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **Fe și Mn;**

Tabelul 7.6. Compoziția chimică elementală cantitativă pentru microaria zona 1 (fig 7.61)

Nr.crt	Element chimic	Procente de greutate, %	Procente atomice, %
1	O	27,52	44,38
2	Mg	2,43	2,58
3	Al	25,71	24,59
4	Si	1,08	1,00
5	S	1,55	1,24
6	Ca	40,39	26,35
7	Fe	1,86	0,86
8	Total	100	100

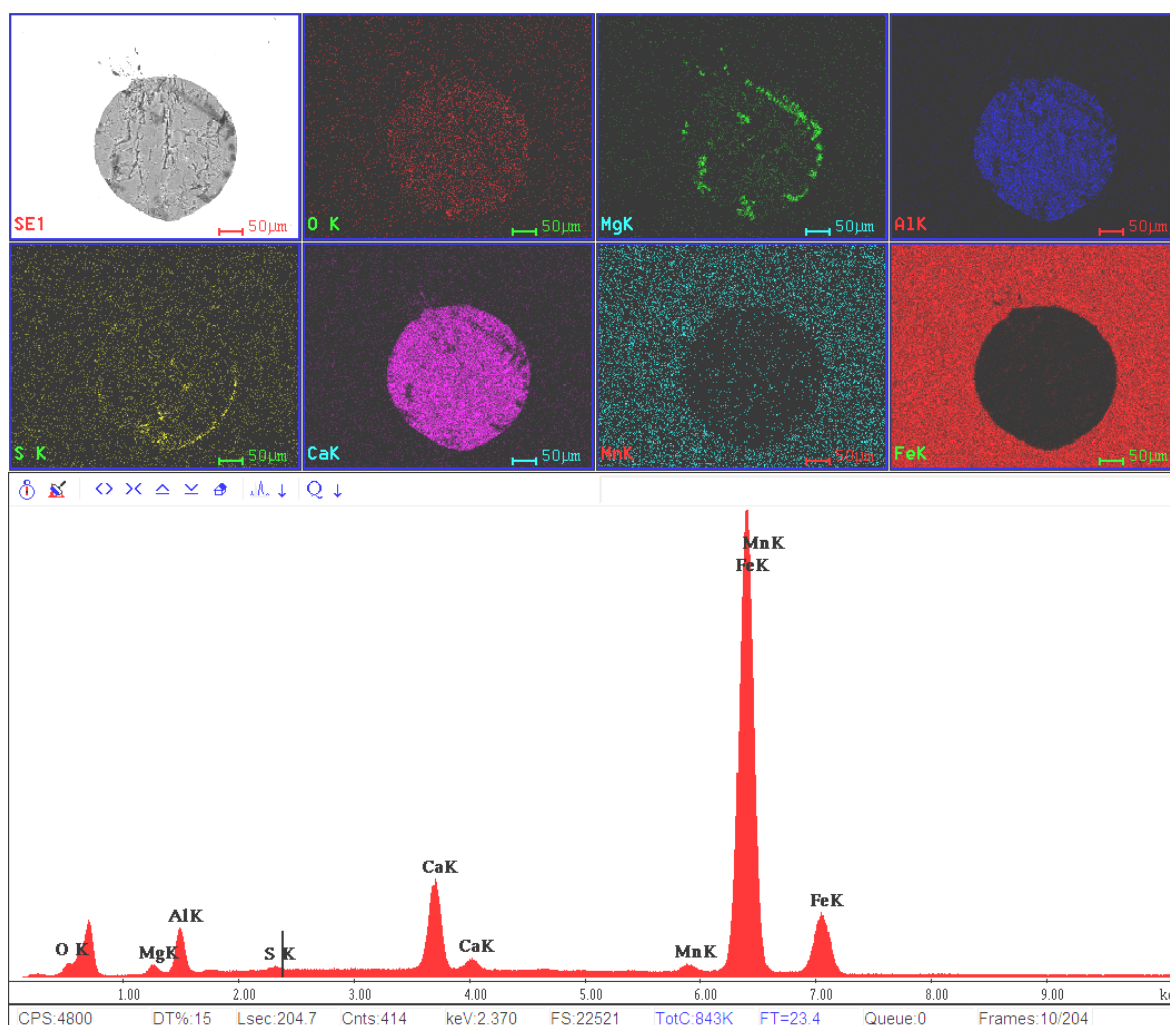

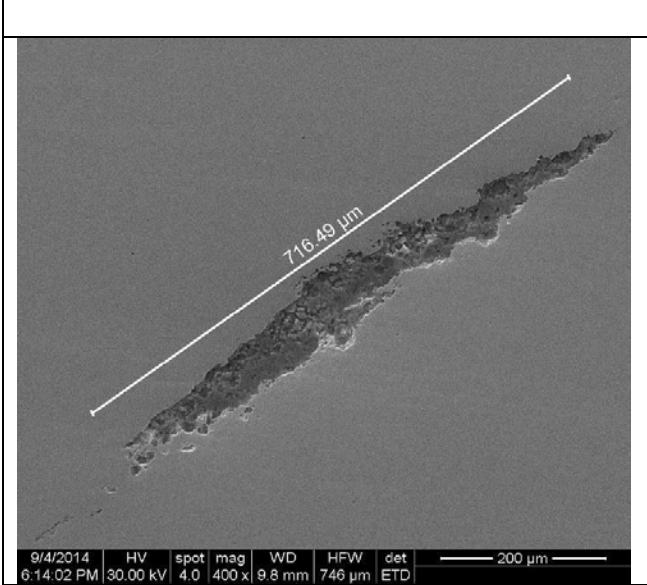
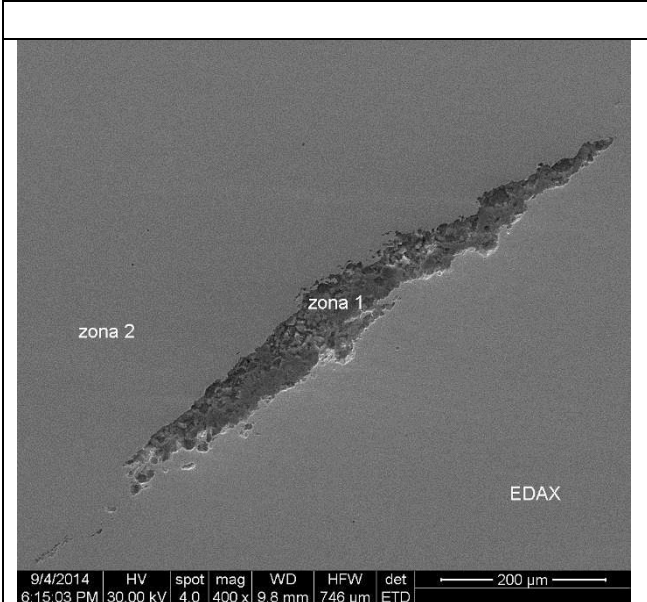


Fig.7.64. a) În partea de jos a imaginii este evidențiat spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.61. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **O, Mg, Al, S, Ca, Mn și Fe;**

b) În colțul din stânga sus al imaginii este evidențiat aspectul microariei analizate prezentă și în fig. 7.61;

c) Celelalte cadre ale imaginii prezintă distribuția razelor X caracteristice în microaria din cadrul din stânga sus al imaginii (imagine prezentă și în fig. 7.61). Imaginea de mai sus arată prezența în **includiunea din zona 1 – imaginea fig. 7.61** a elementelor **oxigen(O), magneziu (Mg), aluminiu (Al), calciu (Ca) și sulf (S).**

PROBA Nr. 6

 <p>9/4/2014 HV spot mag WD HFW det 6:13:16 PM 30.00 kV 4.0 100 x 9.8 mm 2.98 mm BSED</p>	<p>Fig. 7.65. Imagine de microscopie electronică de baleiaj (SEM) ce prezintă aspectul probei la o mărire de 100x.</p>
 <p>9/4/2014 HV spot mag WD HFW det 6:14:02 PM 30.00 kV 4.0 400 x 9.8 mm 746 μm ETD</p>	<p>Fig. 7.66. Microstructura suprafeței incluziunii probei la o mărire de 400x.</p>
 <p>9/4/2014 HV spot mag WD HFW det 6:15:03 PM 30.00 kV 4.0 400 x 9.8 mm 746 μm ETD</p>	<p>Fig. 7.67. Microstructura suprafeței ce prezintă zonele unde a fost efectuată analiza EDAX la o mărire de 400x.</p>

Label A:

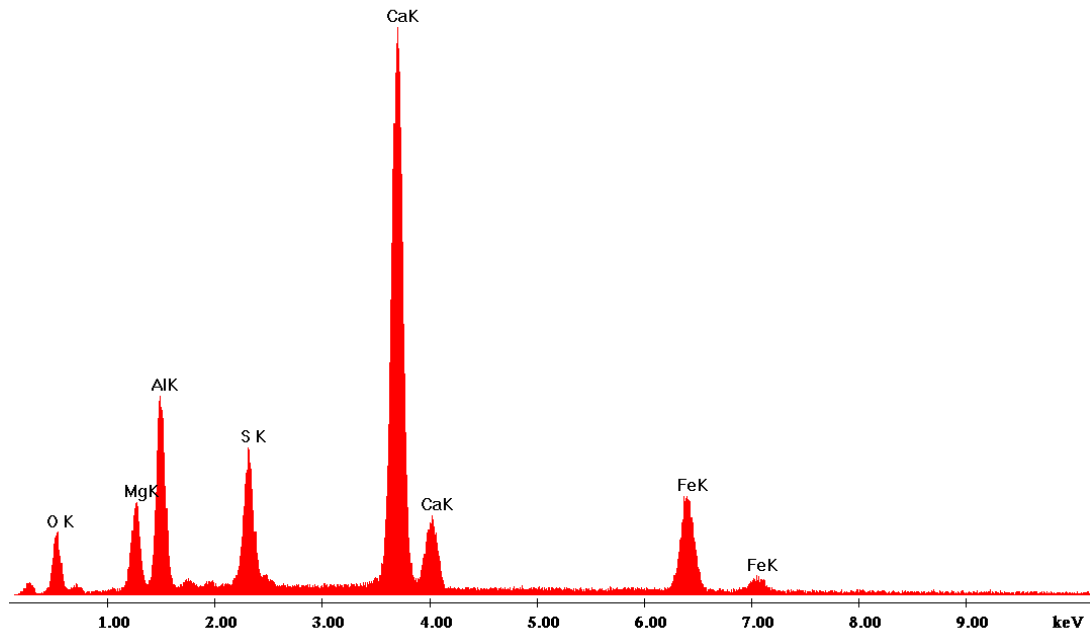


Fig. 7.68. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig.7.67– zona 1. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **O, Mg, Al, S, Ca și Fe;**

Label A:

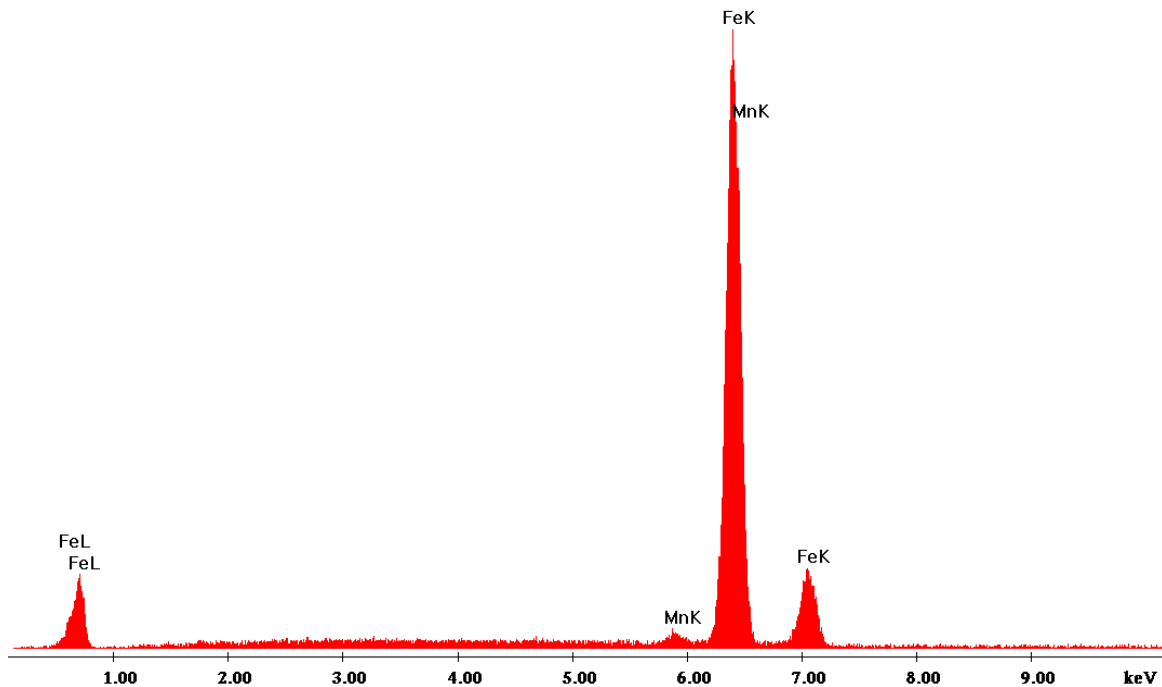


Fig. 7.69. Spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.67 – zona 2. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **Fe și Mn;**

Tabelul 7.7. Compoziția chimică elementală cantitativă pentru microaria zona 1 (fig 7.67)

Nr.crt	Element chimic	Procente de greutate, %	Procente atomice,%
1	O	23,83	40,31
2	Mg	8,56	9,53
3	Al	16,42	16,47
4	S	7,70	6,50
5	Ca	32,10	21,67
6	Fe	11,39	5,52
7	Total	100	100

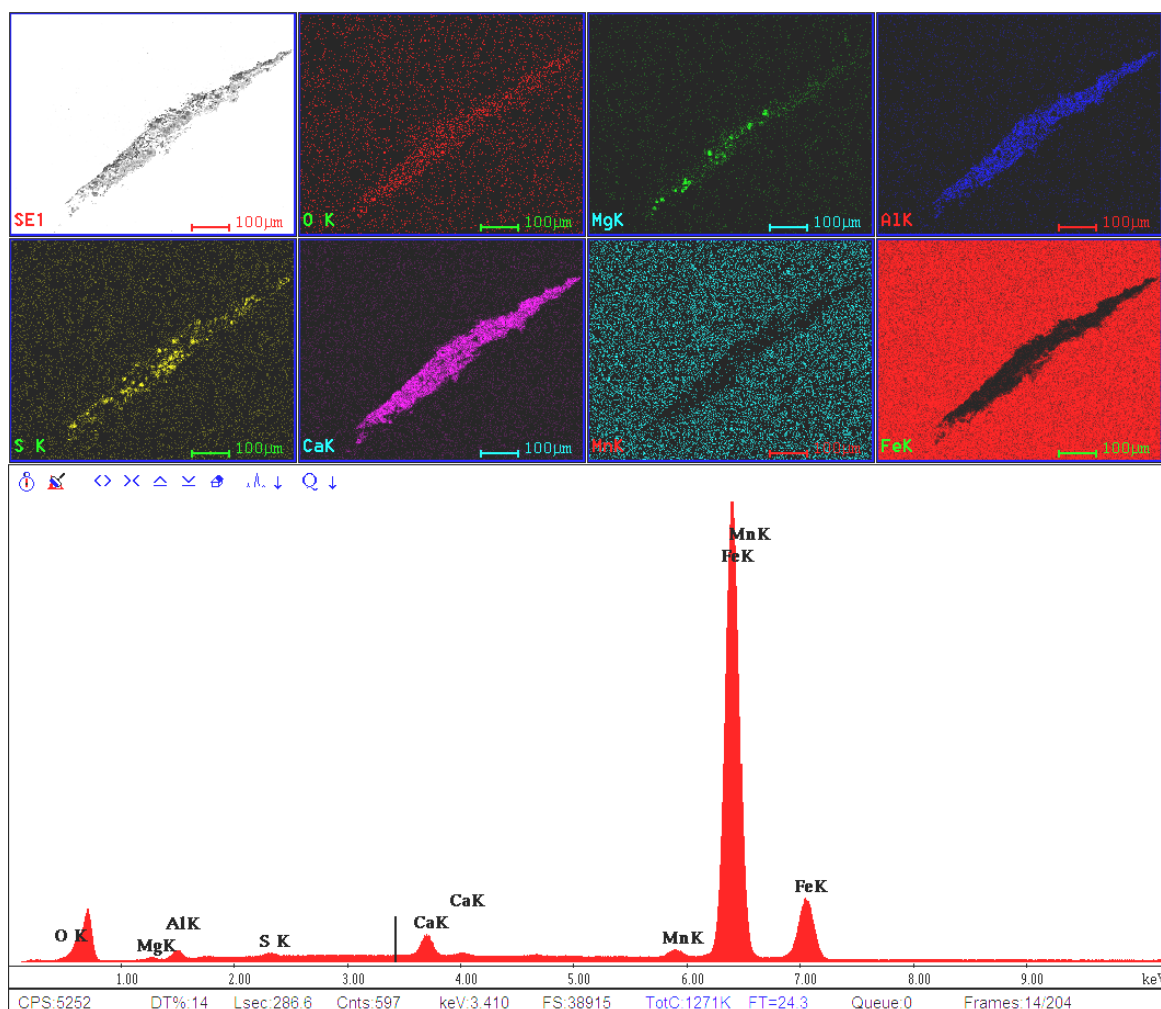


Fig. 7.70. a) În partea de jos a imaginii este evidențiat spectrul de raze X dispersiv în energie (EDAX) obținut pe microaria prezentată în fig. 7.66. Se observă prezența în această microarie a elementelor: **O, Mg, Al, S, Ca, Mn și Fe;**

b) În colțul din stânga sus al imaginii este evidențiat aspectul microariei analizate prezentă și în fig.7.66;

c) Celelalte cadre ale imaginii prezintă distribuția razelor X caracteristice în microaria din cadrul din stânga sus al imaginii (imagine prezentă și în fig.7.67). Imaginea de mai sus arată prezența în **incluziunea din zona 1 – imaginea din fig. 7.66**, a elementelor **oxygen (O), magneziu (Mg), aluminiu (Al), calciu (Ca) și sulf (S).**

7.2.2. Analiza rezultatelor obținute

Din studiul analizei compoziției chimice a incluziunilor din probele studiate pot fi scoase în evidență următoarele:

- Limitele de variație pentru principalele trei elemente (predominante) din incuziunile analizate (microariile cu zona 1) la probele 1; 3; 4 și 5 sunt:

- O = 26,81 - 27,72 în % de greutate (media 27,26%);
- O = 43,44 - 44,38 în % atomice (media 43,91%);
- Al = 20,65 - 25,71 în % de greutate (media 23,18%);
- Al = 20,06 - 24,59 în % atomice (media 22,32%);
- Ca = 41,93 - 42,18 în % de greutate (media 42,05%);
- Ca = 26,01 - 27,72 în % atomice (media 26,86%);

- Ponderea celor trei elemente cumulate (O+Al+Ca) din compoziția incluziunilor variază în limitele: 86,41- 95,61% % greutate, respectiv 89,51-96,69% atomice (valorile medii fiind de 91,01% greutate, corespunzător 93,10% atomice; de menționat că foarte rar pot fi atinse valorile extreme).

- Elementele magneziu (Mg), siliciu (Si), sulf (S) și fier (Fe), prezente alături de celelalte trei elemente menționate anterior în zona 1 din microariile analizate, au o pondere relative mica în compoziția incluziunilor din probele 1; 3; 4 și 5, astfel:

- Mg = 2,43 - 3,36 în % de greutate (media 2,89%); ;
- Mg = 2,58 - 3,63 în % atomice (media 3,10%); ;
- Si = 1,07 - 1,36 în % de greutate (media 1,21%); ;
- Si = 1,00 - 1,26 în % atomice (media 1,13%); ;
- S = 1,01 - 3,36 în % de greutate (media 2,18%); ;
- S = 0,81 - 2,84 în % atomice (media 1,82%); ;
- Fe = 1,22 - 3,74% în % greutate (media 2,48%); ;
- Fe = 0,57 - 1,76 în % atomice (media 1,16%); .

- Referitor la conținutul de fier din incluziunile prezente în probele 1; 3; 4 și 5 a se constată o corelație cu conținutul de aluminiu și calciu (respectiv Al+Ca) existente în compoziția acestora, mai precis conținutul de fier este mai scăzut la valori mai mari pentru Al+Ca, fapt explicabil printr-o reducere mai avansată a [FeO] în prezența celor 2 dezoxidanți (reacția de autodezoxidare cu carbon este amorsată în cazul vidării).

- Privitor la proba 2 prezența atât de scăzută în concentrație a principalelor elementelor oxigen (O), aluminiu (Al) și calciu (Ca) din microaria analizată, dar și celorlalte cu pondere mai mica (magneziu (Mg), siliciu (Si), sulf (S) și fier (Fe)) se datorează faptului că incluziunea a fost smulsă în cursul procesului de pregătire (șlefuire – lustruire) a probei, determinarea fiind de fapt efectuată pe restul de incluziune rămas prins de masa metalică de bază.

- Se poate considera că prezența carbonului în proporție de 5,66% de greutate, respective 20,51% atomice, precum și faptul că incluziunea a fost

smulsă din masa metalică de baza, că această incluziune nemetalică a germinat pe suprafața altei incluziuni nemetalice (germinare eterogenă) de origine exogenă provenită din praful de lubrifiere din crisalizer. Ca urmare se poate considera că practic aceasta incluziune este mixtă și a avut inițial mărime/dimensiune mai mare decât un centru de cristalizare. Faptul că incluziunea nemetalică exogenă pe care se consideră că s-a format incluziunea endogenă, poate fi considerat și desprinderea relative ușoară a incluziunii de masa metalică de bază. De asemenea, se poate considera că fie incluziune exogenă la terminarea solidificării nu a fost în totalitate inclusă în interiorul incluziunii complexe, fie la smulgerea acesteia o parte a rămas prinsă la masa metalică de bază (numai în acest mod se poate explica prezența carbonului asemenea conținut în microaria analizată)

- În cazul probei nr. 6 la incluziunea analizată comparativ cu cele din probele 1; 3; 4 și 5 se observă o diferență semnificativă între elementele pe care acestea le conțin, atât a celor predominante (O; Al; Ca) cât și a celor în proporție mai scăzută (Mg; Si; S; Mn și Fe), raportate la valorile medii, minime (O; Al; Ca; abateri -) și maxime (Mg; S, Fe; abateri +), astfel:

- oxigen -3,41%; aluminiu -6,71%; calciu -9,85%;
- oxigen - 2,98%; aluminiu -4,22%; calciu -11,34%;
- magneziu. +5,67%; sulf +5,52%; fier + 10,23%;
- magneziu. +5,20%; sulf +4,86%; fier + 9,63%;

Având în vedere diferențele respective se poate considera că incluziunea s-a format într-o microzonă în care procesul de dezoxidare nu a fost finalizat.

- Referitor la zona 2, s-a observat prezența în această microarie a elementelor: **Fe și Mn**;

- Incluziunile studiate sunt bine încastrate în masa metalică (oțel) cu excepția celei din proba 2 și au dimensiuni de peste 200 μm (205 -716,49 μm) și diferite forme;

- Incluziune analizată din proba 1 (microaria din zona 1) are o formă neregulată, dimensiunea maximă 374,29 μm;

- În cazul probei nr.2, amprenta rezultată ca urmare a smulgerii incluziunii (microaria din zona 1) la pregătirea probei (șlefuire) are un diametru de 110,04 μm, ceea ce conduce la concluzia că incluziunea a avut cel puțin acest diametru și formă globulară;

- Incluziune analizată din proba 3 (microaria din zona 1) are o formă poliedrică neregulată, dimensiunea maximă 374,29 μm;

- Incluziunile analizate din probele 4 și 5 (microaria din zona 1) au formă globulară cu diametru 305,96 μm și respectiv 292,94 μm;

- Incluziune analizată din proba 6 (microaria din zona 1) are o formă alungită, dimensiunea maximă 715,49 μm.

7.2.3. Concluzii

1. Analiza morfo-structurală prin microscopie electronică de baleiaj demonstrează faptul că în probele analizate s-a detectat prezența unor incluziuni complexe, încastrate în aliaj, de dimensiuni mai mari de 200 μm , având în compoziție: **Ca, O, Al, Mg, S, Si**.

2. Restul suprafețelor analizate conțin un număr redus de incluziuni, cu dimensiuni sub 5 μm . Elemente din baia metalică, precum și cele provenite din adaosul de dezoxidanți dizolvate în baia metalică, ca urmare a reacțiilor de dezoxidare și desulfurare sunt generatoare de incluziuni nemetalice de dimensiuni mici (sub 5 μm)

7.3. Practica curentă la TMK Reșița privind dezoxidarea oțelurilor de înaltă puritate

Pentru a elabora oțeluri de înaltă puritate microscopică, este necesară adoptarea unei tehnici de elaborare specifică fluxului tehnologic. Pentru aceasta la TMK Reșița (pe perioada efectuării experimentărilor industriale) s-a recurs la câteva tehnici care și-au demonstrat eficiența, și anume (7.3.2.1- 7.3.2.3.):

7.3.1. Evacuarea oțelului lichid din cuptor în oala de turnare

Deoarece operațiunile tehnologice, respectiv ordinea adăosurilor în oala de turnare, prezintă importanță deosebită pentru o bună dezoxidare, acestea au fost făcute în următoarea succesiune:

- evacuarea oțelului cu reținerea totală a zgurii de afinare în cuptor;
- după acoperirea fundului oalei cu oțel lichid s-a făcut adaosul de var;
- s-a făcut adaosul de Al calup + prima porție de cocs/grafit (%C);
- când oțelul a ajuns la cca. 1/4 din înălțimea oalei s-a făcut adaos de feroaliajele + a II-a porție de cocs/grafit (%C, după caz)+bauxita+ desulfurant;
- înainte de terminarea deșarjării, s-a făcut adaos de materiale pentru dezoxidare zgurei: ferosiliciu (FeSi), șpan de aluminiu sau aluminiu granule, carbură de siliciu (SiC), silicocalciu (SiCa);

Cantitățile care au fost adăugate în la oala au asigurat realizarea a:

- cca. 80-85 % din analiza chimică finală a oțelului;
- % [S] < 0,055, pentru prima probă de la LF;
- % [Al] = 0,006...0,008, pentru prima probă de la LF.

Pentru a reduce activitatea [O] a fost aplicată următoarea schemă de dezoxidare: 10 kg Al (obligatoriu la evacuare) + 10 kg Al/100 ppm[O]. În continuare și pe toată perioada umplerii oalei, baia metalică a fost barbotată cu Ar prin două dopuri poroase (montate la fundul oalei). În acest mod au fost asigurate condiții favorabile pentru o reacție intensă de dezoxidare și o decantare avansată a produșilor de reacție. Agitarea băii metalice prin barbotare cu argon, are loc de la începutul introducerii adăosurilor pentru a produce o emulsionare/amestecare corectă/eficientă între zgură și baia metalică, pe de o

parte, iar pe de altă parte o decantare avansată a produșilor oxidici complecși ca fază nemetalică din baie în zgură [$((\text{Si-Al-Mn})_x \text{O}_y)$] \rightarrow [$((\text{Si-Al-Mn})_x \text{O}_y)$]).

7.3.2. Tratamentul oțelului lichid în instalația LF

Importanță deosebită în acesta fază a fluxului tehnologic de elaborare a oțelului are procesul de formarea zgurei, cu rol de: dezoxidare, desulfurare, protecția băii metalice împotriva reoxidării, absorbția incluziunilor din baia de oțel, precum și reținerea gazelor din baie, dar de dorit să permită trecerea lor din baie în atmosfera agregatului de procesare a oțelului lichid.

Procesul de formare a zgurei la LF este legat de emulsionare acesteia cu oțelul lichid în procesul de barbotare cu Ar. Pentru formarea acestei zguri (reducătoare) a fost făcut în oala de turnare adoaș de var și bauxita în 3 porții (nu se indică mai mult de 3), asigurându-se:

- după fiecare porție adăugată, dizolvarea fondanților a fost intensificată prin încălzire cu arc electric și barbotare intensă cu Ar;

- adaosul efectuat în prima parte a tratamentului, a condus la obținerea unei zguri cu conținuturi de (CaO) și (Al₂O₃) ridicate;

Pentru practica curentă se recomandă lucrul cu o cantitate de zgură în oală de max 15-20 kg/t (zgură formată din: ce a curs în oală la evacuare + cea rezultată din adoașurile în procesul de tratament LF).

În tabelul 7.8. se prezintă date privind calitatea zgurei la tratamentul LF (urmărit pe perioada experimentarilor).

Tabelul 7.8. Calitatea zgurei la LF

Caracterul desulfurant și dezoxidant	
Activitate oxigen	< 10 ppm
Indice de bazicitate I _b	2,5...4
Grad de oxidare, (FeO)+(MnO)	< 1,0%

Dezoxidarea: când temperatura băii metalice $T > 1590^{\circ}\text{C}$, se face reducerea zgurei (dezoxidarea) cu amestec reducător/dezoxidant format (în diferite proporții) din: cocs; span de Al/ (aluminiiu granule), SiC, FeSi mărunț, SiCa, AlCaSi etc..

Alierea :

- feroaliajele pentru aliere se adaugă obligatoriu în zona de barbotare în următoarea ordine:

1. FeSiMn sau FeMn și FeSi funcție de necesar și disponibil;
2. FeMo/Ni (de dorit recuperare avansată din încărcătură);
3. FeCr (diferite sortimente , funcție de %Cr și %C);
4. cocs calcinat (resturi/spărturi de electrozi de grafit);
5. FeV/FeNb/FeTi/FeB.

- se măsoară temperatura băii metalice (ținta este $> 1600^{\circ}\text{C}$);

- se oprește încălzirea 2-3 minute, timp în care se efectuează o barbotare intensă a oțelului cu argon în oală pentru omogenizare chimică și termică, desulfurare, decantare a incluziunilor și degazare;

- eventualele corecții la analiza chimică, dacă se impune, se fac respectând regula: adusuri de corecție la feroaliaje, să fie în cantitate de max. 200 kg, dar nu mai târziu de ultimele 20 de minute ale tratamentului, garantându-se astfel un nivel redus de incluziuni nemetalice în oțel.

Microalieria: Tehnica producerii grăunților cristalini fini –fine crystalline grains se face prin adausurile în oțel de Al sub formă de fir și numai în faza finală a microalierii, astfel :

- imersia firului de Al;

- după 2-3 minute se prelevează o probă pentru analiză chimică;

- în continuare se barbotează liniștit, fără descoperirea oglinzii de oțel timp de 2...3 min (se evită astfel reoxidarea băii);

- dacă se impune, se fac eventualele corecții la %Al, dar numai după ce este cunoscută analiza chimică, obligatoriu se menține barbotarea liniștită. **Este interzisă încălzirea oțelului cu arc electric;**

- în continuare se face imersia cu fir umplut cu SiCa pentru globulizare Al_2O_3 (alumiinaților) și evitarea fenomenului de clogging la turnarea continuă, fiind interzis adausul de fir de Al după cel de SiCa;

- **oțelurile sunt turnate în condiții optime dacă $[Ca]/[Al]:0.92-1,02$ (considerat raport optim), fig.7.1.A.**

Pentru omogenizarea chimică și termică a oțelului din oală, precum și decantarea avansată a produșilor finali de reacție, s-a efectuat o barbotare liniștită cu argon timp de 5 minute după adăugarea firului umplut cu SiCa, fără descoperirea oglinzii de oțel lichid (deci o bună corelație cu presiunea gazului inert). Nerespectarea acestei prevederi tehnologice poate determina la MTC variații mari de nivel în cristalizor și apariția de defecte pe suprafața țaglei turnate sau obturarea tuburilor de imersie și oprirea funcționării MTC. De menționat că, adausul de SiCa în exces, poate conduce atunci când raportul $[Ca]_{total}/[O]_{tot} > 2,2$ la separări masive de CaS, care la rândul lor conduc la o scădere a fluidității oțelului, la variații mari de nivel în cristalizorul MTC datorită colantării tuburilor de imersie, respectiv la oprirea mașinii prin blocarea totală a tuburilor de imersie, cu efecte negative pentru calitatea semifabricatelor și a productivității fluxului de fabricație.

7.3.2.1. Tratamentul LF în cazul oțelurilor resulfurate

Abordarea tehnologică a elaborării oțelurilor resulfurate, are în vedere o serie de particularități specifice legate de formarea compușilor de reacție în sistemul ternar Al_2O_3 -CaS-CaO (fig.7.2.A).

În cazul oțeluri resulfurate, creșterea temperaturii nu produce creșterea

semnificativă a fluidității oțelului, singura metodă tehnologică de fluidificare este tratamentul corect cu SiCa.

Pentru a îmbunătăți turnabilitatea oțelului resulfurat se impune parcurgerea următoarelor faze tehnologice:

- înainte de începerea resulfurării cu S este obligatoriu o desulfurarea avansată a băii care să asigure sub 0,006 % [S];
- imersarea Al sub formă fir și barbotare liniștită timp de 3-5 min, fără a descoperi oglinda de oțel lichid;
- imersarea firului umplut cu SiCa și barbotarea liniștită timp de 3-5 min, fără a descoperi oglinda de oțel lichid;
- imersia firului umplut cu S și barbotarea liniștită timp de max. 5 min, fără a descoperi oglinda de oțel lichid;

Prin barbotarea liniștită fără a se descoperii oglinda de oțel lichid se evită procesul de reoxidare a băii de oțel (oxidarea secundară). Nerespectarea acestor prevederi poate conduce la variații mari de nivelul oțelului în cristalizor și apariția de defecte pe suprafața semifabricatului turnate continuu sau obturarea tuburilor de imersie, în consecință oprirea funcționării MTC.

După resulfurare se recomandă $[S]=0,020 - 0,035 \%$ și $[Al]= 0,015-0,025\%$.

7.3.3. Studiu de caz privind impurificarea oțelului în cristalizor

7.3.3.1. Cadru experimental

O situație practică a apărut în cazul turnării unei șarje de oțel Marca 4140. Etapele de topire, tratament secundar și vidare au decurs conform procedurilor, prevăzute în instrucțiunile tehnologice, oala cu oțel ajungând în condiții bune la turnarea continuă (MTC). După 6 minute de la deschiderea oalei, operatorul de pe firul 1a constatat în tubul de imersie o fisură; a solicitat coborârea distribuitorului astfel încât fisura să fie sub nivelul zgurii din cristalizor (imersia era la 170 mm). Ca urmare a faptului că fisura se accentua și genera o vălurire anormală în zona zgurii din cristalizor, operatorul de fir a oprit turnarea pe acel fir, continuându-se pe celelalte 2 fire.

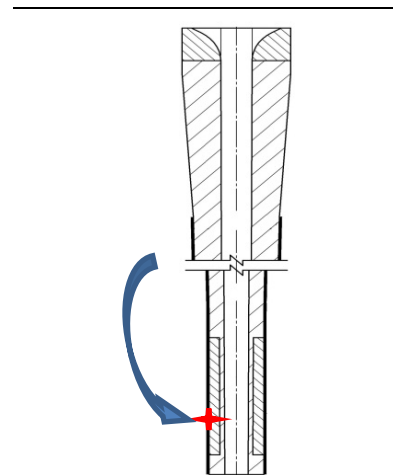


Fig.7.71. Fisură în tubul de imersie

7.3.3.2. Rezultatul studiului de laborator (preliminar) la TMK Artrom.

Ca urmare a primirii unei reclamații de la beneficiar, TMK Artrom a efectuat probe de strunjire pe țeava existent în stoc TMK Artrom.

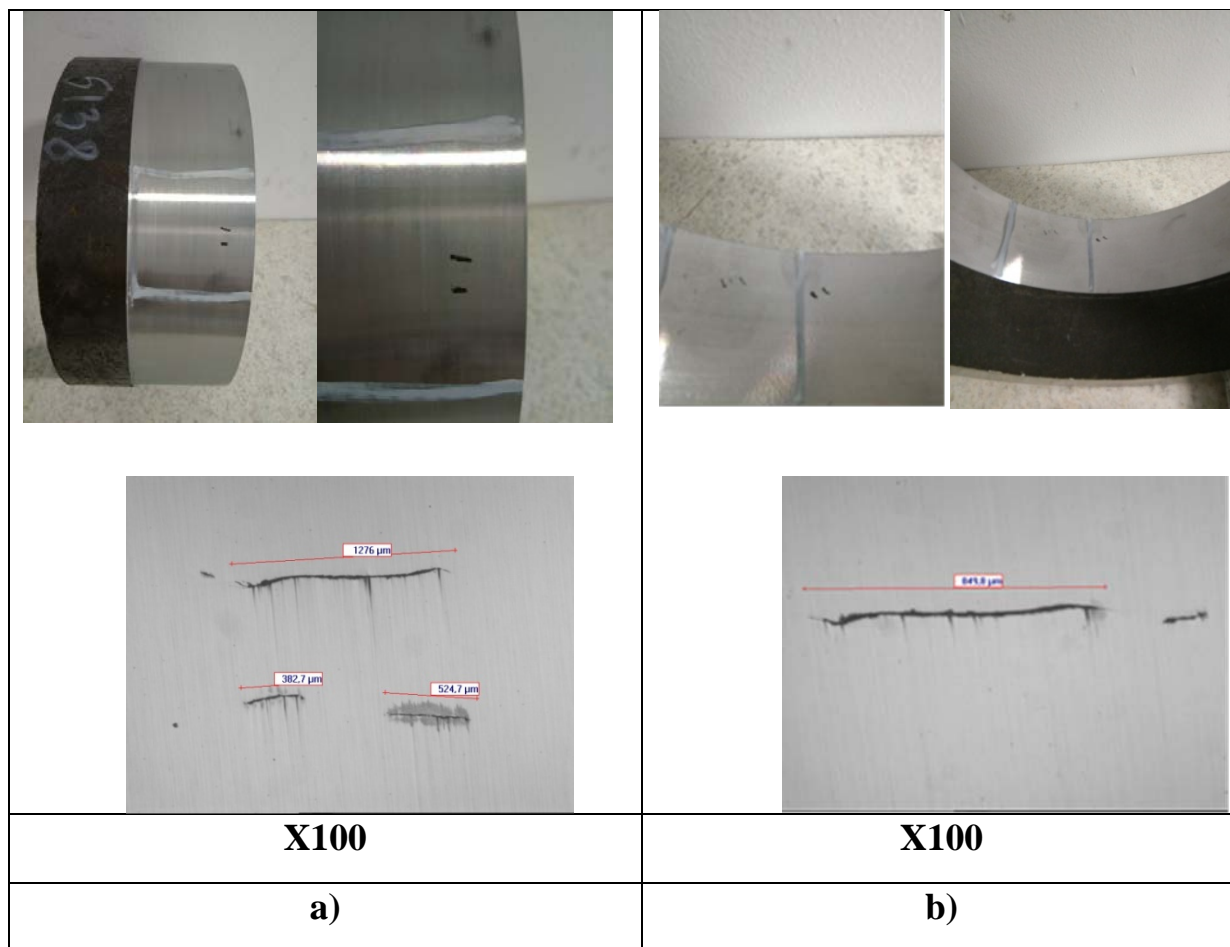


Fig7.72. Microfotografiile cu defecte pe suprafața exterioră-(a) și interioară-(b) a țevii

Țeava a fost prelucrată prin strunjire pe suprafața interioară și exterioră câte 2 mm. După prelucrare s-a analizat aspectul suprafețelor și au fost depistate discontinuități de material pe ambele suprafețe. S-au prelevat 2 slifuri, unul cu defect la suprafața interioară (a) și al doilea (b) cu defect la suprafața exterioră. Defectele au adâncimi de: (a) – 36.73 microni, (b) – 9.13 microni și sunt însoțite de incluziuni subcutanate. S-a inspectat la microscop întreaga suprafață a șlifurilor și s-au depistat numeroase incluziuni de tip silicați plastici foarte mari, conform microfotografiilor de mai jos (fig. 7.72).

Pe baza analizei microfotografiilor cu defecte de suprafață pe partea exterioră și interioară a probelor prelevate se pot scoate în evidență următoarele concluzii:

- defectele semnalate de beneficiar se confirmă și se regăsesc pe probe prelevate din țevile existente în depozit;
- defectele sunt generate de impurități mari de origine exogenă (fie din zgură provenită din distribuitor fie din cristalizor).

7.3.3.3. Rezultatul analizei de laborator privind compoziția chimică

Pentru a stabili mai precis faza tehnologică în care s-au produs aceste incluziuni nemetalice pe țagla turnată continuu, s-a determinat compoziția chimică a incluziunii, întrucât doar aprecierea morfologică a incluziunilor nu este suficientă pentru a stabili proveniența lor. Probele au fost analizate prin microscopie electronică de baleiaj (SEM) și microanaliză de raze X dispersivă în energie (EDAX) la microscopul electronic cu baleiaj Quanta Inspect la Universitatea Politehnică BUCUREȘTI, Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor.

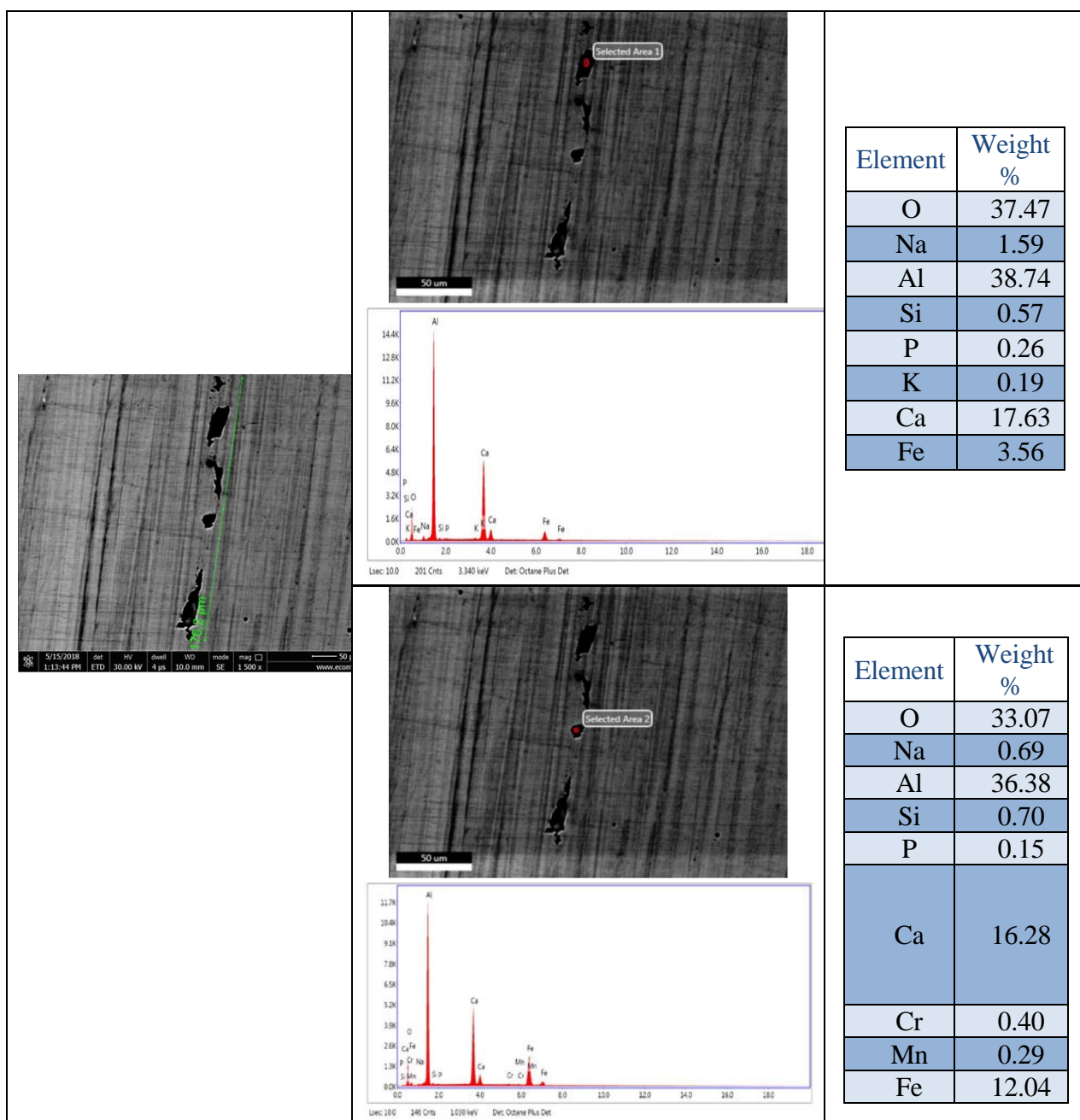


Fig 7.73.Compoziția chimică a incluziunilor

7.3.3.4. Compararea nivelului de incluziuni pe firele Mașinii TC .

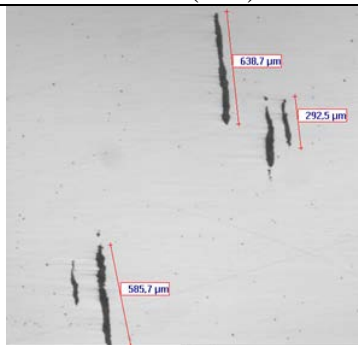

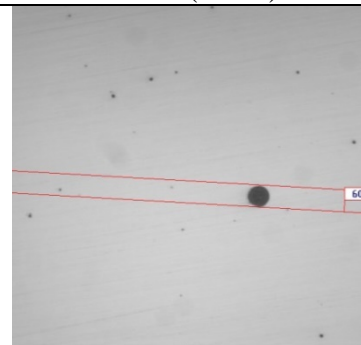
Firul TC	Firul 1 (50x)	Firul 2 (100x)	Firul 3 (100X)
Aspect metalografic			
Comments:	SP=max 638.7μm	SN=65.11μm	SN=60.19μm

Fig 7.74. Evaluarea la microscop în cadrul laboratorului metalografic TMK Artrom

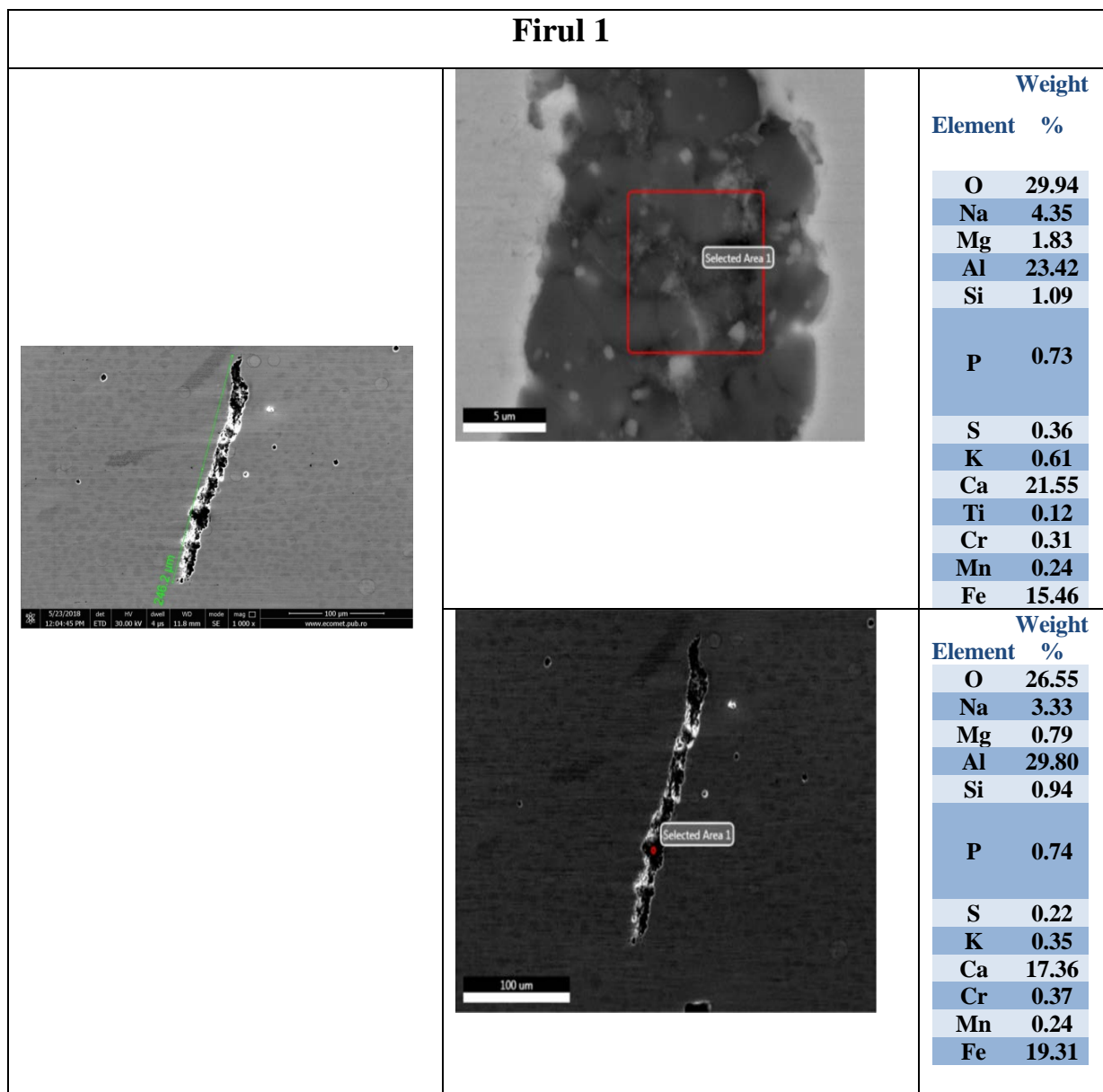
Tabelul 7.9. Determinarea purității conform ASTM E45, metoda A

	Nr. prb	A		B		C		D		Observații
		ss	sg	ss	sg	ss	sg	ss	sg	
Ø220 F1	1	0.5	0	0	0	>3	0	1.5	0.5	SPmax 798μm
	2	0	0	0	0	1	0	2	0	
	3	0	0	0	0	>3	0	2	0.5	SPmax 275.6μm
	4	0	0	0	0	>3	0	2	0.5	SPmax 1176μm
	5	0.5	0	0	0	1	0	2	0	
	6	0	0	0	0	>3	0	2.5	1	SPmax 1028μm
	Med.	0.17	0	0	0	>2.33	0	2	0.42	NOK
Ø 220 F2	1	0	0	0	0	0.5	0	2	0.5	
	2	0	0	0	0	0.5	0	2	>3	SN=65μm
	3	0.5	0	1	0	1	0	2	0.5	
	4	0	0	1	0	1	0	2	0.5	
	5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	2	0.5	
	6	0.5	0	1	0	1	0	2	0	
	Med.	0.25	0	0.58	0	0.75	0	2	>0.83	NOK
Ø 220 F3	1	0	0	0	0	1.5	0	2.5	1	
	2	0	0	0	0	1	0	1.5	>3	SN=60.19μm
	3	0	0	0	0	0.5	0	2	1	
	4	0	0	0	0	1.5	0	2	1	
	5		0					2		
	5	0	0	0	0	2	0	2	0.5	SP=178.6μm
	6	0	0	0	0	1	0	2	0.5	
Med.	0	0	0	0	1.25	0	2	>1.17	NOK	
P.imp		≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	oțel foarte pur
Puncti mpus		>1 ≤2	>1 ≤2	>1 ≤2	>1 ≤2	>1 ≤2	>1 ≤2	>1 ≤2	>1 ≤2	pentru oțel pur

Deoarece doar determinarea naturii incluziunilor nu clarifică amploarea fenomenului, s-a trecut la efectuarea unei comparații între fire privind nivelul și aspectul incluziunilor; astfel încât au fost prelevate în acest scop probe din

toate cele 3 fire. Studiul la microscop optic metalografic a scos în evidență o diferență între aspectul și nivelul incluziunilor. În continuare se prezintă rezultatele acestui studiu.

7.3.3.5. Compararea între nivelul incluziunilor



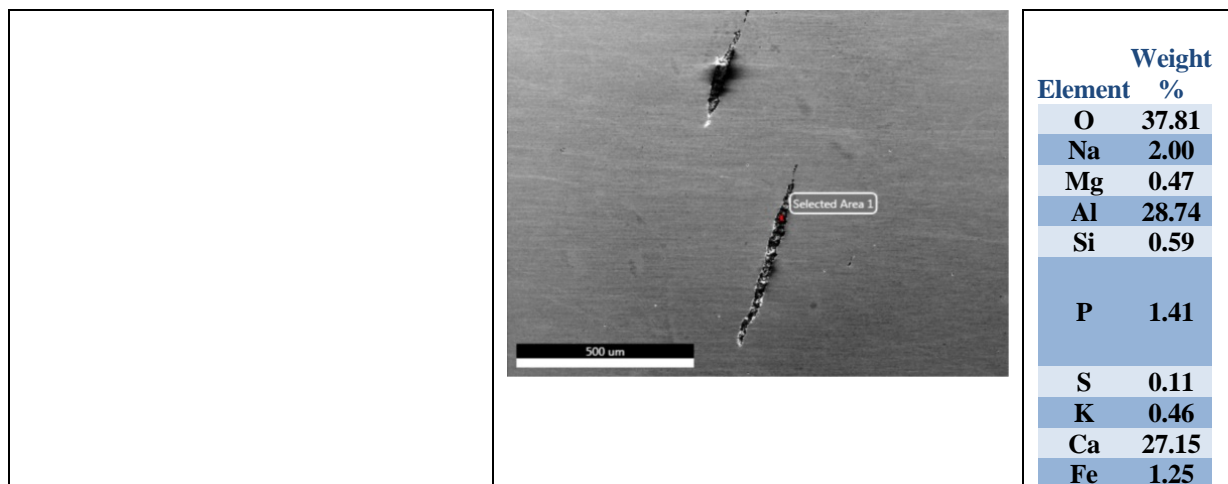


Fig. 7.75. Nivelul incluziunilor – probe firul 1

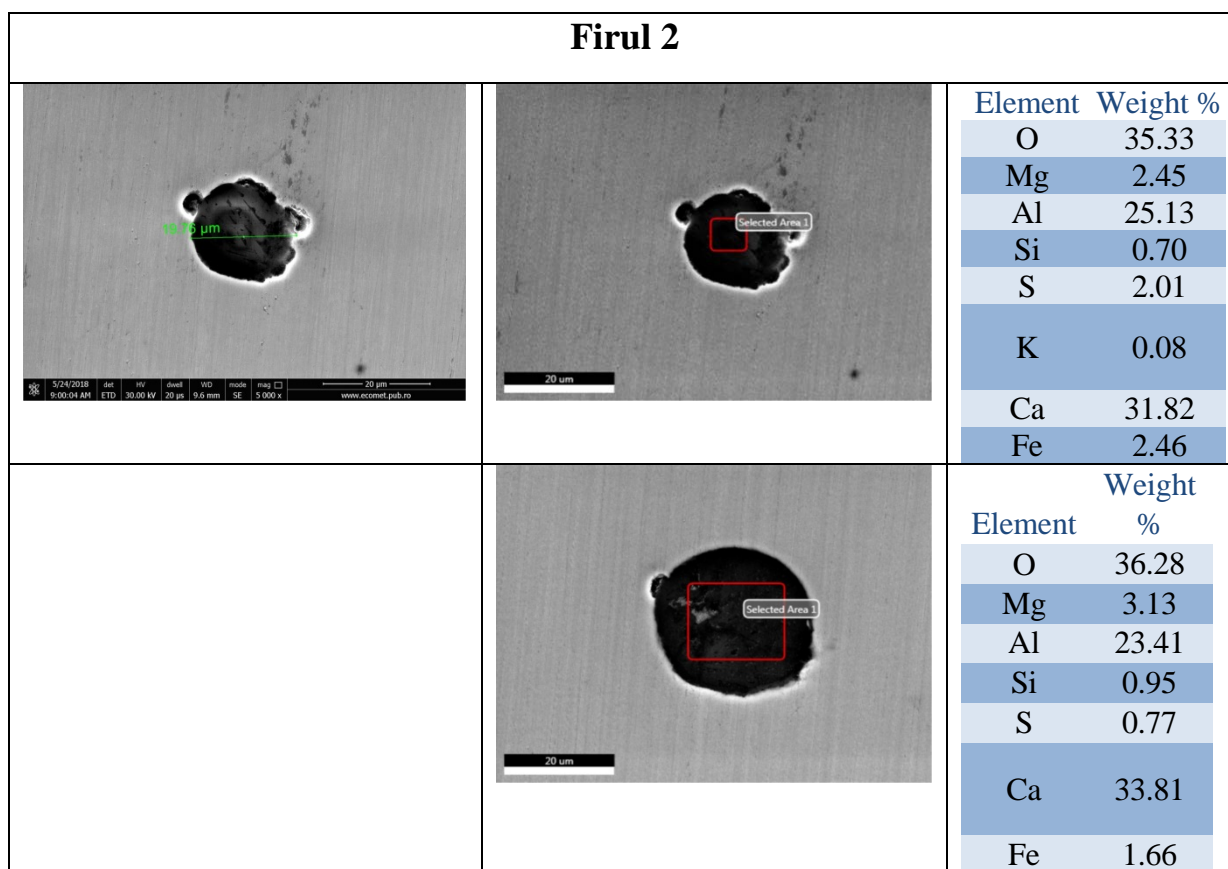


Fig. 7.76. Nivelul incluziunilor – probe firul 2

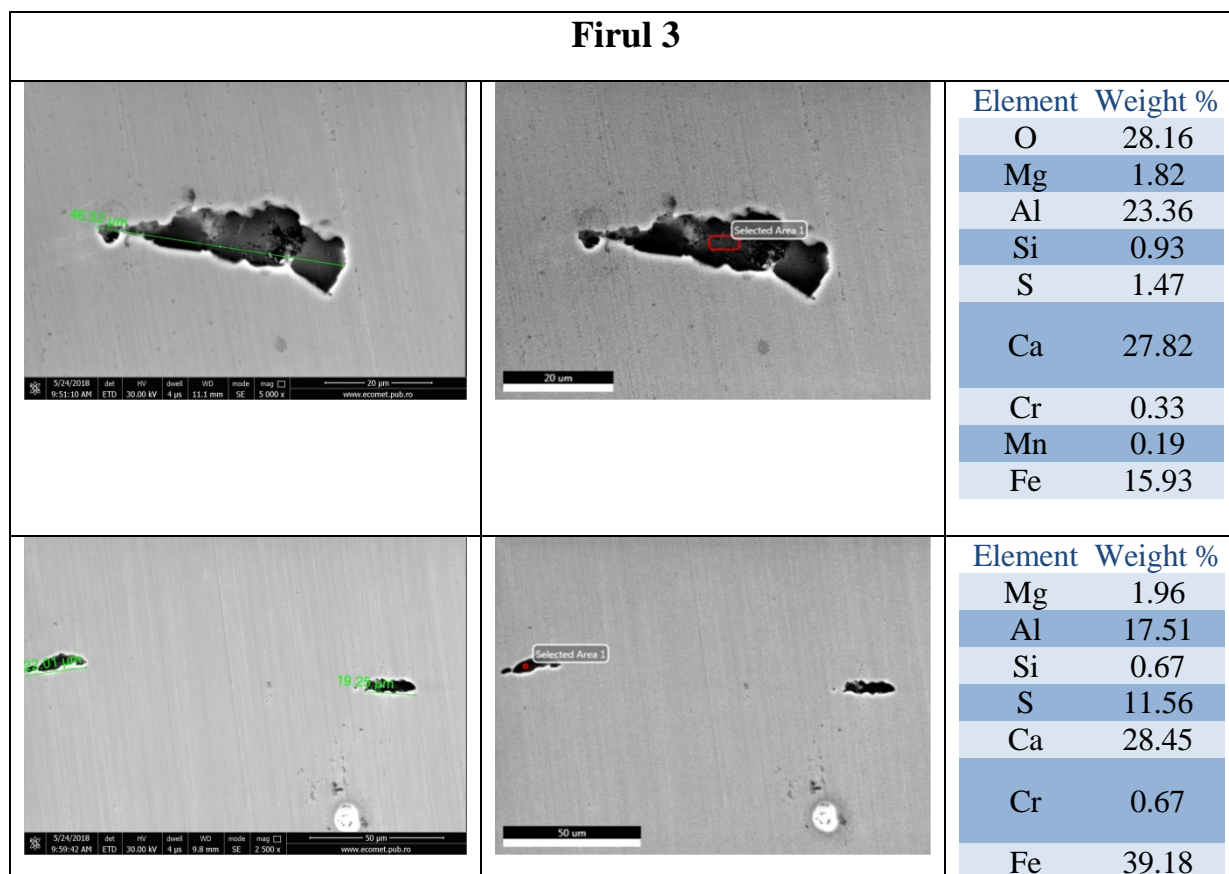


Fig. 7.77. Nivelul incluziunilor – probe firul 3

Concluzii :

Reanalizarea probelor separate pe fiecare fir de turnare utilizând tehnica de investigație din laboratorul Universității Politehnice, Facultatea de Știința și Ingineria Materialelor la mărimi de 2500x și 5000x, a condus la constatarea că:

- mărimea incluziunilor din probele prelevate de pe cele trei fire variază conform datelor prezentate în tabelul 7.10;

Tabelul 7.10. Mărimea incluziunilor nemetalice pe cele trei fire

Firul	Mărimea Incluziunilor (μm)			Particularități
			Media	
1	I	53,92 - 337,61	195,76	Prezența elementelor chimice Na, K , element utilizate pentru generarea punctelor de topire în prafurile de turnare
	II	246,2 - 571,0	408,61	
2		19,76 -28,95	24,35	Aspectul unor incluziuni din domeniul de „normalitate „ pentru marca de oțel aliat 4140 la care, produșii de reacție sunt prezenți în oțel datorită alierii oțelului cu FeMo, FeCr
3		19,25 -46,52	32,88	

- Impurificarea oțelului cu incluziuni de dimensiuni de aproximativ 10 ori mai mari pe firul 1, comparativ cu F2 și F3, s-a produs la turnare în momentul în care tubul de imersie s-a fisurat; curgerea oțelului lichid prin tub a antrenat praf de lubrifiere din cristalizor, fapt confirmat de compoziția incluziunilor.

CAPITOLUL 8

VERIFICAREA INDUSTRIALĂ A REZULTATELOR OBTINUTE ÎN CADRUL CERCETĂRILOR EFECTUATE

8.1. Considerații tehnologice

Rezultatele obținute în cadrul cercetărilor efectuate au fost verificate în practică la aceeași societate, pe un număr de cinci șarje de oțel (aceeași marcă ca la experimentări și același flux tehnologic), valorile pentru principali parametri tehnologici sunt prezentate în tabelele 8.1 și 8.2. De menționat că referitor la structura și calitatea încărcăturii (materii prime și auxiliare) nu au fost deosebiri semnificative (variații în limite obișnuite), respectiv procesarea oțelului în instalațiile LD și VD au decurs fără nici o abatere tehnologică.

8.2. Analiza tehnologică a rezultatelor obținute

Rezultatele obținute se prezintă în sinteză în tabelele 8.3; 8.4 și 8.5, acestea fiind urmate de analiza tehnologică.

Tabelul 8.3. Valori pentru parametrii dependenți

Nr. șarjă:exper./corelație	Δ_H , ppm	η_H , %	Δ_N , ppm	η_N , %	[O] _{FVD}	
0	1	2	3	4	5	6
1	Șarja 1-din exper.	3,4	79,07	25	31,88	20,5
	Șarja 1- din corelații	3,27	77,38	23,14	32,25	19,8
2	Șarja 2-din exper.	3,5	72,92	28	33,33	21,0
	Șarja 2- din corelații	3,28	73,51	27,02	32,17	21,5
3	Șarja 3-din exper.	3,3	73,33	24	26,74	18,0
	Șarja 3- din corelații	3,37	71,24	25,11	25,29	18,33
4	Șarja 4-din exper.	3,6	67,93	21	26,58	20
	Șarja 4- din corelații	3,71	68,14	21,87	27,85	21,1
5	Șarja 5-din exper.	2,9	62,07	26	31,71	21,5
	Șarja 5- din corelații	3,0,9	64,37	25,76	30,51	20,8

Tabelul 8.4. Date referitoare la eliminarea hidrogenului

Nr. șarjă	^{*)} $ \Delta_{Hex} - \Delta_{Hcor} $, ppm	$((\Delta_{Hex} - \Delta_{Hcor})100)/\Delta_{Hex}$, %	$ \eta_{Hex} - \eta_{Hex} $, %	$((\eta_{Hex} - \eta_{Hex})100)/\eta_{Hex}$, %
0	2	3	4	5
1	0,13	3,82	1,69	2,13
2	0,22	6,29	0,59	0,81
3	0,07	2,12	2,09	2,85
4	0,11	3,06	0,72	1,06
5	0,10	3,44	2,30	3,71

^{*)} In calculele tehnologice s-a lucrat cu valoarea absolută

Tabelul 8.1. Durata pricipalelor operații tehnologice efective și transfer între agregatele/utilajele de elaborare și turnare a oțelului

Nr. șarjă	Durata fazelor tehnologice, minute										
	EBT	EBT→LF	LF	LF→VD	VD	Total (1)+(3)+(5)	VD→TC	TC	Total (6)+(8)	Total Transfer (2)+(4)+(7)	Total șarjă (9)+(10)
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	73	9	71	12	26	170	43	95	265	64	327
2	74	7	74	12	25	173	42	92	265	61	326
3	76	7	73	11	24	173	41	91	264	59	323
4	72	8	76	13	27	175	38	94	269	59	328
5	71	9	74	13	26	171	39	90	261	61	322

Tabelul 8.2. Valorile parametrilor vidării și conținuturilor de gaze (H,N și O)

Nr șarjă	Parametrii (independenți) vidării						Conținuturi de azot și hidrogen				Oxigen
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	D_v	$D_{vid\ av.}$	$T_{int.VD}$	$T_{ieș. VD}$	ST_{VD}	Q_{AR}	$[H]_i$	$[H]_f$	$[N]_i$	$[N]_f$	$[O]_{fVD}$
	Min.	min.	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	l/t.min	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	23	15	1687	1621	67	3,21	4,3	0,9	85	60	20,5
2	24	16	1678	1619	59	3,34	4,8	1,3	84	56	21,0
3	24	16	1690	1625	65	2,96	4,5	1,2	89	65	18,0
4	26	17	1677	1621	56	2,73	5,3	1,7	79	58	20
5	28	17	1674	1618	56	3,46	4,3	1,1	86	62	21,5

Tabelul 8.5. Date referitoare la eliminarea azotului

Nr. șarjă	$ \Delta_{Nex} - \Delta_{Ncor} $, ppm	$((\Delta_{Nex} - \Delta_{Ncor})100) / \Delta_{Nex}$, %	$ \eta_{Nex} - \eta_{Nex} $, %	$((\eta_{Nex} - \eta_{Nex})100) / \eta_{Nex}$, %
0	2	3	4	5
1	1,86	7,44	0,45	1,42
2	0,98	3,50	1,16	3,48
3	1,11	4,62	1,45	5,43
4	0,87	4,14	1,27	4,78
5	0,24	0,93	1,20	3,78

Tabelul 8.6. Date referitoare la eliminarea oxigenului

Nr. șarjă	$ \Delta_{Oex} - \Delta_{Ocor} $, ppm	$((\Delta_{Nex} - \Delta_{Ncor})100) / \Delta_{Nex}$, %
0	2	3
1	0,7	3,41
2	0,5	2,38
3	0,33	1,83
4	1,1	5,5
5	0,7	3,26

Din analiza rezultatelor obținute, pentru principalii parametri dependenți urmăriți, se constată următoarele:

- valorile pentru cantitățile de [H] și [N] îndepărtate din baia de oțel, respectiv cele referitoare la randamentul de îndepărtare a acestora (determinări efectuate pe baza analizelor probelor de oțel prelevate din baia de oțel și a calculelor tehnologice), sunt foarte apropiate de cele rezultate din corelațiile stabilite prin programul MATLAB pentru toate cele 5 șarje experimentale;

- în cazul hidrogenului diferențele dintre valorile determinate pe probe și cele din diagramele de corelație variază între 0,07-0,22ppm, iar diferențele dintre valorile determinate pe probe și cele din diagramele de corelație raportate la cele din probe variază între 2,12 - 6,29% (tabelul 8.4);

- referitor la randamentul de îndepărtare a hidrogenului din baia de oțel, diferențele dintre valorile determinate pe probe și cele din diagramele de corelație variază între 0,59-2,30%, iar diferențele dintre valorile determinate pe probe și cele din diagramele de corelație raportate la cele din probe variază între 0,81-3,71% (tabelul 8.4);

- în cazul azotului diferențele dintre valorile determinate pe probe și cele din diagramele de corelație variază între 0,24 – 1,86ppm, iar diferențele dintre valorile determinate pe probe și cele din diagramele de corelație raportate la cele din probe variază între 0,93-7,44% (tabelul 8.5);

-- referitor la randamentul de îndepărtare a azotului din baia de oțel, diferențele dintre valorile determinate pe probe și cele din diagramele de corelație variază între 0,45-1,45 %, iar diferențele dintre valorile determinate pe probe și cele din diagramele de corelație raportate la cele din probe variază între 1,42-5,43% (tabelul 8.5);

- în cazul oxigenului diferențele dintre valorile determinate pe probe și cele din diagramele de corelație variază între 0,5 – 2,0 ppm, iar diferențele dintre

valorile determinate pe probe și cele din diagramele de corelație raportate la cele din probe variază între 1,83-5,5% (tabelul 8.5);

În concluzie se poate considera că rezultatele obținute în cadrul verificării rezultatelor cercetării, confirmă valabilitatea cercetărilor efectuate și posibilitatea acestora în practica curentă.

PARTEA III-a

CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

CAPITOLUL 9

CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR

9.1. Concluzii finale recapitulative

Din analiza studiilor din literatura de specialitate și cercetărilor efectuate la nivel industrial, ies în evidență o serie de concluzii finale, astfel:

1) în prezent pe plan mondial societățile siderurgice sunt echipate cu convertizoare cu oxigen, cuptoare cu arc electric de mare și foarte mare putere (predomină cuptoarele tip EBT), instalații de procesare în oală (fără și cu aport de căldura, respectiv fără și cu tratare în vid), instalații de turnare continuă (frecvent se practică turnarea continuă secvențială) și, după caz, diferite tipuri de laminoare, instalații de deformare plastică la cald și rece;

2) pe plan national ca urmare a restructurării industriei siderurgice (în perioada 1990-1999 au fost dezafectate cele 4 oțelării Siemens-Martin) mai există o societate siderurgică ArcelorMittal Galați (cu o singură oțelărie echipată cu 3 convertizoare cu oxigen) și 4 societăți siderurgice echipate cu cuptoare cu arc electric: ArcelorMittal Hunedoara, TMK Reșița, Târgoviște și Donasid Călărași, toate fiind prevăzute cu instalații de procesare în oală de tip LF și VD, precum și mașini de turnare continuă;

3) durata șarjei la cuptoarele electrice cu arc tip EBT este cuprinsă între 45 – 75 min (foarte apropiată de cea la convertizoarele cu oxigen), fiind foarte mult influențată de calitatea încărcăturii, gradul de pregătire a acesteia, foarte mult de conținutul de fier a acesteia și nu în ultimul rând de nivelul de pregătire a operatorului tehnologic;

4) durata procesării în instalațiile LF este cuprinsă uzual între 50 – 90 minute, iar în VD de 22-30 minute acestea fiind influențate de structura secvenței de turnare, respectiv de sincronizarea procesului de elaborare în cuptor, procesarea în oala de turnare și turnarea continuă secvențială (în prezent se tinde spre creșterea cantității de oțel turnat într-o secvență (respectiv a numărului de oale turnate);

5) Instalațiile moderne de turnare asigură turnarea unei game variate de semifabricate de diferite secțiuni poligonale, circulare și produse plate, tendința actuală este de a se turna semifabricate cu secțiune cât mai apropiată de cea finală;

6) Referitor la calitatea încărcăturii metalice în ultimii 8-10 ani se constată o creștere a sortimentului de încărcătură de tip scoarțe (de proveniență internă sau externă) cu conținut de fier în limite largi, ceea ce are influență mare asupra consumurilor specifice (metal, energie, materiale refractare etc.).

7) îndepărtarea gazelor din baia de oțel a fost și este în continuare o problemă permanentă a inginerilor metalurgi, apărută odată cu dezvoltarea producției de oțel, astfel încât acest proces tehnologic este tot mai mult studiat în ultimii ani, mai ales în cadrul operației de rafinare.

8) în prezent dispunând de tehnica modernă de analiză chimică și tehnici informatice se pot stabili corelații între caracteristicile zgurii, parametrii barbotării cu argon și cei ai vidării asupra conținutului de gaze în oțel după vidare, cantitatea de gaze îndepărtată și randamentul de eliminare a acestora, corelații utile în cercetarea și practica tehnologică.

9) condițiile favorabile pentru conținut scăzut de hidrogen și azot în oțel sunt:

- folosirea unor materii prime și auxiliare cu conținut scăzut de umiditate sau H și N (încărcătură metalică, minereu, var, calcar, var dolomitiv, feroaliaje etc.)
- asigurarea unei viteze de decarburare suficient de mari, mai precis superioare celei critice ($v.c. > v.c._{cr}$);
- folosirea unei zguri cu bazicitate minimă admisibilă din punct de vedere a altor procese tehnologice (defosforare, desulfurare etc).
- durată cât mai mică de menținere a oțelului în cuptor după dezoxidare, deoarece $v.c.=0$ și deci $V_{elim}^{H,N}=0$.

10) pentru îndepărtarea avansată a gazelor dizolvate (H,N) în oțelul lichid se practică barbotarea cu un gaz inert (în general argon) iar în cazul oțelului inoxidabil aliat și cu azot, chiar barbotarea cu azot (în prezent introdus prin dop poros/ (unul sau două) montat la fundul oalei);

11) în mod obișnuit, volumul de argon $V_{Ar,N} = 0,25 - 1,5m^3/t$ și presiunea acestuia $P=4-5$ at., gradul de degazare fiind cu atât mai mare, cu cât cantitatea de argon, suflat în baia de oțel este mai mare.

12) la vidarea oțelului, eficiența barbotării cu argon crește, această creștere fiind generată de scăderea presiunii deasupra băii metalice, respectiv în bula de argon și ca urmare se intensifică difuzia gazelor din baie în interiorul acestora.

13) degazarea prin barbotarea cu argon se practică și la unele convertizoare speciale (AOD) precum și la procesarea oțelului în oala de turnare (metalurgia în oală).

14) în practica curentă, o îndepărtare mai avansată a gazelor din oțel se obține prin tratarea acestuia sub vid, mai ales sub vid avansat ($10^{-2} - 10^{-4}mmHg$), gradul de degazare variază în general mult în funcție de solubilitatea gazelor în oțel, de starea lor (libere sau în combinație) și de anumite caracteristici ale procedeelor de tratare în vid, ca de exemplu starea de agitație, suprafața expusă vidului etc., ca valori de reper se poate admite că se îndepărtează 60 – 70% din hidrogen și 0 – 40% din azot;

15) în practica există o corelație între degazarea și decarburarea în vid, explicabilă prin faptul că scăderea presiunii deasupra băii metalice, activează reacția autodeoxidare cu carbon și bulele de oxid de carbon {CO} antrenează hidrogenul și azotul și, în plus, agitând oțelul lichid, facilitează difuzia și degajarea lor, astfel încât prin aceste efecte conjugate, la procesarea oțelurilor în instalații cu vid de $10^{-2} - 10^{-3}mmHg$ se poate ajunge la un conținut $[H_f] = 0,5ppm$ (0,00005%); de menționat faptul că la procesarea oțelului în instalații de vidare (fără sau cu aport de căldură - RH., VD., respectiv VOD., VAD.) baia metalică este agitată

frecvent prin barbotarea cu argon (se poate utiliza și azot pentru unele oțeluri inoxidabile) sau agitare electromagnetică (prin inducție).

16) dezoxidarea este operația tehnologică prin care se reduce conținutul de oxigen dizolvat în oțel până la limita admisibilă în fiecare tip de oțel (calmat, semicalmat și necalmat) și se face prin următoarele metode: precipitare, extracție/difuziune și cu ajutorul vidului.

17) metoda de dezoxidare prin precipitare constă în esență în introducerea în oțelul lichid a unor materiale, **denumite dezoxidanți**, cu următoarele caracteristici:

- conțin elemente cu afinitate față de oxigen mai mare decât a fierului;
- elementul dezoxidant se combină cu oxigenul dizolvat în oțel și formează oxizi stabili și insolubili în oțelul lichid, care se separă (precipită) în faze oxidice decantând avansat din baia metalică;

- greutate specifică și granulație mari pentru a putea pătrunde în oțelul lichid (sau cel puțin la interfața zgură-oțel) și să reacționeze cu oxigenul dizolvat în oțel; o altă soluție tehnologică este aceea de imersare în baia de oțel a feroaliajului sub formă de sârmă (fir de aluminiu) sau fir umplut (SiCa, AlCaSi);

- să fie convenabil din punct de vedere economic;

- să nu degaje noxe.

18) în practica curentă se folosesc;

- dezoxidanți uzuali simpli: feromangan-FeMn, ferosiliciu – FeSi și aluminiu;

- dezoxidanți complecși: silicomangan-SiMn, silicocalciu-SiCa, AlCaSi;

- dezoxidanți speciali: vanadiu, titan, zirconiu, niobiu, lantanide/mișmetal.

19) dezoxidarea prin precipitare prezintă următoarele avantaje:

- durata mică a operațiunii în comparație cu dezoxidarea prin extracție;

- posibilitatea obținerii unui conținut foarte redus de oxigen în oțel;

- posibilitatea reglării mărimii grăuntelui de austenită;

iar ca dezavantaje pot fi considerate:

- consumul de dezoxidant cu influență asupra prețului de cost a oțelului;

- impurificarea oțelului cu produși de dezoxidare, respectiv cu incluziuni nemetalice endogene;

De menționat că această metodă se aplică industrial la orice șarjă de oțel, indiferent de agregatul de elaborare și metoda de turnare.

20) dezoxidarea oțelului prin extracție/difuziune are la bază faptul că oxigenul, respectiv oxidul feros FeO, este solubil atât în oțel, cât și în zgură, astfel încât ca urmare a reducerii acestuia din zgură se creează condiții favorabile ca oxigenul din oțel să fie “extras” în zgură (să difuzeze).

21) tehnologic/practic dezoxidarea prin extracție înseamnă folosirea unor zguri cu conținut foarte redus de FeO (sub 1,5%) prin:

a) introducerea în zgură a unor elemente cu afinitate mare față de oxigen (C, Si, Al, Ca) care reduc (FeO), practic acționează ca dezoxidanți;

b) înlocuirea zgurii de afinare oxidante și bazice cu o nouă zgură cu caracter reducător (cu conținut de FeO sub 1,5% și bazică (zgură albă –CaC₂ sub 1,0% și FeO_{max} 1,5% - și carbidică –CaC₂ 1,0-3,5% și FeO sub 0,5%);

- c) tratarea oțelului în oala de turnare cu zguri sintetice bazice și conținut de (FeO) sub 1,5%;
- 22) avantajul principal al metodei este acela că oțelul astfel dezoxidat are puritate mare (nu se formează produși de dezoxidare în baia metalică, iar ca dezavantaj la dezoxidarea prin extracție în cuptor durează 60-90 min;
- 23) dezoxidarea în vid reprezintă unul din procedeele de mare eficiență de dezoxidare a oțelului cu multiple aplicații la elaborarea oțelurilor de înaltă puritate, scopul acestuia fiind transferul oxigenului, dizolvat în baia metalică, în faza gazoasă, pe baza reacției de autodezoxidare cu carbon;
- 24) din practica industrială se constată că, la presiuni scăzute, carbonul devine un dezoxidant foarte puternic, mai eficient decât manganul, siliciul și chiar decât aluminiul, fiind posibile reacțiile de reducere a acestora din incluziunile nemetalice, deci o creștere a purității oțelului;
- 25) avantajul principal al dezoxidării în vid îl reprezintă puritatea avansată a oțelului, deoarece produsul dezoxidării este oxidul de carbon, care se degajează în totalitate din oțel, spre deosebire de produșii dezoxidării prin precipitare, din care o mică parte rămân în baia metalică și generează incluziuni nemetalice;
- 26) dezavantajele dezoxidării în vid sunt determinate de cheltuielile de investiții și exploatare în vid, dar sunt recuperate atât prin calitatea oțelului și posibilitatea elaborării oțelurilor cu conținuturi foarte scăzute de carbon.
- 27) incluziunile nemetalice sunt impurități de diferite proveniențe (oxizi, sulfuri, fosfuri, carburi, nitruri etc.) care rămân în oțel după solidificare (predomină oxizi) și au influență negativă asupra caracteristicilor fizico-mecanice a acestuia;
- 28) după proveniență incluziunile nemetalice sunt grupate astfel: endogene (formate prin germinare omogenă și eterogenă), exogene și de reoxidare;
- 29) procesul de decantare a incluziunilor nemetalice din baia de oțel este influențat de densitatea acestora, tensiunea interfațială oțel-incluziune-zgură, fenomenul de coalescență, gradul de agitare a băii metalice.
- 30) pe baza analizei tehnologice a rezultatelor obținute la prelucrarea datelor industriale în programele de calcul EXCEL și MATLAB, referitoare la conținutul de hidrogen în oțel la terminarea vidării și a randamentului de eliminare a acestuia pot fi fost scoase în evidență următoarele concluzii:
- tratamentul oțelului în instalația de vidare fără aport de căldură asigură conținut de hidrogen în oțelul lichid la ieșirea din instalația de vidare VD sub 2,0ppm (în proporție de cel puțin la 90% din șarje);
 - tratamentul oțelului în instalația de vidare fără aport de căldură (cu o procesare anterioară în instalația LF) asigură obținerea pentru randamentul de eliminare a hidrogenului din oțel în limitele 75-85% (în proporție de cel puțin 90% din șarje);
 - ca urmare a tratamentului în instalația VD se poate asigura/controla o scădere de temperatură pe durata tratamentului în vid de până la 90 °C (mai rar peste 90°C), ceea ce poate asigura o durată totală de tratament sub vid de până la 35 minute și de vidare avansată (sub 1,5mBar) de 20 minute;

31) pentru a asigura în oțel conținut de hidrogen sub 2,0 ppm și un randament de îndepărtare a azotului de min 75% se recomandă următoarele limite de variație pentru parametri independenți:

- durata totală a tratamentului sub vid 25-31 minute;
- durata tratamentului sub vid avansat 15-20 minute;
- presiune în instalația de vidare sub 1,5 mBar;
- scăderea de temperatura pe durata tratamentului $\Delta T = 60 - 90$ °C.

32) pe timpul transportului de la instalația de vidare VD la distribuitorul instalației TC are loc o absorbție a hidrogenului în oțelul lichid din oală la ieșirea acesteia din instalația VD, din prelucrarea datelor experimentale în programele de calcul EXCEL și MATLAB rezultând următoarele aspecte tehnologice;

- absorbția de hidrogen în baia de oțel este mai intensă la conținuturi de hidrogen sub 1ppm, ca urmare este suficient o obținere la ieșirea din instalația de vidare a unui conținut de 1ppm în oțelul vidat;

- o creștere a duratei de menținere a oțelului în oala de turnare după terminarea vidării, conduce la creșterea absorbției hidrogenului, de dorit ca menținerea în oală să nu depășească 40min, iar scăderea de temperatură 80°C., ceea ce impune o bună concordanță între diferitele faze de pe fluxul tehnologic;

- referitor la absorbția de hidrogen (după vidare) acesta este de 0,55 - 0,7ppm, deci în medie de 0,6ppm.

33) în practică curentă pe baza acestor corelațiilor obținute în cele 2 programe de calcul utilizate se poate estima conținutul final de hidrogen în oțel.

34) în urma analizei celor trei grupe de corelații tehnologice (funcție de parametrul tehnologic dependent urmărit – conținutul final de azot, randamentul de eliminare a azotului, cantitatea de azot îndepărtată) obținute în programul de calcul EXCEL referitoare la eliminarea azotului din baia de vidare ies în evidență următoarele concluzii:

- corelațiile obținute sunt semnificative/reprezentative atât din punct de vedere matematic cât și tehnologic;

- atât parametrii dependenți, cât și cei independenți au fost bine stabiliți și sunt reprezentativi pentru procesul tehnologic cercetat;

- valorile foarte apropiate (uneori aproape identice pentru parametrul tehnologic dependent calculat după funcțiile polinomiale de gradul 2-4, confirmă valabilitatea acestora;

- rezultatele obținute pot fi utilizate atât în practica curentă de elaborare a oțelului, cât și în cercetare proceselor de tratare a oțelului în instalații de vidare;

35) referitor la corelațiile duble privind randamentul de eliminare a azotului din baia metalică obținute în programul de calcul MATLAB, analiza tehnologică a acestora confirmă valabilitatea rezultatelor obținute la corelațiile simple, pe de o parte iar pe de altă parte a domeniilor de variație pentru parametrii vidării;

36) corelațiile triple prezintă o influență mai extinsă asupra randamentului de eliminare a azotului și a cantității de azot îndepărtate din baia de oțel, iar având în vedere importanța duratei vidării și respectiv a celei sub vid avansat, o atenție deosebită s-a acordat corelațiilor care conțin acești parametri (în lucrare fiind

prezentate mai multe corelații duble cu acești parametri, dar derivate din corelații triple diferite);

37) Cantitatea medie de azot îndepărtat din baia de oțel pentru șarjele urmărite a fost de 23,08ppm (min.16ppm și max 32 ppm). Se poate considera în baza rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul MATLAB se pot obține valori pentru cantitatea de azot îndepărtat din baia de oțel de cel puțin 23ppm (puțin superioare valorii medii), acestea găsindu-se în subdomeniile ”hașurate”;

38) referitor la absorbția azotului în oțel după vidare, datele obținute în cadrul cercetărilor au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB, rezultatele obținute fiind prezentate atât analitic cât și grafic, pe baza analizei tehnologice a rezultat o creștere a conținutului de azot în medie de 10ppm;

39) în vederea determinării influenței parametrilor vidării asupra conținutului de oxigen din oțel la terminarea acestei operații tehnologice, datele au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB, iar din analiza tehnologică a corelațiilor obținute rezultă ca după finalizarea vidării conținutul de oxigen din oțel variază în limitele 18-22 ppm;

40) în cadrul experimentărilor referitoare la conținutul de oxigen din oțel la terminarea vidării și determinarea naturii și compoziției chimice a incluziunilor nemetalice, analiză microstructurală fiind realizată prin microscopie electronică de baleiaj (SEM) și prin microanaliză de raze X dispersivă în energie (EDAX) la microscopul electronic cu baleiaj *Quanta Inspect F.*, în probele analizate fiind detectată prezența unor incluziuni complexe, încastrate în aliaj, de dimensiuni mai mari de 200μm, având în compoziție: **Ca, O, Al, Mg, S, Si**;

41) incluziunile nemetalice conțin în proporție de 86-96% elementele O+Al+Ca, iar ca formă au fost globulare, poliedrice și alungite;

42) la turnarea continuă a oțelului, fisurarea tubului de imersie conduce la impurificarea oțelului de pe firul respectiv (F1) cu incluziuni nemetalice cu dimensiuni de aproximativ 10 ori mai mari comparativ cu F2 și F3;

43) curgerea oțelului lichid prin tub fisurat a antrenat praf de lubrifiere din cristalizor, fapt confirmat de compoziția incluziunilor existente în probele prelevate din semifabricat.

44) rezultatele obținute la verificare/valorificarea industrială a rezultatelor cercetărilor efectuate confirmă valabilitatea acestora.

9.2. Contribuții originale

Pe baza studiului literaturii de specialitate, cu referire la tematica tezei de doctorat, a experimentărilor efectuate la nivel de fază industrială, a prelucrării datelor experimentale și analizei tehnologice a rezultatelor obținute, precum și a verificării industriale a acestora, pot fi considerate ca și contribuții personale/originalare următoarele:

- 1) realizarea pe baza studiului literaturii de specialitate referitor la tematica tezei de doctorat a sintezelor:

- procedee și tehnologii actuale de elaborare și turnare a oțelului, cu referire în mod deosebit la oțelăriile echipate cu cuptoare cu arc electric tip EBT, instalații de procesare în oala de turnare și instalații de turnare continuă;
- degazarea/eliminarea din baia de oțel a hidrogenului și azotului;
- dezoxidarea/reducerea conținutului de oxigen din baia metalică;

2) stabilirea prin prelucrarea datelor experimentale (industriale) în programul de calcul EXCEL a unor ecuații de corelație (simple) polinomiale de gradul 1; 2; 3; 4 și logaritmice, iar în programul de calcul MATLAB a unor ecuații de corelație dublă, între principali parametri ai vidării considerați independenți și conținutul de hidrogen din oțel după vidare și randamentul de eliminare a hidrogenului, considerați dependenți, în fiecare caz rezultatele fiind prezentate atât grafic, cât și analitic, precum și analizate din punct de vedere tehnologic;

3) obținerea corelațiilor (în programele EXCEL și MATLAB) simple și respectiv duble prin prelucrarea datelor referitoare la absorbția de hidrogen în baia de oțel pe traseul tehnologic VD - distribuitor, urmată de analiza tehnologică.

4) prelucrarea datelor experimentale (industriale) în programul de calcul EXCEL și obținerea a unor ecuații de corelație (simple) polinomiale de gradul 1; 2; 3; 4 și logaritmice, între principali parametri ai vidării considerați independenți și conținutul de azot din oțel după vidare, randamentul de eliminare a azotului și cantitatea de azot îndepărtată, considerați dependenți, în fiecare caz rezultatele fiind prezentate atât grafic, cât și analitic, precum și analizate din punct de vedere tehnologic;

5) analiza datele referitoare la randamentul de eliminare a azotului, determinarea și prelucrarea acestora în programul MATLAB cu obținerea unor corelații duble exprimate prin ecuații polinomiale de gradul 2 (parametrii independenți aceeași ca la corelațiile simple), și prezentate atât sub formă analitică, cât și grafică, fiind însoțite de analiza tehnologică;

5) determinarea prin prelucrarea în programul MATLAB a datele referitoare la randamentul de eliminare a azotului a unor corelații triple exprimate prin ecuații polinomiale de gradul 2 (parametrii independenți aceeași ca la corelațiile simple), și prezentate atât sub formă analitică, fiind însoțite de analiza tehnologică;

6) stabilirea prin prelucrarea în programul MATLAB a datele referitoare la cantitatea de azot a unor corelații triple exprimate prin ecuații polinomiale de gradul 2 (parametrii independenți aceeași ca la corelațiile simple), și prezentate atât sub formă analitică, cât și grafică, fiind însoțite de analiza tehnologică; pentru prezentarea sub formă grafică corelațiile triple au fost transformate în corelații duble (o corelație triplă generează trei corelații duble), aceste reprezentări fiind însoțite de o analiză tehnologică;

7) prelucrarea în programele de calcul EXCEL și MATLAB a datelor referitoare la absorbția de azot în baia de oțel pe traseul tehnologic VD - distribuitor și obținerea corelațiilor simple și respectiv duble, urmată de analiza tehnologică.

8) stabilirea prin prelucrarea datelor experimentale (industriale) în programul de calcul EXCEL a unor ecuații de corelație (simple) polinomiale de

gradul 1; 2; 3; 4 și logaritmice, între principali parametri ai vidării considerați independenți și conținutul de oxigen din oțel după vidare, în fiecare caz rezultatele fiind prezentate atât grafic, cât și analitic, precum și analizate din punct de vedere tehnologic;

9) determinarea prin prelucrarea în programul MATLAB a datele referitoare la conținutul de oxigen în oțel după vidare a unor corelații duble exprimate prin ecuații polinomiale de gradul 2 (parametrii independenți aceeași ca la corelațiile simple), de gradul 5 și o formă combinată/mixtă polinomială+logaritmică, în toate cazurile fiind prezentate atât sub formă analitică, cât și grafică, însoțite fiind de analiza tehnologică;

10) determinarea naturii, compoziției și mărimii incluziunilor nemetalice (oțeluri pentru țevi) prin analiză microstructurală realizată prin microscopie electronică de baleiaj (SEM) și prin microanaliză de raze X dispersivă în energie (EDAX) la microscopul electronic cu baleiaj *Quanta Inspect F*;

11) elaborarea unei tehnologii de procesare a oțelului lichid pe fluxul de fabricație CAE-LF-VD-MTC care reduce fenomenul clogging, deci se evită colmatarea tuburilor de imersie;

12) Analiza caracteristicilor incluziunilor nemetalice din semifabricat, generate de fisurarea tubului de imersie;

13) Verificarea industrială a rezultatelor cercetărilor efectuate, rezultatele obținute confirmând valabilitatea/importanța acestora;

14) Diseminare rezultate și direcții de continuare a cercetărilor.

9.3. Direcții de continuare a cercetărilor

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor efectuate privind tematica tezei de doctorat, se poate considera că prezintă interes deosebit pentru industria metalurgică/siderurgică și nu numai, continuarea cercetărilor în următoarele direcții:

1) absorbția oxigenului în oțelul lichid după terminarea procesării acestuia în instalație de vidare (fără sau cu aport de căldură) pe traseul tehnologic instalație de vidare – distribuitor – cristalizor – semifabricat;

2) influența calității prafurilor de turnare (distribuitor și cristalizor) asupra absorbției de gaze în semifabricatul de oțel turnat continuu;

3) colmatarea tuburilor de imersie în funcție de dezoxidanți utilizați și calitatea prafurilor de turnare (unguente).

DISIMINARE REZULTATE

1.M. Magaon, S. Şerban, T. Hepuţ, “Research on the reduction of the hydrogen content in steels treated in vacuum“, International Conference on Applied Sciences (ICAS) 25-27 May 2016 Hunedoara, ROMANIA, IOP Conference Series – Materials Science and Engineering, Volume 163 Article Number 012015, Published 2017.

2.M. Magaon., M. Radu., S. Şerban, L. Zgripcea, “Research regarding the vacuuming of steel on the steel degassing“, International Conference on Applied Sciences (ICAS) 10-12 May 2017 Hunedoara, ROMANIA, IOP Conference Series-Materials Science and Engineering.

3.M. Magaon, “Study on behaviour under load for resistance mechanical structures. Analysis and case study – hall for agricultural machinery and storage units”, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, 12(4), 2014, pp.359-366, indexed Google Scholars.

4. M. Magaon, A. Rusalinescu, “Functional analysis and technical solutions to achieve the mechanical system of waste collection and disposal beaches”, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, 12(4), 2014, pp.311-314, indexed Google Scholars.

5.M. Magaon., T. Hepuţ, “Research on the disposal of hydrogen content from the steel designed for manufacturing steel pipes”, Acte Technica Corviniensis – Bulletin of Engineering, Hunedoara, 9(4), 2016, pp.87-90, indexed Google Scholars.

6.M. Magaon, M. Vatasescu, T. Hepuţ, E. Crişan, “The optimization of the removal process of nitrogen content from steels treated in vacuum facilities”, International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM 2016), 19-25 September 2016 Rodos, Greece, AIP Conference Proceeding Volume 1863, Article number 130007, 2017, indexed SCOPUS.

7.M. Magaon, E. Ardelean, S. Şerban, V. Puţan, “Mathematical modeling of the removal efficiency of hydrogen from steels treated in vacuum facilities”, International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM 2016), 19-25 September 2016 Rodos, Greece, AIP Conference Proceeding Volume 1863, Article number 130006, 2017, indexed SCOPUS.

8. M. Magaon, A. Socalici, S. Şerban, “Researches on the influence of the vacuuming parameter on the gas content in steels”, International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering, Banja Luka, 26-27 May 2017, Book of proceedings, pp. 905-915.

9. M. Magaon, D. Milostean, I. Ilca, “Finising blanks for pipes intended to oil industry”, Conferinţa Internaţională Multidisciplinară Profesor Dorin Pavel – fondatorul hidrotehnicii româneşti, Ştiinţă şi Inginerie vol 32, Editura Agir 2017, pp. 287-294.

10. M. Magaon, D. Milostean, I. Ilca, “Tension and deformation state at billet performance for seamless pipes”, Conferința Internațională Multidisciplinară Profesor Dorin Pavel – fondatorul hidrotehnicii românești, Știință și Inginerie vol 32, Editura Agir 2017, pp. 305-310.

11. M. Magaon, L. Zgripcea, “Cercetări privind absorbția gazelor în oțelul lichid”, Simpozion științific studentesc HD 47 STUD, 26-27 Mai, Hunedoara, 2017.

BIBLIOGRAFIE

1. Hans Jürgen Kerckhoff: "Stahl an der Grenze der Belastbarkeit Zur Lage der Stahlindustrie in Deutschland und Europa.", 2014, p.3
2. The EU emissions trading system (EU ETS)
3. Hans Jürgen Kerckhoff: Stahl an der Grenze der Belastbarkeit Zur Lage der Stahlindustrie in Deutschland und Europa., Situation and Challenge for the Steel Industry in Europe, 2014, p.7
4. ***Masuri la nivel comunitar pentru revigorarea industriei siderurgice, Univers Ingineresc nr.: 6/2016, pag. 3, data: 16-31 martie 2016;
5. Standardul de firma SF-TMK-03
6. Hătăărăscu O., Metalele în epoca actuală (sinteze documentare), Editura Albatros, București 1982
7. Strul, M., Biblia și Metalurgia, Editura Galaxia Gutenberg, Târgu Lăpuș 2011.
8. Ioan, R., Istoria uzinei de fier Hunedoara, Eisenmarkt, Vaidahunyad, vol. I, Editura Graph, 2015.
9. Ioan, R., Istoria uzinei de fier Hunedoara, Eisenmarkt, Vaidahunyad, vol. II, Editura Graph, 2015.
10. <https://www.google.com/bursa.ro/wsa> (Asociația Mondială a Oțelului)/producția mondială de oțel.
11. <https://www.google.com/bursa.ro/wsa> (Asociația Mondială a Oțelului)/consumul specific de oțel.
12. Faur, S., Heput, T., Tehnologia elaborării oțelului, vol.I., Editura UPT.Timisoara 1981,
13. Faur, S., Heput, T., Tehnologia elaborării oțelului, vol.II., Editura UPT. Timisoara 1984,
14. Faur, S., Heput, T.,- „Tehnologia elaborării oțelului”, vol.III., Editura UPT.Timisoara 1987,
15. Drăgoi, F., Cercetări privind reducerea conținutului de gaze din oțelurile elaborate și tratate pe fluxul tehnologic E.B.T. – LF, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2012.
16. Rău, A., Tripșa, I.,- „Metalurgia oțelului”, București, E.D.P. 1981.
17. Nicolae, A., Ioana, A., Predescu, C., Sandu, I.F., Sohaciu, M., Calea, G.C., Conducerea optimală a cuptoarelor cu arc electric, Editura Fair Partners, București 2002.
18. Poge, G., Nicolae, A.-“Extinderea bazei de materii prime la elaborarea oțelurilor în cuptorul electric cu arc”, Teza de Doctorat, București 2000.
19. Nica, G., Socalici, A., Ardelean, E., Heput., Tehnologii pentru îmbunătățirea calității oțelului, Editura Mirton, Timișoara 2003.

20. http://www.scrigroup.com/tehnologie/tehnica-mecanica/Pregatirea_deseurilor-feroase24442.php
21. Socalici, A., Milostean, D.,- “Baza energetica si de materii prime in industria de materiale”, Editura Politehnica, Timisoara 2014.
22. http://www.teskolaser.com/laser_cutting2.htm
23. HG nr. 448/2005 – transpune Directiva Europeana nr. 2002/96, modificata prin Directiva Europeana nr. 2003/ 108 – privind deseurile de echipamente electrice si electronice;
24. Ordin comun MMGA/MEC nr. 1225/721/2005 pentru aprobarea Procedurii si criteriilor de evaluare si autorizare a organizatiilor colective in vederea preluării responsabilității privind realizarea obiectivelor anuale de colectare, reutilizare, reciclare și valorificare a DEEE, modificat de OM nr. 1269/820/2006;
25. Dragomir, I., Teoria proceselor siderurgice, Editura Didactică și Pedagogică, București 1985.
26. Geantă, V., Ștefănoiu, R., Ingineria producerii oțelului, Editura BREN, București 2008
27. Instrucțiuni tehnologice de lucru la cuptorul EBT, SC AcelorMittal SA Hunedoara, 2006.
28. Geantă, V., Procese și tehnologii de obținere a oțelurilor de înaltă puritate prin tratare în afara cuptorului. Teză de doctorat, Universitatea Politehnica București, 1998.
29. Vacu, S., ș.a., Elaborarea oțelurilor aliate, vol. I, Editura Tehnică, București, 1980.
30. Vacu, S., ș.a.- „Elaborarea oțelurilor aliate”, vol II, Editura Tehnică, București, 1983.
31. Ștefănoiu, R., Cercetări privind procesele de rafinare a oțelurilor cu gaze inerte, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica București, 2004.
32. Geantă, V. (2003). Procedee și tehnologii de rafinare a oțelului, Editura Printech, București, 2003.
33. Tripșa, I., Pumnea, C., Dezoxidarea oțelurilor, Editura Tehnică, București 1982.
34. Ardelean, E., Cercetări privind îmbunătățirea comportării la deformare a semifabricatelor turnate continuu, Teză de doctorat, Timișoara 2004.
35. Puțan, A., Cercetări privind rafinarea oțelului elaborat pe fluxul cuptor cu arc electric - oală cuptor - turnare continuă, Teză de doctorat, Universitate Politehnica Timișoara 2013.
36. Socalici, A., Milostean, D., Baza energetica si de materii prime in industria de materiale, Editura Politehnica, Timisoara 2014.
37. Ardelean, E. - Turnarea semifabricatelor de oțel, Editura Mirton Timișoara, 2004.
38. Ardelean, E., Hepuț, T., Ardelean, M. - Turnarea continuă a oțelului, Editura Politehnica Timișoara, 2001.

39. Ardelean E, Hepuț T., Ardelean M., Josan A. – Mathematical solidification model of continuous casting steel product, International Symposium Young people and multidisciplinary research Romania – Serbia & Montenegro – Hungary, Timișoara, 2004
40. Ardelean E, Socalici A., Hepuț T., Ardelean M. – Research regarding the temperature influence on continuous casting process, Scientific Bulletin of the „Politehnica” University of Timișoara, 2005.
41. Ioan, R. V., Cercetări teoretice și experimentale în domeniul solidificării oțelului, Editura Destin, 2000.
42. Ioan, R. V., Turnarea continuă a semifabricatelor rotunde (noțiuni teoretice minimale și notițe din experiența proprie), Editura Nuetrino, Reșița 2013
43. Oargă N., Hepuț T., Ardelean E, Popa E. – Studiu privind defectele interne a semifabricatelor turnate continuu, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tomul III, Fascicola 1, 2001.
44. Oargă N., Hepuț T., Ardelean E, Popa E. – Studiu privind defectele de suprafață a semifabricatelor turnate continuu, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tomul III, Fascicola 1, 2001.
45. Hepuț T., Ardelean E., Socalici A., Popa E. Experimentări și rezultate cu privire la lubrifierea la interfața cristalizor – semifabricat turnat continuu, Analele Facultății de Inginerie Hunedoara, Tomul III, Fascicola 1, 2001.
46. Lăscuțoni, A., Cercetări privind modelarea matematică a agregatelor termice la oțel lichid la nivel oala de turnare –distribuitor –cristalizor, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2015.
47. Păcurar, C., D., Cercetări privind influența structurii încărcăturii metalice asupra reducerii consumurilor specifice și a gradului de poluare la oțelăriile electrice, Teza de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2019.
48. Heput, T. Contribuții la morfologia și geneza incluziunilor nemetalice în oțelul elaborat în cuptoare electrice cu arc, Teza de doctorat, Universitatea Politehnica București, 1998.
49. Andronache C., Cercetări privind îmbunătățirea oțelului destinat fabricării componentelor materialului rulant Teza de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2013.
50. Popa E., Cercetari privind influența proceselor fizico-chimice metalurgice ce au loc la interfețele cristalizor-zgură-oțel lichid, Editura Politehnica Timișoara 2009.
51. Socalici, A., ș.a., Cercetări și experimentări privind îmbunătățirea structurii semifabricatelor turnate continuu, Proiect de cercetare de excelență pentru tinerii cercetători, director proiect, CEEEX 2005 beneficiar UEFISCSU, Nr. 3196/13.10.2005.
52. Socalici, A., V., Cercetări privind îmbunătățirea calității pentru piesele din oțel obținute prin forjare din lingouri mari, Teza de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2004.

53. Gheorghiu, C., A., Cercetări privind îmbunătățirea calității semifabricatelor cu secțiune circulară turnate continuu, Teza de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2017.
54. Ardelean, E., Hepuț, T., Ardelean, M., Optimizarea proceselor la turnarea continuă a oțelului, Editura CERMI, Iași 2007
55. Tirian G., O., Contribuții la identificarea și conducerea proceselor metalurgice, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica Timișoara, 2011
56. Făgărășan, M., Ursu, V., Zămîrcă, V., S., Popa, A., Dobrescu, M., Determinarea gazelor și incluziunilor nemetalice din materialele metalice, Ed. Tehnică, București 1977.
57. Călae, M., Cercetări privind procesele de rafinare a oțelurilor speciale prin metalurgia secundară, Teză de doctorat, Universitatea Politehnica București, 2007.
58. Magaon, M., Șerban, S., Hepuț, T., “Research on the reduction of the hydrogen content in steels treated in vacuum“, International Conference on Applied Sciences (ICAS) 25-27 May 2016 Hunedoara, ROMANIA, IOP Conference Series – Materials Science and Engineering, Volume 163 Article Number 012015, Published 2017.
59. Magaon, M., M. Radu., S. Șerban, L. Zgripcea, “Research regarding the vacuuming of steel on the steel degassing“, International Conference on Applied Sciences (ICAS) 10-12 May 2017 Hunedoara, ROMANIA, IOP Conference Series-Materials Science and Engineering.
60. Magaon, M., “Study on behaviour under load for resistance mechanical structures. Analysis and case study – hall for agricultural machinery and storage units”, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, 12(4), 2014, pp.359-366, indexed Google Scholars.
61. Magaon, M, A. Rusalinescu, “Functional analysis and technical solutions to achieve the mechanical system of waste collection and disposal beaches”, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, 12(4), 2014, pp.311-314, indexed Google Scholars.
62. Magaon, M., T. Hepuț, “Research on the disposal of hydrogen content from the steel designed for manufacturing steel pipes”, Acte Technica Corviniensis – Bulletin of Engineering, Hunedoara, 9(4), 2016, pp.87-90, indexed Google Scholars.
63. Magaon, M., M. Vatasescu, T. Hepuț, E. Crișan, “The optimization of the removal process of nitrogen content from steels treated in vacuum facilities”, International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM 2016), 19-25 September 2016 Rodos, Greece, AIP Conference Proceeding Volume 1863, Article number 130007, 2017, indexed SCOPUS.
64. Magaon, M., E. Ardelean, S. Șerban, V. Puțan, “Mathematical modeling of the removal efficiency of hydrogen from steels treated in vacuum facilities”, International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM 2016), 19-25 September 2016 Rodos,

- Greece, AIP Conference Proceeding Volume 1863, Article number 130006, 2017, indexed SCOPUS.
65. M. Magaon, A. Socalici, S. Șerban, “Researches on the influence of the vacuuming parameter on the gas content in steels”, International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering, Banja Luka, 26-27 May 2017, Book of proceedings, pp. 905-915.
66. M. Magaon, D. Milostean, I. Ilca, “Finising blanks for pipes intended to oil industry”, Conferința Internațională Multidisciplinară Profesor Dorin Pavel – fondatorul hidrotehnicii românești, Știință și Inginerie vol 2, Editura Agir 2017, pp. 287-294.
67. M. Magaon, D. Milostean, I. Ilca, “Tension and deformation state and billet performance for seamless pipes”, Conferința Internațională Multidisciplinară Profesor Dorin Pavel – fondatorul hidrotehnicii românești, Știință și Inginerie vol 32, Editura Agir 2017, pp. 305-310.
68. M. Magaon, L. Zgripcea, “Cercetări privind absorbția gazelor în oțelul lichid”, Simpozion științific studentesc HD 47 STUD, 26-27 Mai, Hunedoara, 2017.

ANEXE

Anexe figuri



Fig.2.1.A. Turnul mașinii de turnare continuă

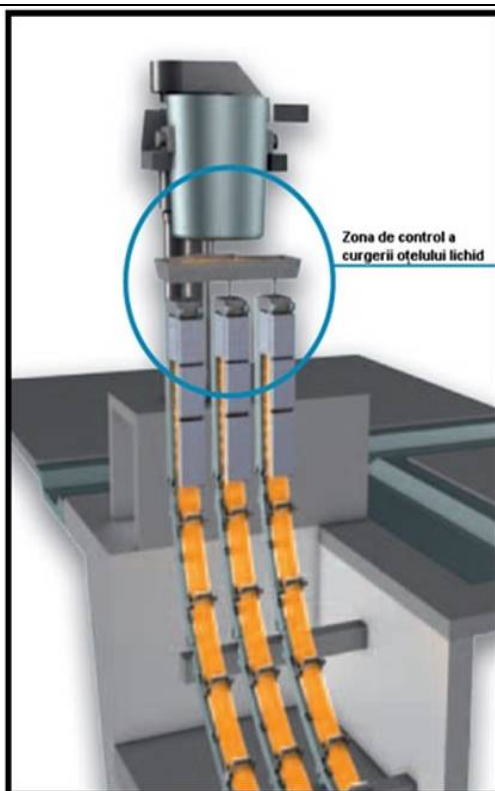


Fig. 2.2.A. Fire de turnare TC

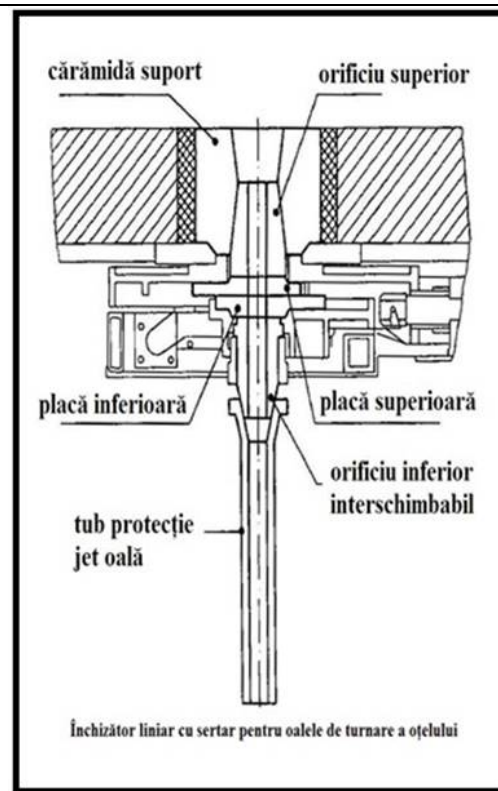


Fig. 2.3.A Sistem închidere-deschidere oală TC

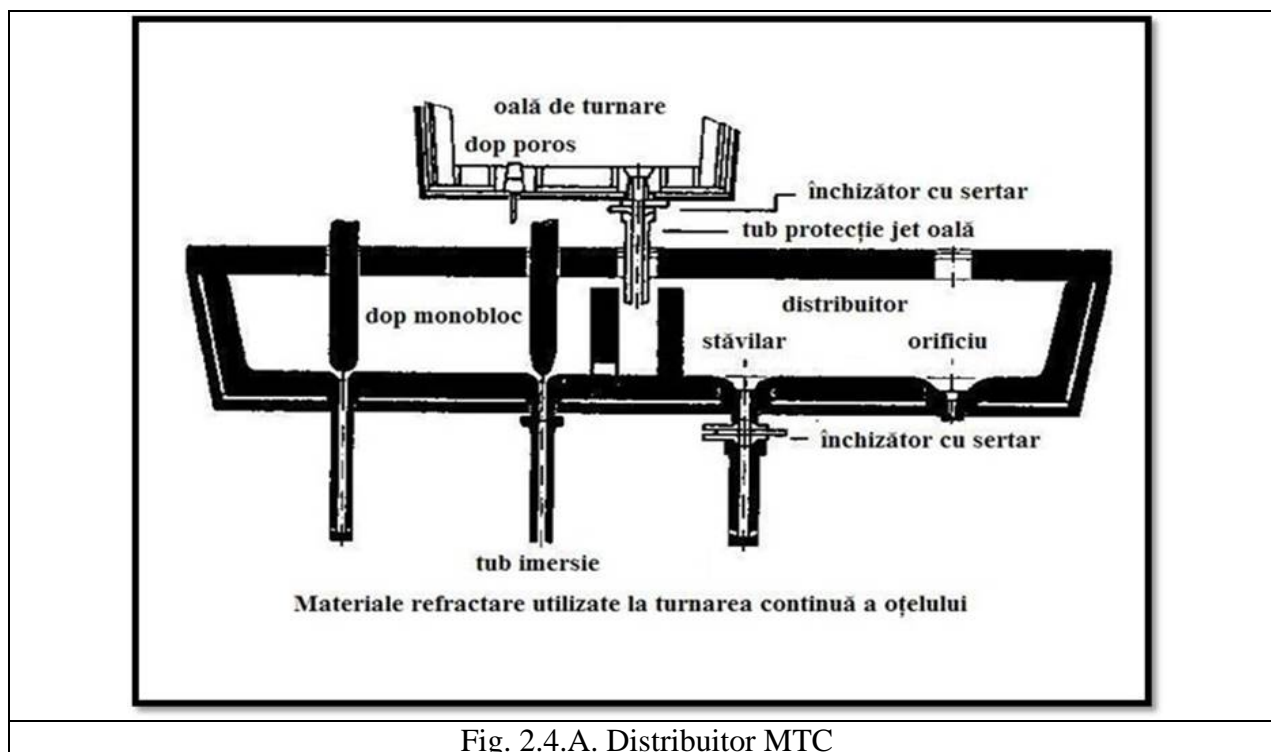


Fig. 2.4.A. Distribuitor MTC



Fig.2.5.A. Introducerea oalei în recipientul instalației VD

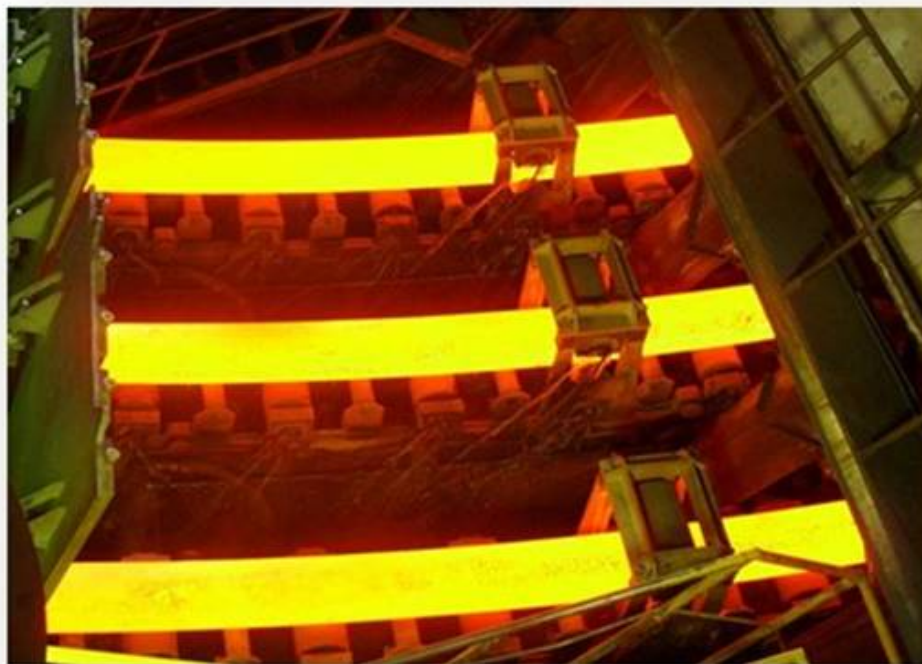


Fig.2.6.A. Ieșirea semifabricatelor din camera de ceață și intrarea în cajele de trageră îndreptare

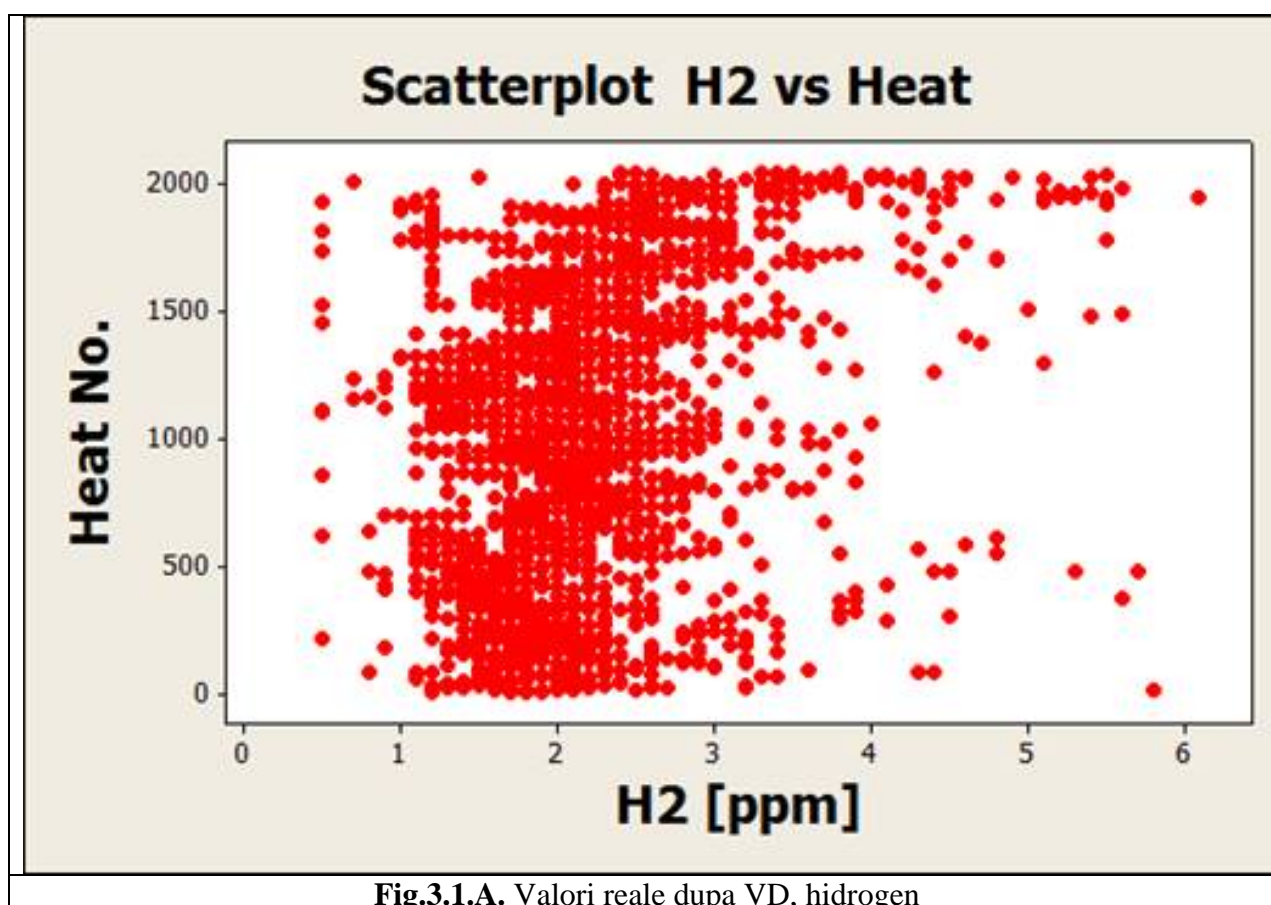
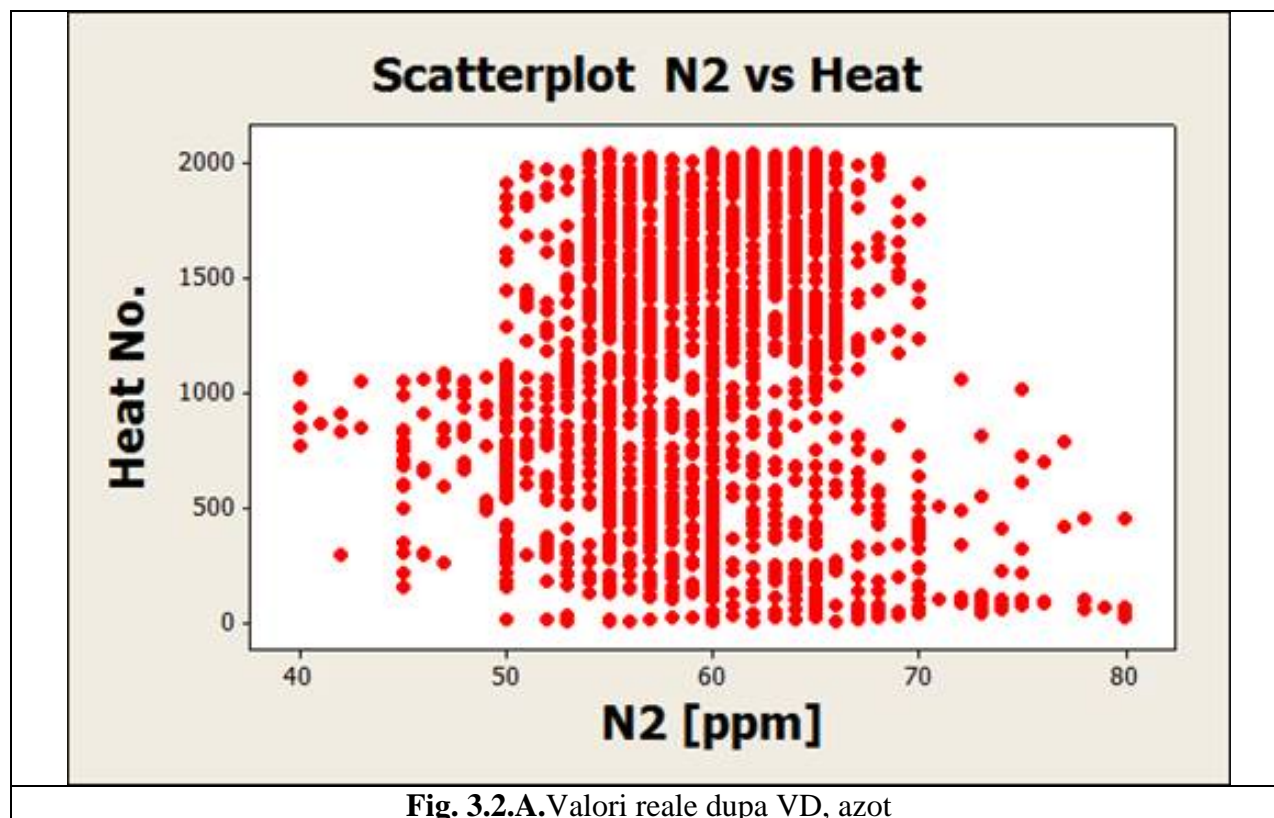


Fig.3.1.A. Valori reale după VD, hidrogen



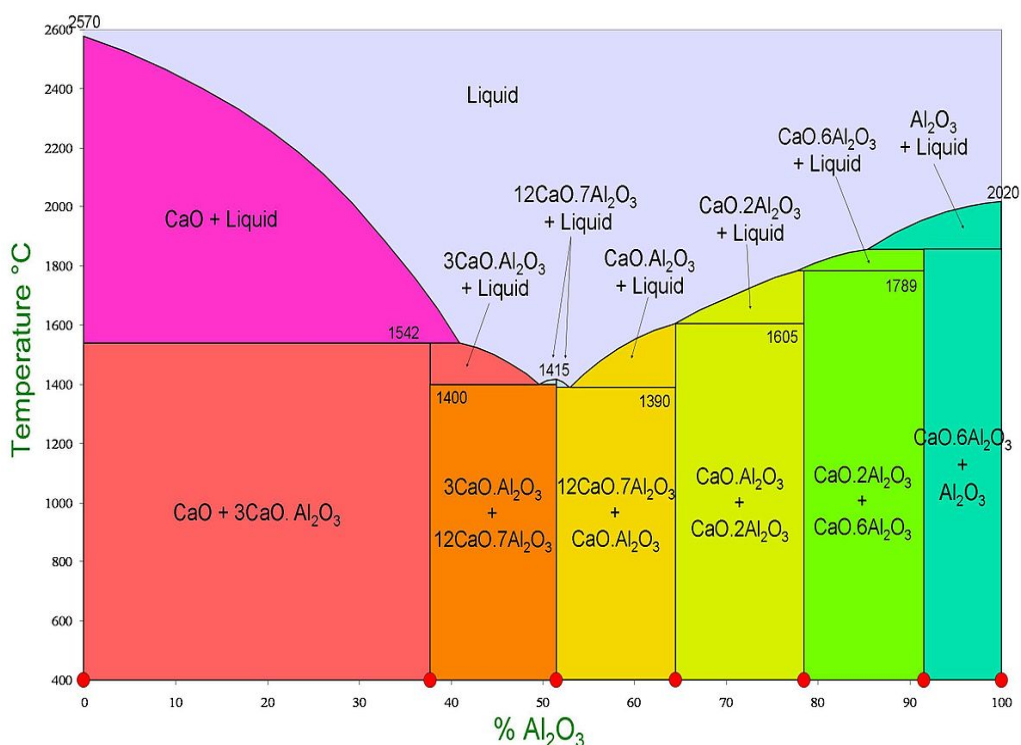


Fig. 7.2.A. Diagrama de echilibru a sistemului binary CaO-Al₂O₃
 $M_{\text{CaO}}=56\text{g/mol}$; $12 \cdot 56=672$; $M_{\text{Al}_2\text{O}_3}=102\text{g/mol}$; $7 \cdot 102=714$ $714/672=1,06$

Compusul chimic $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ cu topire congruentă (51,51% Al_2O_3 și 48,49% CaO , temperature de topire 1415°C) formează cu compusul chimic $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ cu topire ingongruentă (37,77% Al_2O_3 și 62,23% CaO) un eutectic (48,41% Al_2O_3 și 51,59% CaO , temperature de topire 1400°C), respectiv cu compusul chimic $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ cu topire ingongruentă (64,56% Al_2O_3 și 35,44% CaO) un eutectic (52,35% Al_2O_3 și 47,64% CaO , temperature de topire 1390°C).

Având în vedere temperatura de topire a acestor compuși pe intervalul 48-53% Al_2O_3 rezultă că oxizi sunt lichizi, fapt ce face posibilă turnarea continua a oțelului fără apariția cloggingului (temperatua de topire nedepășind 1525°C).

Anexe tabele

Tabelul 5.1.A. Compoziția chimică - oțel marca **ST 52-3 (TMK-ARTROM)**

	Compoziția chimică														
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Al	Ca	Sn	As	V	N	H
	%													ppm	
Min	0,17-	0,17-	1,25-	max.	0,015	max.	Max.	Max.	0,012-	Max.	Max.	Max.	0,02-	max	max
Max	0,20	0,25	1,60	0,016	0,020	0,22	0,18	0,20	0,030	0,0025	0,020	0,030	0,05	75ppm	3ppm

Tabelul 5.2. A. Compoziția chimică a șarjelor de oțel marca **ST 52-3** urmărite în cadrul experimentărilor (**intrare în LF**)

Nr. Șarjă	Compoziția chimică, %												
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Al	Mo	As	Sn	N
1	0,18	1,25	0,130	0,015	0,010	0,02	0,06	0,22	0,005	0,02	0,18	0,13	0,077
2	0,17	1,21	0,131	0,014	0,009	0,03	0,06	0,18	0,002	0,01	0,20	0,14	0,075
3	0,17	1,23	0,131	0,013	0,013	0,03	0,07	0,19	0,003	0,02	0,21	0,13	0,085
4	0,19	1,24	0,133	0,012	0,001	0,03	0,05	0,19	0,002	0,01	0,22	0,17	0,100
5	0,19	1,19	0,131	0,012	0,009	0,04	0,07	0,20	0,003	0,01	0,23	0,16	0,087
6	0,18	1,20	0,131	0,011	0,013	0,04	0,08	0,20	0,003	0,02	0,22	0,15	0,083
7	0,18	1,21	0,131	0,011	0,021	0,04	0,09	0,19	0,001	0,02	0,23	0,16	0,074
8	0,18	1,19	0,131	0,014	0,014	0,04	0,09	0,23	0,002	0,01	0,21	0,19	0,077
9	0,17	1,21	0,133	0,015	0,021	0,03	0,07	0,20	0,002	0,01	0,23	0,18	0,070
10	0,18	1,23	0,135	0,013	0,019	0,06	0,11	0,23	0,004	0,03	0,25	0,16	0,073
11	0,18	1,20	0,134	0,014	0,020	0,04	0,10	0,22	0,002	0,02	0,18	0,18	0,075
12	0,19	1,22	0,130	0,012	0,018	0,05	0,10	0,18	0,002	0,02	0,21	0,15	0,078
13	0,20	1,20	0,127	0,015	0,009	0,06	0,11	0,23	0,003	0,02	0,17	0,19	0,093
14	0,19	1,23	0,131	0,014	0,008	0,04	0,11	0,22	0,003	0,02	0,17	0,15	0,085
15	0,19	1,20	0,129	0,012	0,006	0,04	0,09	0,23	0,003	0,01	0,23	0,15	0,078
16	0,18	1,19	0,130	0,012	0,004	0,03	0,08	0,20	0,002	0,01	0,28	0,16	0,075
17	0,19	1,22	0,129	0,013	0,05	0,08	0,10	0,21	0,004	0,02	0,18	0,19	0,075
18	0,18	1,22	0,133	0,014	0,023	0,05	0,10	0,23	0,005	0,02	0,23	0,17	0,079
19	0,18	1,20	0,128	0,010	0,016	0,04	0,10	0,24	0,003	0,02	0,25	0,20	0,070
20	0,19	1,21	0,130	0,014	0,014	0,04	0,09	0,24	0,002	0,02	0,22	0,15	0,098
21	0,19	1,21	0,133	0,012	0,012	0,03	0,08	0,21	0,003	0,01	0,23	0,14	0,089
22	0,18	1,20	0,133	0,014	0,011	0,03	0,07	0,21	0,002	0,03	0,21	0,14	0,087

Tabelul 5.3. A Compoziția chimică a șarjelor de oțel marca **ST 52-3** urmărite în cadrul experimentărilor: **(ieșire din LF, intrare VD)**

Număr șarjă	Compoziția chimică														
	%													ppm	
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Al	Mo	As	Sn	V	N	H
1	0,19	1,33	0,24	0,013	0,002	0,04	0,07	0,18	0,003	0,01	0,18	0,15	0,025	75	4,6
2	0,19	1,31	0,19	0,012	0,003	0,04	0,07	0,18	0,001	0,01	0,19	0,14	0,024	83	4,7
3	0,18	1,31	0,20	0,011	0,001	0,05	0,07	0,19	0,001	0,02	0,21	0,13	0,024	83	4,2
4	0,18	1,31	0,22	0,012	0,002	0,04	0,08	0,20	0,002	0,01	0,22	0,15	0,022	87	4,7
5	0,17	1,31	0,19	0,014	0,003	0,05	0,07	0,21	0,003	0,02	0,23	0,18	0,025	79	6,3
6	0,18	1,33	0,21	0,016	0,001	0,04	0,09	0,21	0,001	0,02	0,22	0,17	0,024	76	5,1
7	0,19	1,35	0,23	0,013	0,001	0,06	0,08	0,23	0,002	0,01	0,23	0,15	0,026	89	5,1
8	0,18	1,34	0,21	0,014	0,002	0,04	0,08	0,20	0,002	0,01	0,18	0,14	0,023	90	5,4
9	0,19	1,30	0,22	0,013	0,004	0,07	0,11	0,23	0,001	0,03	0,23	0,16	0,025	78	4,6
10	0,20	1,27	0,20	0,015	0,001	0,05	0,10	0,23	0,003	0,02	0,25	0,15	0,025	83	3,7
11	0,20	1,31	0,23	0,014	0,001	0,05	0,10	0,23	0,003	0,02	0,19	0,15	0,023	76	5,3
12	0,18	1,29	0,23	0,012	0,001	0,06	0,11	0,23	0,002	0,01	0,21	0,14	0,024	84	4,5
13	0,18	1,30	0,19	0,013	0,002	0,04	0,10	0,24	0,002	0,02	0,17	0,15	0,022	78	4,6
14	0,19	1,29	0,22	0,013	0,001	0,04	0,09	0,22	0,001	0,01	0,17	0,15	0,023	87	3,5
15	0,18	1,33	0,22	0,014	0,004	0,07	0,08	0,20	0,002	0,01	0,23	0,15	0,024	81	5,6
16	0,18	1,28	0,20	0,010	0,002	0,09	0,10	0,24	0,003	0,02	0,24	0,12	0,023	78	3,9
17	0,19	1,30	0,21	0,014	0,001	0,06	0,10	0,24	0,002	0,02	0,18	0,13	0,025	75	4,5
18	0,19	1,33	0,21	0,015	0,003	0,05	0,11	0,25	0,002	0,01	0,23	0,15	0,024	85	5,1
19	0,18	1,33	0,20	0,014	0,002	0,05	0,09	0,24	0,003	0,02	0,21	0,15	0,023	86	5,3
20	0,19	1,32	0,19	0,013	0,003	0,07	0,11	0,22	0,002	0,01	0,19	0,12	0,022	77	4,4
21	0,19	1,32	0,21	0,012	0,004	0,08	0,11	0,21	0,002	0,01	0,19	0,14	0,023	78	4,6
22	0,17	1,30	0,21	0,013	0,003	0,06	0,12	0,24	0,002	0,02	0,18	0,13	0,022	83	4,2

Tabelul 5.4. A. Compoziția chimică a șarjelor de oțel marca **ST 52-3** urmărite în cadrul experimentărilor (**ieșire din VD**)

Număr șarjă	Compoziția chimică														
	%													ppm	
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Al	Mo	As	Sn	V	N	H
1	0,19	1,33	0,24	0,013	0,015	0,04	0,07	0,18	0,003	0,1	0,18	0,15	0,025	59	1,6
2	0,19	1,31	0,19	0,012	0,016	0,04	0,07	0,18	0,001	0,1	0,19	0,14	0,024	62	1,4
3	0,18	1,31	0,20	0,011	0,015	0,04	0,07	0,19	0,001	0,1	0,21	0,13	0,024	66	1,7
4	0,18	1,31	0,22	0,012	0,019	0,04	0,07	0,20	0,002	0,1	0,22	0,15	0,022	60	1,9
5	0,17	1,31	0,19	0,014	0,015	0,05	0,07	0,21	0,003	0,2	0,23	0,18	0,025	80	3,5
6	0,18	1,33	0,21	0,016	0,017	0,04	0,09	0,21	0,001	0,2	0,22	0,17	0,024	60	2,5
7	0,19	1,35	0,23	0,013	0,017	0,04	0,08	0,23	0,002	0,1	0,23	0,15	0,026	60	2,4
8	0,18	1,34	0,21	0,014	0,017	0,04	0,08	0,20	0,002	0,1	0,18	0,14	0,023	58	2,5
9	0,19	1,30	0,22	0,013	0,018	0,07	0,11	0,23	0,001	0,3	0,23	0,16	0,025	62	1,5
10	0,20	1,27	0,20	0,015	0,015	0,05	0,10	0,23	0,003	0,2	0,25	0,15	0,025	60	1,2
11	0,20	1,31	0,23	0,014	0,014	0,05	0,10	0,23	0,003	0,2	0,19	0,15	0,023	57	2
12	0,18	1,29	0,23	0,012	0,020	0,06	0,11	0,23	0,002	0,2	0,21	0,14	0,024	55	1,6
13	0,18	1,30	0,19	0,013	0,017	0,04	0,09	0,24	0,002	0,2	0,17	0,15	0,022	95	1,5
14	0,19	1,29	0,22	0,013	0,016	0,04	0,09	0,22	0,001	0,1	0,17	0,15	0,023	58	0,9
15	0,18	1,33	0,22	0,014	0,018	0,04	0,08	0,20	0,002	0,1	0,23	0,15	0,024	60	3,1
16	0,18	1,28	0,20	0,010	0,019	0,09	0,10	0,24	0,003	0,2	0,24	0,12	0,023	60	1,4
17	0,19	1,30	0,21	0,014	0,017	0,06	0,10	0,24	0,002	0,2	0,18	0,13	0,025	50	1,6
18	0,19	1,33	0,21	0,015	0,020	0,05	0,11	0,25	0,002	0,2	0,23	0,15	0,024	62	2,6
19	0,18	1,33	0,20	0,014	0,017	0,05	0,09	0,24	0,003	0,2	0,21	0,15	0,023	55	2
20	0,19	1,33	0,22	0,013	0,015	0,04	0,08	0,22	0,002	0,2	0,19	0,12	0,022	61	2,6
21	0,18	1,32	0,21	0,013	0,015	0,04	0,09	0,21	0,002	0,2	0,19	0,14	0,023	56	1,2
22	0,19	1,30	0,22	0,013	0,014	0,05	0,09	0,23	0,002	0,1	0,18	0,13	0,022	67	1,2

Tabelul 5.5. A. Compoziția chimică a șarjelor de oțel marca **ST 52-3** urmărite în cadrul experimentărilor (**distribuitor**)

Număr șarjă	Compoziția chimică														
	%													ppm	
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Al	Mo	As	Sn	V	N	H
1	0,19	0,24	1,33	0,013	0,015	0,04	0,07	0,18	0,012	0,01	0,18	0,15	0,023	61	1,6
2	0,19	0,19	1,31	0,012	0,016	0,04	0,07	0,18	0,012	0,01	0,20	0,14	0,24	65	1,4
3	0,18	0,20	1,31	0,011	0,015	0,04	0,07	0,19	0,012	0,01	0,21	0,13	0,23	66	1,7
4	0,18	0,21	1,31	0,012	0,019	0,04	0,07	0,20	0,013	0,01	0,22	0,14	0,22	60	1,9
5	0,18	0,19	1,31	0,014	0,015	0,05	0,07	0,21	0,012	0,02	0,23	0,18	0,25	90	3,5
6	0,18	0,21	1,33	0,016	0,017	0,04	0,09	0,21	0,014	0,02	0,22	0,17	0,24	62	2,5
7	0,19	0,22	1,35	0,013	0,017	0,04	0,08	0,23	0,014	0,01	0,23	0,14	0,26	58	2,4
8	0,18	0,21	1,34	0,014	0,017	0,04	0,08	0,20	0,014	0,01	0,21	0,14	0,24	60	2,5
9	0,19	0,22	1,30	0,013	0,018	0,07	0,11	0,23	0,012	0,03	0,23	0,16	0,25	70	1,5
10	0,20	0,20	1,27	0,015	0,015	0,05	0,10	0,23	0,012	0,02	0,25	0,16	0,25	63	1,2
11	0,20	0,23	1,31	0,014	0,014	0,05	0,10	0,23	0,013	0,02	0,18	0,15	0,24	61	2,0
12	0,20	0,23	1,29	0,012	0,020	0,06	0,11	0,23	0,014	0,02	0,21	0,14	0,24	55	1,6
13	0,18	0,19	1,30	0,013	0,017	0,04	0,09	0,24	0,013	0,02	0,17	0,15	0,22	60	1,5
14	0,19	0,22	1,29	0,013	0,016	0,04	0,09	0,22	0,013	0,01	0,17	0,15	0,23	63	0,9
15	0,18	0,22	1,33	0,014	0,018	0,04	0,08	0,20	0,012	0,01	0,23	0,15	0,24	65	3,1
16	0,18	0,20	1,28	0,010	0,019	0,09	0,10	0,24	0,013	0,02	0,28	0,12	0,23	60	1,4
17	0,19	0,21	1,30	0,014	0,017	0,06	0,10	0,24	0,014	0,02	0,18	0,14	0,25	52	1,6
18	0,19	0,21	1,33	0,015	0,020	0,05	0,11	0,25	0,013	0,02	0,23	0,15	0,24	65	2,6
19	0,19	0,20	1,33	0,014	0,017	0,05	0,09	0,24	0,012	0,02	0,25	0,15	0,23	58	2,0
20	0,18	0,19	1,28	0,014	0,016	0,04	0,11	0,18	0,013	0,01	0,18	0,13	0,22	55	1,1
21	0,19	0,22	1,28	0,012	0,017	0,06	0,11	0,18	0,014	0,01	0,17	0,13	0,24	58	1,3
22	0,20	0,21	1,30	0,013	0,015	0,05	0,10	0,19	0,012	0,01	0,19	0,12	0,22	60	1,2

Tabelul 5.6. A. Compoziția chimică a șarjelor de oțel marca **ST 52-3** urmărite în cadrul experimentărilor (**semifabricat**)

Număr șarjă	Compoziția chimică														
	%													ppm	
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Al	Mo	As	Sn	V	N	H
1	0,18	1,25	0,24	0,015	0,01	0,02	0,06	0,22	0,005	0,02	0,18	0,13	0,23	61	1,6
2	0,17	1,21	0,19	0,014	0,009	0,03	0,06	0,18	0,002	0,01	0,20	0,14	0,24	65	1,4
3	0,17	1,23	0,20	0,013	0,013	0,03	0,07	0,19	0,003	0,02	0,21	0,13	0,23	66	1,7
4	0,19	1,24	0,21	0,012	0,001	0,03	0,05	0,19	0,002	0,01	0,22	0,17	0,22	60	1,9
5	0,19	1,19	0,19	0,012	0,009	0,04	0,07	0,2	0,003	0,01	0,23	0,16	0,25	90	3,5
6	0,18	1,20	0,21	0,011	0,013	0,04	0,08	0,2	0,003	0,02	0,22	0,15	0,24	62	2,5
7	0,18	1,21	0,22	0,011	0,021	0,04	0,09	0,19	0,001	0,02	0,23	0,16	0,26	58	2,4
8	0,18	1,19	0,21	0,014	0,014	0,04	0,09	0,23	0,002	0,01	0,21	0,19	0,24	60	2,5
9	0,17	1,21	0,22	0,015	0,021	0,03	0,07	0,2	0,002	0,01	0,23	0,18	0,25	70	1,5
10	0,18	1,23	0,20	0,013	0,019	0,06	0,11	0,23	0,004	0,03	0,25	0,16	0,25	63	1,2
11	0,18	1,12	0,23	0,014	0,02	0,04	0,1	0,22	0,002	0,02	0,18	0,18	0,24	61	2,0
12	0,19	1,22	0,23	0,012	0,018	0,05	0,1	0,18	0,002	0,02	0,21	0,15	0,24	55	1,6
13	0,2	1,22	0,19	0,015	0,009	0,06	0,11	0,23	0,003	0,02	0,17	0,19	0,22	60	1,5
14	0,19	1,23	0,22	0,014	0,008	0,04	0,11	0,22	0,003	0,02	0,17	0,15	0,23	63	0,9
15	0,19	1,2	0,22	0,012	0,006	0,04	0,09	0,23	0,003	0,01	0,23	0,15	0,24	65	3,1
16	0,18	1,19	0,20	0,012	0,004	0,03	0,08	0,2	0,002	0,01	0,28	0,16	0,23	60	1,4
17	0,19	1,22	0,21	0,013	10,05	0,08	0,1	0,21	0,004	0,02	0,18	0,19	0,25	52	1,6
18	0,18	1,22	0,21	0,014	0,023	0,05	0,1	0,23	0,005	0,02	0,23	0,17	0,24	65	2,6
19	0,18	1,22	0,20	0,01	0,016	0,04	0,1	0,24	0,003	0,02	0,25	0,2	0,23	58	2,0
20	0,19	1,21	0,19	0,014	0,014	0,04	0,09	0,24	0,002	0,02	0,22	0,15	0,22	55	1,1
21	0,19	1,21	0,22	0,012	0,012	0,03	0,08	0,21	0,003	0,01	0,23	0,14	0,24	58	1,3
22	0,18	1,21	0,21	0,014	0,011	0,03	0,07	0,21	0,002	0,03	0,21	0,14	0,22	60	1,2

Tabelul 5.7.A. Parametrii vidării cu referire la eliminarea hidrogenului din oțel

Nr. șarjă	Parametrii independenți						Param. dependenți	
	Parametrii vidării						[H] și rand. elim. [H]	
	D _{tv} , min	D _{va} , min	P _{va} , mB	ΔT, °C	T _{intrVD} , °C	T _{iesrVD} , °C	[H] _{VD}	RH
min	min	mB	°C	°C	°C	ppm	%	
1	27	18	1,1	80	1695	1605	0,80	82
2	27	18	1,1	86	1689	1603	0,95	83
3	28	16	1,1	83	1695	1612	0,94	65
4	26	16	1,1	86	1692	1612	0,93	76
5	26	18	1,2	84	1680	1611	0,89	70
6	26	17	1,2	88	1710	1615	1,00	63
7	24	16	1,2	87	1695	1616	1,10	72
8	25	16	1,2	85	1695	1607	1,10	77
9	26	16	1,2	78	1704	1626	1,00	85
10	24	15	1,2	78	1680	1612	1,30	80
11	24	15	1,2	77	1695	1618	1,30	81
12	25	15	1,5	85	1695	1610	1,30	83
13	26	14	1,6	75	1687	1612	1,30	80
14	24	14	1,8	74	1704	1630	1,40	84
15	24	13	1,7	72	1670	1598	1,50	75
16	24	14	1,4	74	1689	1605	1,60	75
17	24	13	1,4	76	1670	1594	1,60	75
18	23	13	1,9	70	1673	1603	1,60	60
19	23	13	1,4	74	1673	1599	1,70	65
20	22	13	1,4	74	1692	1618	1,70	65
21	21	12	1,7	65	1667	1598	1,80	65
22	21	13	1,8	64	1694	1630	1,90	54

Tabelul 5.8.A. Parametrii cu referire la absorbția
hidrogenului pe traseul VD- TC

Hidrogen la ieșire VD	Hidrogen absorbit VD- distribuitor	Durata de menținere in oala VD-DB	Hidrogen absorbit VD- distribuitor
ppm	ppm	min	ppm
0,5	2,1	19	0,6
0,7	1,2	19	0,6
1,0	0,8	20	0,8
1,0	2,4	33	0,6
1,1	1,4	34	1,2
1,1	1,4	37	0,6
1,1	1,3	38	2,4
1,1	0,9	40	0,6
1,1	0,8	40	0,7
1,1	0,8	42	0,5
1,1	0,6	41	1,3
1,2	0,65	42	0,7
1,2	0,65	43	0,5
1,4	1,25	44	0,8
1,4	1,25	48	0,7
1,5	0,8	50	0,3
1,6	0,6	50	0,3
1,7	0,5	58	0,3
1,8	0,3	60	1,2
1,8	0,7	60	1,2
1,9	0,4	62	0,8
1,9	03	64	1,2

Tabelul 6.1.A. Parametrii vidării și conținutul de azot din oțel după vidare

D _{tv}	N	D _{va}	N	P _{va}	N	P _{Ar.B}	N	DT	N	T _{InVD}	N	T _{ișVD}	N
min	ppm	min	ppm	mBar	ppm	at	ppm	°C	ppm	°C	ppm	°C	ppm
21	64	15	64	1,4	64	2,03	78	41	64	1655	67	1594	66
21	70	15	67	1,4	67	2,1	76	41	68	1650	70	1594	70
21	78	15	70	1,5	68	2,1	67	45	59	1655	77	1594	74
22	68	15	78	1,7	59	2,6	71	47	66	1655	80	1594	78
22	74	16	63	1,7	69	2,7	68	47	62	1660	66	1599	62
23	62	16	67	1,7	68	2,7	67	51	70	1660	67	1600	58
23	63	16	68	1,9	62	2,8	72	51	68	1661	66	1600	70
23	66	16	71	2,0	62	2,9	70	51	67	1661	64	1603	62
23	67	16	77	2,0	63	3,0	66	51	62	1661	63	1604	67
23	68	17	61	2,0	64	3,1	64	53	66	1661	62	1602	61
23	77	17	62	2,0	67	3,2	66	54	63	1663	66	1603	61
24	62	17	66	2,0	70	3,2	62	54	62	1663	62	1603	66
24	67	17	72	2,1	71	3,35	62	56	68	1666	71	1604	67
26	62	17	74	2,1	62	4,0	70	57	74	1666	70	1612	68
26	63	18	63	2,1	66	4,0	70	57	64	1666	69	1612	63
26	64	18	64	2,1	62	4,1	70	58	77	1667	72	1613	66
26	69	18	70	2,1	67	4,8	58	59	62	1667	66	1613	64
26	70	19	59	2,1	66	4,8	62	63	78	1668	58	1613	65
26	71	19	63	2,4,	70	5,1	68	64	68	1669	64	1613	68
27	61	19	64	2,4	71	5,2	66	64	67	1669	64	1614	70
27	65	19	66	2,4	66	5,8	67	66	66	1671	70	1616	62
27	70	19	66	2,5	78	6,0	66	72	58	1674	64	1617	67
28	62	19	69	2,7	77	6,1	67	77	72	1675	62	1620	72
29	58	19	70	2,9	67	6,2	64	81	74	1676	74	1620	76

Tabelul 6.2.A. Parametrii vidării și randamentul de îndepărtare a azotului din oțel la vidare

D _{tv}	RN	D _{va}	RN	P _{va}	RN	P _{Ar.B}	RN	DT	RN	T _{InVD}	RN	T _{ișVD}	RN
min	%	min	%	mBar	%	at	%	°C	%	°C	%	°C	%
21	16,5	15	12,5	1,4	19,5	2,0	12,5	41	18,9	1655	18,2	1594	16,1
21	24,5	15	16,1	1,4	26,9	2,1	18,1	41	24,3	1650	12,1	1594	18,9
22	13,5	15	19,2	1,5	31,1	2,1	23,5	45	27,1	1655	26,3	1594	18,2
22	19,2	15	19,5	1,7	19,2	2,4	15,5	47	26,1	1655	27,3	1594	19,1
22	26,2	16	18,2	1,7	23,5	2,5	24,5	47	28,2	1660	24,2	1599	20,9
23	27,1	16	24,1	1,7	23,8	2,8	18,2	51	26,2	1660	24,1	1600	26,1
23	16,2	16	23,9	1,9	23,5	2,8	27,2	51	19,5	1661	29,5	1600	26,9
23	18,1	16	25,4	2,0	24,1	2,9	19,8	51	24,1	1662	24	1603	28,5
23	23,5	16	27,5	2,0	17,5	3,0	19,6	52	20,2	1662	19	1604	29,2
23	24,5	17	16,5	2,0	23,9	3,1	21,5	53	24,5	1663	26	1606	20,1
24	25,2	17	23,5	2,0	25,1	3,4	21,5	54	25,1	1666	28	1608	25,5
24	17,1	17	25,1	2,0	29,2	3,4	18,5	54	24,2	1666	20	1609	29,5
24	23,2	17	26,1	2,1	17,5	3,4	25,2	56	18,1	1666	19,5	1611	18,2
25	25,1	17	27,5	2,1	17,8	4,0	27,9	57	18,3	1666	27	1611	24,1
25	17,2	17	26,9	2,1	25,8	4,0	28,1	57	18,8	1666	23	1611	24,5
26	23,2	17	28,1	2,1	27,1	4,1	28,9	58	17,8	1667	24	1612	26,2
26	25,1	18	22,2	2,1	28,2	4,8	28,5	60	16,6	1667	24	1612	16,2
26	25,5	18	19,9	2,1	27,0	4,8	26,5	63	26,5	1668	23	1613	25,5
26	18,5	18	26,9	2,4	16,3	4,9	19,7	67	23,5	1669	16	1614	17,2
27	29,1	18	31,9	2,4	20,1	5,2	25,5	67	24,8	1669	23,1	1616	16,2
27	15,5	19	21,9	2,4	20,5	5,7	22,2	72	16,8	1671	23,2	1616	25,8
27	27,1	19	24,1	2,5	26,1	6,0	28,8	77	24,7	1674	19,3	1620	19,7
28	28,3	19	24,5	2,7	12,3	6,1	29,3	80	24,7	1675	16,5	1620	24,9
29	32,1	19	28,5	2,9	24,9	6,2	31,2	81	24,9	1676	16,2	1620	25,1

Anexa 6.3.A. Parametrii vidării și conținutul de azot din oțel pe traseul VD-MTC

D _{tv}	N	D _{va}	N	P _{va}	N	P _{Ar.B}	N	DT	N	T _{InVD}	N	T _{ișVD}	N
min	ppm	min	ppm	mBar	ppm	at	ppm	°C	ppm	°C	ppm	°C	ppm
21	14,1	15	11,1	1,4	24,1	2,0	11,1	41	16,2	1655	14,1	1594	14,1
21	11,1	15	14,1	1,4	24,0	2,1	15,1	41	20,2	1650	22,2	1594	16,5
21	20,2	15	15,2	1,5	32,1	2,1	21,2	42	11,1	1655	16,5	1594	19,5
22	22,2	15	20,1	1,7	16,5	2,4	13,2	47	22,1	1655	23,8	1594	22,2
22	16,5	16	22,1	1,7	19,1	2,5	20,1	49	14,1	1660	20,2	1599	24,2
23	13,4	16	14,2	1,7	21,9	2,8	23,2	51	20,1	1660	20,5	1600	22,2
23	20,2	16	20,2	1,9	24,9	2,8	15,1	51	16,2	1661	16,5	1600	25,2
23	20,5	16	20,5	2,0	24,0	2,9	24,3	52	23,8	1662	22,2	1603	21,2
23	21,5	16	21,5	2,0	16,0	3,0	13,5	52	20,2	1662	25,2	1604	23,2
23	24,2	17	19,2	2,0	20,1	3,1	20,8	53	17,2	1663	25,2	1606	25,2
24	14,7	17	14,7	2,0	21,0	3,4	23,1	54	25,2	1666	32,1	1608	22,
24	21,2	17	21,2	2,0	22,0	3,4	26,1	54	24,2	1666	18,6	1609	22,2
24	23,8	17	22,1	2,1	15,2	3,4	16,8	56	15,3	1666	17,2	1611	15,3
25	20,3	17	232	2,1	16,1	4,0	28,1	57	17,2	1666	12,2	1611	21,2
25	25,2	17	15,3	2,1	21,1	4,0	23,1	57	17,3	1666	18,2	1611	20,2
26	24,1	17	17,2	2,1	21,9	4,3	32,1	58	24,1	1667	21,5	1612	13,5
26	20,2	18	22,3	2,1	22,2	4,8	24,2	60	28,1	1667	18,2	1612	14,1
26	17,2	18	24,1	2,1	25,9	4,8	25,1	63	24,2	1668	24,5	1613	21,5
26	15,3	18	24,5	2,4,	24,1	4,9	25,2	67	24,2	1669	22,1	1614	15,2
27	24,5	18	23,8	2,4	24,5	5,2	17,5	67	32,1	1669	26,6	1616	32,1
27	19,5	19	26,6	2,3	23,1	5,7	24,2	72	25,2	1671	25,2	1616	12,2
27	22,2	19	32,1	2,5	22,9	6,0	25,1	77	23,8	1674	19,2	1620	165,
28	26,6	19	24,5	2,7	11,1	6,1	20,1	80	24,5	1675	19,2	1620	20,
29	32,1	19	24,1	2,9	21,2	6,2	14,8	81	19,5	1676	24,5	1620	24,2

Tabelul 6.4. A Parametrii absorbției de azot
în oțel pe traseul VD-MTC

D_{tv} min	D_{VD-TC} min	$N_{abs,VD-TC}$ ppm	N_D ppm
1	36	14	88
2	37	15	90
3	37	3	58
4	38	11	70
5	39	10	80
6	45	9	95
7	50	11	76
8	50	11	76
9	50	9	95
10	50	6	91
11	50	6	91
12	51	11	76
13	55	6	91
14	59	12	82
15	60	16	89
16	65	16	95
17	65	13	88
18	65	13	88
19	70	12	73
20	70	12	73
21	73	11	70
22	72	26	80

Tabelul 7.1.A. Parametrii vidarii cu referire la eliminarea oxigenului din oțel

D _{tv}	O	D _{va}	O	P _{va}	O	P _{Ar.B}	O	DT	O	T _{InVD}	O	T _{ișVD}	O
min	ppm	min	ppm	mBar	ppm	At	ppm	°C	ppm	°C	ppm	°C	ppm
20	26	12	26	1,5	26	1,0	17	63	28	1655	26	1580	25
20	25	12	23	1,55	24	1,0	18	63	27	1655	21	1580	25
20	24	12	22	1,6	21	1,1	18	64	23	1655	21	1585	22
21	24	13	25	1,7	22	1,1	20	65	23	1660	26	1585	26
21	22	13	24	1,8	25	1,2	19	65	23	1665	23	1595	21
21	22	13	23	1,9	21	1,2	20	68	25	1665	21	1598	24
22	23	13	21	2,05	24	1,2	21	69	22	1666	25	1600	24
22	21	14	23	2,15	23	1,2	22	72	21	1670	25	1605	21
22	21	14	21	2,3	23	1,3	20	73	22	1670	20	1605	20
23	23	14	19	2,55	22	1,3	21	74	24	1672	21	1605	19
23	22	15	21	2,55	20	1,3	22	74	24	1675	19	1610	22
23	21	15	20	2,55	19	1,4	21	77	22	1675	21	1610	21
23	19	15	18	2,75	21	1,5	23	78	22	1678	19	1610	18
24	21	16	20	2,95	20	1,5	23	81	23	1680	21	1615	20
24	19	16	18	2,95	16	1,5	24	82	22	1685	20	1615	18
25	21	16	18	3,3	21	1,6	24	85	23	1685	18	1620	23
25	21	16	18	3,3	20	1,7	25	85	22	1690	19	1620	22
25	29	16	20	3,4	20	1,7	25	85	21	1695	18	1620	21
26	20	17	20	3,5	20	1,8	23	85	20	1704	20	1620	19
26	18	17	17	3,5	19	1,8	23	88	22	1705	18	1620	18
27	20	17	18	3,5	18	1,9	26	88	20	1710	18	1625	23
28	17	17	17	3,5	17	1,9	26	89	21	1710	16	1630	20

Tabelul 7.2.A. Compoziția chimică – oțel AMJ21C

	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ti	B	Al	N	Ca	Ti/N*
	%									ppm		
Min	0,25	1,30	0,25			0,08	0,012	0,0015	0,020		15	2,9
Max	0,28	1,40	0,35	0,005	0,015	0,18	0,027	0,0030	0,040	70	40	-

*Ti/N=3-5