

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA
FACULTATEA DE INGINERIE HUNEDOARA**

TEZĂ DE DOCTORAT

Conducător științific:

Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. SOCALICI ANA VIRGINIA

Doctorand:

Ing. BUCUR FLAVIUS

**HUNEDOARA
2023**

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA
FACULTATEA DE INGINERIE HUNEDOARA**

TEZĂ DE DOCTORAT

**FONTE DE CALITATE SUPERIOARĂ UTILIZATE
LA SISTEMELE DE FRÂNARE A
MATERIALULUI RULANT**

Conducător științific:

Prof. Univ. Habil. Dr. Ing. SOCALICI ANA VIRGINIA

Doctorand:

Ing. BUCUR FLAVIUS

**HUNEDOARA
2023**

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA
FACULTATEA DE INGINERIE HUNEDOARA**

TEZĂ DE DOCTORAT

**FONTE DE CALITATE SUPERIOARĂ UTILIZATE
LA SISTEMELE DE FRÂNARE A
MATERIALULUI RULANT**

COMISIA:

PREȘEDINTE: Prof.univ.dr.ing. Ion Dragoș UȚU

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT: Prof.univ.dr.ing. Ana Virginia SOCALICI

REFERENȚI:

Prof.univ.dr.ing. Cristian PREDESCU, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
Politehnica București

Prof.univ.dr.ing. Nicolae CONSTANTIN, Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
Politehnica București

Prof.univ.dr.ing. Teodor HEPUȚ, Universitatea Politehnica Timișoara

MULȚUMIRI

Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul „Rețea de excelență în cercetare și inovare aplicativă pentru programele de studii doctorale și postdoctorale/InoHubDoc” prin contractul de finanțare nr. POCU/993/6/13/153437, proiect cofinanțat din Fondul Social European.

**HUNEDOARA
2023**

PREFAȚĂ

Teza de doctorat prezintă cercetările experimentale industriale și rezultatele obținute cu privire la îmbunătățirea calității saboților de frână din fontă fosforoasă destinați materialului rulant. Cercetările experimentale industriale s-au efectuat la turnătoră FOREVA Simeria. Determinările caracteristicilor calitative și tehnologice a probelor analizate s-a efectuat în cadrul Universității Politehnica Timișoara, Facultatea de Inginerie Hunedoara, respectiv în cadrul Institutului de Cercetări pentru Energii Regenerabile Timișoara.

Teza de doctorat a fost realizată sub coordonarea doamnei profesor universitar habil. dr. ing. Ana Virginia SOCALICI, căruia doresc să îi mulțumesc și acum, pe această cale, pentru tot sprijinul de care am beneficiat, pentru că a reprezentat pentru mine în ultimii ani un model de ambiție și putere de muncă, pentru că a știut să lucreze cu mine astfel încât să mă facă să îmi placă cercetarea științifică, pentru că mi-a acordat sprijin în absolut orice problemă ivită pe parcursul studiilor doctorale și pentru că prin tot ceea ce este a devenit un mentor și un reper al carierei mele profesionale.

Țin să aduc mulțumiri pentru ajutorul de care am beneficiat din partea membrilor comisiei de îndrumare: doamna conf.univ.dr.ing. Ana JOSAN, conf.univ.dr.ing. Marius ARDELEAN și domnului șef lucrări dr.ing. Vasile PUȚAN director al Departamentului de Inginerie și Management.

Mulțumesc domnului profesor universitar dr. ing. Teodor HEPUȚ pentru toată susținerea acordată pe tot parcursul studiilor doctorale și tuturor cadrelor didactice din departamentul de Inginerie și Management pentru sfaturile obiective pe care le-am primit din partea dumnealor.

Mulumiri domnului șef lucrări dr.ing. Corneliu BIRTOK-BĂNEASĂ pentru îndrumarea în activitățile legate de prezentarea rezultatelor cercetărilor la saloanele de inventică și inovare.

Mulțumesc cercetătorilor din cadrul Institutului de Cercetări pentru Energii Regenerabile Timișoara, în special domnului dr.ing. Iosif HULKA, pentru expertiza și realizarea caracterizărilor microstructurale a probelor experimentale.

Adresez în mod deosebit mulțumiri domnului Ing. Dănuț HENER director la turnătoră FOREVA Simeria și domnului ing. Sorin JESCU pentru accesul și suportul acordat pentru cercetările experimentale industriale din teza de doctorat.

Mulțumirile se îndreaptă și spre conducerea Departamentului de Inginerie și Management, a Facultății de Inginerie Hunedoara și a Universității Politehnica Timișoara, pentru sprijinul pe care l-am resimțit pe tot parcursul anilor în care am desfășurat cercetările pentru teza de doctorat.

În cele din urmă, dar nu în ultimul rând, mulțumesc familiei mele care în toți anii de studii doctorale a fost alături de mine în acest demers.

Ing. Flavius BUCUR

CUPRINS

Listă figuri	7
Listă tabele	12
Introducere	13
PARTEA I – Stadiul actual al cunoașterii privind fontele utilizate la turnarea saboților de frână pentru materialul rulant	15
Cap.1. Fonte utilizate la turnarea saboților de frână a materialului rulant	16
1.1. Elementele componente ale sistemului de frânare la materialul rulant de cale ferată motor și remorcat	16
1.2. Saboți de frână din fontă fosforoasă	18
1.3. Concluzii	23
Cap.2. Condiții tehnice de calitate ale saboților de frână fabricați din fontă fosforoasă.....	24
2.1. Fabricarea saboților de frână din fontă fosforoasă	24
2.2. Condiții tehnice de calitate - saboți de frână pentru material rulant motor și remorcat	27
2.3. Verificarea calității saboților de frână.....	29
2.4. Concluzii.....	32
PARTEA II – Cercetări și experimentări proprii privind fontele de calitate superioară utilizate la sistemele de frânare a materialului rulant.....	33
Cap.3. Cercetări experimentale industriale privind turnarea saboților de frână din fontă fosforoasă.....	34
3.1. Cadrul experimental	34
3.2. Date experimentale	38
3.3. Prelucrarea datelor experimentale.....	39
3.4. Concluzii.....	48
Cap.4. Optimizarea compoziției chimice în vederea obținerii unor saboți de frână de calitate superioară utilizând programele EXCEL și MATLAB.....	50
4.1. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul EXCEL	50
4.2. Analiza rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul EXCEL	55
4.3. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul MATLAB	55
4.4. Analiza rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul MATLAB	70
4.5. Concluzii.....	71
Cap.5. Simularea procesului de turnare și solidificare a saboților de frână, folosind programe specializate	72
5.1. Softuri de proiectare CAD-CAM-CAE	72
5.2. Simularea procesului de solidificare a saboților de frâna din fontă fosforoasă.....	72
5.3. Concluzii.....	84
Cap.6. Verificarea industrială a rezultatelor experimentale.....	85
6.1. Cadrul tehnologic experimental.....	85

6.2.	Caracterizarea microstructurală a probelor.....	87
6.3.	Concluzii.....	113
Cap.7.	Concluzii finale. Contribuții originale. Direcții viitoare de cercetare.....	114
7.1.	Concluzii finale	114
7.2.	Contribuții originale	116
7.3.	Direcții de continuare a cercetărilor	116
	Diseminarea rezultatelor	117
	Bibliografie	120
	Anexe la cap.2.....	123
	Anexe la cap.3	126
	Anexe la cap.4	134

LISTĂ FIGURI

- Figura 1.1. Figura 1.1 Frână cu saboți
Figura 1.2. Sistem frânare cu saboți
Figura 1.3. Ansamblurile de saboți pentru vagoanele de marfă
Figura 1.4. Influența fosforului asupra caracterului repartizării eutecticului fosforos în structura fontei
Figura 1.5. Modul de repartizare a eutecticului fosforos în fontele cenușii (200x)
Figura 1.6. Structura fontei fosforoase, 400x
Figura 1.7. Variația eutecticului fosforos în fonte
Figura 1.8. Influența fosforului asupra rezistenței la tracțiune a fontei
Figura 1.9. Influența fosforului asupra rezilienței fontei
Figura 1.10. Influența fosforului asupra durității fontei
Figura 1.11. Variația temperaturii eutecticului în funcție de conținutul de fosfor
Figura 1.12. Curba de răcire pentru diferite procente de fosfor a fontei
Figura 2.1. Domeniile de activitate REVA Simeria
Figura 2.2. Turnatoria FOREVA Simeria
Figura 2.3 Echipamente - linia de formare-turnare automatizată Omega SO8172
Figura 2.4. Saboți de frână din fontă fosforoasă
Figura 2.5. Mod de prelevare a epruvetelor pentru metalografie
Figura 2.6. Zonele de măsurare a durității sabotului
Figura 2.7. Dispozitiv – încercare la șoc
Figura 3.1. Fluxul tehnologic de procesare a saboților de frână
Figura 3.2. Figura 3.2. Schema agregatului de elaborare a fontei
Figura 3.3. Schema fluxului tehnologic de elaborare a fontei în cuptoare cu inducție
Figura 3.4. Elaborarea și turnarea saboților FOREVA Simeria
Figura 3.5. Fluxul tehnologic de formare-turnare a saboților de frână din fontă fosforoasă
Figura 3.6. Procesul de pregătire a formelor
Figura 3.7. Puncte de măsurare a durității
Figura 3.8. Variația Hs, Hd, Hm
Figura 3.9. Variația Hss, Hsc, Hsm, Hd
Figura 3.10. Variația Hs, Hd și Hs-Hd
Figura 3.11. Variația Hss, Hsc și Hss-Hsc
Figura 3.12. Variația Hsc, Hsd și Hsd-Hsc
Figura 3.13. Variația Hss, Hsd și Hss-Hsd
Figura 3.14. Variația Hs-Hd și Hss-Hsd
Figura 3.15. Variația Hsc și Hm
Figura 3.16. Microstructura probei - sabot tip S1
Figura 3.17. Microstructura probei - sabot tip S2
Figura 3.18. Microstructura probei - sabot tip LDE
Figura 3.19. Microstructura probei - sabot tip LDH
Figura 3.20. Microstructura probei - sabot tip LE
Figura 3.21. Probe experimentale
Figura 3.22. Microstructura proba P1, 100x
Figura 3.23. Microstructură proba P1, 200x
Figura 3.24. Microstructura proba P2, 100x
Figura 3.25. Microstructură proba P2, 300x
Figura 4.1. $H_m=f(C)$
Figura 4.2. $H_{sm}=f(C)$
Figura 4.3. $H_m=f(Mn)$
Figura 4.4. $H_{sm}=f(Mn)$

- Figura 4.5. $H_m = f(S_i)$
 Figura 4.6. $H_{sm} = f(S_i)$
 Figura 4.7. $H_m = f(P)$
 Figura 4.8. $H_{sm} = f(P)$
 Figura 4.9. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(C, M_n)$
 Figura 4.10. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(C, M_n)$
 Figura 4.11. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(C, M_n)$
 Figura 4.12. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sc} = f(C, M_n)$
 Figura 4.13. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sd} = f(C, M_n)$
 Figura 4.14. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_s + H_d)/2 = f(C, M_n)$
 Figura 4.15. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_{ss} + H_{sc} + H_{sd})/3 = f(C, M_n)$
 Figura 4.16. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(C, P)$
 Figura 4.17. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(C, P)$
 Figura 4.18. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(C, P)$
 Figura 4.19. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sc} = f(C, P)$
 Figura 4.20. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sd} = f(C, P)$
 Figura 4.21. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_s + H_d)/2 = f(C, P)$
 Figura 4.22. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_{ss} + H_{sc} + H_{sd})/3 = f(C, P)$
 Figura 4.23. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(C, S_i)$
 Figura 4.24. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(C, S_i)$
 Figura 4.25. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(C, S_i)$
 Figura 4.26. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sc} = f(C, S_i)$
 Figura 4.27. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sd} = f(C, S_i)$
 Figura 4.28. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_s + H_d)/2 = f(C, S_i)$
 Figura 4.29. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_{ss} + H_{sc} + H_{sd})/3 = f(C, S_i)$
 Figura 4.30. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(M_n, P)$
 Figura 4.31. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(M_n, P)$
 Figura 4.32. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(M_n, P)$
 Figura 4.33. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sc} = f(M_n, P)$
 Figura 4.34. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sd} = f(M_n, P)$;
 Figura 4.35. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_s + H_d)/2 = f(M_n, P)$
 Figura 4.36. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_{ss} + H_{sc} + H_{sd})/3 = f(M_n, P)$
 Figura 4.37. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(S_i, M_n)$
 Figura 4.38. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(S_i, M_n)$
 Figura 4.39. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(S_i, M_n)$
 Figura 4.40. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(S_i, M_n)$
 Figura 4.41. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(S_i, M_n)$
 Figura 4.42. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_s + H_d)/2 = f(S_i, M_n)$
 Figura 4.43. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_{ss} + H_{sc} + H_{sd})/3 = f(S_i, M_n)$
 Figura 4.44. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(S_i, P)$
 Figura 4.45. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(S_i, P)$
 Figura 4.46. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(S_i, P)$
 Figura 4.47. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sc} = f(S_i, P)$
 Figura 4.48. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(S_i, P)$
 Figura 4.49. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_s + H_d)/2 = f(S_i, P)$
 Figura 4.50. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_{ss} + H_{sc} + H_{sd})/3 = f(S_i, P)$
 Figura 5.1. Programul SolidWorks
 Figura 5.2. Modelarea sabotului tip S1
 Figura 5.3. Modelarea șinei de armare
 Figura 5.4. Ansamblul sabot-șina de armare
 Figura 5.5. Modelul formei de turnare a saboților de frână
 Figura 5.6. Ansamblul pieselor brut turnate

- Figura 5.7. Interfața Altair-InspireCast
- Figura 5.8. Începutul procesului de turnare a aliajului lichid în formă
- Figura 5.9. Turnare intermediară (0,92s)
- Figura 5.10. Momentul final al procesului de turnare
- Figura 5.11. Frontul de curgere inițial
- Figura 5.12. Înaintarea frontului de curgere (după 0,85s)
- Figura 5.13. Frontul de curgere, după 2,83s
- Figura 5.14. Frontul de solidificare înregistrat la momentul inițial
- Figura 5.15. Frontul de solidificare (după 294,52 sec)
- Figura 5.16. Sfârșitul procesului de solidificare
- Figura 5.17. Frația solidă, la momentul inițial
- Figura 5.18. Frația solidă, după 46,54s
- Figura 5.19. Frația solidă, după 420,44s
- Figura 5.20. Frația solidă în momentul final
- Figura 5.21. Temperatura formei, la momentul inițial
- Figura 5.22. Temperatura formei, după 68,40s
- Figura 5.23. Temperatura formei, după 3090,79s
- Figura 5.24. Temperatura formei, după 16381,81s
- Figura 6.1. Probe metalografice
- Figura 6.2. Aspecte din timpul pregătirii probelor
- Figura 6.3. Aspecte din timpul analizelor
- Figura 6.4. Microstructura probei A1, 500x
- Figura 6.5. Microstructura probei A1, 1000x
- Figura 6.6. Microzona proba A1 – analiză EDS, 1000x
- Figura 6.7. Spectrul EDS pentru proba A1, 1000x
- Figura 6.8. Microzonă 1 proba A1 - puncte de interes – analiză EDS, 30000x
- Figura 6.9. Spectrul EDS pentru proba A1-a, 30000x
- Figura 6.10. Spectrul EDS pentru proba A1-b, 30000x
- Figura 6.11. Spectrul EDS pentru proba A1-c, 30000x
- Figura 6.12. Microzonă 2 proba A1 - puncte de interes, 5000x
- Figura 6.13. Microzonă 2 proba A1 - punct de interes – analiză EDS, 30000x
- Figura 6.14. Spectrul EDS pentru proba A1-d, 30000x
- Figura 6.15. Microzonă 2 proba A1 - punct de interes – analiză EDS, 30000x
- Figura 6.16. Spectrul EDS pentru proba A1-e, 30000x
- Figura 6.17. Microzonă 2 proba A1 - punct de interes – analiză EDS, 30000x
- Figura 6.18. Spectrul EDS pentru proba A1-f, 30000x
- Figura 6.19. Microzonă 2 proba A1 - punct de interes – analiză EDS, 30000x
- Figura 6.20. Spectrul EDS pentru proba A1-g, 30000x
- Figura 6.21. Microzonă 2 proba A1 - punct de interes – analiză EDS, 30000x
- Figura 6.22. Spectrul EDS pentru proba A1-h, 30000x
- Figura 6.23. Microzonă 2 proba A1 - punct de interes – analiză EDS, 30000x
- Figura 6.24. Spectrul EDS pentru proba A1-i, 30000x
- Figura 6.25. Microzonă 2 proba A1 - puncte de interes – analiză EDS, 30000x
- Figura 6.26. Spectrul EDS pentru proba A1-j, 30000x
- Figura 6.27. Spectrul EDS pentru proba A1-k, 30000x
- Figura 6.28. Zonă a microstructurii probei A2, 500x
- Figura 6.29. Microzona 1 proba A2 - punct de interes – analiză EDS, 30000x
- Figura 6.30. Spectrul EDS pentru proba A2, 30000x
- Figura 6.31. Microzonă 1 a probei A2, 5000x
- Figura 6.32. Microzonă 1 a probei A2 - puncte de interes – analiză EDS, 30000x
- Figura 6.33. Spectrul EDS pentru proba A2-a, 30000x
- Figura 6.34. Spectrul EDS pentru proba A2-b, 30000x

- Figura 6.35. Spectrul EDS pentru proba A2-c, 30000x
Figura 6.36. Spectrul EDS pentru proba A2-d, 30000x
Figura 6.37. Microzonă 1 a probei A2 - punct de interes – analiză EDS, 30000x
Figura 6.38. Spectrul EDS pentru proba A2-e, 30000x
Figura 6.39. Microzonă 1 a probei A2 - puncte de interes – analiză EDS, 30000x
Figura 6.40. Spectrul EDS pentru proba A2-f, 30000x
Figura 6.41. Spectrul EDS pentru proba A2-g, 30000x
Figura 6.42. Microzonă 2 a probei A2, 500x
Figura 6.43. Microzonă 2 a probei A2, 5000x
Figura 6.44. Microzonă 2 proba A2 - puncte de interes – analiză EDS, 30000x
Figura 6.45. Spectrul EDS pentru proba A2-h, 30000x
Figura 6.46. Spectrul EDS pentru proba A2-k, 30000x
Figura 6.47. Spectrul EDS pentru proba A2-i, 30000x
Figura 6.48. Spectrul EDS pentru proba A2-j, 30000x
Figura 6.49. Zonă a microstructurii probei A1, atac nital, 500x
Figura 6.50. Zonă a microstructurii probei A1, atac nital, 1000x
Figura 6.51. Zonă a microstructurii probei A1, atac nital, 5000x
Figura 6.52. Zonă a microstructurii probei A1, atac nital, 10000x
Figura 6.53. Microzona 1 proba A1, atac nital, puncte de interes – analiză EDS, 30000x
Figura 6.54. Spectrul EDS pentru proba A1-a, atac nital, 30000x
Figura 6.55. Spectrul EDS pentru proba A1-b, atac nital, 30000x
Figura 6.56. Spectrul EDS pentru proba A1-c, atac nital, 30000x
Figura 6.57. Microzona 2 probei A1, atac nital, 500x
Figura 6.58. Microzona 2 probei A1, atac nital, 1000x
Figura 6.59. Microzona 2 probei A1, atac nital, 5000x
Figura 6.60. Microzona 2 probei A1, atac nital, 10000x
Figura 6.61. Microzona 2 probei A1, atac nital, 30000x
Figura 6.62. Zonă a microstructurii probei A2, atac nital, 500x
Figura 6.63. Zonă a microstructurii probei A2, atac nital, 1000x
Figura 6.64. Zonă a microstructurii probei A2, atac nital, 5000x
Figura 6.65. Zonă a microstructurii probei A2, atac nital, 10000x
Figura 6.66. Zonă a microstructurii probei A2, atac nital, 30000x
Figura 6.67. Microzona 1 proba A1, atac nital, puncte de interes – analiză EDS, 30000x
Figura 6.68. Spectrul EDS pentru proba A2-a, atac nital, 30000x
Figura 6.69. Microzona 2 a probei A2, atac nital, 500x
Figura 6.70. Microzona 2 a probei A2, atac nital, 1000x
Figura 6.71. Microzona 2 a probei A2, atac nital, 5000x
Figura 6.72. Microzona 2 a probei A2, atac nital, 10000x
Figura 6.73. Microzona 2 a probei A2, atac nital, 30000x
Figura 2.1.A Desenele de execuție a instalației Omega SO8172
Figura 2.2.A Desenele de execuție a instalației Omega SO8172
Figura 2.3.A Aspectul grafitului fără atac 100x
Figura 2.4.A Proportia de ferită după atacul nital, 200x - 5%ferită
Figura 2.5.A Zonă de ferită cu grosimea medie maximă 0,3 mm și grosime maximă locală 0,5 mm, atac nital, 50x
Figura 2.6.A Eutectic fosforos după atacul nital
Figura 3.1.A Microstructură proba A1, 100x
Figura 3.2.A Microstructură proba A1, 200x
Figura 3.3.A Microstructură proba A1, 300x
Figura 3.4.A Microstructură proba A1, 500x
Figura 3.5.A Microstructură proba A2, 100x
Figura 3.6.A Microstructură proba A2, 200x

Figura 3.7.A Microstructură proba A2, 300x
Figura 3.8.A Microstructură proba A2, 300x
Figura 4.1.A $H_s=f(C)$
Figura 4.2.A $H_s=f(Mn)$
Figura 4.3.A. $H_s=f(Si)$
Figura 4.4.A. $H_s=f(P)$
Figura 4.5.A. $H_d=f(C)$
Figura 4.6.A. $H_d=f(Mn)$
Figura 4.7.A. $H_d=f(Si)$
Figura 4.8.A. $H_d=f(P)$
Figura 4.9.A. $H_{ss}=f(C)$
Figura 4.10.A. $H_{ss}=f(Mn)$
Figura 4.11.A. $H_{ss}=f(Si)$
Figura 4.12.A. $H_{ss}=f(P)$
Figura 4.13.A. $H_{sc}=f(C)$
Figura 4.14.A. $H_{sc}=f(Mn)$
Figura 4.15.A. $H_{sc}=f(Si)$
Figura 4.16.A. $H_{sc}=f(P)$
Figura 4.17.A. $H_{sd}=f(C)$
Figura 4.18.A. $H_{sd}=f(Mn)$
Figura 4.19.A. $H_{sd}=f(Si)$
Figura 4.20.A. $H_{sd}=f(P)$

LISTĂ TABELE

- Tabelul 1.1. Elaborarea unor fonte fosforoase în cuptoare cu inducție
Tabelul 2.1. Compoziția chimică a saboților din fontă fosforoasă
Tabelul 3.1. Fișă tehnică HFP-2
Tabelul 3.2. Compoziția chimică
Tabelul 3.3. Duritatea probelor în punctele măsurate pe saboții de frână
Tabelul 3.4. Calcule duritate saboți
Tabelul 6.1. Componența șarjelor industriale
Tabelul 6.2. Compoziția chimică a șarjelor experimentale
Tabelul 6.3. Probele de duritate ale șarjelor experimentale
Tabelul 6.4. Microstructuri
Tabelul 3.1.A. Structura încărcăturii metalice a șarjelor experimentale
Tabelul 3.2.A. Analiză compozițională
Tabelul 3.3.A. Probele de duritate ale șarjelor analizate

INTRODUCERE

Obiectivul fundamental al tezei de doctorat constă în îmbunătățirea calității saboților de frână din fontă fosforoasă destinați materialului rulant motor și remorcat.

Pentru îndeplinirea obiectivului fundamental s-au stabilit următoarele obiective specifice:

- studiul proceselor de turnare și solidificare a fontei;
- analiza posibilităților de îmbunătățire a calității saboților de frână din fontă fosforoasă;
- experimentarea industrială a proceselor de turnare și solidificare a saboților de frână din fontă fosforoasă;
- identificarea și optimizarea parametrilor tehnologici optimi pentru îmbunătățirea calității fontei;
- modelarea 3D a sabotului de frână folosind SolidWorks;
- modelarea 3D a rețelei de turnare a saboților de frână folosind SolidWorks;
- simularea procesului tehnologic de turnare și solidificare a saboților de frână din fontă fosforoasă folosind Altair InspireCast;
- verificarea industrială a rezultatelor obținute;
- analiza globală a rezultatelor;
- formularea de concluzii și contribuții originale precum și identificarea direcțiilor de cercetare viitoare referitoare la tematica abordată.

Teza de doctorat **Fonte de calitate superioară utilizate la sistemele de frânare a materialului rulant** este structurată în două părți, șapte capitole și se încheie cu concluzii finale, contribuții originale, diseminarea rezultatelor cercetării, bibliografie și anexe.

Partea a I-a - Stadiul actual al cunoașterii privind fontele utilizate la turnarea saboților de frână pentru materialul rulant cuprinde două capitole în care se analizează fontele utilizate la turnarea saboților de frână pentru materialul rulant și condițiile tehnice de calitate ale acestora.

Capitolul 1 - Fonte utilizate la turnarea saboților de frână a materialului rulant prezintă fontele cenușii fosforoase din care sunt confecționați saboții de frână ai materialului rulant. La materialul rulșant de cale ferată motor și remorcat se utilizează saboți de frână din fonte fosforoase sau din materiale compozite. Fontele destinate fabricării saboților de frână sunt fonte aliate cu fosfor. Alierea cu fosfor conduce la formarea unui eutectec ternar fosforos steadită. Acesta imprimă fontei o duritate ridicată. Fonta fosforoasă tip P10, din care sunt confecționați saboții de frână, prezintă o serie de caracteristici superioare.

Capitolul 2 – Condiții tehnice de calitate ale saboților de frână fabricați din fontă fosforoasă prezintă normele europene precizate de normele din Specificația tehnică europeană UIC 832 referitoare la saboții de frână din fontă, precum și cele naționale prezentate de normativele în vigoare. De asemenea, este prezentat pentru turnarea saboților de frână fluxul de elaborare, turnare și formare a acestora la Turnatoria Foreva din cadrul REVA Simeria.

Partea a II-a - Cercetări și experimentări proprii privind fontele de calitate superioară utilizate la sistemele de frânare a materialului rulant, este structurată pe cinci capitole și prezintă cercetările industriale proprii efectuate într-o turnătorie, analiza datelor, optimizarea parametrilor tehnologici de elaborare, turnare formare a acestora, simularea proceselor de turnare și solidificarea fontelor, verificarea industrială a rezultatelor obținute și concluziile finale respectiv contribuțiile originale.

Capitolul 3 - Cercetări experimentale industriale privind turnarea saboților de frână din fontă fosforoasă prezintă experimentările industriale efectuate în turnătorie și rezultatele obținute pentru 70 șarje de fontă P10, din care au fost turnate serii de saboți, de diferite tipuri

S1/S2/S3/LDH/LDE/LE. Cercetările s-au desfășurat pe fluxul tehnologic de elaborare, formare și turnare a fontei fosforase. Pentru fiecare șarjă s-a prezentat structura compoziției metalice și nemetalice, parametrii tehnologici ai elaborării, formării și turnării, compoziția chimică a fontei elaborate și verificarea parametrilor de calitate impuși de normativ. Datele experimentale au fost prelucrate în programul de calcul EXCEL, caracteristicile tehnologice obținute încadrându-se în standardul de produs. De asemenea, examenul metalografic al fontei sabotului, pentru fiecare șarjă, a constat în analiza a patru probe/șarjă, și anume: o probă (fără atac chimic și cu un grosisment G de 100x) pentru identificarea formei separărilor de grafit respectiv caracterul acestora și lungimea separărilor de grafit lamelar, o probă (cu atac nital și cu un grosisment G 200x) pentru determinarea configurației perlitice și două probe (cu atac nital și cu un grosisment G de 25x și 50x) pentru masa metalică bază și eutecticul fosforos.

Capitolul 4 – *Optimizarea compoziției chimice în vederea obținerii unor saboți de frână de calitate superioară utilizând programele EXCEL și MATLAB* prezintă corelațiile grafice și analitice obținute între elementele din compoziția chimică a saboților de frână (parametri independenți) și duritatea - principalul parametru calitativ pentru saboții de frână (parametru dependent). Corelațiile duble sunt exprimate prin funcții polinomiale de gradul 2, atât sub formă grafică, cât și analitică. Corelațiile rezultate, evidențiază sub formă grafică și analitică limitele de variație a domeniului tehnologic pentru parametri analizați. Prin intersecția suprafețelor de regresie cu plane de nivel s-au obținut curbele de nivel, acestea permițând stabilirea limitelor de variație a parametrilor independenți, pentru a obține o anumită valoare pentru parametrul dependent. Pentru fiecare reprezentare grafică sunt indicate subdomeniile în care se găsesc valorile optime pentru parametru dependent, ceea ce determină, de fapt, limitele de variație pentru parametri independenți.

Capitolul 5 - *Simularea procesului de turnare și solidificare a saboților de frână, folosind programe specializate* prezintă simularea procesului de turnare și solidificare a saboților de frână de tip S1, turnați din fontă fosforoasă. Inițial s-a realizat modelul piesei, pentru modelare s-a folosit modulul CAD al programului SolidWorks. În urma modelării sabotului se obțin cele două elemente componente: sabotul propriu-zis și șina de armare. Ulterior, prin intermediul aceluiși soft s-a realizat ansamblul sabot-șină de armare. În urma obținerii modelului 3D a sabotului de tip S1, se realizează simularea procesului de turnare și solidificare, cu ajutorul softului Altair-InspireCast. S-a realizat o analiză cu element finit a procesului de turnare și solidificare. Pentru obținerea ansamblului pieselor brut turnate, s-a folosit de asemenea programul SolidWorks. Ansamblul realizat a fost importat în programul de simulare Altair-InspireCast. Pentru simularea procesului de turnare și solidificare s-a realizat modelul 3D, folosind metoda elementului finit. Modelul obținut ilustrează fenomenul care are loc în practica industrială, respectiv turnarea prin rețeaua de turnare a unei baterii de 8 saboți de frână. Simularea procesului de solidificare a pieselor turnate are importanță tehnologică, deoarece combină o serie de parametri ai proceselor, respectiv transfer de căldură, transformări de fază, procese de difuzie, variații de volum, procese de curgere și procese de alimentare locală.

Capitolul 6 – *Verificarea industrială a rezultatelor experimentale* prezintă experimentările efectuate în turnătorie pentru verificarea industrială a datelor și rezultatelor obținute. Este prezentată, de asemenea, caracterizarea microstructurală și morfologică a fontei fosforoase din care este confecționat sabotul de frână. Caracterizarea probelor, prelevate din practica industrială, s-a efectuat prin analize metalografice și analize de microscopie electronică de baleiaj (SEM-EDS).

Capitolul 7 - *Concluzii finale. Contribuții originale. Direcții viitoare de cercetare* prezintă concluziile finale obținute, contribuțiile originale, și direcțiile de continuare a cercetărilor.

În partea finală a tezei de doctorat sunt prezentate sursele bibliografice, diseminarea rezultatelor cercetării și anexele.

Partea I

STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII PRIVIND FONTELE UTILIZATE LA TURNAREA SABOȚILOR DE FRÂNĂ PENTRU MATERIALUL RULANT

CAPITOLUL 1

FONTE UTILIZATE LA TURNAREA SABOȚILOR DE FRÂNĂ A MATERIALULUI RULANT

1.1. Elementele componente ale sistemului de frânare la materialul rulant de cale ferată motor și remorcat

În timpul deplasării unui tren pe calea ferată, asupra unui acestuia acționează următoarele forțe: forța de tracțiune dezvoltată de vehiculul motor, forțele rezistente ale tuturor vehiculelor care compun trenul și forțele de frânare. Forțele de frânare sunt forțele exterioare care acționează asupra roților trenului, în sensul invers mișcării, și se obțin cu ajutorul unor sisteme sau instalații speciale de frânare, montate pe vehiculele trenului, care permit transformarea în lucru mecanic rezistent a energiei cinetice înmagazinată în masa trenului [1].

Sisteme de frânare [1,2]:

a) pentru vehiculele motoare, auto motoare, rame electrice: frâna pneumatică automată, frâna electropneumatică, frâna de mână, frâna de ținuire, frâna electrodinamică, frâna hidrodinamică, frâna cu patine magnetice (în contact sau nu cu șina);

b) pentru vehiculele remorcate: frâna pneumatică automată, frâna electropneumatică, frâna de mână, frâna de ținuire, frâna cu patine magnetice (în contact sau nu cu șina).

În funcție de necesități, sistemele de frânare suplimentare transformă energia cinetică a trenului în lucru mecanic de frânare având eficacitate și rentabilitate îndeosebi în domeniul vitezelor mari. Cele mai utilizate sisteme de frânare suplimentară sunt frânarea electrică și cea cu patine magnetice. În domeniul vitezelor mari și foarte mari, chiar dacă ar acționa simultan toate sistemele de frânare ale vehiculului nu pot realiza fizic drumurile de frânare limită tradiționale de 1000m, 1200m, 1400m sau 1600m astfel s-a dezvoltat conceptul de realizare a drumurilor de frânare cu ajutorul tehnicii de semnalizare [1-4].

Instalațiile de frână utilizate până în prezent pe materialul rulant la majoritate administrațiilor de cale ferată pot fi clasificate după mai multe criterii, astfel [1,2,5]:

a. după modul de realizare al forței de frânare:

- frâna cu saboți, la care forța de frânare se realizează prin frecarea produsă între saboți și suprafața de rulare a roților;
- frâna cu disc, unde forța de frânare se realizează prin frecarea produsă între garniturile de frecare și discul de frână;
- frâna electrică, la care, în timpul frânării, motoarele electrice de tracțiune cu minime modificări în schema electrică, trec în regim degeneratoare, care debitează fie pe rezistențe, fie în linia de contact;
- frâna hidraulică, la care forța de frânare se realizează prin utilizarea transformatorului hidraulic ca organ de frânare;
- frâna magnetică, la care forța de frânare se realizează prin utilizarea transformatorului hidraulic ca organ de frânare.

b. după felul agentului de comandă și de producere a frânării:

- frâna de mână, unde agentul de comandă pentru producerea frânării este forța musculară a omului, exercitată asupra unei manivele;
- frâna de vid, la care agentul de comandă a frânării de a lungul trenului este aerul rarefiat, frânarea vehiculului realizându-se prin presiune atmosferică;
- frâna cu aer comprimat, în care agentul de comandă a frânării de a lungul trenului este aerul comprimat, frânarea vehiculului se realizează cu ajutorul aerului comprimat;

- frâna electropneumatică, la care forța de frânare se realizează cu ajutorul aerului comprimat, iar admisia sau evacuarea aerului din cilindri de frână este comandată de ventile electromagnetice.
- c. după gradul de automatizare a procesului de frânare:
 - frână neautomată, care nu se autoactivează în caz de pericol;
 - frâne automate, care intră în acțiunea automat în caz de pericol.
- d. după tipul regimurilor de funcționare la care se folosesc:
 - frâne pentru regim marfă;
 - frâne pentru regim persoane;
 - frâne pentru regim rapid;
 - frâne pentru regim foarte rapid.

Frâna cu saboți este cea mai folosită la materialul rulant. În figura 1.1 se prezintă principiul constructiv al unei frâne cu saboți, acționată cu aer comprimat și manual [1,5].

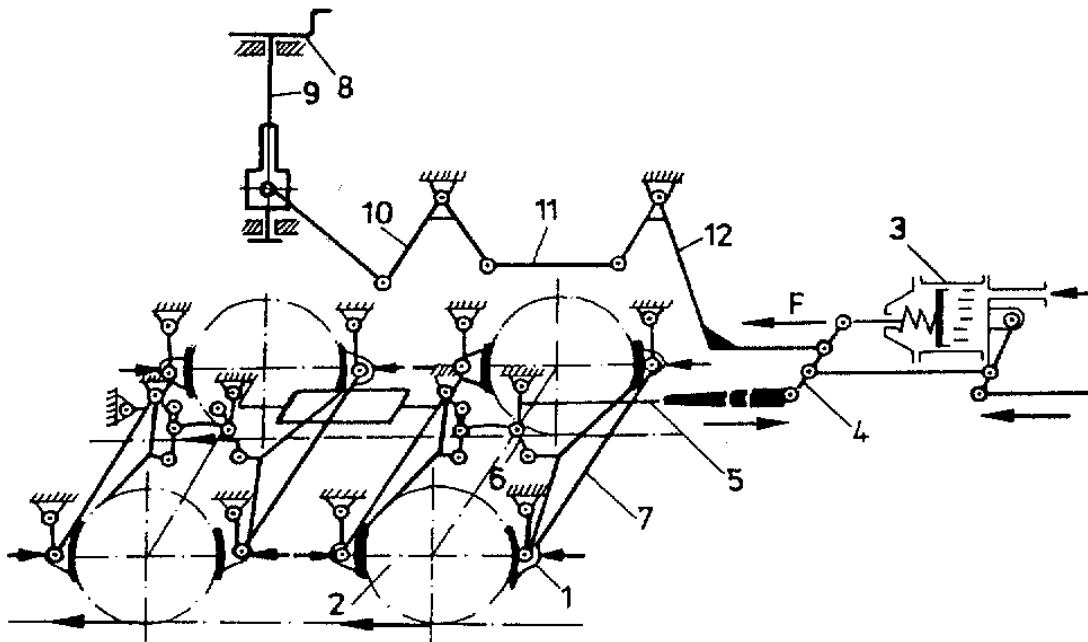


Figura 1.1. Frână cu saboți [5]:

- 1 – saboți de frână; 2 – roți; 3 – cilindru de frână; 4,5,6,7 – elementele timoneriei de frână;
8 - manivelă; 9,10,11,12 – pârghii.

La vagoanele de călători și locomotive care au gabarit limitat se utilizează unități de frânare cu saboți din fontă sau material compozit, prezentați în figura 1.2. În figura 1.3 se prezintă ansamblurile de saboți pentru vagoanele de marfă [1,5].

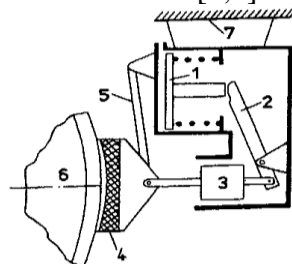


Figura 1.2. Sistem frânare cu saboți [1]:

- 1 - piston; 2- pârghie; 3- regulator automat de timonerie;
4 – sabot de frână; 5 – atârnat; 6 – roată; 7 – cadru boghiu.

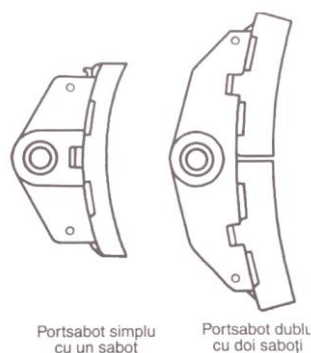


Figura 1.3. Ansamblurile de saboți pentru vagoanele de marfă [1]

În timpul procesului de frânare, valoarea forței de frânare se modifică în limite foarte largi, datorită variației coeficientului de frecare dintre saboți și roată. Studii practice [2] ale frecării sabotului de frână din fontă pe bandajul roții din oțel au scos în evidență că valorile coeficientului de frânare sunt influențată de o serie de factori, cei mai importanți fiind: viteza, felul materialului, temperatura, presiunea specific și starea de curățenie a suprafețelor de contact. Astfel, în cazul sabotului din fontă, coeficientul de frecare variază invers proporțional cu viteza, presiunea specifică, temperatura și umiditatea. Se constată că la viteze și presiuni mari, coeficientul de frecare scade.

Pentru saboții din fontă s-a constatat că, pe măsură ce viteza crește, scade coeficientul de frecare. În acest scop, în ultimii ani, s-a experimentat saboți din material compozit la care coeficientul de frecare nu este influențat de viteză.

Aprecierea calităților saboților în exploatare se face pe baza următoarelor criterii: stabilirea drumurilor de frânare, uzura specifică cât mai mică, capacitatea de încărcare termică cât mai mare, sensibilitatea la rupere cât mai mică și tendința scăzută la formarea scânteilor.

Saboții de frână folosiți la calea ferată sunt fabricați în conformitate cu prevederile fișei UIC 832 și cu cerințele suplimentare conținute în Caietul de sarcini, Nr.1/SFMR/SDT/2000, Saboți de frână pentru material rulant motor și remorcat, elaborate de Societatea Națională a Căilor Ferate Române (SNCFR) și aprobat de Autoritatea Feroviară Română (AFER) [3,6].

1.2. Saboți de frână din fontă fosforoasă

La materialul rulant de cale ferată, pentru elaborarea saboților de frână, se folosește o fontă aliată cu fosfor. Fontele destinate saboților au în structură steadită, care este un eutectic ternar fosforos (perlită, cementite și fosfură de fier) [7-9].

În componența fontei fosforoase intră o serie de elemente care au efect grafitizant care reduc cementite, precum și antigrafitizante care o stabilizează [5,7,8].

La fontele cenușii, carbonul variază în limitele 2,8-3,8%.

Siliciul este cuprins între 1,5-2,5% [5,9,10].

De asemenea manganul are valori între 0,5-1%.

Sulfurul are un rol important (0,06-0,1%) în structura fontei deoarece este antigrafitizant conducând la o fontă rezistentă la șocul termic [5,9,10].

Fosforul, elemental principal de aliere utilizat la fontele fosforoase destinate fabricării saboților de frână este cuprins între 0,15-0,25%. El are rol în creșterea durității și a rezistenței la uzură [5,9,10].

În figurile 1.4-1.6 se prezintă modul de repartiție al eutecticului fosforos la limitele grăunților [5,9-12]. Suprafața ocupată de eutecticul fosforos în fonte este de maxim 15%, iar dimensiunile separărilor lui de maxim 1mm.

În fontele cenușii aliate cu fosfor o importanță foarte mare o are eutecticul fosforos care este foarte dur și fragil. Eutecticul fosforos este influențat de procentul de fosfor și de elementele care influențează capacitatea de segregare a acestuia (figura 1.7) [5,13].

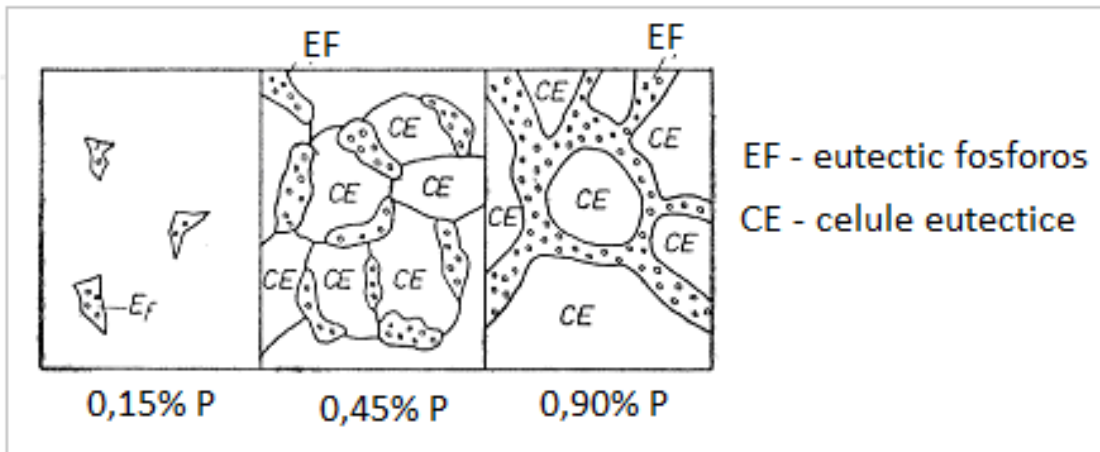


Figura 1.4. Influența fosforului asupra caracterului repartizării eutecticului fosforos în structura fontei [5,10]



Figura 1.5. Modul de repartizare a eutecticului fosforos în fontele cenușii (200x) [5,10]



Figura 1.6. Structura fontei fosforoase, 400x [5,10]

La creșterea conținutului de fosfor se înregistrează o creștere a rezistenței la tracțiune a fontei (figurile 1.8 și 1.9) [5,9,10].

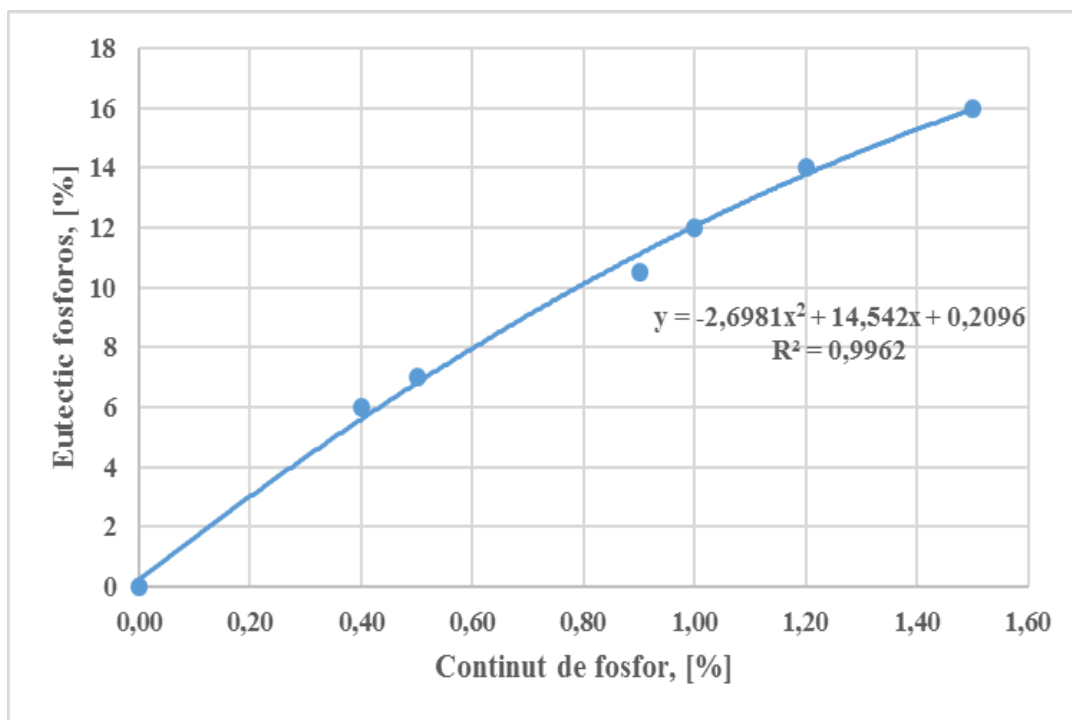


Figura 1.7. Variația eutecticului fosforos în fonte [5,10]

În fontele fosforoase, având în vedere formarea steaditei, aceasta fiind un constituent cu o duritate mare se obține o creștere a durității acestora (figura 1.10) [5,9,10,12].

Figura 1.11 prezintă variația temperaturii eutecticului cu procentul de fosfor.

În figura 1.12 se prezintă intervalul de solidificare real al fontelor fosforoase.

La fontele fosforoase un rol foarte important îl are microporozitatea datorită microcavităților de contracție ce apar în spațiile intercelulare [5,10,13-20].

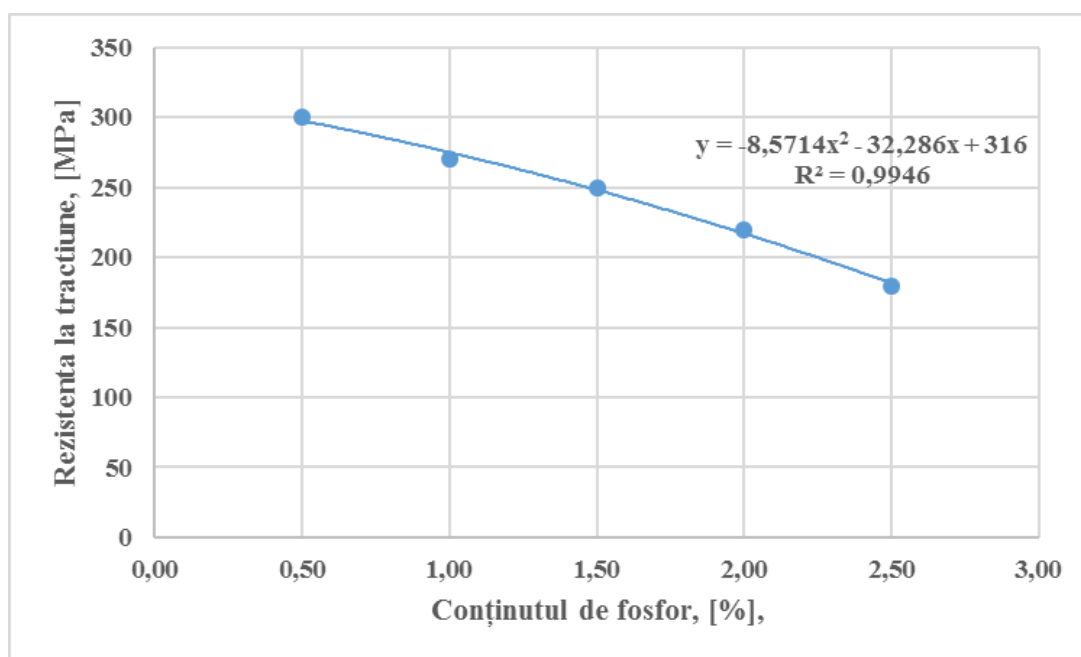


Figura 1.8. Influența fosforului asupra rezistenței la tracțiune a fontei

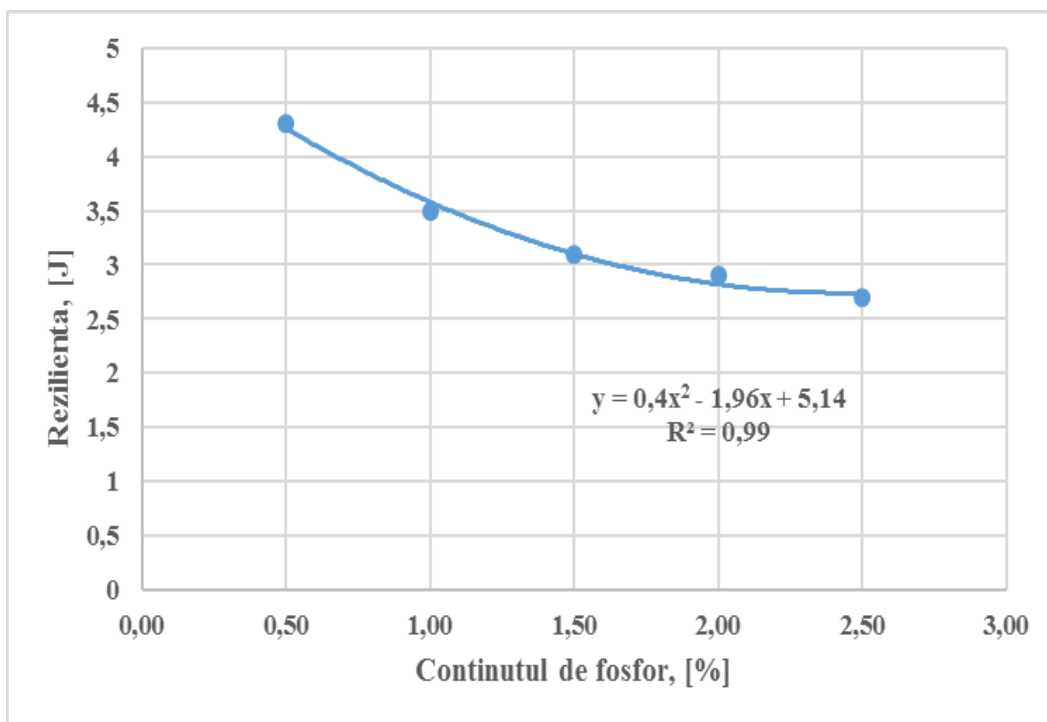


Figura 1.9. Influența fosforului asupra rezilienței fontei

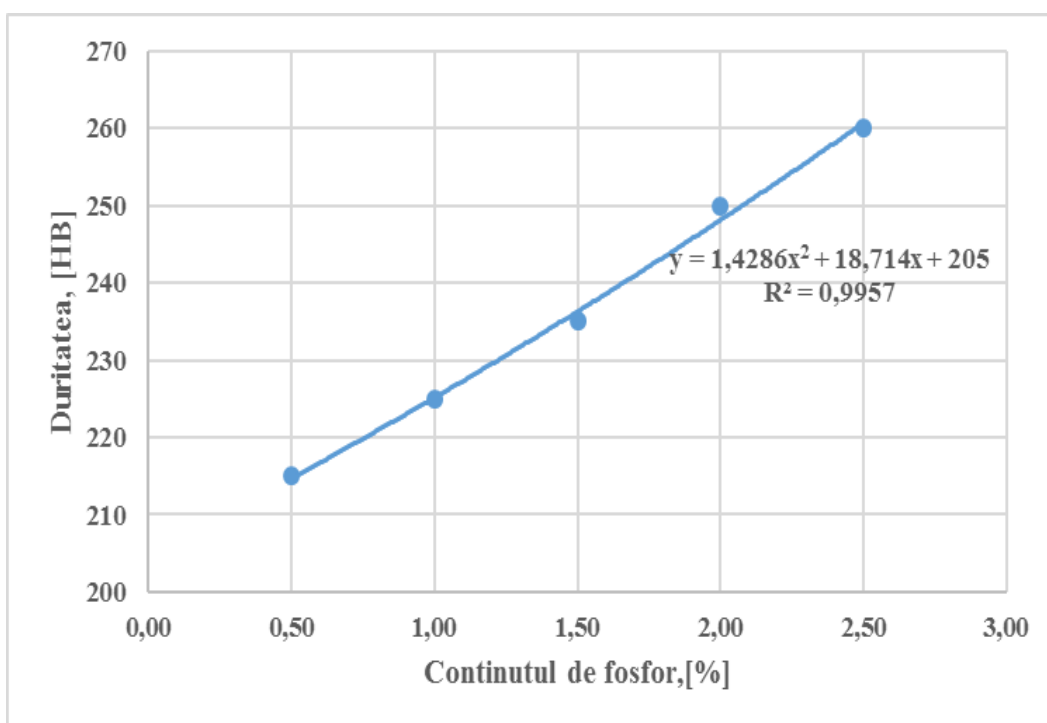


Figura 1.10. Influența fosforului asupra durității fontei

La solidificarea fontelor cenușii pot apărea zone cu conținut mai ridicat de fosfor în zona centrală a celulelor eutectice. Se formează structuri specifice a căror lamele de grafit sunt fine și au diferite mărimi.

Procesul de elaborarea a fontei fosforoase este influențat de mai mulți factori:

- calitatea materiei prime feroase și a materialelor auxiliare utilizate la elaborare;
- omogenitatea chimică și termică a topiturii;
- parametrii tehnologici de elaborare și turnare.

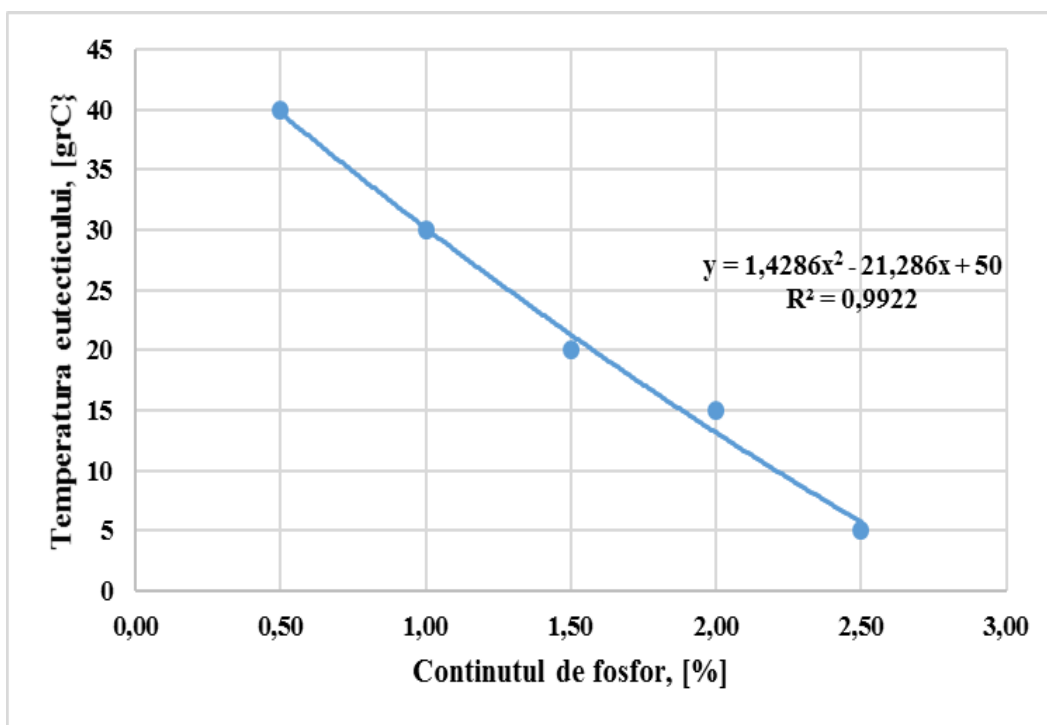


Figura 1.11. Variația temperaturii eutecticului în funcție de conținutul de fosfor

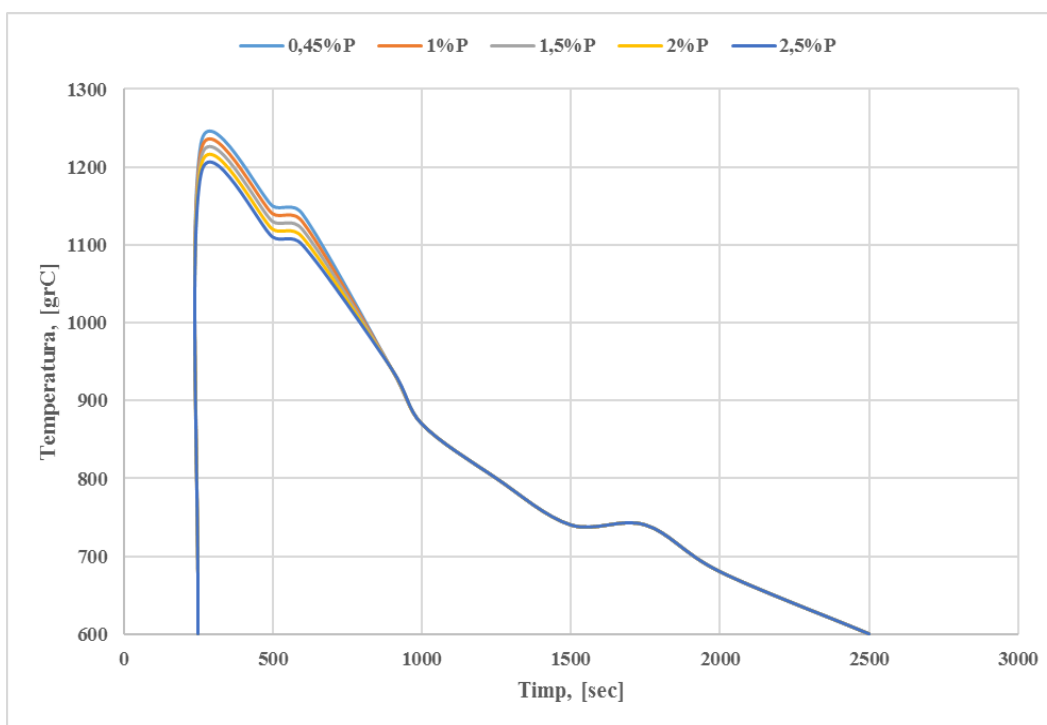


Figura 1.12. Curba de răcire pentru diferite procente de fosfor a fontei

În tabelul 1.1 se prezintă încărcătura și compoziția chimică a fontei fosforoase din cuptorul cu inducție [5,10].

Pentru elaborarea fontelor fosforoase, în încărcătura agregatului de elaborare se poate utiliza ca și materie primă fontă de primă fuziune. În acest caz, la elaborare, nu se face corecție pentru carbon și siliciu.

Tabelul 1.1. Elaborarea unor fonte fosforoase în cuptoare cu inducție [5]

Nr. șarjă	Încărcătură	Corecție C și Si	Compoziție chimică, [%]	Înălțime albire [mm]	Indice retasură [mm ³]
I	88,2% - fontă de furnal 6,6% - fier vechi 5,0% - FeP FeS	Nu	C = 3,2 Si = 2,48 P = 1,15 S = 0,06 C _{EL} = 4,4	11,0	0

O altă posibilitate de elaborare a fontelor fosforoase este de a utiliza în încărcătură deșuri metalice (fier vechi, deșeu de fontă fosforoasă, deșuri de fontă aliată, deșeu de oțel aliat) în acest caz fiind necesară o corecție a carbonului și siliciului.

1.3. Concluzii

Analizând caracteristicile de material pentru saboții din fontă de calitate superioară tip P10 rezultă următoarele:

- calitatea saboților de frână (în special calitatea suprafețelor și precizia dimensională) turnați în forme de mare densitate, este superioară comparativ cu saboții de frână obținuți prin orice altă metodă clasică de formare;

- fonta fosforoasă P10, din care sunt confecționați saboții de frână, are caracteristici superioare;

- la saboții de frână din fontă fosforoasă coeficientul de frecare scade cu creșterea vitezei, densitatea materialului este de 7,2 kg/dm³ iar viteza maximă admisă a materialului rulant este de până la 120 Km/h;

- influența conținutului de fosfor al fontei din care este confecționat sabotul este importantă, dar nu trebuie ignorată influența celorlalte elemente componente a structurii metalografice asupra coeficientului de frânare și a uzurii;

- dimensiunile granulelor eutectice, precum și repartizarea rețelei de fosfură care înconjoară celulele au și ele un rol important, ca și forma, dimensiunea și repartizarea structurii grafitice, precum și cantitatea de grafit eliminată în timpul cristalizării grafitice.

- elementele chimice existente în componența materialului sabotului influențează diferit cristalizarea, de exemplu, creșterea conținutului de mangan favorizează cristalizarea cementitică, iar creșterea conținutului de siliciu pe cea grafitică;

- fonta este cel mai utilizat metal turnat în forme și fazele grafitului din fontă se dezvoltă împreună cu matricea metalică în timpul solidificării iar înțelegerea și controlul structurii, densitatea și morfologia acestuia este esențială pentru proprietățile fontei.

CAPITOLUL 2

CONDIȚII TEHNICE DE CALITATE ALE SABOȚILOR DE FRÂNĂ FABRICAȚI DIN FONTĂ FOSFOROASĂ

2.1. Fabricarea saboților de frână din fontă fosforoasă

Fabricarea saboților din fontă fosforoasă se realizează la FOREVA Simeria, parte din REVA Simeria. Această societate a fost înființată în anul 1869, când s-a dat în funcțiune linia de cale ferată Arad-Teiuș, fiind cea mai veche întreprindere de profil din țară [21]. În 1872 se extinde activitatea construindu-se o hală de reparat vagoane, ce exista și în prezent la sectorul I. La sectorul Triaj în 1917 au început lucrări pregătitoare pentru construcția liniei ferate de legătură cu atelierele centrale, acestea efectuau reparații de locomotive și vagoane de clasă respectiv marfă. În Decembrie 1918 Întreprinderea din Simeria trece sub administrația Căilor Ferate Romane sub denumirea de „Atelierul CFR Simeria” iar în 1927 se construiește o hală de reparat vagoane în Simeria Triaj. În anul 1937 se construiește o altă hală de reparat vagoane și transbordorul care deservește 12 linii. Intre 1956-1957 s-a construit a doua hală de reparat vagoane cu trei linii pe o suprafață de 2800 mp. În anul 1969 și-a schimbat denumirea în "Întreprinderea Mecanică de Material Rulant (IMMR Simeria)".

În 2001 compania se privatizează și este controlată SC GRAMPET SA București în proporție de 89,56% [21]. La REVA Simeria toate activitățile desfășurate sunt susținute de o pregătire tehnică, experiență și profesionalism de nivel ridicat. În prezent, Grupul GRAMPET este o multinațională cu capital românesc și cel mai mare grup feroviar și operator logistic privat din Europa Centrală și de Sud-Est. De asemenea, este prima companie europeană care a aderat la Ruta de Transport Internațională Trans-Caspică, parte din Noul Drum al Mătăsii. Privatizarea societății și intrarea în Grupul Grampet a marcat începutul unei etape de creștere, de investiții în modernizare și dezvoltare de noi tehnologii pentru Reva Simeria. În cei peste 150 de ani, REVA Simeria a devenit însuși simbolul tradiției în industria de profil din România și un exemplu de performanță. Prin programul investițional permanent, dotările tehnice s-au aliniat nivelului european, iar Reva Simeria a obținut noi certificări și autorizări, devenind primul reparator român certificat în mai multe state din Europa.

În prezent, REVA SA Simeria își desfășoară activitatea de reparare material rulant în două sectoare [21]: sectorul 1 specializat în reparația vagoanelor cisternă și sectorul 2 specializat în reparația vagoanelor de marfă și fabricație cisterne.

Figura 2.1 prezintă principalele domenii de activitate ale organizației care se referă la repararea vagoanelor de cale ferată și turnare de saboți de frână și piese de fontă/oțel [21].

În cadrul REVA Simeria un sector aparte îl reprezintă turnătoria FOREVA. În figura 2.2 se prezintă o parte din echipamentele fluxului tehnologic al acesteia, modernizat în ultimii ani [22].

Secția de turnătorie a firmei SC FOREVA SRL Simeria produce semifabricate turnate din fontă cenușie și slab aliată, cu masa între 1kg – 5000kg, având ca destinație [22]:

a) saboți de frână;

b) piese de schimb pentru uz general industrial;

Fluxul tehnologic de la SC FOREVA SRL Simeria are în dotare [22]:

- trei cuptoare electrice cu inducție;
- mașină automată de format în curent de aer-presare;
- amestecător cu paleți EIRICH, capacitate 640kg;
- amestecător HAMMERS;
- stație de preparare a amestecului de formare;
- dezbătător cu masa excentrică, capacitate 7,5t;
- o linie semiautomată de turnare saboților de frână;

- camera de sablat cu alice cu turbine WHEELABRATOR SMARTLINE;
- camera de sablat cu alice cu bandă;
- o linie de formare-turnare automatizată Omega SO8172.



Revizia și reparația vagoanelor



Construcții și modernizări vagoane - seriile E, L, F, Z



Reparații componente



Fabricare piese de schimb



Servicii spălare vagoane cisternă la interior

Figura 2.1. Domeniile de activitate REVA Simeria



Figura 2.2. Turnatoria FOREVA Simeria

Linia de formare-turnare automatizată Omega SO8172 a fost pusă în funcțiune în anul 2019. În figura 2.3 se prezintă echipamentele instalației de turnare automatizată a pieselor de fontă sau oțel [22].

În figurile 2.1A și 2.2A se prezintă desenele de execuție a instalației Omega SO8172.

La turnătoria FOREVA Simeria se elaborează fontă și oțel pentru turnare sub formă de piese, o mare parte din acestea fiind produse finite autorizate de AFER. În cadrul turnătoriei există un laborator pentru efectuarea de analize chimice a șarjelor elaborate dotat cu echipamente pentru pregătirea probelor pentru determinarea caracteristicilor fizico-mecanice a produselor finite și pentru determinarea microstructurii probelor.



Figura 2.3 Echipamente - linia de formare-turnare automatizată Omega SO8172 [22]

Etalonarea aparaturii se face de către Institutul National de Metrologie sau de partenerii certificați ai acestuia sau de Laboratorul Metrologic propriu al firmei.

2.2. Condiții tehnice de calitate pentru saboții de frână destinați materialului rulant

Frânele cu saboți sunt de regulă echipate cu **saboți din fontă fosforoasă** sau din materiale compozite. Saboții din fontă fosforoasă se utilizează, în general, la materialul rulant a cărui viteză maximă nu depășește 140km/h. Saboții de frână din materiale compozite se utilizează pentru a înlocui saboții convenționali din fontă, care sunt considerați o sursă importantă de zgomot.

La confecționarea saboților de frână destinați materialului rulant, cea mai largă utilizare o au fontele fosforoase P10 [3,6,23].

Saboții de frână, mărimile S1, S2, S3, LDE, LDH și LE prezentați în figura 2.4, sunt obținuți prin turnare din fontă fosforoasă și sunt destinați pentru materialul feroviar rulant motor și remorcat.

Caietul de sarcini Nr.1/SFMR/SDT/2000 [6] reglementează condițiile pe care trebuie să le îndeplinească saboții de frână din fontă tip P10, saboți destinați materialului rulant.

Turnătoria FOREVA realizează următoarele tipuri de saboți:

- S1, S2, S3 – destinați vagoanelor de cale ferată;
- LDH, LDE, LE – destinați locomotivelor.

Pentru armarea saboților de frână sunt folosite șine de armare din oțel.

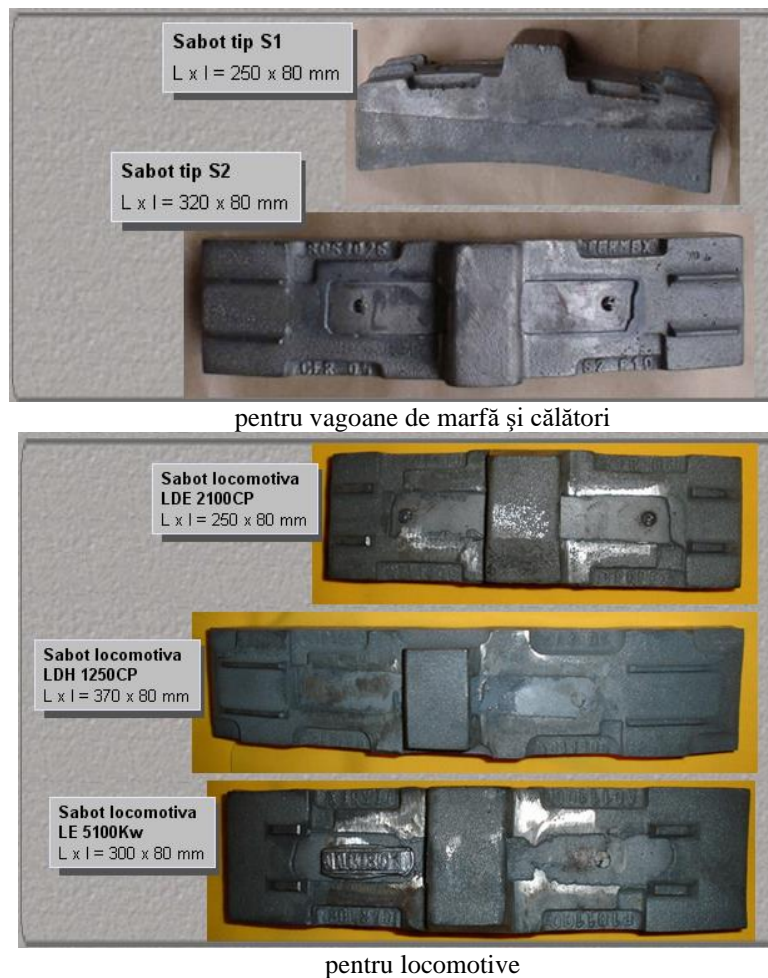


Figura 2.4. Saboți de frână din fontă fosforoasă [24]

Formele, dimensiunile și toleranțele dimensionale ale saboților și șinelor de armare pentru saboții de vagoane sunt conforme cu normativele europene și naționale în vigoare [3,6,25-28].

Tabelul 2.1 prezintă compoziția chimică a saboților din fontă fosforoasă tip [3,5,6].

Tabelul 2.1. Compoziția chimică a saboților din fontă fosforoasă

Compoziția chimică, %			
Carbon total (C _t)	Si	P	Mn
2,90% – 3,30%	1,20% – 2,00%	0,80% – 1,10%	(1,72% S + 0,30%) - 1%; S-sulful din fontă

Caracteristici fizice și mecanice ale saboților de frână din fontă:

- Duritatea Brinell;
- Rezistența la șoc a saboților și rezistența armăturii.

Sabotul trebuie să prezinte pe suprafața laterală, ca și în secțiune, o duritate Brinell de cuprinsă între 197 – 255HB [5,6,29].

În timpul exploatării saboților de frână aceștia nu trebuie să se fisureze sau să se rupă, iar în cazul ruperii șina de armare are rolul de a menține bucățile de sabot. Aceste caracteristici sunt definite pentru toate tipurile de material utilizate la fabricația saboților.

- Îndoirea șinei de armare

Armatura extrasă din sabotul de frână pentru material rulant motor sau remorcat trebuie să reziste la încercare. [29].

După turnare saboții sunt supuși operației de sablare. Conform normativelor în vigoare, pe suprafața sabotului sunt admise unul sau mai multe defecte conform normativelor prevăzute în caietul de sarcini.

Pentru evidențierea structurii metalografice se prelevează patru probe (conform SR EN ISO 945-1:2009/AC2010 și fișa UIC 832) [3,5,6,29,30]:

- o probă analizată fără atac chimic (100x) pentru evidențierea grafitului (figura 2.3.c.A);
- o probă analizată după atac cu nital (200x) pentru evidențierea masei metalice de bază (figura 2.4.A și figura 2.5.A);

două probe după atac cu nital (25x și 50x) pentru evidențierea rețelei de eutectic fosforos repartizată uniform (figura 2.6.A).

2.3. Verificarea calității saboților de frână

Societățile comerciale care produc saboți trebuie să fie furnizori feroviari și să dețină certificate de omologare tehnică, eliberate de Autoritatea Feroviară Română, conform reglementărilor în vigoare [5,6,29].

Saboții sunt fabricați prin turnare din fontă de a doua fuziune, fontă aliată. Procedul de elaborare a fontei este ales de furnizorul de saboți. Acesta trebuie să organizeze fluxul tehnologic de elaborare-turnare-formare, astfel încât: să obțină saboți corespunzători din punct de vedere calitativ, să evite carburarea sau creșterea grăunților din structura oțelului din care este confecționată șina de armare. De asemenea, eventualele tensiuni aplicate pentru curbarea șinelor de armare nu trebuie să provoace deteriorarea oțelului din care sunt confecționate.

Saboții sunt grupați în loturi compuse din saboți de același tip și același reper de lot, adică saboți produși în aceeași zi. Nota de recepție trebuie să indice numărul de piese din fiecare lot, încercările prescrise, referințele comenzii și este însoțită de un certificat de conformitate.

Controlul calității saboților se face pe loturi compuse, pe baza încercărilor și verificărilor în conformitate cu SR ISO 2859-1:2009 [31].

Pentru verificarea calității loturilor de saboți se aplică trei sisteme de control: control intens, control normal și control redus. Orice încercare sau verificare constatată în cursul unei serii ca fiind neconformă condițiilor cerute, atrage după sine refuzul întregului lot de saboți.

Prelevarea epruvetelor și eșantioanelor

Saboții destinați încercărilor și verificărilor sunt prelevați aleatoriu, din fiecare lot și marcați.

Eșantioanele pentru analiza chimică a fontei sunt constituite astfel [5,6,29]:

- din rondelile de fontă prelevate în timpul turnării saboților în vederea analizei spectrale;
- din bucățile de sabot rezultate în urma încercării la șoc;

- plăci de circa 10mm, rezultate din secționarea transversală a bucăților de sabot rupte la proba de șoc, în imediata apropiere a rupturii.

Compoziția chimică a oțelului armăturii se verifică fie în timpul turnării, fie pe semifabricat, fie înainte de utilizarea armăturii pe sabot.

Epruvetele pentru controlul caracteristicilor geometrice ale saboților, sunt constituite din saboții elaborați și turnați.

Epruvetele pentru încercarea durtății Brinell sunt constituite din [5,6,29]:

- saboți întregi;

- din plăci obținute prin secționarea, în imediata apropiere a rupturii, a saboților rupți la încercarea la șoc, înaintea decupării eșantionului destinat structurii metalografice.

Epruvetele pentru încercarea la șoc sunt constituite din saboți întregi. Epruvetele pentru examinarea aspectului rupturii saboților și a rezistenței șinei de armare sunt constituite din saboții rupți la încercarea la șoc.

Epruvetele pentru examinarea poziției șinelor de armare și a stării urechii sabotului sunt constituite din saboți întregi.

Epruvetele pentru verificarea structurii metalografice sunt constituite din plăcuțe cu grosimea de aproximativ 10mm, obținute prin secționarea transversală, în apropierea rupturii, a saboților rupți la încercarea la șoc și pe care sunt polizate suprafețe pătrate cu latura 25-30mm,

conform figurii 2.5. Modul de prelevare a eșantionului nu trebuie să modifice structura materialului.

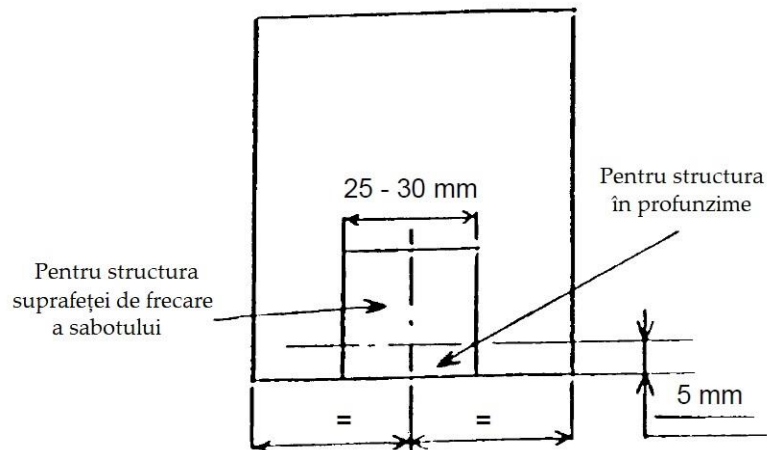


Figura 2.5. Mod de prelevare a epruvetelor pentru metalografie [6]

Epruvetele pentru încercarea la îndoire a șinei de armare sunt constituite din bucăți de șină de armare de 100-150mm lungime, prelevate din saboții ruși la încercarea la șoc.

Verificarea compoziției chimice a materialului sabotului

Verificarea compoziției chimice a fontei și oțelului utilizate la confecționarea sabotilor se face conform standardelor în vigoare. Furnizorul de saboți trebuie să transmită beneficiarului, odată cu saboții și un buletin al rezultatelor analizei chimice. Verificarea compoziției chimice trebuie făcută de un laborator acreditat de Autoritatea Feroviară Română [29].

Verificarea aspectului formei și dimensiunilor sabotilor

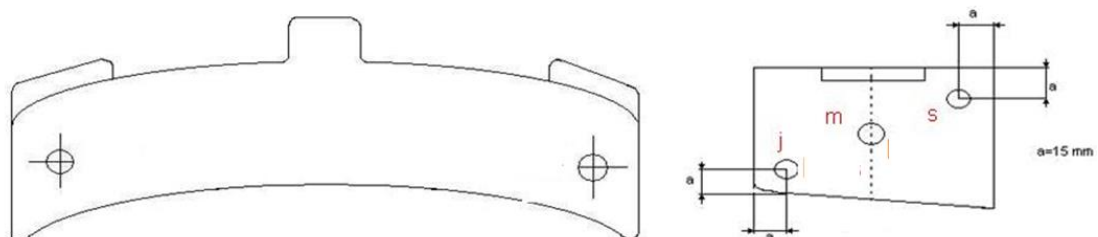
Verificarea caracteristicilor geometrice constă în verificarea aspectului, formei și dimensiunilor sabotului. Verificarea aspectului se face vizual, cu ochiul liber sau utilizând instrumente obișnuite de măsură uzuale pentru determinarea mărimii eventualelor defecte de turnare. Verificarea formei și dimensiunilor se face cu instrumente universale de măsurat, cu șabloane și calibre corect etalonate [29].

Încercarea durtății Brinell

Încercarea durtății se face conform SR EN ISO 6506-1:2014 [32].

Măsurarea durtății se face conform instrucțiunilor prevăzute în Caietului de sarcini Nr.1/SFMR/SDT/2000/Saboți de frână pentru material rulant motor și remorcat, avizat de Autoritatea Feroviară Română [6], mod de măsurare prezentat în figura 2.6, astfel [5,6,29]:

- într-un punct al fiecărei extremități a sabotului, pe fața lui, după îndepărtarea a 2mm de material, prin polizare sau rectificare;
- în trei puncte situate în diagonală, pe suprafața unui eșantion obținut prin secționarea transversală a sabotilor ruși la încercarea la șoc.



a. suprafață laterală sabot

b. secțiune sabot

Figura 2.6. Zonele de măsurare a durtății sabotului [29]

Orice valoare inferioară minimumului impus, care pare a rezulta dintr-o amprentă de formă neregulată sau porozitate, duce la o încercare de înlocuire pe același sabot sau lotului de saboti.

Încercarea rezistenței la șoc a sabotului și a șinei de armare, verificarea rezistenței șinei de armare și verificarea aspectului rupturii

Pentru încercarea la șoc, temperatura sabotului trebuie să fie egală cu temperatura mediului ambiant. Încercarea se efectuează la temperaturi mai mari de 0°C .

Încercarea la șoc se efectuează cu ajutorul unui dispozitiv, prezentat în figura 2.7, caracterizat prin masa berbecului de 50-150kg iar forma penei berbecului trebuie să aibă o parte cilindrică înclinată. Distanța între suportii de sprijin pe care se așează sabotul trebuie să fie cuprinsă între 160mm și lungimea sabotului.

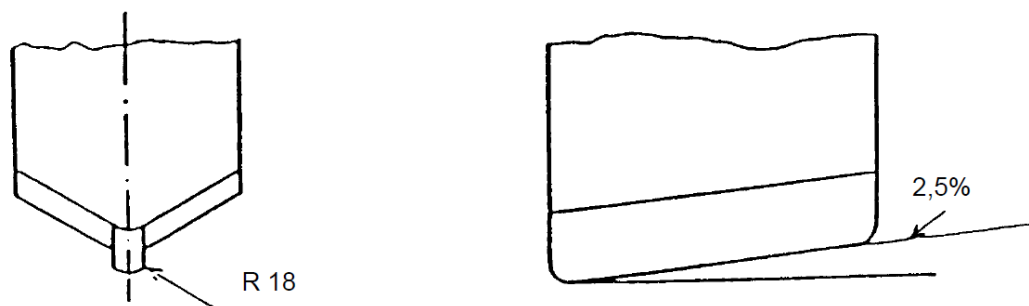


Figura 2.7. Dispozitiv – încercare la șoc

Sabotul încercat la șoc se așează orizontal, punctele de sprijin fiind dispuse simetric în raport cu planul median transversal. Înălțimea de cădere se măsoară între partea inferioară a penei masei căzătoare și fața superioară a urechii sabotului. Saboții ruți la proba de șoc se vor păstra până la acceptarea definitivă a lotului controlat. Examinarea aspectului rupturii fontei se face cu o lupă având un grosiment G de $5x$. Verificarea rezistenței șinei de armare se face manual, prin tragerea bucăților de fontă ale sabotului rupt la încercarea de șoc [29].

Încercarea de îndoire a șinei de armare

Pentru șinele de armare având grosimea mai mare de 3mm, încercarea de îndoire se va executa conform prevederilor SR ISO 7438:2005 [33] pentru îndoirea simplă completă la 180° , cu distanțier; distanțierul va avea înălțimea de 25mm.

Verificarea stării urechii și a poziției șinei de armare

Starea urechii sabotului se verifică cu ochiul liber sau cu ajutorul unor lupe de diferite grosisme. Lungimea vizibilă a șinei de armare, poziționarea și tipul ei se verifică cu ajutorul instrumentelor de măsură uzinale adaptate ordinului de mărime și precizie cerute.

Verificarea structurii metalografice

Examinarea structurii metalografice se efectuează [5,6,29]:

- cu microscop având grosismetul G de $100x$, pe epruvete polizate și neatacate chimic, pentru verificarea grafitului;
- cu microscop având grosimetele G în ordinea de $200x$, de 50 sau $100x$, de 25 sau $50x$, pe aceleași epruvete atacate cu natal (soluție alcoolică de acid azotic 4%), pentru examinarea structurii cu o durată de atac normal pentru verificarea perlitului și feritei și cu o durată de atac prelungită pentru verificarea rețelei de eutectic fosforos.

2.4. Concluzii

Pentru turnarea saboților de frână destinați materialului rulant motor și remorcat s-a analizat fluxul de elaborare, turnare și formare a acestora la Turnatoria FOREVA din cadrul REVA SA Simeria aceasta fiind organizație cu tradiție în repararea vagoanelor de cale ferată și de producere a saboților de frână.

Activitatea de control tehnic în secțiile de turnătorie reprezintă unul din cele mai complexe compartimente ale controlului tehnic; pe lângă controlul materiilor prime și a materialelor auxiliare, se urmărește și ciclul de fabricație pentru a interveni în vederea diminuării pierderilor de materiale prin rebuturi. Aplicarea strategiilor de management în sectarele turnătoriei conduce la identificarea tuturor neconformităților înregistrate și înlăturarea/prevenirea acestora.

Turnatoria FOREVA Simeria deține autorizații pentru turnarea saboților de frână din fontă fosforoasă pentru materialul rulant motor și remorcat și emite certificate de omologare tehnică feroviară și de examinare precum și certificat de aprobare a Sistemului de Management al Calității (emise de ONFR-AFER).

Sistemul de management al turnătoriei presupune existența procedurilor și instrucțiunilor de lucru care stabilesc metodele de verificare și încercare a calității saboților de frână turnați din fontă fosforoasă, pe tot parcursul procesului tehnologic.

Partea a II-a

**CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PROPRII PRIVIND
FONTELE DE CALITATE SUPERIOARĂ UTILIZATE LA
SISTEMELE DE FRÂNARE A MATERIALULUI RULANT**

CAPITOLUL 3

CERCETĂRI EXPERIMENTALE INDUSTRIALE PRIVIND TURNAREA SABOȚILOR DE FRÂNĂ DIN FONTĂ FOSFOROASĂ

3.1. Cadrul experimental

Turnătoria FOREVA Simeria produce piese de schimb pentru material rulant, **saboți de frână pentru vagoane de marfă și locomotive**. Aceasta este dotată cu echipamente moderne, utilizate la turnarea de piese respectiv saboți de frână din fontă fosforoasă. Turnătoria FOREVA are implementat Sistemului de Management Integrat al calității și sănătății și securității în muncă (SR EN ISO 9001 – 2015 și SR OHSAS 18001 – 2008) iar în structura sa funcționează compartimentul Laborator CTC, autorizat de Autoritatea Feroviară Română (AFER).

Turnătoria produce saboți de frână pe linia semiautomată de formare-turnare a pieselor turnate din fontă. Fluxul tehnologic de procesare a **saboților de frână tip S1/S2/S3/LDH/LDE/LE** destinați industriei transporturilor (material rulant motor și remorcat) este prezentat în fig.3.1 [21,34, 35].

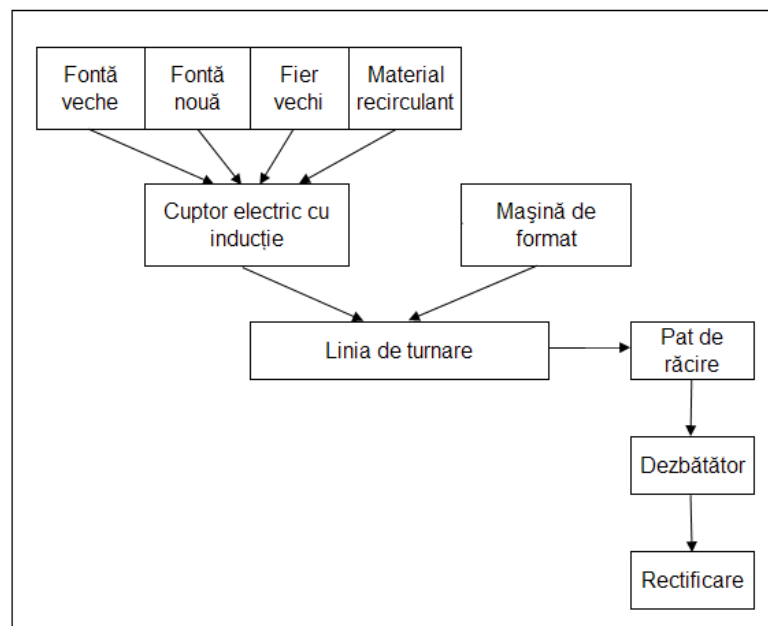


Figura 3.1. Fluxul tehnologic de procesare a saboților de frână

Procesul tehnologic de obținere a saboților de frână cuprinde:

- fluxul tehnologic de elaborare a fontei;
- fluxul tehnologic de preparare a amestecurilor de formare și de realizare a formelor;
- fluxul tehnologic de turnare a fontei lichide;
- fluxul tehnologic de dezbatere și curățire a saboților de frână.

Procesul tehnologic de obținere a saboților de frână debutează cu parcurgerea următoarelor operații tehnologice:

- pregătirea materiilor prime feroase și neferoase;
- stabilirea rețetei încărcăturii metalice;
- încărcarea componentelor încărcăturii în agregatul de elaborare;

- elaborarea aliajului se efectuează în cuptoare cu inducție cu creuzet (2 cuptoare cu capacitatea de 1 tonă, respectiv un cuptor cu capacitatea de 5 tone); schema cuptorului cu inducție cu creuzet este prezentată în figura 3.2;

- formarea se realizează cu ajutorul unei mașini automate de format în curent de aer-presare, model HFP 2;

- turnarea aliajului lichid în forme se realizează pe o linie semiautomată de turnare pentru fabricarea saboților de frână SNCFR; saboții de frână, mărimile S1, S2 și S3, cu destinația material feroviar rulant motor și remorcat, sunt turnați din fontă fosforoasă, tip P10.

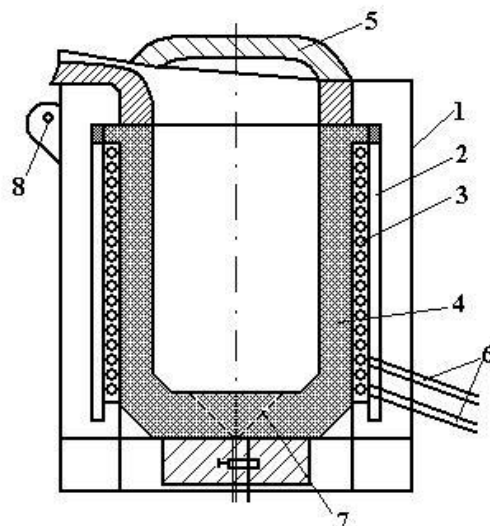


Figura 3.2. Schema agregatului de elaborare a fontei [36]:

1- manta; 2 - ecran magnetic; 3 - inductor; 4 - creuzet; 5 - capac; 6 – conducte;
7 - sistem semnalizare; 8 - mecanism de basculare.

În figura 3.3 se prezintă fluxul tehnologic de elaborare a fontei fosforoase destinate fabricării saboților de frână în cuptorul electric cu încălzire prin inducție.

Cuptorul se încarcă cu ajutorul benelor, asigurându-se o topire continuă, cu un consum minim de energie. Având în vedere că la acest agregat zgura are o activitate foarte redusă, s-a utilizat în încărcătură deșeurii feroase de bună calitate, fără rugină, resturi de beton, pământ, materiale refractare, organice, fără uleiuri și umezeală, etc. [5,35,37].

Figura 3.4 prezintă aspecte din timpul elaborării și turnării saboților de frână din fontă fosforoasă.

Aliajul se evacuează din agregatul de elaborare într-o oală de turnare. Aceasta se transportă cu macaraua la sectorul de turnare.

Procesul tehnologic de formare-turnare a saboților de frână destinați materialului rulant este prezentat în figura 3.5. Procesul tehnologic de obținere a formelor de turnare a saboților de frână cuprinde următoarele operații (fig.3.6): pregătirea amestecului de formare, execuția formei și a miezului, respectiv asamblarea acestora.

Pregătirea formelor presupune parcurgerea următoarelor operații [5,34]:

- curățirea plăcii port-model de resturile de amestec de formare;
- suflarea modelului cu soluție sau prafuri antiaderente;
- așezarea ramelor pe placa port-model;
- alimentarea cu amestec de formare;
- vibrarea (scuturarea) formei;
- presarea amestecului de formare în ramă;
- bascularea (rabaterea) formei;
- preluarea ramei de formare din mașină;
- readucerea plăcii port-model în poziția inițială.

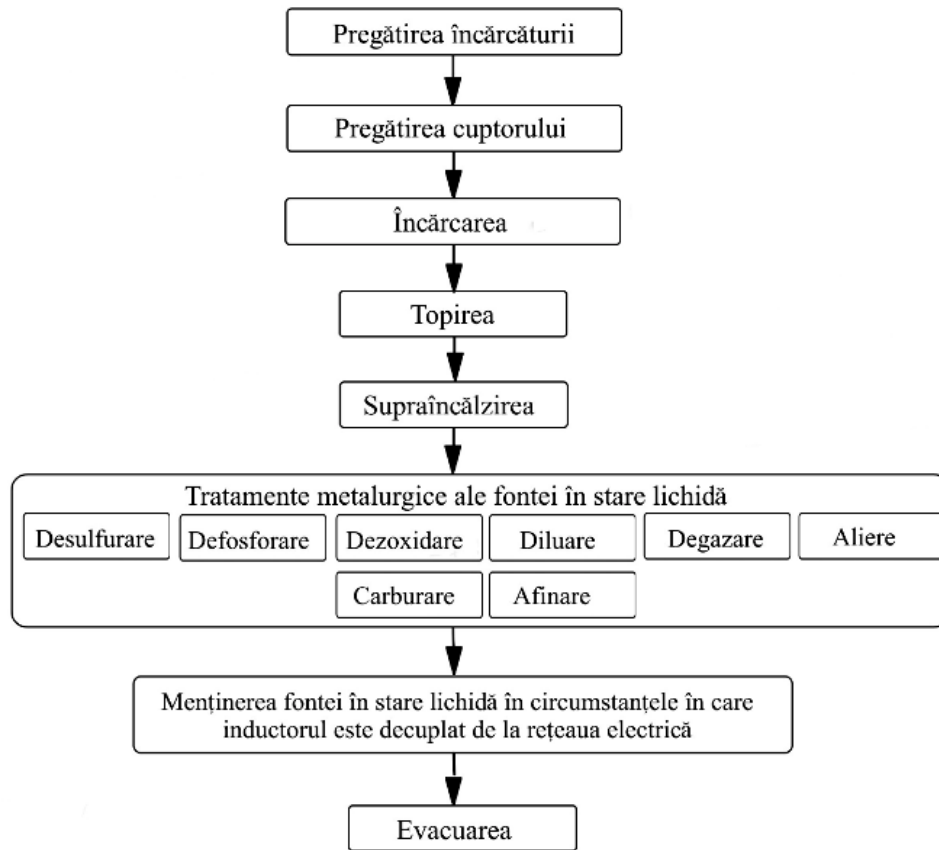


Figura 3.3. Schema fluxului tehnologic de elaborare a fontei în cuptoare cu inducție

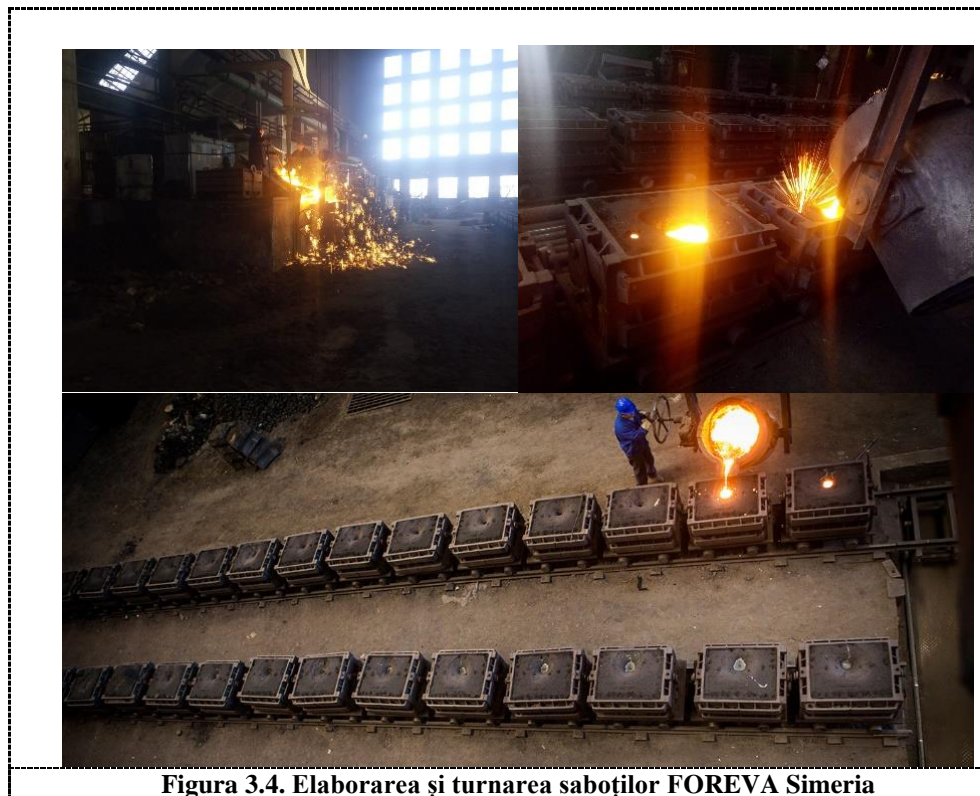


Figura 3.4. Elaborarea și turnarea sabotilor FOREVA Simeria

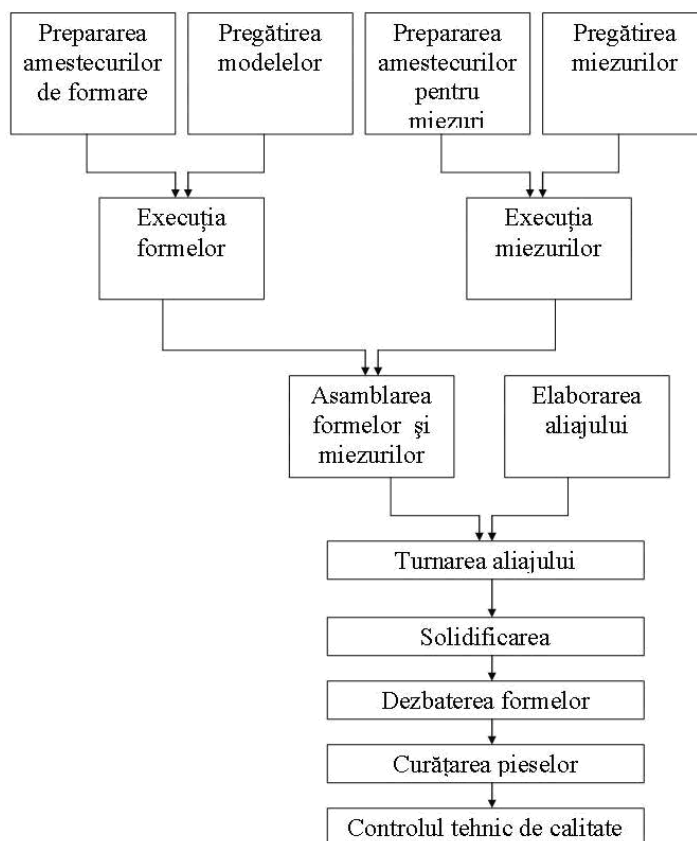


Figura 3.5. Fluxul tehnologic de formare-turnare a saboților de frână din fontă fosforoasă



Figura 3.6. Procesul de pregătire a formelor

Mașina automată de formare în curent de aer-presare este de tipul HFP-2. Caracteristicile tehnice ale acesteia sunt prezentate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Fișă tehnică HFP-2 [5].

Caracteristici	UM
mărimea ramelor de formare	1250x1000mm
sarcina utilă	25kN
forță de presare statică	400kN
cursă de presare	215mm
cursă de adâncire	430-900mm
cursă de reglare a plăcilor de presare	50-350mm
mărimea plăcilor de întoarcere	1000-1250mm
distanța dintre placa de basculare și de presare	900mm
distanța dintre placa de basculare și releta de adâncire	1120mm
lățimea exterioară a ramei de formare	1400mm
masa netă	20300kg
racordul de aer comprimat	R 3"
presiunea de exploatare	6,5 ± 0,5atm
timpul minim al mașinii	4s – scuturare/3s - vibrare

3.2. Date experimentale

Saboții de frână pentru materialul rulant motor și remorcat sunt piese omologate, iar activitățile de furnizare a acestora sunt autorizate de către Autoritatea Feroviară Română [6].

Pentru cercetarea industrială s-au analizat saboți de frână turnați din fontă de calitate superioară – fontă fosforoasă tip P10. Sistemul de management al turnătoriei presupune existența procedurilor și instrucțiunilor de lucru care stabilesc metodele de verificare și încercare a calității saboților de frână turnați din fontă fosforoasă, pe tot parcursul procesului tehnologic.

În cadrul experimentărilor industriale au fost elaborate 70 șarje de fontă P10, din care au fost turnate serii de saboți, de diferite tipuri (S1, S2; S3, LDH, LDE și LE).

Datele experimentale privind structura încărcăturii metalice sunt prezentate în Tabelul 3.1.A.

Pentru elaborarea fontelor experimentale, încărcătura a fost structurată astfel:

- 40-65% deșuri de oțel (fier vechi);
- 10-30% deșuri de fontă (deșuri saboți fontă fosforoasă);
- 20-50% deșuri de fontă aliată (material recirculat);
- 20-30% deșuri de oțel aliat (material recirculat).

În funcție de disponibilul de materii prime feroase șarjele au avut în componență: deșuri de oțel (fier vechi), deșuri de fontă (deșuri de saboți fontă fosforoasă) și material recirculat (fontă/oțel).

Datele experimentale pentru evidențierea compoziției chimice a șarjelor elaborate sunt prezentate în Tabelul 3.2.A.

Verificarea compoziției chimice a fontei fosforoase utilizate la confecționarea saboților și a oțelului pentru șina de armare s-a efectuat în laboratorul acreditat AFER al turnătoriei, conform normativelor pentru turnarea saboților din fontă fosforoasă [6].

Datele referitoare la compoziția chimică standard a fontei elaborată precum și datele experimentale sunt prezentate în tabelul 3.2. Din analiza datelor experimentale se observă o încadrare a compoziției chimice în standarul de produs. Omogenitatea chimică și structurală a saboților conduce la variații mici ale valorilor pentru duritate, ceea ce se va regăsi în variații mici ale durabilității în exploatare a saboților.

Tabelul 3.2. Compoziția chimică

Condiții	Valori	Compoziția chimică, [%]					
		C	Si	Mn	P	S	Cr+Mo+Ti+Nb+V+W
Standard	maxim	3,30	2,00	1,00	1,10	-	-
	minim	2,90	1,20	0,33	0,80	-	-
	mediu	3,10	1,60	0,66	0,95	-	-
Experimental	maxim	3,30	1,94	0,71	1,09	0,12	0,22
	minim	2,90	1,20	0,45	0,80	0,02	0,09
	mediu	3,08	1,52	0,58	0,98	0,05	0,14

Verificarea aspectului saboților s-a efectuat vizual, cu ochiul liber și utilizând instrumente de măsură uzuale pentru determinarea dimensiunilor pieselor. Verificarea formei și dimensiunilor se face cu instrumente universale de măsurat, cu șabloane și calibre corect etalonate.

Încercarea durtății Brinell se realizează în conformitate cu SR EN ISO 6506-1:2006 (figura 3.7) și cu instrucțiunile prevăzute în caietul de sarcini [3,6,38,39], astfel:

- într-un punct al fiecărei extremități a sabotului, pe fața lui, după îndepărtarea a 2mm de material, prin polizare sau rectificare;
- în trei puncte situate în diagonală, pe suprafața unui eșantion obținut prin secționarea transversală a saboților ruți la încercarea la șoc.

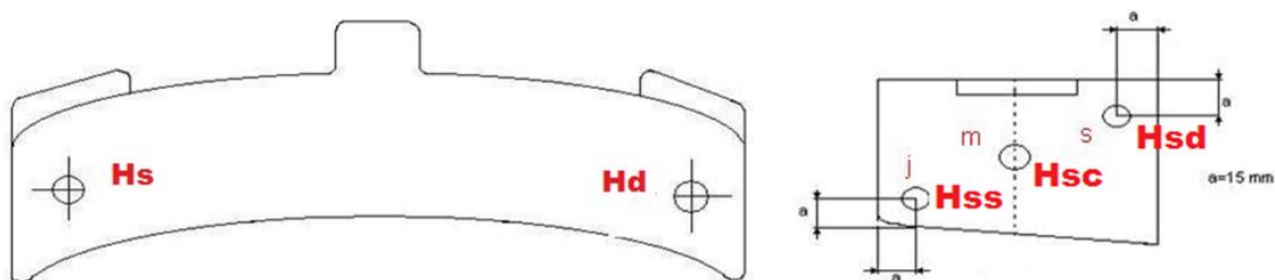


Figura 3.7. Puncte de măsurare a durtății [38]

Pentru șarjele experimentale datele măsurate pe probele prelevate sunt prezentate în tabelul 3.3.A.

În continuare la prelucrarea datelor experimentale se folosesc notațiile:

- H_s și H_d reprezintă durtatea la capetele sabotului stânga-dreapta;
- H_{ss} , H_{sc} și H_{sd} reprezintă durtatea în secțiune, în trei puncte, aflate pe diagonala feliei secționată dintr-un sabot rupt la încercarea de reziliență - stânga, centru și dreapta.
- $H_m = (H_s + H_d)/2$ media durtății pe suprafața sabotului;
- $H_{sm} = (H_{ss} + H_{sc} + H_{sd})/3$ media durtății în secțiunea sabotului.

3.3. Prelucrarea datelor experimentale

Prelucrarea datelor experimentale s-a efectuat în programele de calcul Excel și Matlab.

Tabelul 3.3 prezintă datele experimentale (valori maxime, valori minime, valori medii) referitoare la durtatea saboților de frână, atât pe suprafața sabotului (H_Bs , H_Bd) cât și în secțiunea acestuia (H_Bss , H_Bsc , H_Bsd), în punctele de măsurare a durtății prevăzute în standard.

Valorile medii ale durtății saboților pe suprafață $(H_Bs + H_Bd)/2$, respectiv în secțiune $(H_Bss + H_Bsc + H_Bsd)/3$, precum și diferența acestora este prezentată în tabelul 3.4.

Dependențele și corelațiile grafice obținute în programul de calcul Excel sunt prezentate în figurile 3.8 - 3.15 [34].

Din analiza dependențelor și corelațiilor grafice obținute se observă că durtatea măsurată pe suprafață și în secțiune variază în limite restrânse. S-a calculat diferența durtății atât pe suprafața laterală cât și în secțiunea saboților. S-au obținut variații mici, fapt datorat omogenității foarte bune din punct de vedere chimic a saboților. Durtatea saboților este impusă prin UIC 832-O [5,34] și variază în limitele 197-255 HB.

La încercarea la șoc, temperatura sabotului a fost egală cu temperatura mediului ambiant. Saboții ruți la proba de șoc se păstrează până la acceptarea definitivă a lotului controlat. Examinarea aspectului rupturii fontei s-a efectuat cu o lupă având un grosiment G de 5x iar verificarea rezistenței șinei de armare s-a efectuat manual, prin tragerea bucaților de fontă ale sabotului rupt la încercarea de șoc. Toate probele au fost conforme cu normativele în vigoare.

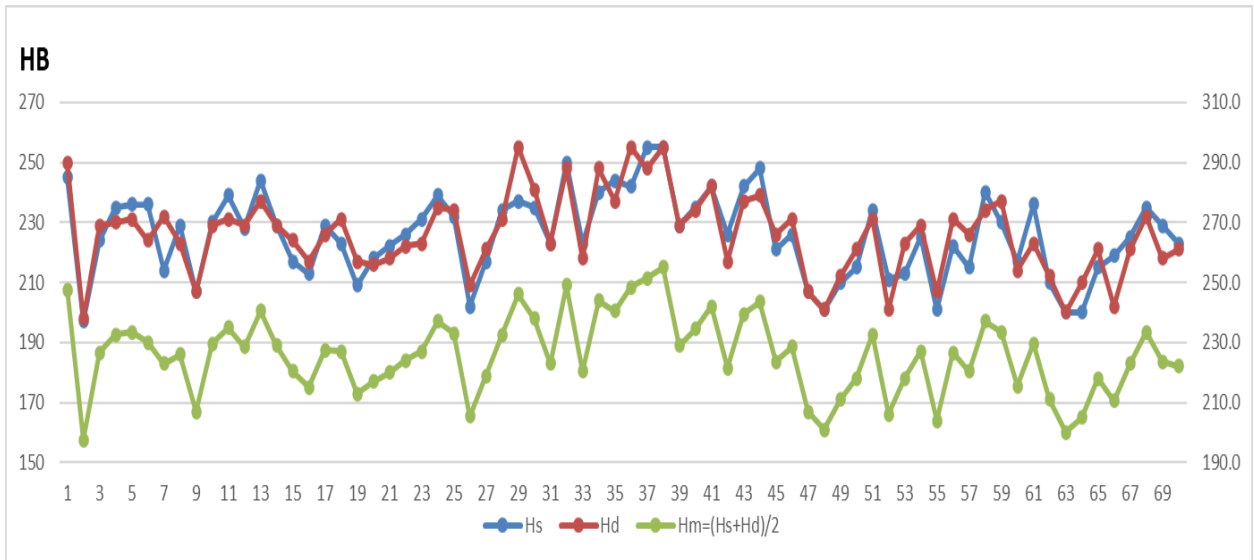


Figura 3.8. Variația Hs, Hd, Hm

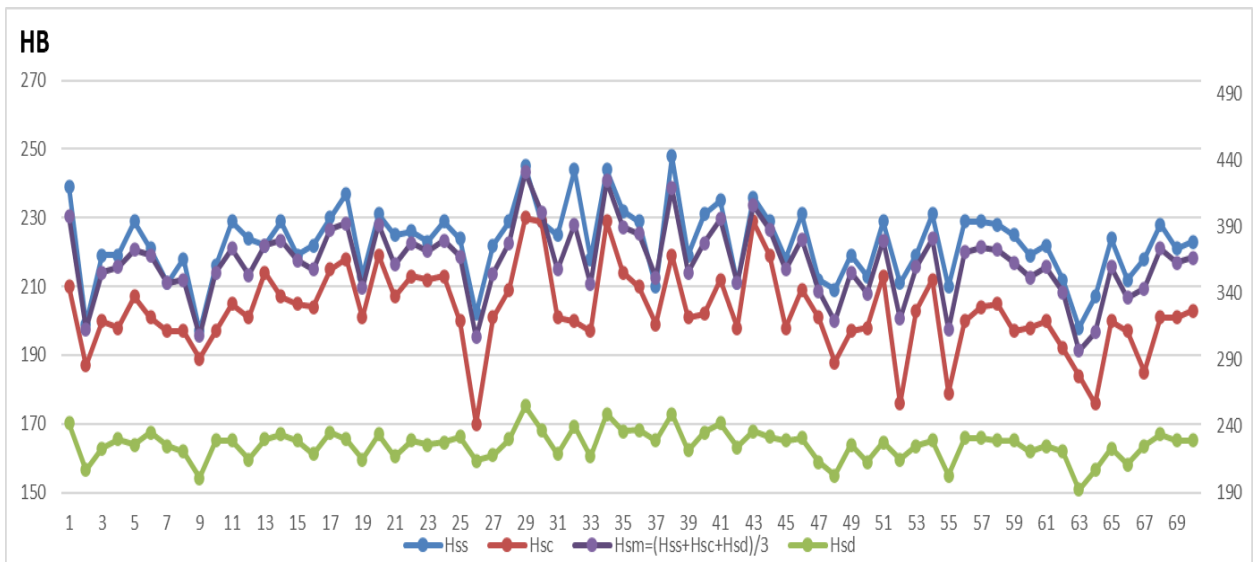


Figura 3.9. Variația Hss, Hsc, Hsm, Hd

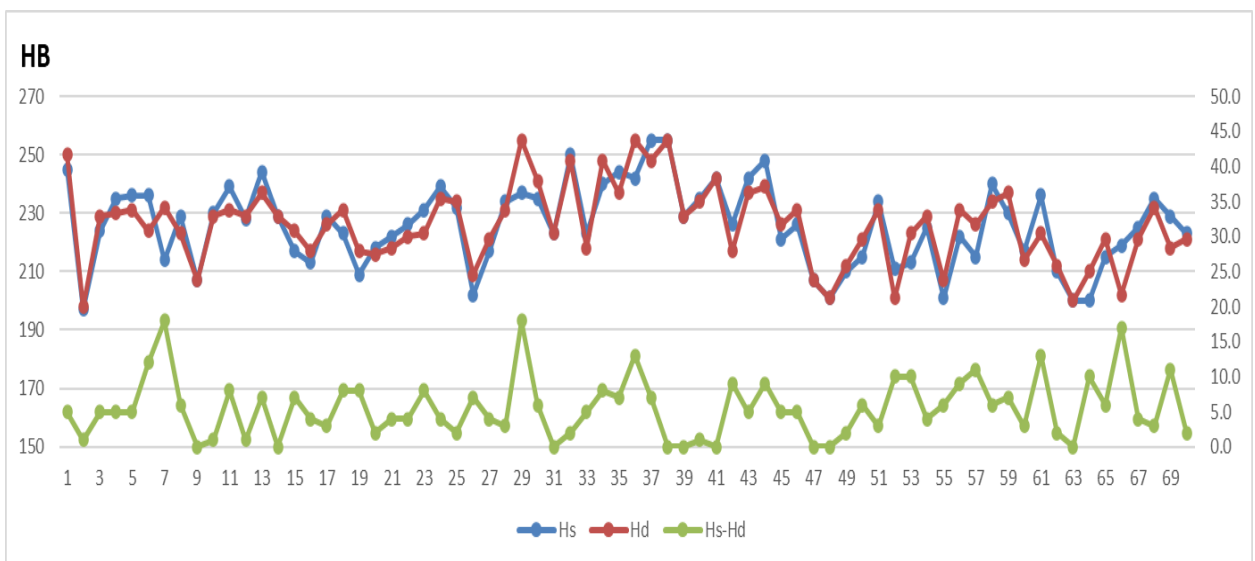


Figura 3.10. Variația Hs, Hd și Hs-Hd

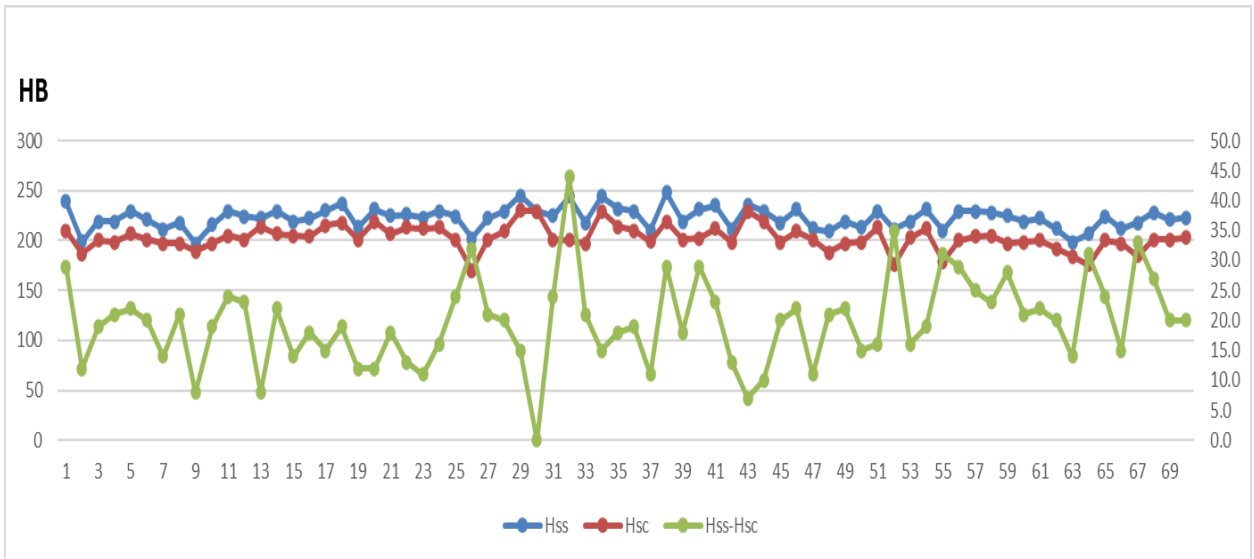


Figura 3.11 Variația Hss, Hsc și Hss-Hsc

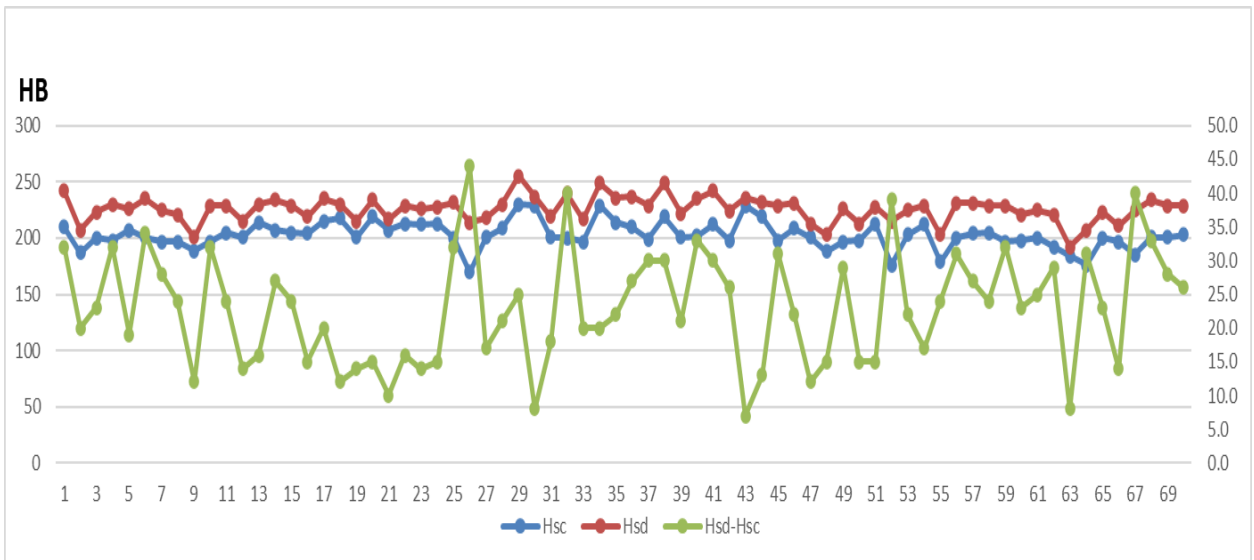


Figura 3.12. Variația Hsc, Hsd și Hsd-Hsc

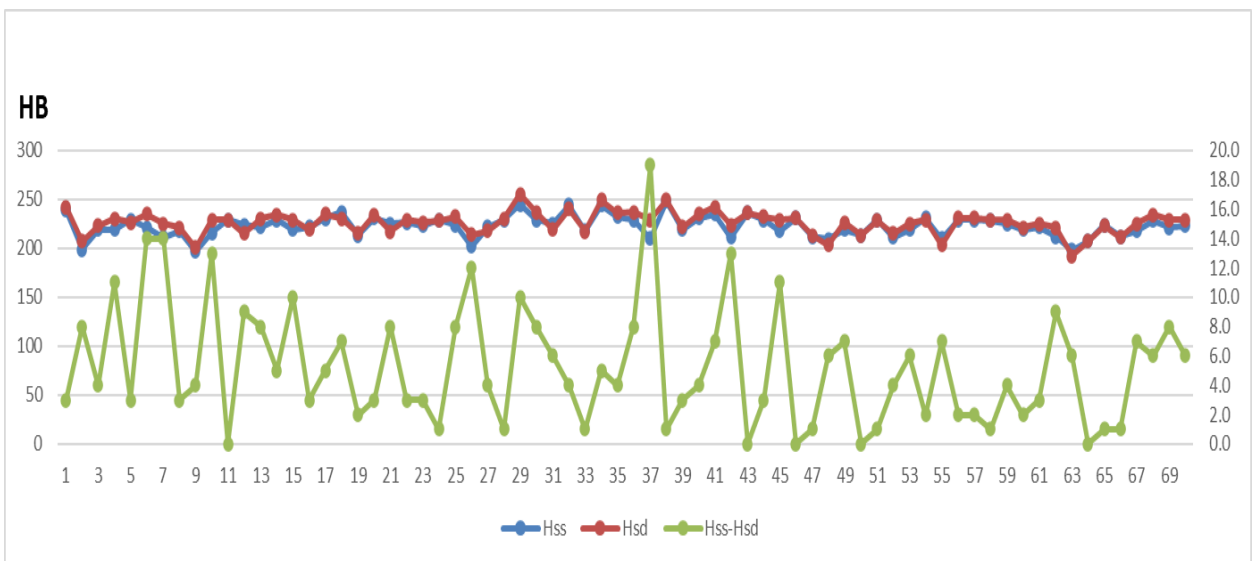


Figura 3.13. Variația Hss, Hsd și Hss-Hsd

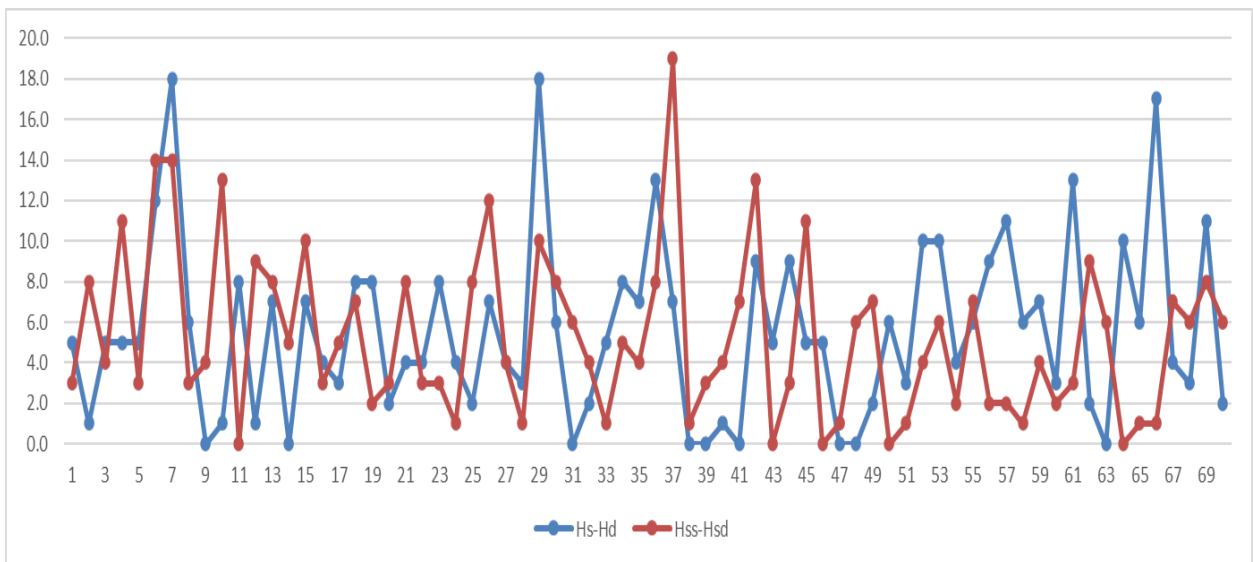


Figura 3.14. Variația Hs-Hd și Hss-Hsd

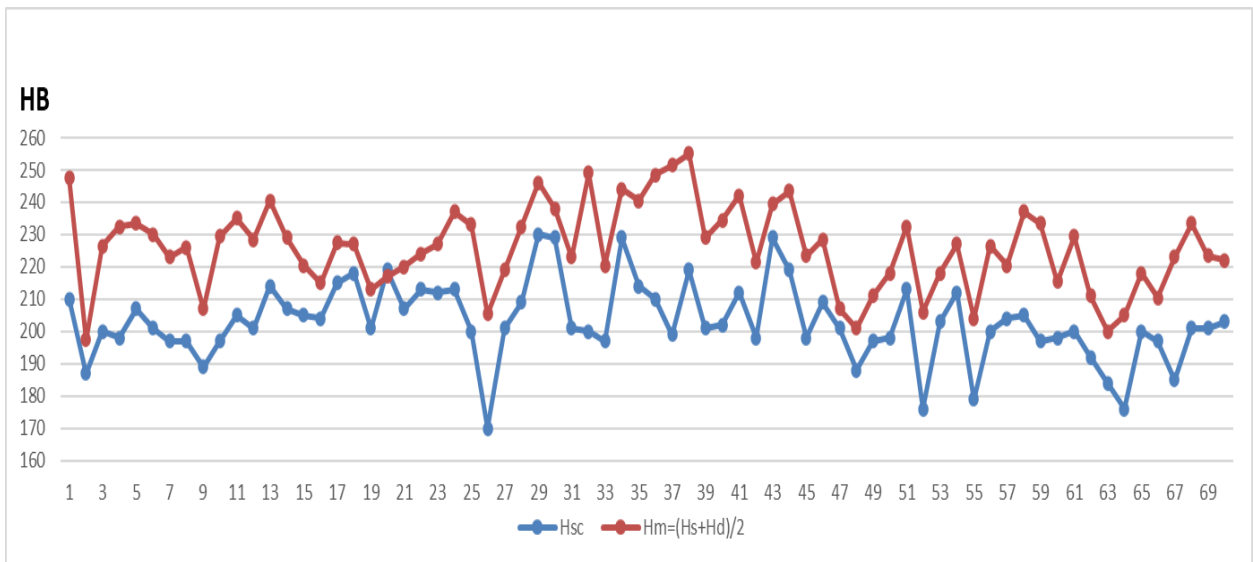


Figura 3.15. Variația Hsc și Hm

Tabelul 3.3. Duritatea probelor în punctele măsurate pe saboții de frână

Valori	Conform caiet sarcini Nr.1/SFMR/SDT/2000 [HB]	Duritate determinată conform SR EN ISO 6506-1:2006, [HB]				
		HB _s	HB _d	HB _{ss}	HB _{sc}	HB _{sd}
maxim	255	255	255	248	230	255
minim	197	197	198	197	198	200
mediu	226	225,87	226,00	222,66	212,90	225,91

Tabelul 3.4. Calcule duritate saboți

Valori	$(HB_s + HB_d)/2$	$(HB_{s_s} + HB_{s_c} + HB_{s_d})/3$	$ HB_s - HB_d $	$ HB_{s_s} - HB_{s_d} $
maxim	264,50	243,30	18,00	19,00
minim	197,50	197,30	0,00	0,00
mediu	226,36	217,16	5,50	5,30

Încercarea de îndoire a șinei de armare s-a realizat conform prevederilor SR ISO 7438:2005 pentru îndoirea simplă completă la 180° , cu distanțier [33]. Starea urechii sabotului s-a verificat cu ochiul liber sau cu ajutorul unor lupe de diferite grosisme. Lungimea vizibilă a șinei de armare, poziționarea și tipul ei s-a verificat cu ajutorul instrumentelor de măsură uzinale adaptate ordinului de mărime și precizie cerute pentru probele analizate.

Probele efectuate au condus la rezultate care s-au încadrat în normative, nu s-au fisurat sau nu s-au rupt la primul șoc al încărcării, la încercarea rezistenței la șoc a sabotului și a șinei de armare. După șocul sau șocurile următoare destinate ruperii sabotului, șina de armare a rămas întreagă și menține împreună bucățile de fontă spartă, urechea sabotului în unele cazuri s-a desprins dar nu a prezentat defecte ale structurii. Armatura sabotului a suportat încercarea la îndoire fără să se fisureze sau să se rupă.

Verificarea structurii metalografice

Analiză metalografică a fontei saboților experimentali s-a efectuat în conformitate cu SR EN ISO 945-1:2009/AC2010 și fișa UIC 832. Iar la probele experimentale s-a urmărit evidențierea grafitului, masei metalice de bază și a eutecticului fosforos [3,5,30].

Pentru șarjele industriale analiza metalografică a fontei sabotului s-a efectuat conform cu SR EN ISO 945-1:2009 și fișa UIC 832 și a constat în analiza a patru probe/șarjă, și anume [3,5,30]:

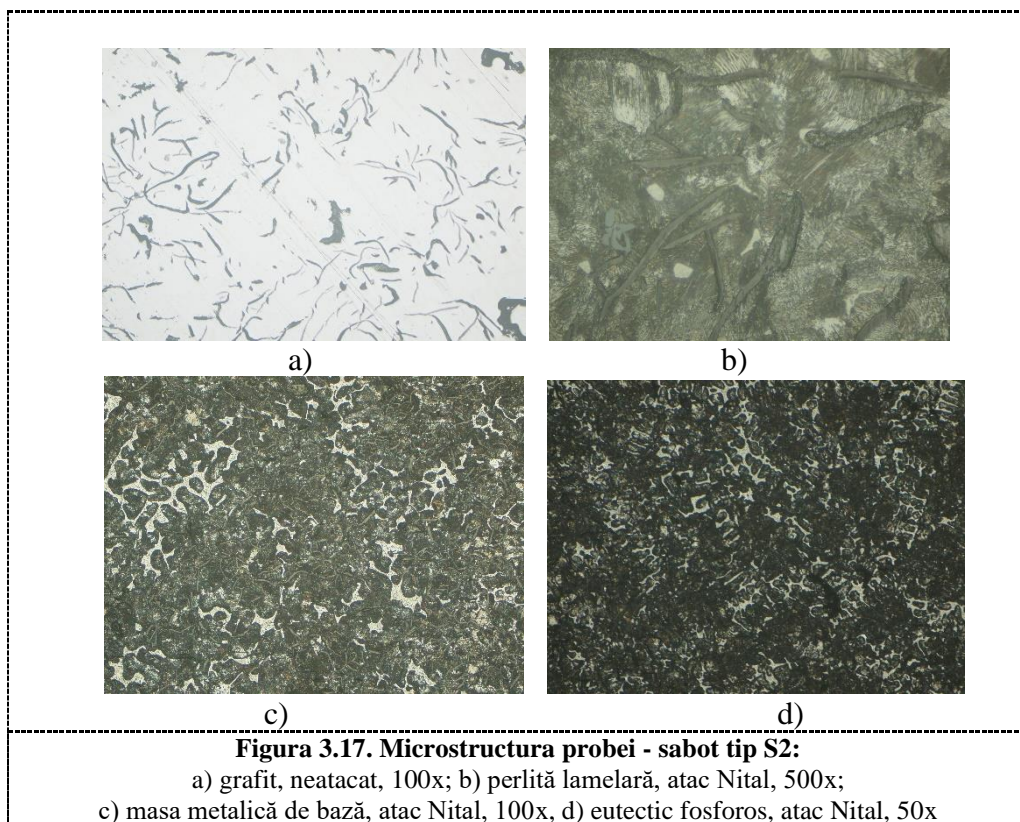
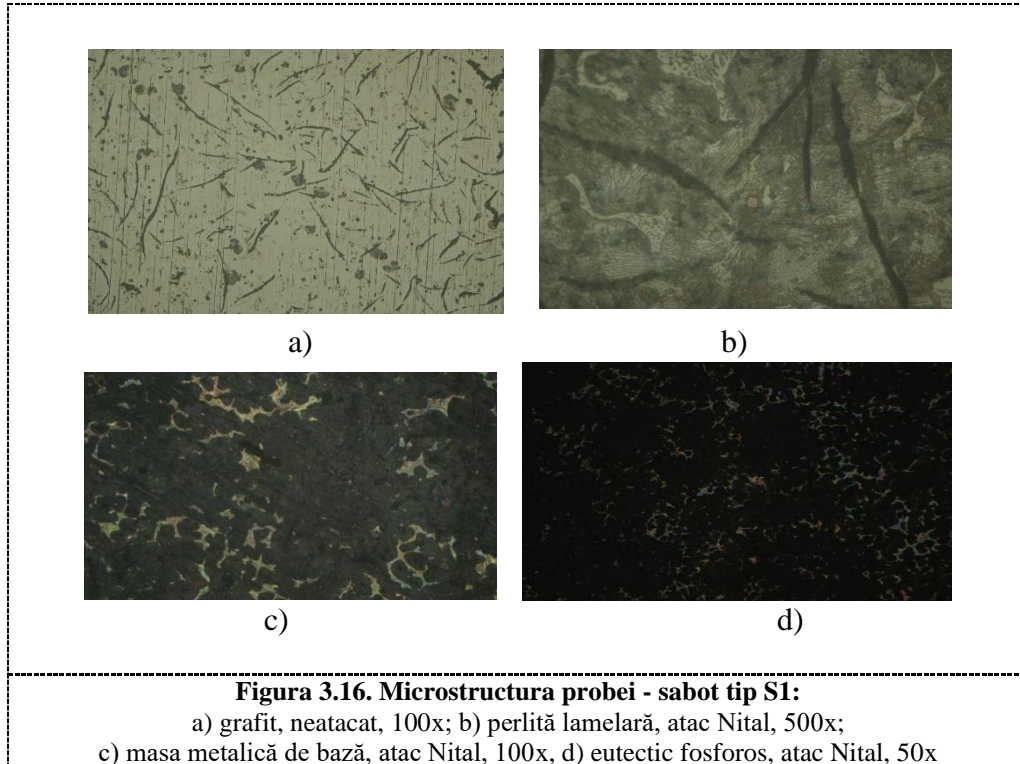
- o probă (fără atac chimic și cu un grosiment G de 100x) pentru identificarea formei separărilor de grafit respectiv caracterul acestora și lungimea separărilor de grafit lamelar;
- o probă (cu atac nital și cu un grosiment G de de cel puțin 200x) pentru determinarea configurației perlitice;
- două probe (cu atac nital și cu un grosiment G de 25x și 50x) pentru masa metalică bază și eutecticul fosforos.

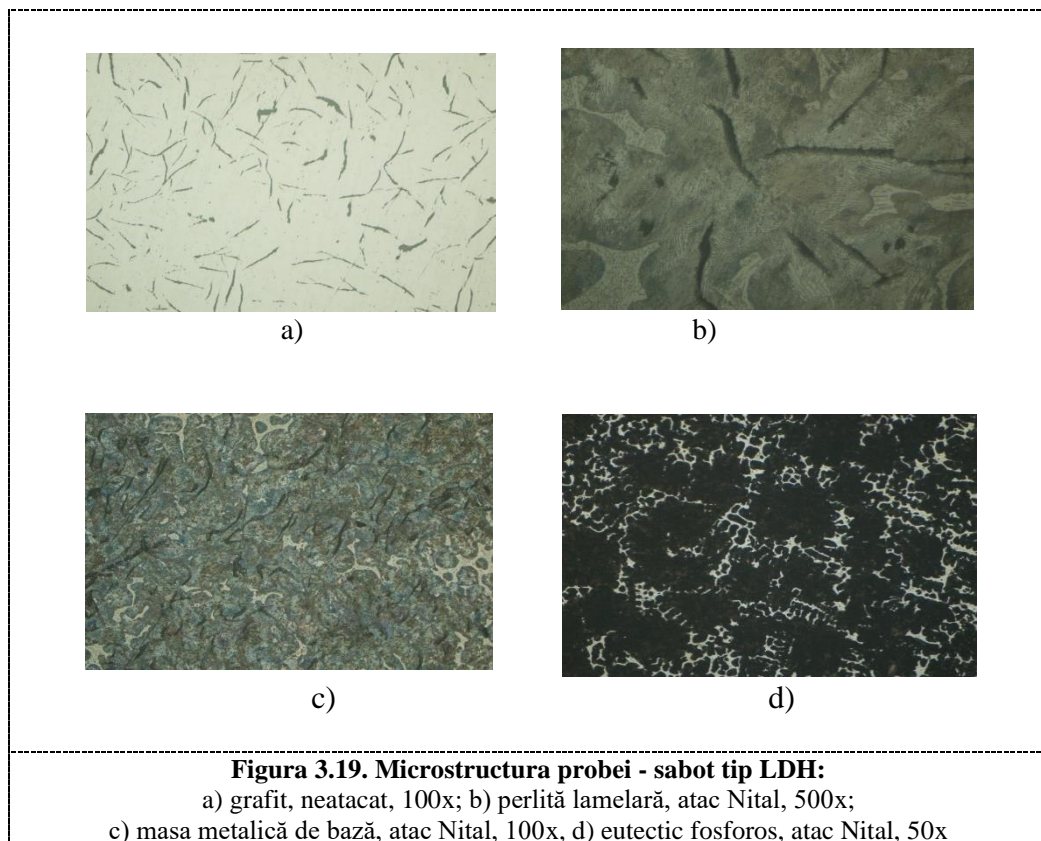
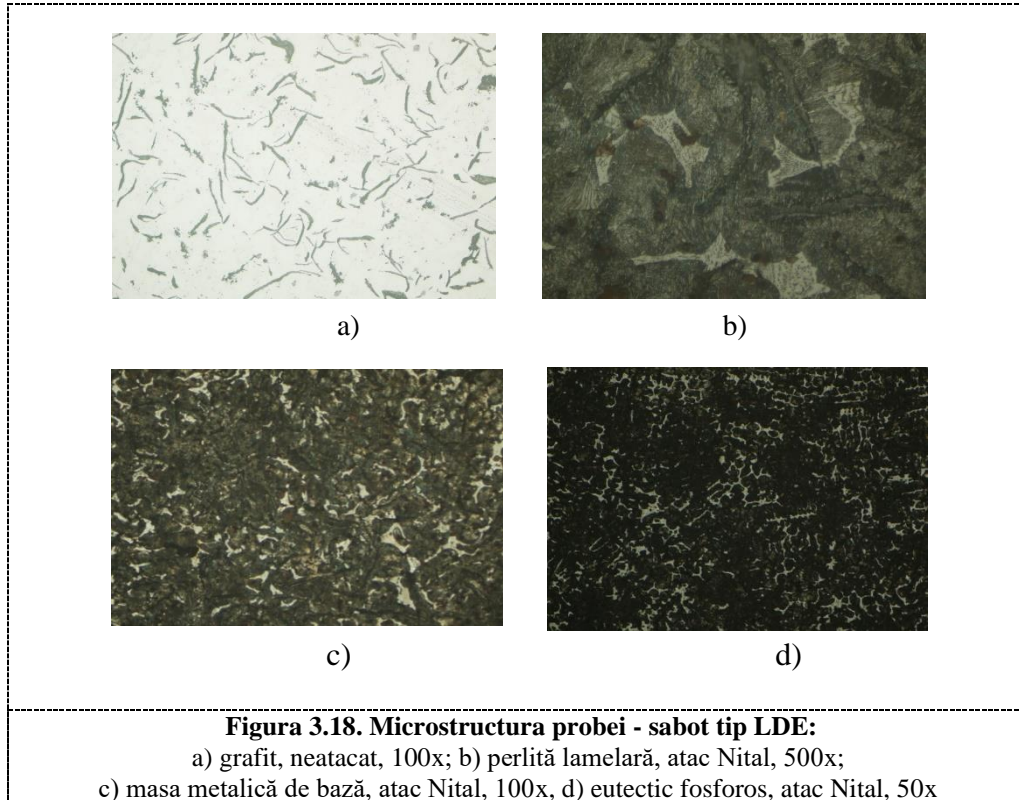
În continuare, se prezintă pentru fiecare tip de sabot experimental, microstructurile probelor pentru o șarjă reprezentativă:

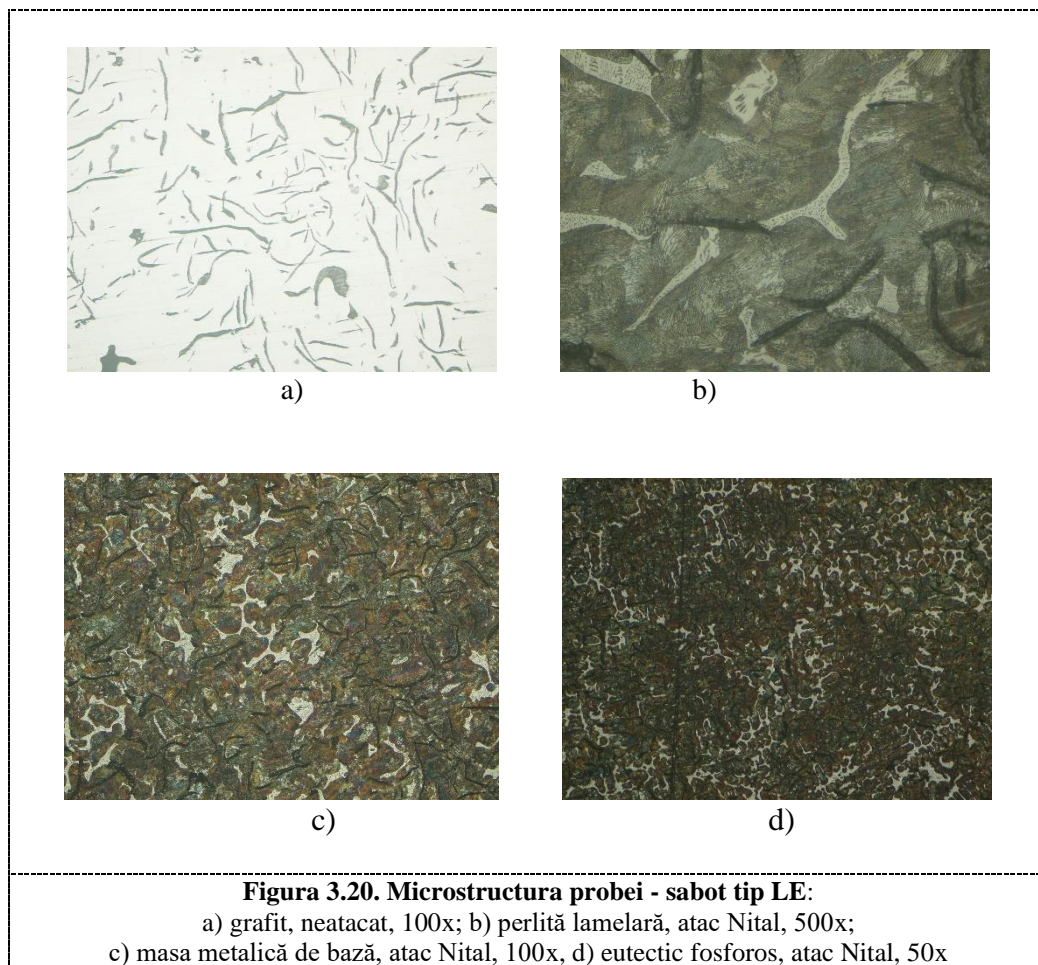
- în figura 3.16 se prezintă microstructurile probelor analizate pentru saboții tip S1 destinați vagoanelor de marfă și călători;
- în figura 3.17 se prezintă microstructurile probelor analizate pentru saboții tip S2 destinați vagoanelor de marfă;
- în figura 3.18 se prezintă microstructurile probelor analizate pentru saboții tip LDE destinați Locomotivelor Diesel Electrice;
- în figura 3.19 se prezintă microstructurile probelor analizate pentru saboți tip LDH destinați Locomotivelor Diesel Hidraulice;
- în figura 3.20 se prezintă microstructurile probelor analizate pentru saboți tip LE destinați locomotivelor destinați Locomotivelor Electrice.

Din punct de vedere al repartizării grafitului, acesta apare sub formă de separări izolate, de tip Gr1, pentru toate cele trei tipuri de saboți;

- Din punct de vedere al lungimii separărilor de grafit se evidențiază:
 - grafit lamelar de tipul G15 (60%) + G16(40%) – pentru saboții de tip S1;
 - grafit lamelar de tipul G15 (80%) + G16(20%) – pentru saboții de tip LDE 16;
 - grafit lamelar de tipul G15 – pentru saboții de tip LDH.
- Din punct de vedere al suprafeței ocupate de grafit se evidențiază încadrarea în structura de tip G10, pentru saboții de tip S1, respectiv G6, pentru saboții de tip LDE 16 și LDH;
- Suprafața ocupată de perlită este bine evidențiată, lamelele de perlită fiind subțiri, iar proporția de ferită este sub 5% (pentru S1 și LDH) și se prezintă sub formă de insule izolate;
- Eutecticul fosforos separat interdendritic are aspect dantelat, ramificat pentru toate cele trei tipuri de saboți; repartizarea rețelei de eutectic fosforos este uniformă, încadrată astfel:
 - Er2 - pentru saboții de tip S1;
 - Er3 - pentru saboții de tip LDE 16;
 - Er4 - pentru saboții de tip LDH.
- Nu sunt evidențiate zone de cementită liberă pentru nici un tip de sabot analizat.







Pentru evidențierea influenței grafitului asupra proprietăților fontei s-au studiat două probe prelevate din saboții experimentali (tip S1), analiza efectuându-se în cadrul Institutul de Cercetări și Energii Regenerabile Timișoara.

Probele (P1 și P2) turnate din fontă fosforoasă, după debitare, au fost șlefuite treptat începând cu o hârtie abrazivă de o granulație de 120 până la 4000, urmată de o lustruire pe pâsla utilizând o suspensie diamantată de 3 μ m (figura 3.21).



P1

P2

Figura 3.21. Probe experimentale

După procedul de prelucrare, probele au fost analizate cu ajutorul microscopului optic Olympus BX51M obținându-se microstructurile la măririle de 100x, 200x, 300x și 500x pentru ambele probe. În figurile 3.22 și 3.23 se prezintă microstructurile probei P1 la măririle 100x și 200x iar în figurile 3.24 și 3.25 se prezintă microstructurile probei P2 la măririle 100x și 300x.

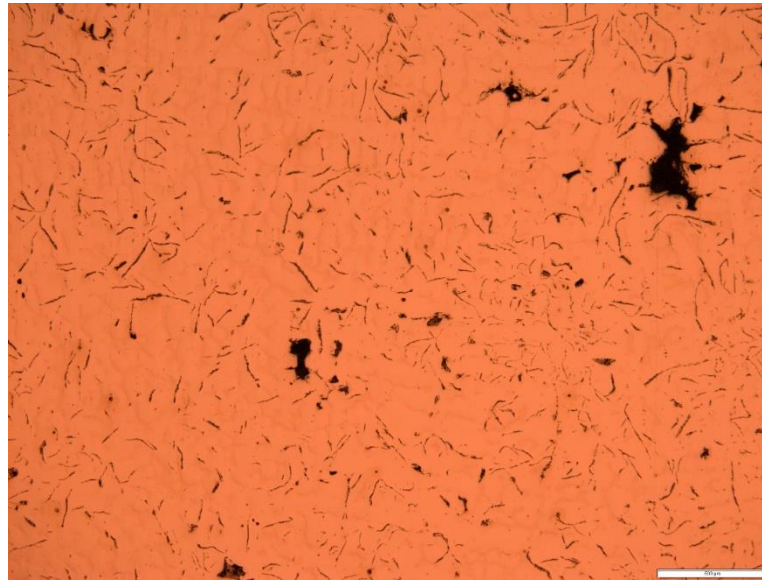


Figura 3.22. Microstructura proba P1, 100x

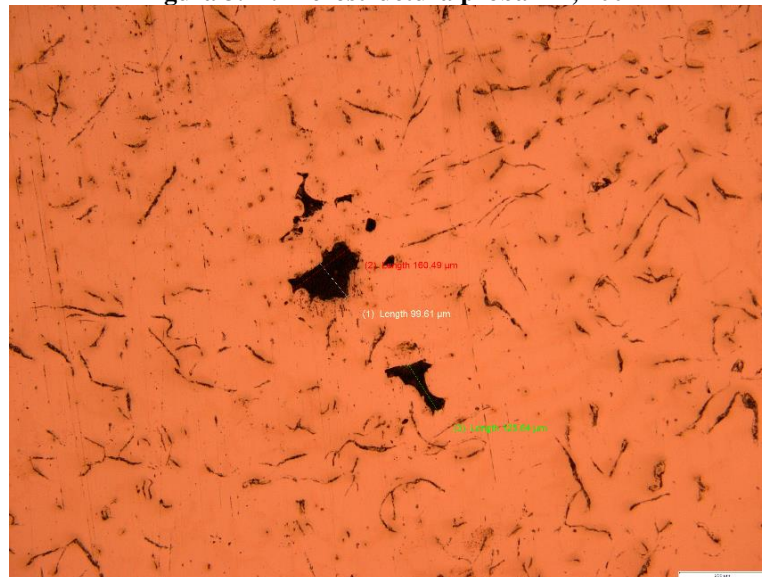


Figura 3.23. Microstructură proba P1, 200x

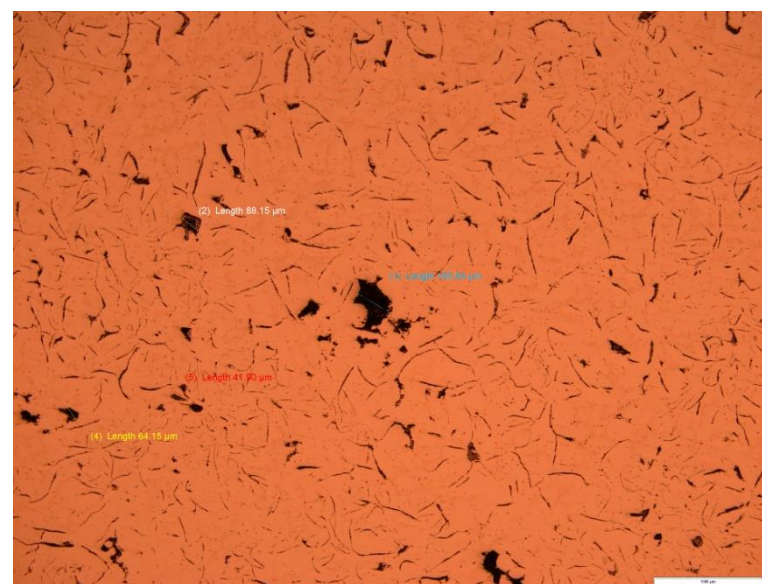


Figura 3.24. Microstructura proba P2, 100x

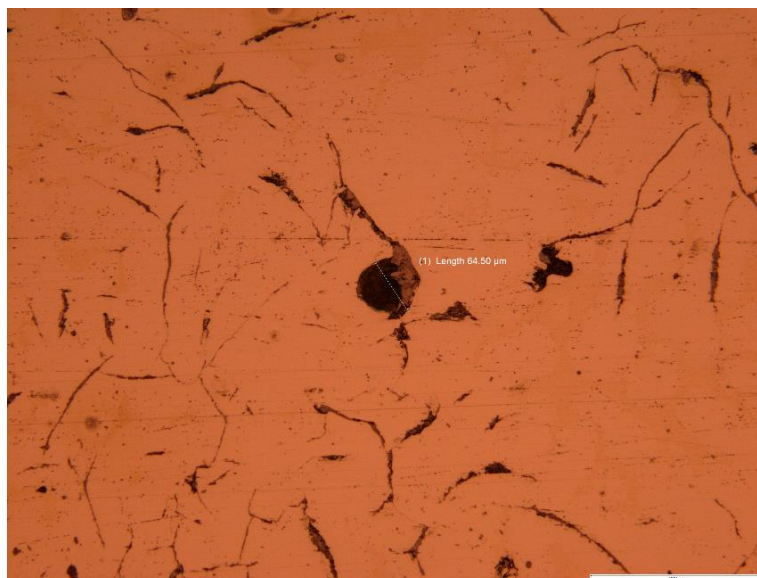


Figura 3.25. Microstructură proba P2, 300x

Celelate microstructuri rezultate pentru probele P1 și P2 sunt prezentate în figurile 3.1.A-3.8.A. Analizele microstructurale a probelor experimentale (P1 și P2) s-au efectuat la Institutul de Cercetări pentru Energii Regenerabile Timișoara.

Analizele microstructurale a probelor sunt prezentate în figura 3.22 - 3.25 pun în evidență următoarele aspecte:

- Din punct de vedere al formei separărilor de grafit, grafitul apare sub formă:
 - Lamelară liniară, de tip Gf1 (80%) și lamelară semiarcuită de tip Gf2 (20%), pentru proba P1;
 - Lamelară liniară, de tip Gf1 (60%) și lamelară semiarcuită de tip Gf2 (40%), pentru proba P2;
- Din punct de vedere al repartizării grafitului, acesta apare sub formă de separări izolate, de tip Gr2, pentru proba P1 și Gr1 pentru proba P2;
- Din punct de vedere al lungimii separărilor de grafit, se evidențiază:
 - Grafit lamelar de tipul G14 (10%) + G15 (60%) + G16 (30), pentru proba P1;
 - Grafit lamelar de tipul G15 (40%) + G16 (60%), pentru proba P2;

Din punct de vedere al suprafeței ocupate de grafit se evidențiază încadrarea în structura de tip G6, atât pentru proba P1, cât și pentru proba P2.

3.4. Concluzii

Cercetările industriale pentru turnarea saboților de frână din fontă fosforoasă s-au efectuat la turnătoria FOREVA, acesta produce saboți de frână pe linia semiautomată de formare-turnare a pieselor turnate din fontă.

Saboții de frână pentru materialul rulant motor și remorcat sunt piese omologate, iar activitățile de furnizare a produselor feroviare la turnătoria FOREVA sunt autorizate de către Autoritatea Feroviară Română.

Datele experimentale au provenit de la 70 de șarje din fontă de calitate superioară – fontă fosforoasă tip P10 – din care s-au turnat saboți frână tip S1/S2/S3/LDH/LDE/LE.

Cercetările experimentale și prelucrarea datelor industriale s-au orientat spre fluxul tehnologic de elaborare, formare și turnare a saboților de frână de tip S1 și S2.

La șarjele experimentale structura încărcăturii a avut următoarea componență:

- 40-65% deșeuri de oțel (fier vechi);
- 10-30% deșeuri de fontă (deșeuri saboți fontă fosforoasă);
- 20-50% deșeuri de fontă aliată (material recirculat);
- 20-30% deșeuri de oțel aliat (material recirculat).

În ce privește compoziția chimică, din analiza datelor industriale experimentale se observă o încadrare a acestora în standarul de produs.

CAPITOLUL 4

OPTIMIZAREA COMPOZIȚIEI CHIMICE ÎN VEDEREA OBTINERII UNOR SABOȚI DE FRÂNĂ DE CALITATE SUPERIOARĂ UTILIZÂND PROGRAMELE EXCEL ȘI MATLAB

O caracteristică importantă, cu influență foarte mare asupra durabilității în exploatare a sabotului de frână, este duritatea. Duritatea se determină în cinci puncte, două situate la capetele sabotului și trei în secțiunea sabotului, conform instrucțiunilor din Fișa UIC 832 și a Caietului de sarcini nr.1/SFMR/SDT/2000 avizat de AFER (prezentat în figura 3.7., capitolul 3). Sabotul trebuie să prezinte pe suprafața laterală și în secțiune, o duritate Brinell de 197- 255 HB [3, 5, 6].

În cadrul cercetărilor industriale efectuate s-a urmărit stabilirea unor corelații între elementele din compoziția chimică a saboților de frână (parametri independenți) și duritatea - principalul parametru calitativ pentru saboții de frână (parametru dependent).

Datele referitoare la compoziția chimică a saboților de frână a șarjelor experimentale industriale respectiv a durității acestora în punctele măsurate au fost prelucrate în programele EXCEL și MATLAB.

Pentru stabilirea ecuațiilor de corelație s-au analizat următorii parametri:

- parametri independenți: elementele din compoziția chimică a saboților de frână (C, Mn, Si, S, P);
- parametri dependenți: duritatea măsurată în cele cinci puncte ale sabotului (Hs, Hd, Hss, Hsc și Hsd), media durității pe suprafața sabotului (Hm) și media durității în secțiunea sabotului (Hsm).

În continuare se prezintă corelațiile obținute între duritate și elementele din compoziția chimică a sabotului de frână, corelații obținute în programele de calcul EXCEL și MATLAB.

4.1. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul EXCEL

Pentru a evidenția dependența durității saboților de compoziția chimică a acestora s-a utilizat programul EXCEL rezultând corelații grafice.

Din analiza datelor și prelucrarea acestora au rezultat ecuații de corelație liniară, polinomială (gradul 2, 3, 4), logaritmice și exponențiale. Având în vedere valorile apropiate pentru coeficienții de corelație, în continuare se prezintă corelațiile de gradul 2 [38,40,41]. Corelațiile rezultate, evidențiază sub formă grafică și analitică limitele de variație a domeniului tehnologic pentru parametri analizați.

În figurile 4.1-4.8 se prezintă corelațiile obținute pentru duritatea saboților în funcție de conținutul de carbon, mangan, siliciu și fosfor din fontă, astfel:

- variația durității medii pe suprafața sabotului $(Hs+Hd)/2$;
- variația durității medii în secțiunea sabotului $(Hss+Hsc+Hsd)/3$

Variația durității în punctele măsurate (Hs, Hd, Hss, Hsc, Hsd) în funcție de conținutul de carbon, mangan, siliciu și fosfor sunt prezentate în anexe - figurile 4.1.A-4.20.A.

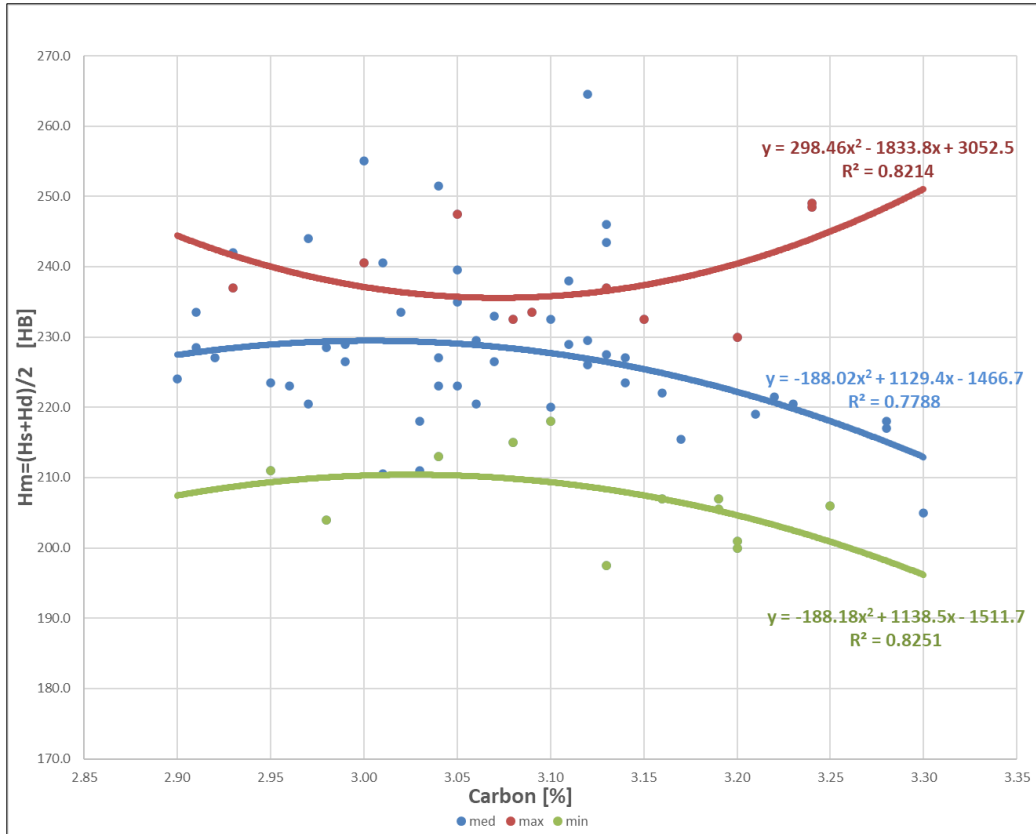


Figura 4.1. $H_m=f(C)$

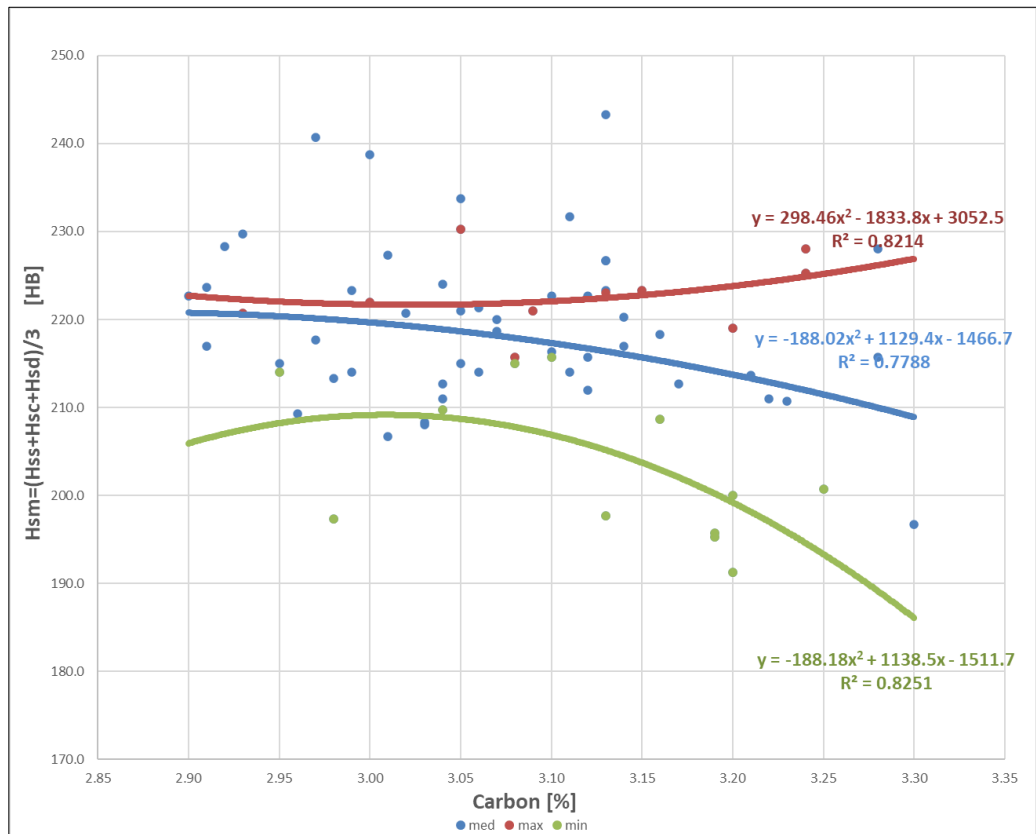


Figura 4.2. $H_{sm}=f(C)$

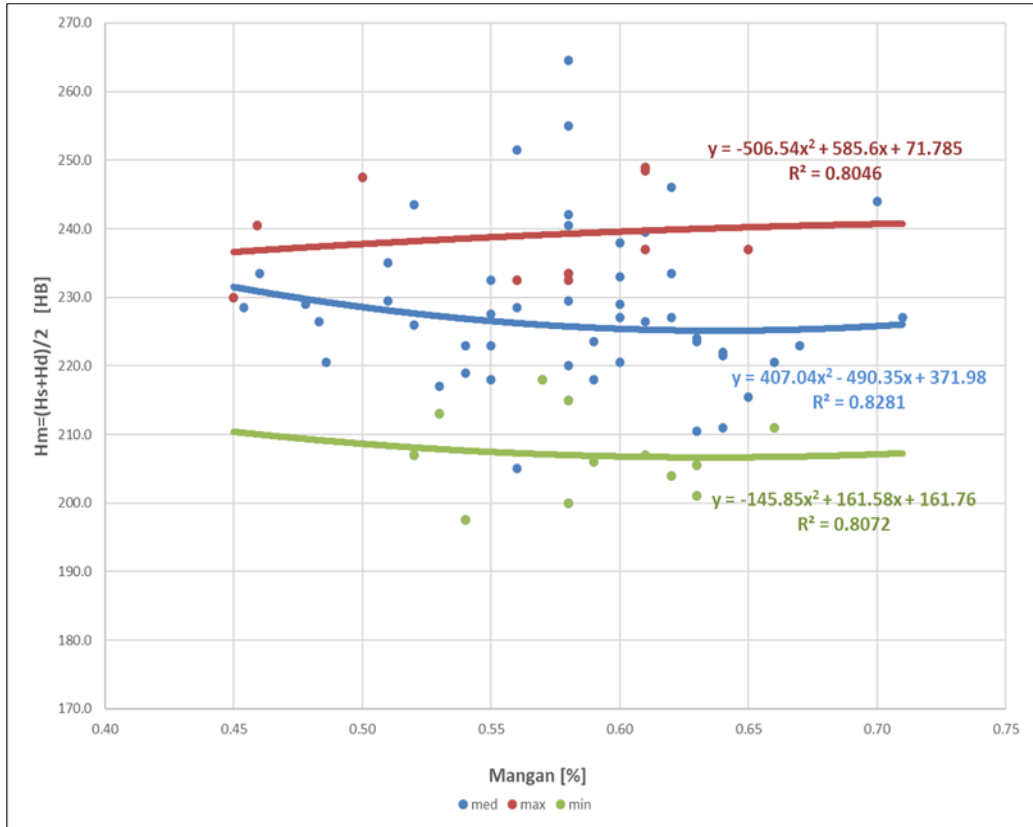


Figura 4.3. $H_m = f(Mn)$

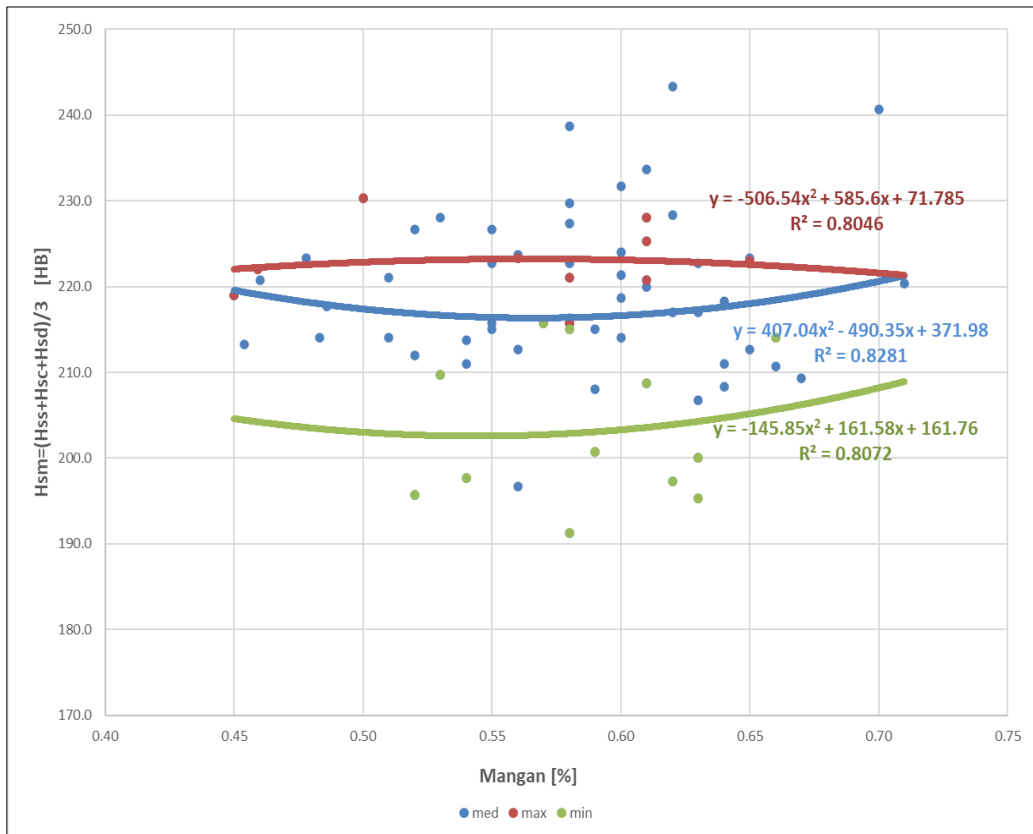


Figura 4.4. $H_{sm} = f(Mn)$

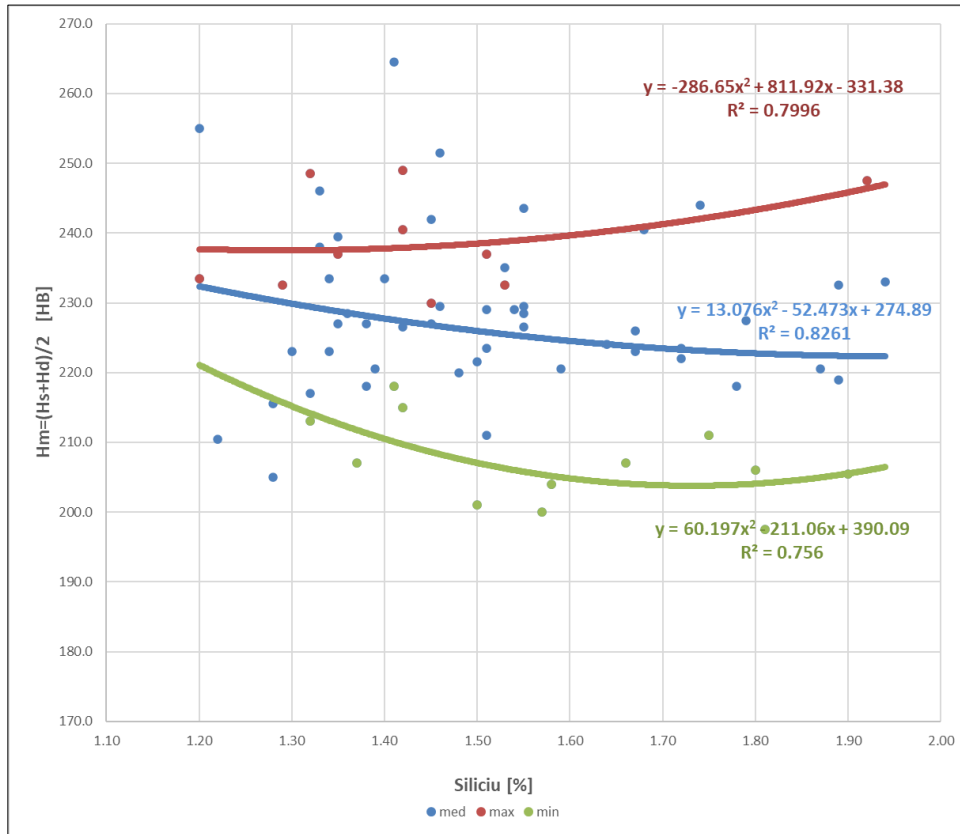


Figura 4.5. $H_m=f(Si)$

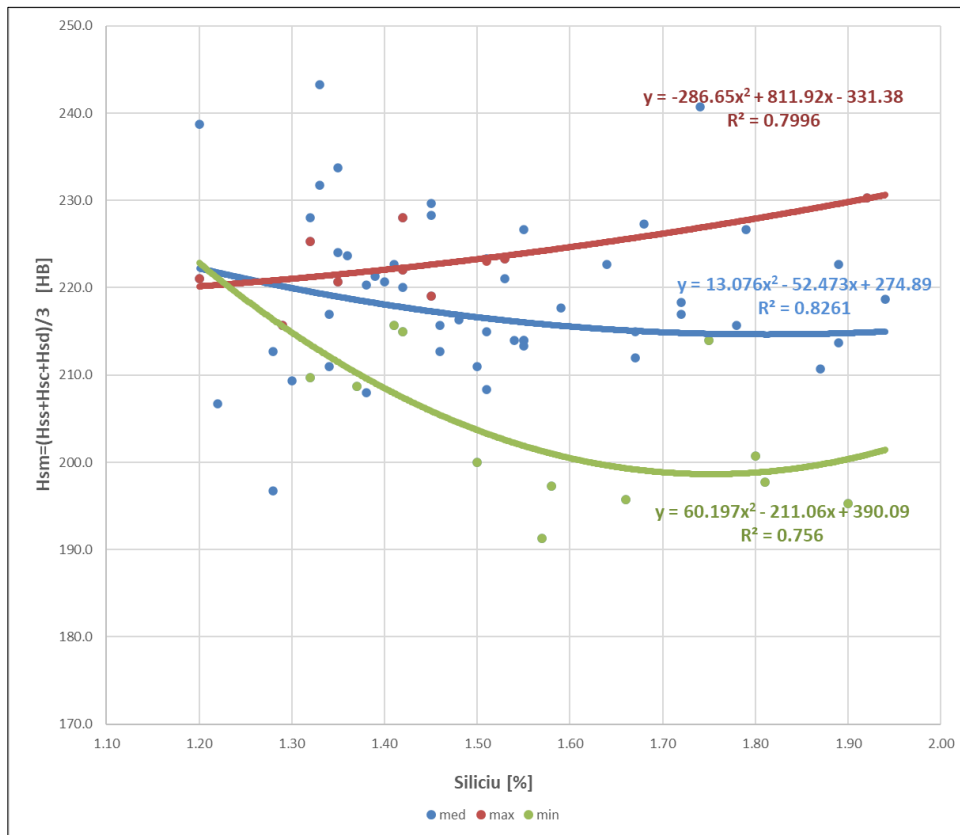


Figura 4.6. $H_{sm}=f(Si)$

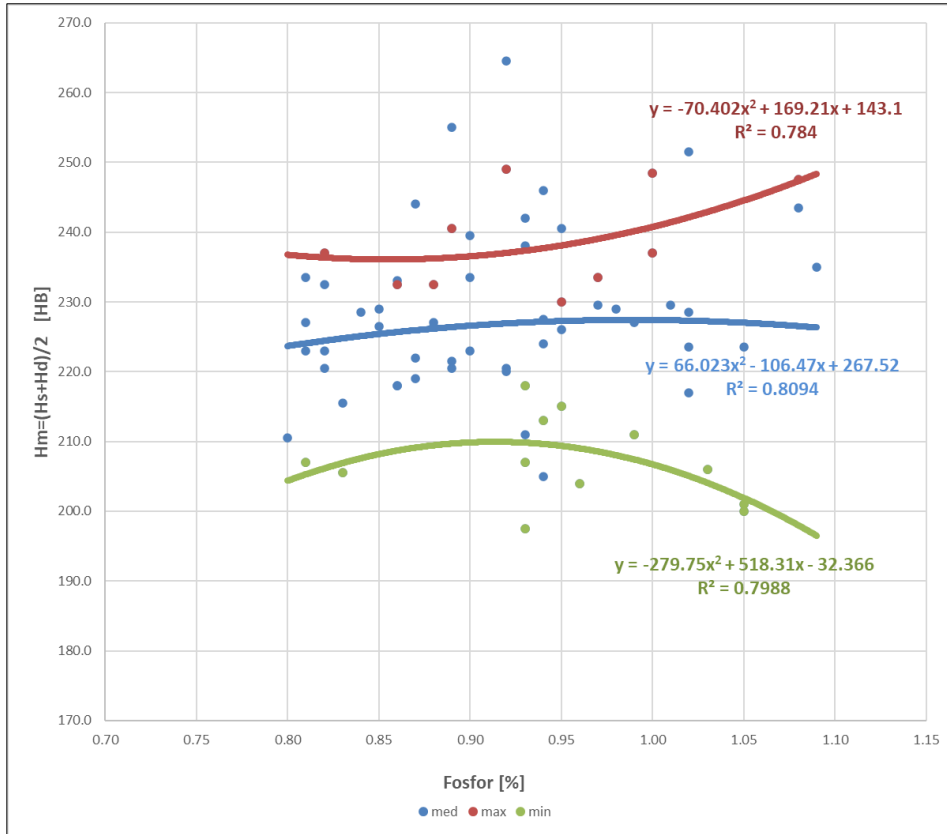


Figura 4.7. $H_m=f(P)$

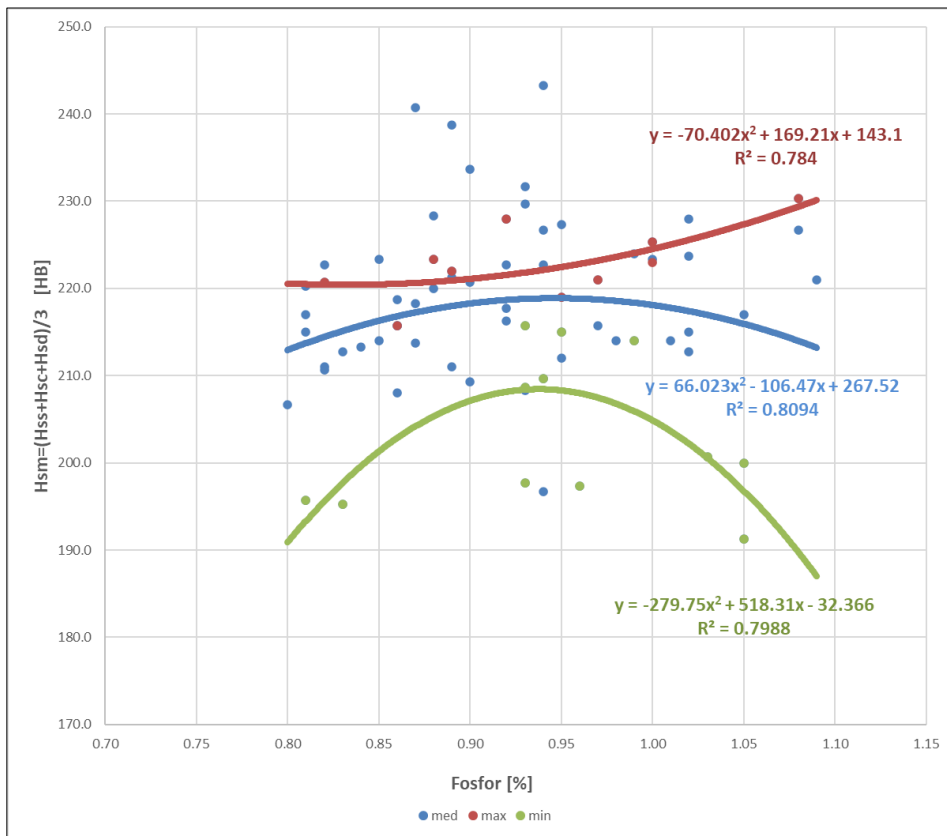


Figura 4.8. $H_{sm}=f(P)$

4.2. Analizarea corelațiilor grafice și analitice din EXCEL

Duritatea saboților este direct proporțională cu conținutul de carbon și mangan și invers proporțională cu conținutul de sulf.

Creșterea conținutului de mangan se limitează la 0,5-0,8% deoarece conduce la micșorarea segregăției carbonului și împiedică acțiunea sulfurului și micșorează fluiditatea fontei cu influență asupra capacității de turnare.

Din analiza ecuațiilor și a corelațiilor grafice rezultate pentru a obține valori a parametrului de duritate cuprinse între 197-255HB rezultă: C = 2,90-3,20%; Mn = 0,40-0,70%; Si = 1,20-1,90%; S = 0,08-0,09%; P = 0,80-1,05%.

4.3. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul MATLAB

În programul de calcul MATLAB au fost prelucrate datele experimentale industriale. Datele prelucrate, referitoare la duritatea saboților de frână din fontă fosforoasă și compoziția chimică a acesteia, au condus la stabilirea ecuațiilor de corelație dublă.

În continuare, în figurile 4.9-4.50 sunt prezentate ecuațiile de corelație, suprafețele de regresie și curbele de nivel pentru duritatea fontei (Hs, Hd, Hss, Hsc, Hsd, (Hs+Hd)/2, (Hss+Hsc+Hsd)/3) în funcție de compoziția chimică (C, Mn, Si, P) [42-44].

De asemenea, s-a determinat pentru fiecare corelație coeficientul de corelație și coordonatele punctelor de inflexiune.

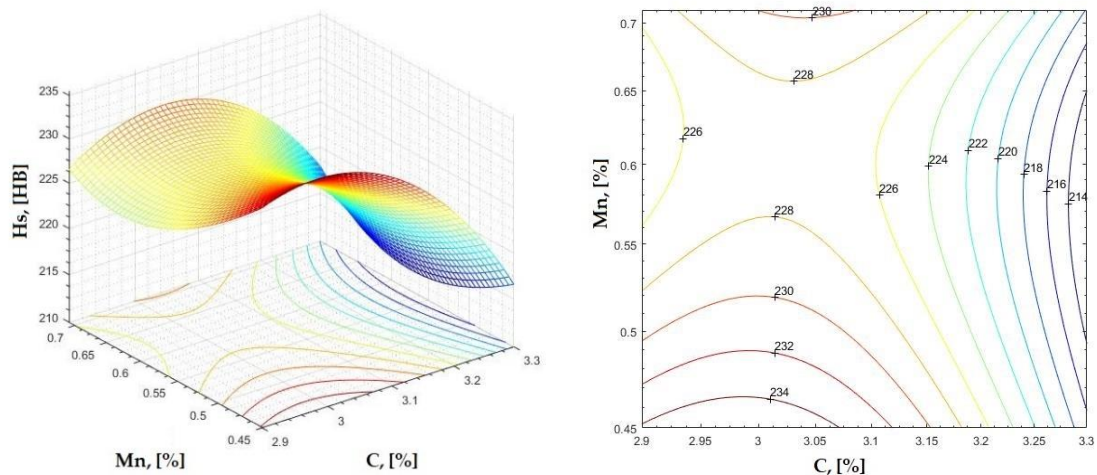


Figura 4.9. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(C, Mn)$

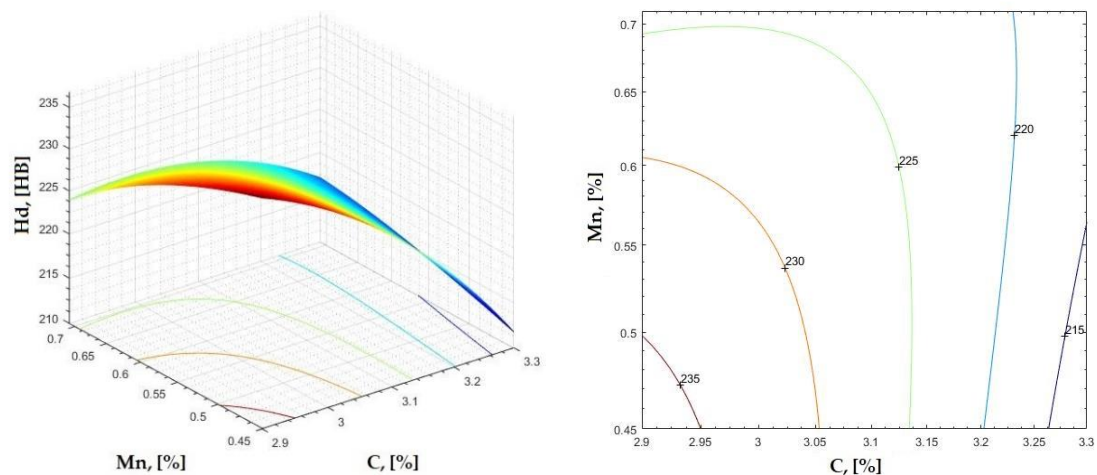


Figura 4.10. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(C, Mn)$

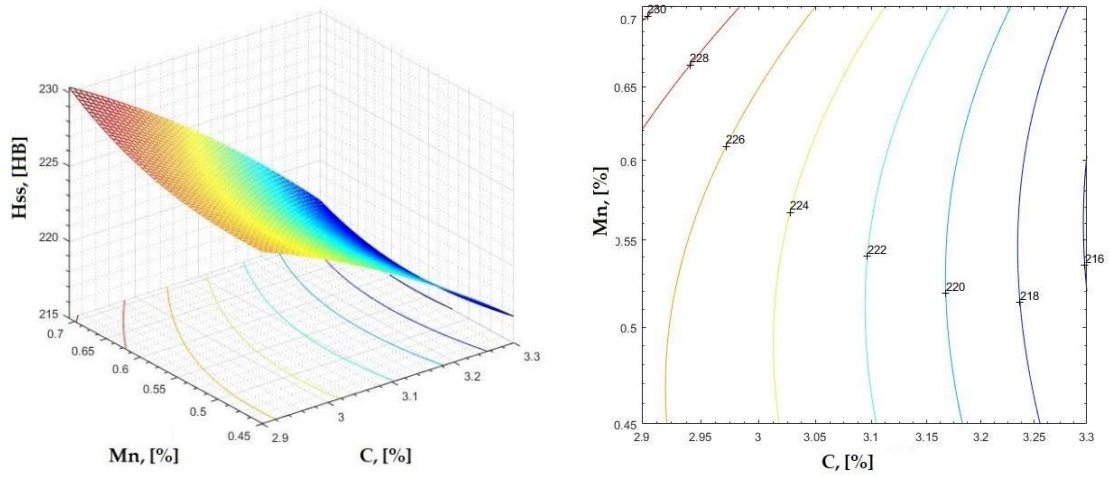


Figura 4.11. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(C, Mn)$

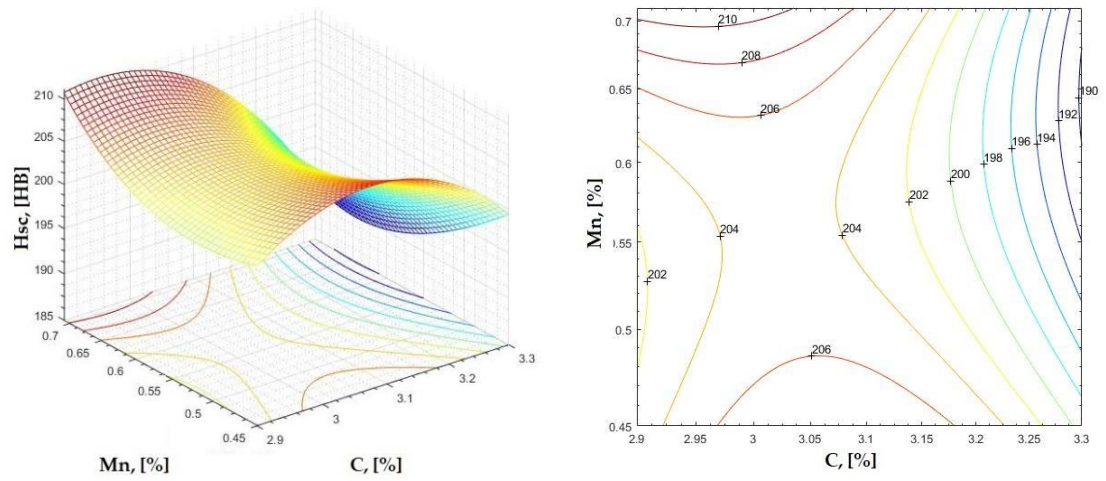


Figura 4.12. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sc} = f(C, Mn)$

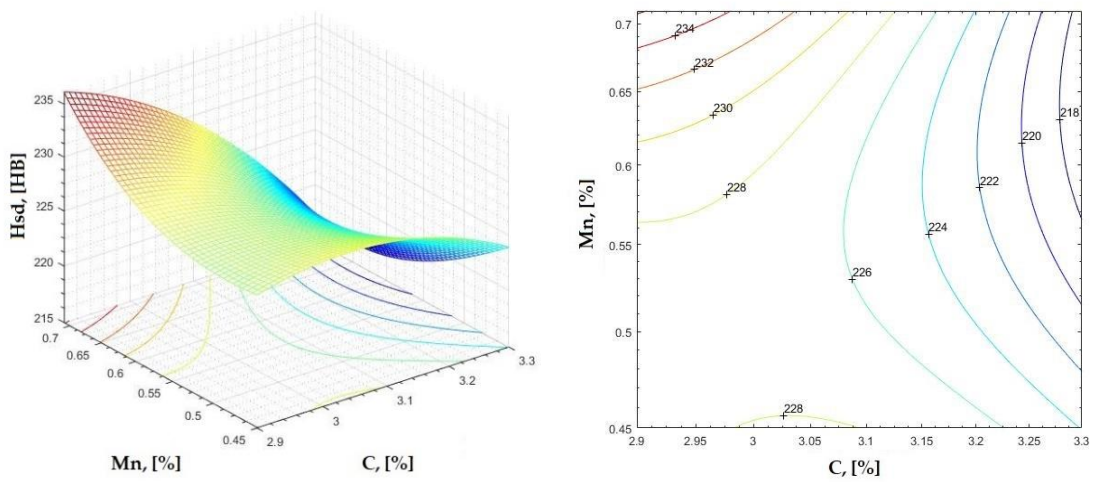


Figura 4.13. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sd} = f(C, Mn)$

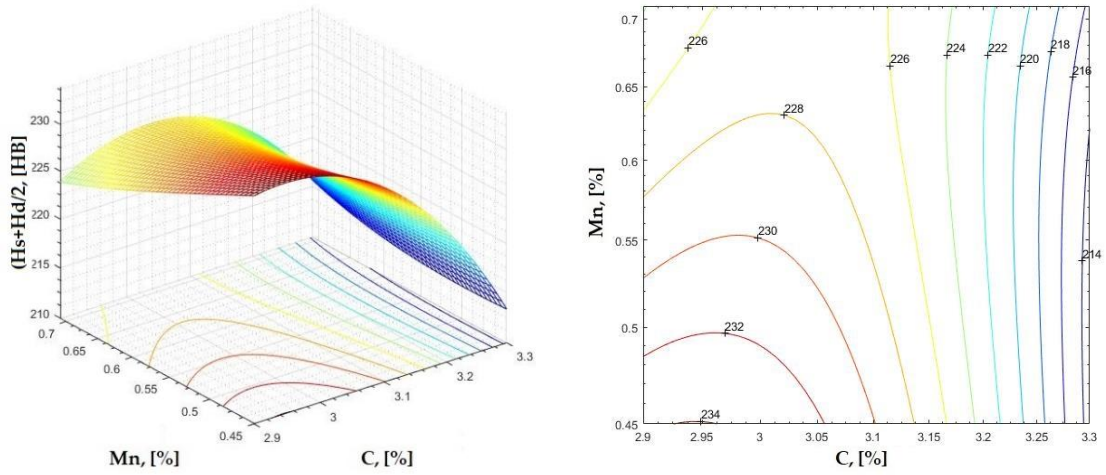


Figura 4.14. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(Hs+Hd)/2 = f(C, Mn)$

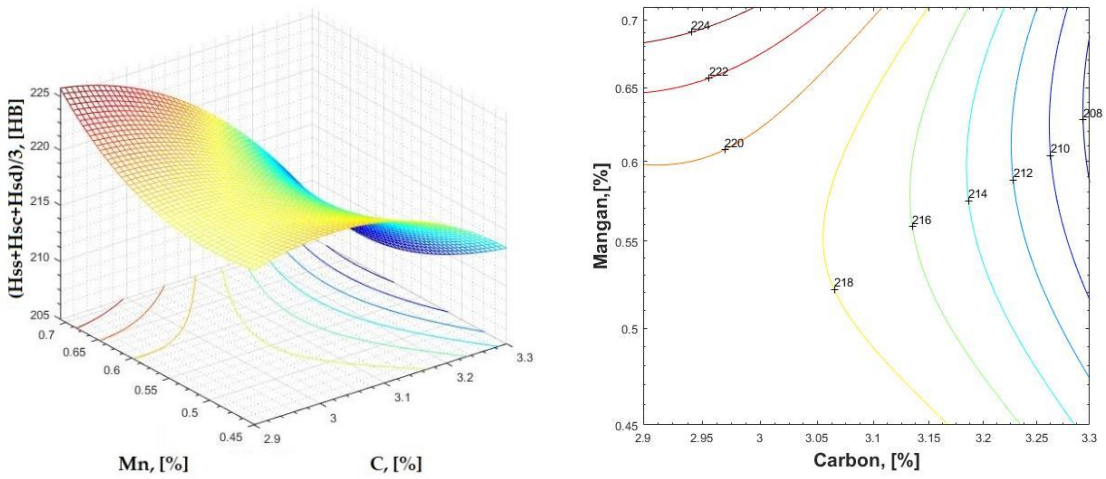


Figura 4.15. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(Hss+Hsc+Hsd)/3 = f(C, Mn)$

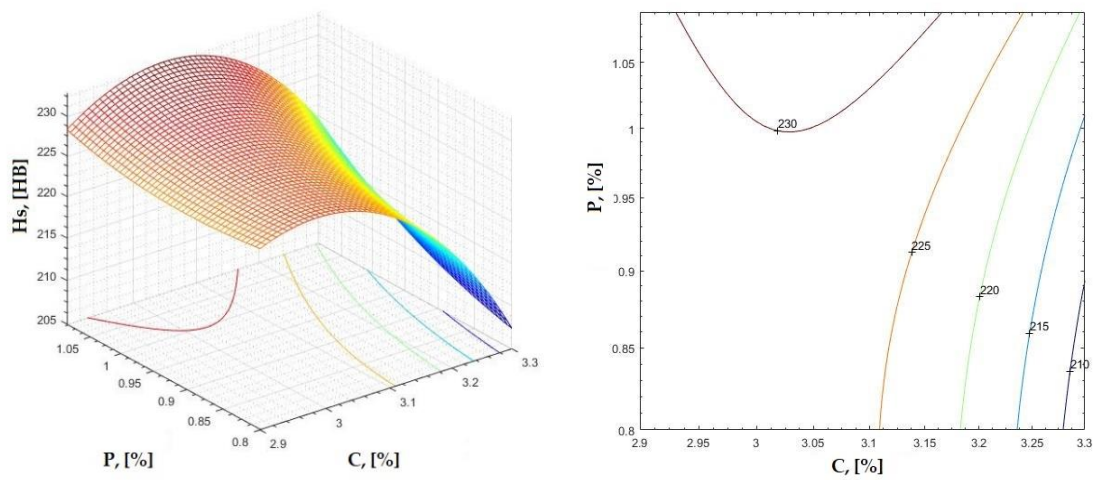


Figura 4.16. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(C, P)$

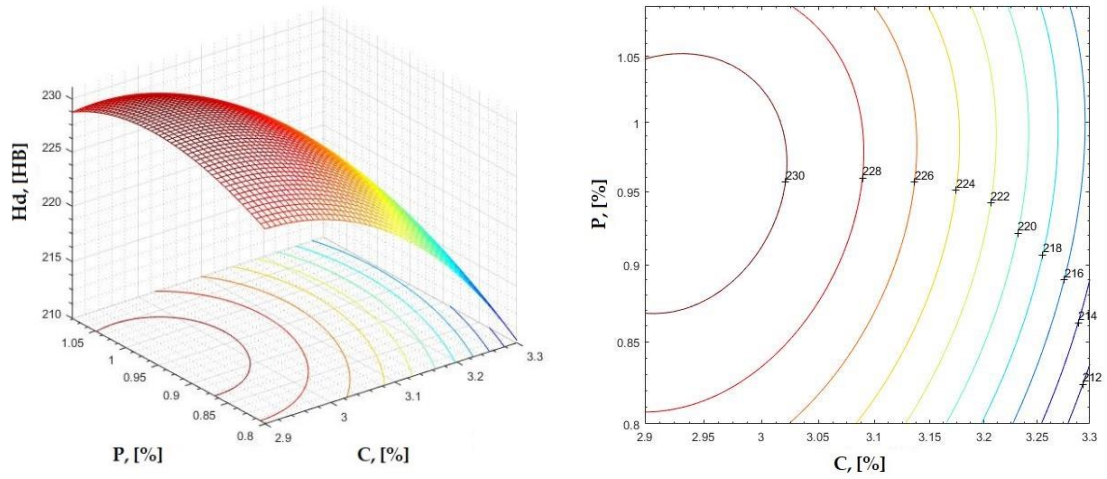


Figura 4.17. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(C, P)$

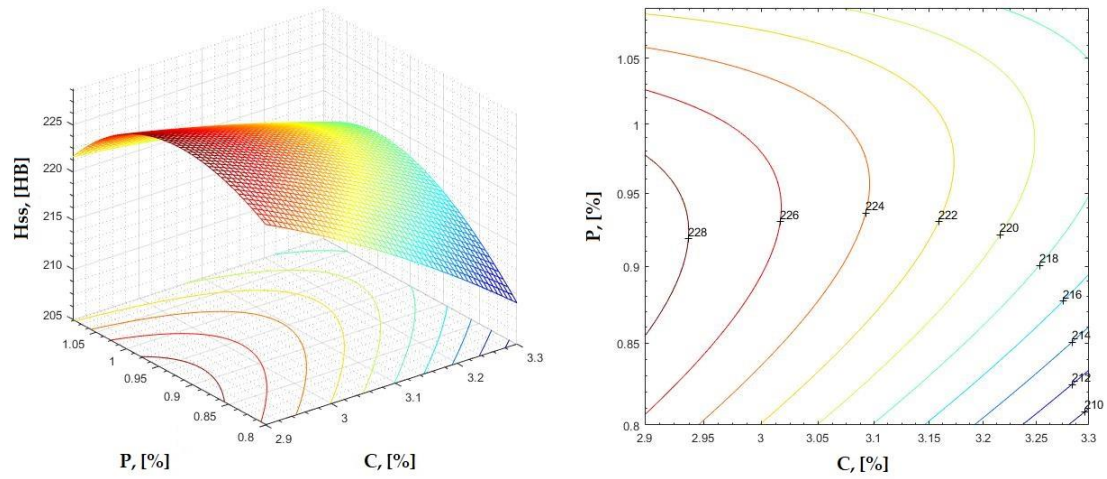


Figura 4.18. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(C, P)$

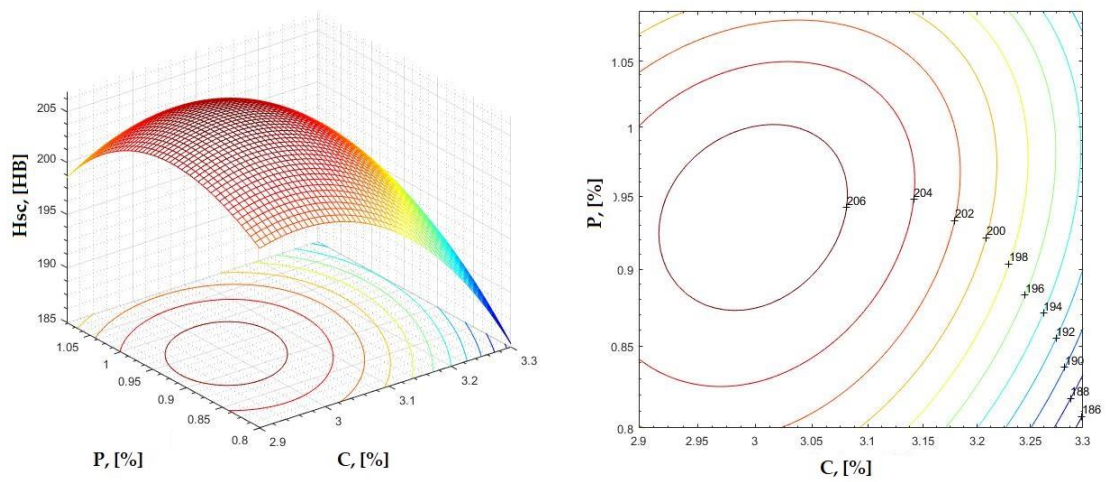


Figura 4.19. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sc} = f(C, P)$

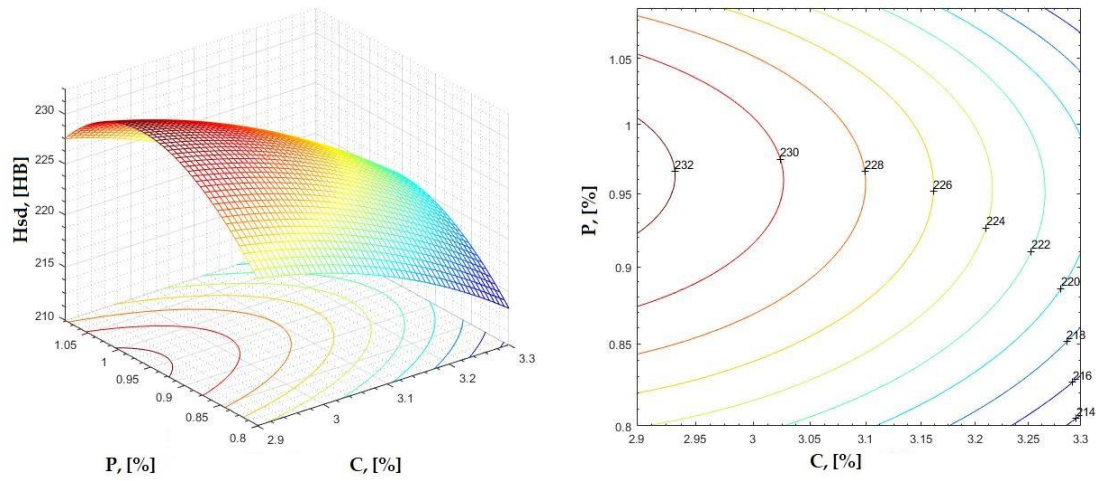


Figura 4.20. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sd} = f(C, P)$

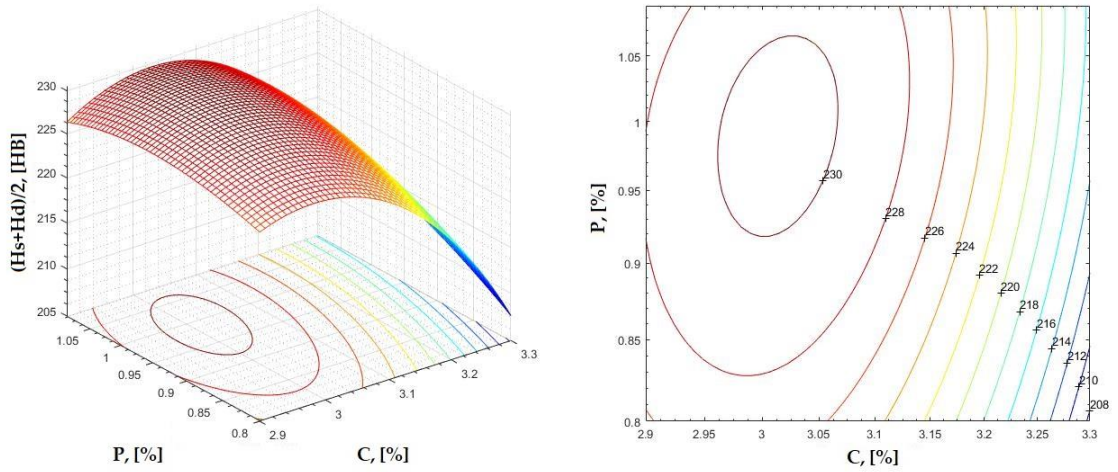


Figura 4.21. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_s + H_d)/2 = f(C, P)$

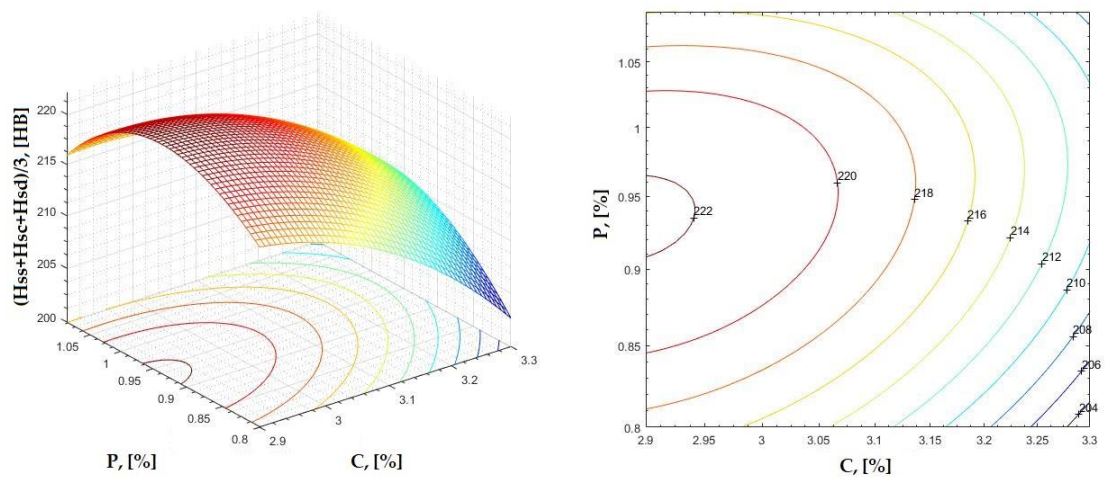


Figura 4.22. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_{ss} + H_{sc} + H_{sd})/3 = f(C, P)$

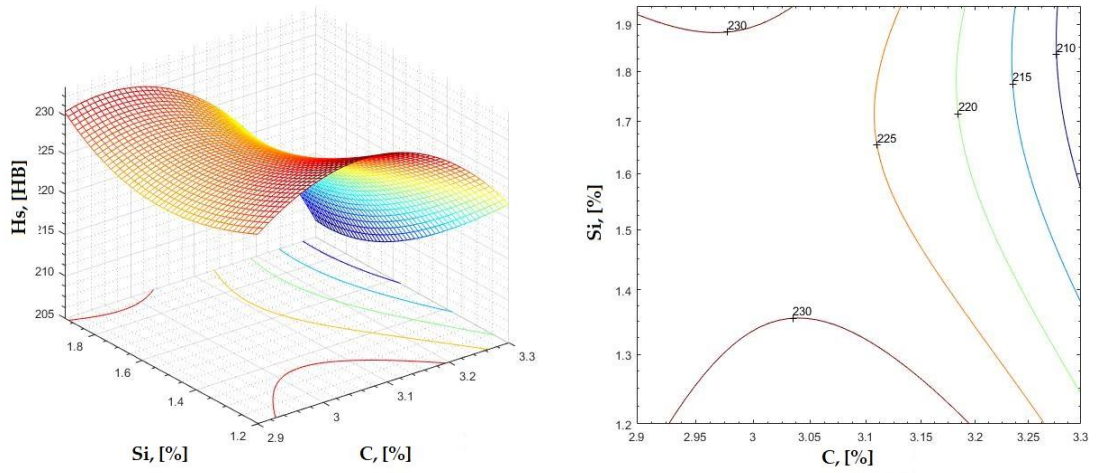


Figura 4.23. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(C, Si)$

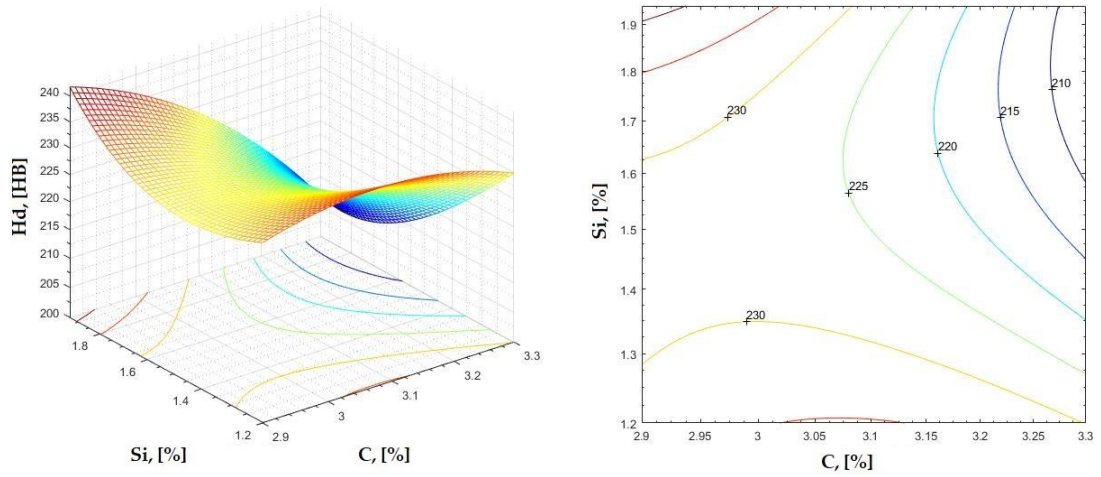


Figura 4.24. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(C, Si)$

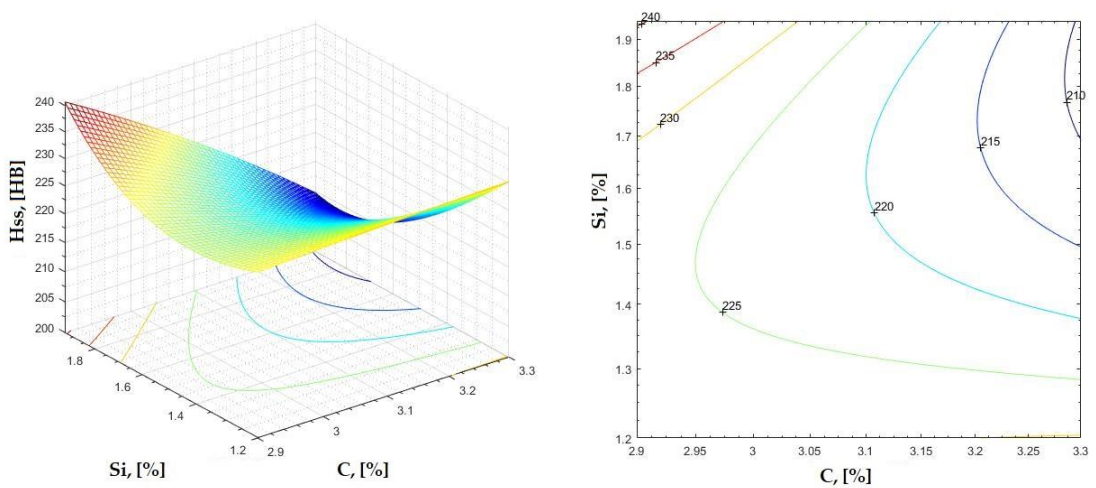


Figura 4.25. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(C, Si)$

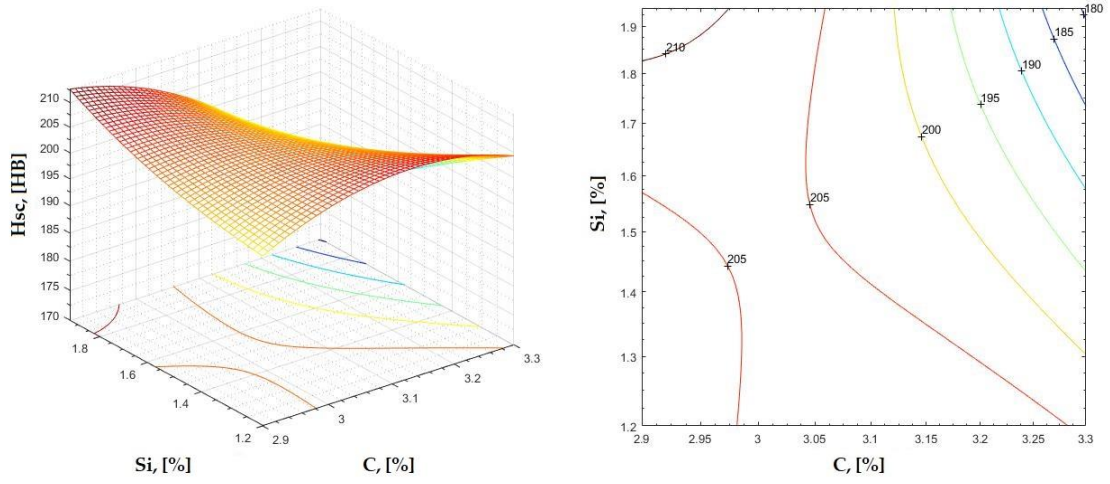


Figura 4.26. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sc} = f(C, Si)$

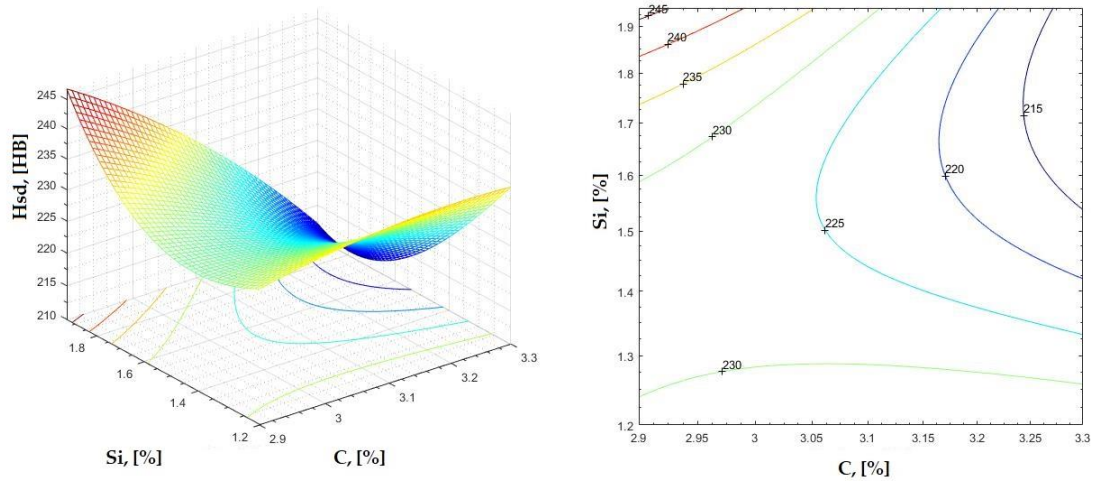


Figura 4.27. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sd} = f(C, Si)$

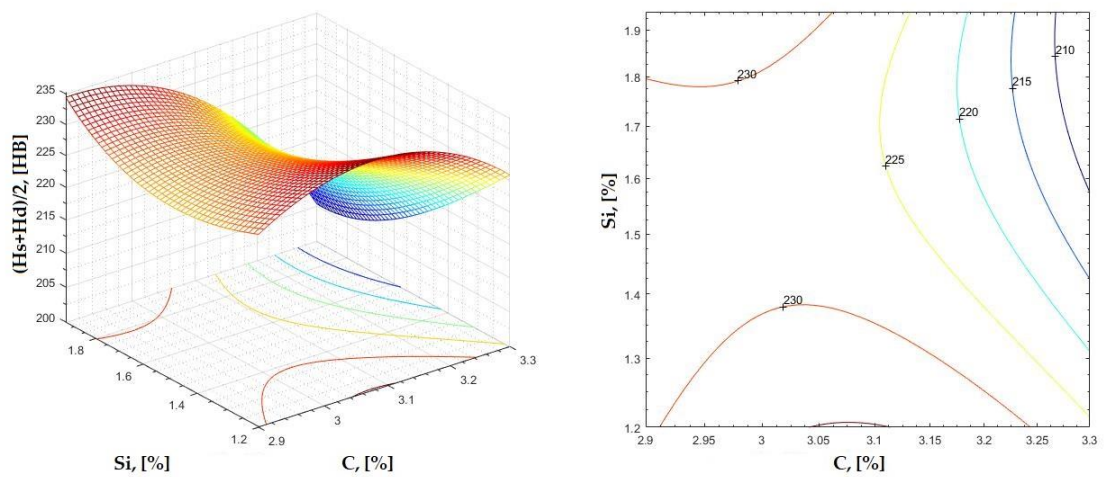


Figura 4.28. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_s + H_d)/2 = f(C, Si)$

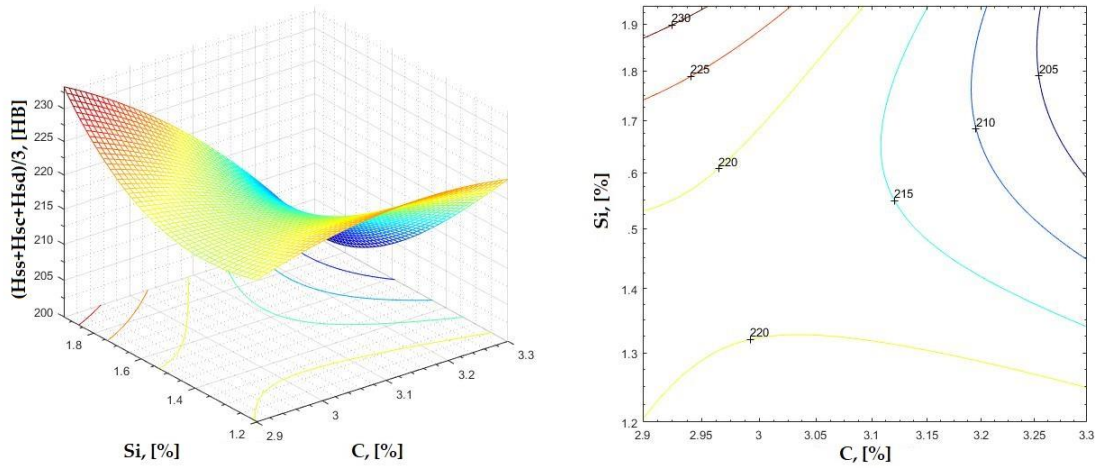


Figura 4.29. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_{ss}+H_{sc}+H_{sd})/3 = f(C, Si)$

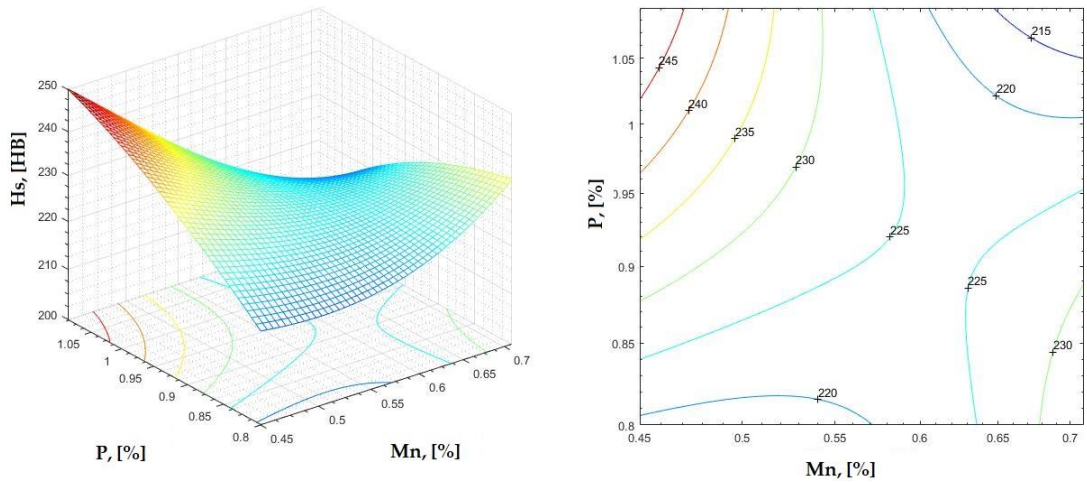


Figura 4.30. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(Mn, P)$

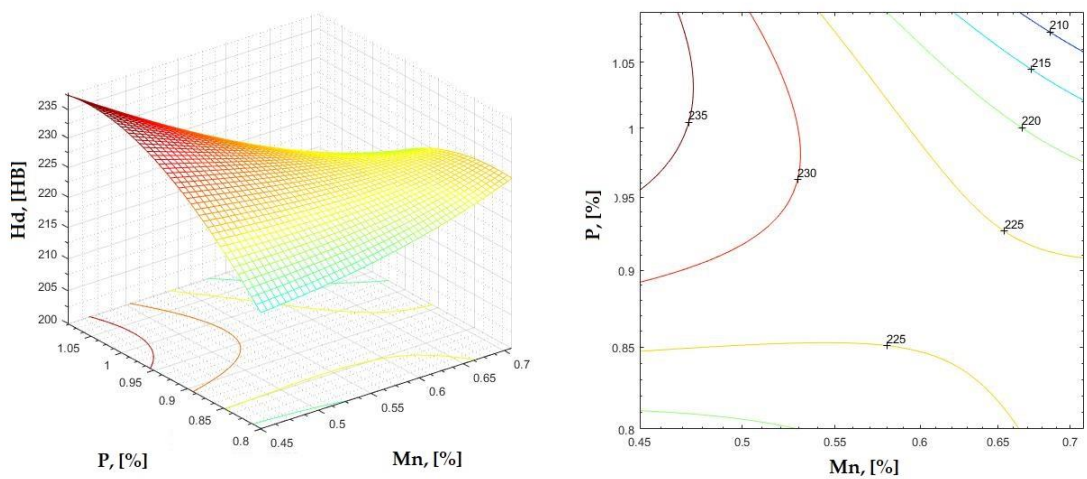


Figura 4.31. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(Mn, P)$

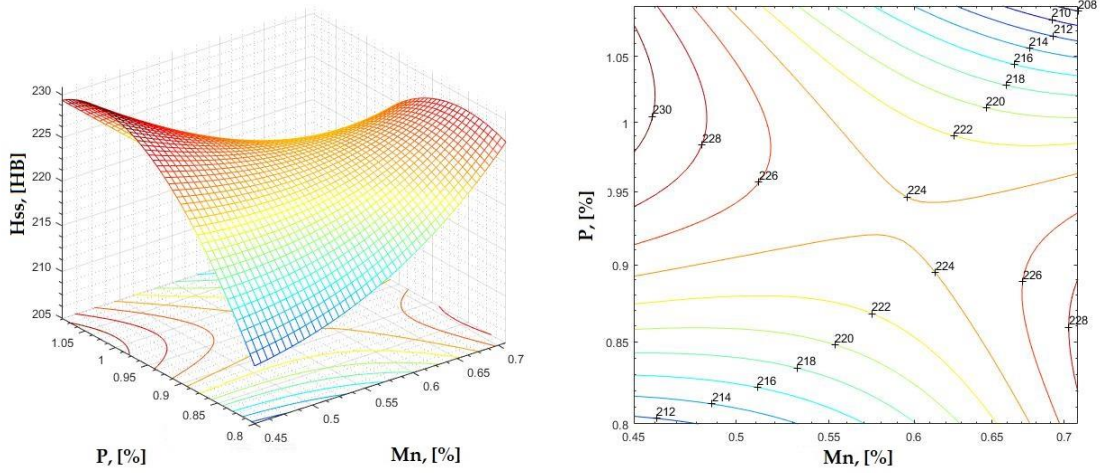


Figura 4.32. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(Mn, P)$

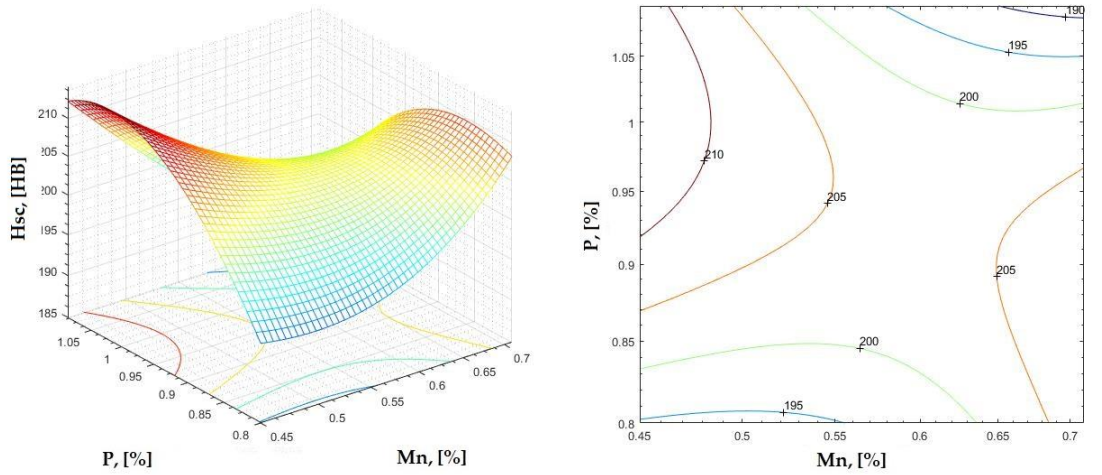


Figura 4.33. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sc} = f(Mn, P)$

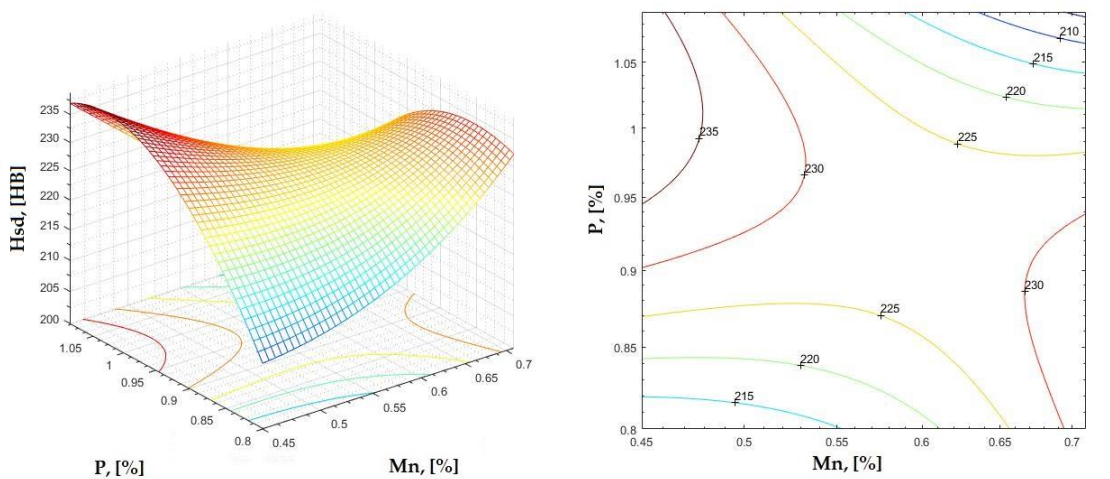


Figura 4.34. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sd} = f(Mn, P)$

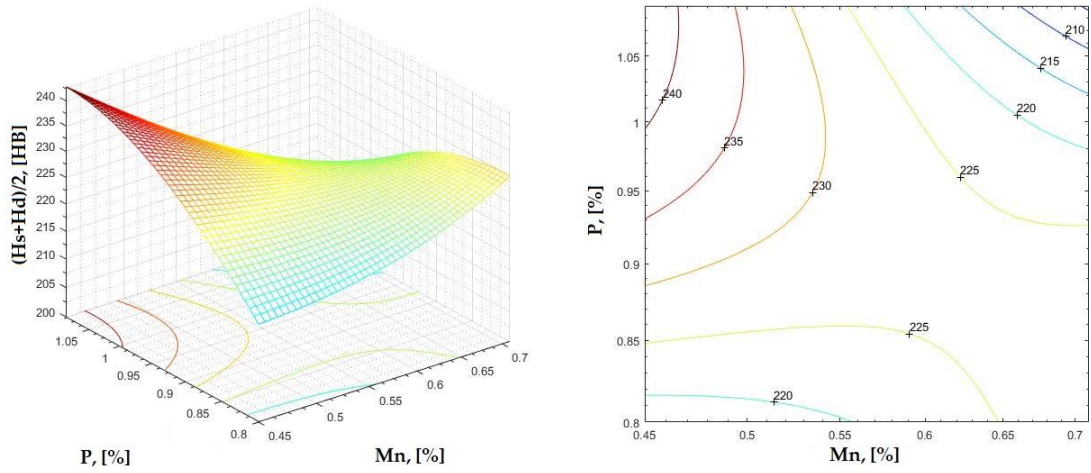


Figura 4.35. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_s+H_d)/2 = f(Mn, P)$

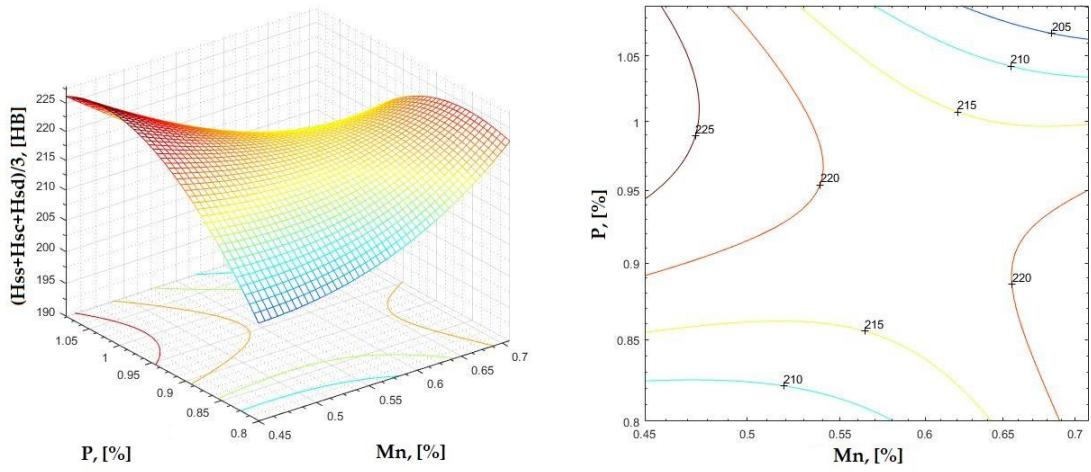


Figura 4.36. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_{ss}+H_{sc}+H_{sd})/3 = f(Mn, P)$

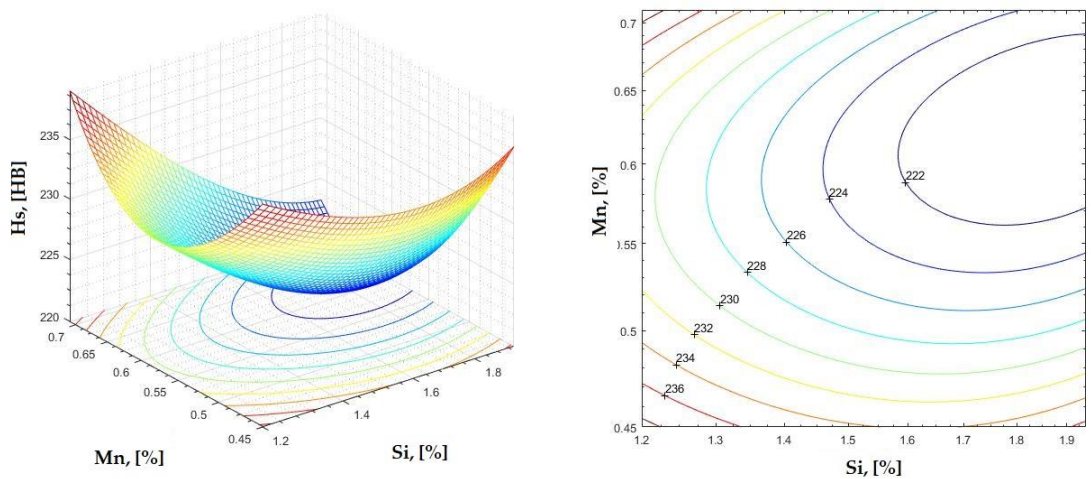


Figura 4.37. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(Si, Mn)$

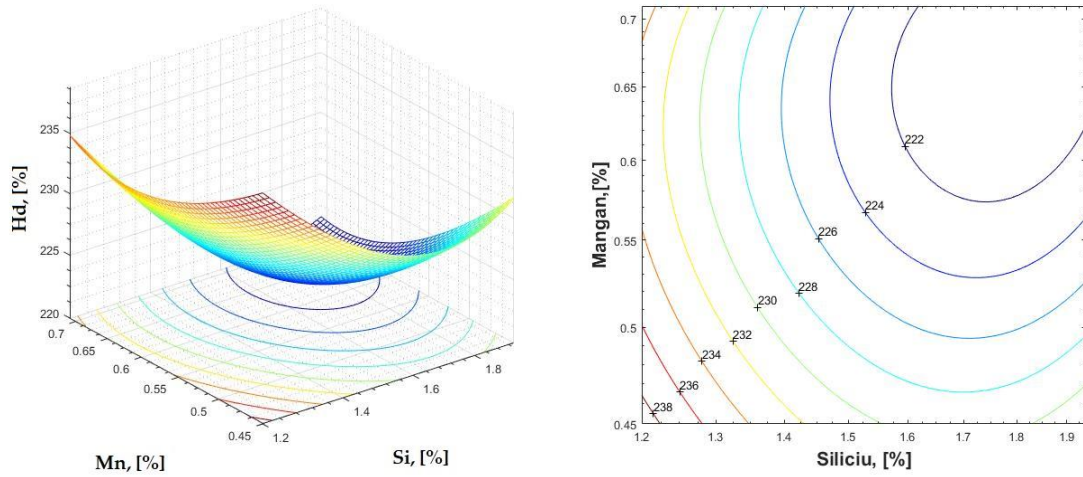


Figura 4.38. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(Si, Mn)$

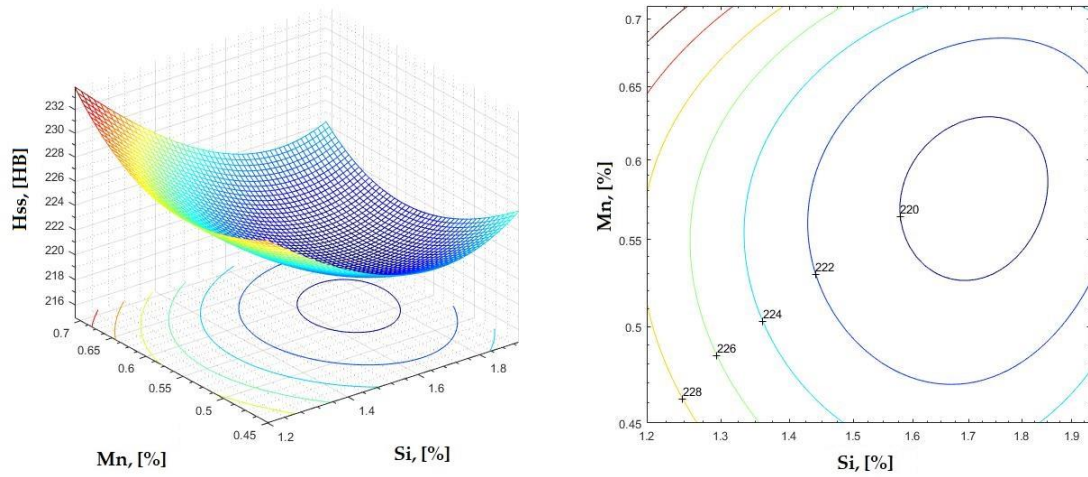


Figura 4.39. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(Si, Mn)$

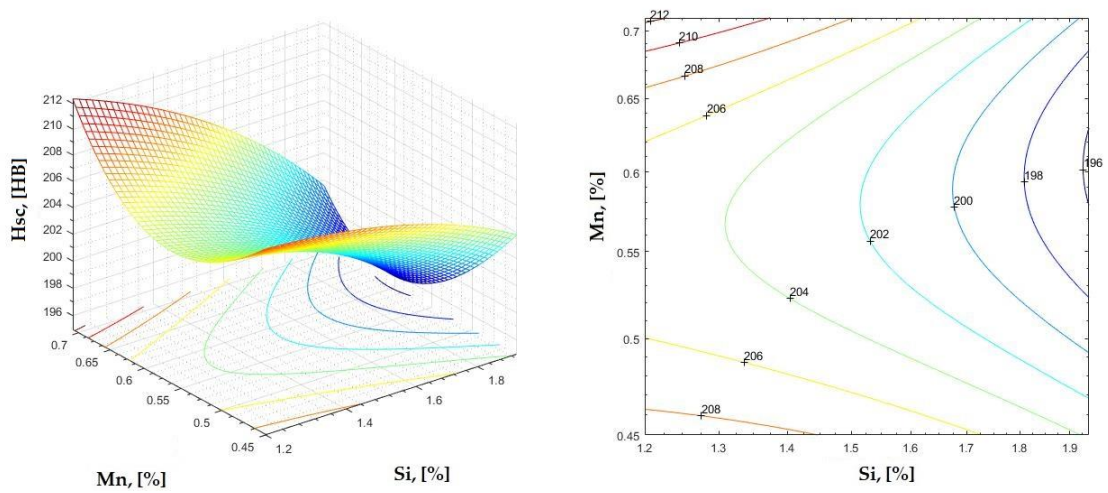


Figura 4.40. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(Si, Mn)$

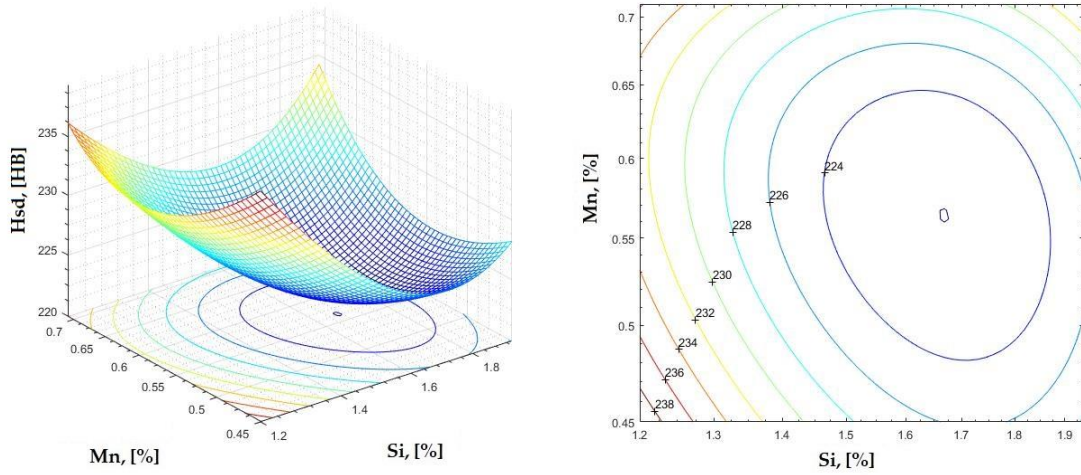


Figura 4.41. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(Si, Mn)$

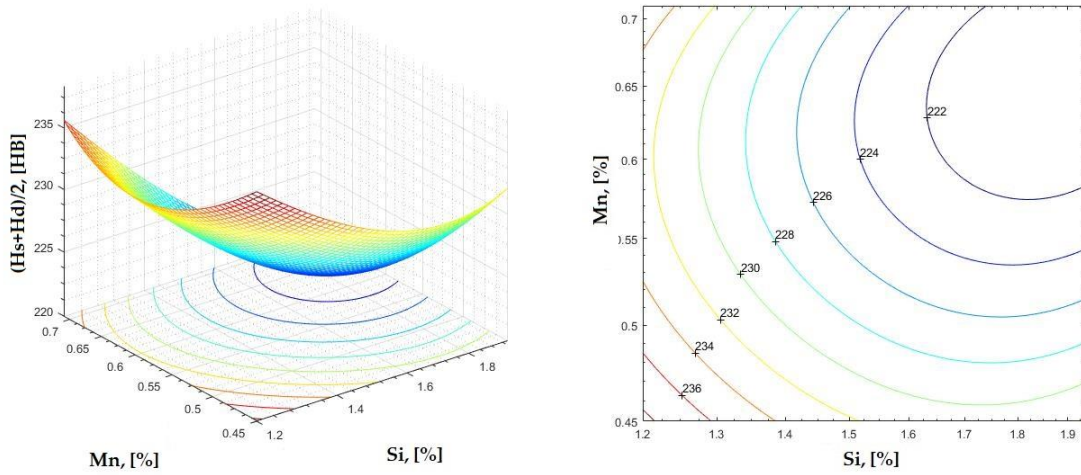


Figura 4.42. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_s + H_d)/2 = f(Si, Mn)$

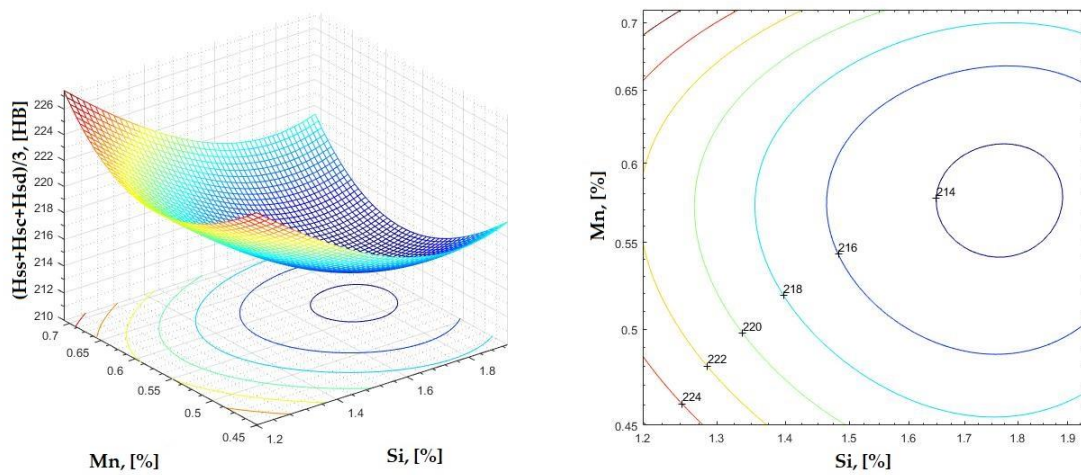


Figura 4.43. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_{ss} + H_{sc} + H_{sd})/3 = f(Si, Mn)$

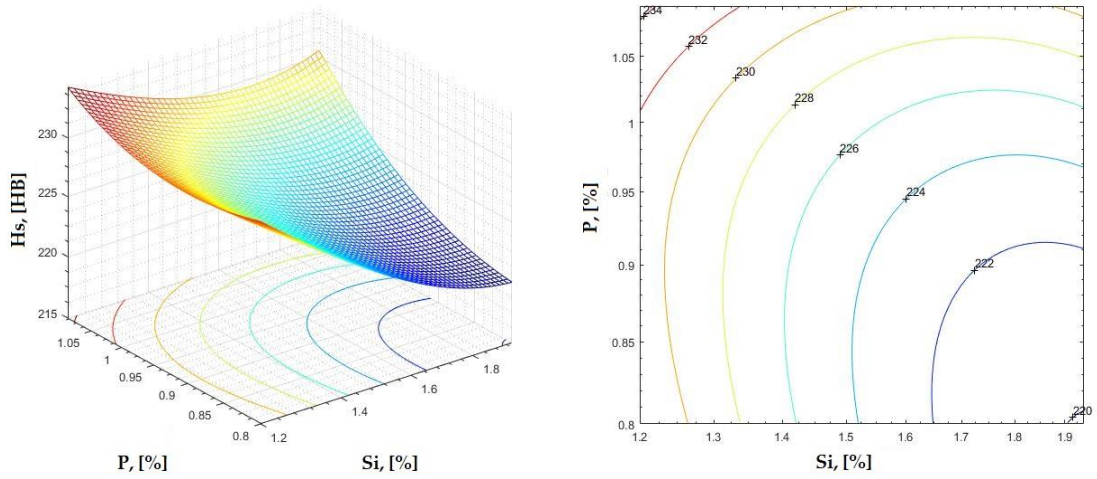


Figura 4.44. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(Si, P)$

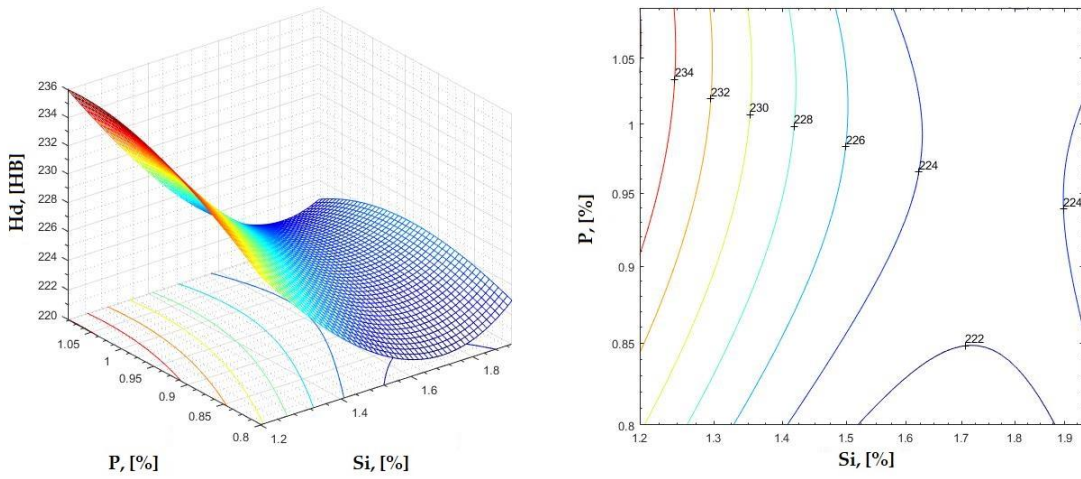


Figura 4.45. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(Si, P)$

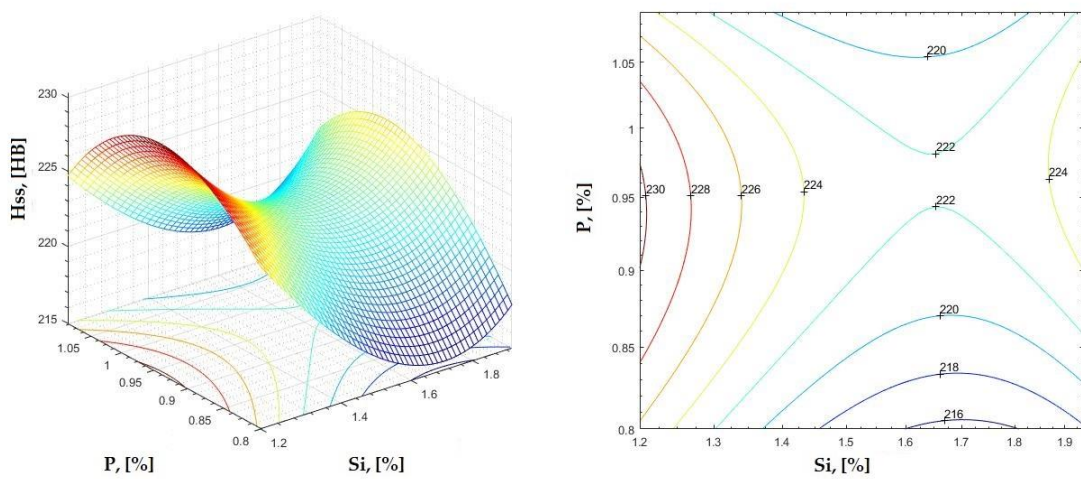


Figura 4.46. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(Si, P)$

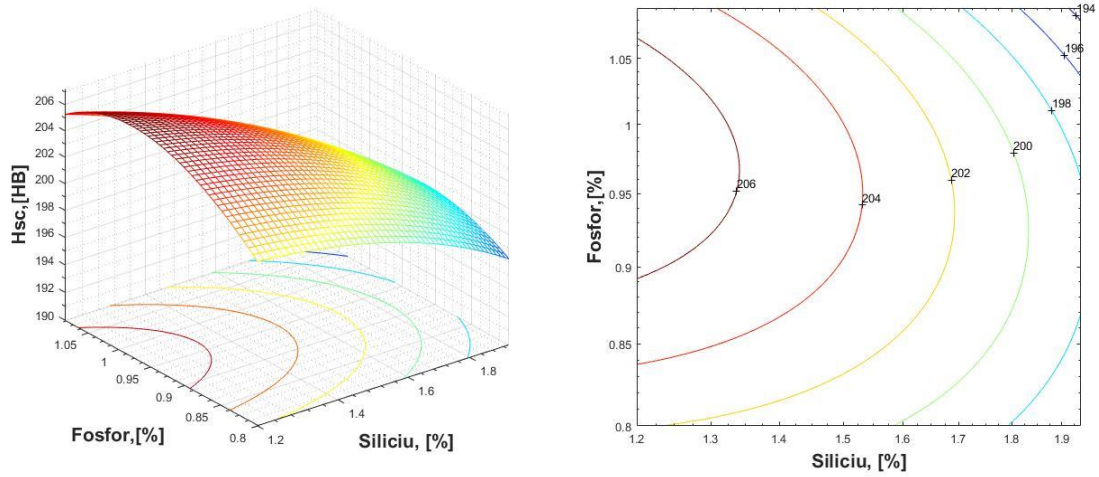


Figura 4.47. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sc} = f(Si, P)$

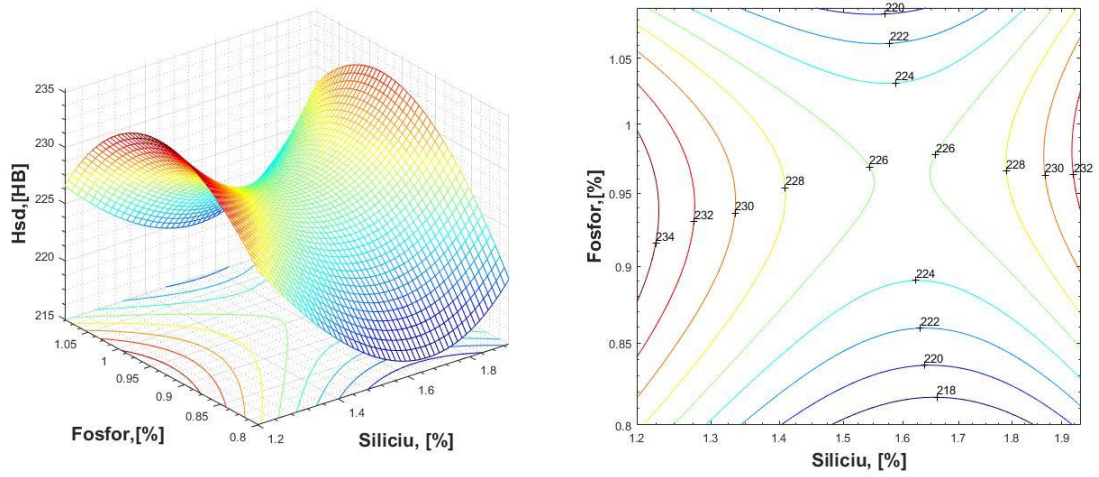


Figura 4.48. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(Si, P)$

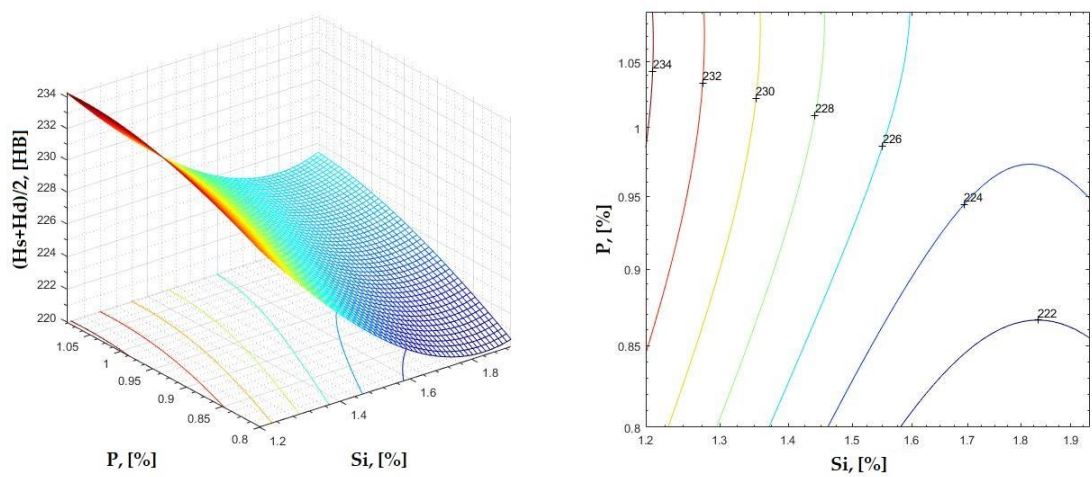


Figura 4.49. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_s + H_d)/2 = f(Si, P)$

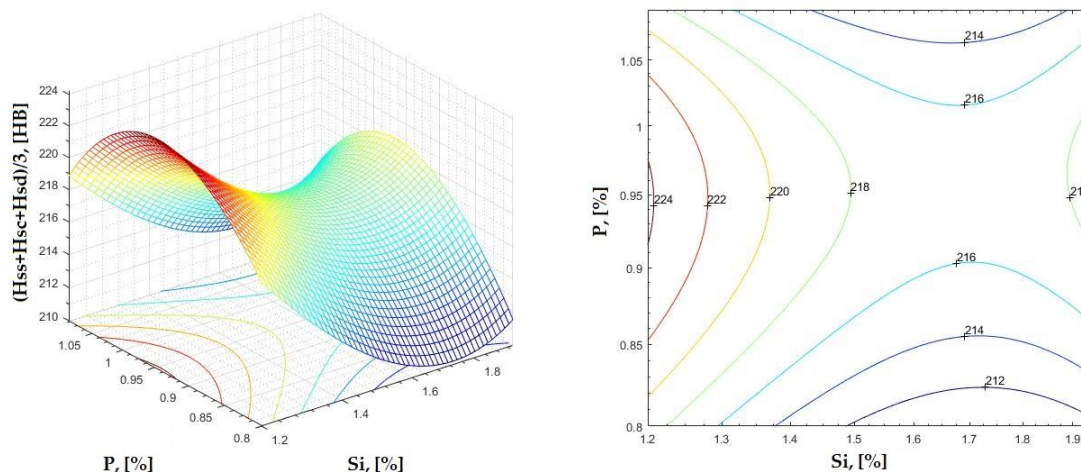


Figura 4.50. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(H_{ss}+H_{sc}+H_{sd})/3 = f(Si, P)$

$$H_s = 187.40 \cdot C^2 + 300.30 \cdot Mn^2 + 85.60 \cdot C \cdot Mn + 1079.40 \cdot C - 620.0 \cdot Mn - 1210.80 \quad (4.1)$$

$$H_d = -73.23 \cdot C^2 - 54.24 \cdot Mn^2 + 176.45 \cdot C \cdot Mn + 311.85 \cdot C - 498.69 \cdot Mn - 46.50 \quad (4.2)$$

$$H_{ss} = -13.78 \cdot C^2 + 65.66 \cdot Mn^2 - 32.17 \cdot C \cdot Mn + 75.68 \cdot C + 32.42 \cdot Mn + 136.91 \quad (4.3)$$

$$H_{sc} = -166.9 \cdot C^2 + 253.5 \cdot Mn^2 - 159.9 \cdot C \cdot Mn + 1098.3 \cdot C + 200.6 \cdot Mn - 1511.4 \quad (4.4)$$

$$H_{sd} = -62.30 \cdot C^2 + 180.90 \cdot Mn^2 - 151.53 \cdot C \cdot Mn + 446.81 \cdot C + 264.94 \cdot Mn - 502.87 \quad (4.5)$$

$$\frac{H_s+H_d}{2} = -163.71 \cdot C^2 + 56.22 \cdot Mn^2 + 116.95 \cdot C \cdot Mn + 911.39 \cdot C - 442.32 \cdot Mn - 997.46 \quad (4.6)$$

$$\frac{H_{ss}+H_{sc}+H_{sd}}{3} = -80.75 \cdot C^2 + 165.42 \cdot Mn^2 - 115.06 \cdot C \cdot Mn + 539.02 \cdot C + 168.92 \cdot Mn - 624.68 \quad (4.7)$$

$$H_s = 211.70 \cdot C^2 + 68.50 \cdot P^2 + 90.70 \cdot C \cdot P + 1191.40 \cdot C - 386.90 \cdot P - 1393.30 \quad (4.8)$$

$$H_d = -108.30 \cdot C^2 - 135.59 \cdot P^2 + 28.33 \cdot C \cdot P + 605.08 \cdot C + 177.67 \cdot P - 737.30 \quad (4.9)$$

$$H_{ss} = -108.30 \cdot C^2 - 241.60 \cdot P^2 - 99.89 \cdot C \cdot P - 36.37 \cdot C + 152.90 \cdot P + 247.01 \quad (4.10)$$

$$H_{sc} = -151.90 \cdot C^2 - 246.60 \cdot P^2 + 79.90 \cdot C \cdot P + 83.63 \cdot C + 22.28 \cdot P - 1151.60 \quad (4.11)$$

$$H_{sd} = -69.91 \cdot C^2 - 314.77 \cdot P^2 - 21.08 \cdot C \cdot P + 218.99 \cdot C + 667.86 \cdot P - 384.41 \quad (4.12)$$

$$\frac{H_s+H_d}{2} = -192.60 \cdot C^2 - 98.20 \cdot P^2 + 64.10 \cdot C \cdot P + 1097.50 \cdot C + 1.70 \cdot P - 1424.20 \quad (4.13)$$

$$\frac{H_{ss}+H_{sc}+H_{sd}}{3} = -67.20 \cdot C^2 - 267.72 \cdot P^2 + 52.48 \cdot C \cdot P + 338.15 \cdot C + 349.21 \cdot P - 427.99 \quad (4.14)$$

$$H_s = -209.30 \cdot C^2 + 31.50 \cdot Si^2 - 57.50 \cdot C \cdot Si + 1350.20 \cdot C + 70.7 \cdot Si - 1857.20 \quad (4.15)$$

$$H_d = -108.10 \cdot C^2 + 57.40 \cdot Si^2 - 111.50 \cdot C \cdot Si + 798.60 \cdot C + 156.3 \cdot Si - 1057.00 \quad (4.16)$$

$$H_{ss} = -5.10 \cdot C^2 + 53.58 \cdot Si^2 - 110.99 \cdot C \cdot Si + 169.21 \cdot C + 170.68 \cdot Si - 114.69 \quad (4.17)$$

$$H_{sc} = -144.20 \cdot C^2 + 11.80 \cdot Si^2 - 125.30 \cdot C \cdot Si + 1053.70 \cdot C + 343.00 \cdot Si - 1635.00 \quad (4.18)$$

$$H_{sd} = -37.43 \cdot C^2 + 68.15 \cdot Si^2 - 128.68 \cdot C \cdot Si + 394.98 \cdot C + 180.50 \cdot Si - 466.55 \quad (4.19)$$

$$\frac{Hs+Hd}{2} = -191.00 \cdot C^2 + 39.90 \cdot Si^2 - 86.70 \cdot C \cdot Si + 1279.60 \cdot C + 133.30 \cdot Si - 1791.00 \quad (4.20)$$

$$\frac{Hss+Hsc+Hsd}{3} = -61.98 \cdot C^2 + 44.60 \cdot Si^2 - 121.50 \cdot C \cdot Si + 537.46 \cdot C + 230.38 \cdot Si - 735.11 \quad (4.21)$$

$$Hs = 379.28 \cdot Mn^2 - 160.39 \cdot P^2 - 738.31 \cdot Mn \cdot P + 210.26 \cdot Mn + 742.36 \cdot P - 177.73 \quad (4.22)$$

$$Hd = 75.86 \cdot Mn^2 - 305.46 \cdot P^2 - 550.91 \cdot Mn \cdot P + 387.27 \cdot Mn + 891.51 \cdot P - 290.67 \quad (4.23)$$

$$Hss = 160.20 \cdot Mn^2 - 383.70 \cdot P^2 - 506.80 \cdot Mn \cdot P + 281.60 \cdot Mn + 1015.90 \cdot P - 332.60 \quad (4.24)$$

$$Hsc = 313.80 \cdot Mn^2 - 402.80 \cdot P^2 - 498.00 \cdot Mn \cdot P + 86.40 \cdot Mn + 1046.20 \cdot P - 307.70 \quad (4.25)$$

$$Hsd = 251.60 \cdot Mn^2 - 536.50 \cdot P^2 - 728.80 \cdot Mn \cdot P + 375.30 \cdot Mn + 1433.70 \cdot P - 550.70 \quad (4.26)$$

$$\frac{Hs+Hd}{2} = 152.22 \cdot Mn^2 - 298.59 \cdot P^2 - 680.07 \cdot Mn \cdot P + 416.37 \cdot Mn + 958.78 \cdot P - 332.04 \quad (4.27)$$

$$\frac{Hss+Hsc+Hsd}{2} = 240.10 \cdot Mn^2 - 441.30 \cdot P^2 - 578.90 \cdot Mn \cdot P + 250.60 \cdot Mn + 1166.30 \cdot P - 338.20 \quad (4.28)$$

$$Hs = 26.10 \cdot Si^2 + 492.39 \cdot Mn^2 - 72.40 \cdot Si \cdot Mn - 52.10 \cdot Si - 481.72 \cdot Mn + 419.62 \quad (4.29)$$

$$Hd = 39.79 \cdot Si^2 + 197.86 \cdot Mn^2 - 31.29 \cdot Si \cdot Mn - 120.62 \cdot Si - 207.63 \cdot Mn + 396.63 \quad (4.30)$$

$$Hss = 32.38 \cdot Si^2 + 228.05 \cdot Mn^2 - 28.16 \cdot Si \cdot Mn - 94.81 \cdot Si - 215.08 \cdot Mn + 362.80 \quad (4.31)$$

$$Hsc = -6.59 \cdot Si^2 + 337.77 \cdot Mn^2 - 39.98 \cdot Si \cdot Mn + 31.80 \cdot Si - 330.51 \cdot Mn + 282.15 \quad (4.32)$$

$$Hsd = 50.11 \cdot Si^2 + 306.88 \cdot Mn^2 + 48.51 \cdot Si \cdot Mn - 194.46 \cdot Si - 426.88 \cdot Mn + 504.42 \quad (4.33)$$

$$\frac{Hs+Hd}{2} = 26.76 \cdot Si^2 + 262.81 \cdot Mn^2 - 42.89 \cdot Si \cdot Mn - 76.46 \cdot Si - 264.13 \cdot Mn + 379.03 \quad (4.34)$$

$$\frac{Hss+Hsc+Hsd}{3} = 25.50 \cdot Si^2 + 289.63 \cdot Mn^2 - 6.02 \cdot Si \cdot Mn - 86.76 \cdot Si - 323.57 \cdot Mn + 383.72 \quad (4.35)$$

$$Hs = 20.37 \cdot Si^2 + 100.50 \cdot P^2 + 37.88 \cdot Si \cdot P - 110.50 \cdot Si - 226.80 \cdot P + 415.93 \quad (4.36)$$

$$Hd = 37.90 \cdot Si^2 - 82.64 \cdot P^2 - 28.42 \cdot Si \cdot P - 106.13 \cdot Si + 210.24 \cdot P + 214.96 \quad (4.37)$$

$$Hss = 39.96 \cdot Si^2 - 244.02 \cdot P^2 + 26.34 \cdot Si \cdot P - 157.22 \cdot Si + 426.10 \cdot P + 146.80 \quad (4.38)$$

$$Hsc = -6.92 \cdot Si^2 - 159.32 \cdot P^2 - 27.54 \cdot Si \cdot P + 35.82 \cdot Si + 345.03 \cdot P + 21.45 \quad (4.39)$$

$$Hsd = 57.89 \cdot Si^2 - 370.57 \cdot P^2 + 45.56 \cdot Si \cdot P - 228.94 \cdot Si + 639.05 \cdot P + 102.02 \quad (4.40)$$

$$\frac{Hs+Hd}{2} = 25.96 \cdot Si^2 - 47.80 \cdot P^2 + 7.84 \cdot Si \cdot P - 102.01 \cdot Si + 92.38 \cdot P + 265.14 \quad (4.41)$$

$$\frac{Hss+Hsc+Hsd}{3} = 30.49 \cdot Si^2 - 258.15 \cdot P^2 + 14.74 \cdot Si \cdot P - 117.23 \cdot Si + 470.61 \cdot P + 90.20 \quad (4.42)$$

4.4. Analiza rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul MATLAB

Din analiza ecuațiilor de corelațiilor duble, exprimate sub formă analitică în relațiile (4.1) – (4.42), și grafic în figurile 4.9 – 5.50 rezultă o serie de concluzii:

- prelucrarea datelor în programul de calcul MATLAB a condus la obținerea de suprafețe de regresie și curbe de nivel cât și ecuații de corelație specifice care descriu aceste dependențe;
- analizându-se apoi individual fiecare suprafață – cu influență specifică a două elemente din compoziția chimică asupra durtății, s-au identificat intervale optime de variație ale acestor elemente;

- pentru valori a parametrului duritate cuprinse între 197-255HB, din analiza corelațiilor în programul MATLAB rezultă domeniile optime de variație: C = 2,90-3,1%, Mn = 0,45-0,6%, Si = 1,20-1,70%, S = 0,07-0,09%; P = 0,80-1,10%.

4.5. Concluzii

În vederea obținerii intervalelor optime de variație pentru compoziția chimică în funcție de valorile durității determinate pe saboții de frână, s-au utilizat datele industriale de la cele 70 de șarje de fontă fosforoasă elaborată la FOREVA Simeria.

Din analiza ecuațiilor și a corelațiilor grafice rezultate din programul EXCEL, pentru a obține valori a parametrului de duritate cuprinse între 197-255HB rezultă domeniile optime de variație: C = 2,90-3,20%, Mn = 0,40-0,70%, Si = 1,20-1,90%, S = 0,08-0,09%, P = 0,80-1,05%.

Ulterior, aceste date au fost centralizate și prelucrate în programul de calcul MATLAB, obținându-se atât suprafețele de regresie și curbele de nivel cât și ecuațiile specifice care descriu aceste dependențe.

Analizându-se apoi individual fiecare suprafață – cu influență specifică a două elemente din compoziția chimică asupra durității, s-au identificat intervale optime de variație ale acestor elemente.

Pentru valori a parametrului duritate cuprinse între 197-255HB, din analiza corelațiilor în programul MATLAB rezultă domeniile optime de variație: C = 2,90-3,1%, Mn = 0,45-0,6%, Si = 1,20-1,70%, S = 0,07-0,09%; P = 0,80-1,10%.

Pentru a obține saboți de frână de calitate superioară este necesar ca duritatea acestora să se încadreze în zona superioară a intervalului prevăzut în standardul de produs.

Corelațiile obținute sub formă grafică și analitică au aplicativitate în practica industrială. Pornind de la intervalele optime rezultate, a compoziției chimice a fontei, se determină structura încărcăturii metalice pentru agregatul de elaborare, rezultând astfel o fontă de calitate superioară, respectiv o îmbunătățire a calității saboților de frână.

De asemenea, corelațiile permit, în practica industrială, ca pentru obținerea unor saboți cu o duritate prestabilită să se determine foarte ușor structura încărcăturii pe baza domeniilor optime de variație a compoziției chimice a fontei.

CAPITOLUL 5

SIMULAREA PROCESULUI DE TURNARE ȘI SOLIDIFICARE A SABOȚILOR DE FRÂNĂ, FOLOSIND PROGRAME SPECIALIZATE DE

5.1. Softuri de proiectare CAD-CAM-CAE

Activitatea ingierească în general, și proiectarea asistată de calculator, în particular, au ca obiective realizarea de obiecte tehnice, care se materializează în urma unor procese de producție complexe, prin parcurgerea următoarelor etape principale [45]:

- definirea conceptului general al produsului și realizarea proiectului tehnic,
- stabilirea tehnologiei de fabricație,
- realizarea modelului experimental și omologarea produsului,
- fabricația propriu-zisă.

Pe toată perioada desfășurării acestor etape, se iau în considerare costurile directe și indirecte, calitatea, gradul de inovație, tipul producției, piețelor de desfacere, determinându-se, astfel, nivelul competiției între diferite companii industrial [46-48].

În prezent proiectarea se realizează asistat de calculator, folosind programe specializate pentru diferite arii de interes: CATIA, SolidWorks, AutoCAD, Inventor, SolidEdge, Unigraphics ProEngineer [49-57].

Software-ul Altair Inspire Cast [54] este un mediu de simulare rapid, ușor, precis și accesibil axat pe crearea de componente de înaltă calitate, cu o rentabilitate sporită printr-o experiență extrem de intuitivă pentru utilizator. Este un instrument de simulare al procesului de curgere și solidificare pentru piese turnate în matrițe. Este singurul instrument care se adresează atât începătorilor, cât și experților, de la designeri de produse la ingineri de turnătorie. Încă din faza inițială de proiectare, utilizatorii pot vizualiza defecte tipice de turnare, cum ar fi prinderea aerului, porozitatea de contracție, închiderile la rece, degradarea matrițelor și le pot corecta evitând corecțiile costisitoare din aval. Șabloanele de proces ghidate oferă 5 pași simpli pentru a simula matrița gravitațională, nisipul gravitațional, investiția, presiunea ridicată, turnarea sub presiune joasă și turnarea înclinată. Experiența inovatoare a Altair Inspire Cast le permite utilizatorilor să crească calitatea produselor și să proiecteze produse mai bune cu câteva ore de instruire.

5.2. Simularea procesului de solidificare a sabotilor de frâna din fontă fosforoasă

În vederea realizării simulării procesului de turnare și solidificare a sabotilor de frână de tip S1, turnat din fontă fosforoasă, s-a fost realizat modelul piesei. Pentru modelare s-a folosit modulul CAD a softului SolidWorks (figura 5.1).

În urma modelării sabotului se obțin cele două elemente componente: sabotul propriu-zis (din fontă) și șina de armare (din oțel) (figura 5.2 și figura 5.3). Ulterior, prin intermediul aceluiași soft, Solidworks, se realizează ansamblul sabot-șina de armare (figura 5.4).

În urma realizării modelului 3D a sabotului de tip S1, are loc simularea procesului de turnare și solidificare, cu ajutorul softului Altair-InspireCast. În acest fel, este realizată o analiză cu element finit a procesului de turnare și solidificare [58-62].

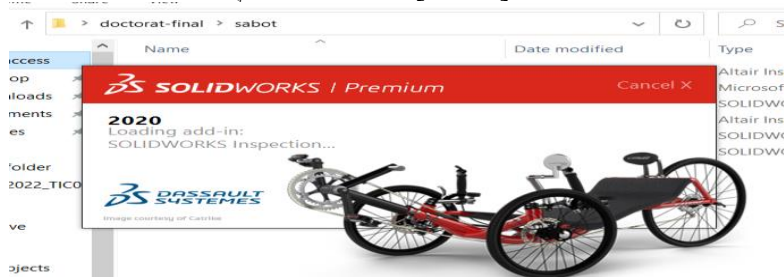


Figura 5.1. Programul SolidWorks

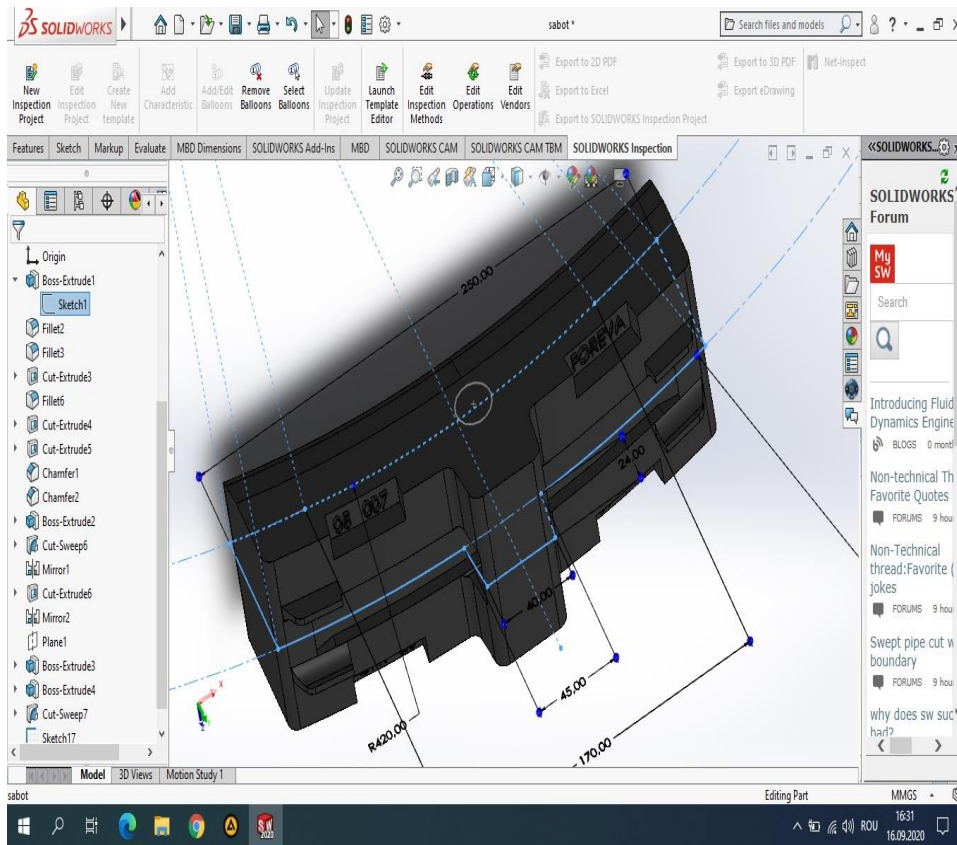


Figura 5.2. Modelarea sabotului tip S1

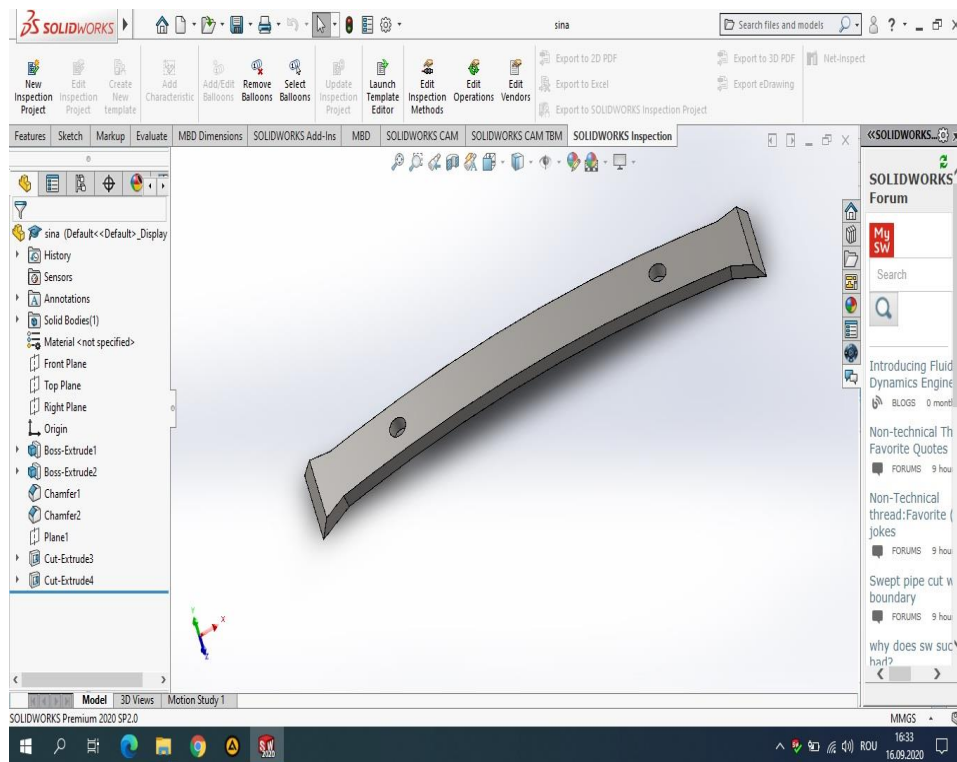


Figura 5.3. Modelarea șinei de armare

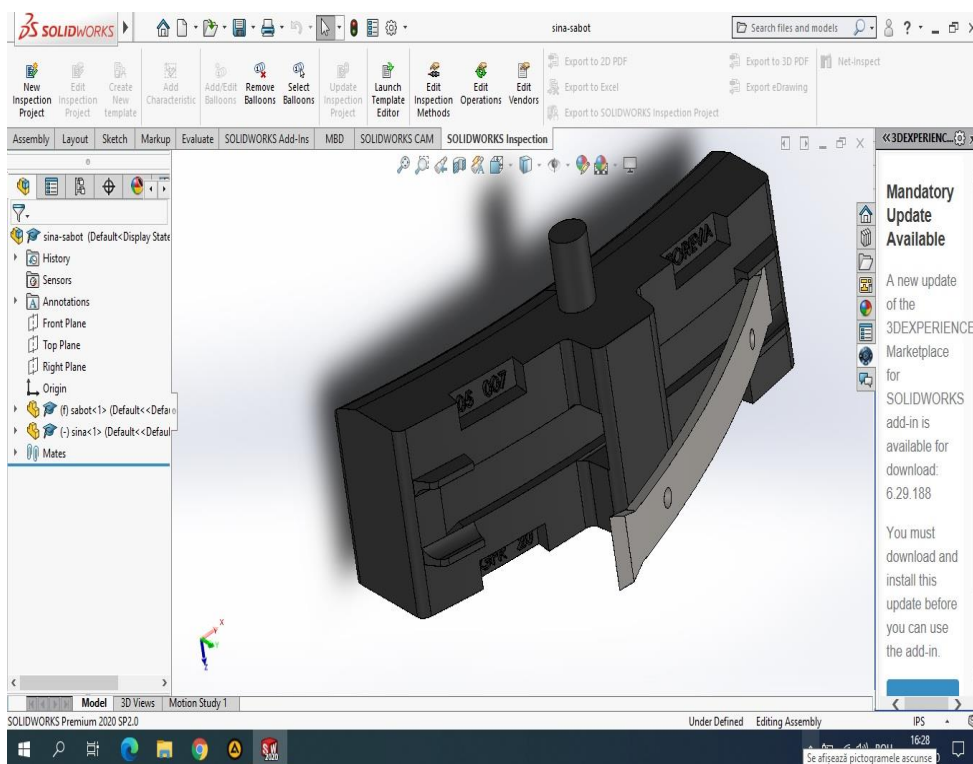


Figura 5.4. Ansamblul sabot-șina de armare

Din punct de vedere tehnologic, în practica industrială, turnarea saboților de frână se realizează prin intermediul formelor de turnare, realizate din nisip, liant și apă și care sunt montate pe linia semiautomată de formare-turnare (figura 5.5).

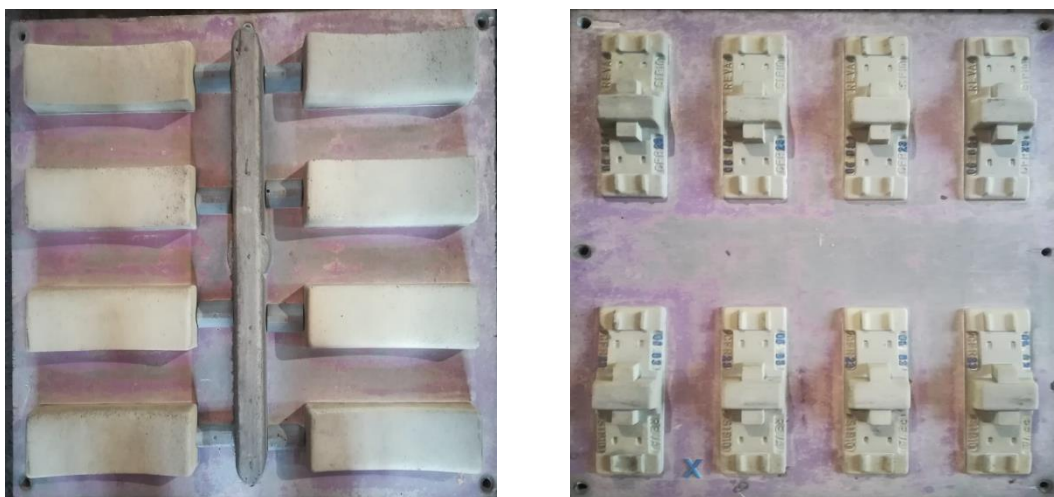


Figura 5.5. Modelul formei de turnare a saboților de frână

Pentru sabotul de tip S1, forma de turnare cuprinde o baterie de 8 saboți, împreună cu rețeaua de turnare. Înainte de efectuarea turnării aliajului lichid în formă sunt amplasate șinele de armare.

În acest context, pentru obținerea ansamblului pieselor brut turnate, s-a realizat modelul cu ajutorul softului SolidWorks (figura 5.6).

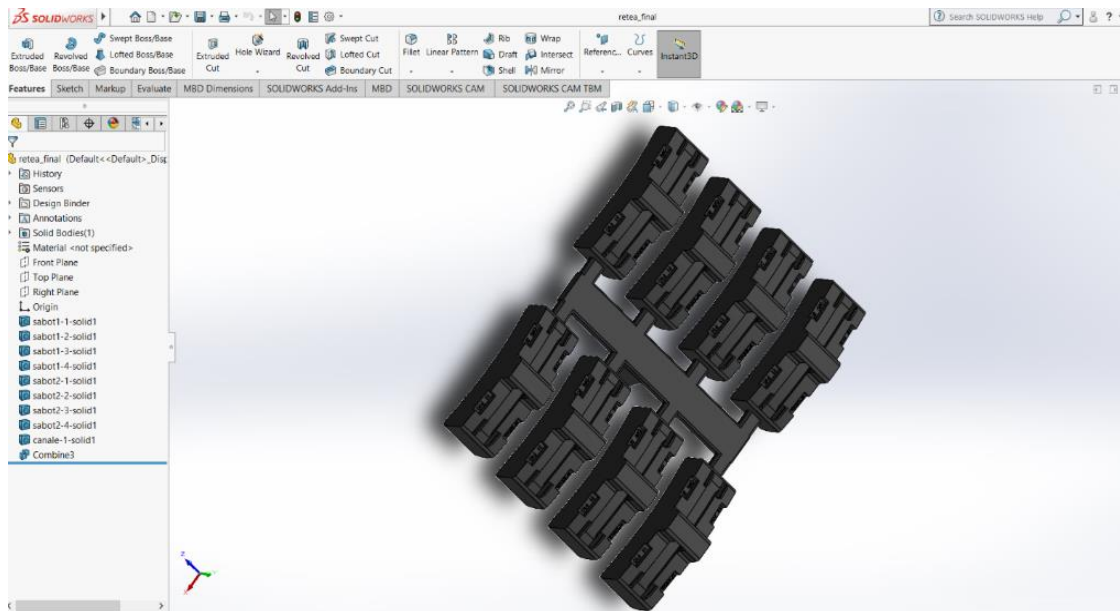


Figura 5.6. Ansamblul pieselor brut turnate

Ansamblul prezentat în figura 5.6 este importat ulterior în programul de simulare Altair-InspireCast. Interfața programului de simulare este prezentată în figura 5.7.

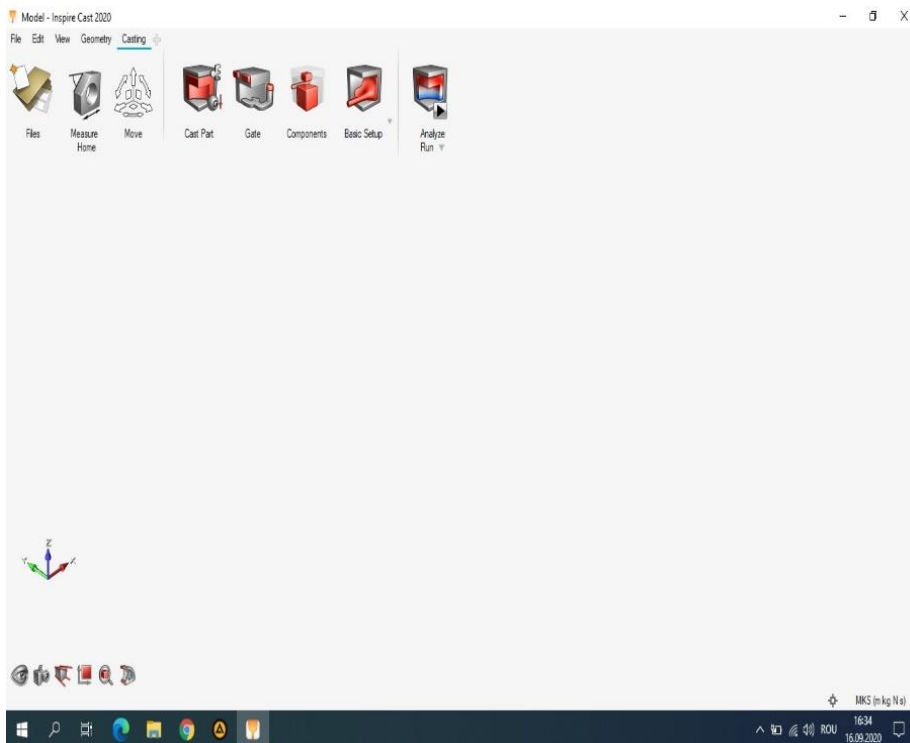


Figura 5.7. Interfața Altaire-InspireCast

Pentru simularea procesului de turnare și solidificare a fost realizat modelul 3D, folosind metoda elementului finit. Modelul obținut ilustrează fenomenul care are loc în practica industrială, respectiv turnarea prin rețea de turnare a unei baterii de 8 saboturi de frână.

În figura 5.8 este prezentat începutul procesului de turnare a aliajului lichid, împreună cu harta temperaturilor, temperatura maximă înregistrată fiind de $1273,15^{\circ}\text{C}$.

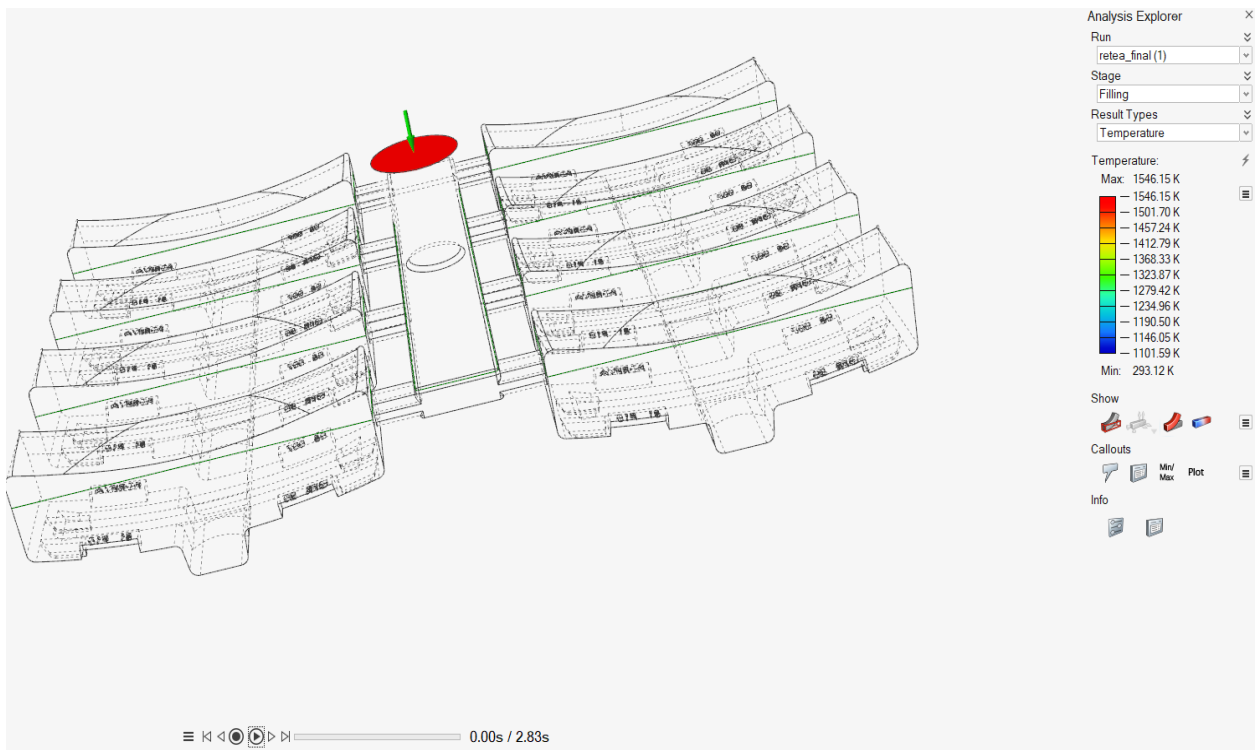


Figura 5.8. Începutul procesului de turnare a aliajului lichid în formă

Procesul de umplere a formei durează 2,83s, iar figurile 5.9 și 5.10 prezintă momentele 0,92s, respectiv 2,83s, când turnarea aliajului s-a încheiat. În acest moment, începe și procesul de răcire, la contactul aliajului cu forma de turnare. Din harta temperaturilor rezultă valorile maxime ale temperaturilor înregistrate.



Figura 5.9. Turnare intermediară (0,92s)

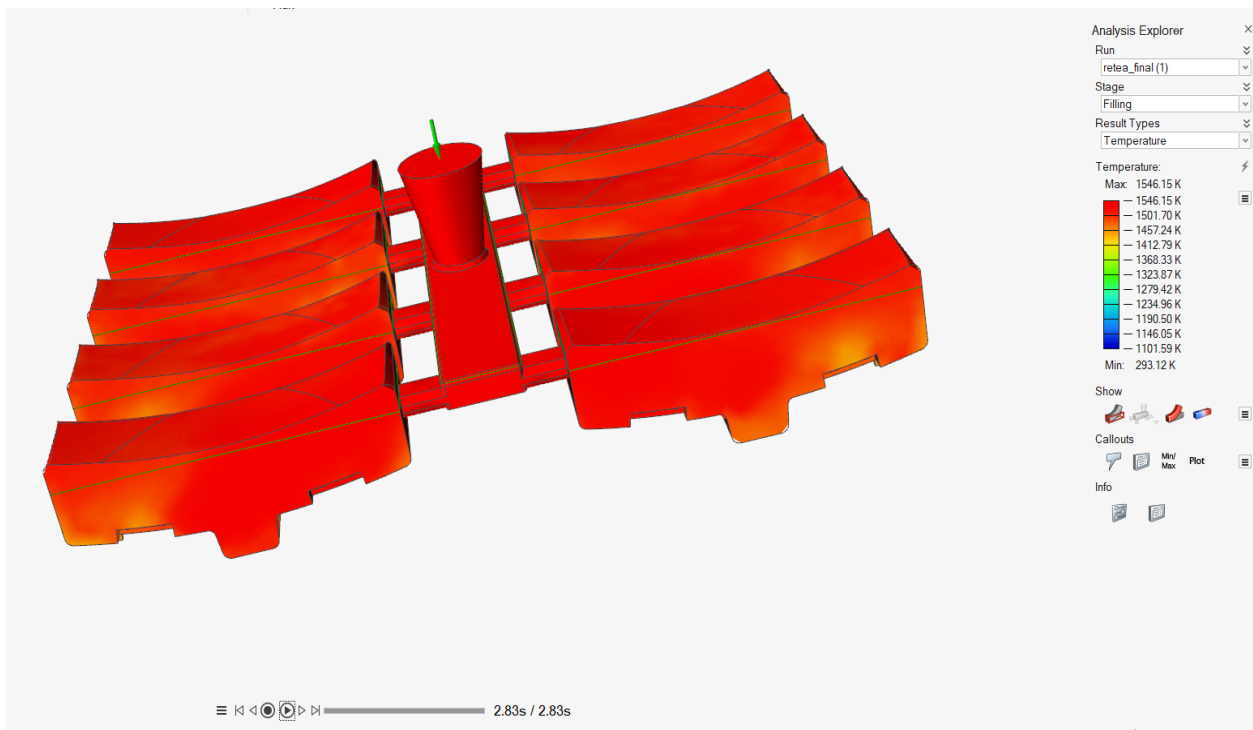


Figura 5.10. Momentul final al procesului de turnare

Programul folosit pentru analiza cu element finit a proceselor prezintă și un modul pentru simularea înaintării frontului de curgere, care indică durata până la umplerea formei (figurile 5.11, 5.12, 5.13).

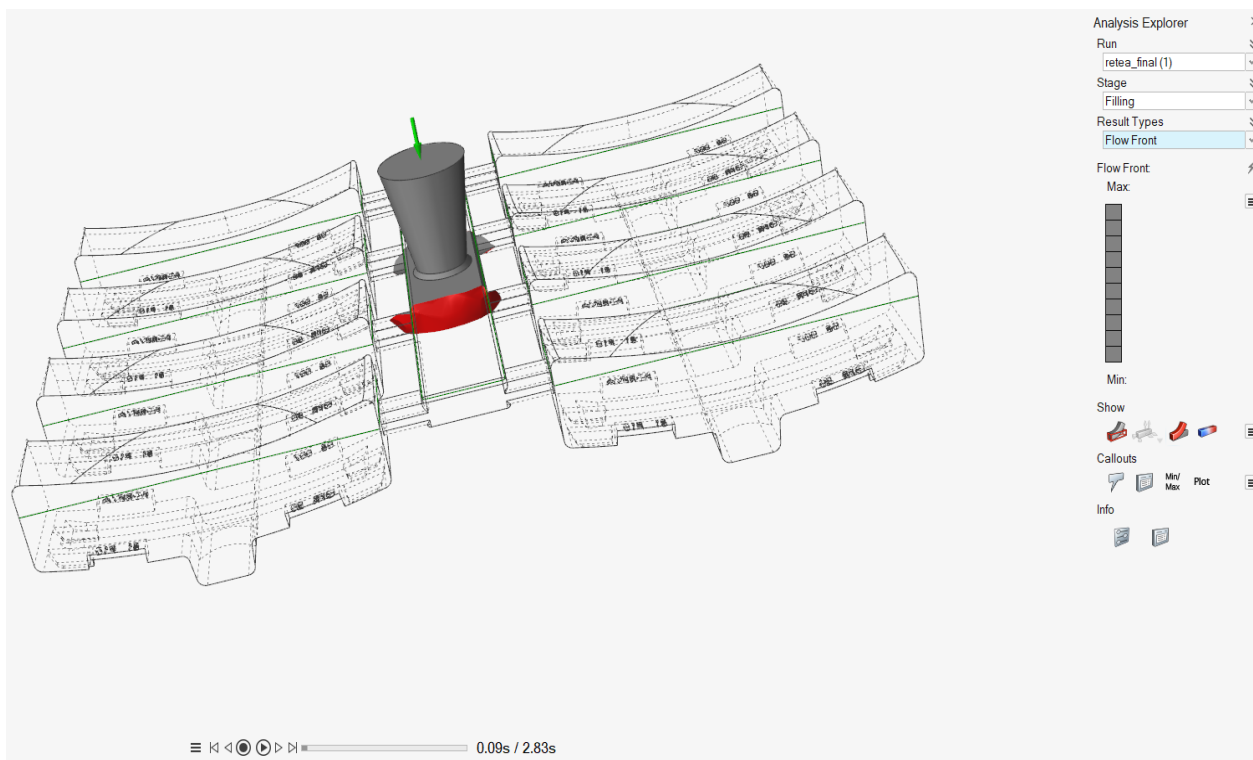


Figura 5.11. Frontul de curgere initial

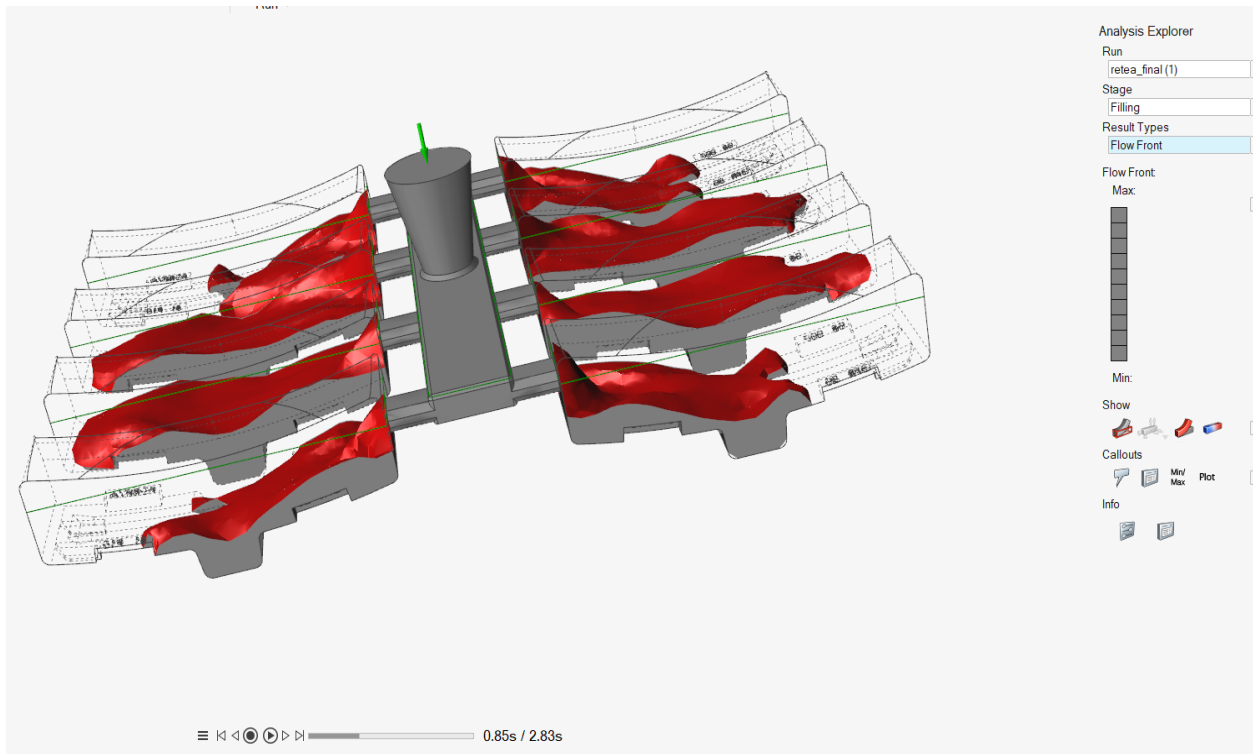


Figura 5.12. Înaintarea frontului de curgere (după 0,85s)

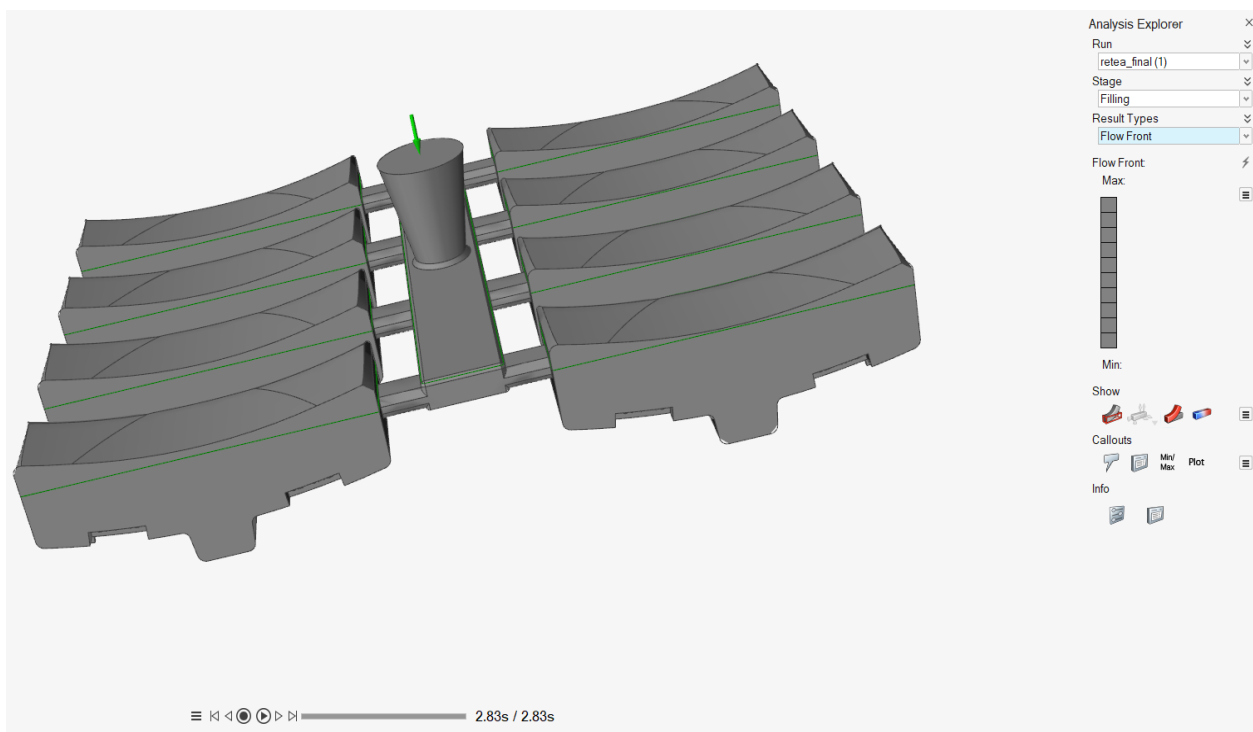


Figura 5.13. Frontul de curgere, după 2,83s

Modulul destinat studiului procesului de solidificare a aliajului lichid indică, în primul moment, temperatura maximă ($1273,15^{\circ}\text{C}$) (figura 5.14), după care are loc o scădere vizibilă a temperaturilor înregistrate. Din rezultatele simulării rezultă faptul că după aproximativ 5 minute, temperatura a scăzut cu aproximativ 190°C (figura 5.15).

Sfârșitul procesului de solidificare, indicat de simularea procesului, este identificat la 16381,81s (aproximativ 4,55 ore), prezentat în figura 5.16.

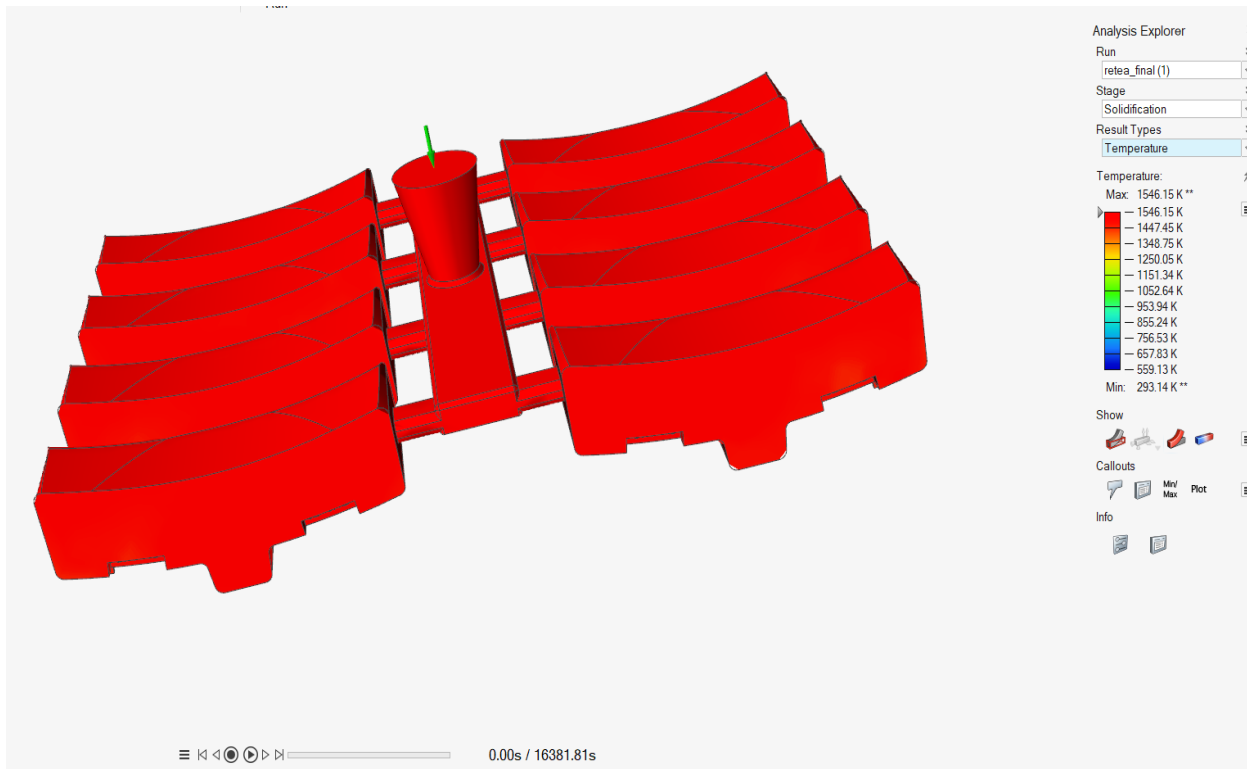


Figura 5.14. Frontul de solidificare înregistrat la momentul inițial

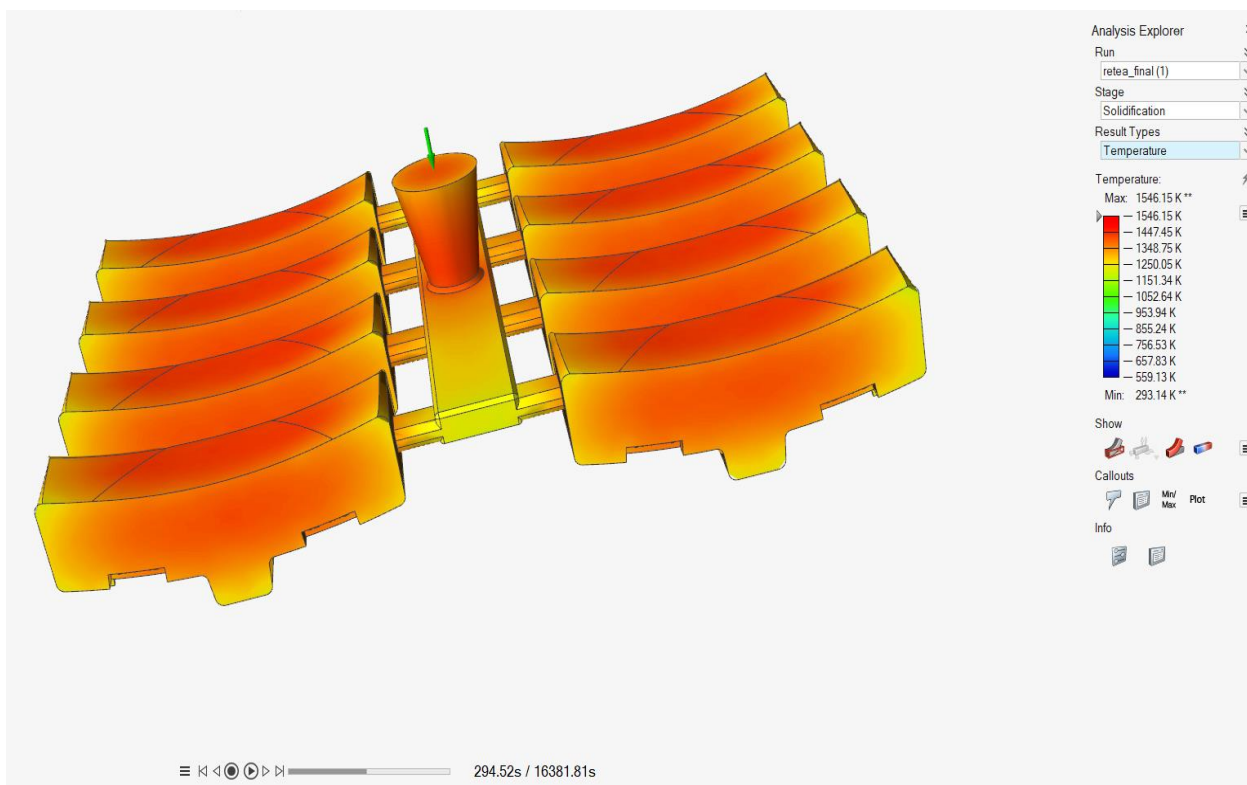


Figura 5.15. Frontul de solidificare (după 294,52s)

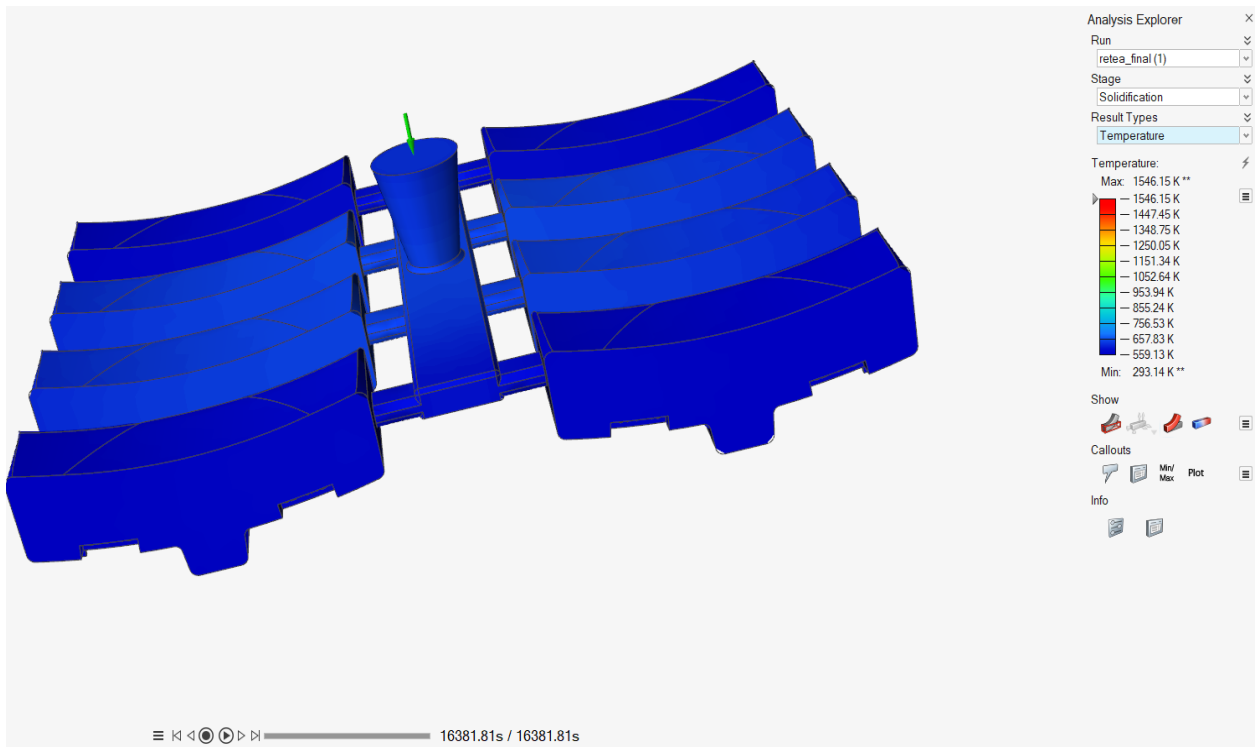


Figura 5.16. Sfârșitul procesului de solidificare

Tot în modulul de solidificare al procesului de simulare se poate studia și fracția solidă pe durata celor aproximativ 4,55 ore cât durează solidificarea pieselor. Acesta este prezentat în figurile 5.17-5.20.

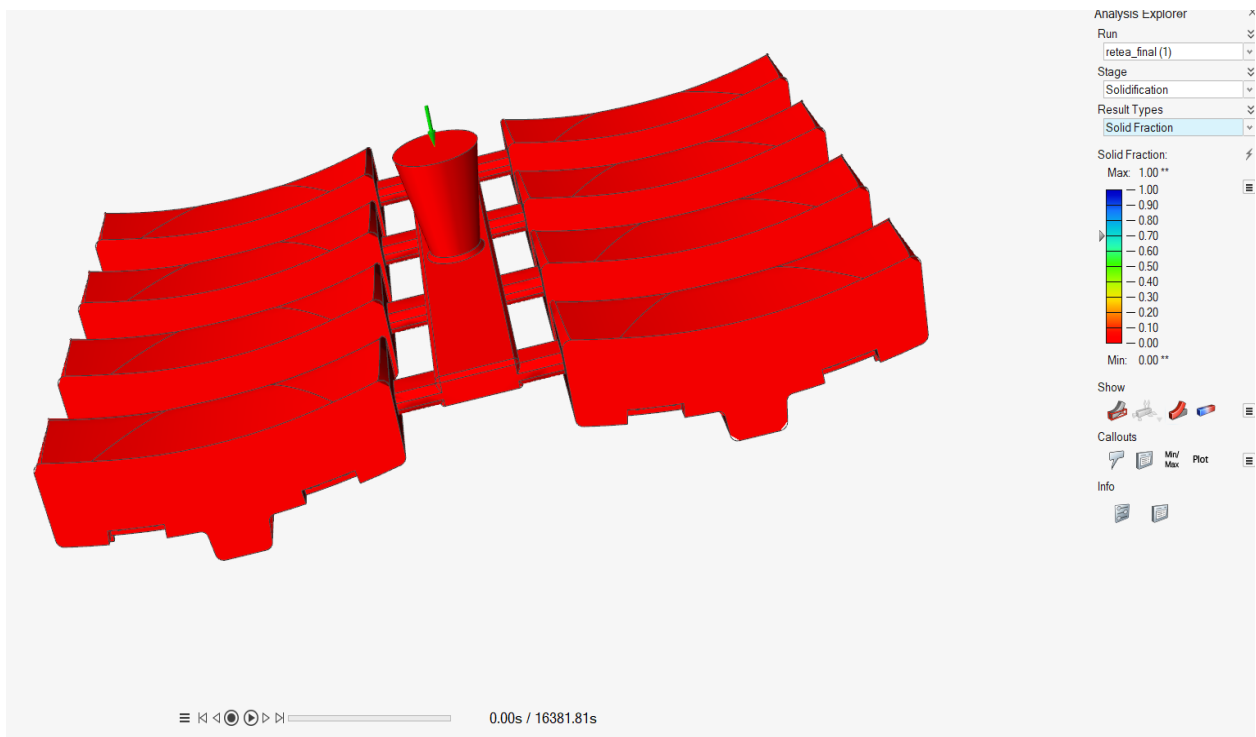


Figura 5.17. Frația solidă, la momentul inițial

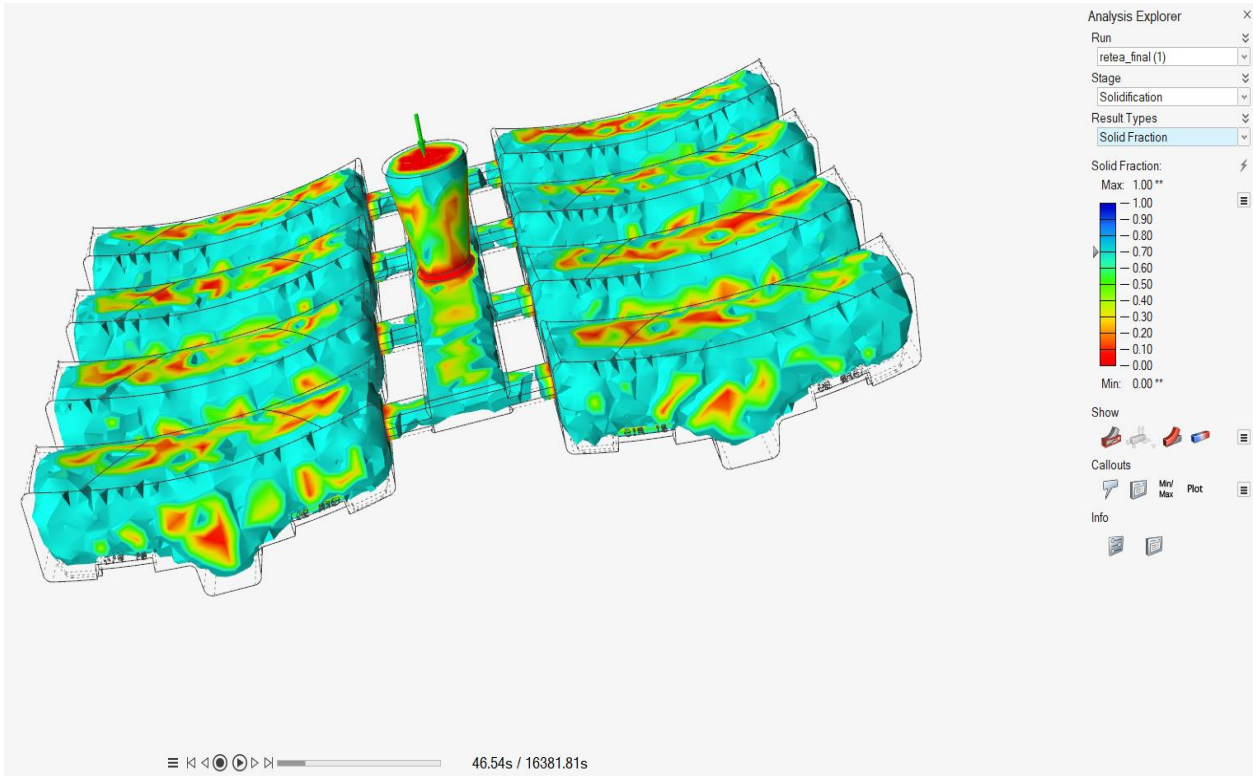


Figura 5.18. Frația solidă, după 46,54 secunde

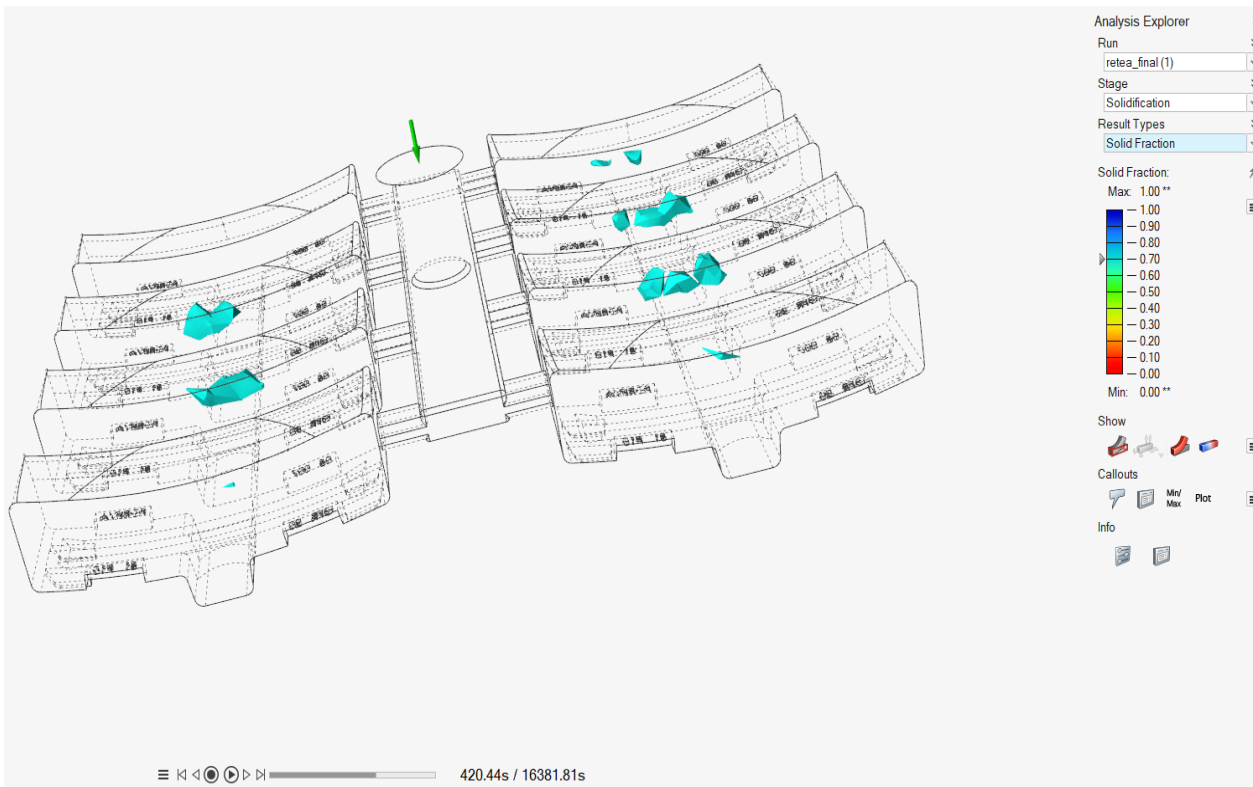


Figura 5.19. Frația solidă, după 420,44 secunde



Figura 5.20. Frația solidă în momentul final

O influență deosebit de importantă asupra procesului de solidificare o are modul de transmitere a căldurii în forma de turnare, astfel încât în procesul de simulare sunt vizualizate temperaturile înregistrate în formă pe durata celor 4.55h cât durează solidificarea (figura 5.21-5.24).

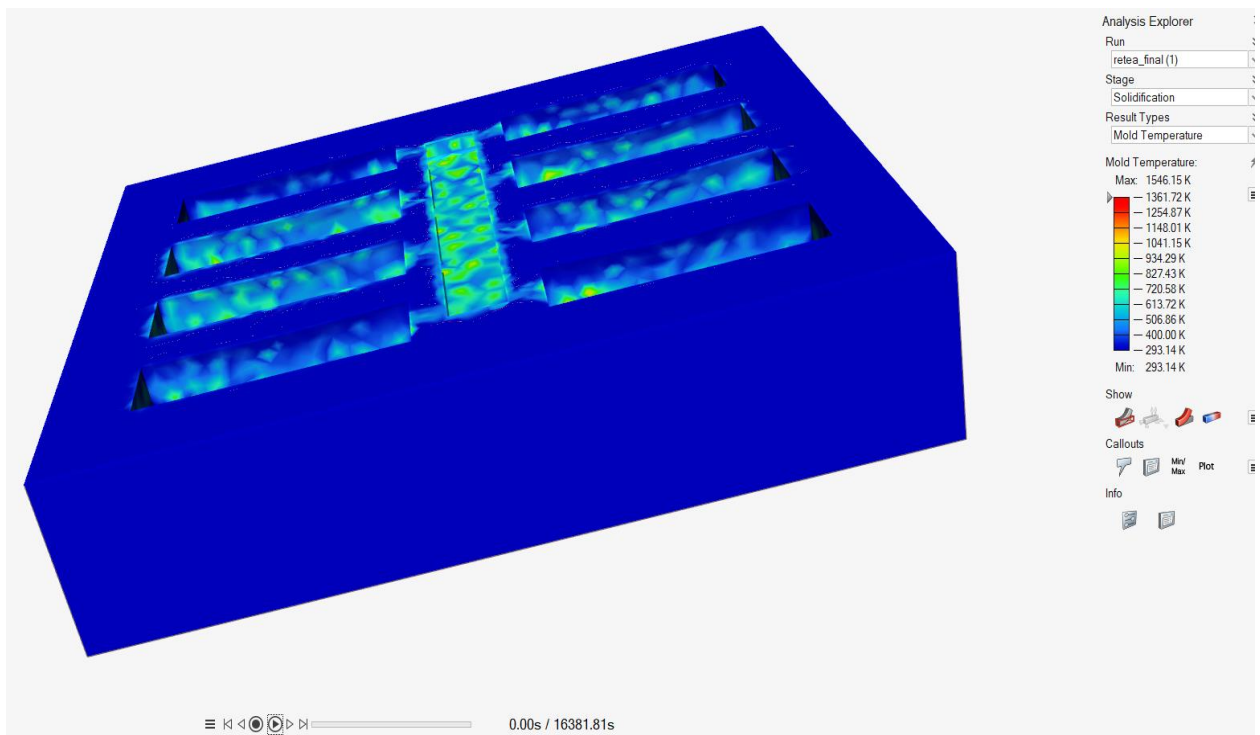


Figura 5.21. Temperatura formei, la momentul initial

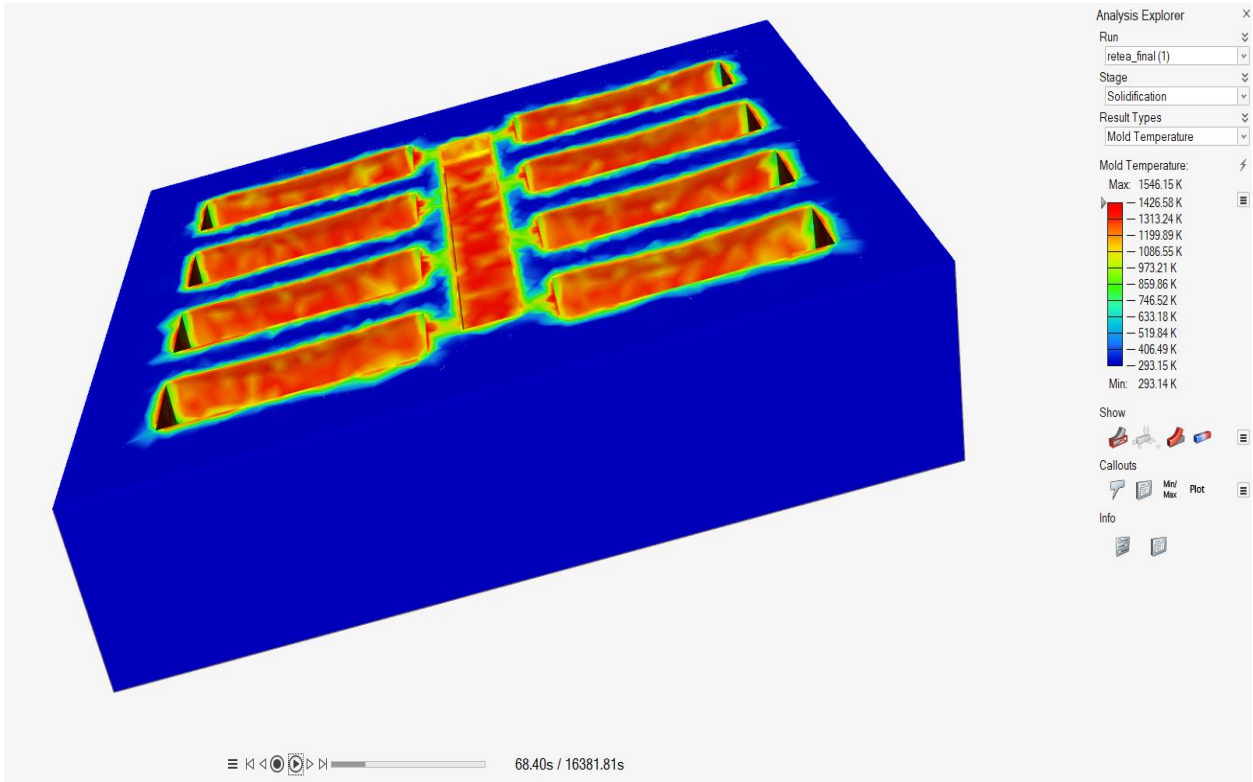


Figura 5.22. Temperatura formei, după 68,40 secunde

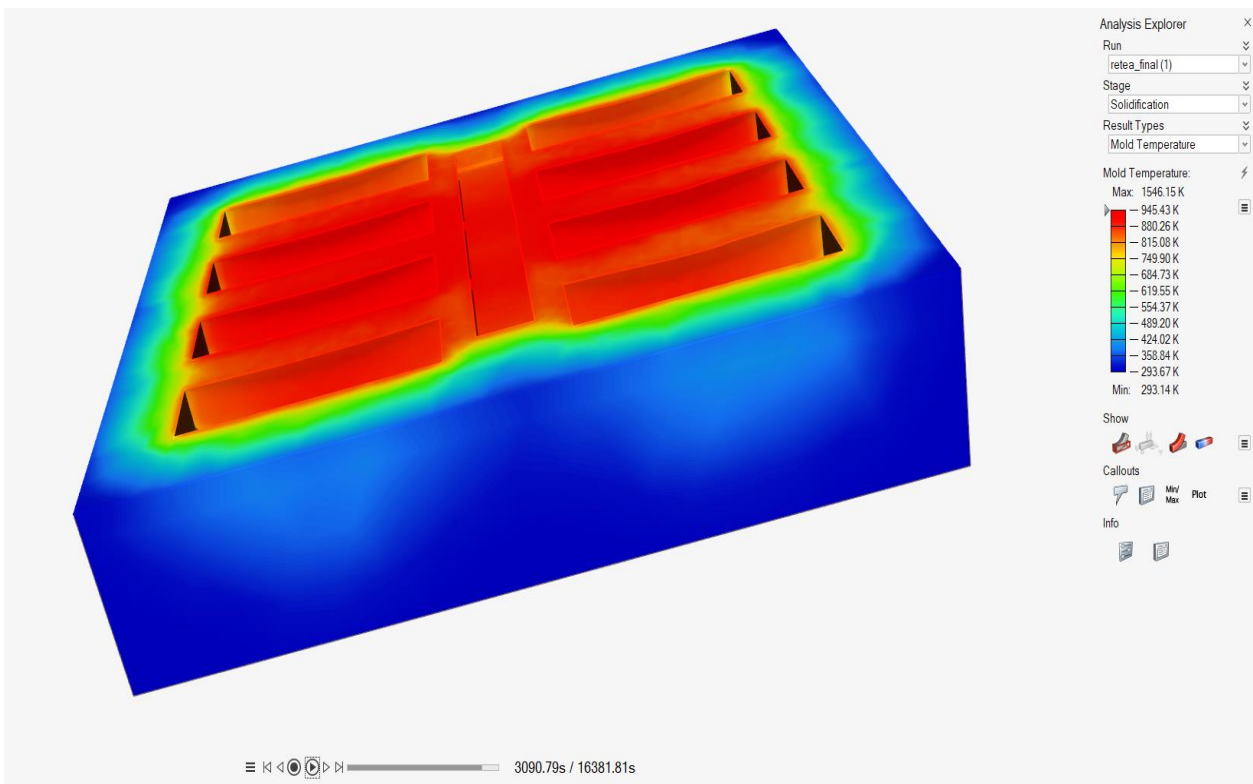


Figura 5.23. Temperatura formei, după 3090,79 secunde

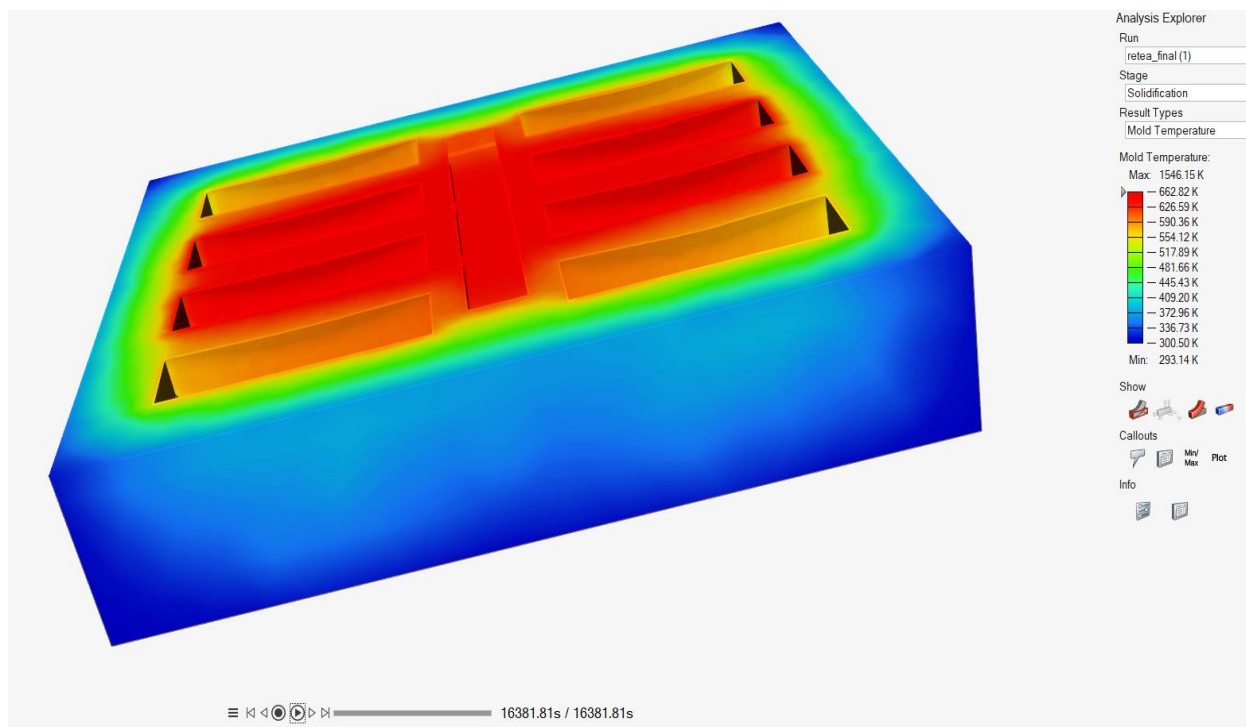


Figura 5.24. Temperatura formei, după 16381,81 secunde

5.3. Concluzii

Simularea procesului de solidificare a pieselor turnate are importanță tehnologică, deoarece combină o serie de parametri ai proceselor, respectiv transfer de căldură, transformări de fază, procese de difuzie, variații de volum, procese de curgere, procese de alimentare locală, etc.

Procesul de solidificare influențează calitatea pieselor turnate, și anume micro și macrostructura pieselor, compactitatea acestora, rezistența mecanică, precizia dimensională, calitatea suprafețelor.

De asemenea, o influență deosebită asupra solidificării o au factorii constructivi ai piesei turnate (geometrie, dimensiuni, natura aliajului) și factorii tehnologici (temperatura de turnare, natura formei, mod de alimentare sistem de maselotare etc.), ceea ce conduce la necesitatea simulării procesului și comparării rezultatelor obținute cu practica industrială.

Utilizarea softurilor pentru simularea solidificării la nivel industrial a devenit posibilă odată cu dezvoltarea tehnicii de calcul și a condus la obținerea de studii concrete destinate optimizării tehnologiilor de formare și turnare.

În urma simulării procesului de turnare și solidificare a aliajului lichid, rezultă următoarele:

- Posibilitatea anticipării comportamentului aliajului metalic în timpul proceselor tehnologice;
- Optimizarea parametrilor proceselor în funcție de dimensiunile diferitelor repere turnate;
- Obținerea unor domenii optime de variație a parametrilor, cu influență asupra caracteristicilor mecanice și de rezistență;
- Pe baza rezultatelor simulării pot fi selectate variantele tehnologice optime pentru turnare, solidificare, ținându-se seama de condițiile reale din mediul industrial;
- Datele rezultate din simulare sunt similare cu datele înregistrate în practica industrială.

CAPITOLUL 6

VERIFICAREA INDUSTRIALĂ A REZULTATELOR EXPERIMENTALE

Pornind de la rezultatele obținute în cadrul experimentărilor industriale, a optimizării parametrilor tehnologici analizați și a simulării procesului de turnare și solidificare a fontei fosforoase destinată obținerii saboților de frână, în continuare se prezintă verificarea industrială a datelor. Cercetările industriale s-au efectuat la turnătoria FOREVA din cadrul REVA Simeria.

6.1. Cadrul tehnologic experimental

Cercetările efectuate pentru verificarea rezultatelor obținute s-au efectuat pe același flux tehnologic, pe linia semiautomată de formare-turnare a saboților din fontă. Experimentările industriale s-au efectuat pentru 2 șarje turnându-se saboții de frână tip S1 din fontă de calitate – tip P10 – fontă fosforoasă.

Pornind de la rezultatele obținute în urma optimizării parametrilor tehnologici, și anume: de la corelațiile obținute între elementele din compoziția chimică a saboților de frână și duritatea (principalul parametru calitativ pentru saboții de frână), s-a efectuat un calcul de încărcătură pentru a putea determina o structură optimă pentru încărcătura metalică a șarjelor experimentale.

Pornind de la domeniile optime de variație rezultate, a elementelor din compoziția chimică, și anume $C = 2,90-3,10\%$, $Mn = 0,45-0,60\%$, $Si = 1,20-1,70\%$, $S = 0,07-0,09\%$; $P = 0,80-1,10\%$ rezultă o structură a încărcăturii șarjelor experimentale prezentate în tabelul 6.1. În funcție de disponibilul de deșuri și de corelațiile obținute, pentru șarjele experimentale s-a determinat următoarea structură a încărcăturii: deșuri de oțel (fier vechi); deșuri de fontă (deșuri saboți fontă fosforoasă); material recirculat (deșuri de fontă aliată sau oțel aliat de proveniență internă).

Tabelul 6.1. Componenta șarjelor industriale

Nr. sarja	Tip sabot	Componentă sarjă	Component, [%]
1	S ₁	Fier vechi	65,26
		Deseu saboti	21,75
		Material recirculat	7,25
		Carburant	1,81
		FeroSiliciu	1,45
		Ferofosfor	2,18
		Zgurex	0,29
2	S ₁	Fier vechi	40,03
		Deseu saboti	24,02
		Material recirculat	32,03
		Carburant	1,20
		FeroSiliciu	0,80
		Ferofosfor	1,60
		Zgurex	0,32

Pentru elaborarea fontelor experimentale, încărcătura a avut în componență următoarele sortimente de deșuri feroase:

- 40-65% deșuri de oțel (fier vechi);
- 20-25% deșuri de fontă (deșuri saboți fontă fosforoasă);
- 5-35% material recirculat (deșuri de fontă aliată sau oțel aliat).

Referitor la procesul de formare-turnare și solidificare a saboților de frână au fost luate în considerare elementele care influențează calitatea produsului finit [63-70]. Pentru aceasta s-a realizat identificarea și optimizarea parametrilor tehnologici pentru îmbunătățirea calității fontei și

a procesului tehnologic de turnare și solidificare, folosindu-se simularea procesului cu ajutorul metodei elementului finit.

Cu ajutorul datelor rezultate din simularea procesului de turnare și solidificare a aliajului s-au selectat două variante tehnologice optime pentru turnarea aliajului (2 șarje de fontă fosforoasă). Pentru stabilirea condițiilor de simulare s-a ținut seama de parametrii tehnologici din mediul industrial (durata șarjei, temperatură de turnare, viteză de turnare și solidificare, etc). Rezultatele simulării au fost în concordanță cu practica industrială.

Compoziția chimică a fontei elaborată este prezentată în tabelul 6.2.

Pentru comportarea în exploatare a saboților de frână unul dintre cei mai importanți parametrii îl constituie duritatea acestora. Astfel, în tabelul 6.3 se prezintă probele de duritate pentru saboții de la șarjele experimentale.

Tabelul 6.2. Compoziția chimică a șarjelor experimentale

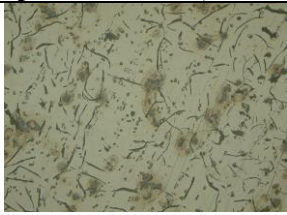

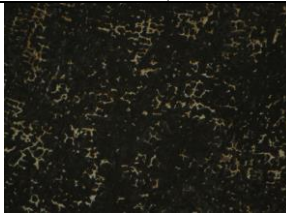
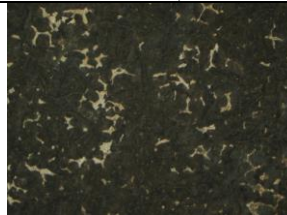
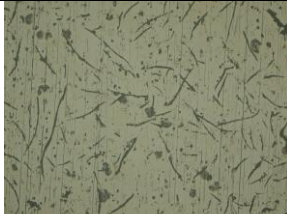

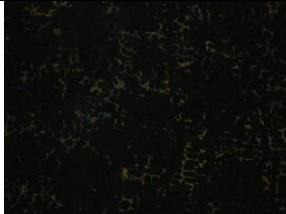
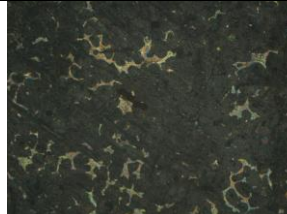
Nr. șarjă	Compoziția chimică, [%]					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	3,03	1,36	0,60	0,99	0,041	0,128
2	2,97	1,59	0,63	0,95	0,043	0,125

Tabelul 6.3. Probele de duritate ale șarjelor experimentale

Nr. șarjă	HB				
	Capete sabot		Secțiune sabot		
	H_s	H_d	H_{ss}	H_{sc}	H_{sd}
1	225	229	231	212	229
2	221	230	229	207	232

Pentru șarjele industriale examenul metalografic al fontei sabotului s-a efectuat conform cu SR EN ISO 945-1:2009 și fișa UIC 832 și a constat în analiza a patru probe/șarjă, prezentate în tabelul 6.4 [3,30].

Tabelul 6.4. Microstructuri

Nr.	Grafit, proba neatacata, 100x	Perlită lamelară, atac Nital, 500x	masa metalică de bază, atac Nital, 100x	eutectic fosforos, atac Nital, 50x
1				
2				

Analiza microstructurală a probelor analizate pune în evidențiază următoarele aspecte:

- din punct de vedere al formei separărilor de grafit, acesta apare sub formă lamelară liniară, de tip Gf1;

- din punct de vedere al repartizării grafitului, acesta apare sub formă de separări izolate, de tip Gr1;
- din punct de vedere al lungimii separărilor de grafit se evidențiază grafit lamelar de tipul G15 (60%) + G16(40%);
- din punct de vedere al suprafeței ocupate de grafit se evidențiază încadrarea în structura de tip G10;
- suprafața ocupată de perlită este bine evidențiată, lamelele de perlită fiind subțiri, iar proporția de ferită este sub 5% și se prezintă sub formă de insule izolate;
- eutecticul fosforos separat interdendritic are aspect dantelat, ramificat, repartizarea rețelei de eutectic fosforos este uniform.

Datele obținute se încadrează în standardele și normativele în vigoare [3,6,70] iar pentru a evidenția influența microstructurii asupra caracteristicilor mecanice și tehnologice ale saboților de frână s-a optat pentru caracterizare morfologică a probelor experimentale utilizând microscopia electronică cu baleaj (microscopul electronic cu baleaj Quanta FEG 250) [68].

6.2. Caracterizarea microstructurală a probelor

Determinările s-au efectuat în cadrul Institutului de Cercetări pentru Energii Regenerabile de la Universitatea Politehnică Timișoara.

S-au prelevat probe pentru analiza microstructurală pentru cele două șarje de fontă fosforoasă P10 experimentale pentru fabricarea saboților de frână tip S1 (figura 6.1.).

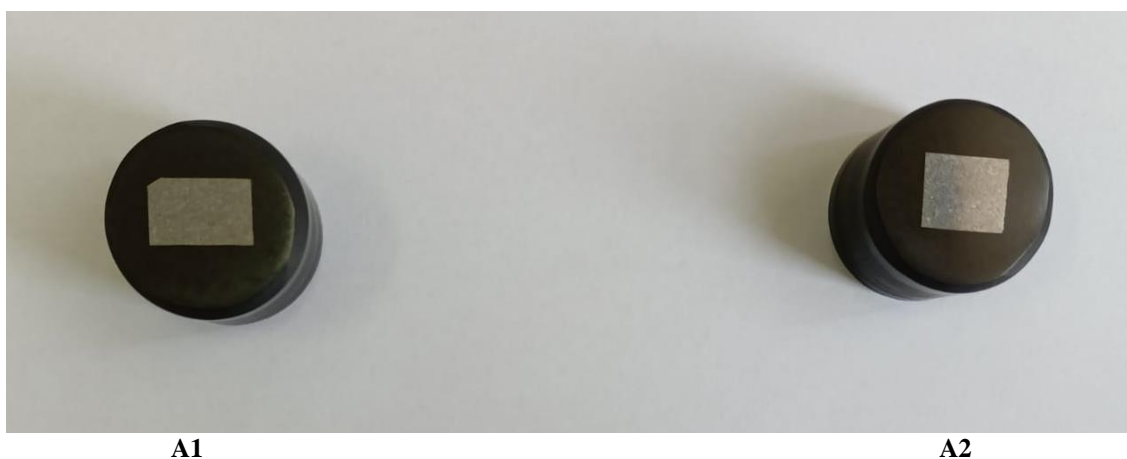


Figura 6.1. Probe metalografice

Pregătirea probelor a presupus parcurgerea următoarelor etape:

- debitarea materialului pentru realizarea probelor încapsulate în rășină cu carbon;
- introducerea în mașina de încapsulare (tip Mecapress 3) a materialului metalic, împreună cu rășina, pentru realizarea încapsulării la temperatura de 175 °C;
- șlefuirea suprafeței probelor, care se realizează folosind mașina automată Mecatech 264 folosind hârtie abrazivă cu granulații diferite (P320, P600, P800, P1200, P4000);
- finisarea suprafeței probelor, care se realizează cu pâslă și suspensie diamantată pentru obținerea luciului metalic.

Aspecte din timpul pregătirii și analizei probelor sunt prezentate în imaginile din figurile 6.2. și 6.3.



Figura 6.2 Aspecte din timpul pregătirii probelor

Pentru analiza microstructurală a probelor s-a utilizat Microscopul electronic cu baleaj Quanta FEG 250 (figura 6.3.)



Figura 6.3. Aspecte din timpul analizelor

Analiza microscopică s-a efectuat prin determinări realizate cu și fără atac cu reactivi a probelor. Astfel, se poate spune că:

- *evidențierea grafitului* pentru ambele probe (forma separărilor de grafit, repartizarea grafitului, lungimea separărilor de grafit și suprafața ocupată de acesta) s-a obținut pe probe neatacate (pentru proba A1 au rezultat microstructurile prezentate în figurile 6.4-6.27, iar pentru proba A2 au rezultat microstructurile prezentate în figurile 6.28-6.48);
- *evidențierea masei metalice de bază, a perlitei și a eutecticului fosforos* s-a obținut prin determinări pe probele atacate cu nital 5% (pentru proba A1 au rezultat microstructurile prezentate în figurile 6.49-6.61, iar pentru proba A2 au rezultat microstructurile prezentate în figurile 6.62-6.73).

Microstructurile probei A1 neatacată, la maririle de 500x și 1000x, sunt prezentate în figurile 6.4 și 6.5. În figura 6.6. se prezintă microzona 1 a probei A1 cu identificarea spectrului EDS prezentat în figura 6.7. Din analiza imaginilor SEM, rezultă că microstructura este specifică unei fonte fosforoase, lamelele de grafit având grosime și repartizare uniformă.

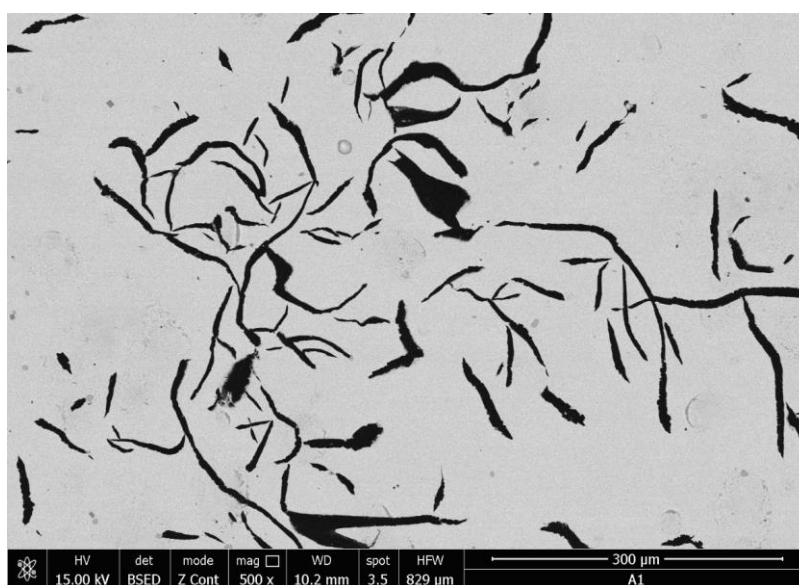


Figura 6.4. Microstructura probei A1, 500x

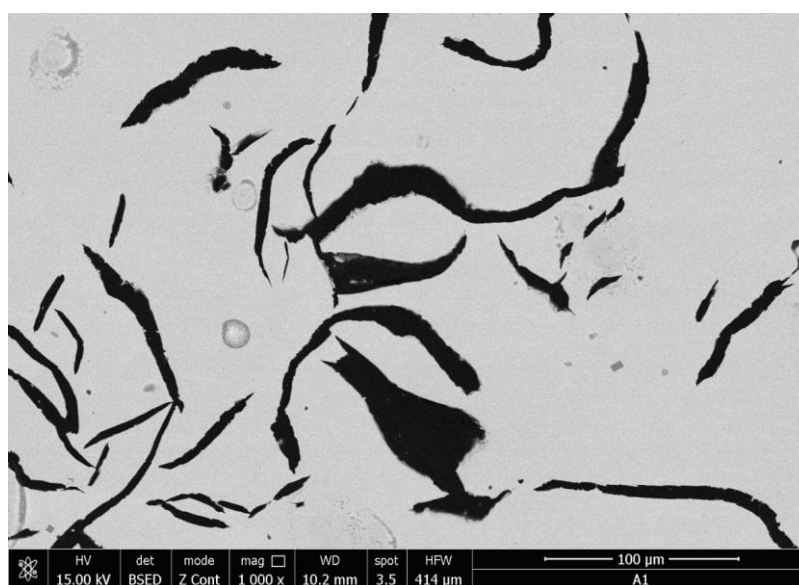


Figura 6.5. Microstructura probei A1, 1000x

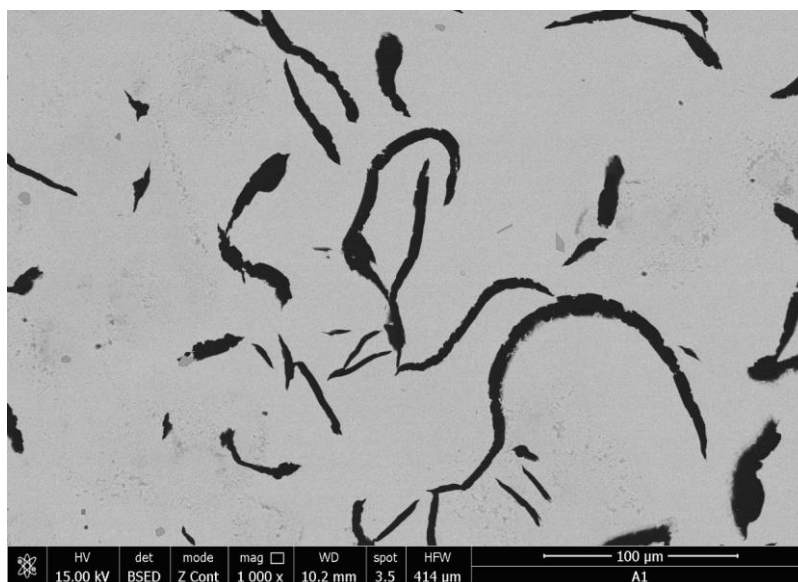


Figura 6.6. Microzona proba A1 – analiză EDS, 1000x

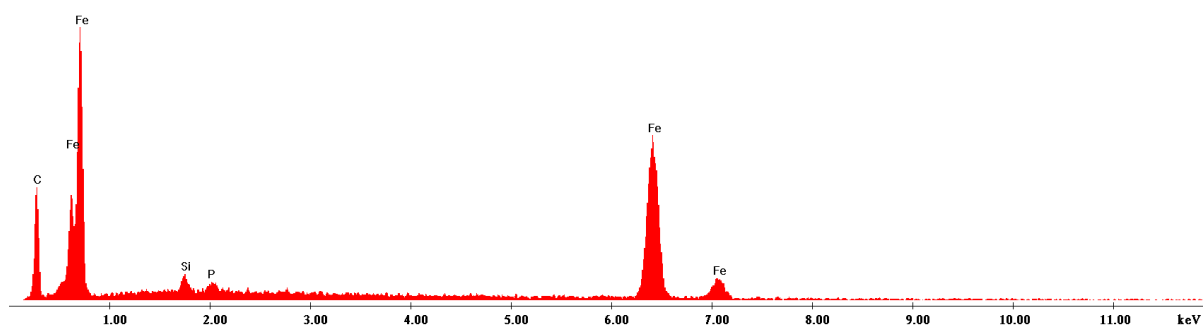


Figura 6.7. Spectrul EDS pentru proba A1, 1000x

În figura 6.8 este prezentată lamela de grafit (la mărirea de 30000x), cu identificarea zonelor de interes (a, b, c) pentru analiza spectrală EDS prezentată în figurile 6.9-6.11. Pe suprafața microzonelor analizate sunt bine puse în evidență elementele chimice constitutive ale fontei fosforoase (C, Fe, P, Si).

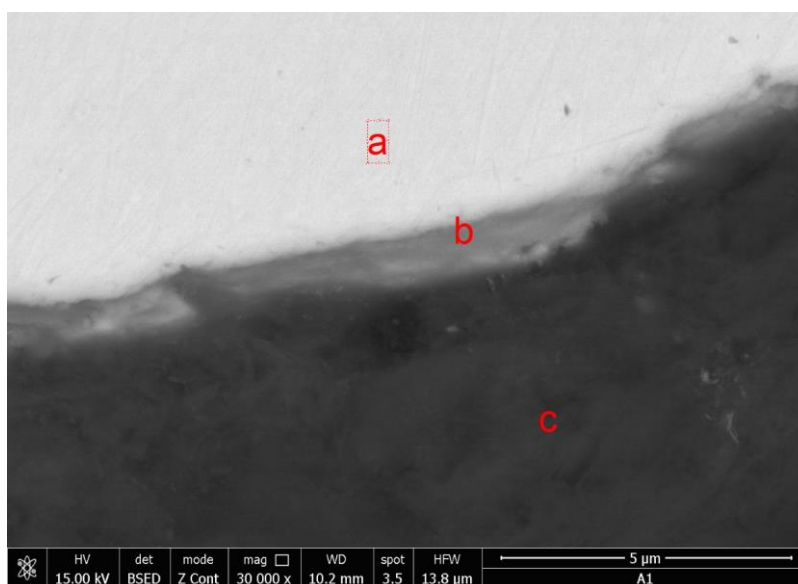


Figura 6.8. Microzonă 1 proba A1 - puncte de interes – analiză EDS, 30000x

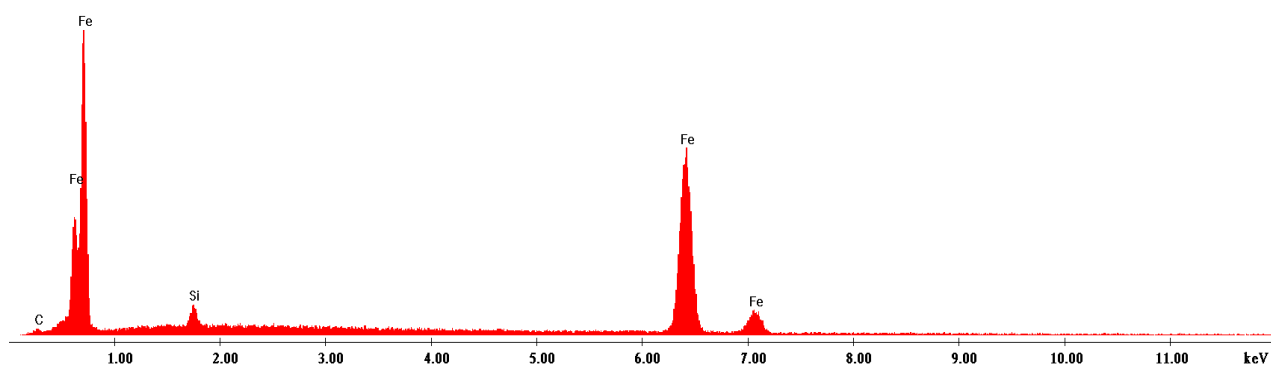


Figura 6.9. Spectrul EDS pentru proba A1-a, 30000x

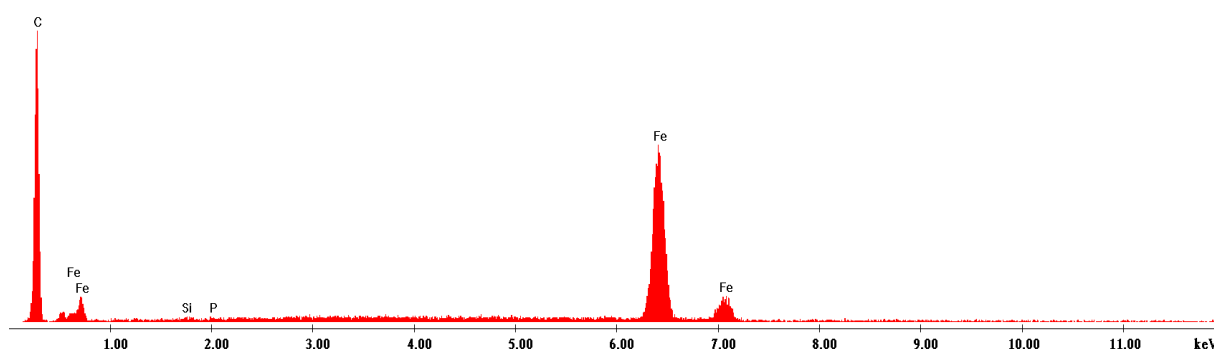


Figura 6.10. Spectrul EDS pentru proba A1-b, 30000x

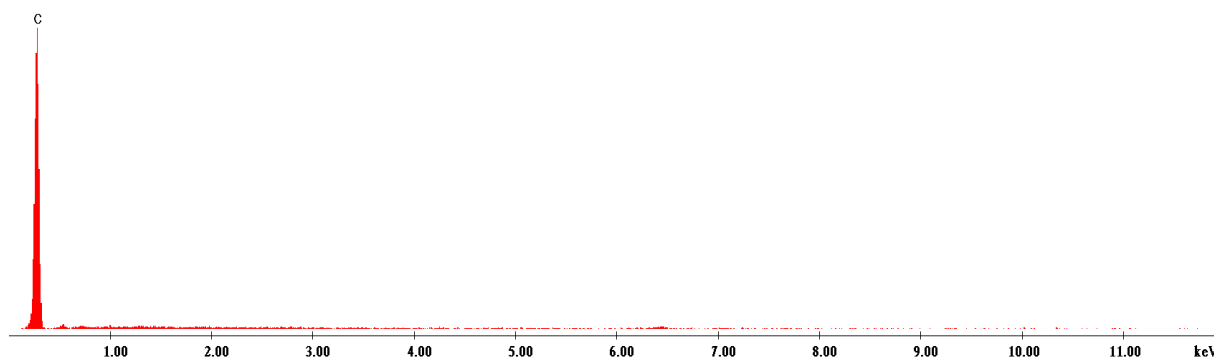


Figura 6.11. Spectrul EDS pentru proba A1-c, 30000x

Examinarea microscopică a evidențiat și prezența incluziunilor de sulf, a carburilor de titan și vanadiu și numeroase insule de eutectic fosforos. Evidențierea acestora s-a efectuat prin microanaliză calitativă de raze X (EDS). Acestea sunt prezentate în microzona 2 a probei A1 cu punctele de interes identificate (d-k). Apariția titanului și vanadiului sunt datorate utilizării în încărcătură a deșeurilor din oțel aliat sau fontă aliată.

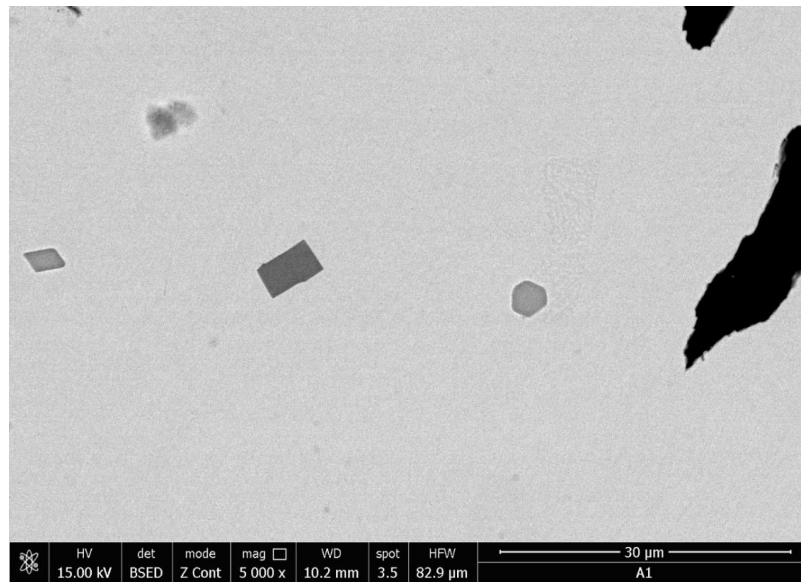


Figura 6.12. Microzonă 2 proba A1 - puncte de interes, 5000x

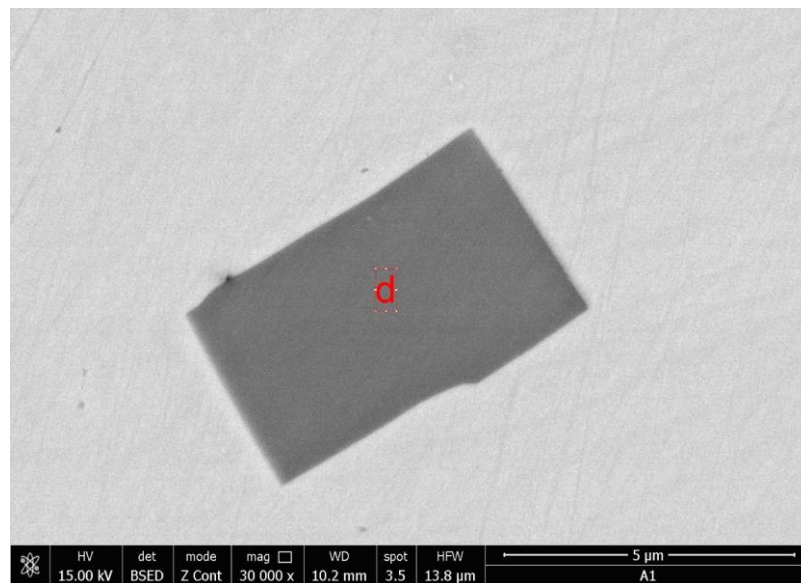


Figura 6.13. Microzonă 2 proba A1 - punct de interes – analiză EDS, 30000x

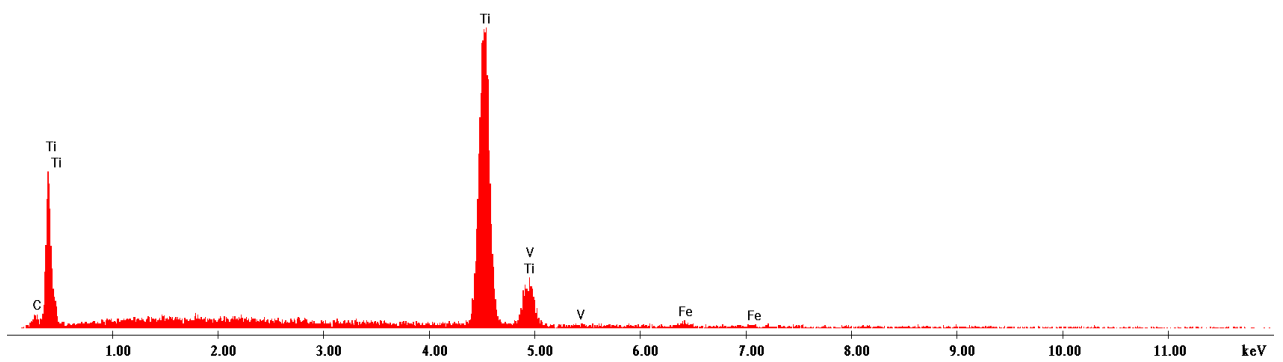


Figura 6.14. Spectrul EDS pentru proba A1-d, 30000x

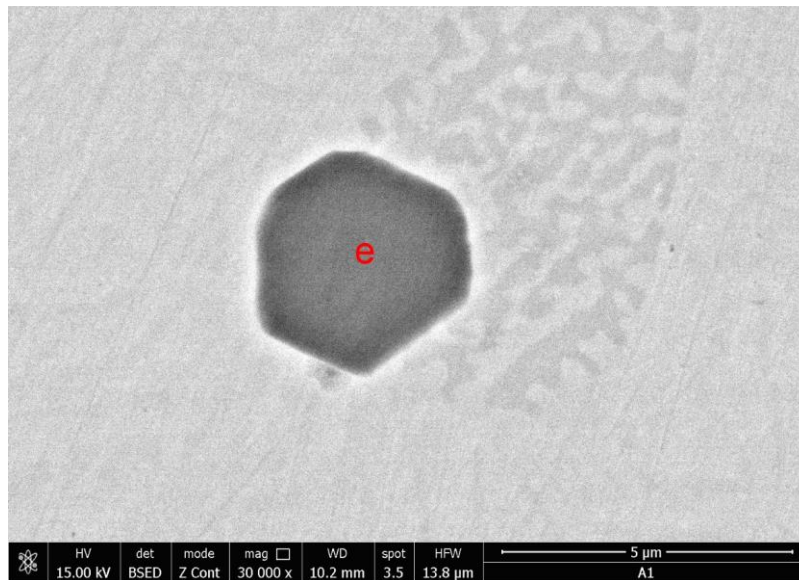


Figura 6.15. Microzonă 2 proba A1 - punct de interes – analiză EDS, 30000x

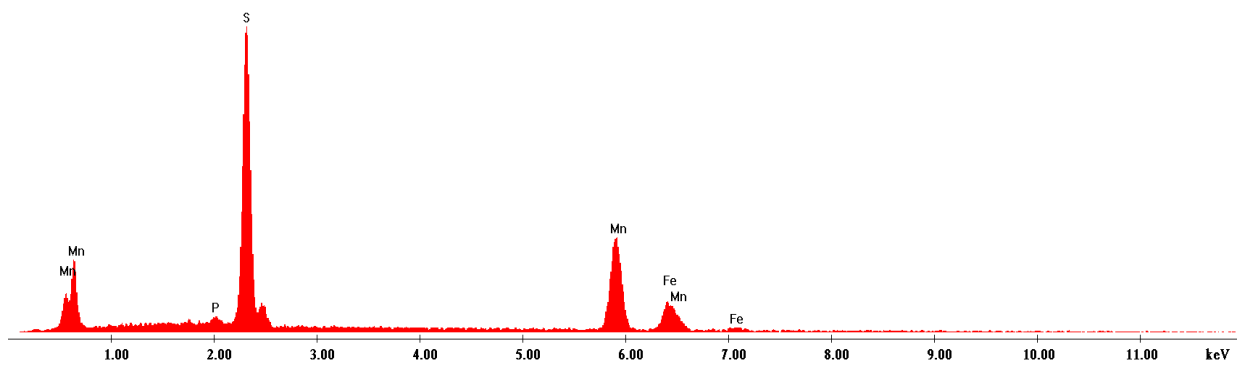


Figura 6.16. Spectrul EDS pentru proba A1-e, 30000x

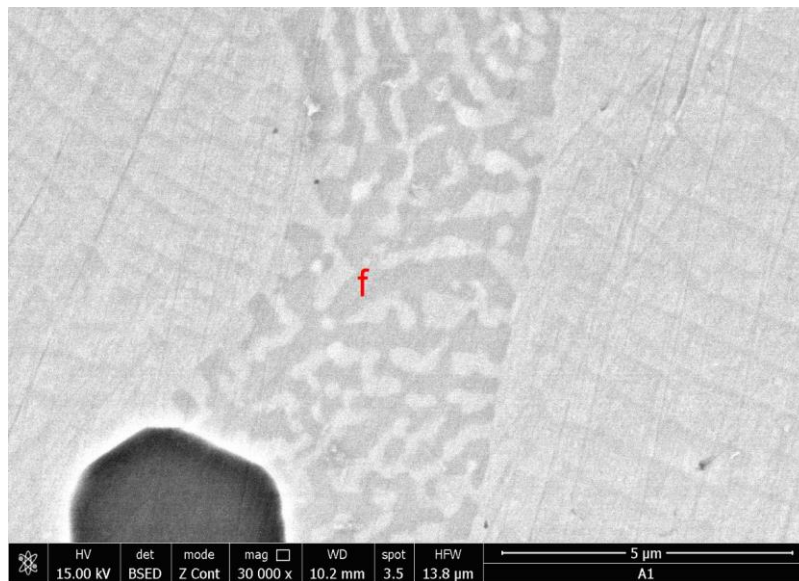


Figura 6.17. Microzonă 2 proba A1 - punct de interes – analiză EDS, 30000x

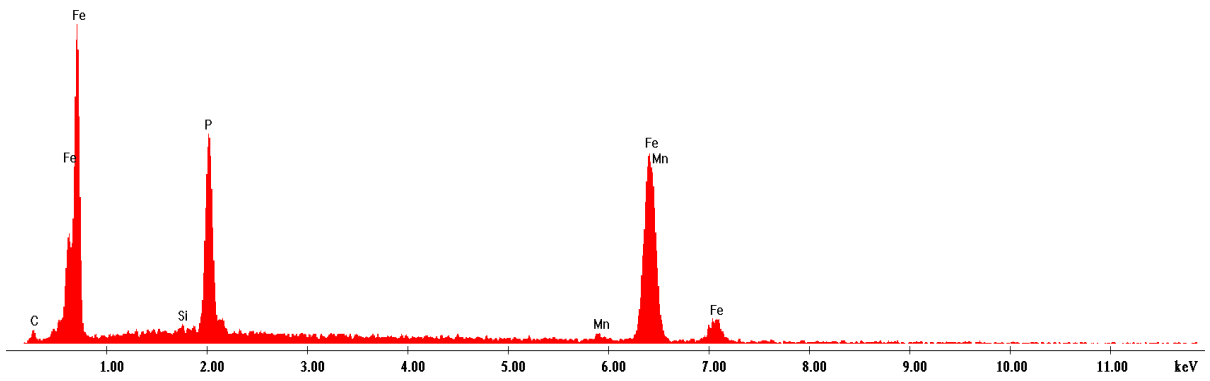


Figura 6.18. Spectrul EDS pentru proba A1-f, 30000x

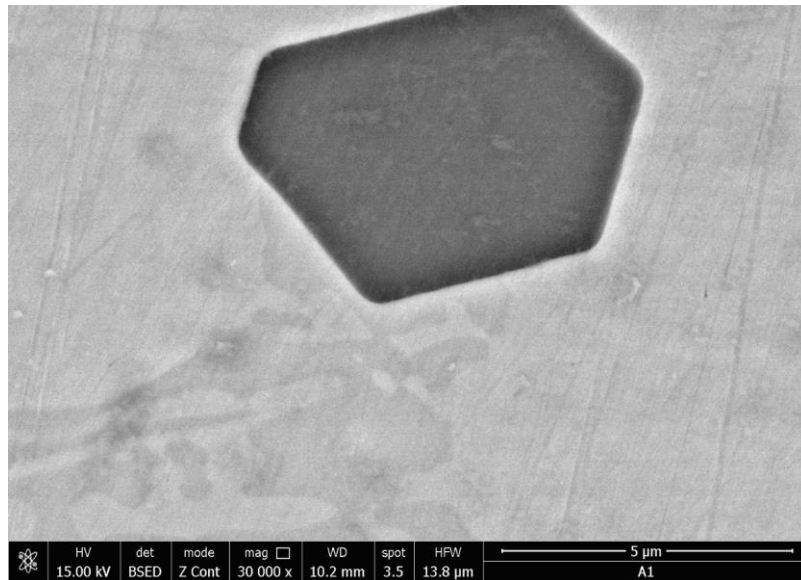


Figura 6.19. Microzonă 2 proba A1 - punct de interes – analiză EDS, 30000x

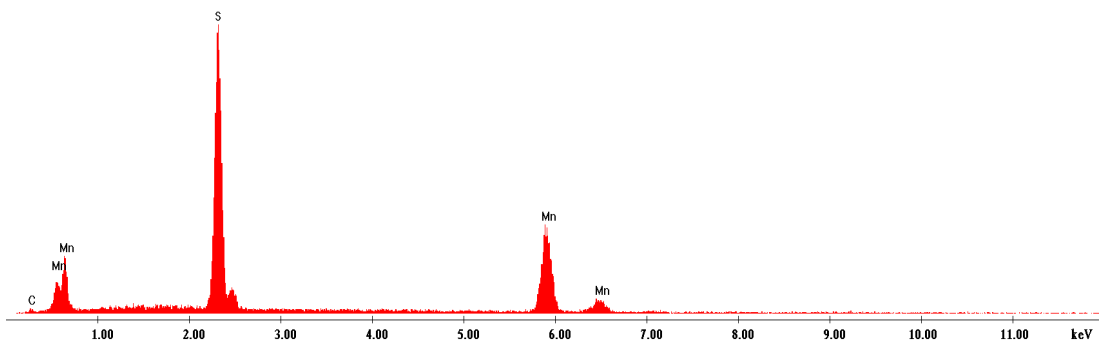


Figura 6.20. Spectrul EDS pentru proba A1-g, 30000x

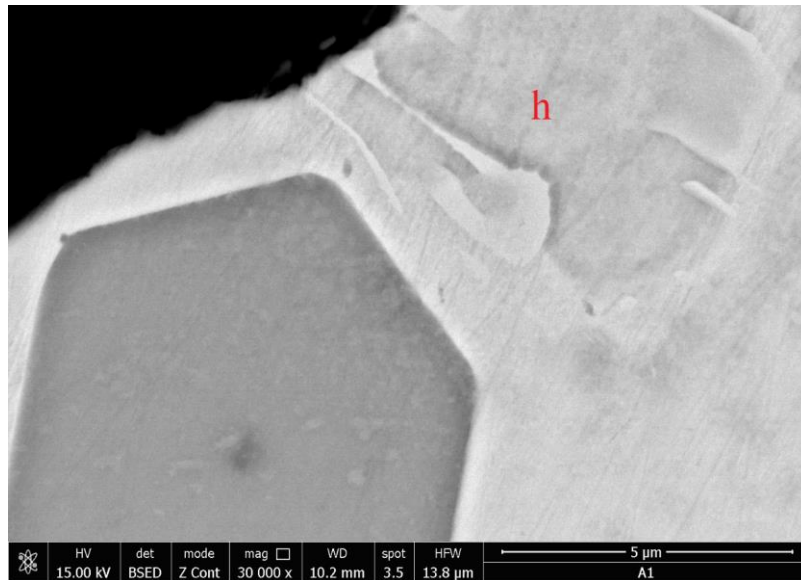


Figura 6.21. Microzonă 2 proba A1 - punct de interes – analiză EDS, 30000x

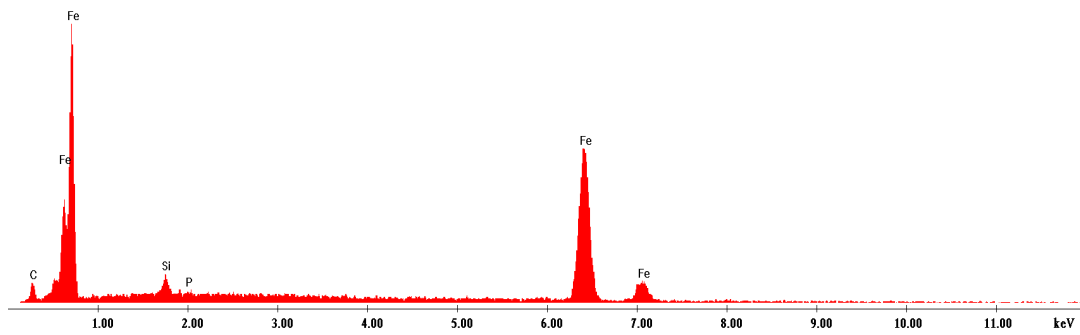


Figura 6.22. Spectrul EDS pentru proba A1-h, 30000x

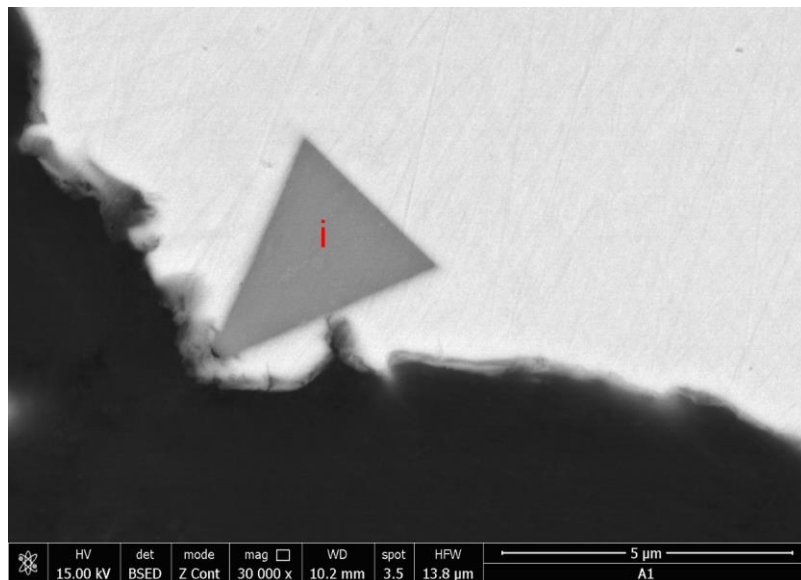


Figura 6.23. Microzonă 2 proba A1 - punct de interes – analiză EDS, 30000x

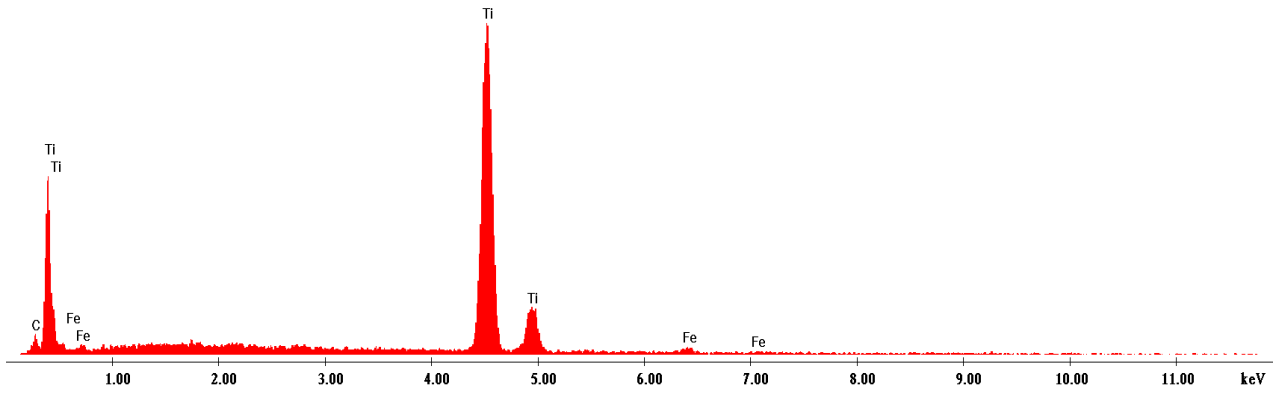


Figura 6.24. Spectrul EDS pentru proba A1-i, 30000x



Figura 6.25. Microzonă 2 proba A1 - puncte de interes – analiză EDS, 30000x

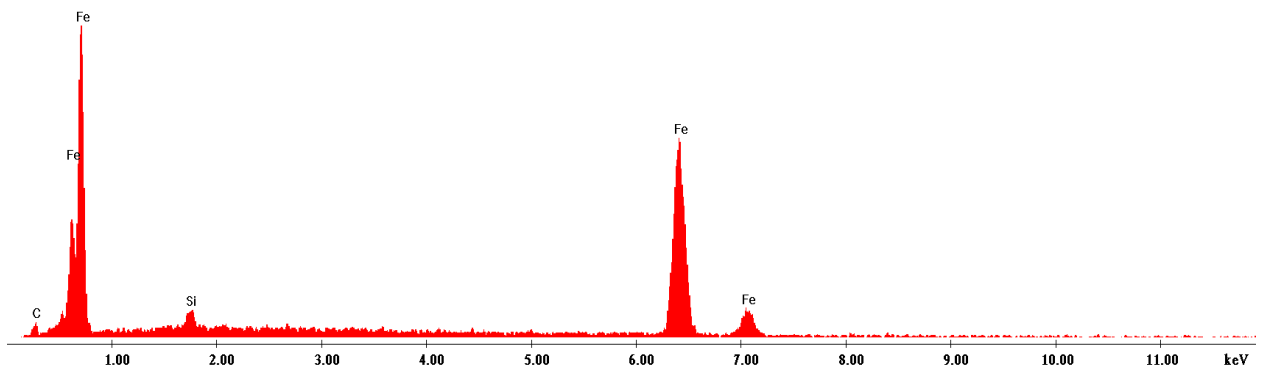


Figura 6.26. Spectrul EDS pentru proba A1-j, 30000x

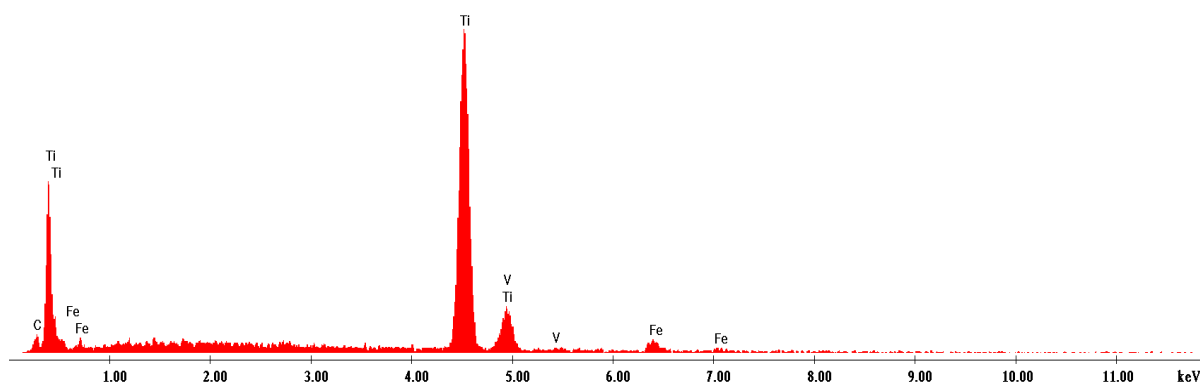


Figura 6.27. Spectrul EDS pentru proba A1-k, 30000x

Similar cu proba A1 s-a efectuat și analiza pentru proba A2.

Microstructura probei A2 neatacată la mărirea de 500x este prezentată în figura 6.28. În figura 6.29. se prezintă microzona 1 a probei A2 cu identificarea spectrului EDS prezentat în figura 6.30. Microstructura este specifică unei fonte fosforoase, lamelele de grafit având grosime și repartizare uniformă.

În figurile 6.31-6.41 se prezintă analizele efectuate pentru microzona 1 a probei A2 cu identificarea zonelor de interes (a-g) pentru analiza spectrală EDS. Pe suprafața microzonelor analizate sunt bine puse în evidență elementele chimice constitutive a fontei fosforoase (C, Fe, P, Si). Examinarea microscopică a evidențiat și prezența incluziunilor de sulf, a carburilor de titan și vanadiu și numeroase insule de eutectic fosforos. Evidențierea acestora s-a efectuat prin microanaliză calitativă de raze X (EDS).

În figurile 6.42-6.48 sunt prezentate analizele efectuate pentru microzona 2 a probei A2 cu punctele de interes identificate (h-j). Apariția titanului și vanadiului sunt datorate utilizării în încărcătură a deșeurilor din oțel aliat sau fontă aliată.

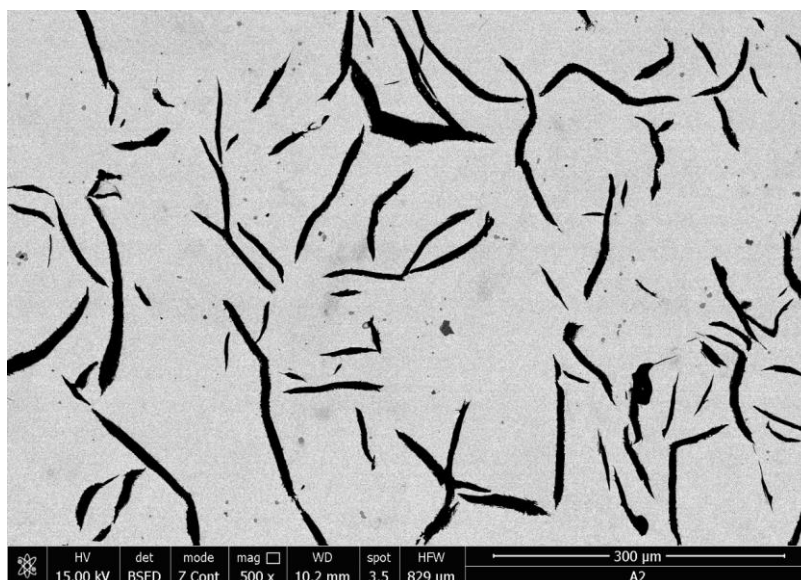


Figura 6.28. Zonă a microstructurii probei A2, 500x

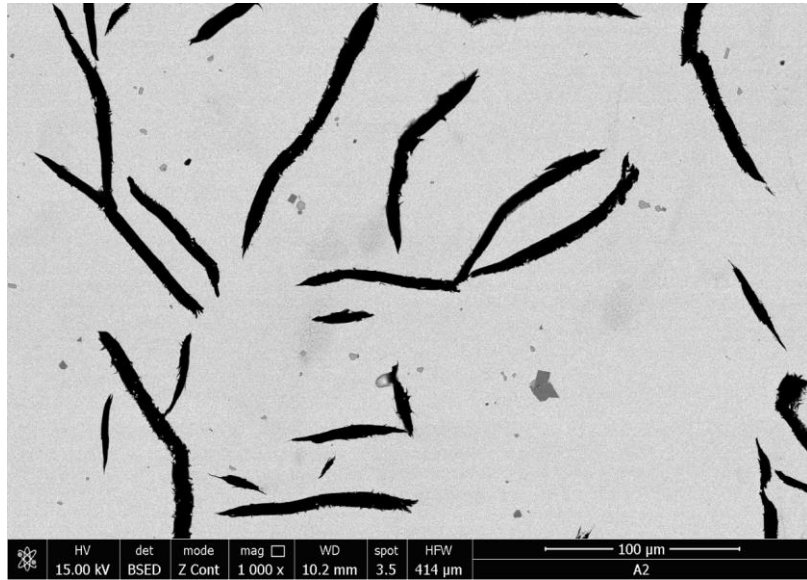


Figura 6.29. Microzona 1 proba A2 - punct de interes – analiză EDS, 1000x

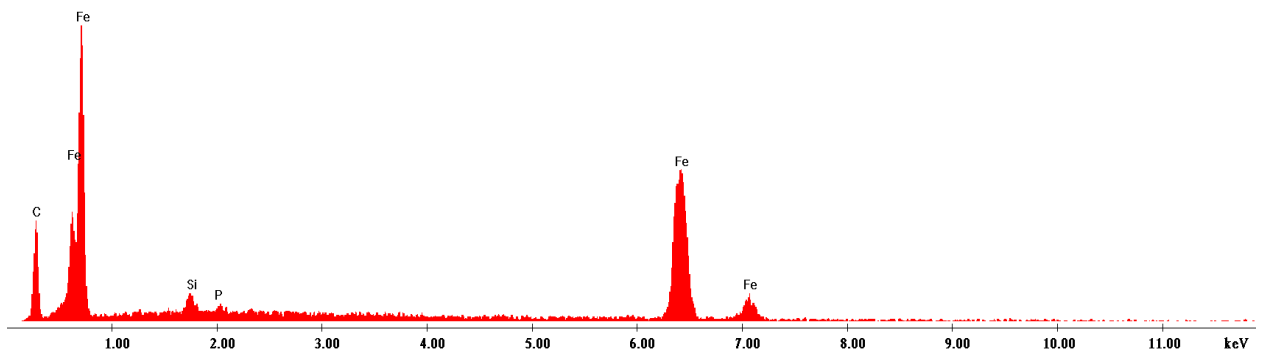


Figura 6.30. Spectrul EDS pentru proba A2, 1000x

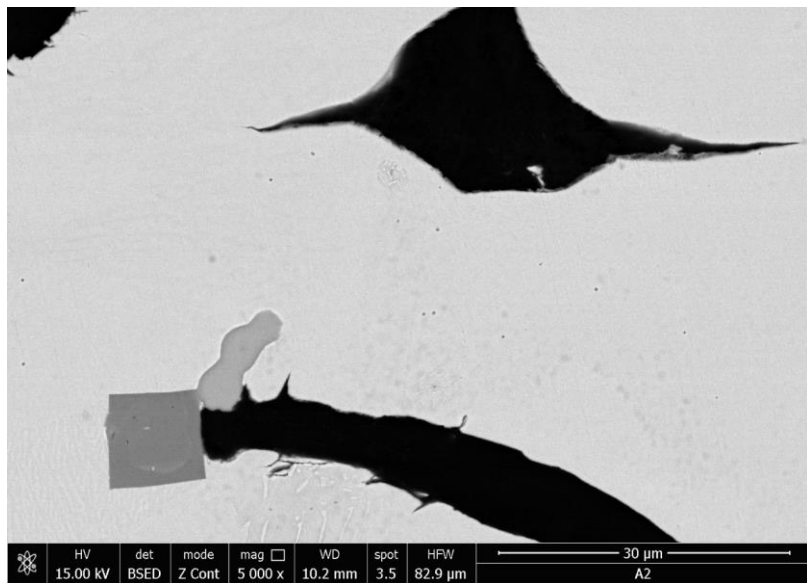


Figura 6.31. Microzonă 1 a probei A2, 5000x

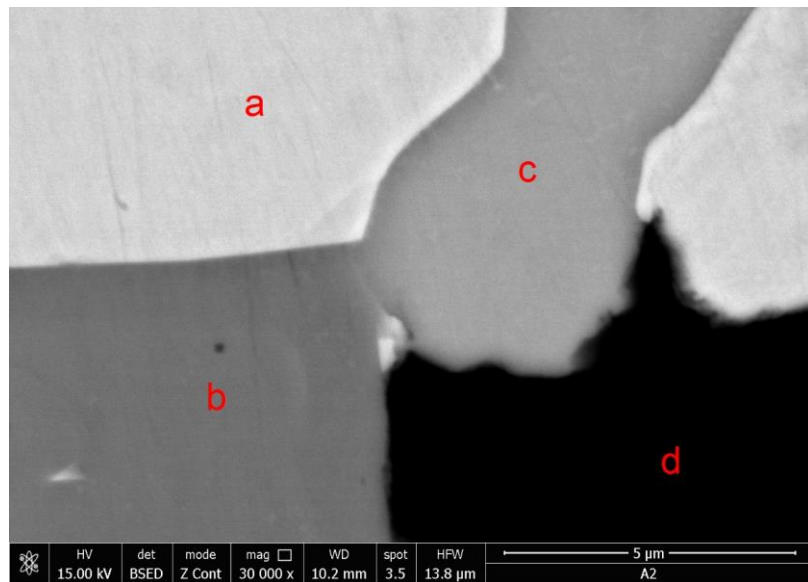


Figura 6.32. Microzonă 1 a probei A2 - puncte de interes – analiză EDS, 30000x

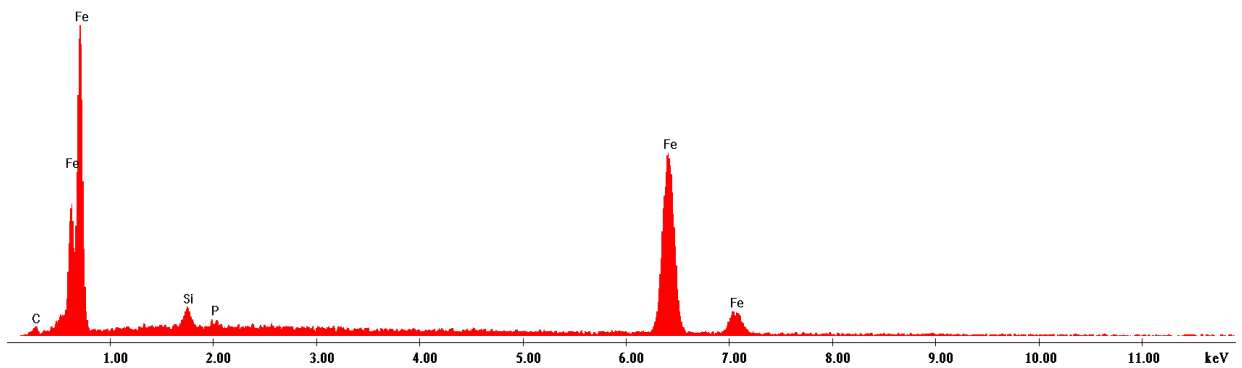


Figura 6.33. Spectrul EDS pentru proba A2-a, 30000x

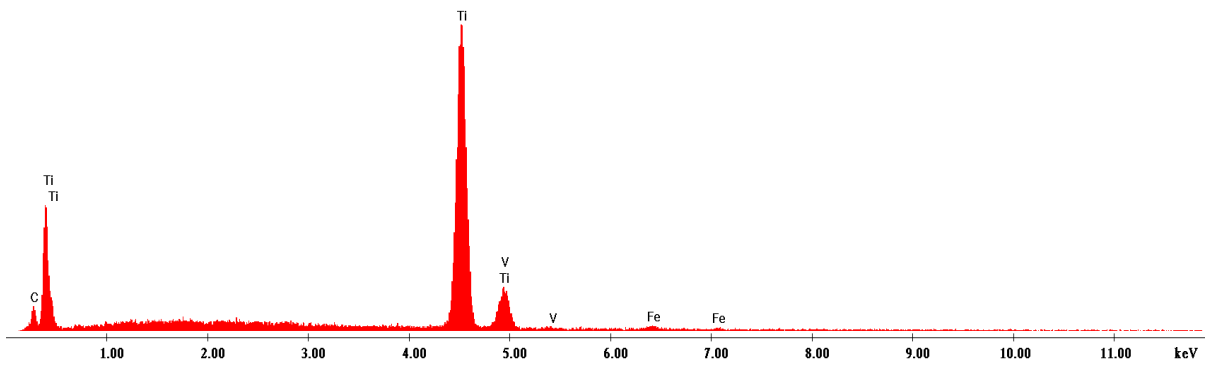


Figura 6.34. Spectrul EDS pentru proba A2-b, 30000x

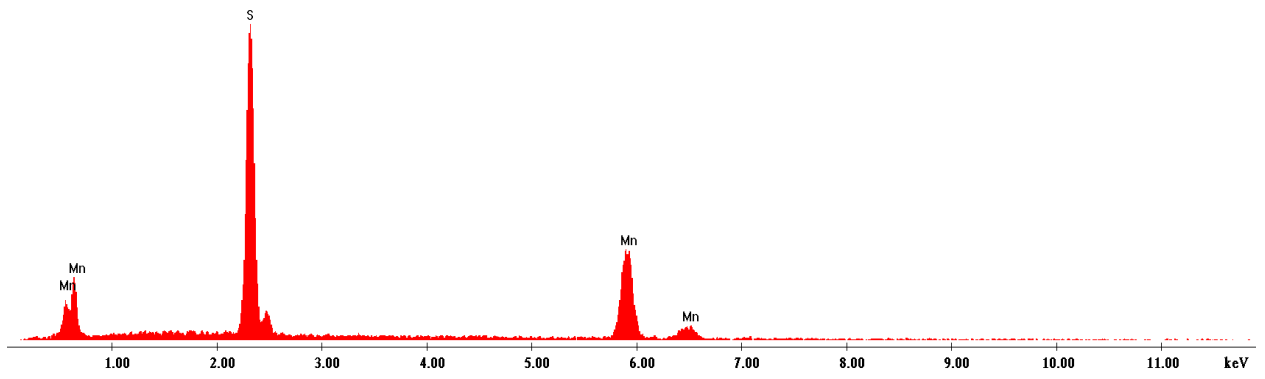


Figura 6.35. Spectrul EDS pentru proba A2-c, 30000x

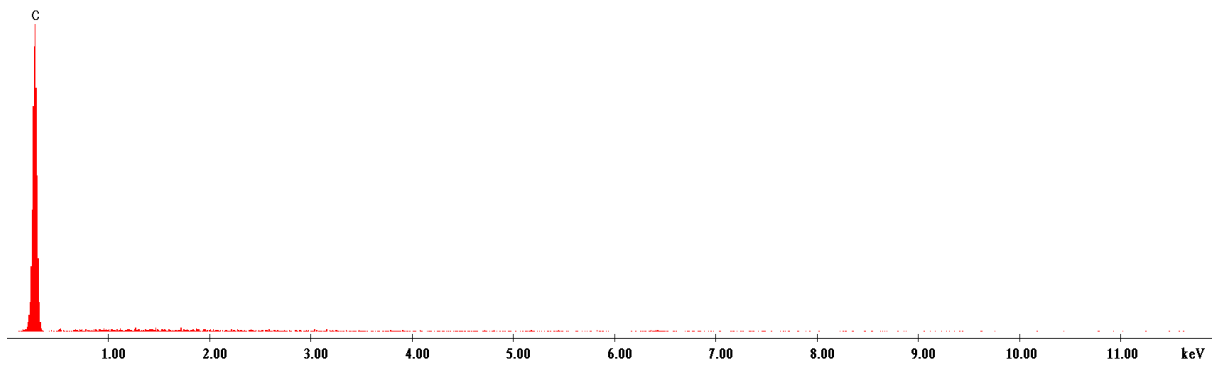


Figura 6.36. Spectrul EDS pentru proba A2-d, 30000x

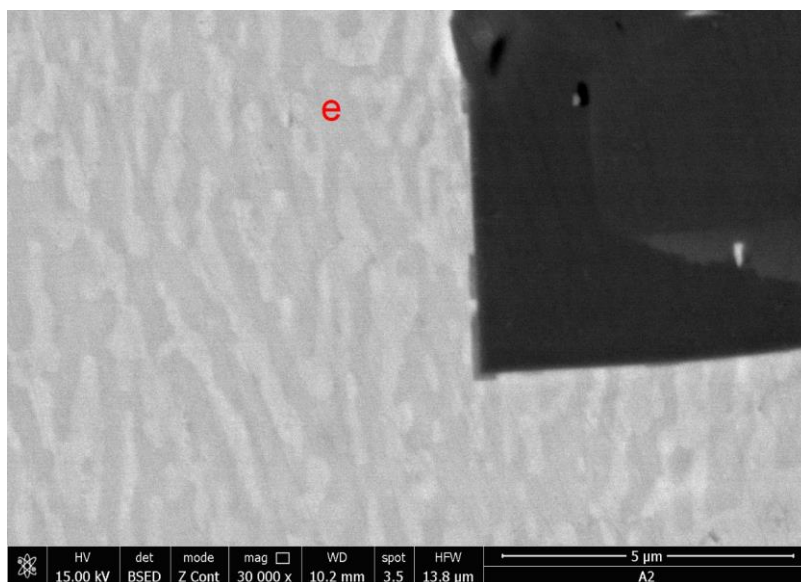


Figura 6.37. Microzonă 1 a probei A2 - punct de interes – analiză EDS, 30000x

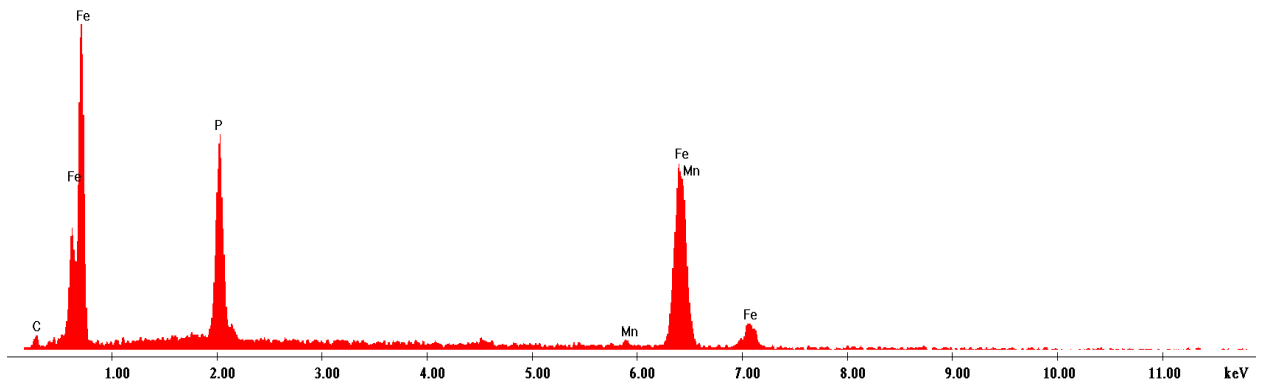


Figura 6.38. Spectrul EDS pentru proba A2-e, 30000x

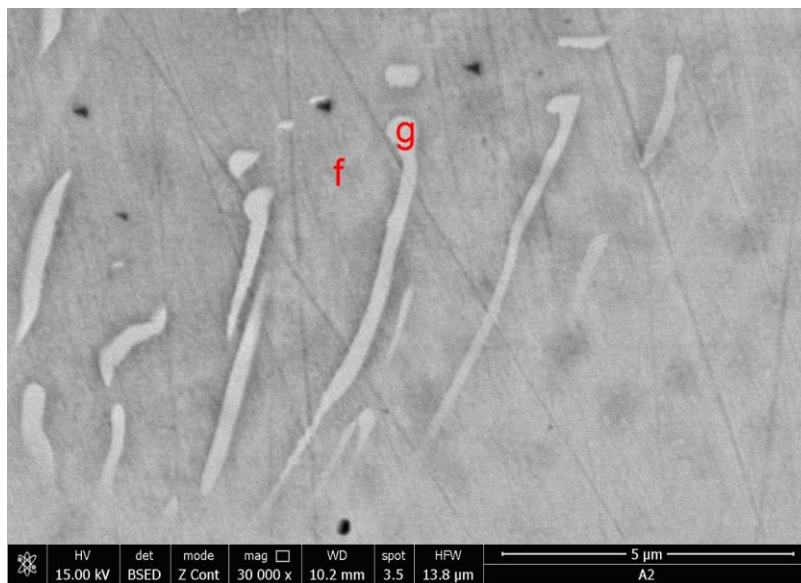


Figura 6.39. Microzonă 1 a probei A2 - puncte de interes – analiză EDS, 30000x

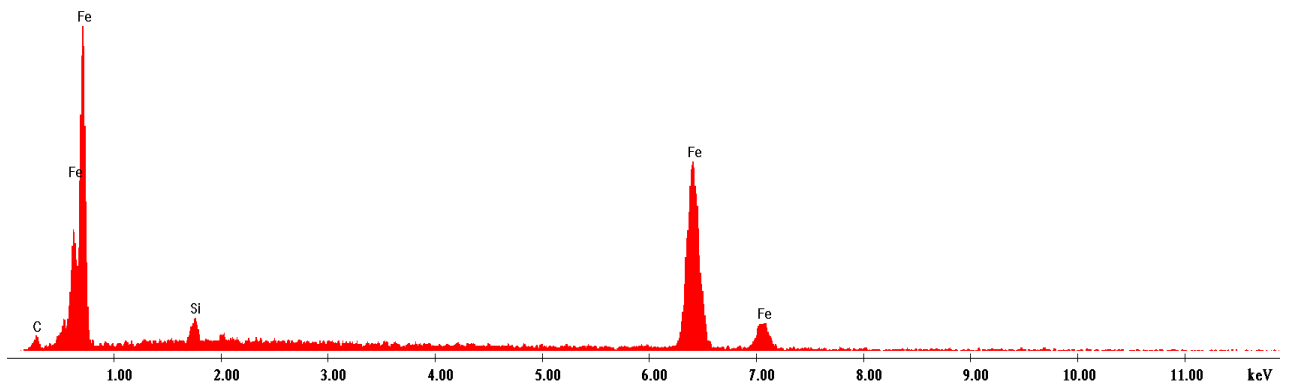


Figura 6.40. Spectrul EDS pentru proba A2-f, 30000x

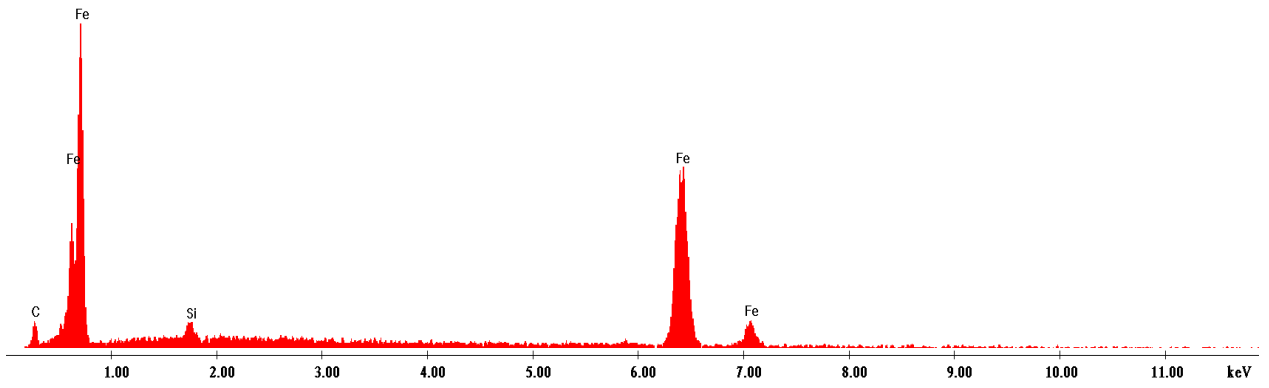


Figura 6.41. Spectrul EDS pentru proba A2-g, 30000x

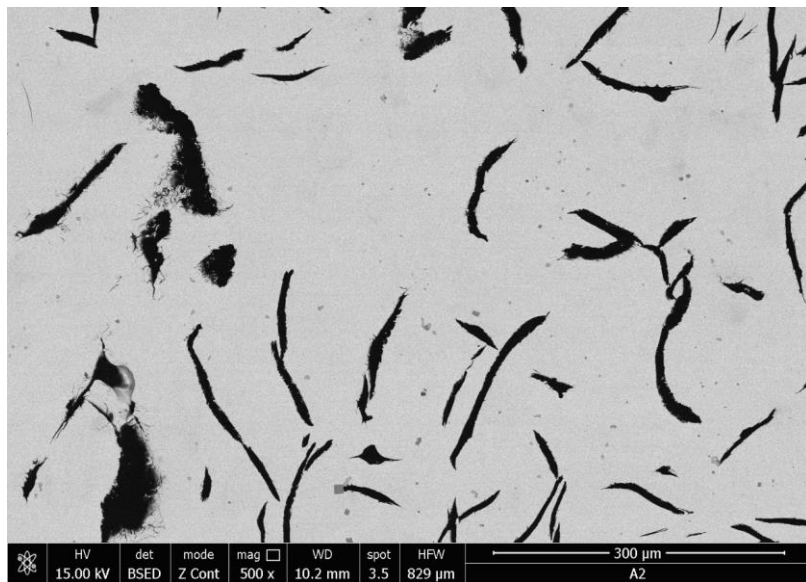


Figura 6.42. Microzonă 2 a probei A2, 500x

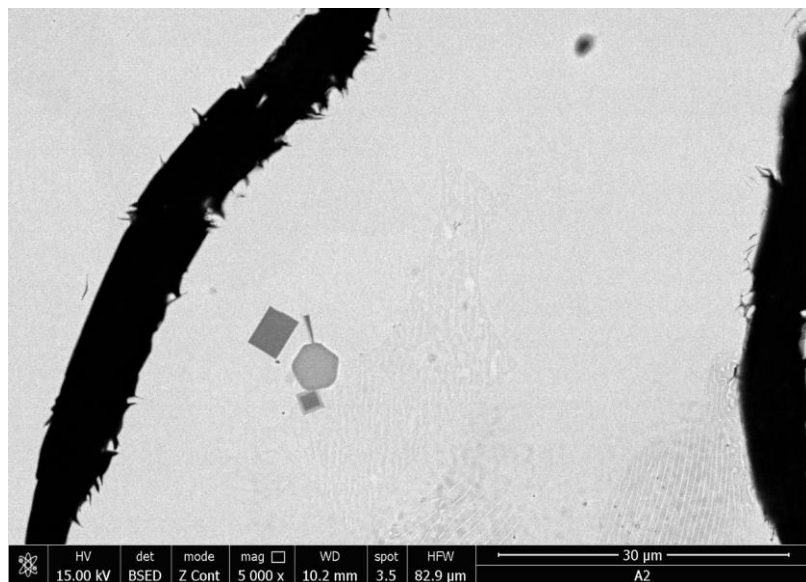


Figura 6.43. Microzonă 2 a probei A2, 5000x

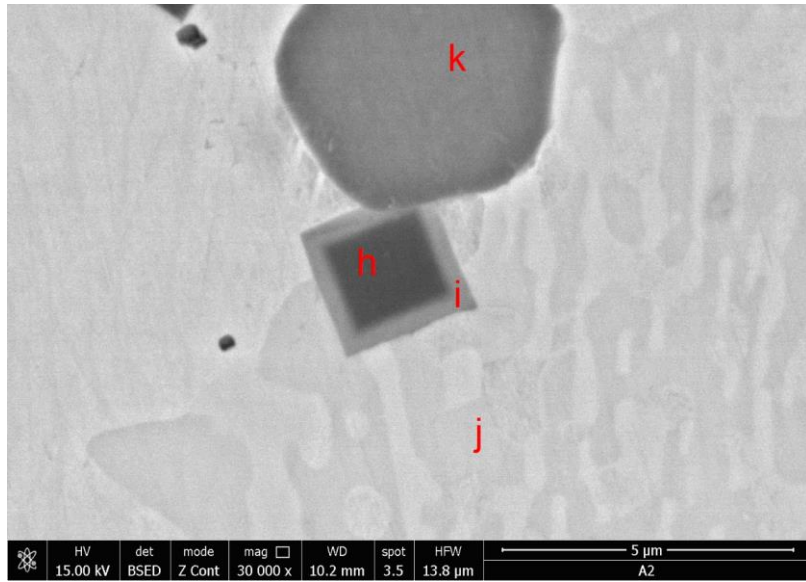


Figura 6.44. Microzonă 2 proba A2 - puncte de interes – analiză EDS, 30000x

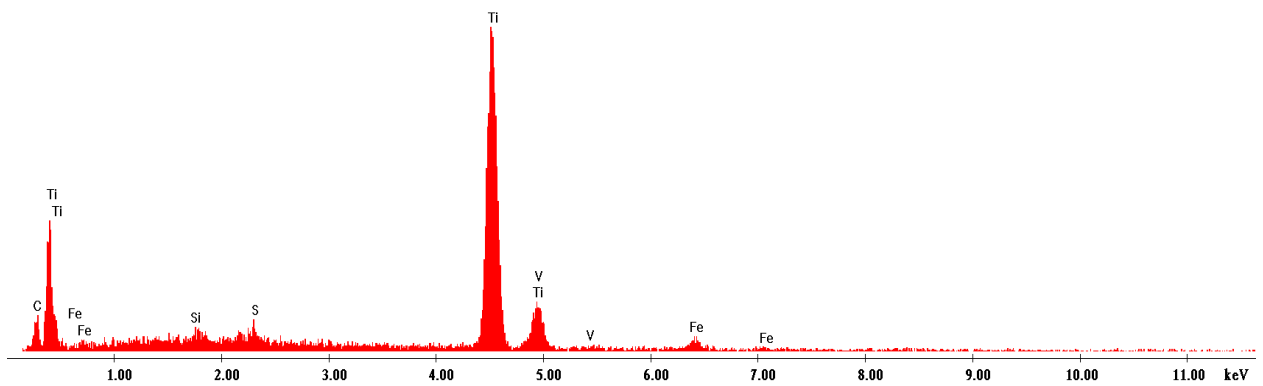


Figura 6.45. Spectrul EDS pentru proba A2-h, 30000x

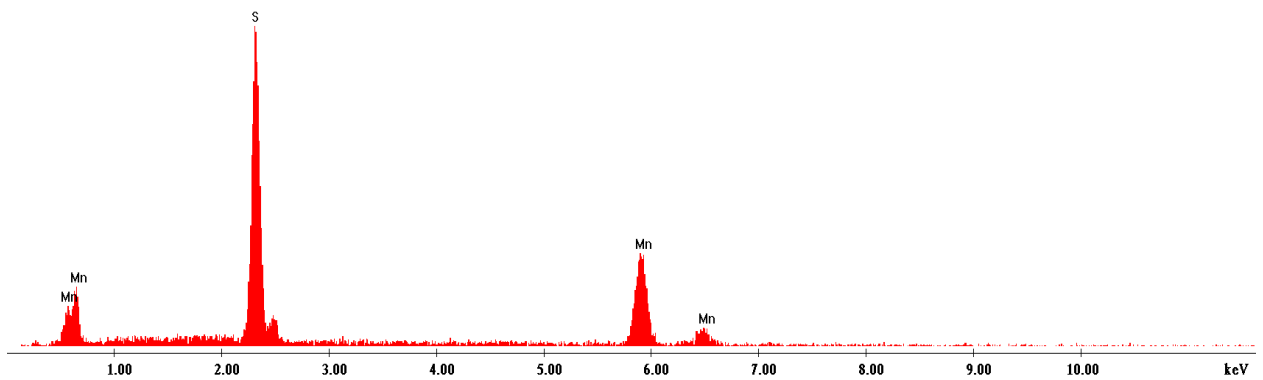


Figura 6.46. Spectrul EDS pentru proba A2-k, 30000x

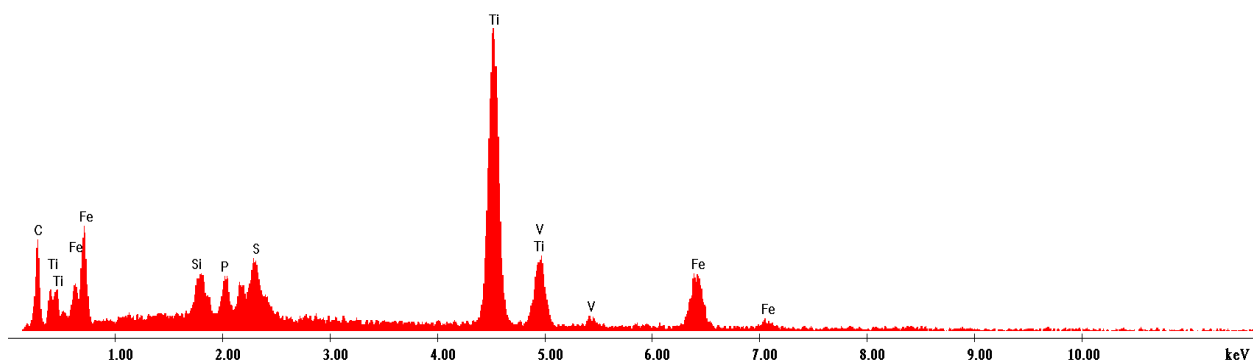


Figura 6.47. Spectrul EDS pentru proba A2-i, 30000x

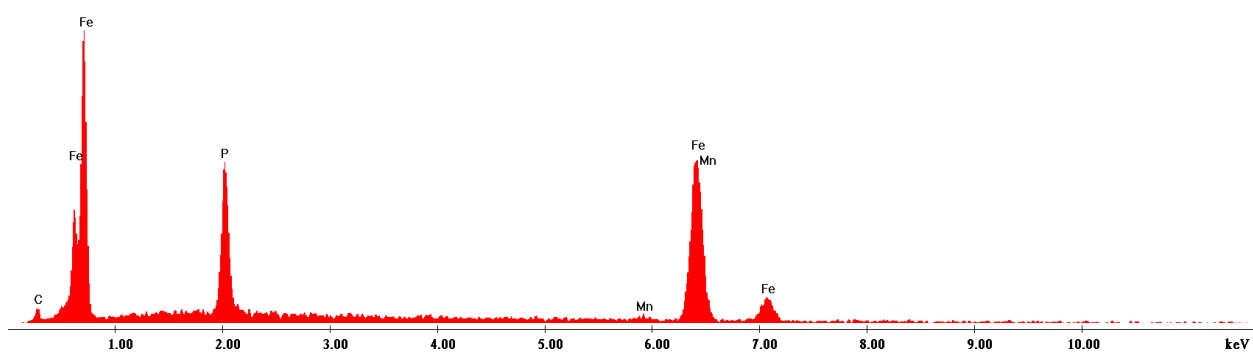


Figura 6.48. Spectrul EDS pentru proba A2-j, 30000x

Microstructurile probei A1, atacată cu nital 5%, la măririle de 500x, 1000x, 5000x, 10000x, 30000x sunt prezentate în figurile 6.49 - 6.52. În figura 6.53 se prezintă microzona 1 a probei A1 cu identificarea zonelor de interes și respectiv a spectrului EDS (figurile 6.54-6.56).

În figurile 6.57 - 6.61 reprezintă microzona 2 a probei A1, la măririle de 500x, 1000x, 5000x, 10000x, 30000x.

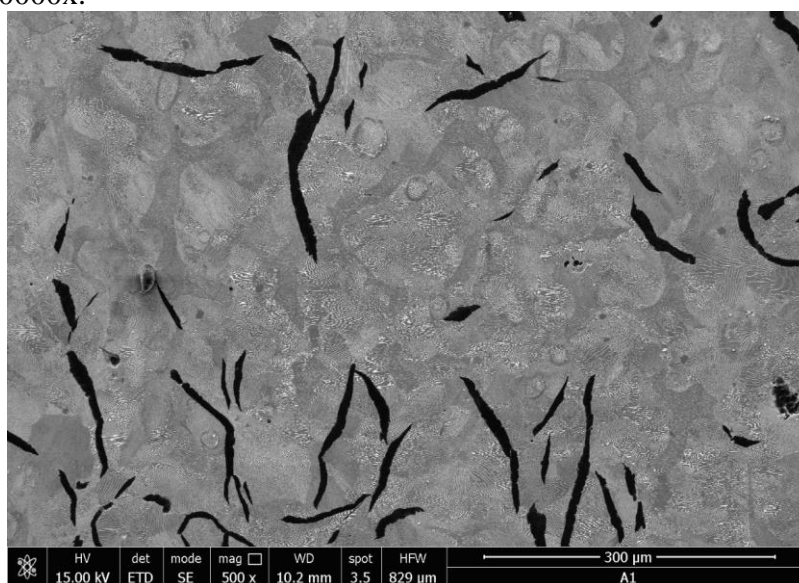


Figura 6.49. Zonă a microstructurii probei A1, atac nital, 500x

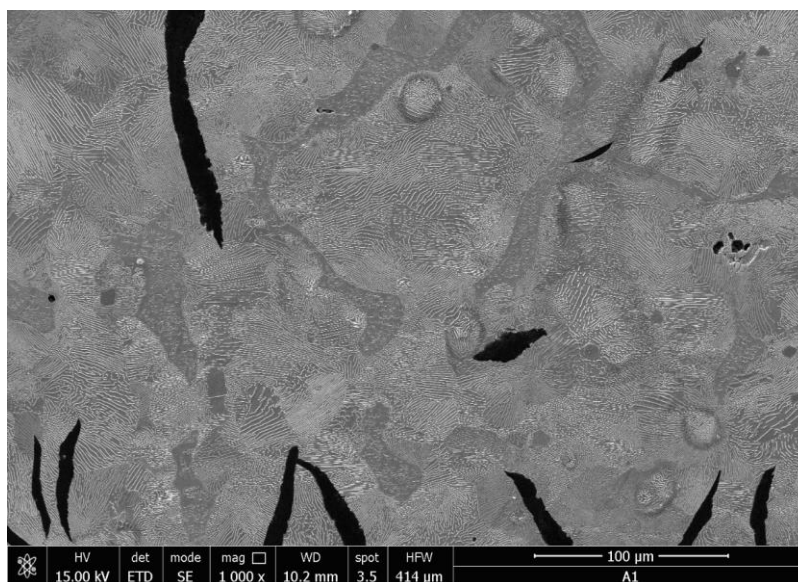


Figura 6.50. Zonă a microstructurii probei A1, atac nital, 1000x

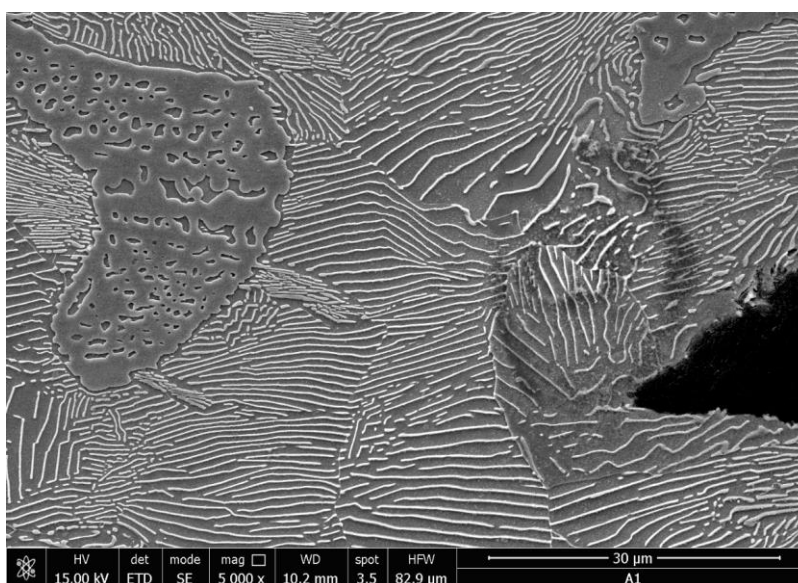


Figura 6.51. Zonă a microstructurii probei A1, atac nital, 5000x

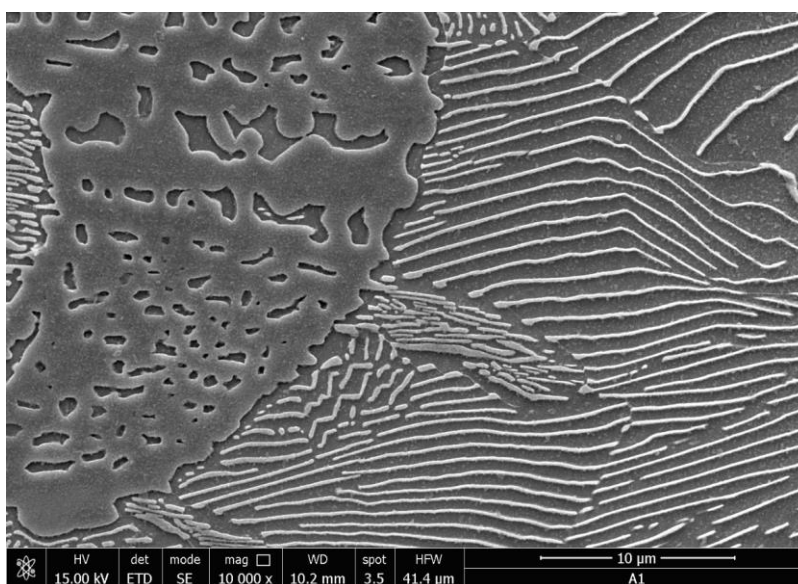


Figura 6.52. Zonă a microstructurii probei A1, atac nital, 10000x

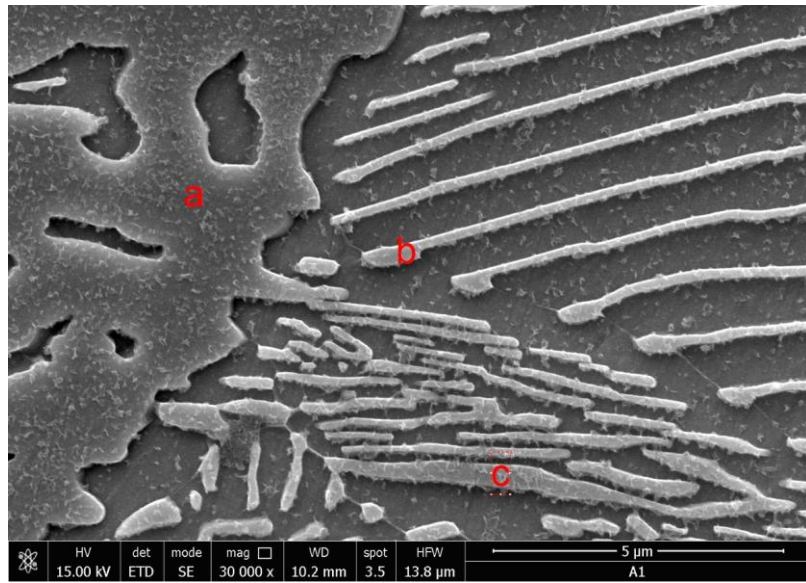


Figura 6.53. Microzona 1 proba A1, atac nital, puncte de interes – analiză EDS, 30000x

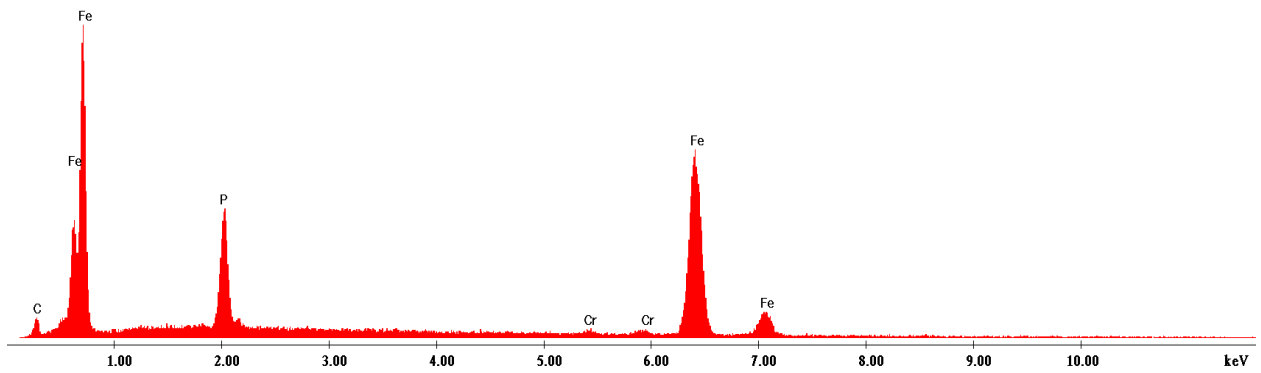


Figura 6.54. Spectrul EDS pentru proba A1-a, atac nital, 30000x

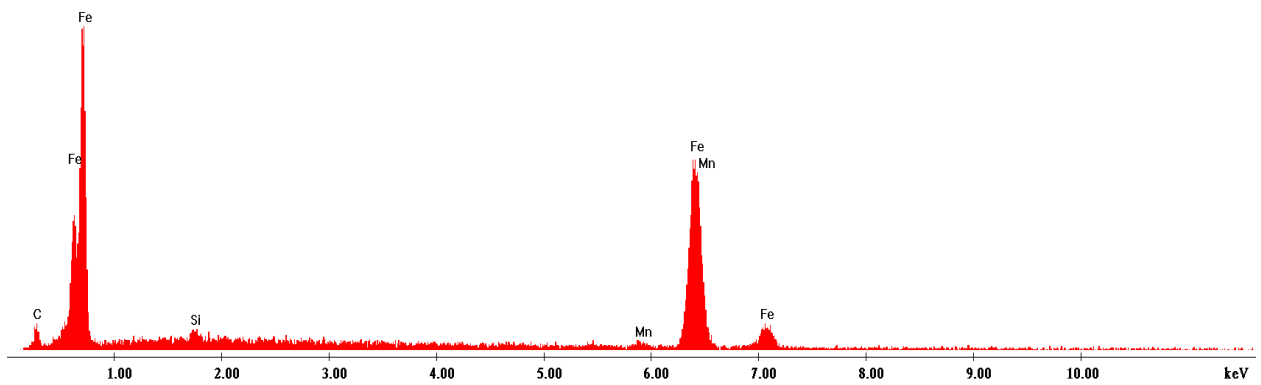


Figura 6.55. Spectrul EDS pentru proba A1-b, atac nital, 30000x

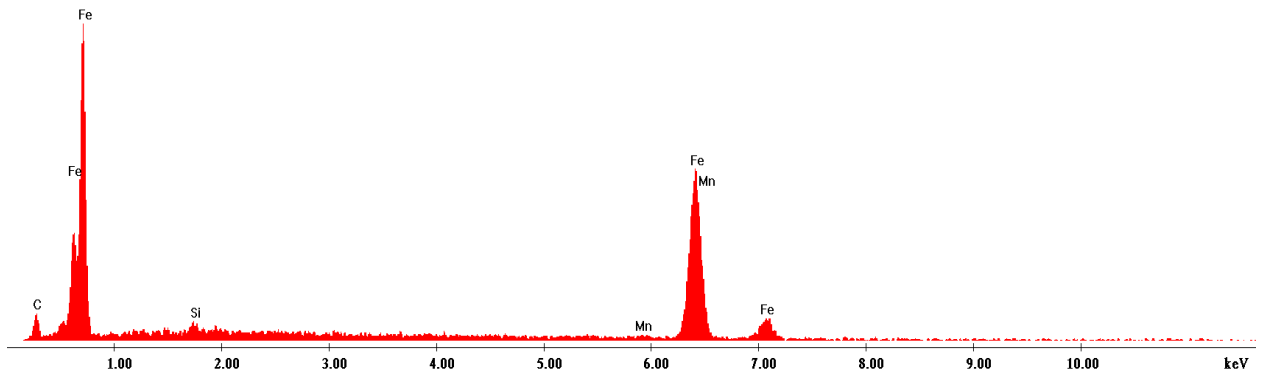


Figura 6.56. Spectrul EDS pentru proba A1-c, atac nital, 30000x

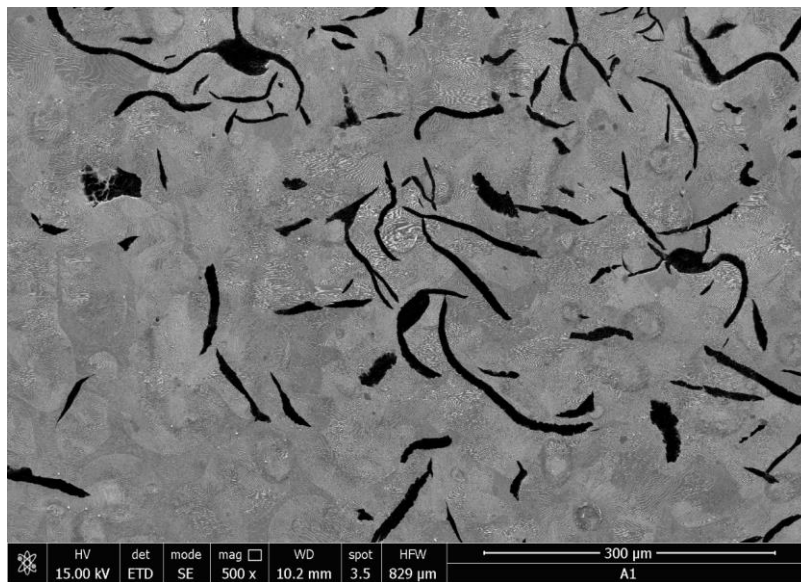


Figura 6.57. Microzona 2 probei A1, atac nital, 500x

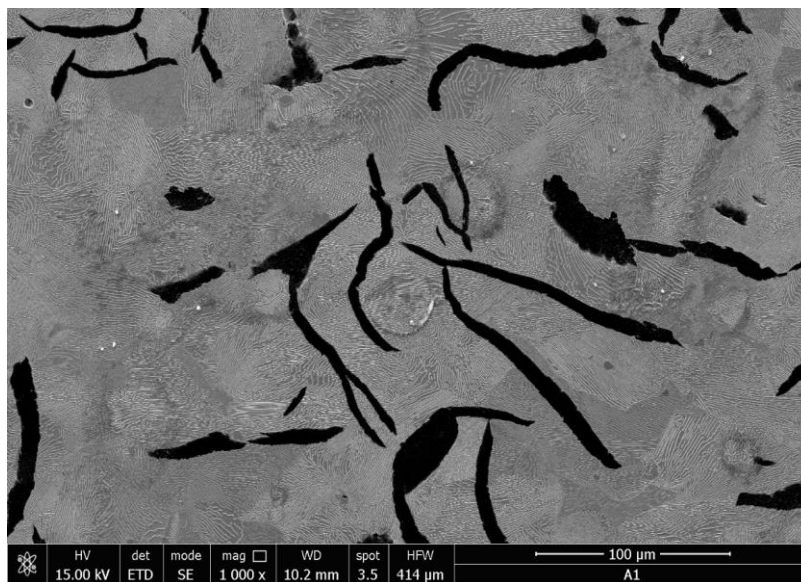


Figura 6.58. Microzona 2 probei A1, atac nital, 1000x

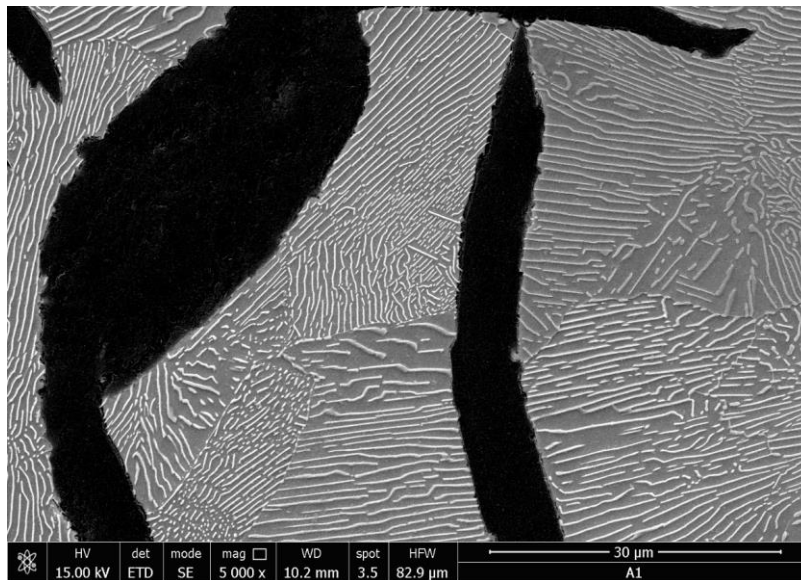


Figura 6.59. Microzona 2 probei A1, atac nital, 5000x

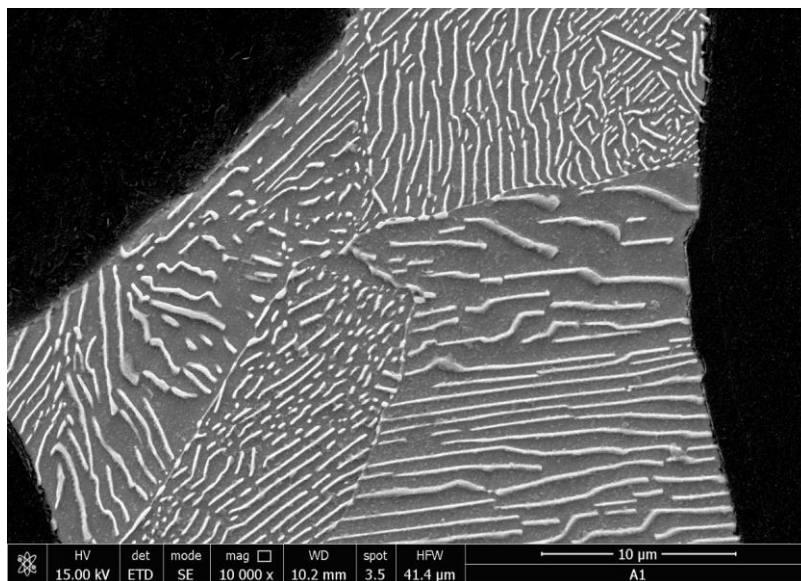


Figura 6.60. Microzona 2 probei A1, atac nital, 10000x

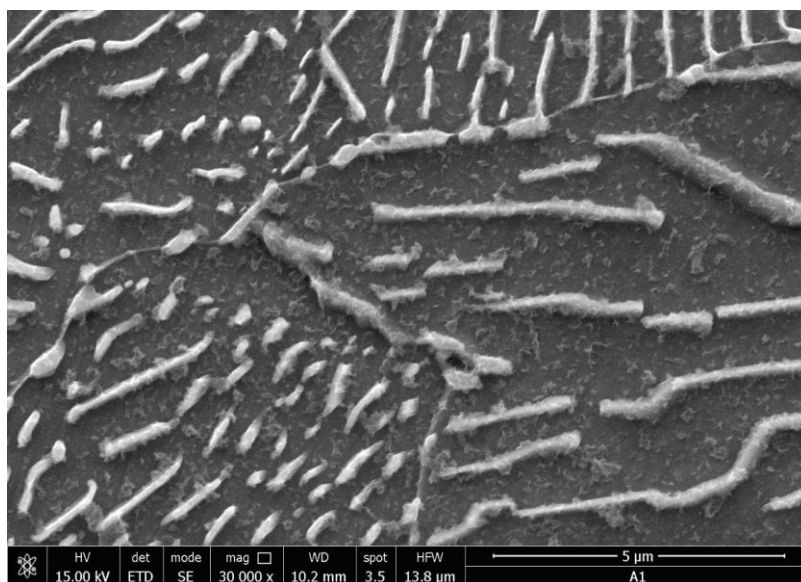


Figura 6.61. Microzona 2 probei A1, atac nital, 30000x

Microstructurile probei A2, atacată cu nital 5%, la măririle de 500x, 1000x, 5000x, 10000x, 30000x sunt prezentate în figurile 6.62 -6.66.

În figura 6.67 se prezintă o microzonă 1 a probei A2 cu identificarea zonelor de interes și respective a spectrului EDS (figura 6.68).

În figurile 6.69-6.73 reprezintă microzona 2 a probei A2 la măririle de 500x, 1000x, 5000x, 10000x, 30000x.

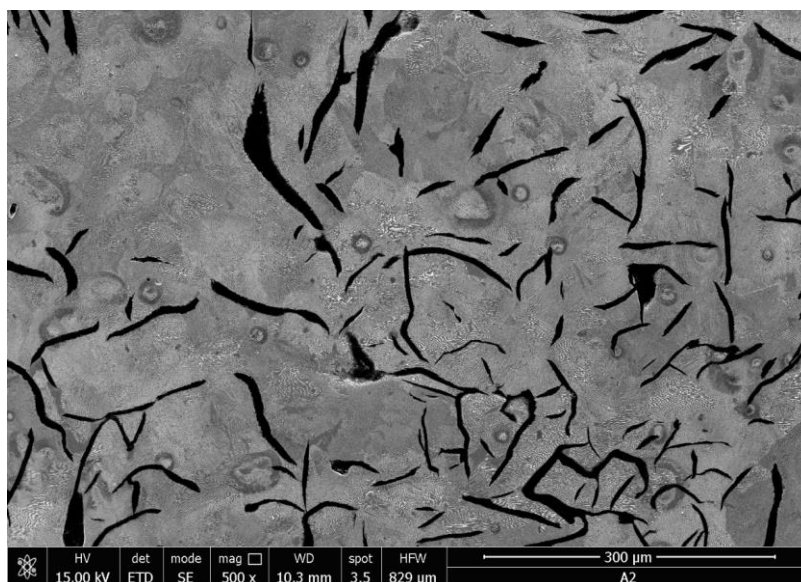


Figura 6.62. Zonă a microstructurii probei A2, atac nital, 500x

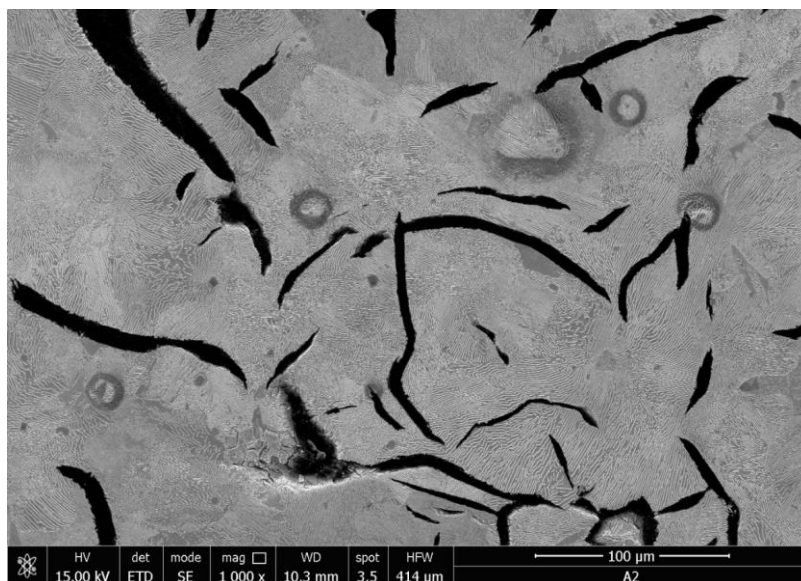


Figura 6.63. Zonă a microstructurii probei A2, atac nital, 1000x

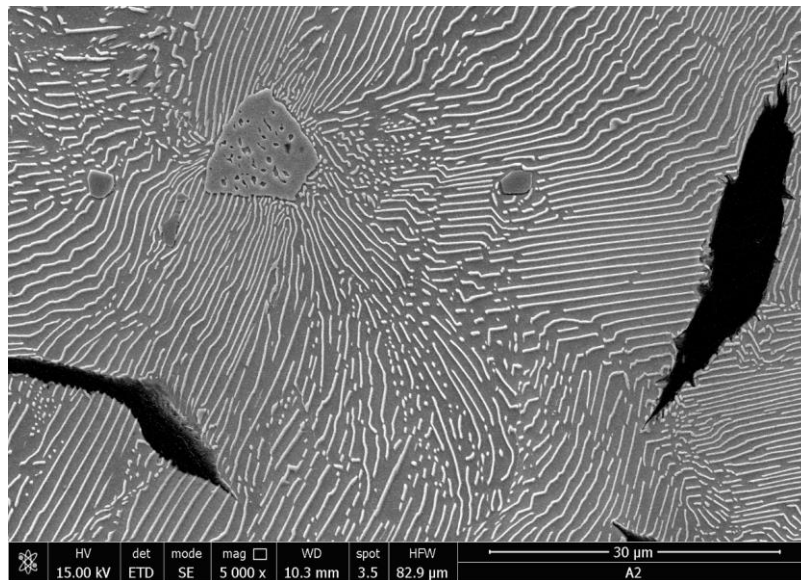


Figura 6.64. Zonă a microstructurii probei A2, atac nital, 5000x

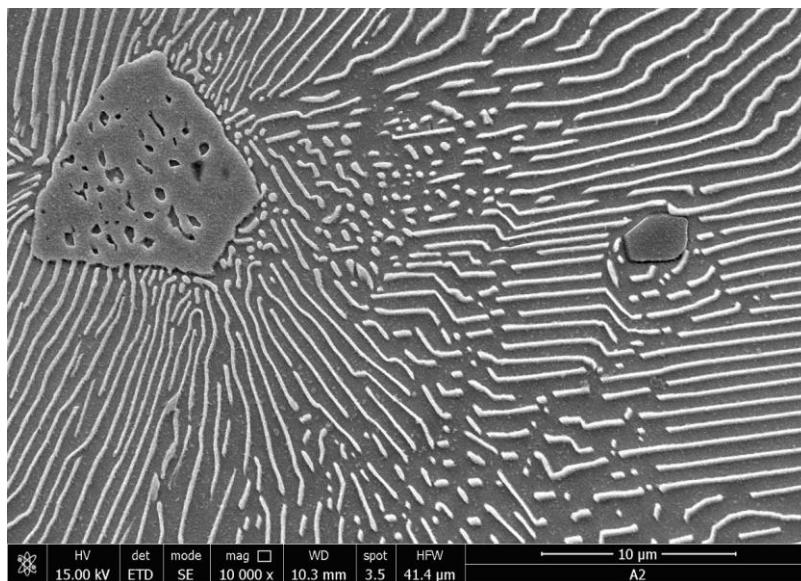


Figura 6.65. Zonă a microstructurii probei A2, atac nital, 10000x

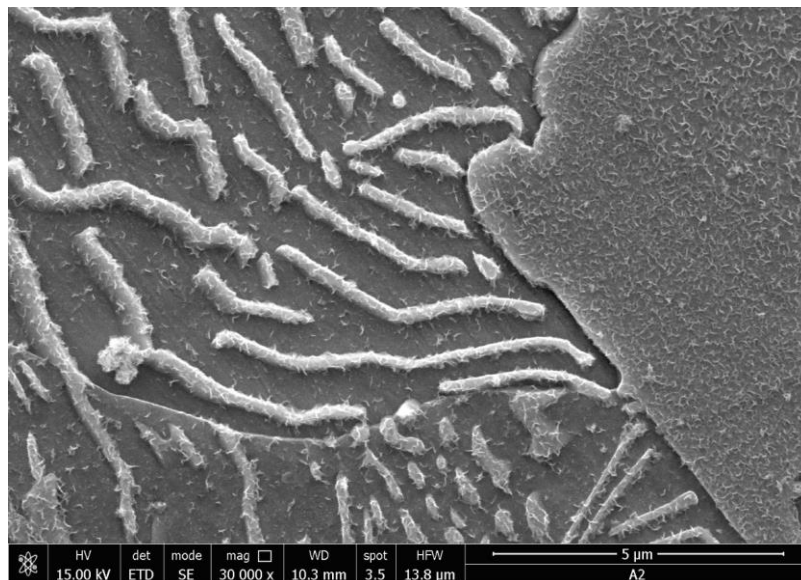


Figura 6.66. Zonă a microstructurii probei A2, atac nital, 30000x

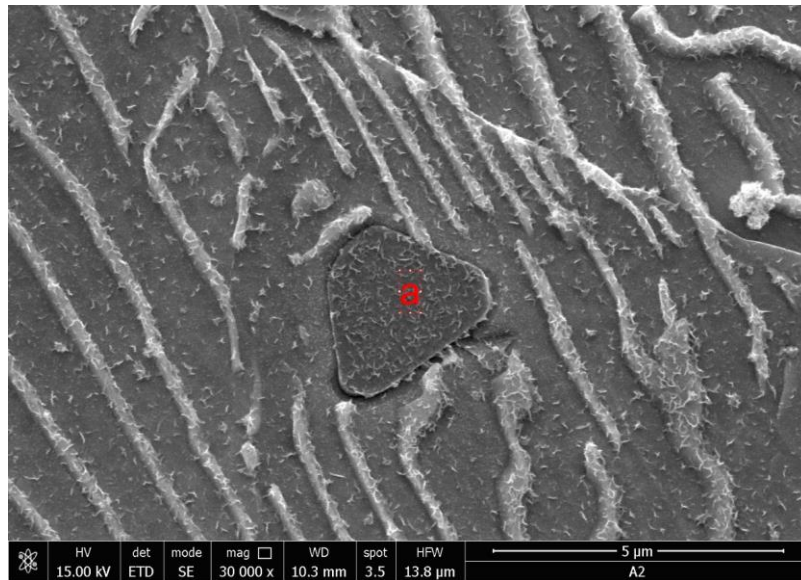


Figura 6.67. Microzona 1 proba A1, atac nital, puncte de interes – analiză EDS, 30000x

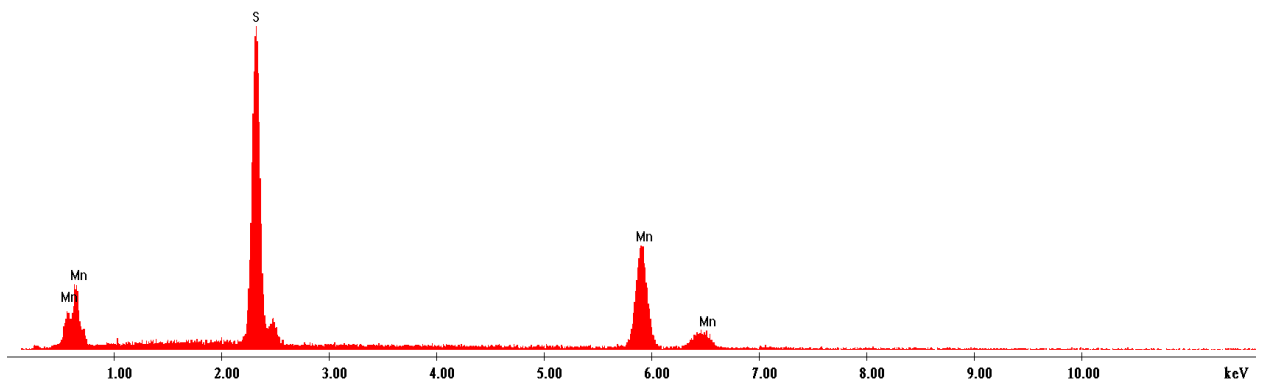


Figura 6.68. Spectrul EDS pentru proba A2-a, atac nital, 30000x

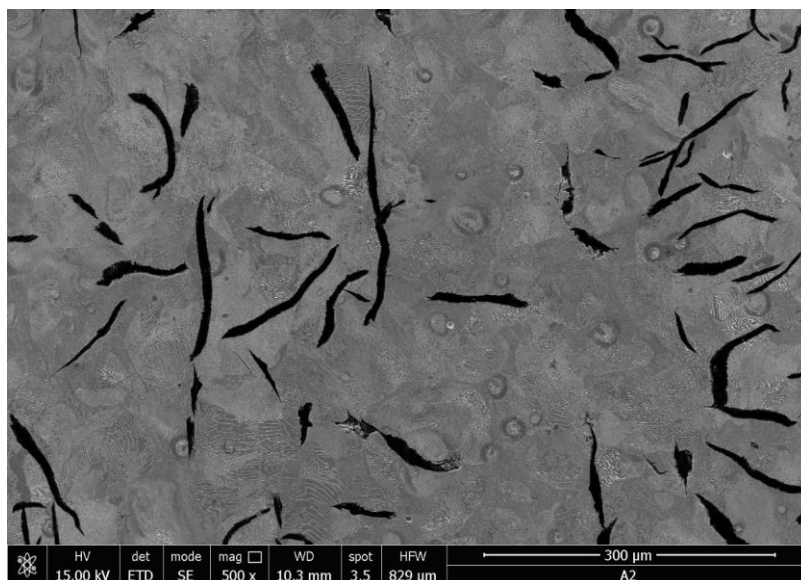


Figura 6.69. Microzona 2 a probei A2, atac nital, 500x

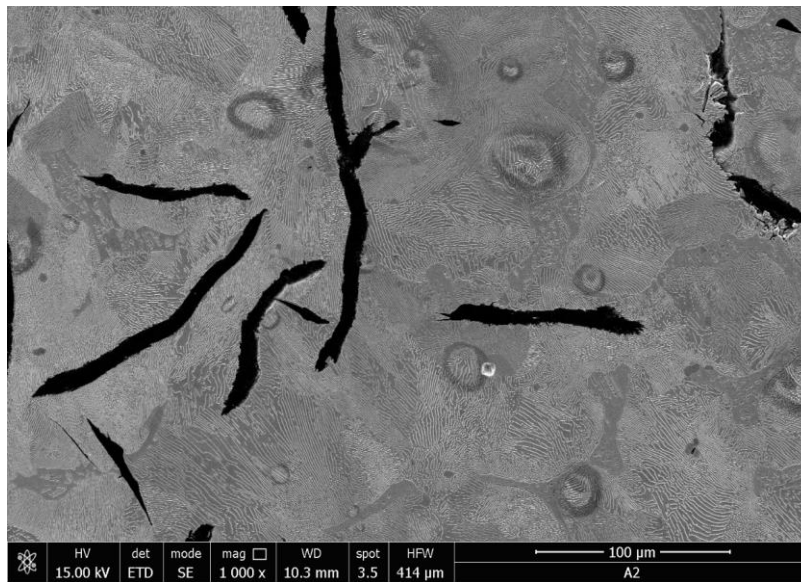


Figura 6.70. Microzona 2 a probei A2, atac nital, 1000x

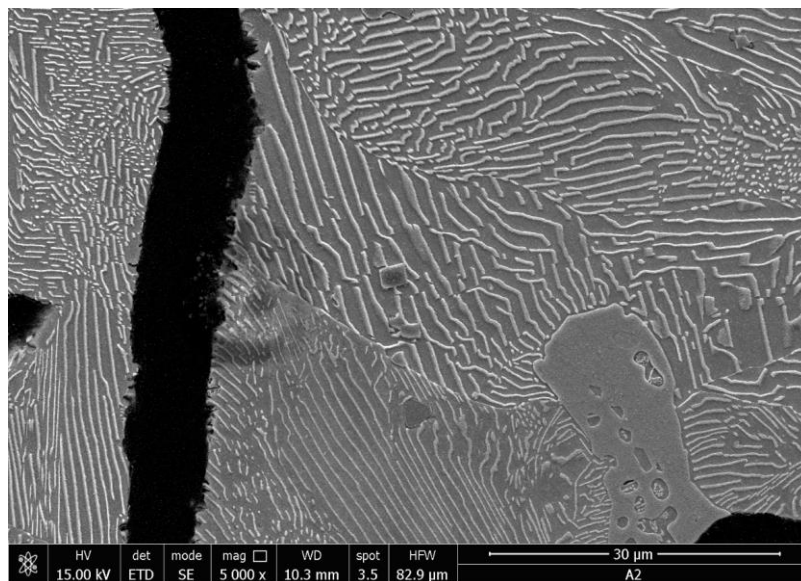


Figura 6.71. Microzona 2 a probei A2, atac nital, 5000x

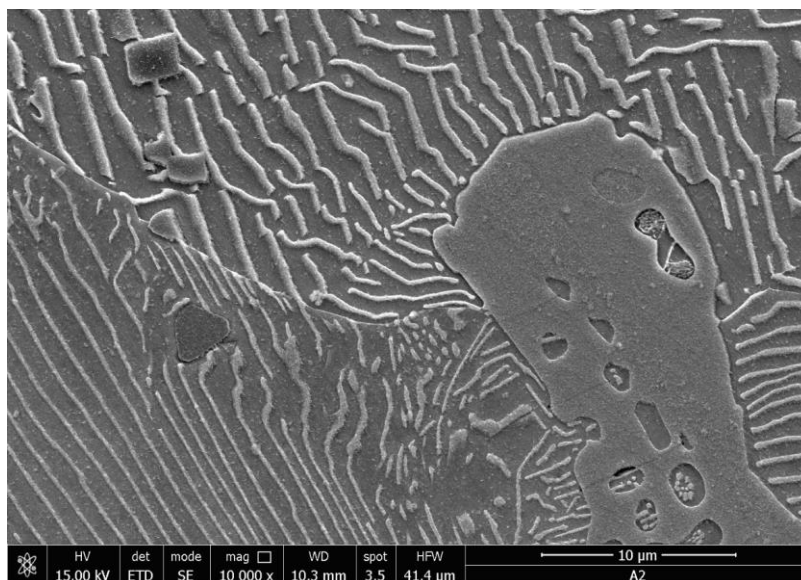


Figura 6.72. Microzona 2 a probei A2, atac nital, 10000x

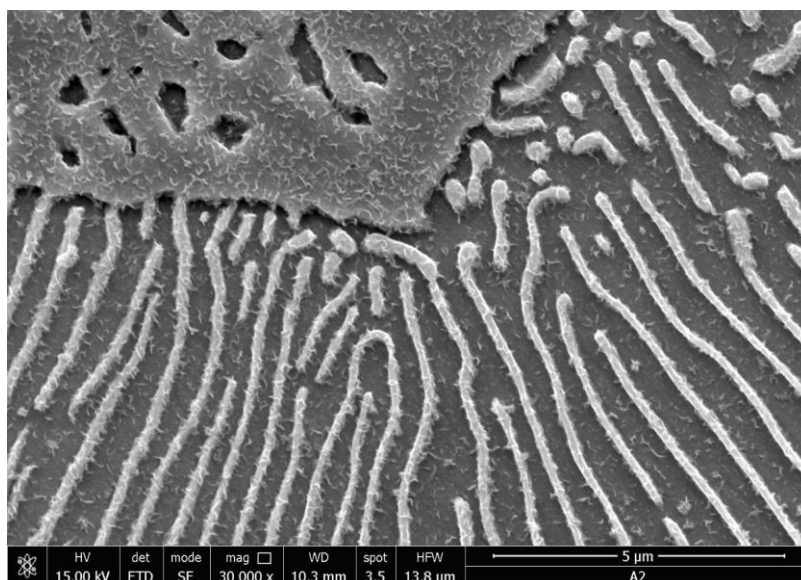


Figura 6.73. Microzona 2 a probei A2, atac nital, 30000x

Analiza microstructurală a probelor atacate cu nital 5%, indică faptul că suprafața ocupată de perlită este cuprinsă între 45-65% (structură etalon P50), iar analiza gradului de dispersie al perlitei indică lamele fine (structură etalon Pi 0,5). Rețeaua de eutectic fosforos este repartizată uniform pentru probele analizate iar proporția de ferită sub formă de insule izolate este sub 5% din suprafața eșantionului.

6.3. Concluzii

Ca urmare a bunelor rezultate obținute în cadrul experimentărilor s-a considerat că este utilă o verificare industrială a acestora. În acest sens, au fost elaborate 2 șarje industriale pe același flux de fabricație. Calitatea încărcăturii a fost similară cu cea utilizată frecvent în practica industrială.

Pornind de la domeniile optime de variație a compoziției chimice a fontei a fost stabilită structura încărcăturii și parametri tehnologici de lucru, ceea ce a condus la obținerea unei fonte cu caracteristici impuse.

De asemenea, a fost efectuată analiza metalografică și microstructurală a probelor prelevate din șarjele experimentale (industriale). Caracterizarea structurii fontei s-a efectuat cu microscopul electronic cu baleaj Quanta FEG 250. Se observă o îmbunătățire a structurii fontei fosforoase cu efecte asupra îmbunătățirii calității saboților de frână.

Rezultatele obținute la șarjele experimentale conduc la valabilitatea cercetărilor experimentale.

CAPITOLUL 7

CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

7.1. Concluzii finale

Analizând literatura de specialitate, simularea turnării și solidificării saboților de frână din fonte de calitate și rezultatele cercetărilor experimentale industriale rezultă următoarele concluzii finale:

Fonta este cel mai utilizat metal turnat în forme și fazele grafitului din fontă se dezvoltă împreună cu matricea metalică în timpul solidificării iar înțelegerea și controlul structurii, densitatea și morfologia acestuia este esențială pentru proprietățile fontei. Elementele chimice existente în componența materialului sabotului influențează diferit cristalizarea, de exemplu, creșterea conținutului de mangan favorizează cristalizarea cementitică, iar creșterea conținutului de siliciu pe cea grafitică.

Influența conținutului de fosfor al fontei din care este confecționat sabotul este importantă, dar nu trebuie ignorată influența celorlalte elemente componente a structurii metalografice asupra coeficientului de frânare și a uzurii.

Fonta fosforoasă tip P10, din care sunt confecționați saboții de frână, prezintă o serie de caracteristici superioare. La saboții de frână din fontă fosforoasă coeficientul de frecare scade cu creșterea vitezei, densitatea materialului este de $7,2\text{kg/dm}^3$ iar viteza maximă admisă a materialului rulant este de până la 140Km/h.

Pentru turnarea saboților de frână destinați materialului rulant motor și remorcat s-a analizat fluxul de elaborare, turnare și formare a acestora la Turnatoria FOREVA din cadrul REVA SA Simeria aceasta fiind organizație cu tradiție în repararea vagoanelor de cale ferată și de producere a saboților de frână. Turnatoria FOREVA Simeria deține autorizații pentru turnarea saboților de frână din fontă fosforoasă pentru materialul rulant motor și remorcat și emite certificate de omologare tehnică feroviară și de examinare precum și certificat de aprobare a Sistemului de Management al Calității (emise de ONFR-AFER).

Sistemul de management al turnătoriei presupune existența procedurilor și instrucțiunilor de lucru care stabilesc metodele de verificare și încercare a calității saboților de frână turnați din fontă fosforoasă, pe tot parcursul procesului tehnologic.

Cercetările industriale pentru turnarea saboților de frână din fontă fosforoasă s-au efectuat la turnătoria FOREVA, aceasta produce saboți de frână pe o linie semiautomată de formare-turnare a pieselor din fontă. Saboții de frână pentru materialul rulant motor și remorcat sunt piese omologate, iar activitățile de furnizare a produselor feroviare la turnătoria FOREVA sunt autorizate de către Autoritatea Feroviară Română.

Datele experimentale au provenit de la 70 de șarje din fontă de calitate superioară – fontă fosforoasă tip P10 – din care s-au turnat saboți frână tip S1/S2/S3/LDH/LDE/LE. Cercetările experimentale și prelucrarea datelor industriale s-au orientat spre fluxul tehnologic de elaborare, formare și turnare a saboților de frână de tip S1 și S2.

La șarjele experimentale structura încărcăturii a avut următoarea componență: 40-65% deșeuri de oțel (fier vechi), 10-30% deșeuri de fontă (deșeuri saboți fontă fosforoasă), 20-50% deșeuri de fontă aliată (material recirculat), 20-30% deșeuri de oțel aliat (material recirculat). În ce privește compoziția chimică, din analiza datelor industriale experimentale se observă o încadrare a acesteia în standardul de produs.

În vederea obținerii intervalelor optime de variație pentru compoziția chimică în funcție de valorile durității determinate pe saboții de frână, datele experimentale industriale au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB.

Din analiza ecuațiilor și a corelațiilor grafice rezultate din programul EXCEL, pentru a obține valori a parametrului de duritate cuprinse între 197-255HB rezultă domeniile optime de variație: C = 2,90-3,20%, Mn = 0,40-0,70%, Si = 1,20-1,90%, S = 0,08-0,09%, P = 0,80-1,05%.

Prelucrarea datelor în programul de calcul MATLAB a condus la obținerea de suprafețe de regresie și curbe de nivel cât și ecuații de corelație specifice care descriu aceste dependențe. Analizându-se apoi individual fiecare suprafață – cu influență specifică a două elemente din compoziția chimică asupra durității, s-au identificat intervale optime de variație ale acestor elemente. Pentru valori a parametrului duritate cuprinse între 197-255HB, din analiza corelațiilor în programul MATLAB rezultă domeniile optime de variație: C = 2,90-3,1%, Mn = 0,45-0,6%, Si = 1,20-1,70%, S = 0,07-0,09%; P = 0,80-1,10%.

Pentru a obține saboți de frână de calitate superioară este necesar ca duritatea acestora să se încadreze în zona superioară a intervalului prevăzut în standardul de produs.

Corelațiile obținute sub formă grafică și analitică au aplicativitate în practica industrială. Pornind de la intervalele optime rezultate, a compoziției chimice a fontei, se determină structura încărcăturii metalice pentru agregatul de elaborare, rezultând astfel o fontă de calitate superioară, respectiv o îmbunătățire a calității saboților de frână.

De asemenea, corelațiile permit, în practica industrială, ca pentru obținerea unor saboți cu o duritate prestabilită să se determine foarte ușor structura încărcăturii pe baza domeniilor optime de variație a compoziției chimice a fontei.

Simularea procesului de solidificare a pieselor turnate are importanță tehnologică, deoarece combină o serie de parametri ai proceselor, respectiv transfer de căldură, transformări de fază, procese de difuzie, variații de volum, procese de curgere, procese de alimentare locală. Procesul de solidificare influențează calitatea pieselor turnate, și anume micro și macrostructura pieselor, compactitatea acestora, rezistența mecanică, precizia dimensională, calitatea suprafețelor.

De asemenea, o influență deosebită asupra solidificării o au factorii constructivi ai piesei turnate (geometrie, dimensiuni, natura aliajului) și factorii tehnologici (temperatura de turnare, natura formei, mod de alimentare sistem de maselotare etc.), ceea ce conduce la necesitatea simulării procesului și comparării rezultatelor obținute cu practica industrială.

Utilizarea softurilor pentru simularea solidificării la nivel industrial a devenit posibilă odată cu dezvoltarea tehnicii de calcul și a condus la obținerea de studii concrete destinate optimizării tehnologiilor de formare și turnare.

În urma simulării procesului de turnare și solidificare a aliajului lichid, rezultă următoarele:

- Posibilitatea anticipării comportamentului aliajului metalic în timpul proceselor tehnologice;
- Optimizarea parametrilor proceselor în funcție de dimensiunile diferitelor repere turnate;
- Obținerea unor domenii optime de variație a parametrilor, cu influență asupra caracteristicilor mecanice și de rezistență;
- Pe baza rezultatelor simulării pot fi selectate variantele tehnologice optime pentru turnare, solidificare, ținându-se seama de condițiile reale din mediul industrial;
- Datele rezultate din simulare sunt similare cu datele înregistrate în practica industrială.

Procesul de solidificare influențează calitatea pieselor turnate, și anume micro și macrostructura pieselor, compactitatea acestora, rezistența mecanică, precizia dimensională, calitatea suprafețelor. De asemenea, o influență deosebită asupra solidificării o au factorii constructivi ai piesei turnate (geometrie, dimensiuni, natura aliajului) și factorii tehnologici (temperatura de turnare, natura formei, mod de alimentare sistem de maselotare etc.), ceea ce conduce la necesitatea simulării procesului și comparării rezultatelor obținute cu practica industrială.

7.2. Contribuții originale

Analizând rezultatele obținute în cadrul cercetărilor și experimentărilor industriale, rezultă următoarele contribuții originale:

1. Analiza și sinteza tehnologiei de elaborare și turnare a saboților de frână din fontă fosforoasă;
2. Determinarea caracteristicilor de calitate a saboților de frână din fontă fosforoasă;
3. Stabilirea modalităților de efectuare experimentală a testelor pe saboții de frână derulate în cadrul tezei de doctorat;
4. Analiza fluxului tehnologic de elaborare, formare și turnare a saboților de frână la FOREVA Simeria;
5. Caracterizarea macro și microstructurală a probelor rezultate din cercetările experimentale industriale;
6. Obținerea ecuațiilor de corelație sub formă grafică și analitică rezultate din prelucrarea datelor experimentale industriale în programele de calcul EXCEL și MATLAB;
7. Obținerea suprafețelor de regresie și a curbelor de nivel ale dependenței durtății sabotului de frână funcție de elementele chimice din compoziția fontei fosforoase;
8. Determinarea domeniilor optime de variație a parametrilor tehnologici analizați;
9. Realizarea modelului 3D a sabotului de frână, tip S1, turnat din fontă, utilizându-se softul SolidWorks;
10. Realizarea modelului 3D a ansamblului saboților în forma de turnare, utilizându-se softul SolidWorks;
11. Realizarea propriu-zisă a simulării procesului de turnare și solidificare a saboților, utilizându-se softul Altair-InspireCast;
12. Datele rezultate din simulare sunt similare cu datele înregistrate în practica industrială.
13. Selectarea variantelor tehnologice optime pentru turnarea și solidificarea saboților de frână ținându-se seama de rezultatele obținute prin simulare și de condițiile reale din mediul industrial;
14. Verificarea industrială a rezultatelor obținute;
15. Caracterizarea morfologică și compozițională a probelor experimentale din fontă fosforoasă prelevate din practica industrială.

7.3. Direcții de continuare a cercetărilor

- Creșterea gradului de pregătire a încărcăturii metalice destinate elaborării fontei fosforoase;

- Reducerea consumurilor specifice de metal și energie pe fluxul tehnologic de fabricație a saboților de frână;

- Creșterea duratei de exploatare a saboților de frână;

- Extinderea cercetărilor privind obținerea saboților de frână din material compozit, având în vedere normativele europene cu privire la reducerea zgomotului pe calea ferată.

DISEMINAREA REZULTATELOR

1. Lucrări științifice publicate în reviste indexate Web of Science-WoS (ISI)

1. **F. Bucur**, V. Putan, A. Socalici, A. Josan, “Research on the influence of chemical composition on the hardness of cast iron”, *U.P.B. Sci. Bull., Series B*, Vol. 81, Iss. 3, pp.150-156, 2019, FI 0,5 (WOS:000487215400015)
2. **F. Bucur**, L. Pascu, C. Birtok Baneasa, A. Budiul Berghian, A. Socalici, “Research on the production of composite materials for brake shoes”, *U.P.B. Sci. Bull., Series B*, Vol. 84, Iss. 1, pp.227-236, 2022, FI 0,5 (WOS:000487215400015)
3. **F. Bucur**, A. Socalici, A. Budiul Berghian, C. Birtok Baneasa, L. Pascu, “The tribology of composite materials used for manufacturing brake shoes”, *MATERIALE PLASTICE*, 59(3), 2022, pp.13-20, IF 0,782 (WOS:000487215400015), FI 0,8

2. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate Web of Science-WoS (ISI) Proceedings

1. **F. Bucur**, A. Socalici, A. Josan, V. Putan, “Research regarding the hardness of cast iron”, *International Conference on Applied Sciences ICAS 2019*, Journal of Physics: Conference Series 1426, 012049, 2020, (WOS:000649150700049).
2. O. Lupu, A. Socalici, **F. Bucur**, E. Ardelean, “Capitalization possibilities of small ferrous and pulverous waste in the iron production industry”, *International Conference on Applied Sciences ICAS 2019*, Journal of Physics: Conference Series 1426, 012051, 2020, (WOS:000649150700051).

3. Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate BDI (cu specificarea BDI)

1. **F. Bucur**, Research on the Factors Influencing the Quality of Phosphorous Cast Irons, *Acta Technica Corvinensis - Bulletin of Engineering*, Vol. 12 Issue 1, pp.35-38, Jan-Mar 2019, (ProQuest, Google Scholars, EBSCO).
2. **F. Bucur**, L. Pascu, A. Socalici, M. Ardelean, Wear test of brake clogs materials, *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING*, Vol. 19 Issue 4, pp.71-73, November 2021, (ProQuest, Google Scholars, EBSCO).

4. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate BDI (cu specificarea BDI)

1. **F. Bucur**, A. Josan, A. Socalici, O. Gaianu, “Manufacturing of the process of obtaining brake shoes cast from phosphor cast iron”, *International Conference on Applied Sciences ICAS 2020*, Hunedoara, Journal of Physics: Conference Series 1781(1), 012056, 2021, (SCOPUS).

5. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice internaționale (Proceedings) din străinătate

1. **F. Bucur**, A. Socalici, A. Josan, V. Putan and C. Birtok Baneasă, Simulation of the casting and solidification process of the brake blocks intended for rolling stock, *International Conference Applied Science ICAS 2023*, 24-27 Mai 2023, Hunedoara, Romania.

6. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice

1. C. Pacurar, **F. Bucur**, Monitorizarea factorilor de mediu într-o uzina siderurgică, in *Simpozionul Științific Studentesc HD 48 STUD*, Secțiunea Studii Doctorale, Mai 2018, Hunedoara.

2. **F. Bucur**, Optimizarea structurii încărcăturii metalice la elaborarea fontelor, in *Simpozionul Științific Studentesc HD 49 STUD*, Secțiunea Studii Doctorale, Mai 2019, Hunedoara
3. **F. Bucur**, L., Pascu, Posibilități de reducere a poluării fonice generată de transportul feroviar, in *Simpozionul Științific Studentesc HD 50 STUD*, Secțiunea Studii Doctorale, Mai 2020, Hunedoara.
4. **F. Bucur**, [Simularea procesului de solidificare a saboților de frâna din fontă fosforoasă](#), in *Simpozionul Științific Studentesc HD 51 STUD*, Secțiunea Studii Doctorale, Mai 2020, Hunedoara.
5. **F. Bucur**, Z. Trisovic, Calitatea saboților de frână destinați materialului rulant, *Simpozionul Științific Studentesc HD 53 STUD*, Secțiunea Studii Doctorale, Mai 2023, Hunedoara.

7. Premii

1. **F. Bucur**, Diplomă de Excelență, Fontă de înaltă calitate utilizată în sistemele de frânare a materialului rulant, *Salonul Internațional al Cercetării Științifice, Inovării și Inventicii PROINVENT 2020*, Cluj Napoca, 2020.
2. **F. Bucur**, A., Socalici, A., Josan, V., Putan, M., Radu, Diplomă și medalie de aur, High quality cast iron used in rolling stock braking systems, *International Exhibition INVENTCOR 2020*, Deva 2020
3. M., Radu, R., Bucevschi, **F., Bucur**, Diplomă și medalie de argint, The influence of steel intake on the reduction of hydrogen content, *International Exhibition INVENTCOR 2020*, Deva 2020
4. **F., Bucur**, A., Socalici, A., Josan, V., Putan, M., Diplomă de Excelență, High quality cast iron used in rolling stock braking systems, *Salonul Internațional de Invenții și Inovații TRAIAN VUIA 2020*, Timișoara, 2020
5. **F., Bucur**, Diplomă și medalie de aur, Îmbunătățirea structurii de turnare a fontelor destinate fabricării saboților de frână, *Innovation and Creative Education Fair for Youth ICE-USV 2021*, Suceava, 2021.
6. **F., Bucur**, L. Pascu, A. Socalici, Diplomă de Excelență, The tribology of composite materials used for brake shoes manufacturing, *International Exhibition of Inventions INVENTICA 2021*, Iași, 2021
7. **F. Bucur**, A. Socalici, V. Putan, A. Josan, M. Ardelean, Medalie de Aur, Simularea solidificării saboților de frână din fontă fosforoasă, *International Exhibition INVENTCOR 2021*, Deva 2021
8. **F. Bucur**, L. Pascu, A Socalici, Medalie de argint, The tribology of composite materials used for brake shoes manufacturing, *International Specialized Exhibition INFOINVENT 2021*, Chișinău, Republica Moldova, 2021
9. **F. Bucur**, L. Pascu, A Socalici, Diplomă de Excelență, The tribology of composite materials used for brake shoes manufacturing, *International Specialized Exhibition PROINVENT 2021*, Cluj Napoca, 2021
10. **F. Bucur**, L. Pascu, A Socalici, Diplomă de Excelență, High quality cast iron used in rolling stock braking systems, *European Exhibition Creativity and Innovation EUROINVENT 2022*, Iași, 2022
11. **F Bucur**, A Socalici, Medalie de Aur, High quality cast iron used in rolling stock braking systems, *International Exhibition IDEA 2022*, Szolnok, Ungaria, 2022
12. **F. Bucur**, Medalie de Aur, Influence of the chemical composition on the hardness of the brake shoes of the railway rolling stock, *Youth International Science Fair YISF 2022*, Semarang, Indonezia 2022
13. **F. Bucur**, Medalie de bronz, Influence of the chemical composition on the hardness of the brake shoes of the railway rolling stock, *World Youth Invention and Innovation Award WYIIA 2022*, Yogyakarta, Indonezia 2022

14. **F. Bucur**, Medalie de bronz, Influence of the chemical composition on the hardness of the brake shoes of the railway rolling stock, *World Invention Competition and Exhibitopn WICE 2022*, Damansara, Malaysia 2022
15. **F. Bucur**, Medalie de Aur, Influence of the chemical composition on the hardness of the brake shoes of the railway rolling stock, *World Science Environment and Engineering Competition WSEEC 2022*, Semarang, Indonezia 2022
16. **F. Bucur**, Diplomă de excelență, Cast iron used in rolling stock braking systems, *The International Exhibition of Research, Innovations and Inventions PROINVENT 2022*, Cluj Napoca, Romania, 2022
17. **F. Bucur**, Diplomă Justin Capră, Cast iron used in rolling stock braking systems, *The International Exhibition of Research, Innovations and Inventions PROINVENT 2022*, Cluj Napoca, Romania, 2022
18. **F. Bucur**, Diplomă de excelență, Cast iron used in rolling stock braking systems, *The International Inventica*, Cluj Napoca, Romania, 2022
19. **F. Bucur**, Special Prize – Diploma AGIR Hunedoara Branch, Cast iron used in rolling stock braking systems, *International Exhibition INVENTCOR 2022*, Deva, Romania, 2022
20. **F. Bucur**, Diplomă și medalie de aur, Cast iron used in rolling stock braking systems, *International Exhibition INVENTCOR 2022*, Deva, Romania, 2022
21. **F. Bucur**, Diplomă de excelență Justin Capra, Cast iron used in rolling stock braking systems, *International Exhibition INVENTCOR 2022*, Deva, Romania, 2022
22. **F. Bucur**, Diplomă și medalie de aur, Simulation of casting and solidification of brake shoes from phosphorus cast iron, Salonul Internațional INVENTICA 2023, 21-23 Iunie 2023, Iasi, Romania
23. **F. Bucur**, Diplomă și medalie de argint, Simulation of casting and solidification of brake shoes from phosphorus cast iron, la Salonul Internațional Traian Vuia 2023, 15-17 iunie 2023, Timișoara, Romania
24. **F. Bucur**, Diplomă și medalie de aur, Simulation of casting and solidification of brake shoes from phosphorus cast iron, Innovation and Creative Education Fair for Youth ICE-USV, Iulie 2023, Suceava, Romania
25. **F. Bucur**, A. Socalici, V. Putan, A. Josan, M. Ardelean, Diplomă și medalie de aur, Simulation of casting and solidification of brake shoes from phosphorus cast iron, ARAU International Creativity Exhibition ACE 2023, August 2023, Perlis, Malaysia

BIBLIOGRAFIE

1. M. Stoica, Frânarea trenurilor, Ed. ASAB, București, 2002
2. M. Stoica, Frâne moderne tip KE pentru vagoanele de marfă, Ed. ASAB, București, 2003
3. *** UIC 832 – Technical specification for the supply of brake-shoes made from phosphoric iron for tractive and trailing stock, 2004
4. *** Union Internationale des Chemins de fer (2010) UIC Leaflet 541-4, Brakes—brakes with composite brake blocks—general conditions for certification of composite brake blocks, 4th edn. Union Internationale des Chemins de fer, Paris
5. L. Pascu, Researches on Improving the Quality of Brake Shoes Meant for Use with the Rolling Stock, PhD thesis, Politehnica Timisoara, Romania, 2015
6. *** Caiet de sarcini, Nr.1/SFMR/SDT/2000, Saboți de frână pentru material rulant motor și remorcat
7. A. Aloman, ș.a., Tratat de știința și ingineria materialelor metalice, vol.I, Ed. AGIR 2006.
8. A. Josan, Tehnologia formării și turnării aliajelor, Ed. Politehnica, Timișoara, 2002
9. A. Josan, Tehnologii de formare și turnare a pieselor metalice. Aplicații practice, Ed. Politehnica, Timișoara, 2020
10. I. Ripoșan, M. Chișamera, L. Sofroni, Tratat de Știință și Ingineria Materialelor, vol.3, Editura Agir, 2009
11. <https://www.giessereilexikon.com/en/foundry-lexicon/Encyclopedia/show/phosphorous-eutectic-4335/>
12. <https://images.slideplayer.com/12/3514010/>
13. W. L. Guesser, I. Masiero, Thermal Conductivity of Gray Iron and Compacted Graphite Iron Used for Cylinder Heads, Revista Materia, 10(2), 265 -72, 2005
14. M.I. Boulifa, A. Hadji, Effect of Alloying Elements on the Structure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Irons, Metallurgical Research & Technology, 112, 404, 2015
15. M.H. Cho, S.J. Kim, D. Kim, H. Jang, Effects of ingredients on tribological characteristics of a brake lining: an experimental case study, Wear 258(11), pp.1682–1687, 2005
16. M. Chișamera, I. Ripoșan, L. Sofroni, S. Stan, Tratat de Știința și Ingineria Materialelor, vol.4, Editura Agir, 2010
17. S. Hiratsuka, H. Horie, T. Kowata, S.H. Lee, C.O. Choi, Effect of Rare Earth Elements and Sulfur on Microstructure and Chilling Tendency in Flake Graphite Cast Iron, International Journal of Cast Metals Research, Vol.16, pp.113-117, 2003
18. V. Cojocaru-Filipiuc, Fonte. Obținere, Editura Samia, Iași 2002
19. I.V. Anton, C. Militaru, E.M. Stefan, N. Ivan, M. Chisamera, I. Ripoșan - Wall Thickness-Solidification Features Correlation of Ductile Iron Castings under Mould Type Influence. UPB Sci. Bull., Series B, Volume 71, No. 4, pp. 115-126, 2009
20. E. Weiss, G. Fedorko, P. Futas, A. Pribulova, I. Vasocva, Dependence of quality properties for greyiron on used raw materials. Metalurgija, 48(1), pp.43-45, 2009
21. <https://revasimeria.ro/>
22. <http://revasimeria.ro/turnatoria-foreva>
23. I. Călugărescu, E. Pretorian, D. Tilea, I. Langa, E. Opreșenescu, M. Radoi, Mașini și utilaje vagoane, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1985
24. <http://rulantgrup.ro/produse/instalatia-de-frana/saboti/>
25. *** STAS 109 – 86 Frâne pentru vagoane de cale ferată cu ecartament normal
26. *** Fișa UIC 542 – O Piese de frână și desenele de execuție întocmite de Serviciul Documentație Tehnică, aprobate de Autoritatea Feroviară Română, Societatea Națională de Transport Feroviar de Călători și Societatea Națională de Transport Feroviar de Marfă
27. *** SR EN ISO 8062-1:2007 Specificațiile geometrice ale produselor (GPS). Toleranțe dimensionale și geometrice pentru piesele turnate, Partea 1: Vocabular

28. *** SR EN ISO 8062-3:2007/AC 2009 Specificațiile geometrice ale produselor (GPS). Toleranțe dimensionale și geometrice pentru piesele turnate, Partea 3: Toleranțe geometrice și dimensionale generale și adaosuri de prelucrare pentru piese turnate
29. **F. Bucur**, Z. Trisovic, Calitatea saboților de frână destinați materialului rulant, Simpozionul Științific Studentesc HD 53 STUD, Secțiunea Studii Doctorale, Mai 2023, Hunedoara
30. *** SR EN ISO 945-1:2009/AC2010 Microstructure of cast irons - Part 1: Graphite classification by visual analysis
31. *** SR ISO 2859-1:2009 Proceduri de eșantionare pentru inspecția prin atribute. Partea 1: Scheme de eșantionare indexate după nivelul de calitate acceptabil (AQL) pentru inspecția lot cu lot
32. *** SR EN ISO 6506-1:2014 Metallic materials. Brinell hardness test Test method
33. *** SR ISO 7438:2005 Materiale metalice. Încercarea la îndoire
34. **F. Bucur**, A. Josan, A. Socalici, O. Gaianu, "Management of the process of obtaining brake shoes cast from phosphor cast iron", International Conference on Applied Sciences ICAS 2020, Hunedoara, Journal of Physics: Conference Series 1781(1), 012056, 2021.
35. **F. Bucur**, Optimizarea structurii încărcăturii metalice la elaborarea fontelor, in Simpozionul Științific Studentesc HD 49 STUD, Secțiunea Studii Doctorale, Mai 2019, Hunedoara
36. C. Ștefănescu, Îndrumătorul proiectantului de tehnologii în turnătorii, Vol. I, Vol. II, București, E.D.P., 1983
37. V. Cojocar, C. Filipiu, Pregătirea încărcăturii pentru elaborarea fontei in cuptoare cu inducție, Editura Samia, Iasi, 2006
38. **F. Bucur**, V. Putan, A. Socalici, A. Josan, "Research on the influence of chemical composition on the hardness of cast iron", U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 81, Iss. 3, pp.150-156, 2019, FI 0,5 (WOS:00048721540001)
39. **F. Bucur**, Research on the Factors Influencing the Quality of Phosphorous Cast Irons, Acta Technica Corvininensis - Bulletin of Engineering, Vol. 12 Issue 1, pp.35-38, Jan-Mar 2019, (ProQuest, Google Scholars, EBSCO).
40. **F. Bucur**, A. Socalici, A. Josan, V. Putan, "Research regarding the hardness of cast iron", International Conference on Applied Sciences ICAS 2019, Journal of Physics: Conference Series 1426, 012049, 2020, (WOS:000649150700049).
41. O. Lupu, A. Socalici, **F. Bucur**, E. Ardelean, "Capitalization possibilities of small ferrous and pulverous waste in the iron production industry", International Conference on Applied Sciences ICAS 2019, Journal of Physics: Conference Series 1426, 012051, 2020, (WOS:000649150700051)
42. L. Pascu, A. Socalici, E. Popa, E. Crisan, Influence of chemical composition on hardness of brake blocks for rolling stock, 12th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, Mathematical Methods in Economics and Engineering, Rhodes, Greece, 22-28 September 2014
43. **F. Bucur**, L. Pascu, C. Birtok Baneasa, A. Budiul Berghian, A. Socalici, "Research on the production of composite materials for brake shoes", U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 84, Iss. 1, pp.227-236, 2022, FI 0,5 (WOS:000487215400015)
44. C. Pacurar, **F. Bucur**, Monitorizarea factorilor de mediu într-o uzina siderurgică, in Simpozionul Științific Studentesc HD 48 STUD, Secțiunea Studii Doctorale, Mai 2018, Hunedoara.
45. I. Ciobanu, I.S. Munteanu, A. Crișan, V. Monescu, T. Bedo, Modelarea Simularea și Optimizarea Solidificării Pieselor turnate, Editura Universității Transilvania din Brașov, Brașov, 2012
46. I. Ciobanu, I.S. Munteanu, A. Crișan, V. Monescu, Simularea 3D a solidificării pieselor turnate, Editura Universității Transilvania din Brașov, Brașov, 2010

47. I. Ciobanu, I.S. Munteanu, A. Crișan, M. Mașniță, A. Nengis, F. Stroe, Verificarea experimentală a unui soft destinat simulării solidificării pieselor turnate, *Revista de turnătorie*, nr.1-2, pp. 14-17, 2008
48. S. Caprioli, A. Ekberg, Numerical evaluation of the material response of a railway wheel under thermomechanical braking conditions, *Wear* 314(1), pp.181–188, 2014
49. www.catia.ro
50. www.cadworks.ro
51. www.autodesk.com
52. <https://solidedge.siemens.com>
53. <https://proengineer.com>
54. <https://altair.com>
55. M. Petereson, Two-dimensional finite element simulation of the thermal problem at railway block braking. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, 216, pp. 259–27, 2002
56. M.S. Walia, T. Vernersson, R. Lundén, F. Blennow, M. Meinel, Temperatures and wear at railway tread braking: Field experiments and simulations. *Wear* 440–441, 203086, 2019
57. A. Soma, M. Aimar, N. Zampieri, Simulation of the Thermal Behavior of Cast Iron Brake Block during Braking Maneuvers, *Appl. Sci.* 11, 5010, 2021
58. **F. Bucur**, A. Socalici, A. Josan, V. Putan, C. Birtok Baneasă, Simulation of the casting and solidification process of the brake blocks intended for rolling stock, *International Conference Applied Science ICAS 2023*, 24-27 Mai 2023, Hunedoara, Romania
59. **F. Bucur**, Simularea procesului de solidificare a saboților de frâna din fontă fosforoasă, in *Simpozionul Științific Studentesc HD 51 STUD*, Secțiunea Studii Doctorale, Mai 2020, Hunedoara.
60. **F. Bucur**, L. Pascu, Posibilități de reducere a poluării fonice generată de transportul feroviar, in *Simpozionul Științific Studentesc HD 50 STUD*, Secțiunea Studii Doctorale, Mai 2020, Hunedoara.
61. **F. Bucur**, L. Pascu, A. Socalici, M. Ardelean, Wear test of brake clogs materials, *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING*, Vol. 19 Issue 4, pp.71-73, November 2021, (ProQuest, Google Scholars, EBSCO)
62. **F. Bucur**, A. Socalici, A. Budiul Berghian, C. Birtok Baneasa, L. Pascu, “The tribology of composite materials used for manufacturing brake shoes”, *MATERIALE PLASTICE*, 59(3), 2022, pp.13-20, IF 0,782 (WOS:000487215400015), FI 0,8
63. *** Agenția Europeană a Căilor Ferate, Ghid pentru aplicarea STI WAG în conformitate cu mandatul-cadru C(2007)3371
64. V. Simut, M. Stoica, *Frânarea materialului rulant de cale ferată*, Ed. ASAB, București, 2014
65. V.L. Mazur, V.L. Naidek, Y.S. Popov, Comparison of cast-iron and composite brake pads with cast-iron inserts for rolling stock of railways, *Met. lit'e Ukr.*, 29(2), pp. 30-39, 2021
66. M.I. Boulifa, A. Hadji, Effect of Alloying Elements on the Structure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Irons, *Metallurgical Research & Technology*, 112, 404, 2015
67. M. Fall, F. Niang, O. Hubert, M. B. Ndiaye, Metallurgical Analysis of Brake Blocks, *Open Journal of Metal*, 7, pp. 1-8, 2017
68. www.icer.ro
69. A. M. Gorka, Germinarea și creșterea grafitului în fonte, *Teză de doctorat*, Universitatea Transilvania Brașov, 2019
70. K. Fang, *Atlas of the Morphology and Microstructure of the Graphite in Cast Iron*, Science Publ.Co. of China, 2000

ANEXE

Anexe la capitolul 2

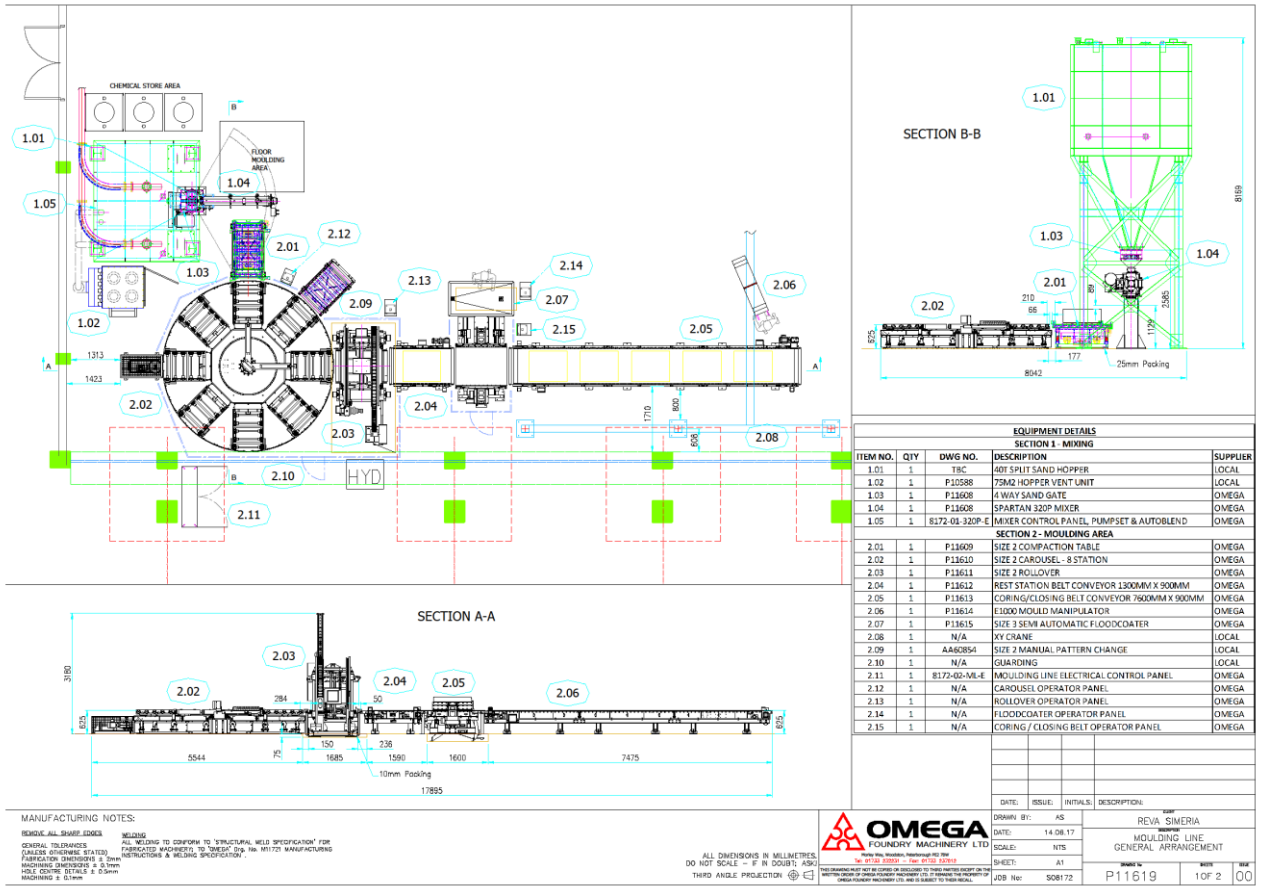


Figura 2.1.A desenele de execuție a instalației Omega SO8172

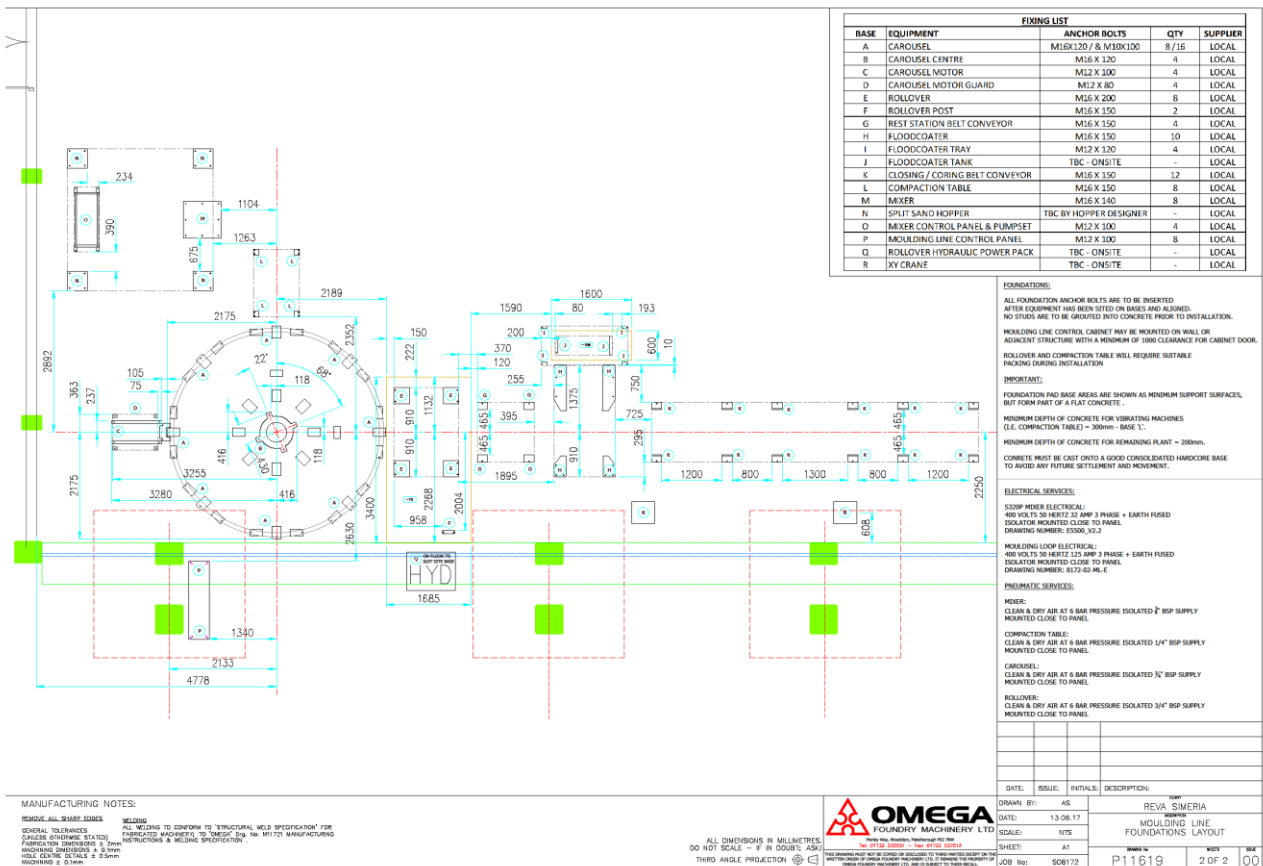


Figura 2.2.A desenele de execuție a instalației Omega SO8172



a. aspect acceptabil



b. aspect acceptabil



c. aspect acceptabil



d. aspect inacceptabil

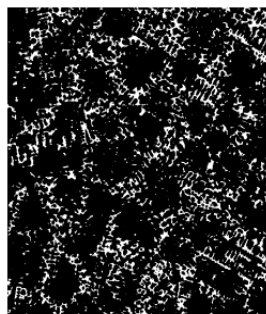
Figura 2.3.A aspectul grafitului fără atac 100x



Figura 2.4.A Proportia de ferită după atacul nital, 200x - 5%ferită



Figura 2.5.A Zonă de ferită cu grosimea medie maximă 0,3 mm și grosime maximă locală 0,5 mm, atac nital - 50x



20x



100x

Figura 2.6.A Eutectic fosforos după atacul nital

Anexe la capitolul 3

Tabelul 3.1.A. Structura încărcăturii metalice a șarjelor experimentale

Nr. șarjă	Fier vechi [kg]	Deșeu fontă [kg]	Deșeu saboți [kg]	Deșeu intern [kg]	Mat. carb. [kg]	FeSi [kg]	FeMn [kg]	FeP [kg]	Mat. zg. [kg]
1	0	1700	1000	0	125	30	0	80	10
2	0	3000	500	1200	100	30	0	95	10
3	0	1000	0	450	35	10	0	30	5
4	0	4500	0	600	125	35	0	100	10
5	0	1000	600	0	50	10	0	25	4
6	0	3000	500	1000	100	30	0	75	10
7	0	0	1500	100	25	6	0	15	4
8	0	2500	0	0	50	15	0	60	10
9	0	3000	1000	1000	50	20	0	75	10
10	0	0	1000	100	10	5	0	10	4
11	0	0	900	60	8	5	0	7	4
12	0	900	0	200	15	8	0	15	4
13	0	900	0	60	10	4	0	8	4
14	0	0	960	0	8	4	0	10	4
15	0	0	840	0	10	5	0	10	4
16	600	0	0	500	35	15	0	20	4
17	600	0	100	600	35	15	0	20	4
18	800	0	0	500	35	15	0	20	4
19	800	0	0	300	35	15	0	25	4
20	700	0	0	500	40	15	0	25	4
21	700	0	0	400	35	15	0	25	4
22	900	0	0	660	45	20	0	25	4
23	800	0	0	300	35	15	0	25	4
24	600	0	400	200	35	15	0	20	4
25	0	600	300	200	25	10	0	15	4
26	0	600	300	200	25	10	0	15	4
27	300	3500	1000	1200	75	15	0	100	10
28	200	700	300	200	25	10	0	20	4
29	700	0	300	100	35	15	0	25	4
30	700	200	300	0	40	15	0	25	4
31	100	700	200	280	15	6	0	20	4
32	0	5300	0	1000	230	90	0	165	10
33	500	300	200	260	35	8	0	20	4
34	700	0	400	250	30	10	0	25	4
35	2400	1800	0	800	150	45	0	110	10
36	1100	0	0	100	40	15	0	30	4
37	4500	1000	0	800	200	45	0	120	10
38	750	250	0	200	25	7	0	23	4
39	1800	0	0	0	50	20	0	35	4
40	400	0	600	300	25	10	0	20	4
41	500	0	400	250	30	10	0	25	4

42	550	0	550	200	35	15	0	20	4
43	600	0	500	120	35	15	0	20	4
44	700	0	400	200	40	20	0	25	4
45	800	0	300	300	35	15	0	25	4
46	800	0	300	220	35	15	0	20	4
47	800	0	0	420	35	15	0	20	4
48	1000	0	0	200	35	15	0	20	4
49	1000	0	0	320	40	15	0	25	4
50	600	0	400	320	35	10	0	20	4
51	600	0	400	200	35	10	0	20	4
52	3500	0	1000	200	175	100	0	110	10
53	3700	0	1000	1500	150	65	0	70	10
54	800	0	300	250	40	15	0	20	4
55	800	0	900	250	40	15	0	20	4
56	800	0	300	300	40	15	0	25	4
57	800	0	200	300	40	15	0	20	4
58	1000	0	0	300	40	15	0	25	4
59	1000	0	0	300	40	15	0	25	4
60	1000	0	0	320	45	15	0	25	4
61	700	0	300	200	40	15	0	20	4
62	700	0	300	320	40	15	0	20	4
63	700	0	300	320	40	15	0	20	4
64	700	0	300	320	40	15	0	20	4
65	700	0	300	320	40	15	0	20	4
66	900	0	100	300	40	20	0	25	4
67	800	0	300	220	50	15	0	25	4
68	800	0	300	220	40	15	0	25	4
69	1000	0	0	360	45	25	0	35	4
70	1100	0	0	280	45	25	0	35	4

Tabelul 3.2.A. Analiză compozițională

Nr. șarjă	Compoziția chimică, [%]					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
1	3,05	1,92	0,50	1,08	0,077	0,121
2	3,13	1,81	0,54	0,93	0,084	0,135
3	2,99	1,55	0,48	0,85	0,101	0,150
4	3,08	1,29	0,58	0,86	0,047	0,204
5	3,02	1,40	0,46	0,90	0,061	0,147
6	3,20	1,45	0,45	0,95	0,052	0,141
7	3,04	1,34	0,54	0,82	0,080	0,179
8	3,12	1,67	0,52	0,95	0,083	0,146
9	3,19	1,66	0,52	0,81	0,120	0,127
10	3,06	1,55	0,51	1,01	0,069	0,127
11	3,05	1,53	0,51	1,09	0,064	0,132
12	2,98	1,55	0,45	0,84	0,083	0,171
13	3,00	1,42	0,46	0,89	0,067	0,136

Teză de doctorat

14	2,99	1,51	0,48	0,85	0,079	0,144
15	2,97	1,59	0,49	0,92	0,071	0,130
16	3,08	1,42	0,58	0,95	0,037	0,139
17	3,13	1,79	0,55	0,94	0,660	0,139
18	2,92	1,45	0,62	0,88	0,035	0,100
19	3,04	1,32	0,53	0,94	0,039	0,096
20	3,28	1,32	0,53	1,02	0,440	0,098
21	3,10	1,48	0,58	0,92	0,028	0,105
22	2,90	1,64	0,63	0,94	0,030	0,120
23	3,14	1,38	0,71	0,81	0,027	0,119
24	3,13	1,51	0,65	1,00	0,069	0,106
25	3,07	1,94	0,60	0,86	0,071	0,165
26	3,19	1,90	0,63	0,83	0,063	0,143
27	3,21	1,89	0,54	0,87	0,079	0,202
28	3,10	1,89	0,55	0,82	0,091	0,214
29	3,13	1,33	0,62	0,94	0,060	0,141
30	3,11	1,33	0,60	0,93	0,054	0,138
31	3,05	1,67	0,55	0,81	0,046	0,135
32	3,24	1,42	0,61	0,92	0,024	0,160
33	3,23	1,87	0,66	0,82	0,030	0,166
34	2,97	1,74	0,70	0,87	0,028	0,185
35	3,01	1,68	0,58	0,95	0,041	0,140
36	3,24	1,32	0,61	1,00	0,027	0,114
37	3,04	1,46	0,56	1,02	0,038	0,144
38	3,00	1,20	0,58	0,89	0,029	0,157
39	3,11	1,54	0,60	0,98	0,044	0,121
40	3,12	1,41	0,58	0,92	0,051	0,124
41	2,93	1,45	0,58	0,93	0,044	0,122
42	3,22	1,5	0,64	0,89	0,045	0,101
43	3,05	1,35	0,61	0,90	0,065	0,097
44	3,13	1,55	0,52	1,08	0,068	0,140
45	2,95	1,51	0,59	1,02	0,04	0,119
46	2,91	1,36	0,56	1,02	0,040	0,130
47	3,16	1,37	0,61	0,93	0,036	0,099
48	3,20	1,50	0,63	1,05	0,038	0,094
49	2,95	1,75	0,66	0,99	0,025	0,123
50	3,03	1,38	0,59	0,86	0,048	0,216
51	3,15	1,53	0,56	0,88	0,038	0,144
52	3,25	1,80	0,59	1,03	0,063	0,142
53	3,28	1,78	0,55	0,86	0,050	0,134
54	3,04	1,35	0,60	0,99	0,041	0,128
55	2,98	1,58	0,62	0,96	0,043	0,125
56	3,07	1,42	0,61	0,88	0,030	0,131
57	3,06	1,39	0,60	0,89	0,030	0,130
58	2,93	1,35	0,61	0,82	0,023	0,146

59	2,91	1,34	0,62	0,81	0,031	0,162
60	3,17	1,28	0,65	0,83	0,023	0,137
61	3,12	1,46	0,58	0,97	0,031	0,146
62	3,03	1,51	0,64	0,93	0,038	0,113
63	3,20	1,57	0,58	1,05	0,026	0,147
64	3,30	1,28	0,56	0,94	0,043	0,125
65	3,10	1,41	0,57	0,93	0,032	0,134
66	3,01	1,22	0,63	0,80	0,024	0,143
67	2,96	1,30	0,67	0,90	0,025	0,121
68	3,09	1,20	0,58	0,97	0,030	0,132
69	3,14	1,72	0,63	1,05	0,023	0,145
70	3,16	1,72	0,64	0,87	0,027	0,141

Tabelul 3.3.A. Probele de duritate ale șarjelor analizate

Nr. șarjă	HB				
	Capete sabot		Secțiune sabot		
	H_s	H_d	H_{ss}	H_{sc}	H_{sd}
1	245	250	239	210	242
2	197	198	199	187	207
3	224	229	219	200	223
4	235	230	219	198	230
5	236	231	229	207	226
6	236	224	221	201	235
7	214	232	211	197	225
8	229	223	218	197	221
9	207	207	197	189	201
10	230	229	216	197	229
11	239	231	229	205	229
12	228	229	224	201	215
13	244	237	222	214	230
14	229	229	229	207	234
15	217	224	219	205	229
16	213	217	222	204	219
17	229	226	230	215	235
18	223	231	237	218	230
19	209	217	213	201	215
20	218	216	231	219	234
21	222	218	225	207	217
22	226	222	226	213	229
23	231	223	223	212	226
24	239	235	229	213	228
25	232	234	224	200	232
26	202	209	202	170	214
27	217	221	222	201	218

Teză de doctorat

28	234	231	229	209	230
29	237	255	245	230	255
30	235	241	229	229	237
31	223	223	225	201	219
32	250	248	244	200	240
33	223	218	218	197	217
34	240	248	244	229	249
35	244	237	232	214	236
36	242	255	229	210	237
37	255	248	210	199	229
38	255	255	248	219	249
39	229	229	219	201	222
40	235	234	231	202	235
41	242	242	235	212	242
42	226	217	211	198	224
43	242	237	236	229	236
44	248	239	229	219	232
45	221	226	218	198	229
46	226	231	231	209	231
47	207	207	212	201	213
48	201	201	209	188	203
49	210	212	219	197	226
50	215	221	213	198	213
51	234	231	229	213	228
52	211	201	211	176	215
53	213	223	219	203	225
54	225	229	231	212	229
55	201	207	210	179	203
56	222	231	229	200	231
57	215	226	229	204	231
58	240	234	228	205	229
59	230	237	225	197	229
60	217	214	219	198	221
61	236	223	222	200	225
62	210	212	212	192	221
63	200	200	198	184	192
64	200	210	207	176	207
65	215	221	224	200	223
66	219	202	212	197	211
67	225	221	218	185	225
68	235	232	228	201	234
69	229	218	221	201	229
70	223	221	223	203	229

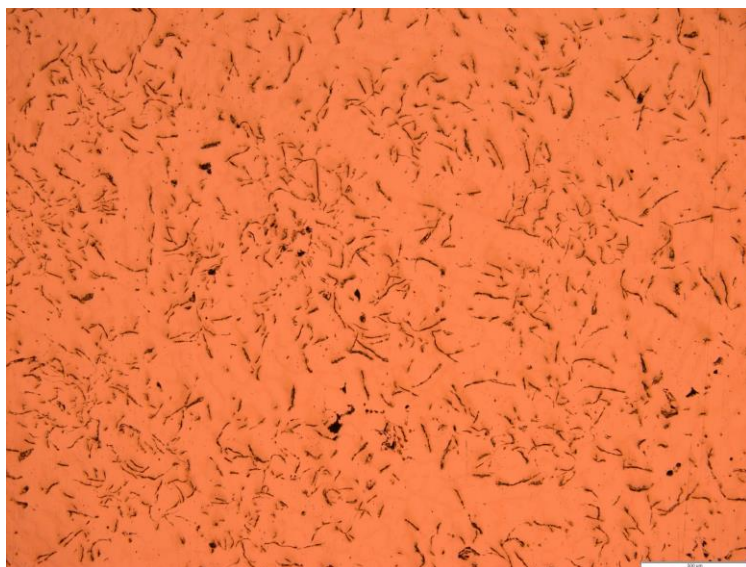


Figura 3.1.A Microstructură proba A1, x100



Figura 3.2.A Microstructură proba A1, x200

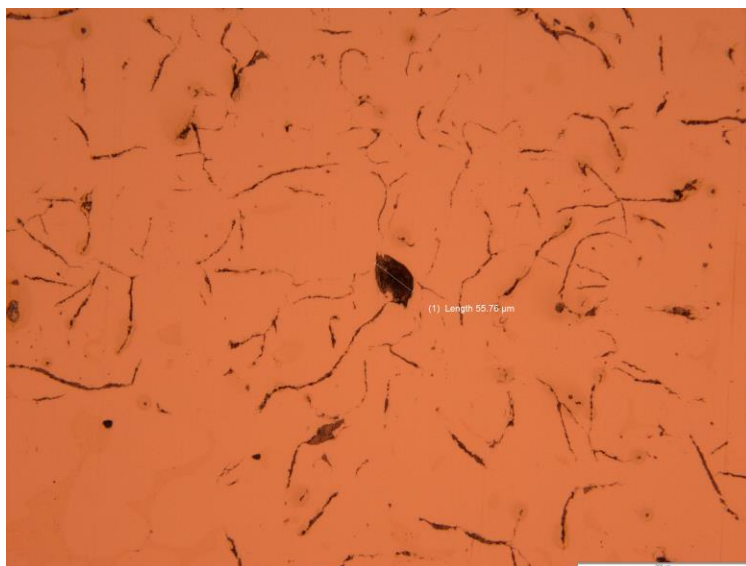


Figura 3.3.A Microstructură proba A1, x300

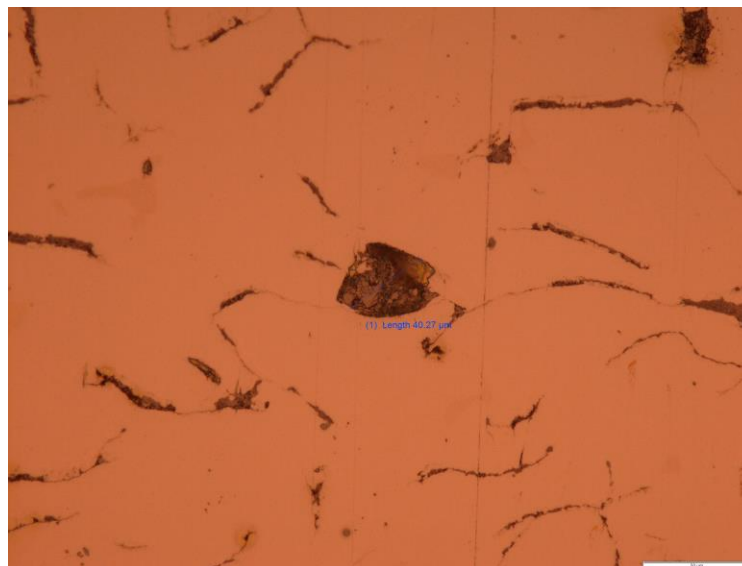


Figura 3.4.A Microstructură proba A1, 500x

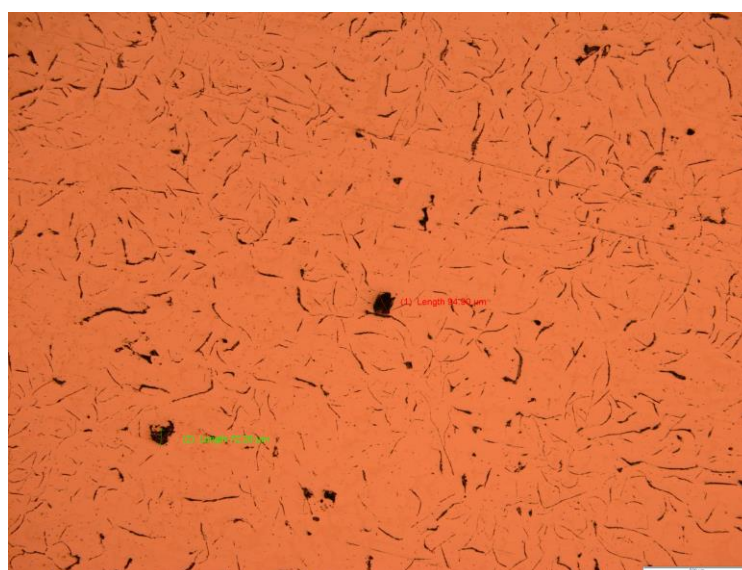


Figura 3.5.A Microstructură proba A2, 100x

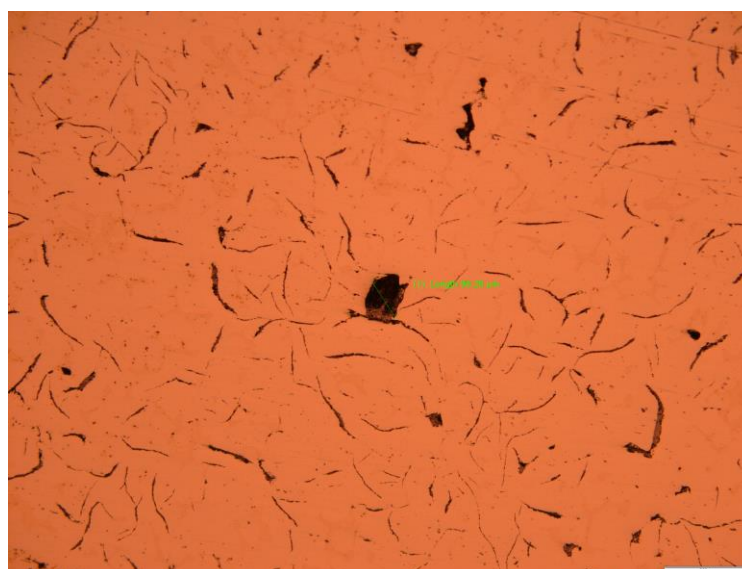


Figura 3.6.A Microstructură proba A2, 200x

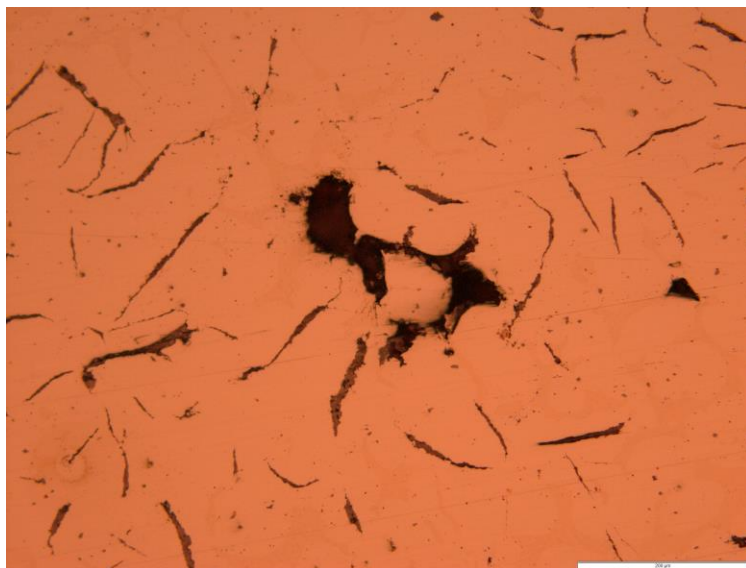


Figura 3.7.A Microstructură proba A2, 300x

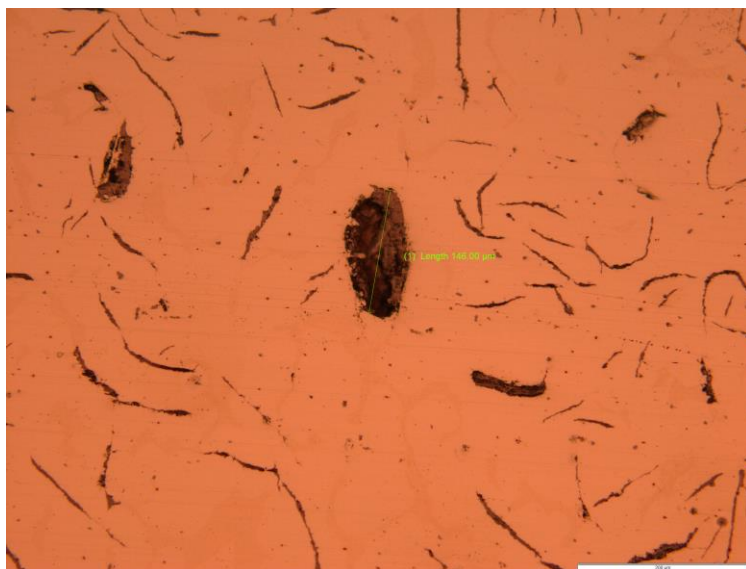


Figura 3.8.A Microstructură proba A2, 300x

Anexe la capitolul 4

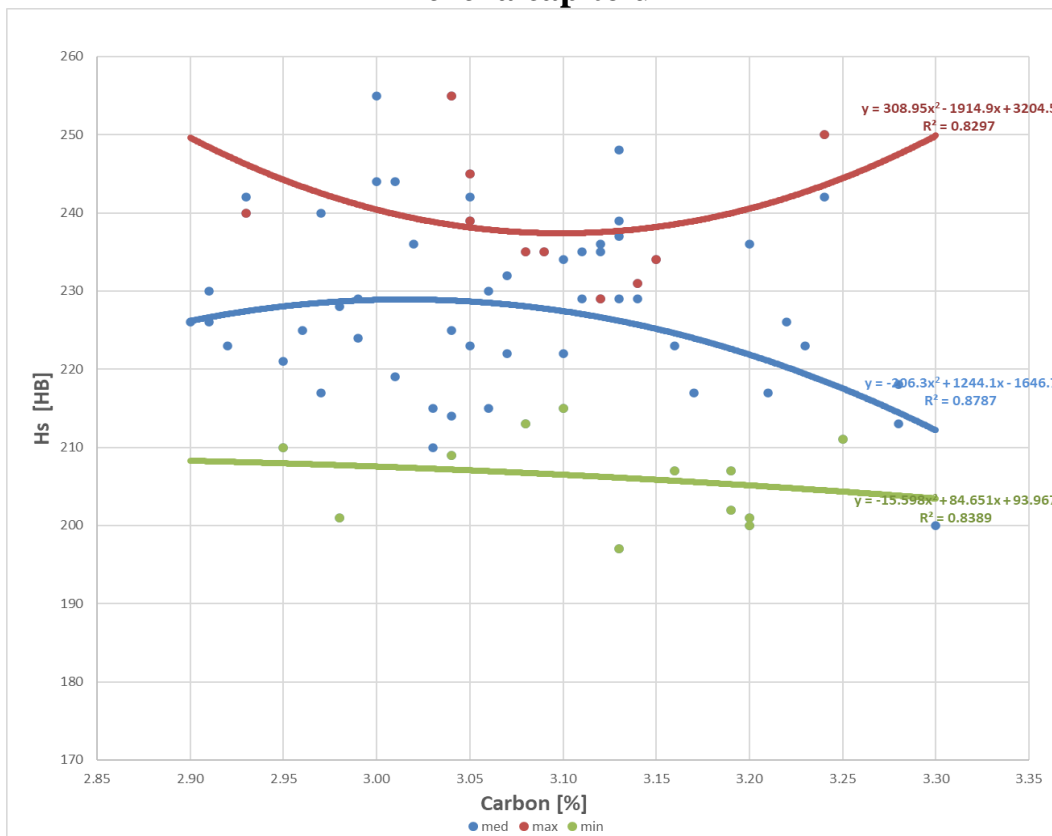


Figura 4.1.A Hs=f(C)

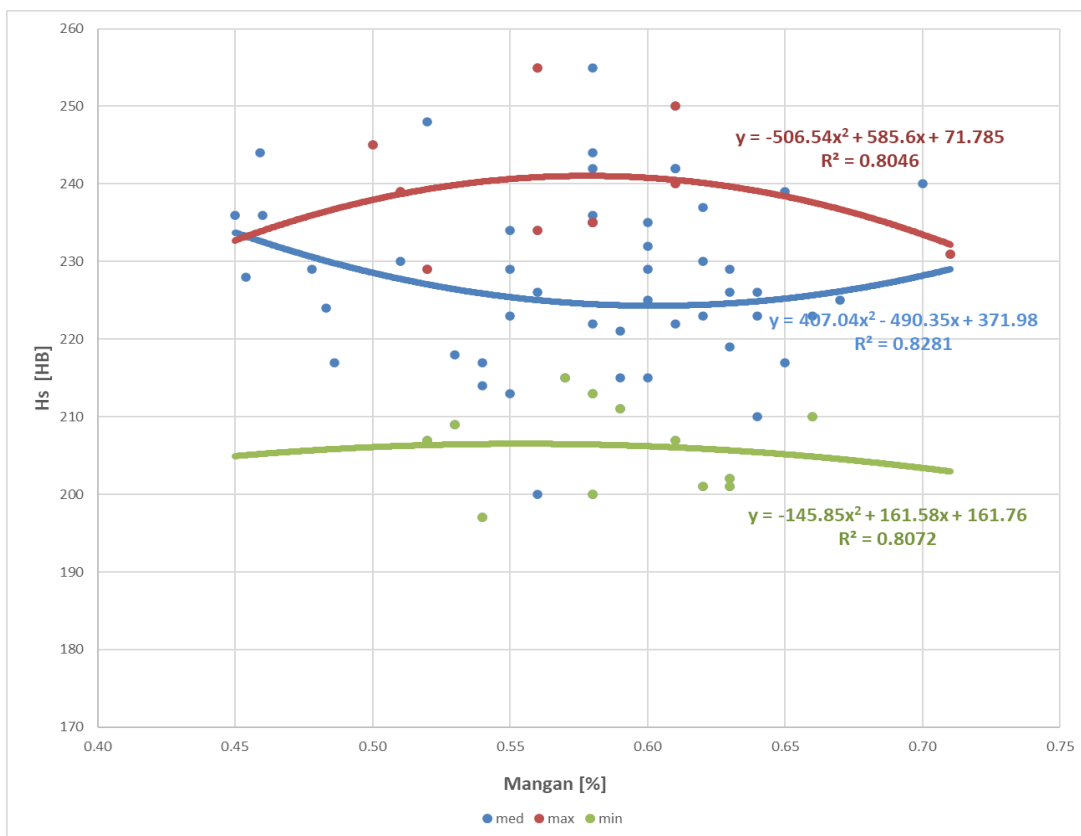


Figura 4.2.A Hs=f(Mn)

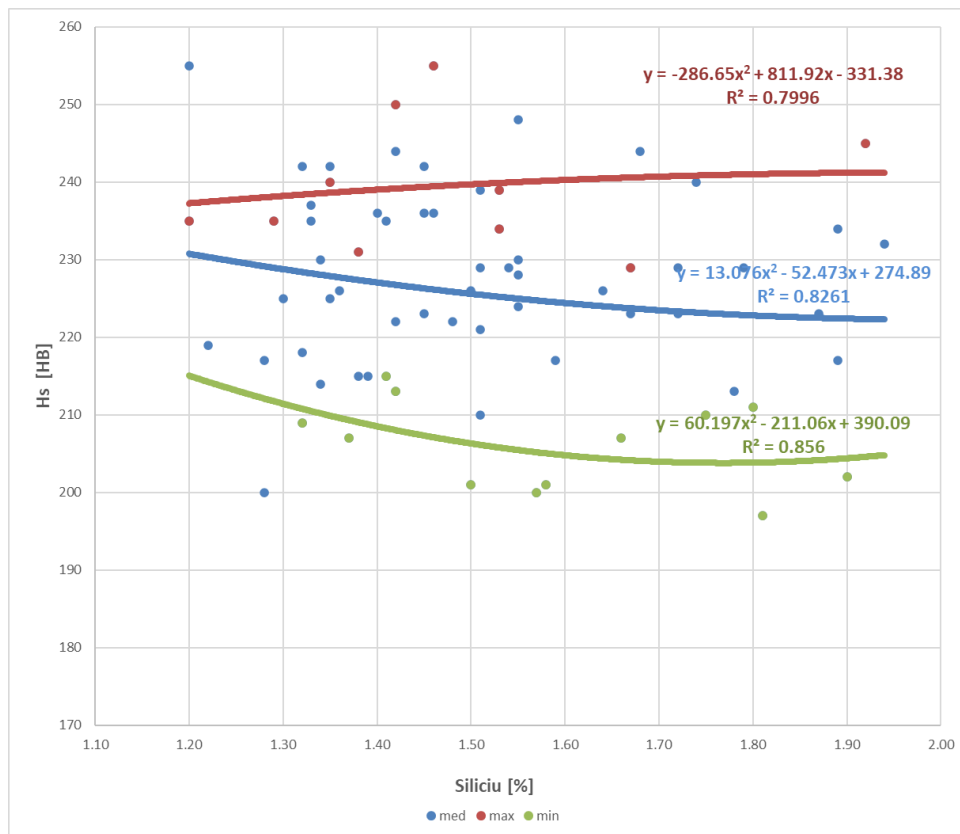


Figura 4.3.A. Hs=f(Si)

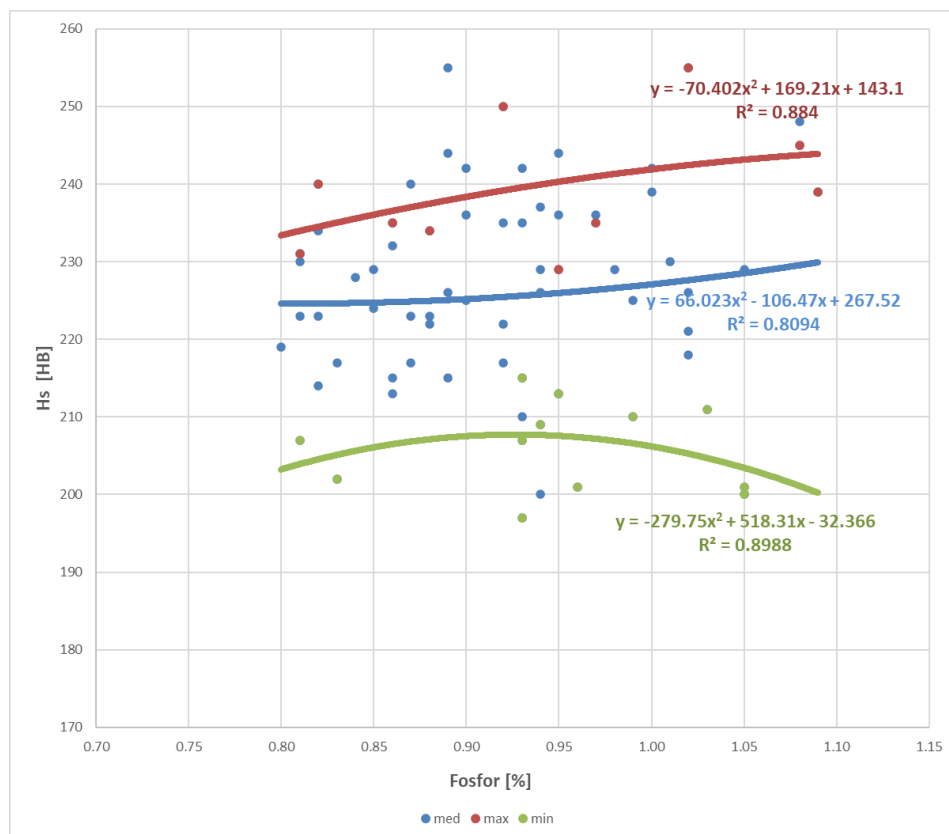


Figura 4.4.A. Hs=f(P)

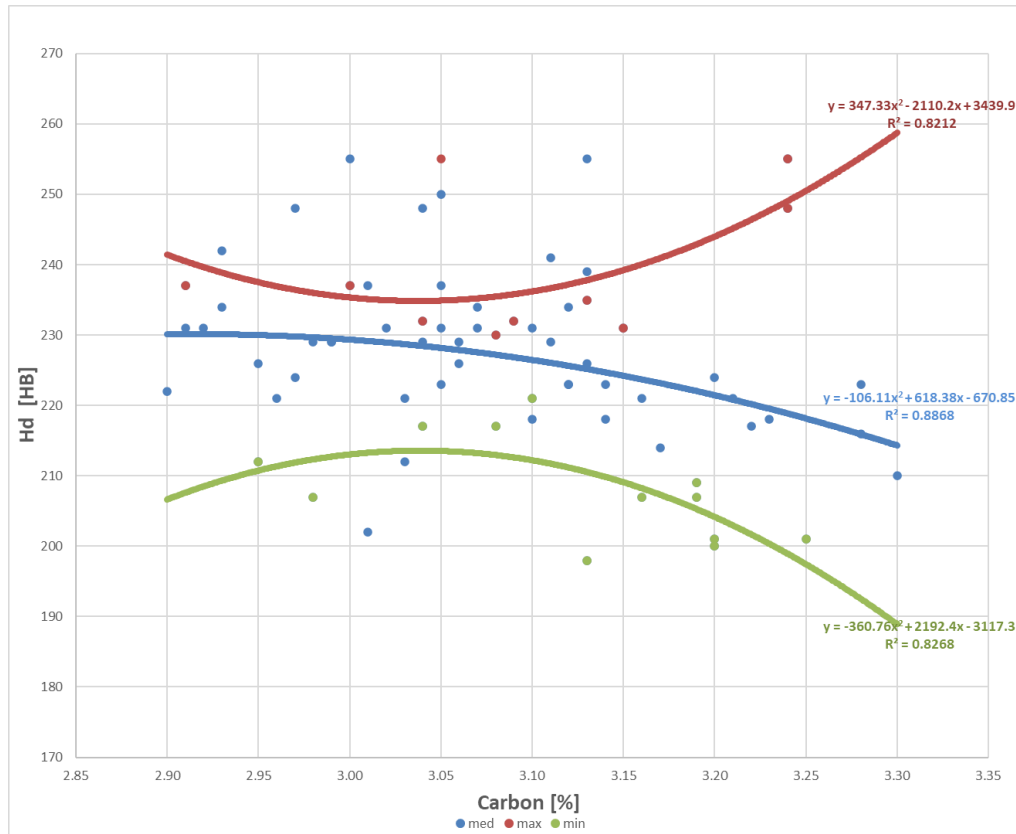


Figura 4.5.A. Hd=f(C)

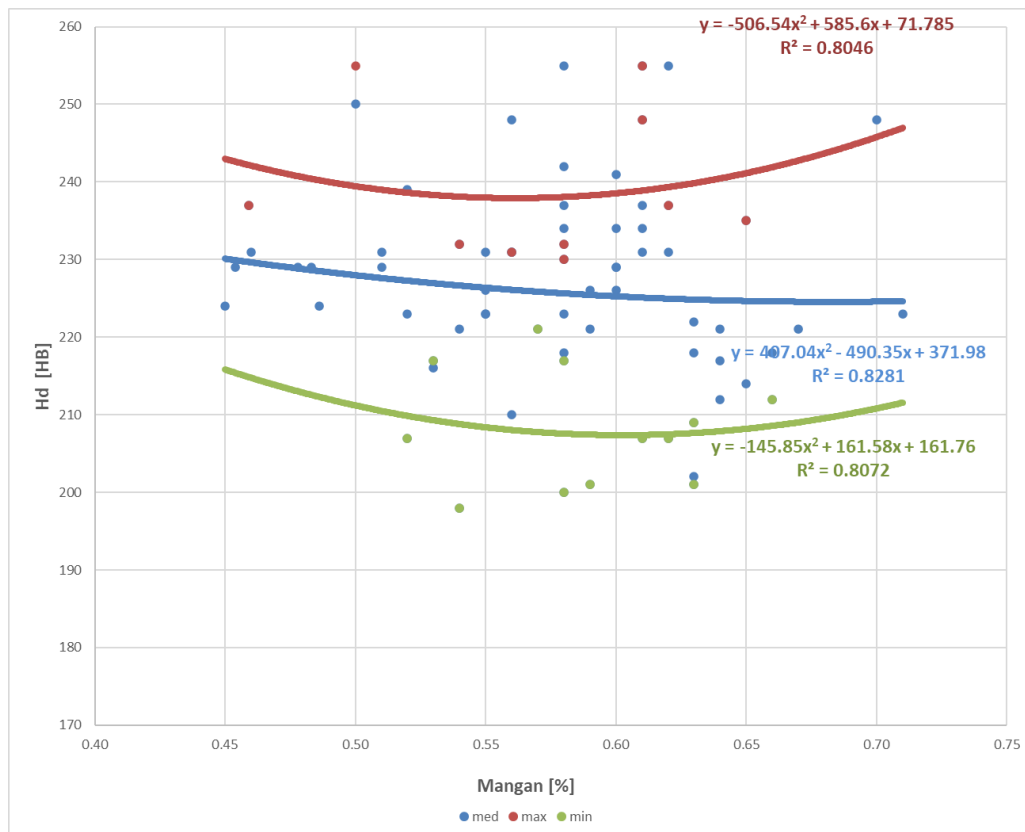


Figura 4.6.A. Hd=f(Mn)

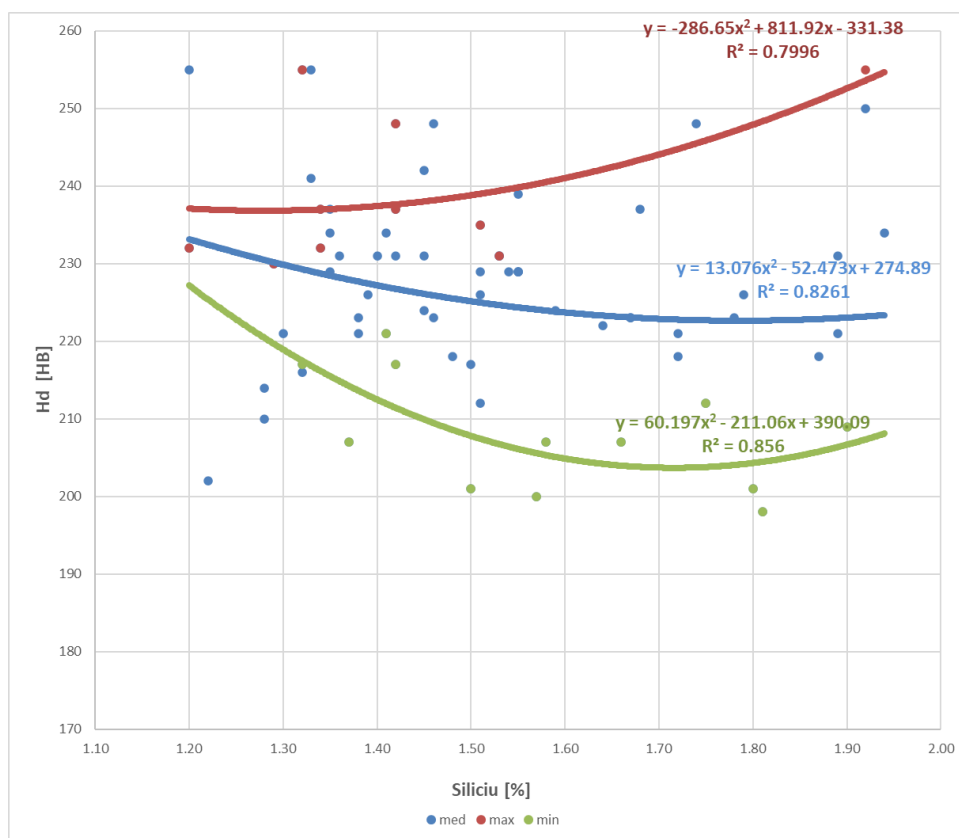


Figura 4.7.A. Hd=f(Si)

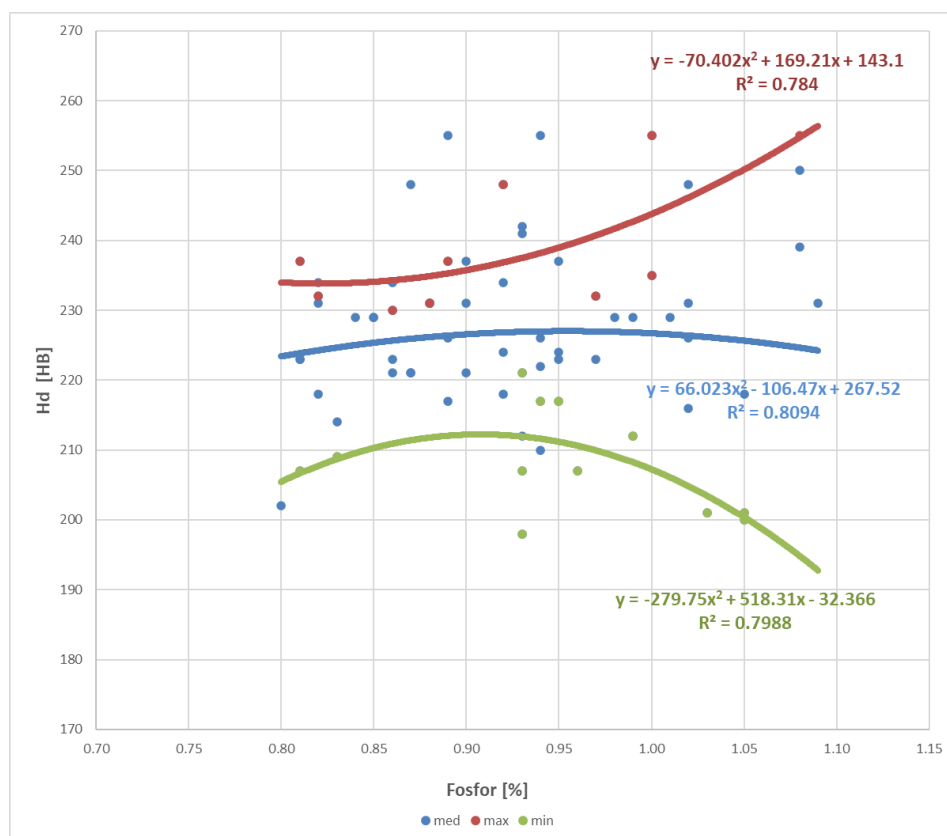


Figura 4.8.A. Hd=f(P)

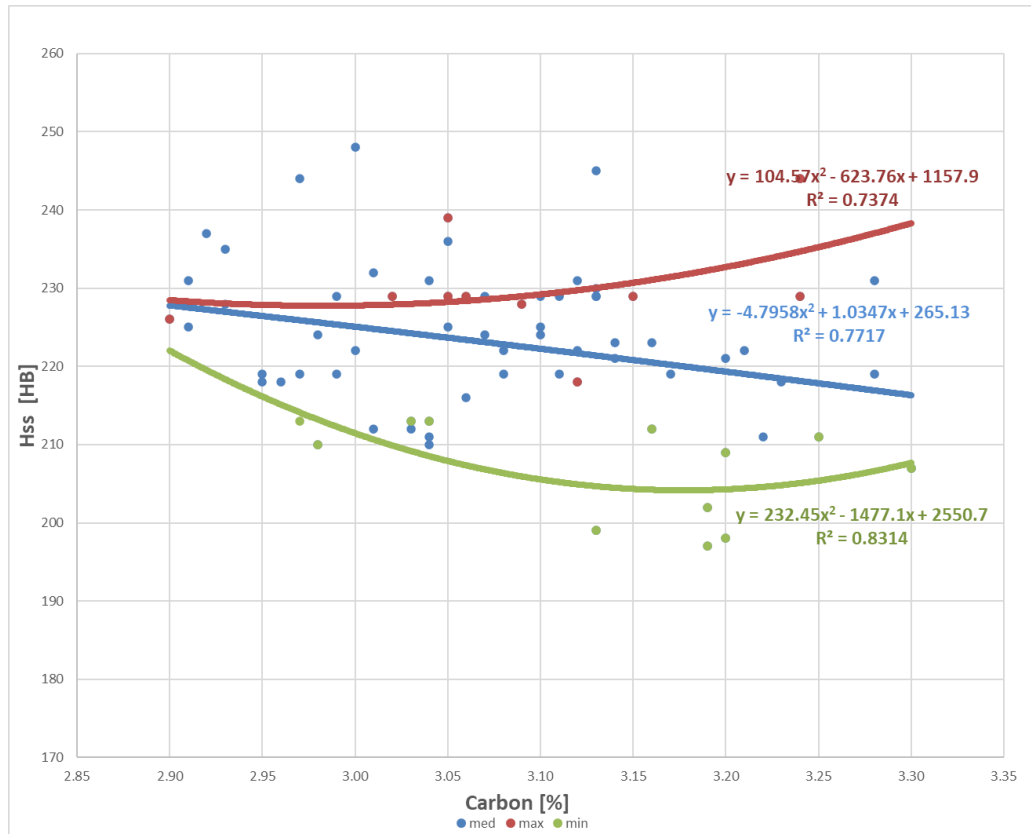


Figura 4.9.A. Hss=f(C)

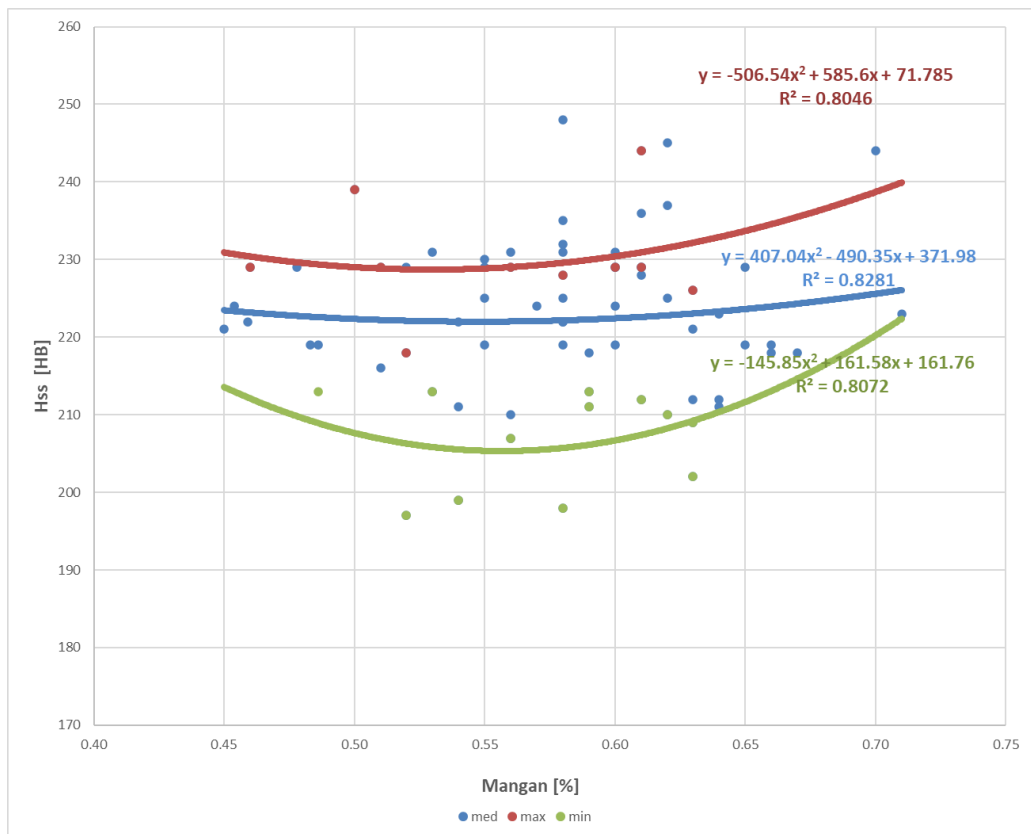


Figura 4.10.A. Hss=f(Mn)

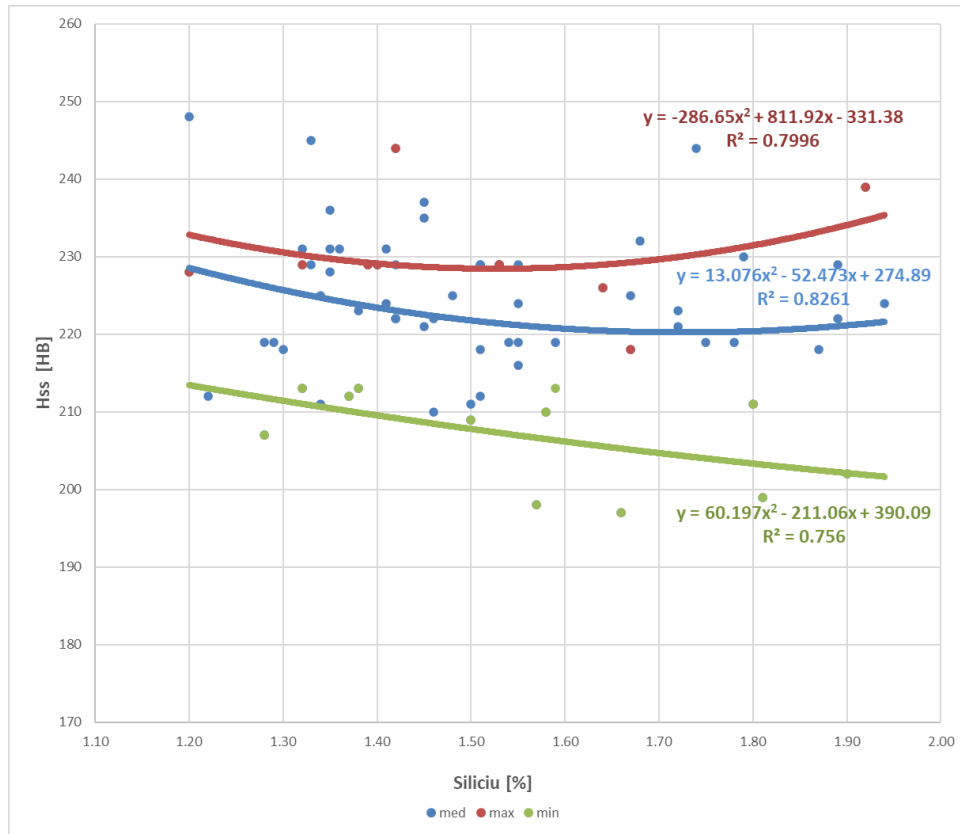


Figura 4.11.A. Hss=f(Si)

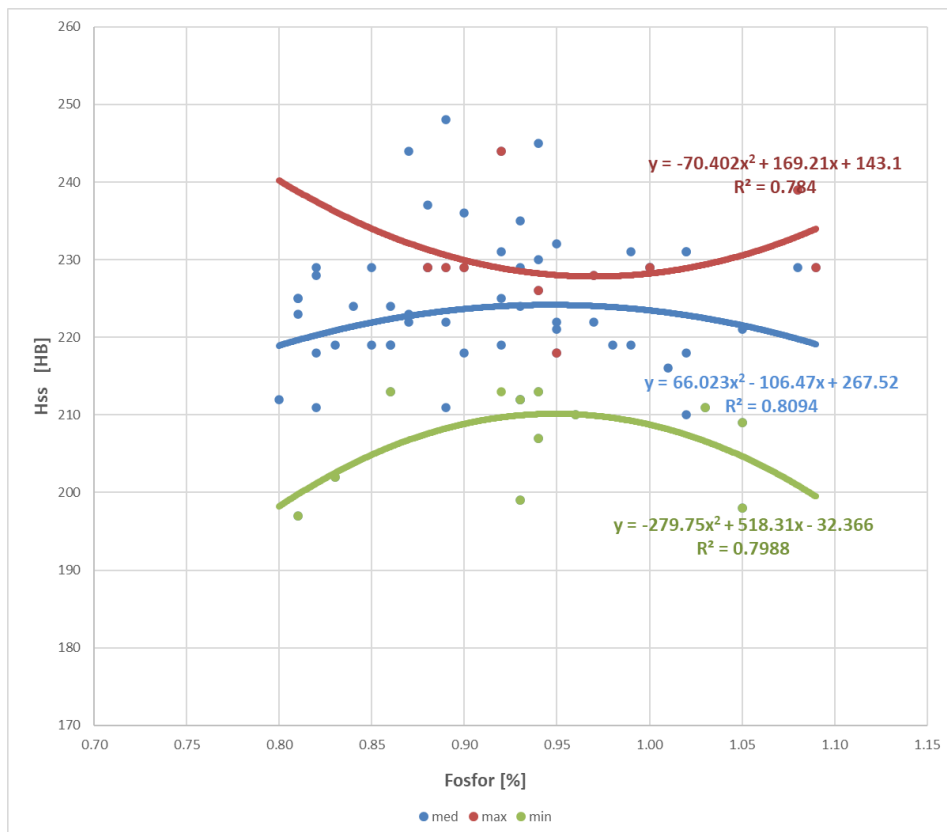


Figura 4.12.A. Hss=f(P)

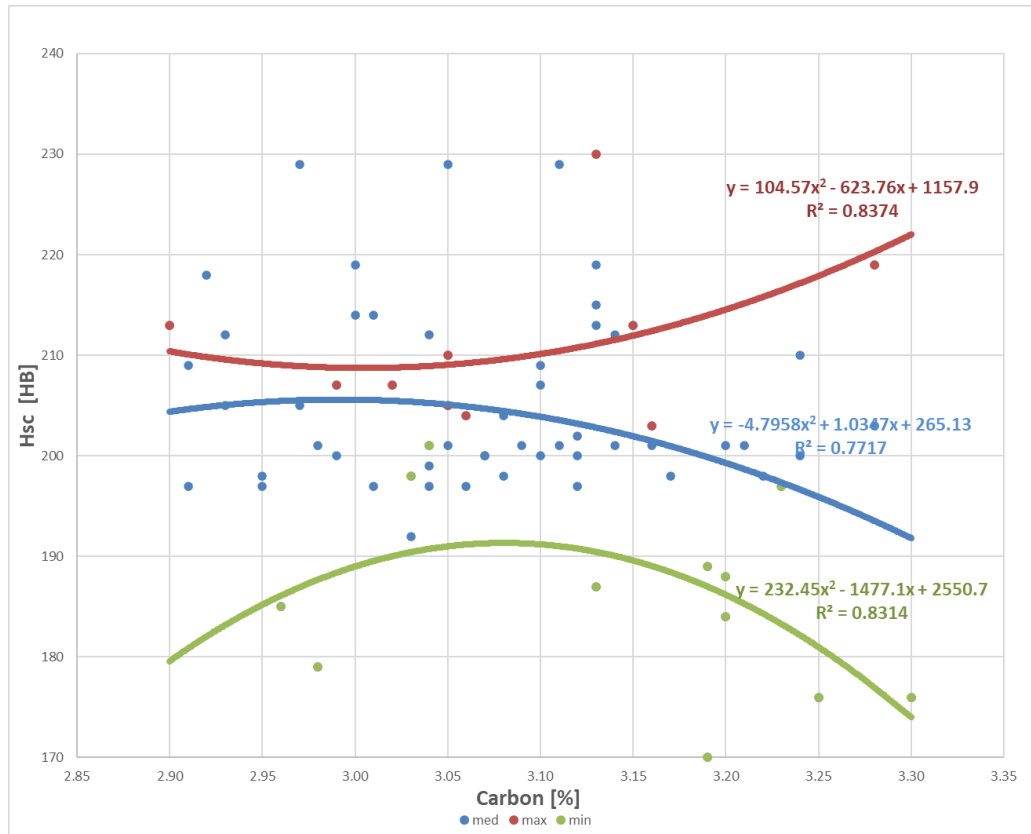


Figura 4.13.A. Hsc=f(C)

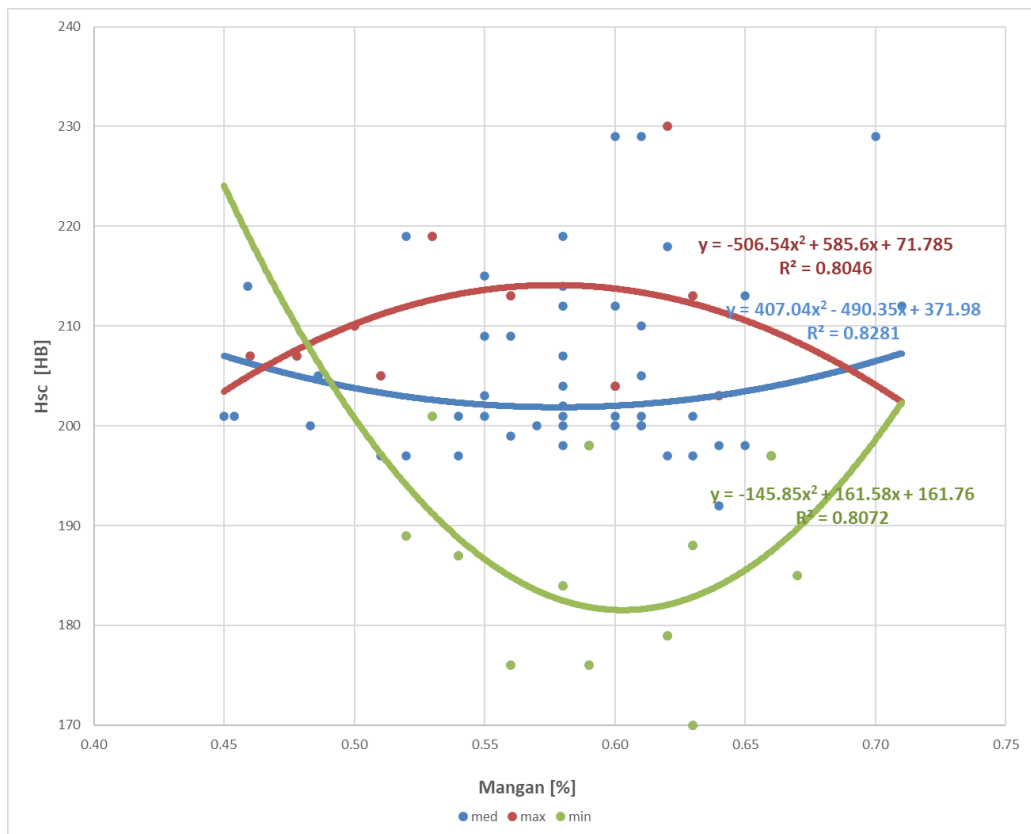


Figura 4.14.A. Hsc=f(Mn)

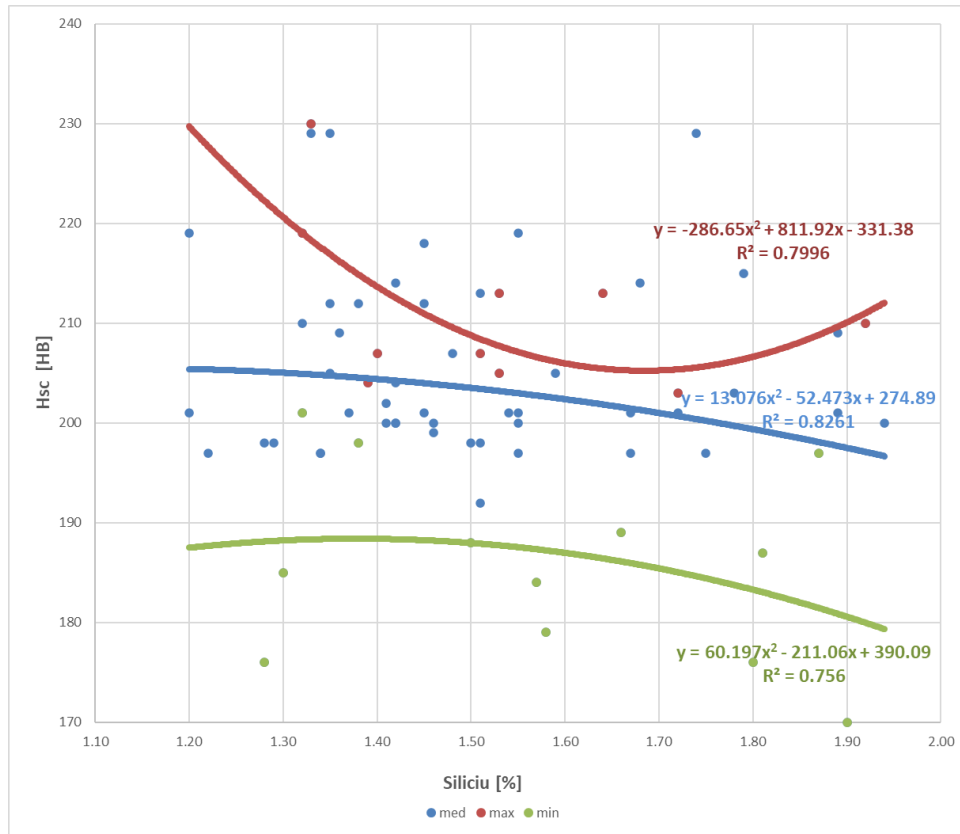


Figura 4.15.A. Hsc=f(Si)

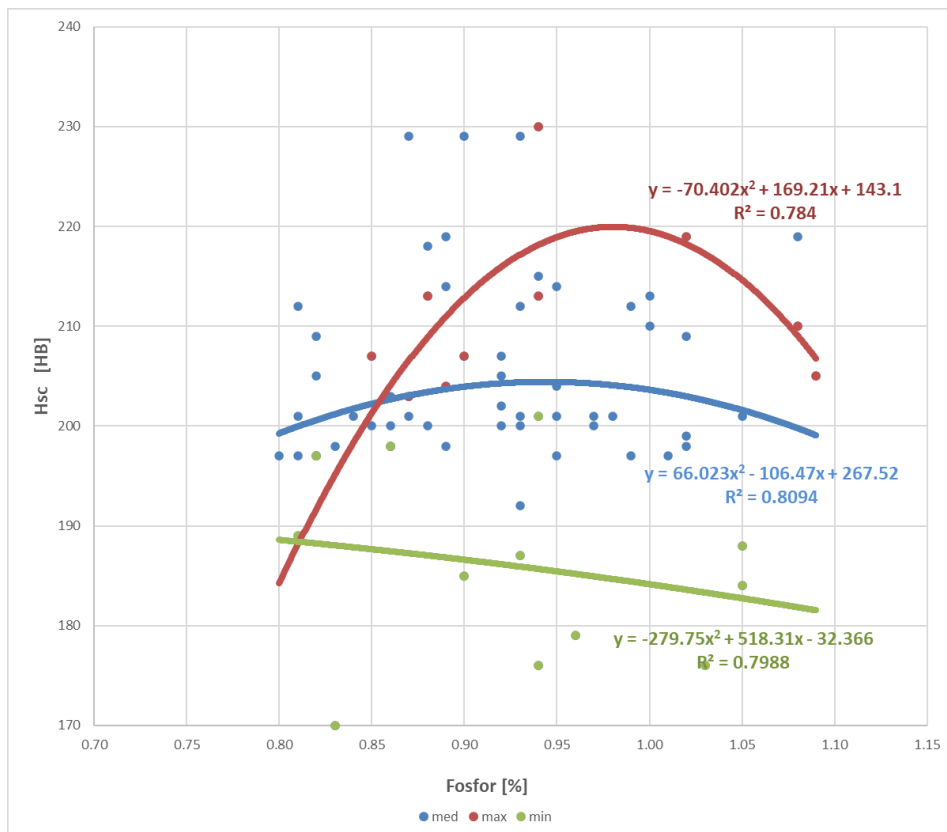


Figura 4.16.A. Hsc=f(P)

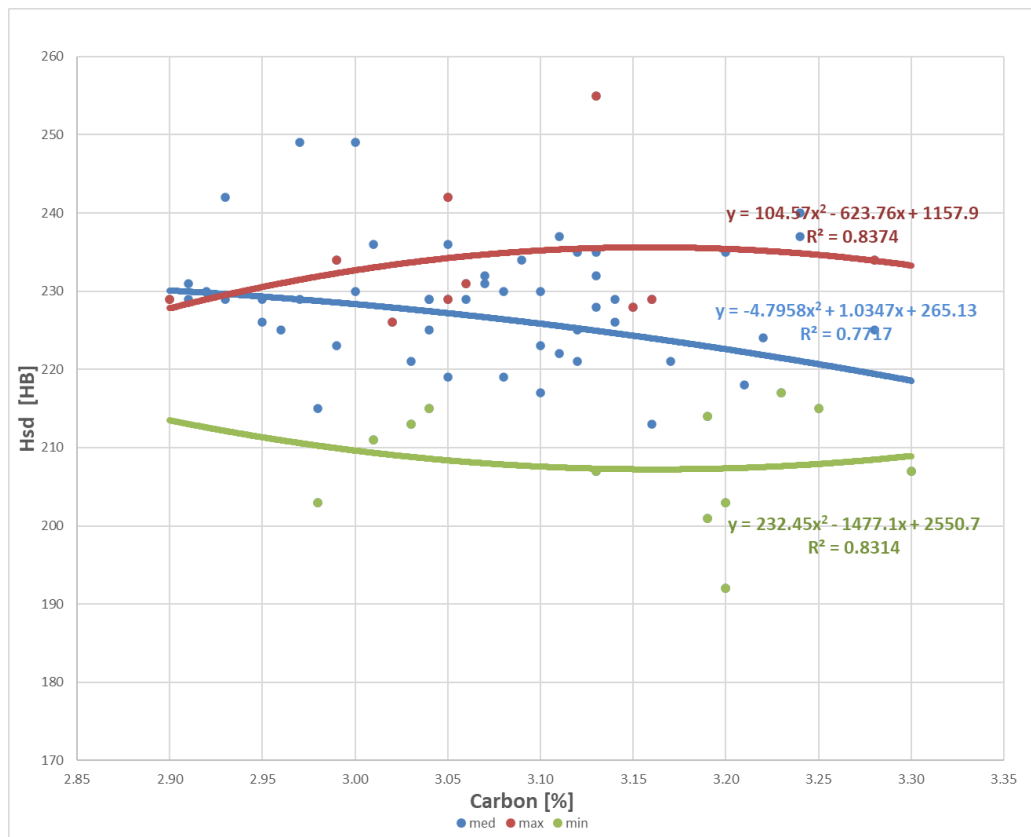


Figura 4.17.A. Hsd=f(C)

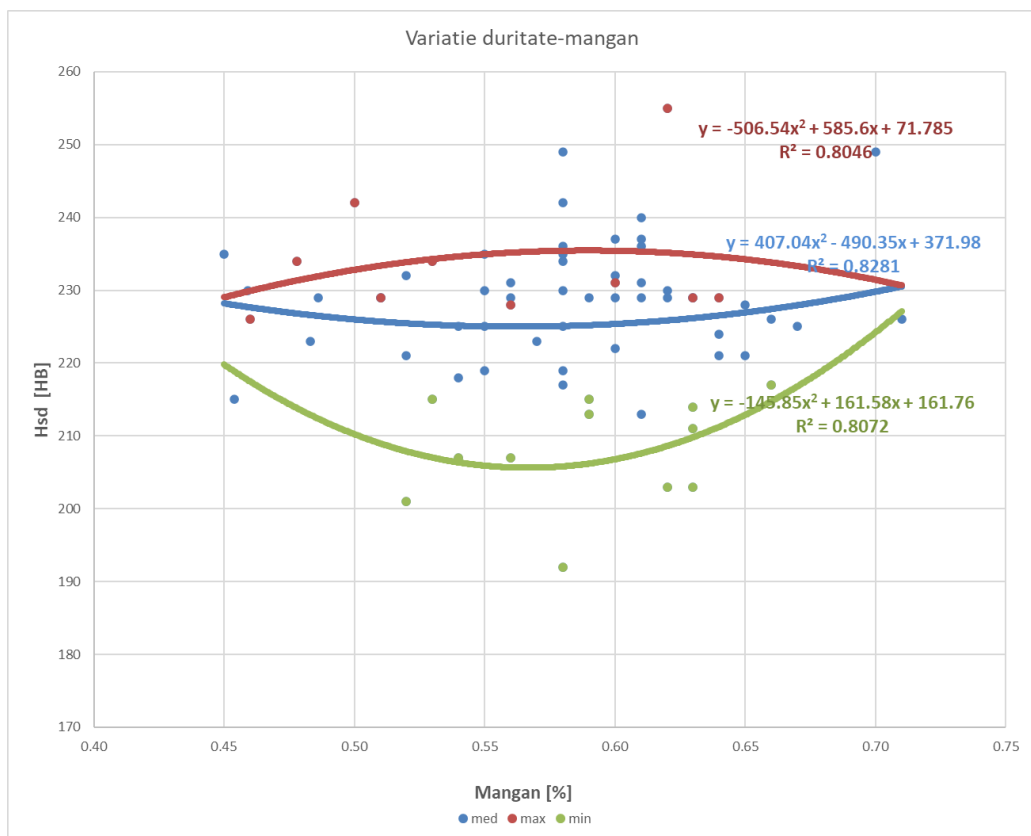


Figura 4.18.A. Hsd=f(Mn)

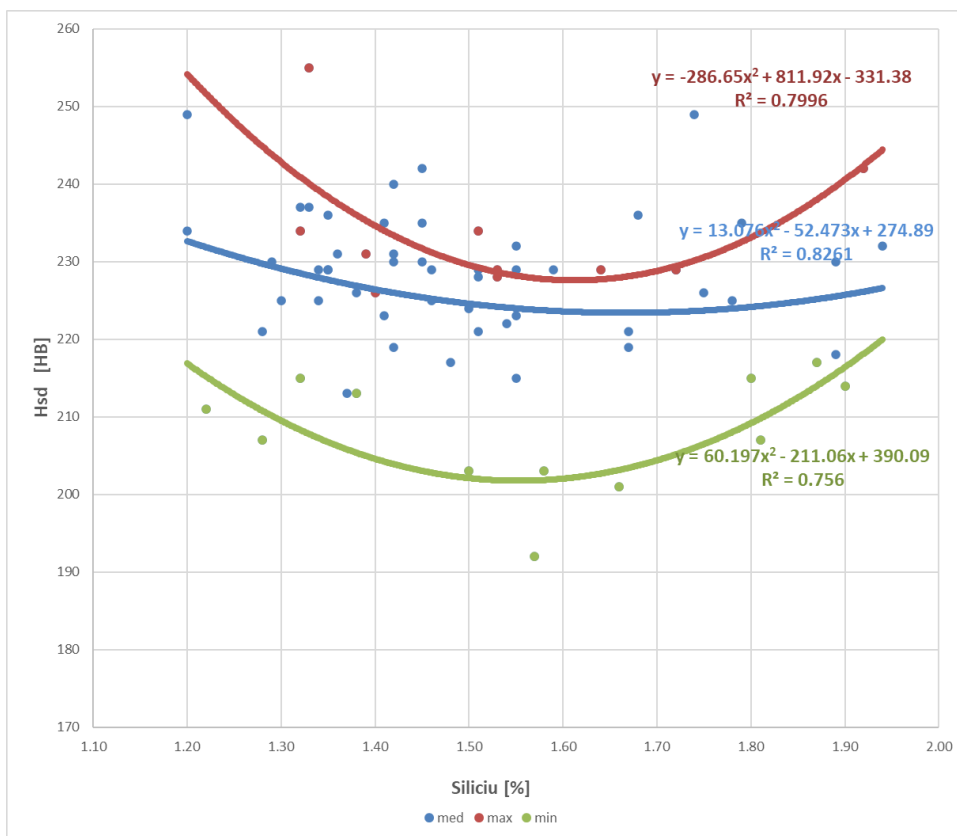


Figura 4.19.A. Hsd=f(Si)

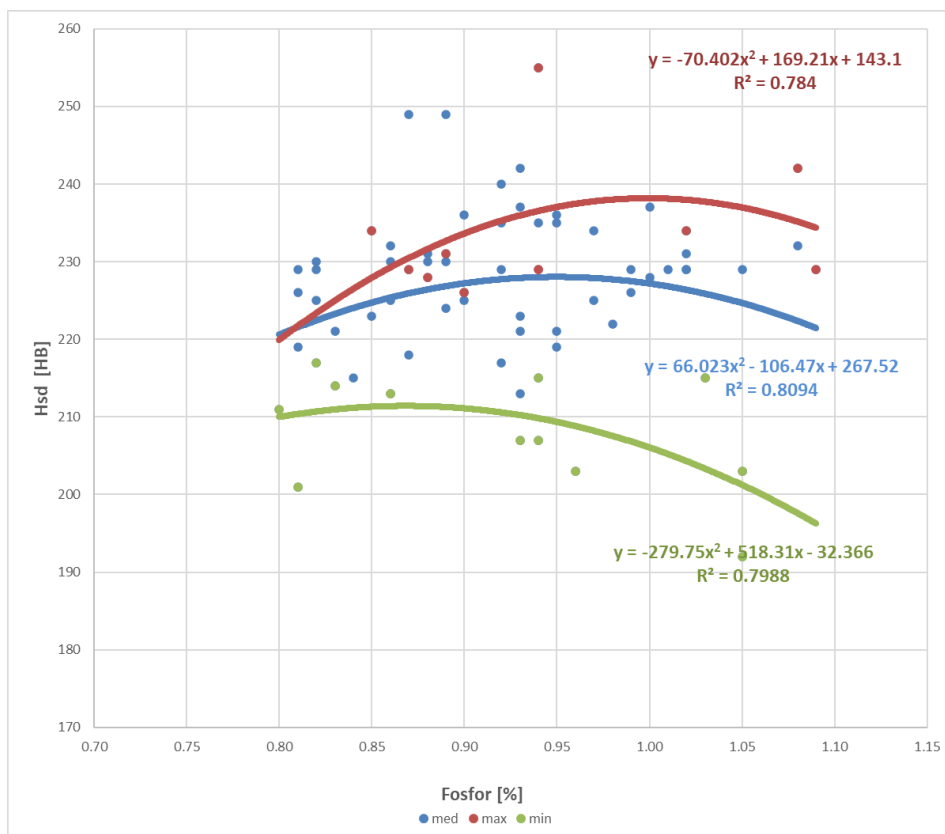


Figura 4.20.A. Hsd=f(P)