

CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII SABOȚILOR DE FRÂNĂ DESTINAȚI MATERIALULUI RULANT

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea Politehnica Timișoara
în domeniul ȘTIINȚA ȘI INGINERIA MATERIALELOR
de către

Ing. Liviu Viorel Pascu

Conducător științific:
Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. Teodor Heput
Prof.univ.dr.ing. Lorena Deleanu
Prof.univ.dr.ing. Nicolae Constantin
Prof.univ.dr.ing. Victor Budău

Ziua susținerii tezei: 30.01.2015

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

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

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2015

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

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

Cuvânt înainte

În prezent, tendințele de transport pe calea ferată, la nivel european și mondial, sunt: creșterea vitezelor de circulație, creșterea sarcinilor pe osie și implicit a tonajelor trenurilor, asociată cu introducerea unor măsuri de detectare a defectelor aparatului de rulare în circulație și reducerea zgomotului produs la rularea roților pe șine. Ca urmare a acestor cerințe, se impune creșterea calității materiei prime necesară fabricării componentelor de material rulant.

Industria siderurgică se confruntă cu dificultatea de a se menține competitivă în raport cu alte sectoare economice și, în același timp, cu necesitatea de a continua să satisfacă pretențiile tot mai mari ale consumatorilor de fontă și oțel, concretizate în filozofia economiei de piață, sintetizată în: "obiectivul primordial al unei întreprinderi este acela de a produce și a vinde ceea ce dorește consumatorul, în modul în care acesta dorește, când și unde dorește și la prețul pe care acesta este dispus să îl plătească".

Având în vedere cele prezentate mai sus, cercetările efectuate au fost orientate spre îmbunătățirea caracteristicilor calitative a saboților de frână cu care se echipează materialul rulant motor și remorcat.

Cu ocazia definitivării lucrării doresc să adresez mulțumiri tuturor celor care m-au îndrumat, m-au sprijinit și mi-au împărtășit cunoștințele profesionale.

Realizarea prezentei lucrări ar fi fost imposibilă fără îndrumarea atentă și de înalt nivel științific a domnului Prof.dr.ing. Teodor Hepu, motiv pentru care autorul îi adresează calde mulțumiri și întreaga sa recunoștință.

Doresc să mulțumesc doamnelor Conf.dr.ing. Vîlceanu Lucia, Conf.dr.ing. Socalici Ana Virginia, și Conf.dr.ing. Ardelean Erika Diana pentru susținerea și înțelegerea acordată. Sugestiile și discuțiile cu acest colectiv de îndrumare au condus la îmbunătățirea permanentă a redactării lucrării și la elaborarea de articole științifice, în vedere publicarea acestora în reviste de specialitate și în volumele sesiunilor de comunicări științifice naționale și internaționale.

De asemenea, mulțumesc pe această cale domnilor Conf.dr.ing. Vasile Teodor, Conf.dr.ing. Ardelean Marius, Șef lucrări dr.ing. Puțan Vasile și Dr.ing. Crișan Eugen pentru sprijinul acordat privind experimentările în fază de laborator și prelucrarea datelor obținute, precum și pentru sfaturile oferite anterior, și pe parcursul elaborării prezentei lucrări.

Țin, desigur, să mulțumesc tuturor specialiștilor și colaboratorilor mei din Universitatea Dunărea de Jos Galați respectiv Universitatea Politehnica Timișoara, în special doamnei Prof.dr.ing. Lorena Deleanu, dr.ing. Botan Mihail și domnilor Prof.dr.ing. Udrescu Livius, Conf.dr.ing. Răduță Aurel, Șef lucrări dr. Locovei Cosmin pentru sprijinul acordat la efectuarea determinărilor de laborator și interpretarea rezultatelor.

Aduc mulțumiri și celorlalte cadre didactice din Departamentul de Inginerie și Management al Facultății de Inginerie din Hunedoara, pentru asigurarea cadrului propice creat în vederea finalizării cu succes a lucrării și, în final, mulțumesc familiei mele că m-a susținut și încurajat pe parcursul acestui proiect.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was partially supported by the strategic grant POSDRU/159/1.5/S/137070 (2014) of the Ministry of National Education, Romania, co-financed by the European Social Fund – Investing in People, within the Sectoral Operational Programme Human Resources Development 2007-2013.

ing. Liviu Viorel PASCU

Liviu Viorel PASCU

CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII SABOȚILOR DE FRÂNĂ DESTINAȚI MATERIALULUI RULANT

Teze de doctorat ale UPT, Seria 11, Nr. 42, Editura Politehnica, 2015, 220 pagini, 222 figuri, 38 tabele.

ISSN:1842-7855

ISBN:978-606-554-905-0

Cuvinte cheie: fontă, saboți de frână, material compozit, calitate, material rulant, uzură, coeficient de frecare.

Rezumat,

Scopul tezei de doctorat constă în îmbunătățirea calității saboților de frână destinați materialului rulant motor și remorcat.

Pentru îmbunătățirea calității fontei destinată fabricării saboților de frână s-au analizat procesul de producere al acestora în fază industrială într-o întreprindere de profil. Rezultatele obținute au fost prelucrate în programele de calcul EXCEL și MATLAB în vederea obținerii unor ecuații de corelație simplă și respectiv multiplă între parametrii dependenți (duritatea saboților) și independenți (elementele din compoziția chimică a fontei fosforoase). Rezultatele au fost analizate din punct de vedere matematic și tehnologic.

În partea a doua a cercetărilor s-au făcut experimentări în fază de laborator cu privire la obținerea de materiale compozite pentru fabricarea saboților de frână. S-au produs în fază de laborator epruvete sub formă de disc și sub formă de cilindru, în funcție de caracteristicile instalațiilor experimentale. De asemenea, pentru comparație cu materialul clasic utilizat pentru fabricarea saboților de frână (fonta fosforosă) s-au produs eșantioane pentru experimentări și din acest material. Pentru realizarea eșantioanelor din material compozit ca materiale de bază s-au utilizat: novolac, așchii și pulberi metalice, grafit, cauciuc sau fibră carbonică. Pe lângă aceste materiale, în proporții mai mici au mai fost utilizate și alte materiale: hexametyltetramina, sulf, agent de vulcanizare, sulfat de bariu, alumina, etc. Partea finală cuprinde experimentările și rezultatele obținute la încercarea la uzare a eșantioanelor din materiale compozite și compararea acestora cu cele obținute la eșantioanele din fontă fosforoasă precum și elaborarea unei metodologii experimentale de testare tribologică.

CUPRINS

	Pag.
Listă de tabele	6
Listă de figuri	7
1. PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTĂRII ȘI CERCETĂRII	15
1.1. Scopul cercetării	15
1.2. Obiectivele cercetării	15
1.3. Strategia cercetării	16
1.4. Structura tezei de doctorat	16
 Partea I – STUDIU DIN LITERATURA DE SPECIALITATE PRIVIND CALITATEA SABOȚILOR DE FRÂNĂ PENTRU MATERIALUL RULANT	
2. ISTORICUL ȘI CONSTRUCȚIA MATERIALULUI RULANT	19
2.1. Istoricul materialului rulant	19
2.2. ConstrucȚia materialului rulant	22
2.3. Concluzii	29
3. STADIUL ACTUAL AL TEHNOLOGIEI DE FABRICAȚIE A SABOȚILOR DE FRÂNĂ DESTINAȚI MATERIALULUI RULANT	31
3.1. Analiza tehnologiei de fabricaȚie a saboȚilor de frână din fontă fosforoasă	31
3.1.1. Fontă fosforoasă destinată turnării saboȚilor de frână	31
3.1.2. Elaborarea fontelor în cuptoare cu inducȚie	38
3.1.3. Componenta și pregătirea încărcăturii	40
3.1.4. Tehnologia de formare mecanizată a saboȚilor de frână	42
3.1.5. Defecte ale pieselor turnate	54
3.2. Analiza caracteristicilor saboȚilor de frână din material compozit	56
3.2.1. SaboȚii K	58
3.2.2. SaboȚii LL	59
3.3. Concluzii	61
4. CARACTERISTICILE SABOȚILOR DE FRÂNĂ DESTINAȚI MATERIALULUI RULANT	63
4.1. CondiȚii tehnice de calitate ale saboȚilor de frână fabricaȚi din fontă fosforoasă	63
4.1.1. Caracteristici chimice a saboȚilor de frână	64
4.1.2. Caracteristici mecanice ale saboȚilor de frână	64
4.1.3. Caracteristici fizice a saboȚilor de frână	65
4.2. CondiȚii tehnice de calitate ale saboȚilor de frână fabricaȚi din materiale compozite	66
4.3. Concluzii	70

Partea a II a – CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRII PROPRII PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII SABOȚILOR DE FRÂNĂ DESTINAȚI MATERIALULUI RULANT

5. CERCETĂRI PRIVIND CALITATEA SABOȚILOR DE FRÂNĂ PRODUȘI DIN FONTĂ FOSFOROASĂ	73
5.1. Fluxul tehnologic de obținere a saboților de frână din fontă fosforoasă	73
5.2. Rezultate obținute la prelucrarea datelor experimentale	78
5.2.1. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul Excel	80
5.2.1.1. Corelații exprimate grafic și analitic	80
5.2.1.2. Analiza rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul Excel	85
5.2.2. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul Matlab	86
5.2.2.1. Corelații exprimate analitic și grafic	86
5.2.2.2. Analiza rezultatelor obținute la prelucrarea datelor în programul Matlab	99
5.2.3. Analiza variației durității	100
5.3. Concluzii	105
6. EXPERIMENTĂRI ȘI REZULTATE PRIVIND UTILIZAREA MATERIALELOR COMPOZITE PENTRU FABRICAREA SABOȚILOR DE FRÂNĂ	107
6.1. Considerații tehnologice	107
6.2. Producerea epruvetelor din materiale compozite	107
6.3. Producerea epruvetelor din fontă fosforoasă	132
6.4. Concluzii	134
7. ÎNCERCAREA LA UZARE A MATERIALELOR COMPOZITE. REZULTATE ȘI ANALIZE TEHNOLOGICE	137
7.1. Considerații generale.....	137
7.2. Determinarea la uzură pe instalația de încercare la uzare abrazivă	137
7.2.1. Caracteristicile instalației	137
7.2.2. Modul de lucru	138
7.2.3. Prezentarea experimentărilor	139
7.2.4. Rezultatele experimentărilor	140
7.2.4.1. Rezultate pentru proba de fontă și probele din material compozit	140
7.2.4.2. Rezultate intermediare pentru o probă din material compozit ...	141
7.2.5. Încercarea la uzură cu placă de oțel	146
7.2.6. Concluzii	147
7.3. Determinarea la uzură pe instalația Tribometru Universal UMT – 2	147
7.3.1. Obiectivul experimentărilor	147
7.3.2. Prezentarea instalației și modul de lucru	147
7.3.3. Experimentări și rezultate	149
7.3.3.1. Evoluția parametrului de uzură	150
7.3.3.2. Evoluția coeficientului de frecare	156

7.4. Evoluția câmpului termic în zona de contact	174	
7.4.1. Aparatură și mod de lucru	174	
7.4.2. Experimentări pentru discuri din material compozit	175	
7.4.2.1. <i>Rezultate experimentale obținute</i>	175	
7.4.2.2. <i>Concluzii</i>	176	
7.4.3. Experimentări pentru discuri din fontă fosforoasă	176	
7.4.3.1. <i>Rezultate experimentale obținute</i>	176	
7.4.3.2. <i>Concluzii</i>	178	
7.5. Analiza ulterioară a stratului superficial	178	
7.5.1. Considerații tehnologice	178	
7.5.2. Aparatura utilizată	179	
7.5.3. Rezultate obținute	180	
7.5.4. Concluzii	181	
 Partea a III a – CONCLUZII FINALE RECAPITULATIVE ȘI EVIDENȚIEREA CONTRIBUȚIILOR PERSONALE PENTRU REZOLVAREA TEMEI DE DOCTORAT ȘI DIRECȚII DEZVOLTARE A CERCETĂRILOR		
 8. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR		183
8.1. Concluzii finale	183	
8.2. Contribuții originale	185	
8.3. Direcții de continuare a cercetărilor	186	
DISEMINAREA REZULTATELOR	187	
 Anexe	189	
 Bibliografie	213	

Listă de tabele

	pag.
Tabelul 3.1. Elaborarea unor fonte fosforoase în cuptoare cu inducție	35
Tabelul 3.2. Pregătirea dimensională a încărcăturii	39
Tabelul 3.3. Caracteristici tehnice mașini automate de formare de tipul HFP-2	49
Tabelul 4.1. Compoziția chimică a saboților din fontă fosforoasă	62
Tabelul 4.2. Caracteristicile dimensionale a saboților din material compozit	67
Tabelul 5.1. Caracteristicile fizico-chimice ale nisipului cuarțos de Văleni	73
Tabelul 5.2. Caracteristicile fizico-chimice ale bentonitei activate BEST 100	74
Tabelul 5.3. Caracteristicile fizico-chimice ale materialului carbonic CARBODEF 60	75
Tabelul 5.4. Caracteristicile fizico – mecanice ale amestecului de formare	75
Tabelul 5.5. Compoziția chimică a șarjelor analizate	77
Tabelul 5.6. Probele de duritate a șarjelor analizate	77
Tabelul 5.7. Compoziția chimică a fontei fosforoase P10	98
Tabelul 5.8. Duritatea probelor la saboții de frână	99
Tabelul 5.9. Duritatea medie și diferența de duritate pentru probele experimentale	99
Tabelul 6.1. Componența rețetelor probelor din materiale compozite (P1-P10)	106
Tabelul 6.2. Componența rețetelor probelor din materiale compozite (P11-P21)	107
Tabelul 6.3. Componența rețetelor probelor din materiale compozite (P22-P29)	108
Tabelul 6.4. Componența rețetelor probelor din materiale compozite (P30-P38)	108
Tabelul 6.5. Tehnologia de fabricare a materialului compozit pentru probe	109
Tabelul 6.6. Compoziția chimică a fontei fosforoase	132
Tabelul 7.1. Caracteristicile dimensionale ale epruvetelor	137
Tabelul 7.2. Rezultate experimentale privind uzarea și durabilitatea la uzare	138
Tabelul 7.3. Rezultate experimentale privind reducerea greutateii și înălțimii epruvetelor	138
Tabelul 7.4. Variației în timp a masei epruvetei	139
Tabelul 7.5. Variația lungimii epruvetei în timpul experimentărilor, [mm]	141
Tabelul 7.6. Valorile înălțimii inițiale și a densității epruvetelor	142
Tabelul 7.7. Rezultatele măsurătorilor la încercarea pe disc de oțel a epruvetelor	145
Tabelul 7.8. Interpretarea rezultatelor la încercarea pe disc de oțel a epruvetelor	145
Tabelul 7.9. Datele inițiale ale încercării la tribometru cu F=5N	148
Tabelul 7.10. Rata de uzură liniară a probelor calculată cu relația 1 la sarcina F=5N	149
Tabelul 7.11. Datele inițiale ale încercării la tribometru cu F=10N	149
Tabelul 7.12. Rata de uzură liniară a probelor calculată cu relația 1 la sarcina F=10 N	150
Tabelul 7.13. Relații de calcul folosite la determinarea parametrilor încercării	154
Tabelul 7.14. Parametrii încercării probelor	154
Tabelul 7.15. Relații de calcul utilizate la determinarea parametrilor încercărilor	172
Tabelul 7.16. Parametrii încercării probelor	173

Listă de figuri

	pag.
Fig.2.1. Tipuri constructive de vagoane de marfă, [4]	23
Fig.2.2. Vagon de marfă acoperit, cu patru osii, [4]	24
Fig.2.3. Frână cu saboți acționată cu aer comprimat și manual, [4]	25
Fig. 2.4. Schema unității de frânare cu saboți	26
Fig.2.5. Forțele la roata frânată cu sabot	26
Fig.2.6. Dependența diferiților coeficienți de frecare de raportul a/r și μ , [4]	27
Fig.2.7. Coeficientul de frecare μ pentru saboți de fontă după Karwazki în funcție de viteza v și presiunea specifică p , [4]	28
Fig.2.8. Coeficientul de frecare μ pentru saboți de fontă în funcție de viteza v , [4]	28
Fig.2.9. Coeficientul de frecare μ pentru saboți din compozit măsurat la încercări cu diferite viteze v de început al frânării, [4]	28
Fig.3.1. Saboți de frână din fontă fosforoasă, [5]	32
Fig.3.2. Influența fosforului asupra caracterului repartizării eutectiului fosforos în structura fontei	34
Fig.3.3. Modul de repartizare a eutectiului fosforos în fontele cenușii, (200:1)	34
Fig.3.4. Structura fontei fosforoase, 400:1	35
Fig.3.5. Influența fosforului asupra cantității de eutectic fosforos din fontă	35
Fig.3.6. Schema unui cuptor electric cu încălzire prin inducție, cu creuzet, [27]	39
Fig.3.7. Profilul secțiunii țevilor de cupru, pentru inductor, [27]	39
Fig.3.8. Sistem de alarmă în caz de avarii, [27]	40
Fig.3.9. Schema fluxului tehnologic de elaborare a fontei în cuptoare cu inducție, [26]	41
Fig.3.10. Influența temperaturii încălzirii asupra valorii randamentului termic al cuptorului cu inducție	42
Fig.3.11. Influența temperaturii de preîncălzire a încălzirii asupra creșterii productivității cuptorului (a) și micșorării consumului de energie necesară la topire (b)	43
Fig.3.12. Fluxul tehnologic de formare-turnare a saboților de frână	43
Fig.3.13. Stația de procesare a amestecului de formare	45
Fig.3.14. Mașina de format tip HFP2	51
Fig.3.15. Turnarea saboților	52
Fig.3.16. Varietățile de saboți utilizați pe vehiculele feroviare, [40]	58
Fig.3.17. Imagine a vagonului modernizat cu sabot tip K, [41]	58
Fig.3.18. Caracteristicile saboților din material compozit comparativ cu a saboților din fontă, [45]	59
Fig.3.19. Coeficientul de frecare, pentru diferiți saboți de frână (K, LL, fontă), la viteze diferite, [46]	60
Fig.4.1. Saboți frâna tip LL respectiv K, [57]	68
Fig.5.1 Fluxul tehnologic de procesare a saboților de frână	73
Fig.5.1. Zonele de prelevare a durtății sabotului, [8]	78
Fig.5.3. Variația durtății măsurată pe suprafața sabotului (HB_1) în funcție de conținutul de carbon	81
Fig.5.4. Variația durtății măsurată pe suprafața laterală a sabotului (HB_2) în funcție de conținutul de carbon	81
Fig.5.5. Variația durtății măsurată în secțiunea sabotului, partea de sus (HB_s) în funcție de conținutul de carbon	82
Fig.5.6. Variația durtății măsurată în secțiunea sabotului, partea de mijloc	

(HB_m) în funcție de conținutul de carbon	82
Fig.5.7. Variația durtății măsurată în secțiunea sabotului, partea de jos (HB_i) în funcție de conținutul de carbon	83
Fig.5.8. Variația durtății medii în secțiunea sabotului în funcție de conținutul de carbon	83
Fig. 5.9. Variația durtății medii la capetele sabotului în funcție de conținutul de mangan	84
Fig. 5.10. Variația durtății măsurată pe suprafața laterală a sabotului (HB_l) în funcție de conținutul de sulf	84
Fig.5.11. Variația durtății medii pe suprafața sabotului în funcție de conținutul de sulf	85
Fig.5.12. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan	88
Fig.5.13. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan	88
Fig.5.14. Variația durtății (HB_s) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan	89
Fig.5.15. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan	89
Fig.5.16. Variația durtății (HB_j) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan	89
Fig.5.17. Variația durtății medii pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan	90
Fig.5.18. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și siliciu	90
Fig.5.19. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și siliciu	90
Fig.5.20. Variația durtății (HB_j) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și siliciu	91
Fig.5.21. Variația durtății medii în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și siliciu	91
Fig.5.22. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și sulf	91
Fig.5.23. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și sulf	92
Fig.5.24. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și sulf	92
Fig.5.25. Variația durtății (HB_j) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și sulf	92
Fig.5.26. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și sulf	93
Fig.5.27. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de siliciu și sulf	93
Fig.5.28. Variația durtății (HB_s) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și fosfor	93
Fig.5.29. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și fosfor	94
Fig.5.30. Variația durtății (HB_j) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și fosfor	94
Fig.5.31. Variația durtății medii pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și fosfor	94

Fig.5.32. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului in funcție de conținuturile de mangan și fosfor	95
Fig.5.33. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului in funcție de conținuturile de mangan și fosfor	95
Fig.5.34. Variația durtății (HB_s) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și fosfor	95
Fig.5.35. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și fosfor	96
Fig.5.36. Variația durtății (HB_j) în secțiunea transversală a sabotului in funcție de conținuturile de mangan și fosfor	96
Fig.5.37. Variația durtății medii în secțiunea transversală a sabotului in funcție de conținuturile de mangan și fosfor	96
Fig.5.38. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului in funcție de conținuturile de carbon și elemente reziduale	97
Fig.5.39. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului in funcție de conținuturile de carbon și elemente reziduale	97
Fig.5.40. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului in funcție de conținuturile de mangan și elemente reziduale	97
Fig.5.41. Variația durtății (HB_j) în secțiunea transversală a sabotului in funcție de conținuturile de mangan și elemente reziduale	98
Fig.5.42. Variația durtății (HB_j) în secțiunea transversală a sabotului in funcție de conținuturile de sulf și elemente reziduale	98
Fig.5.43. Variația durtății și a mediei acesteia pe suprafața laterală a saboților	101
Fig.5.44. Variația durtății și a mediei acesteia în secțiunea transversală a saboților	102
Fig.5.45. Variația durtății și a diferenței de duritate pe suprafața laterală a saboților	102
Fig.5.46. Variația durtății și a diferenței de duritate în suprafața transversală a saboților (zona superioară și zona centrală)	103
Fig.5.47. Variația durtății și a diferenței de duritate în suprafața transversală a saboților (zona inferioară și zona centrală)	103
Fig.5.48. Variația durtății și a diferenței de duritate pe suprafața transversală a saboților (zona inferioară și zona superioară)	104
Fig.5.49. Variația diferenței de duritate pe suprafața laterală și în secțiunea transversală a saboților	104
Fig.5.50. Variația durtății medii pe suprafața laterală și duritatea în zona centrală a secțiunii transversale a saboților	105
Fig.6.1. Presă pentru formarea epruvetelor tip „DISC”	107
Fig.6.2. Presă pentru formarea epruvetelor tip „CILINDRU”	108
Fig.6.3. Cuptor cu inducție, capacitate 10 kg	133
Fig.6.4. Măsurarea temperaturii băii metalice	133
Fig.6.5. Eșantion de tip „DISC”	134
Fig.6.6. Eșantioane de tip „CILINDRU”	134
Fig.7.1. Schema standului de încercare la uzarea abrazivă	138
Fig.7.2. Instalație pentru încercarea la uzarea abrazivă	138
Fig.7.3. Aspecte din timpul experimentărilor	140
Fig.7.4. Variația uzurii masice	141
Fig.7.5. Variația masei epruvetei în funcție de timpul de încercare	142
Fig.7.6. Uzura masică pentru epruveta nr. 36	142
Fig.7.7. Uzura masică relativă pentru epruveta nr. 36	142
Fig. 7.8. Reducerea înălțimii epruvetei	143
Fig. 7.9. Reducerea absolută a înălțimii epruvetei	143
Fig.7.10. Reducerea relativă a înălțimii epruvetei	144

Fig.7.11. Variația uzurii masice în funcție de densitatea epruvetelor	145
Fig.7.12. Epruvetele după încercarea la uzura abrazivă	145
Fig.7.13. Încercarea la uzura abrazivă pe placa de oțel	146
Fig.7.14. Configurația modulului știft pe disc UMT-2(CETR®, SUA)	148
Fig.7.15. Parametrii mășurați în timpul încercării și modul de vizualizare a lor pe monitorul tribometrului	148
Fig.7.16. Forma și dimensiunile știftului din material compozit	149
Fig.7.17. Forma și dimensiunile discului din material compozit	149
Fig.7.18. Rata de uzură liniară a probelor la $V = 0,4$ m/s, $F=5$ N	153
Fig.7.19. Rata de uzură liniară a probelor la $V = 0,6$ m/s, $F=5$ N	153
Fig.7.20. Rata de uzură liniară a probelor la $V = 0,8$ m/s, $F=5$ N	153
Fig.7.21. Rata de uzură liniară a probelor la $V = 0,4$ m/s, $F=10$ N	154
Fig.7.22. Rata de uzură liniară a probelor la $V = 0,6$ m/s, $F=10$ N	154
Fig.7.23. Rata de uzură liniară a probelor la $V = 0,8$ m/s, $F=10$ N	154
Fig.7.24. Rata de uzură liniară a probelor $F=5$ N	155
Fig.7.25. Rata de uzură liniară a probelor $F= 10$ N	155
Fig.7.26. Datele încercării probei P26 cu $F=5$ N și $V= 0,4$ m/s până la secunda 45,95	157
Fig.7.27. Graficele parametrilor mășurați de tribometru la încercarea probei P31 cu $F=5$ N și $V= 0,4$ m/s	157
Fig.7.28. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 5$ N și $V= 0,4$ m/s	157
Fig.7.29. Coeficientul de frecare la încercarea probei 27 cu $F= 5$ N și $V= 0,4$ m/s	158
Fig.7.30. Coeficientul de frecare la încercarea probei 30 cu $F= 5$ N și $V= 0,4$ m/s	158
Fig.7.31. Coeficientul de frecare la încercarea probei 31 cu $F= 5$ N și $V= 0,4$ m/s	158
Fig.7.32. Coeficientul de frecare la încercarea probei 32 cu $F= 5$ N și $V= 0,4$ m/s	159
Fig.7.33. Coeficientul de frecare la încercarea probei 38 cu $F= 5$ N și $V= 0,4$ m/s	159
Fig.7.34. Coeficientul de frecare suprapus la încercarea probelor cu $F= 5$ N și $V= 0,4$ m/s	159
Fig.7.35. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 5$ N și $V= 0,6$ m/s	160
Fig.7.36. Coeficientul de frecare la încercarea probei 27 cu $F= 5$ N și $V= 0,6$ m/s	160
Fig.7.37. Coeficientul de frecare la încercarea probei 30 cu $F= 5$ N și $V= 0,6$ m/s	161
Fig.7.38. Coeficientul de frecare la încercarea probei 31 cu $F= 5$ N și $V= 0,6$ m/s	161
Fig.7.39. Coeficientul de frecare la încercarea probei 32 cu $F= 5$ N și $V= 0,6$ m/s	161
Fig.7.40. Coeficientul de frecare la încercarea probei 38 cu $F= 5$ N și $V= 0,6$ m/s	162
Fig.7.41. Coeficientul de frecare suprapus la încercarea probelor cu $F= 5$ N și $V= 0,6$ m/s	162
Fig.7.42. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s	162
Fig.7.43. Coeficientul de frecare la încercarea probei 27 cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s	163
Fig.7.44. Coeficientul de frecare la încercarea probei 30 cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s	163
Fig.7.45. Coeficientul de frecare la încercarea probei 31 cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s	163
Fig.7.46. Coeficientul de frecare la încercarea probei 32 cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s	164
Fig.7.47. Coeficientul de frecare la încercarea probei 38 cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s	164
Fig.7.48. Coeficientul de frecare suprapus la încercarea probelor cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s	164
Fig.7.49. Datele încercării probei	165
Fig.7.50. Graficele parametrilor mășurați de tribometru la încercarea probei P26 cu $F=10$ N și $V= 0,8$ m/s	166
Fig.7.51. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 10$ N și $V= 0,4$ m/s	166
Fig.7.52. Coeficientul de frecare la încercarea probei 27 cu $F= 10$ N și $V= 0,4$ m/s	167
Fig.7.53. Coeficientul de frecare la încercarea probei 30 cu $F= 10$ N și $V= 0,4$ m/s	167
Fig.7.54. Coeficientul de frecare la încercarea probei 31 cu $F= 10$ N și $V= 0,4$ m/s	167
Fig.7.55. Coeficientul de frecare la încercarea probei 32 cu $F= 10$ N și $V= 0,4$ m/s	168
Fig.7.56. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 10$ N și $V= 0,4$ m/s	168
Fig.7.57. Coeficientul de frecare suprapus la încercarea probelor cu $F= 5$ N și $V= 0,4$ m/s	168

Fig.7.58. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 10N$ și $V= 0,6$ m/s	169
Fig.7.59. Coeficientul de frecare la încercarea probei 27 cu $F= 10N$ și $V= 0,6$ m/s	169
Fig.7.60. Coeficientul de frecare la încercarea probei 30 cu $F= 10N$ și $V= 0,6$ m/s	169
Fig.7.61. Coeficientul de frecare la încercarea probei 31 cu $F= 10N$ și $V= 0,6$ m/s	170
Fig.7.62. Coeficientul de frecare la încercarea probei 32 cu $F= 10N$ și $V= 0,6$ m/s	170
Fig.7.63. Coeficientul de frecare la încercarea probei 38 cu $F= 10N$ și $V= 0,6$ m/s	170
Fig.7.64. Coeficientul de frecare suprapus la încercarea probelor cu $F= 10N$ și $V= 0,6$ m/s	171
Fig.7.65. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 10N$ și $V= 0,8$ m/s	171
Fig.7.66. Coeficientul de frecare la încercarea probei 27 cu $F= 10N$ și $V= 0,8$ m/s	172
Fig.7.67. Coeficientul de frecare la încercarea probei 30 cu $F= 10N$ și $V= 0,8$ m/s	172
Fig.7.68. Coeficientul de frecare la încercarea probei 301cu $F= 10N$ și $V= 0,8$ m/s	172
Fig.7.69. Coeficientul de frecare la încercarea probei 32 cu $F= 10N$ și $V= 0,8$ m/s	173
Fig.7.70. Coeficientul de frecare la încercarea probei 38 cu $F= 10N$ și $V= 0,8$ m/s	173
Fig.7.71. Coeficientul de frecare suprapus la încercarea probelor cu $F= 10N$ și $V= 0,8$ m/s	173
Fig.7.72. Stand de laborator pentru studiul uzării prin metoda știft pe disc	174
Fig.7.73. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 500m$	175
Fig.7.74. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 1000m$	175
Fig.7.75. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 1500m$	175
Fig.7.76. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 2000m$	175
Fig.7.77. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 2500m$	176
Fig.7.78. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 3000m$	176
Fig.7.79. Temperatura compozitului la finalul încercării	176
Fig.7.80. Temperatura știftului la finalul încercării	176
Fig.7.81. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 500m$	177
Fig.7.82. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 1000m$	177
Fig.7.83. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 1500m$	177
Fig.7.84. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 2000m$	177
Fig.7.85. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 2500m$	177
Fig.7.86. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 3000m$	177
Fig.7.87. Temperatura compozitului la finalul încercării	178
Fig.7.88. Temperatura știftului la finalul încercării	178
Fig.7.89. Microscopul electronic cu baleiaj	179
Fig.7.90. Proba 26 - zona neuzată la 3000x	180
Fig. 7.91 Proba 26 - zona neuzată la 800x	180
Fig.7.92. Proba 26 - zona uzată la 800x	180
Fig.7.93. Proba 32 – zona 1 neuzată la 200x	180
Fig.7.94. Proba 32 – zona 1 uzată la 200x	180
Fig. 7.95. Proba 32 – zona 2 neuzată la 200x	181
Fig. 7.96. Proba 32 – zona 2 neuzată la 100 x	181

1. PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTELOR ȘI CERCETĂRILOR

Teza de doctorat reprezintă o contribuție în domeniul ingineriei materialelor datorită rezultatelor obținute cu privire la fabricarea saboilor de frână, destinați materialului rulant motor și remorcat. Cercetarea are un caracter tehnic iar rezultatele și concluziile cuprinse în lucrare pot răspunde la problemele specifice ale saboilor de frână fabricați din font fosforoasă sau material compozit.

Prin cercetările și experimentele propuse se urmărește, în principal, îmbunătățirea calității saboilor de frână din font fosforoasă, precum și obținerea de materiale compozite pentru fabricarea saboilor de frână cu caracteristici superioare celor existenți în exploatare.

1.1. Scopul cercetării

Teza de doctorat și-a propus abordarea a 3 direcții de cercetare:

- îmbunătățirea calității fontei fosforoase, utilizate pentru turnarea saboilor de frână la materialul rulant motor și remorcat;
- obținerea de materiale compozite pentru fabricarea saboilor de frână, utilizați pe materialul rulant, cu scopul reducerii zgomotului pe calea ferată;
- optimizarea caracteristicilor calitative ale saboilor de frână.

Teza de doctorat are un pregnant caracter aplicativ, rezultatele obținute fiind destinate a se aplica în practica industrială la obținerea saboilor de frână.

1.2. Obiectivele cercetării

Obiectivele cercetării întreprinse derivă din cele trei direcții de cercetare definite de scopul cercetării.

În activitățile de cercetare efectuate s-au urmărit realizarea următoarelor obiective:

- analiza influenței unor factorii tehnologici de elaborare – turnare – solidificare a saboilor de frână din font fosforoasă, asupra caracteristicilor calitative ale acestora în principal duritatea, aceasta fiind o caracteristică importantă a acestora;
- obținerea, în fază de laborator, a materialelor compozite;
- încercarea la uzură abrazivă a epruvetelor experimentale din material compozit și din font fosforoasă și compararea rezultatelor;
- analiza ulterioară a stratului superficial al urmei de frecare cu ajutorul unui Microscop electronic cu baleiaj (SEM) cu sistem EDS integrat;
- înregistrarea evoluției câmpului de temperatură pentru epruvetele experimentale din materiale compozite și din font și compararea rezultatelor.

Mod de lucru:

- documentare din literatura de specialitate;
- analiza datelor industriale cu privire la saboii convenționali din font fosforoasă;
- prelucrarea datelor experimentale și identificarea domeniilor optime de variație a parametrilor cu influență asupra calității saboilor de frână din font;

- experimente în fază de laborator cu privire la obținerea de materiale compozite destinate fabricării saboilor de frână;
- determinarea caracteristicilor calitative și prelucrarea datelor;
- cercetarea tribologică a probelor din material compozit (evoluția parametrilor de uzură, a coeficientului de frecare și a temperaturii în zona de contact);
- analiza tehnologică a rezultatelor obținute.

1.3. Strategia cercetării

Strategia de cercetare a constat în parcurgerea etapelor:

- studiu bibliografic, prelucrarea și evaluarea informațiilor obținute;
- cercetarea documentară, cu privire la procesul de fabricare a saboilor de frână din font fosforoasă și materiale compozite;
- cercetări și experimente în fază de laborator;
- cercetări și experimente industriale;
- prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute;
- contribuții originale;
- diseminarea rezultatelor.

1.4. Structura tezei de doctorat

Prezenta teză este structurată pe trei părți și 8 capitole.

Capitolul 1 - PLAN DE DESFĂȘURARE A EXPERIMENTELOR ȘI CERCETĂRILOR

În acest capitol se prezintă scopul și obiectivele cercetării, respectiv modul de lucru și structura tezei de doctorat.

Partea I-a STUDIUL DIN LITERATURA DE SPECIALITATE PRIVIND CALITATEA SABOILOR DE FRÂNĂ PENTRU MATERIALUL RULANT

Capitolul 2 – ISTORICUL ÎN CONSTRUCȚIA MATERIALULUI RULANT

În capitolul 2 sunt prezentate informațiile specifice referitoare la istoricul și construcția materialului rulant.

Capitolul 3 – STADIUL ACTUAL AL TEHNOLOGIEI DE FABRICAREA SABOILOR DE FRÂNĂ DESTINAȚI MATERIALULUI RULANT

În capitolul 3 s-a analizat stadiul actual al tehnologiei de fabricare al saboilor de frână, destinați materialului rulant, saboii confecționați din font fosforoasă, respectiv materiale compozite, un accent deosebit fiind acordat procesului de elaborare și turnare a fontei fosforoase.

Capitolul 4 – CARACTERISTICILE SABOILOR DE FRÂNĂ DESTINAȚI MATERIALULUI RULANT

În capitolul 4 se prezintă caracteristicile saboilor de frână destinați materialului rulant din font fosforoasă și material compozit.

Partea a II-a CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTE PROPRII PRIVIND ÎMBUNȚIREA CALITĂȚII SABOILOR DE FRÂNĂ DESTINAȚI MATERIALULUI RULANT

Capitolul 5 – CERCETĂRI PRIVIND CALITATEA SABOILOR DE FRÂNĂ PRODUȚI DIN FONT FOSFOROASĂ

În capitolul 5 se prezintă cercetările experimentale industriale efectuate cu privire la calitatea saboilor de frână produși din font fosforoasă. Pentru realizarea temei s-au elaborat și turnat saboii de frână din font fosforoasă, pentru aceștia determinându-se compoziția chimică și caracteristicile mecanice și metalografice. Prin prelucrarea datelor experimentale în programele de calcul EXCEL și MATLAB s-a

urmărit obținerea unor ecuații de corelație între duritatea saboilor de frână, considerat parametru dependent, și parametrii independenți, reprezentați prin elementele din compoziție chimică a fontei fosforoase. Rezultatele obținute sunt analizate din punct de vedere matematic și tehnologic, pe baza acestora fiind făcute aprecieri asupra cercetărilor efectuate.

Capitolul 6 – EXPERIMENTRI ȘI REZULTATE PRIVIND UTILIZAREA MATERIALELOR COMPOZITE PENTRU FABRICAREA SABOILOR DE FRÂNĂ

Legislația Europeană impune limite, atât pentru materialul rulant nou, cât și pentru cel recondiționat și pus în circulație în spațiul european. Astfel, se cere echiparea materialului rulant cu saboii de frână silențioși (din material compozit), care să reducă semnificativ emisiile de zgomot. Astfel, în capitolul 6 se prezintă experimentele în fază de laborator și rezultatele obținute cu privire la utilizarea materialelor compozite pentru fabricarea saboilor de frână. S-au realizat un număr de 38 de probe din material compozit, dintre care 32 au fost probe tip disc, iar 6 au fost probe tip cilindru.

Capitolul 7 – ÎNCERCAREA LA UZARE A MATERIALELOR COMPOZITE. REZULTATE ȘI ANALIZE TEHNOLOGICE

În capitolul 7 se prezintă încercările de laborator, efectuate cu privire la uzarea probelor din materiale compozite prin metodele standardizate. Cercetarea tribologică a probelor din material compozit a avut ca obiective influența unor factori de material (concentrația și natura constituenților) și a unor parametrii a regimului de lucru (forța de apăsare, viteza de alunecare, timpul de încercare, regimul de frecare) asupra caracteristicilor tribologice a probelor testate, proceselor care au loc în straturile superficiale și a posibilităților de modelare a acestora în sensul dorit. S-a analizat: evoluția unui parametru de uzură; evoluția coeficientului de frecare; evoluția temperaturii în zona de contact. Analiza ulterioară a stratului superficial a permis explicarea valorilor coeficientului de frecare și a parametrilor de uzură, evaluarea calității suprafețelor uzate, dispersia materialelor de adaos. La testarea tribologică prin metoda tift pe disc se observă că rata de uzură liniară a probelor din material compozit scade cu creșterea vitezei de alunecare și cu creșterea sarcinii de lucru. Se prezintă rezultatele obținute și analizele tehnologice.

Partea a III-a CONCLUZII FINALE RECAPITULATIVE ȘI EVIDENȚIEREA CONTRIBUȚIILOR PERSONALE PENTRU REZOLVAREA TEMEI DE DOCTORAT ȘI DIRECȚIILE DE DEZVOLTARE A CERCETĂRIILOR

Capitolul 8 – CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚIILE DE CONTINUARE A CERCETĂRIILOR

În capitolul 8 se prezintă concluziile finale privind cercetarea efectuată, contribuțiile originale și direcțiile viitoare de cercetare precum și diseminarea rezultatelor.

Partea I – a

STUDIU DIN LITERATURA DE SPECIALITATE PRIVIND CALITATEA SABOILOR DE FRÂN PENTRU MATERIALUL RULANT

2. ISTORICUL ȘI CONSTRUCȚIA MATERIALULUI RULANT

2.1. Istoricul materialului rulant

Apărut la începutul secolului al XVIII-lea, calea ferată reprezintă o creație care avea să modifice paradigma realităților economice, sociale și politice ale lumii. Ca o consecință a utilizării transportului pe calea ferată, în Europa s-au redus distanțele și s-au mărit vitezele medii de deplasare; impactul asupra economiei a fost important prin utilizarea unui transport rapid și de masă, precum cel oferit de căile ferate [1]. Primele vagoane de călători care au circulat în România au avut ca rută linia București – Filareț – Giurgiu. Aceste vagoane au fost fabricate în jurul anilor 1859, în orașul Manchester din Marea Britanie, la fabrica „Ausbury”.

Au circulat pe calea ferată patru tipuri de vagoane și anume [2]:

- vagoane de clasa 1-a cu trei compartimente cu câte șase locuri în fiecare compartiment, cu uși laterale, fără comunicare între vagoane, cu lungimea între tamboane de 7,45 m și ampatamentul de 3,5 m;
- vagoane de clasa a 2-a cu patru compartimente, cu câte 8 locuri fiecare compartiment, cu lungimea între tamboane de 7,17 m și ampatamentul de 3,35m;
- vagoane de clasa a 3-a cu cinci compartimente, cu câte 10 locuri fiecare compartiment, cu lungimea între tamboane de 8,38 m și ampatamentul de 3,95 m. Aceste vagoane au fost inițial neîncalzite urmând ca ulterior să fie prevăzute cu sobe interioare pe combustibil solid;
- vagoane mixte de clasa 1-a și a 2-a cu un compartiment de clasa 1-a și două sau trei compartimente de clasa a 2-a.

Vagoanele nu erau dotate cu instalații sanitare iar iluminatul se făcea cu lămpi cu ulei de rapă. Vagoanele de clasa 1-a erau încălzite cu vase cu apă caldă care se introduceau în compartimente în stațiile terminus. Viteza de circulație a trenului era de 33,5 Km/h.

Până la înființarea Direcției Generale a Căilor Ferate Române (CFR) fiecare concesionar aducea vagoane și locomotive din țară sau de origine astfel încât parcul de material rulant era diversificat. Odată cu constituirea Direcției Generale a Căilor Ferate Române au fost luate măsuri pentru modernizarea parcului de material rulant prin comanda către fabricantul Gorlitz, în anul 1889, a unor vagoane compartimentate cu culoar lateral. În anul 1902 parcul CFR se îmbogățește cu noi vagoane achiziționate de la casa Ringhoffer, produse de uzinele „Ganz es Tarsa” din Budapesta, cunoscute sub denumirea de seria 17 – 22. Aceste vagoane aveau șasiu metalic, carcasă din lemn acoperită cu tablă, boghiu german cu arcuri în foi și arcuri elicoidale, frân pneumatic, încălzire cu aburi de joasă presiune, iluminat electric,

două toaleta și 7 compartimente. Viteza de circulație era de 80 Km/h. Conform unui Livret de mers din anul 1984 pe ruta Hunedoara – Iași garnitura de tren avea în componență vagoane din seria 17 – 22 [1, 3].

Creșterea parcului de vagoane a impus și înființarea unor ateliere de întreținere și reparare care la început au fost destinate de rudimentare. În anul 1872 sunt înființate atelierele București – Grivița, apoi cele de la Pașcani, Galați, Dobreta Turnu-Severin, Titu, Târgoviște, Iași, Palas Constanța, etc.

La finalul secolului al XIX-lea parcul CFR era format din 450 locomotive, 1000 de vagoane de călători, 10000 de vagoane de marfă, poște și bagaje.

Mare parte din parcul de vagoane și locomotive va fi distrus în timpul primului război mondial. După anul 1918 CFR moștenește de la Căile Ferate Maghiare un parc de vagoane din Transilvania extrem de eterogen. După anul 1920 se iau din nou măsurile de îmbunătățire a parcului de vagoane prin achiziționarea de material rulant de la uzinele germane din Nurenberg. Datorită calității lor foarte bune pentru acea vreme aceste vagoane au circulat timp de peste 70 de ani, în anul 1996, un astfel de vagon se află în compunerea grupei directe Huși – București [1].

În 1928 CFR achiziționează din Italia vagoanele „Breda” cu lungimea peste tamponare de 21,04 m, boghiu cu arcuri laterale din foi cu șgeata negativ legate de cadrul boghiului prin arcuri elicoidale, tamponare cilindrice cu dispozitiv de compensare și inele de fricțiune, aparat de tracțiune discontinuu.

În anul 1927 la Arad începe construcția primelor vagoane de clasă românească. Mai întâi se construiesc vagoane de clasă a 2-a și a 3-a iar începând cu anul 1940 și vagoane de clasă 1. Acestea aveau distanța între tamponare de 21,83 m, boghiuri Gorlitz, cu osii cu rulmenți, tamponare cilindrice cu inele de fricțiune și dispozitiv de egalizare, frână pneumatică. Pereții interiori erau furnizorii iar între aceștia și tabla exterioară erau montate plăci izolatoare confecționate din plută. Ventilația vagonului se făcea prin clapete de aerisire, montate deasupra ferestrelor. Vagonul avea 42 de locuri în 7 compartimente.

Vagoanele de clasă a 4-a au circulat în perioada 1921–1928 din inițiativa generalului Averescu, în scopul de a ajuta țărănimea care dorea să călătorească cu trenul. Aceste vagoane au fost realizate prin transformarea vagoanelor de marfă pe două osii cu carcasa de lemn, căror li s-au montat banchete din lemn [3].

Vagoanele de dormitor și bar-restaurant erau vagoane salon cu un aspect asemănător cu al vagoanelor de clasă. Aveau o sală de conferințe cu mese și fotolii mobile. Încăperea rezervată pentru personalul de însoțire cuprindea un mic bufet dotat cu sobă de gâtit. Mai existau și vagoane restaurant și de dormitor provenite din transformarea unor vagoane de clasă prevăzute cu tot confortul necesar călătorilor de noapte. Acestea erau dotate cu 9 – 10 cabine de dormitor cu două paturi, o cabină pentru însoțitor și o cabină pentru sobă. Primele vagoane bar - restaurant noi apar între anii 1965-1970.

Vagoanele de turism erau vagoane folosite de grupuri turistice, amenajate în două variante, clasă 1 cu două paturi și clasă a 2-a cu patru paturi.

Vagoanele de călători de ecartament îngust (760 mm) produse de „Unio” Satu Mare prin modificarea unui vagon de marfă de linie îngust aveau 30 – 36 locuri, uși de acces pivotante, încălzire cu aburi, iluminat electric, carcasa de lemn. În anul 1970 carcasa de lemn este înlocuită cu una metalică, fabricându-se 527 de bucăți de astfel de vagoane la uzinele „Meva” din Dobreta Turnu-Severin. Vagoanele de cale îngust de intervenție au fost construite prin transformarea unui vagon de marfă de linie îngust cu pereții din lemn.

În 1938 parcul CFR era format din 2067 de locomotive, cca 130 de automotoare, 3127 de vagoane de călători și 56877 de vagoane de marfă.

În anul 1938 în România funcționau următoarele fabrici de material rulant [3]:

- Malaxa București producea din 1928 locomotive cu abur. A produs ulterior automotoare și vagoane cisternă;
- „Uzinele domeniilor Reșița” producea din 1927 locomotive cu aburi;
- „Romloc” Brașov producea din 1921 locomotive cu abur. Din 1954 este reprofilat pe producția de camioane;
- „Unio” Satu-Mare produce trenuri automotoare. După 1945 este reprofilat pe producția de utilaj minier;
- „Astra” Arad producea din 1892 vagoane de marfă și locomotivi dar și unele trenuri automotoare.

În anul 1943 la uzina Astra Arad se fabrică primele vagoane de călători, după un proiect german, care aveau carcasa complet metalică, boghiuri Gorlitz, frân tip HIKP moderabil la defrânare, încălzirea cu aburi de joasă presiune, iluminarea cu becuri, generator electric, cu 9 compartimente și un total de 72 locuri. Viteza maximă a acestor vagoane era de 100 Km/h. Între anii 1943 – 1961 au fost fabricate 822 de astfel de vagoane.

Odată cu cel de al doilea război mondial, se produc din nou pagube importante parcului de material rulant al CFR și cu precizie datorită faptului că o parte din vagoane sunt predate URSS, în contul despăgubirilor de război. Pe de altă parte, datorită exploatare intensive și a lipsei pieselor de schimb, parcul de vagoane a fost puternic uzat. Din acest motiv în anul 1950 începe să fie reorganizată activitatea de întreținere a vagoanelor prin înființarea direcției de tracțiune și vagoane, Întreprinderile de Material Rulant Grivița și Pașcani, Reviziile de vagoane. Revizoriile de vagoane, Stațiile de domiciliu, posturile de revizie. După 1960 C.F.R. începe o nouă perioadă de dotare cu material rulant cu capacitate sporită și condiții tehnice și de confort îmbunătățite.

În perioada 1960–1990 are loc modernizarea parcului de vagoane prin fabricarea de vagoane de clasă la Astra Arad și Turnu Severin după un proiect intonațional din anul 1960. Aceste vagoane erau dotate cu boghiu „Minden–Deutz”, frân de mare putere KE - GPR, suspensii cu arcuri elicoidale și amortizor hidraulic. Viteza maximă de circulație a acestor vagoane era de 140 Km/h, raza minimă de înscriere în curbă 150 m, încălzirea cu aburi căldură electrică, 9 sau 10 compartimente cu un total de 54 locuri la clasa 1 și 80 de locuri la clasa a - 2 – a, finisate cu pal melaminat iar scaunele cu pluşă sau polivinilil.

Vagoanele etajate au fost achiziționate din Republica Democrată Germania în anii 1984 – 1985 și folosite în compunerea trenurilor muncitorești. Viteza maximă de circulație a acestora era de 120 Km/h, încălzirea cu aburi și electrică, iluminat electric cu tuburi fluorescente, dotate cu 48 de locuri la etaj și 64 de locuri la parter.

Vagoanele de dormitor și cu etaj aveau viteza maximă de circulație de 140 Km/h, boghiu Minden–Deutz, frân KE–GPR, uși manuale, încălzire cu aburi și electric fiind fabricate la Arad. Vagoanele de poartă și bagaje existau în 6 serii înainte de 1990. Ultimele astfel de vagoane au circulat până în 2003.

Vagoanele speciale și administrative sunt: vagoanele dinamometrice, vagoanele depozit, vagoanele brutărie, vagoanele administrative din compunerea trenurilor macara, vagoanele cu etaj din dotarea Ministerului Apărării Naționale și vagoanele sanitare. Vagoanele generator erau folosite pentru producerea curentului electric pentru trenurile care aveau în compunere vagoane frigorifice tractate de locomotive nemodernizate.

Dacă în anul 1975 parcul de vagoane de clasă al CFR era format din 1600 buc și după anul 1985 acesta conținea 2500 locomotive diesel și electrice, 144000

de vagoane de marfă, 3300 vagoane de călători. După anul 1990 a continuat modernizarea parcului de vagoane. Au fost construite la Astra Arad și Grivița București vagoane la care viteza maximă de circulație era de 200 Km/h, cu instalații de climatizare, sonorizare, aer condiționat, iluminat fluorescent și cu led, spațiu pentru biciclete și schiuri, uși automate, minibar, sisteme de supraveghere video, sisteme de informare pasageri. În total după anul 1990 în parcul CFR au intrat un număr de 48 serii de vagoane de călători, 8 serii de vagoane bar-restaurant, 11 serii de vagoane de dormit și cu etaj, 3 serii de vagoane pentru transportul automobilelor însoțite, construite sau modernizate.

2.2. Construcția materialului rulant

Din punct de vedere constructiv, vagoanele de cale ferată sunt de diferite tipuri și se deosebesc prin numărul de osii, construcția cutiei, instalațiile și echipamentele care se montează pe acestea. În figura 2.1 se prezintă tipurile constructive de vagoane de marfă. Indiferent de destinația lor, părțile principale ale vagoanelor sunt: aparatul de rulare, suspensia, boghiul, asiul, cutia, aparatul de ciocnire, aparatul de tracțiune, aparatul de legare, instalația de frână. Vagoanele de călători sunt dotate, în plus, cu: instalații de încălzire cu abur, apă caldă sau electrică, instalații de iluminat, instalații de ventilat sau de aer condiționat, instalații sanitare, dispozitive de intercomunicații și supraveghere. În figura 2.2 este reprezentat un vagon de marfă acoperit, cu patru osii, din care rezultă și principalele părți componente [4].

Aparatul de rulare este compus din osia montată și cutiile de osie. El asigură circulația vagonului pe cale și mersul lin al acestuia cu rezistență minimă la înaintare. Suspensia este formată din arcuri în foi, atelaje cu eclise sau inele, suporturi de arc, balansiere, amortizoare, brațe conducătoare, uruburi și piulițe, buloane cu siguranță, arcuri elicoidale de diferite mrimi, etc. Asiul este un cadru metalic foarte solid, format din două lonjeroane rigidizate la capete prin două traverse frontale; asiul este rigidizat și prin diverse traverse intermediare. Pe el se montează cutia vagonului, aparatele de rulare și de suspensie, aparatul de ciocnire, tracțiune și legare, instalațiile de frână, încălzit, iluminat, etc.



Fig.2.1. Tipuri constructive de vagoane de marf , [4]

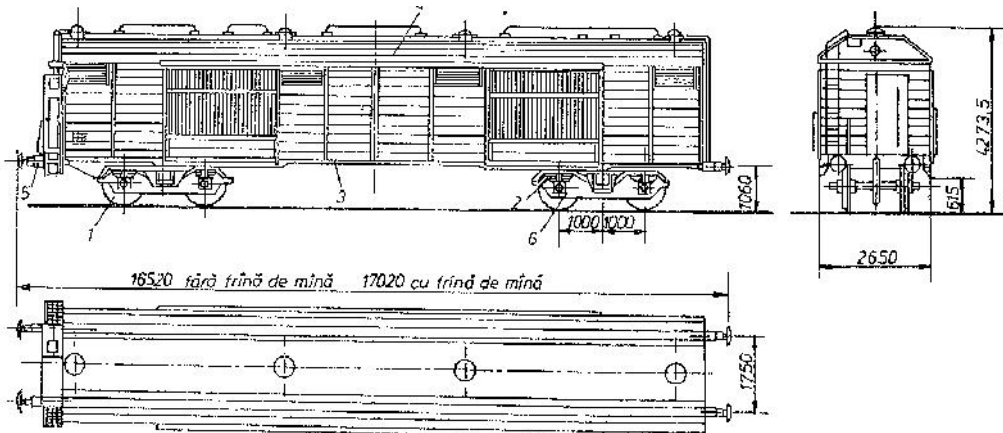


Fig.2.2. Vagon de marf acoperit, cu patru osii, [4]:
 1 – aparat de rulare; 2 – suspensie; 3 - asiul; 4 – cutia vagonului;
 5 – aparatul de ciocnire, trac iune și legare; 6 – boghiu.

Cutia vagonului este formată dintr-un schelet constituit din stâlpi, traverse, diagonale, îmbrăcate cu tablă sau cu scânduri. Elementele scheletului cutiei vagonului sunt legate de asi. În funcție de natura marfurilor pentru transport cutia vagonului poate fi: acoperită, descoperită, cisternă sau de forme speciale.

Aparatul de ciocnire, trac iune și legare este constituit din cărlige și barele de trac iune, elementele de fixare (manșone duble și uruburi de fixare), arcurile volute, ghidajele, cuplele de legare. El are rolul de a asigura legarea vagoanelor între ele și respectiv de locomotivă, de a le menține la o anumită distanță și de a prelua eforturile de trac iune și de compresiune care apar în timpul exploatareii.

Boghiul este constituit din două sau mai multe osii, montate într-un cadru metalic rezistent, pe care se sprijină asiul vagonului. El este un mic vehicul independent.

Instalația de frână automată are rolul de a asigura oprirea trenului sau de a reduce viteza de circulație în pante sau în palier. Frânarea se realizează prin aplicarea uniformă a saboților pe suprafața de rulare a bandajelor cu ajutorul unui sistem de bare, denumit timonerie de frână. În plus vagoanele de călătorii sunt dotate cu o serie de instalații necesare asigurării confortului călătorilor.

Sistemele de frânare de bază utilizează în regim automat aerul comprimat ca agent de execuție. La aceste sisteme elementul de frecare este sabotul din fontă sau din material compozit aplicat pe bandajul roții sau garnitura de frecare aplicată pe discul de frână. Sistemul de frânare de bază asigură realizarea sigură a unui drum de frânare încadrat în cel mai mic interval dintre două semnale de cale ferată, începând cu o anumită viteză de circulație [4].

În domeniul vitezelor mari și foarte mari nu se pot asigura drumurile de frânare limitate de 1000 m, 1200 m, 1400 m sau 1600 m. De aceea s-a dezvoltat conceptul de realizare a drumurilor de frânare cu ajutorul tehnicii de semnalizare.

După modul de realizare al forței de frânare se deosebesc următoarele tipuri de frâne:

- frâna cu saboți, la care forța de frânare apare ca efect al frecării dintre sabot și suprafața de rulare a bandajului roții;

- frâna cu disc, la care forța de frânare se realizează ca urmare a frecării dintre discul de frână și garniturile de frecare;
- frâna electric, la care motoarele electrice de tracțiune la frânare sunt trecute în regim de generator;
- frâna hidraulică, la care forța de frânare se realizează prin utilizarea transformatorului hidraulic ca organ de frânare;
- frâna magnetic, la care forța de frânare se realizează între o patină magnetică fixată pe vehicul și suprafața unei de cale ferată.

Frânarea cu saboți este cea mai folosită la materialul rulant. În figura 2.3 se prezintă principiul constructiv al unei frâne cu saboți, acționată cu aer comprimat și manual.

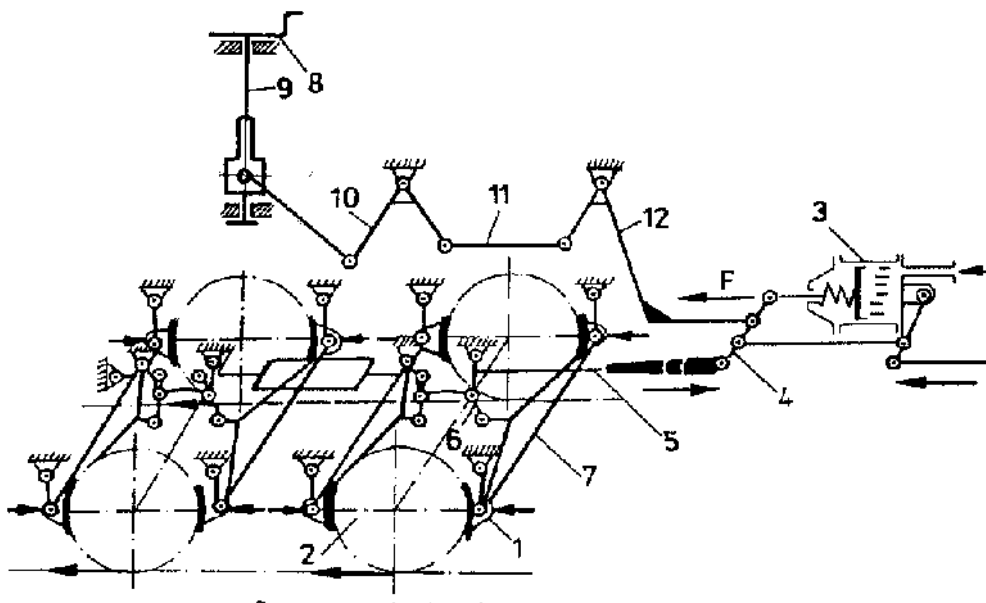


Fig.2.3. Frână cu saboți acționată cu aer comprimat și manual, [4]:

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 sistemul de frânare din figura 2.3 forța „F”, care apare la tija pistonului cilindrului de frână, este amplificată de elementele timoneriei de frână, iar saboții de frână apăsă pe suprafața de rulare a roților. Dacă apăsarea sabotului pe roată apare ca efect al acțiunii unui operator uman asupra manivelei, iar forța se multiplică prin pârghiile la saboți, instalația de frânare se numește de tip manual.

Pentru vagoanele de căle ferată și locomotive care au gabarit limitat se utilizează unități de frânare cu saboți din fontă sau material compozit (figura 2.4) [4].

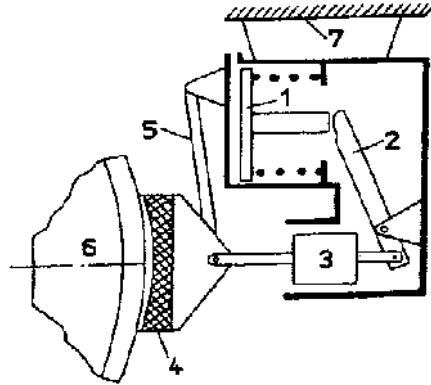


Fig. 2.4. Schema unității de frânare cu sabot:
 1 - piston; 2- pârghie amplificatoare; 3 - regulator automat de timonerie;
 4 – sabot de frân ; 5 – atârnat; 6 – roată ; 7 – cadru boghiu

În cazul frânei cu sabot coeficientul de frecare μ dintre roată și sabot se determină cu relațiile [4]:

$$\mu = F_T / P_s \quad (2.1)$$

în care : F_T - este forța de frecare tangențială la roată ;

P_s - este forța de apăsare pe sabot.

Definirea clasică a coeficientului de frecare μ prin relația (2.1) se poate folosi numai când contactul dintre roată și sabot este considerat punctiform și în situația suspendării sabotului ca în figura 2.5.

$$\mu = F_T / F_N \quad (2.2)$$

în care : F_T - este componenta tangențială a forței de frecare la roată ;

F_N - este componenta normală a forței de frecare la roată .

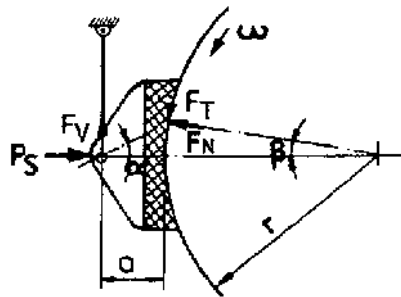


Fig.2.5. Forțele la roata frânată cu sabot:
 r – raza roții frânată cu sabot; a – distanța din centrul de articulație al atârnatului port-sabotului la tangenta la suprafața de contact.

Dac se efectueaz m sur tori de frânare pe standuri sau în parcursul vehiculului, cu scopul de testare înainte a introducerii acestora în circula ie, coeficientul de frecare μ_{se} se poate calcula cu rela ia [4]:

$$\mu_{se} = F_V / P_s \quad (2.3)$$

în care : μ_{se} - este coeficientul de frecare sabot – roat determinat experimental;

F_V - este for a care ac ioneaz la atârntorul sabotului ;

P_s - este for a care apas pe sabotul de frân , m surabil prin diferite procedee, cel mai utilizat fiind cel tensiometric.

Rela iile (2.1), (2.2) i (2.3) conduc la valori diferite ale coeficientului de frecare la valori diferite ale raportului a/r , valori care sunt prezentate comparativ în figura 2.6.

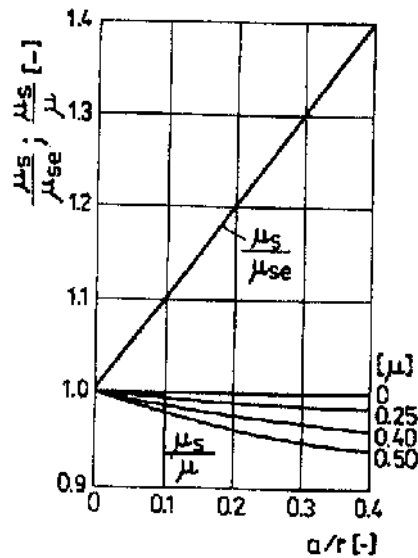


Fig.2.6. Dependena diferi ilor coeficien i de frecare de raportul a/r i μ , [4]

Pentru sabotul de font se poate constata c atât viteza la care se efectueaz frânarea cât i presiunile specifice „p” care apar între roat i sabot, au o mare influen (figurile 2.7 i 2.8) asupra coeficientului de frecare [4].

În cazul folosirii sabo ilor de frân din material compozit, coeficientul de frecare are o dependen mai redus fa de viteza de circula ie, dup cum rezult din figura 2.9.

Datorit faptului c la frânele cu sabo i de compozit valoarea coeficientului de frecare este mai mare decât cea ob inut la frânarea cu sabo i de font se pot construi timonerii de frân mai uoare.

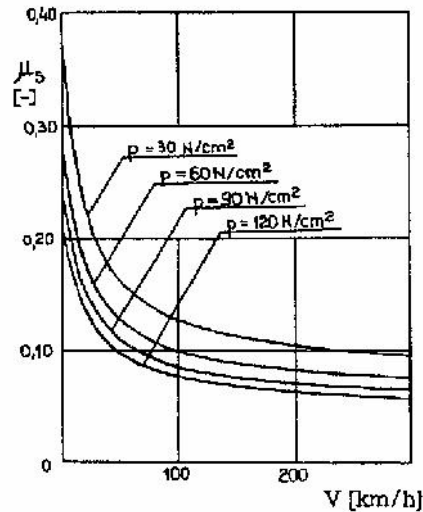


Fig.2.7. Coeficientul de frecare μ pentru saboți de font după Karwazki în funcție de viteza v și presiunea specifică p , [4].

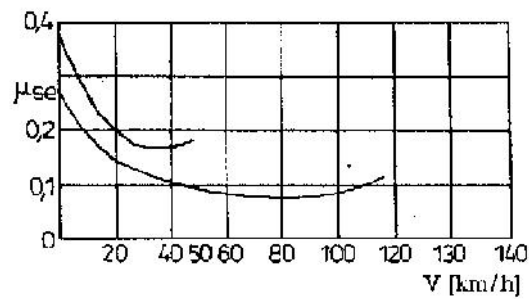


Fig.2.8. Coeficientul de frecare μ pentru saboți de font în funcție de viteza v , [4]

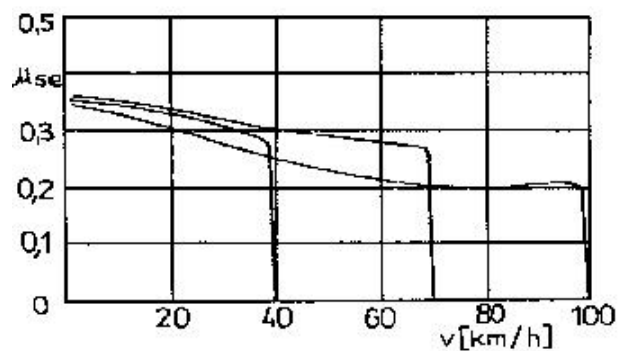


Fig.2.9. Coeficientul de frecare μ pentru saboți din compozit m surat la încercări cu diferite viteze v de început al frânelor, [4]

- Dezavantajele sistemelor de frânare cu saboii de material compozit sunt :
- uzura suprafeei de rulare a roii este mai mare decât în cazul utilizării saboilor de fontă ;
 - valoarea coeficientului de frecare scade în mediu umed comparativ cu mediul uscat;
 - are loc lustruirea suprafeei de rulare a roilor fapt ce reduce aderența dintre roată și în ;
 - conductibilitatea termică redusă a sabotului poate conduce la apariția unor tensiuni termice în roată cu posibilitatea apariției de fisuri sau crăpături în roată .

2.3. Concluzii

Procesul de frânare este influențat de o serie de factori aleatori, și anume: condițiile atmosferice (ceață, burniță, etc.) și gradul de curățare alinelor de cale ferată . Acești factori influențează negativ aderența dintre roată și în , constatându-se experimental că, la frânări, în aceleași condiții de umiditate, se pot parcurge spații de frânare diferite. Cauzele acestor diferențe de spații de frânare se regăsesc în: tipul sistemului de frânare folosit; modul de acționare a sistemului de frânare (principiul și inerția acestuia); materialul utilizat pentru construcția sabotului sau a plăcuțelor de frână .

Eficiența frânării depinde de tipul de frână , astfel că la frâna cu saboii, forța de frânare depinde de viteza de circulație a materialului rulant, pe când în cazul frânei cu discuri, forța de frânare este aproape constantă pe durata frânării.

Tendința generală în transportul pe calea ferată este de prestare a condițiilor de rulare clasice roată - în , dar în condițiile creșterii vitezelor de exploatare până la 300 - 350 km/h. Noi generații de linii și trenuri de mare viteză se suprapun sau le înlocuiesc pe cele existente, prefigurându-se o rețea europeană de mare viteză . Fcând o comparație între trenurile de mare viteză și cele convenționale se constată o superioritate evidentă a transportului de mare viteză . Avantajele transportului convențional sunt: consumul de combustibil (90 % din consumul de la mare viteză) și condițiile mai puțin pretențioase de execuție a condițiilor ferate și a materialului rulant. Este evident că transportul feroviar de mare viteză implică o întreagă familie de noi tehnologii. Datorită acestor tehnologii, siguranța transportului de mare viteză actual este chiar superioară siguranței transportului convențional. Pentru România se pune problema atingerii vitezei de 200 km/h.

Pentru diminuarea zgomotului, Uniunea Europeană a adoptat în anul 2006 Specificațiile Tehnice de Interoperabilitate pentru Zgomot (STI) prin care se prevede că până la finele anului 2015 operatorii feroviari ar trebui să își echipeze materialul rulant cu echipamente de frânare performante. Legislația Europeană impune limite, atât pentru materialul rulant nou, cât și pentru cel recondiționat și pus în circulație în spațiul european. Astfel, se cere echiparea materialului rulant cu saboii de frână silențioși, care să reducă semnificativ emisiile de zgomot. Problemele zgomotului, provenit din transportul feroviar, nu pot fi rezolvate fără investiții. Soluția economică o reprezintă confecționarea unor saboii de frână silențioși care să-i înlocuiască direct pe cei de fontă fără a face modificări la sistemul de frânare al vehiculului feroviar.

Din acest motiv direcția principală de cercetare adoptată în cazul lucrării de față a fost tocmai aceea de a înlocui fonta fosforoasă cu un material compozit care să satisfacă condițiile tehnice impuse saboilor de frână .

3. STADIUL ACTUAL AL TEHNOLOGIEI DE FABRICAȚIE A SABOILOR DE FRÂNĂ DESTINAȚI MATERIALULUI RULANT

Frânarea trenurilor se desfășoară după un proces foarte complex fiind de o importanță majoră în ceea ce privește siguranța circulației pe calea ferată. Complexitatea procesului derivă din faptul că, pe durata frânării, au loc numeroase fenomene mecanice, termice și pneumatice, care, cunoscute, pot fi contracarate în scopul de a asigura o frânare eficientă și sigură.

Sistemele de frânare de bază cu saboți sau cu discuri, realizează forța de frecare, pe baza frecării columbiene care ia naștere în cuplele de frecare ale materialului rulant [1]. Frânele cu saboți sunt de regulă echipate cu saboți din font fosforos sau mai modern cu saboți din materiale compozite.

Saboții din font fosforos se utilizează, în general, la materialul rulant, la care viteza maximă nu depășește 140 km/h, datorită unor dezavantaje, cum ar fi: uzura relativ rapidă, coeficient de frecare redus, coeficient de frecare dependent de viteză, apariția scânteilor la frânare și încălzirea puternică a sabotului [5].

Saboții de frână din materiale compozite se utilizează pentru a înlocui saboții convenționali din font, care sunt considerați o sursă importantă de zgomot. Aceștia sunt eficace în reducerea zgomotului (cu 10 dB, echivalentul a 50% din zgomotul sabotilor de font).

În ultimii 10 ani, industria de profil a dezvoltat mai multe tipuri de saboți de frână din materiale compozite, în scopul înlocuirii sabotilor de frână convenționali, din font, care constituie principala sursă a rugozității și roții. Acești saboți de frână permit o reducere a zgomotului de rostogolire, perceptibilă până la 50%. Saboții din materiale compozite prezintă dezavantajul că materialul compozit este rigid și conduce la o creștere a uzurii [6].

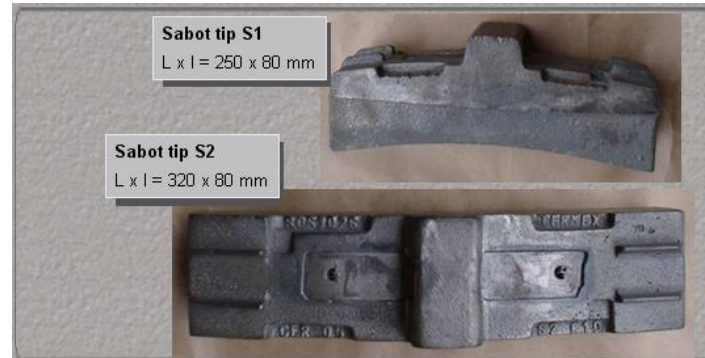
Aprecierea calității sabotilor în exploatare se face pe baza criteriilor [7]: stabilitatea drumului de frânare; uzura specifică cât mai mică; capacitatea de încălzire termică cât mai mare; sensibilitate la rupere cât mai mică și tendința scăzută la formarea scânteilor.

3.1. Analiza tehnologiei de fabricație a sabotilor de frână din font fosforos

La confecționarea sabotilor de frână destinați materialului rulant, cea mai largă utilizare o au fontele fosforos P10. Utilizarea acestora este limitată, coeficientul lor de frecare scăzând accentuat în timpul frânelor la viteze mari, iar uzura, datorată tendinței de gripare, se intensifică odată cu creșterea temperaturii în cupla de frecare. [8]

3.1.1. Font fosforos destinat turnării sabotilor de frână

Saboții de frână, mrima S1, S2 și S3 (figura 3.1) sunt obținuți prin turnare din font fosforos și sunt destinați pentru materialul feroviar rulant remorcat.



a)



b)

Fig.3.1. Sabo i de frân din font e fosforoas e , [5]:
a) pentru vagoane de marf i c i l tori; b) pentru locomotive

Fontele cenu ii fosforoase sunt fonte perlitice, cu un con inut m rit de fosfor. În structur apare i un eutectic ternar fosforos numit steadit , alc tuit din perlit , cementit i fosfur de fier Fe_3P [9]. Rezisten a maxim a fontei corespunde masei metalice perlitice, iar cea mai mare duritate o au fontele perlito-cementitice i fosforoase. Cea mai mare capacitate de amortizare a vibra iilor apar ine masei metalice feritice, la care cantitatea de grafit este maxim [9].

Elementele grafitizante din fonte (C, Si, Al, Ni, Cu, Ti, P, Co) au o afinitate mare pentru fier, formând compu i cu fierul, cum sunt Fe_3Si , Fe_3P , Fe_3Al , etc. Aceste elemente reduc cementita i las liberi atomii de carbon, favorizând formarea germenilor de grafit [9].

Elementele antigrafitizante din fonte (Cr, V, Mn, Mo, Mg, S, Ce, B) sunt elemente, care fie se dizolv în cementit [$(Fe,Mn)_3C$, $(Fe,Cr)_3C$] pe care o stabilizeaz , fie formeaz carburi stabile proprii care faciliteaz germinarea cementitei (Cr_2C_3 , Mo_2C , VC) [9].

Principalul element, care influen eaz structura fontelor, este carbonul. În fontele cenu ii pentru construc ia de ma ini, carbonul se g se te în limitele 2,8-3,8%. Limita inferioar coboar la 0,5%C pentru fontele aliate cu Si i Al, iar limita superioar urc la 4,5%C în fontele brute de prima fuziune [9].

Carbonul este un element grafitizant, care m re te cantitatea de grafit din structura fontelor cenu ii i mic oreaz cantitatea de perlit . Cre terea con inutului de carbon conduce la mic orarea rezisten ei mecanice, durit ii i tenacit ii fontei.

Siliciul se g se te în fontele cenu ii în limitele 1,5 - 2,5%. Siliciul se dizolva în ferit , pe care o durific . Siliciul este un element puternic grafitizant, care m re te refractaritatea fontei. Siliciul m re te cantitatea de ferit i de grafit, mic oreaz cantitatea de perlit i pe aceasta cale reduce rezisten a i duritatea fontei cenu ii [9].

Manganul se g se te în fontele cenu ii pentru construc ia de ma ini între 0,5–1%. La fontele aliate limita superioara poate ajunge la 8%Mn. Se g se te dizolvat în cementit , m rindu-i stabilitatea sau sub form de sulfuri. Este un element antigrafitizant, care m re te cantitatea de perlit din fonta cenu ie, respectiv rezisten a mecanic , duritatea i rezisten a la uzur a fontei [9].

Sulfur se g se te în fonte în limitele 0,06 - 0,1%. Este un element antigrafitizant care provoac apari ia grafitului interdendritic, ce confer fontei rezisten la oc termic. De aceea, în fontele pentru lingotiere se poate ajunge la 0,15%S. Con inutul de sulf este limitat, datorita insolubilit ii sale în fier sau cementit i a form arii eutecticului E (Fe + FeS), dispus intercrystalin i cu efect fragilizant [9].

Fosforul variaza în limitele 0,15 - 0,25%. Este un element slab grafitizant la cristalizarea primara a fontei i antigrafitizant la cristalizarea secundar . Se g se te, o parte, dizolvat în ferit , pe care o durific , i o alta, sub forma unui eutectic ternar EF ($P+Fe_3C+Fe_3P$), numit eutectic fosforos sau steadit . Acest eutectic are temperatura sc zuta de topire ($\approx 950^\circ C$), este repartizat intercrystalin i are o duritate mare (400-600 HB). În fontele cenu ii îmbun t e te rezisten a mecanic , duritatea, rezisten a la uzura abraziv i propriet ile de turnare. Fontele cenu ii, fosforoase, care con in pân la 1,5%P, se folosesc pentru turnarea pieselor cu pere i sub iri (elemente de calorifere) sau rezistente la uzur abraziv (sabo i de frân) [9].

Elementele de aliere carburigene (Cr, Mn, Mo, V) au ac iune antigrafitizant ; iar elementele de aliere necarburigene (Si, Cu, Ni i Al) sunt cu ac iune grafitizant . Elementele de aliere asigur propriet i speciale: siliciul m re te refractaritatea i rezisten a la acizi; nichelul – rezisten a la coroziune în acizi, s ruri minerale i organice.

La solidificarea fontelor cenu ii aliate cu fosfor, fosforul în structur se va reg si, în principal, sub forma eutecticului fosforos ternar, constituit din: solu ia solid (Fe - C - P), fosfura de fier (Fe_3P) i cementit (Fe_3C) [9]. Datorit temperaturii de solidificare sc zute (sub $1000^\circ C$), eutecticul fosforos se va distribui în spa iile intercelulare, cu separ ri izolate (sub 0,2%P), sub form de re ea discontinu (0,4-0,6%P) sau continu (peste 0,6%P). Tendin a de formare a eutecticului fosforos este cu atât mai accentuat , cu cât sunt mai mari con inuturile de siliciu i de carbon, iar viteza de r cire a fontelor este mai mic . Acest lucru se explic prin faptul c siliciul i carbonul mic oreaz solubilitatea i viteza de difuziune a fosforului în solu ia solid i deci îi m re te tendin a de segregare. Acela i efect îl are i mic orarea vitezei de r cire [10-12].

Eutecticul fosforos (figurile 3.2–3.4) se repartizeaz la limitele gr un ilor

(celulelor eutectice) sub form de separ ri izolate, re ea discontinu sau re ea continu , în func ie de con inutul de fosfor. Punctele negre de pe suprafa a separ rilor de eutectic fosforos reprezint perlita, iar fondul de culoare alb - amestecul Fe_3P i Fe_3C [9-12].

Suprafa a ocupat de eutecticul fosforos în fonte este de maxim 15%, iar dimensiunile separ rilor lui de maxim 1mm. Eutecticul fosforos se caracterizeaz printr-o duritate ridicat (500-600HB) i fragilitate mare, motiv pentru care are o mare influen asupra propriet ilor fontelor. Cantitatea de eutectic fosforos în font este în direct dependen de con inutul de fosfor (figura 3.5), fiind, de asemenea, influen at i de factorii care m resc tendin a de segregare a fosforului [13].

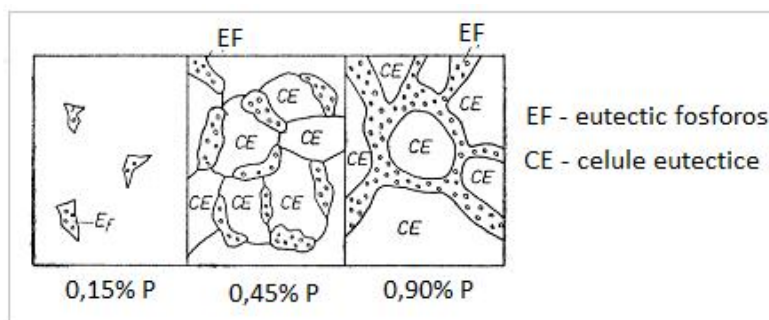


Fig.3.2. Influen a fosforului asupra caracterului repartiz rii eutecticului fosforos în structura fontei

La cre terea con inutului de fosfor se înregistreaz o cre tere a rezisten ei la trac iune a fontei, datorit finis rii grafitului i perlitei (eventual cre terea propor iei de perlit). Cre terea propor iei de eutectic fosforos conduce îns la fragilizarea fontei, astfel c , la o anumit valoare (critic) a con inutului de fosfor, se constat o mic orare a rezisten ei. Valoarea critic depinde, în mare m sur , de prezen a, în compozi ia fontei, a elementelor ce favorizeaz segregarea fosforului. Astfel, la cre terea con inutului de carbon, are loc o mic orare a con inutului de fosfor, la care se manifest ac iunea de fragilizare a eutecticului fosforos [9].



Fig.3.3. Modul de repartizare a eutecticului fosforos în fontele cenu ii, (200:1)

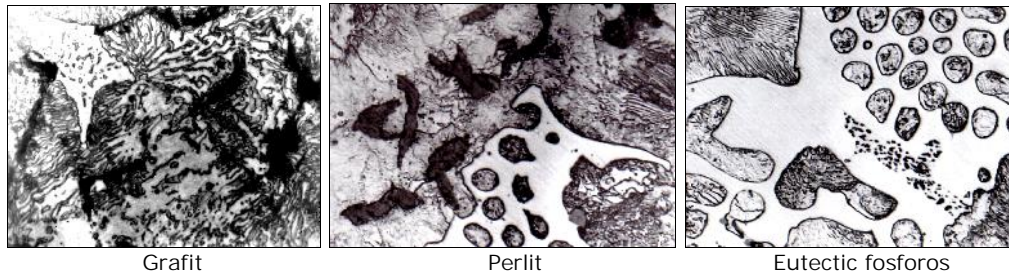


Fig.3.4. Structura fontei fosforoase, 400:1

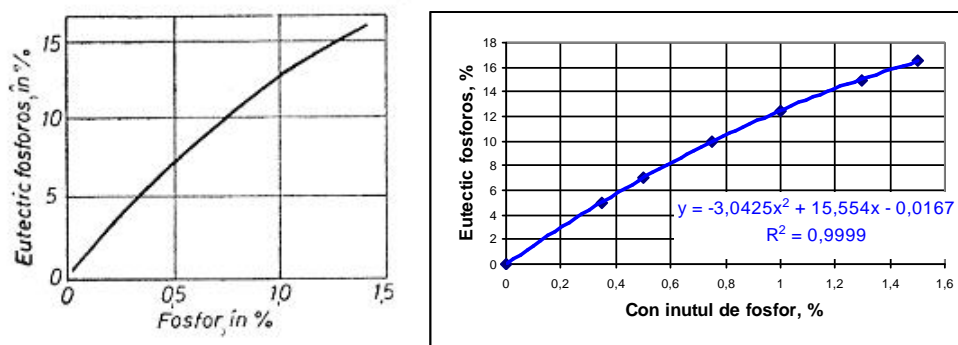


Fig.3.5. Influen a fosforului asupra cantit ii de eutectic fosforos din font

Apari ia i cre terea propor iei de eutectic fosforos (constituent dur) face ca duritatea fontelor s creasc continuu. Efectul de fragilizare al eutecticului fosforos este pus în eviden , în special, de faptul c rezilien a fontei scade continuu, odat cu cre terea con inutului de fosfor [9].

La formarea structurii primare, fosforul ac ioneaz ca element grafitizant, atât asupra pozi iei fontei fa de eutectic (cu o putere egal cu cea a siliciului) exprimat prin carbonul echivalent pentru eutectic (C_E), cât i asupra punctului lichidus, respectiv a carbonului echivalent privind lichidusul (C_{EL}), când are o putere mai mare decât siliciul [9,11].

$$C_E = C - 0,3 \cdot (Si + P) \quad (3.1)$$

$$C_{EL} = C + \frac{Si}{4} + \frac{P}{2} \quad (3.2)$$

La valori de acela i ordin de m rime a con inuturilor de carbon (2,88-3,02%) i siliciu (1,56-1,62%), cre terea con inutului de fosfor de la 0,08% la 1,1%P determin : m rirea carbonului echivalent, mic orarea tendin ei de albire a fontei, mic orarea temperaturii lichidus cu 39°C i a celei eutectice cu 44°C i conturarea palierului eutecticului fosforos la 934-944°C (în cre tere, sub ac iunea fosforului). [9,12].

Pentru o font a c rei compozi ie chimic este: C = 3,16 ± 0,09%; Si = 2,21-2,33%; Mn = 0,48 ± 0,04%; S = 0,13%; P = 0,88 ± 0,04%; C_{EL} = 4,18%; Cu = 0,16%; Ni = 0,075%; Cr = 0,1%; Al = 0,005%; O₂ = 37-89 ppm; N₂ = 53-58

ppm, la r cire, se înregistreaz urm toarea evolu ie a structurii [14]:

- la circa 1152°C (1143-1163°C) se înregistreaz dezvoltarea rapid a dendritelor de austenit ;
- la 1124-1126°C are loc formarea celulelor eutectice austenit - grafit;
- de la 956 la 916°C, lichidul rezidual (imbog it în fosfor) va solidifica sub forma unui eutectic ternar.

Astfel, se poate remarca faptul c intervalul de solidificare real al acestei fonte este foarte larg (peste 200°C). De asemenea, se accept existen a unui mod particular al solidific rii eutecticului în cazul fontelor cenu ii fosforoase, precum i formarea unui num r mare de celule eutectice, ce se dezvolt într-un interval de temperatur important, printre dendritele de austenit , ce cresc în grosime simultan. Rezultatul acestui proces este faptul c se diminueaz substan ial capacitatea de autoalimentare a fontei fosforoase, respectiv de infiltrare a topiturii pentru compensarea contrac iei zonelor în curs de solidificare i care r mân astfel, cu goluri de contrac ie (retasuri, microretasuri etc) [13-20].

În aceste condi ii, fonta grafitic ce apare ca rezultat al grafitiz rii eutectice (cre tere de volum) se va manifesta asupra formei (în cazul în care aceasta nu este rigid), accentuând astfel i mai mult procesul de formare a retasurilor concentrate. Doar în cazul unor forme rigide, când dilatarea ini ial nu se manifest asupra formei, o component a acesteia ac ioneaz spre interior, favorizând astfel procesul de infiltrare a topiturii în scheletul format i, ca atare, diminuarea (prin compensare) a golurilor de contrac ie. În acela i sens ac ioneaz i procesul de modificare grafitizant , când formarea unui num r mai mare de celule eutectice diminueaz i mai mult capacitatea de autoalimentare a zonei centrale a piesei (se formeaz o crust groas , deformabil , ce „for eaz " forma) [9,21].

Rezult , deci, c fontele cenu ii fosforoase sunt deosebit de sensibile la formarea zonelor cu porozitate, de contrac ie central , proces accentuat de modificarea grafitizant a acestor fonte, cu atât mai mult cu cât cre terea num rului de celule eutectice este mai accentuat . Deci, modificarea grafitizant a acestor fonte este o problem , influen ând pozitiv, prin eliminarea carburilor, dar i negativ, prin accentuarea porozit ii centrale.

În cazul acestor fonte, trebuie s se mai in cont de microporozitate. Aceasta este specific , în general, fontelor cenu ii datorit microcavit ilor de contrac ie ce apar, în spa iile intercelulare, dar care este puternic accentuat în cazul fontei fosforoase, când aceste spa ii vor solidifica, la temperaturi sc zute, rezultând separ rile de eutectic fosforos [9, 22].

O alt particularitate a solidific rii eutectice a fontelor cenu ii fosforoase o constituie prezen a unor zone bogate în fosfor în interiorul celulelor eutectice, în partea lor central . La aceste fonte, celulele eutectice pot fi imaginate "ca ceva spongios, impregnat cu lichidul bogat în fosfor" [9, 14, 23].

Celulele eutectice prezint structuri specifice în cazul fontelor cenu ii fosforoase [9, 14, 24]:

- lamele de grafit arcuite, de dimensiuni diferite i cu o dispunere ordonat , respectiv lamele foarte fine în centru, lamele fine în zonele intermediare i lamele grosolane în exteriorul celulelor eutectice;
- prezen a unor lamele de grafit în spa iile intercelulare, acestea apar înând celulelor învecinate;
- separ ri de eutectic fosforos (uzual ternar) în spa iile intercelulare;
- zone bogate în fosfor în partea central a unor celule eutectice asociate grafitului foarte fin.

În general, exist mai mul i factori care ac ioneaz asupra form rii

porozit ii de contrac ie, specifice zonelor centrale ale pieselor turnate din fonte cenu ii fosforoase, i anume: natura materialelor utilizate în înc rc tura agregatului de elaborare; compozi ia chimic a fontei; regimul termic de elaborare; modificarea grafitizant i rigiditatea formelor [25].

Natura materialelor utilizate în înc rc tur i, ca atare, i necesit ile de corec ie pentru ob inerea fontelor fosforoase, influen eaz hot rător sensibilitatea fontelor la formarea porozit ii centrale [25].

În tabelul 3.1 sunt prezentate situa iile în cazul elabor rii a dou tipuri de fonte cenu ii fosforoase i anume, fonte cu o compozi ie chimic apropiat de cea corespunz toare fontei P10, arja I, la care s-a pornit de la o font de furnal (deci, f r carburare) i arja II, la care s-a pornit de la o înc rc tur constând din font recirculat fosforoas i fier vechi, la care a fost necesar carburarea (în înc rc tur sau în baia metalic) i corec ia siliciului, fapt care influen eaz porozitatea [26].

Se remarc faptul c , în cazul în care s-a pornit de la o font de furnal (cu foarte pu in fier vechi), deci în cazul în care nu au mai fost necesare corec ii ale carbonului i siliciului, retasura a lipsit în timp ce, aceea i font , dar ob inut din de euri recirculate i o cantitate mai mare de fier vechi (cu necesitatea efectu rii corec iilor pentru C i Si a prezentat o sensibilitate mare la porozitatea central .

Pentru fontele care trebuiesc carburate prezint sensibilitate ridicat la porozitatea central , indiferent de modalitatea efectu rii carbur rii (adaos în înc rc tur sau în baia metalic , dup topire).

Tab.3.1. Elaborarea unor fonte fosforoase în cuptoare cu induc ie

Nr. arj	Înc rc tur	Corec ie C i Si	Compozi ie chimic , [%]	În lțime albire, [mm]	Indice retasur , [mm ³]
I	88,2% - font 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
II	60% - recirculate 34,7% - fier vechi 2,4% - FeP 1,5% - Grafit 1,0% - FeSi 98 FeMn, FeS	Da	C = 3,22% Si = 2,60% P = 1,15% S = 0,07% C _{EL} = 4,43%	4,5	350

Fosforul constituie principalul element din compozi ia chimic a fontelor care favorizeaz apari ia porozit ii centrale, la valori de peste 0,25%P aceste defecte fiind frecvente.

În general, la fontele fosforoase, cre terea C i Si (deci a carbonului echivalent) favorizeaz formarea microretasurilor în zonele centrale ale pieselor turnate, motiv pentru care la astfel de fonte se recomand un carbon echivalent moderat (care, îns , favorizeaz porozitatea) [25].

Este de re inut faptul c trecerea în domeniul hipereutectic determin accentuarea porozit ii. Pe de alt parte, este necesar o cantitate minim de grafit eutectic pentru a se preîntâmpina formarea retasurilor, cu atât mai mult cu cât con inutul de fosfor este mai ridicat [9].

În general, se recomand ca la elaborarea fontelor fosforoase, temperatura de supraînc lzire s fie stabilit dup alte principii decât în cazul fontelor obi nuite,

în raport cu temperatura de echilibru (T_e) a reac iei [9]:



Astfel, pentru:

- fonte obi nuite: $T_s = T_e + 50^\circ C$ (30-80°C)
- fonte fosforoase: $T_s = T_e$

La fontele cenu ii fosforoase, toate etapele regimului termic (supraînc lizare - modificare - turnare) se realizeaz la temperaturi mai sc zute, pentru a se diminua sensibilitatea la porozitate.

În general, modificarea grafitizant m re te sensibilitatea la apari ia porozit ii centrale care este cu atât mai accentuat cu cât consumul de modificador este mai ridicat, modificarea are loc la temperaturi mai înalte, iar durata de men inere, dup modificare, este mai mare. Modificarea în form , (la temperaturi mai sc zute), este cea mai eficient [9, 14].

Cre terea rigidit ii formei de turnare defavorizeaz formarea microporozit ii centrale, dar f r s aib puterea de a o anula. Cu toate acestea, turnarea fontelor cenu ii fosforoase în forme rigide este recomandat , pentru a ob ine piese turnate cu o pondere mai sc zut a acestor defecte.

3.1.2. Elaborarea fontelor în cuptoarele cu induc ie

La aceste tipuri de agregate, c ldura se ob ine în îns i materialele metalice supuse înc lizirii i topirii, la trecerea unor curen i electrici prin acestea.

Înc lizarea prin induc ie se bazeaz pe p trunderea energiei electromagnetice într-un conductor masiv (înc rc tura metalic solid sau lichid), situat în câmpul magnetic variabil în timp, produs de o bobin (inductor). Înc lizarea conductorului (indus) se produce prin efectul Joule-Lenz al curen ilor turbionari indu i [26].

C ldura se dezvolt direct în materialele metalice supuse înc lizirii, rezultând o vitez de înc lizare-topire, mai mare fa de cea ob inut în cuptorul cu înc lizare indirect (prin transmiterea c ldurii) [26].

Materialele metalice din cuptor formeaz secundarul unui transformator, al c rui primar (inductorul) prime te energia electric de la re ea i, prin induc ie electromagnetic , o transmite secundarului, care nu are, deci, contact direct cu sursa. Astfel, materialul metalic se g se te la temperatura maxim a cuptorului iar restul instala iei constituie elementele izolatoare de c ldur ale cuptorului [26].

Cuptoarele cu induc ie se clasific dup mai multe criterii [9, 26], i anume:

- din punct de vedere al sursei de alimentare:
 - cu frecven industrial (50 Hz);
 - cu frecven medie (100-10000 Hz);
 - cu frecven înalt (50-400 kHz).
- din punct de vedere al c ptu elii utilizate:
 - cu c ptu eal acid ;
 - cu c ptu eal neutr ;
 - cu c ptu eal bazic .
- din punct de vedere constructiv:
 - cuptoare cu induc ie cu creuzet;
 - cuptoare cu induc ie cu canal.

Pentru elaborarea fontei se utilizeaz cuptoare cu induc ie cu creuzet, cu urm toarele caracteristici generale [26]:

- capacitatea cuptorului: 0,8-60 tone;
- puterea instalat a transformatorului: 360-7000 KVA;

- productivitatea: 0,16-12 t/h;
- consumul specific de energie: 520-800 kWh/t.

Cuptoarele cu inducție cu creuzet, (figura 3.6), au bobina (inductorul) înfășurat în jurul unui creuzet de grafit sau materiale refractare. În acest creuzet se gătesc materialele metalice, care constituie secundarul acestui transformator de forță. Curenții induși prin pereții cuptorului vor determina apariția câmpului în interiorul creuzetului, în urma transformării energiei electrice în energie termică, prin efect Joule-Lentz [26]. Aceste tipuri de cuptoare sunt folosite atât pentru supraîncălzirea și menținerea fontei, cât și pentru topire, putând fi utilizate în sistem simplu sau duplex; sunt prevăzute cu transformatoare, sisteme de comandă și control, baterii de condensatoare pentru compensarea factorului de putere. [26].

Inductorul constituie o componentă foarte importantă a cuptorului; este fabricat din teavă de cupru și dispus sub formă de spirală. Profilul și secțiunea inductorului trebuie să asigure rezistența necesară, precum și pierderile minime de energie electrică. Profilul secțiunii tevelor de rezistență din cupru, folosite pentru inductor, poate avea forme de tipul celor prezentate în figura 3.7.

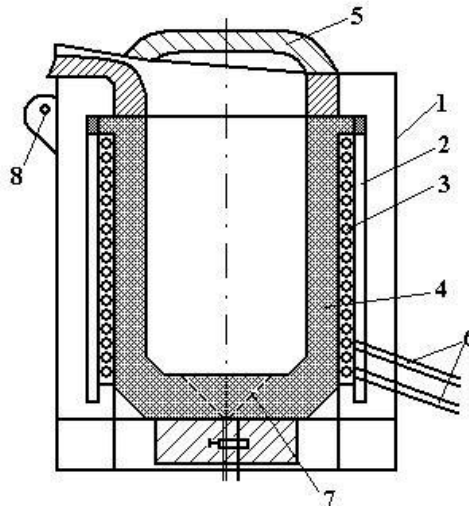


Fig.3.6. Schema unui cuptor electric cu încălzire prin inducție, cu creuzet, [27]:
1- carcasă; 2 - ecran magnetic; 3 - inductor; 4 - creuzet; 5 - capac; 6 - conducte pentru apă de răcire; 7 - sistem de semnalizare a avariilor; 8 - ochiul mecanismului de basculare.

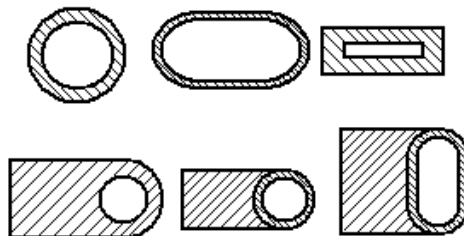


Fig.3.7. Profilul secțiunii tevelor de cupru, pentru inductor, [27]

Creuzetul cuptorului este realizat din material refractar, în cazul unor

cuptoare de capacitate mare, sau din grafit, în cazul cuptoarelor de laborator. Din punct de vedere constructiv, raportul $\frac{\text{diam.creuzet}}{\text{inalt.creuzet}} \leq 1$ (are valori cuprinse între

0,6 și max.1). [9, 26]. Capacul cuptorului trebuie să asigure o scădere a pierderilor de căldură radiat în exterior și să micșoreze contactul topitură-atmosferă; este constituit dintr-o manta metalică din oțel, tampat cu masă refractară [9, 26].

Semnalizatorul de avarii a cuptorului trebuie să asigure împiedicarea printr-un trunderii fontei lichide, prin contactul său, până la inductor, fapt ce ar determina provocarea unor explozii (datorită contactului cu apa rămasă din inductor). Schema de semnalizare este prezentată în figura 3.8. În jurul peretelui cuptorului sunt amplasate două straturi de izolație, între care sunt dispuse electrozii, constituiți din cilindri din materiale bune conductoare de electricitate.

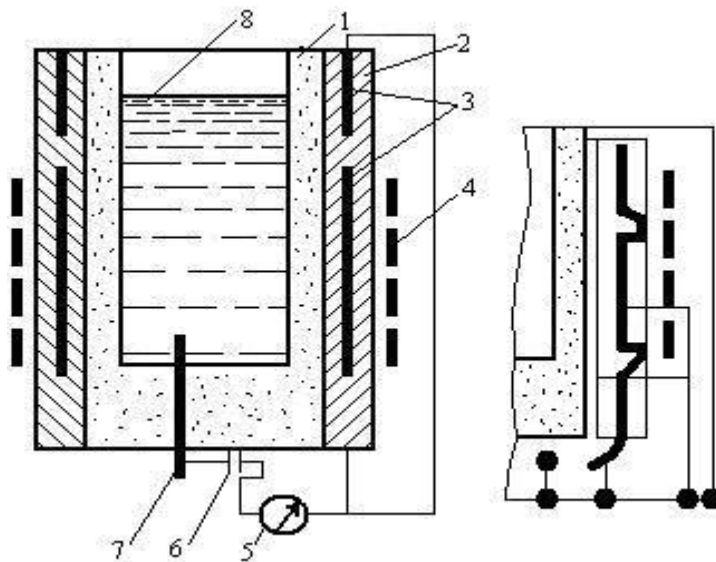


Fig.3.8. Sistem de alarmă în caz de avarii, [27]:

1 – cuptor; 2 – straturi izolație; 3 – electrozi; 4 – inductor;
5, 6 – circuit; 7 – electrod; 8 – topitura.

Acești electrozi sunt incluși într-un circuit electric, cu un electrod dispus la baza creuzetului, aflat în permanență în contact cu topitura din cuptor. La printr-un trunderea topiturii prin peretele cuptorului, aceasta vine în contact cu electrozii, circuitul se închide și se declanșează sistemul de alarmă, (luminos și sonor), înainte ca topitura să atingă inductorul.

3.1.3. Componenta și pregătirea încălzirii

În figura 3.9 se prezintă fluxul tehnologic de elaborare a fontei în cuptorul electric cu încălzire prin inducție.

Cele mai multe cuptoare cu inducție funcționează la frecvențele rețelei și sunt utilizate pentru elaborarea oricărui tip de fontă.

Randamentul termic al cuptorului este cu atât mai mare cu cât se pornește de la o cantitate mai mare de fontă lichidă rămasă în cuptor. În condiții practice, acest „căldură” de fontă lichidă (cca. 25-40% din capacitatea cuptorului) duce la

ob inerea unui randament de 70-80% [26].

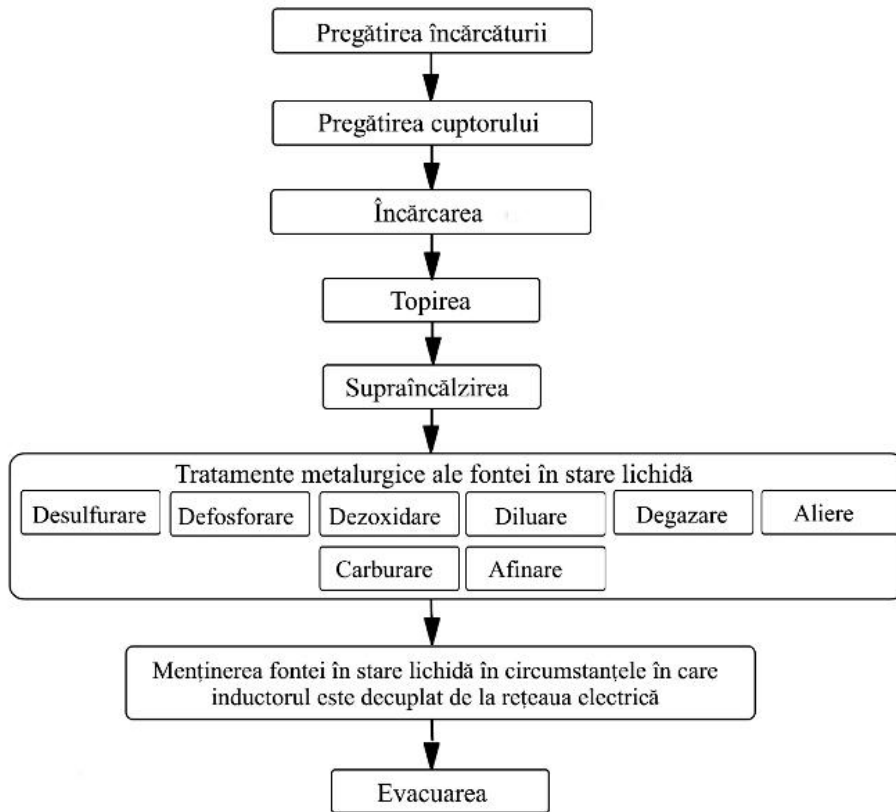


Fig.3.9. Schema fluxului tehnologic de elaborare a fontei în cuptoare cu induc ie, [26]

Spre deosebire de cubilou, în cazul cuptoarelor electrice cu creuzet, ponderea cea mai mare în înc rc tur o au de eurile, în special, cele de o el, de dimensiuni mici [26].

Pentru elaborarea unei fonte, înc rc tura poate fi structurat astfel: 5-25% font de prim fuziune, 30-60% de euri de font i 40-70% de euri de o el. Preg tirea dimensional a înc rc turii joac un rol deosebit în elaborarea în cuptoare cu induc ie, i anume înc rc tura trebuie s fie debitat la dimensiuni ce depind de m rimea i capacitatea de topire a cuptorului, fapt ilustrat în tabelul 3.2 [26].

Tab.3.2. Preg tirea dimensional a înc rc turii

Frecven a cuptorului, [Hz]	50	100	1000	2500	10000
Dimensiunea buclilor de înc rc tur , [mm]	200	100	40	30	14

Cu cât este mai avansat m run it înc rc tura, cu atât topirea decurge mai intens i scade durata acesteia i, evident, consumul specifice de energie electric [9, 26]. Înc rcarea cuptorului se realizeaz periodic, de regul cu ajutorul benelor,

asigurându-se o topire continuă, cu un consum minim de energie. În cazul folosirii de eurilor metalice mrunte (pan, a chii), are loc brichetarea (presarea) sau mrunirea lor, în acest caz asigurându-se o încălzire continuă pe bandă.

Având în vedere că la acest agregat zgura are o activitate foarte redusă, este de dorit să fie utilizat încărcătură de bună calitate, să nu fie avansat ruginit, să fie fără resturi de beton, pământ, materiale refractare, organice, fără uleiuri și umezeală, etc. Conținutul de ulei care se găsește în încărcătura metalică folosită la cuptoarele cu inducție, determină apariția unui volum mare de gaze la topire (cca. $90 \text{ m}^3/t_{\text{inc}}$), de aceea, pentru curățarea încărcăturii, se folosesc diferite procedee, ca de exemplu spălări cu diferite soluții sau calcinarea înainte de introducerea în cuptor.

Randamentul termic al cuptorului este în strânsă dependență de temperatura încărcăturii, și anume randamentul termic al cuptorului are valori scăzute la topirea ridicată la supraîncalzire (figura 3.10) [9].

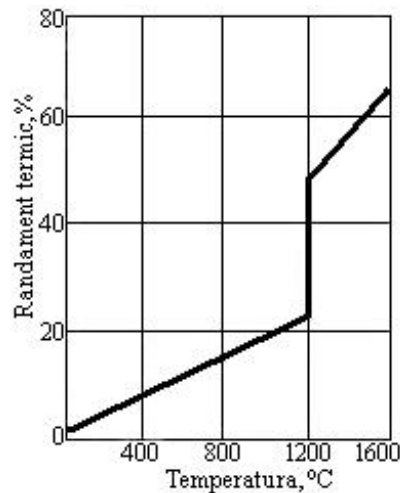


Fig.3.10. Influența temperaturii încărcăturii asupra valorii randamentului termic al cuptorului cu inducție

Datorită faptului că aceste cuptoare au randament termic ridicat la supraîncalzire, având în vedere consumul mare de energie înregistrat în timpul topirii încărcăturii, se impune introducerea ei în cuptor la temperatură ridicată. Prin preîncalzirea încărcăturii se acumulează 20-30% din căldura necesară topirii în cuptor și scade consumul de energie electrică. Temperatura optimă de preîncalzire a încărcăturii este cuprinsă în intervalul 430-650°C și influențează pozitiv productivitatea cuptorului (figura 3.11) [9, 26].

Utilizarea încărcăturii preîncalzite duce la înregistrarea scăderii consumului de energie, adică acest consum de energie scade cu 70kWh/t pentru preîncalzirea la 300°C, respectiv 100-150 kWh/t pentru preîncalzirea la 600°C.

3.1.4. Tehnologia de formare mecanizată a saboilor de frân

Numărul și succesiunea operațiilor care intervin în procesul de fabricație a pieselor turnate depinde de natura aliajului care se toarnă și de tipul procedurii de formare – turnare.

Piese sunt omologate, iar activitățile de furnizare produse feroviare sunt autorizate de către Autoritatea Feroviară Română, AFER [8].

Procedeul de turnare cel mai răspândit în industria constructoare de mașini nu numai este procedeul de turnare în forme temporare, compactate prin îndesare mecanică, cunoscut sub denumirea de turnare în forme crude. Acest procedeu este aplicabil în condiții economice la turnarea oricăror piese indiferent de mărime, serie, configurație și aliaj, având cel mai larg domeniu de aplicare.

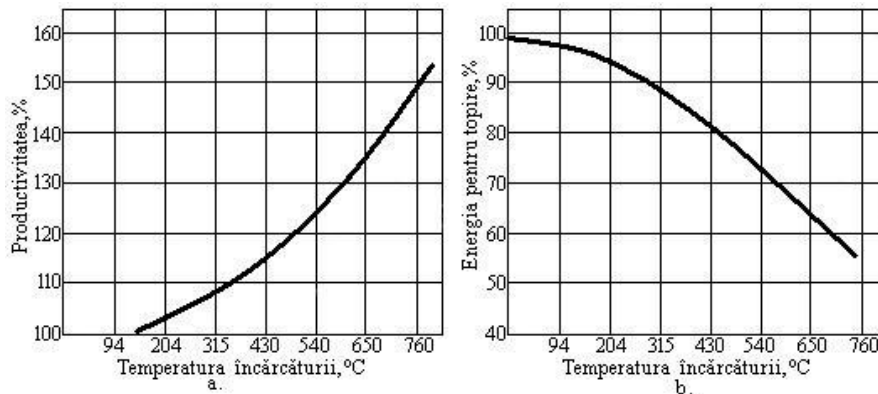


Fig.3.11. Influența temperaturii de preîncălzire a încărcăturii asupra creșterii productivității cuptorului (a) și micșorării consumului de energie necesar la topire (b)

Procesul tehnologic de obținere a pieselor turnate în forme crude este prezentat în figura 3.12.

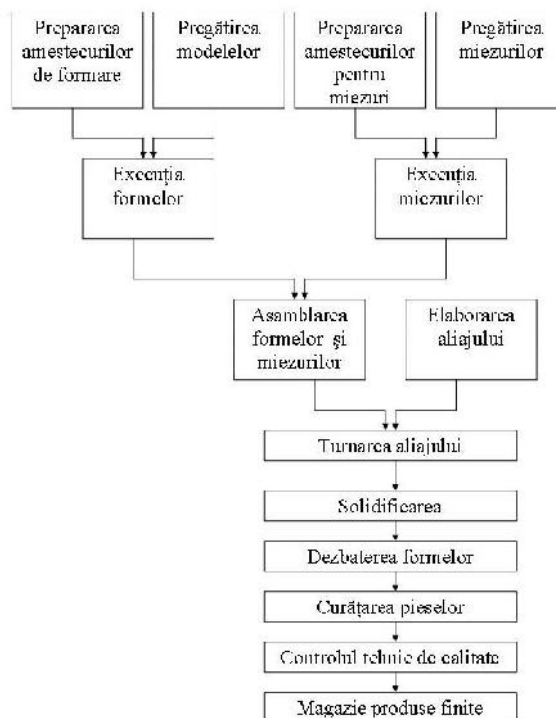


Fig.3.12. Fluxul tehnologic de formare-turnare a saboilor de frână

Procesul tehnologic de obținere a formelor brute este cunoscut sub denumirea de formare și cuprinde următoarele grupe de operații [26-29]:

- prelucrarea materialelor de formare brute în vederea preparării amestecurilor de formare;
- prepararea amestecurilor de formare;
- execuția formelor și a miezurilor;
- asamblarea și asigurarea formelor în vederea turnării.

Procesul tehnologic de dezbatere, curățire și control a pieselor turnate, cuprinde dezbaterea pieselor din forme după solidificarea și răcirea lor, îndepărtarea rezelor de turnare, a maselotelor și pregătirea în vederea livrării, conform condițiilor tehnice și a prescripțiilor din desenul de piesă turnată. Această prelucrare urmărește tratamentul termic în vederea corectării structurii și detensionării, curățirea suprafețelor, ajustarea, remedierea defectelor de suprafață, eventual, vopsirea.

În cadrul operației de formare a saboilor de frână pe mașini automate se folosesc două tipuri de amestec de formare și anume amestec de model, respectiv amestec de umplere [30].

Amestecul de model vine în contact direct cu aliajul lichid și, de aceea, el trebuie să aibă refractaritate, permeabilitate și proprietăți mecanice superioare. Aceste proprietăți se obțin prin folosirea unor materii prime de calitate bună (nisipuri noi și lianți), deci scumpe. Din această cauză se folosește numai un strat subțire de amestec de model (15-30 mm, în funcție de mărimea piesei). Amestecul de model - preparat în prealabil la moara Hammers - se introduce manual, în cantitate suficientă, ca semimodelul metalic să fie acoperit în întregime cu un strat de amestec de model.

Amestecul de umplere nu vine în contact direct cu aliajul lichid, rolul lui constând în consolidarea formei. După acoperirea modelului cu amestec de model, în rama de formare se îndeamă amestec de umplere. Datorită faptului că solicitările termice și mecanice la care este supus sunt slabe, nu este necesar ca acesta să aibă calități superioare [30]. El se realizează numai din amestec folosit și lianți sau amestec folosit, lianți și o proporție mică de nisip nou. Amestecul de umplere se introduce din buncrul de amestec cu ajutorul benzii transportoare de alimentare. Pornirea acesteia se face de la panoul propriu de comandă amplasat pe construcția metalică a acesteia.

La prepararea amestecurilor la stația de preparat amestec, prezentată în figura 3.13, trebuie să se țină seama de o serie de aspecte [29]:

- separarea incompletă a reziduurilor metalice aflate în amestecul de formare (funcționarea necorespunzătoare a electromagnetului) poate duce la incluziuni metalice în piesă sau de incluziuni metalice lipite de suprafața exterioară a piesei;
- funcționarea necorespunzătoare a sitei poligonale duce la apariția în amestecul de formare a bulgărilor de amestec sinterizat care duce la apariția unor defecte de suprafață a pieselor turnate;
- aerarea insuficientă a amestecului de formare în amestecător poate duce la apariția în interiorul pieselor a unor găuri datorate gazelor neevacuate în timpul turnării datorate permeabilității scăzute a amestecului de formare.

Conform studiilor de evaluare a activității din domeniul turnătorilor [30], din totalul producției de piese turnate, cea realizată în forme crude reprezintă circa 60%. Comparat cu alte metode, formarea la crud oferă multiple avantaje, cele mai importante referindu-se la viteza mare de reutilizare a amestecului, la costurile mici de reconducere a amestecului și la nivelul minim al cheltuielilor necesare pentru

protec ia sanitaro-ecologic , toate acestea fac ca rentabilitatea s fie greu de atins de c tre restul procedeelor cunoscute.



Fig.3.13. Sta ia de procesare a amestecului de formare

Cererea, în continu cre tere, de piese turnate de calitate, a determinat evolu ia procedului de formare de la varianta manual la cea automat de înalt presiune. Acest nou sistem, prin diversitatea variantelor sale, i-a g sit locul meritat în turn torii, a generat o mi care industrial tiin ific la nivel mondial, determinând forme specifice de organizare a procesului de produc ie total diferite de conceptele clasice, impunând muta ii esen iale în sectoarele colaterale cum sunt cele de preparare, dezbatere, cur ire [28]. De i tehnica de formare nu este nou în sine, ea ofer acum un dublu avantaj: un grad înalt de mecanizare i o produc ie de o calitate deosebit în ceea ce prive te precizia dimensional i aspectul suprafe elor. Liniile de formare sunt concepute de o manier în care elementele cinematice, electrice, hidraulice, pneumatice, etc, de comand , ac ionare i execu ie a opera iunilor sunt comparabile cu cele ale utilajelor din sectoarele prelucr toare la rece.

Din punctul de vedere al gradului de îndesare, formele realizate pe asemenea instala ii au o duritate i o rigiditate mult mai mare decât formele executate pe instala ii de formare de joas sau medie presiune, în acest caz, calitatea pieselor turnate este influen at de o multitudine de factori, mult mai complex decât a celorlalte metode cunoscute, cei mai importan i fiind acum cei ce in de calitatea materialelor de formare, de tipul aliajului turnat, de grosimea de perete i nu în ultimul rând de presiunea de injectare i de compactare utilizate în procesul de formare [9, 28].

Realizarea formelor de mare densitate presupune utilizarea unui sistem de amestecuri echilibrat, cu o mare uniformitate a propriet ilor fizico - mecanice, care trebuie s in cont de o plaj mai mare de abateri zilnice de la programul de fabrica ie (grosimea de perete, gabaritul i greutatea pieselor turnate). Problema principal a men inerii în echilibru a unui astfel de sistem, const în tehnica de calcul i tehnologia de introducere a materialelor noi de împr sp tare i a apei de completare, în scopul recondi ion rii constante i continu i a amestecului degradat în timpul turn rilor anterioare. Teoretic men inerea în echilibru poate fi realizat doar

în situa ia în care sunt îndeplinite urm toarele condi ii teoretice:

- cantitatea de amestec de formare din sistem este constant , adic toate cantit ile intrate (materiale noi), sunt egale cu cantit ile ie ite (componentele arse, volatilizate sau trimise la hald , etc);
- calitatea materialelor de împrors tare ca i propor ia între ele este, de regul , aceea i;
- sarcina termic pe rama de formare (raportul amestec/metal) este aproape constant .

Pornind de la aceste considerente teoretice se constat c , de fapt, în activitatea practic , ultima condi ie nu poate fi realizat , deoarece modificarea zilnic a sortimentului de piese turnate duce la modific ri ale sarcinii termice pe form , respectiv la modific ri ale arderilor care, în final, vor determina modific ri ale calit ii amestecului din sistem, eviden iate în modific ri ale propriet ilor fizico - mecanice.

În acest caz, pentru men inerea în echilibru a sistemului de amestec, este nevoie de varia ia continu a cantit ii componentelor noi în vederea compens rii oscila iilor calitative cu care reîntr în circuit amestecul deja folosit. Adaptarea sistemului la acest tip de oscila ii trebuie realizat printr-o flexibilitate mai mare a sistemului de control, care trebuie s fie simplu, sigur i rapid, capabil s dea informa iile necesare în timp real, pentru c el de ine un rol foarte important în controlul procesului de formare - turnare.

În timpul turn rii, amestecul crud sufer o puternic degradare ca urmare a ocului termic la care este supus prin trecerea brusc de la temperatura mediului ambiant la cea a metalului lichid de 1350 - 1380°C. La această temperatur se petrec urm toarele fenomene:

- praful de c rbune este ars i în parte cocsificat; granulele de nisip sunt fisurate sau chiar sparte (fapt ce duce la cre terea con inutului de component fin manifestat prin degradarea granula iei);
- bentonita este par ial amotizat în urma cre ia i i pierde apa de constitu ie, sau este dezactivat datorit vicierii sistemului de amestec crud cu diferite resturi arse provenite din miezuri care au un caracter acid sau de sulf cu con inut în materialul carbonic utilizat, (manifestat prin sc derea capacit ii de liere);
- amestecul i i reduce o bun parte din con inutul de umiditate ca urmare a procesului de evaporare.

Reutilizarea repetat , f r interven ie de împrors tare sau cu o interven ie greit apreciat , are ca efect înr ut irea propriet ilor fizico-mecanice ale amestecului, iar dep irea limitelor prescrip iilor tehnologice determin dezechilibrarea sigur a sistemului.

Caracteristicile formei i, implicit, comportarea ei în timpul turn rii aliajului lichid depind, în cea mai mare m sur , de calitatea amestecului, de eficien a procesului de amestecare i de calitatea procesului de formare. În ceea ce prive te calitatea amestecului preparat este important de analizat i precizat rolul i efectul calit ilor individuale ale fiec rui component al re etei de preparare, analizate prin prisma caracteristicilor fizico - mecanice realizate.

Amestecul recirculat (uzat), reprezint componentul principal al amestecului de formare, are o pondere semnificativ în re eta de preparare, fiind singurul component care a suferit deja modific ri structurale datorate, în special, intensit ii ocului termic suferit (func ie de raportul metal/form) la care a fost supus în timpul turn rilor anterioare, precum i a aportului variabil de amestec de miez uzat intrat în masa amestecului.

Problema principală în cazul reutilizării acestui component, este aceea a reconstrucției sale prin regenerare, prin care se are în vedere cernerea în vederea eliminării resturilor de miez și mase după dezbatere, desprinderea, aerarea și curățarea lui, până la un nivel calitativ care să permită reintroducerea în circuitul de preparare. Calitatea lui după regenerare depinde de [28]: conținutul de particule fine inactive (materiale inactive până la 0,02 mm), conținutul de particule fine active (argilă vie), conținutul de umiditate și temperatură.

Bentonita, reprezintă elementul esențial în procesul de preparare, conținutul ei în amestecul preparat fiind la fel de important ca și alegerea corectă a calității și a tipului ce urmează să fie utilizat. Conținutul de bentonită în rețeta de preparare este justificat de:

- necesitatea obținerii unei rezistențe mecanice mari la compresiune la cald, pentru evitarea distrugerilor locale a formelor în momentul turnării;
- realizarea unor rezistențe mecanice mari la tracțiune în strat umed la cald, ca o garanție a reducerii riscului apariției defectelor de turnare de suprafață;
- asigurarea unei plasticități bune a amestecului de formare pentru a reduce riscul deformării elastice a formelor;
- necesitatea asigurării stabilității dimensionale a formelor, pentru a evita apariția defectelor de turnare de tipul penetrării explozive pe suprafețe întinse, a porozității, eroziunii și incluziunilor de nisip.

Tipul bentonitei utilizate [28], indică nivelul de consistență al amestecului, precum și gradul de stabilitate a formelor. Este cunoscut faptul că în turnătorii sunt utilizate două tipuri de bentonite naturale, respectiv calcice și sodice. În ciuda marilor diferențe dintre ele, un singur tip de bentonită nu poate fi preferat celeilalte fără a lua în considerare tipul turnării. În această situație se pot face două recomandări, și anume: folosirea împreună a celor două bentonite, în proporții care să corespundă condițiilor producției, pentru a amândouă corectea stabilitatea formei, consistența amestecului, proprietățile de rezistență la cald și uscat, plus capacitatea de dezbatere și respectiv folosirea unei bentonite calcice activată cu carbonat de sodiu. Materialul carbonic [28], joacă un rol important în:

- realizarea unei atmosfere reducătoare la suprafața de contact metal-formă;
- eliberarea unei cantități optime de carbon lucios care se depune pe suprafața granulelor de nisip;
- realizarea unei consistențe optime, (plasticitate), care să facă posibilă curgerea corectă a amestecului de formare în timpul procesului de formare;
- asigurarea protecției granulelor de nisip la șoc termic, pentru ca amestecul să poată fi refolosit în procesul de turnare în scopul creșterii eficienței economice;
- dezbaterea și ușurința de dezintegrare a amestecului, imediat după turnare;
- economicitatea procesului de turnare în termeni de calitate.

Mecanismul de acționare a materialelor carbonice în timpul turnării pieselor din font se explică prin formarea carbonului lucios [16], mecanism cunoscut în literatura de specialitate ca "depunerea chimică a carbonului din faza de vapori". Folosirea materialelor carbonice, cu scopul îmbunătățirii proprietăților fizico-mecanice ale amestecurilor crude de formare, trebuie făcută cu multă atenție, în sensul utilizării lor fără excese pentru a nu se obțină rezultate negative. La utilizarea în exces există riscul unei emisii mari de carbon lucios, care poate fi antrenat de aliajul lichid în timpul umplerii cavității formei sub formă de pelicule, acestea de regulă fiind închise în peretele piesei sub formă de incluziuni de grafit. Un aspect important în utilizarea materialelor carbonice este cel al cunoașterii

volumului și vitezei de formare a fazei gazoase. Este de reținut faptul că acestea nu trebuie să fie prea mari la temperaturi joase deoarece, dezvoltându-se simultan cu procesul de evaporare a umidității amestecului, prin viteza lor de formare pe care o capătă, pot determina o ieșire prea rapidă din sistem și, ca urmare, pot supune peretele formei la un șoc mecanic puternic, provocând exfolieri ale materialului formei sau sufluri de gaze în pereții pieselor turnate.

Alegerea tipului de material carbonic utilizat în prepararea amestecurilor crude de formare se face ținând cont de următorii factori [28,31-35]:

- produșii unor volatili să nu depășească 10% la temperaturi mai mici de 400°C;
- gazeificarea să fie maximă (peste 70%) în intervalul de temperaturi cuprins între 400 - 700 °C;
- gazeificarea produselor greu volatile să aibă loc într-un interval de temperaturi cât mai restrâns cuprins între 100 - 250°C;
- reziduurile la 1000°C să fie în cantitate cât mai redusă (< 5 %);
- să asigure între 0,4 - 0,6 % carbon lucios în amestecul de formare, la o proporție de 1 - 2 %;
- să nu dezactiveze bentonita, iar produsele de descompunere să nu influențeze proprietățile amestecului de formare (argilă vie);
- aspectul economic.

Un alt aspect deosebit de important al calității materialelor carbonice, este cel al aprecierii modului în care acestea corespund normelor de utilizare în turnătorii din punctul de vedere al protecției și igienei muncii. Din acest punct de vedere, clasificarea materialelor carbonice se face prin evaluarea riscurilor de îmbolnăviri cauzate de noxele toxice și a emisiilor cu potențial cancerigen, degajate în momentul turnării [35]. Conform experților organizației internaționale [31-35] care se ocupă cu măsurile de prevenire în lupta împotriva cancerului, rezultă că nu toate substanțele toxice care se degajă sub formă de compuși din procesele de formare - turnare prezintă un statut stabilit de factori cancerigeni, dar acțiunea lor în fenomenele de inducere și promovare a proceselor tumorale nu este totuși exclusivă. E de remarcat faptul că [35], benzopirenul, reprezentantul cel mai incriminat al hidrocarburilor policiclice aromate, cu efect cancerigen recunoscut nu este identificat în emisiile noxelor degajate de amestecurile de formare la care se utilizează huilă mcinată, prezența lui în mediul de lucru fiind exclusivă.

În procesul tehnologic de preparare, complexul "bentonit /ap " este amestecat pentru a lega granulele de nisip cu o peliculă uniformă de liant, în vederea realizării unui amestec care să poată fi transportat, stocat și format și care să fie capabil să reziste influenței temperaturilor de turnare ale aliajului lichid.

Determinarea conținutului total de apă existent în masa amestecului de formare, exprimă într-o măsură mai mică sau mai mare cea mai importantă proprietate a amestecului de formare, cea de compactibilitate, adică capacitatea de îndesare și de prelucrare a acestuia. În prepararea amestecului de formare este foarte importantă acea parte a conținutului total de apă care stă la dispoziția liantului bentonic pentru etalarea forței sale de liere. Aceasta se numește umiditatea normală și se determină prin măsurarea densității volumetrice sau a gradului de compactare (capacitatea de îndesare) a unui amestec ce nu conține părți fine inactive. Această determinare are la bază observația practică, cu cât un amestec este mai umed cu atât acesta este mai afânat și mai voluminos (înainte și după cernere).

Amestecul afânat este mai ușor la același volum, deci are o greutate volumetrică mai mică decât amestecul uscat, însă poate fi comprimat într-un volum mai mic (grad de compactare).

Necesarul total de umiditate al unui amestec, care încorporeaz un anumit con inut de particule fine inactive, trebuie s fie, de regul , cu circa 10-20 % mai mare decât valoarea umidit ii normale, această valoare numindu-se umiditatea de revenire. În procesul de preparare a amestecului crud este foarte important ca această „umiditate de revenire”, s poat fi inut la un nivel cât mai redus. Un con inut corect, determin ob inerea celor mai bune caracteristici mecanice de rezisten , deoarece pelicula de liant este uniform distribuit în jurul granulelor de nisip, ceea ce are ca efect [30,32]:

- optimizarea distribu iei amestecului (curgerea) în momentul trecerii lui din rezervorul ma inii în camera sau rama de formare sub efectul presiunii de injec ie, pentru ca amestecul s umple camera pân la densitatea maxim astfel încât tot volumul formei s aib acela i grad de compactare i de densitate;
- optimizarea fluidit ii amestecului (capacitatea de curgere) în camera de formare sub efectul for ei de compactare, pentru realizarea unei densit i de formare ridicat i uniform , ceea ce va da posibilitatea reducerii presiunii de compactare la un nivel minim care s asigure o densitate de formare ridicat i uniform ;
- asigurarea ob inerii unor înalte propriet i de liere a bentonitei. Optimizarea umidit ii amestecului va determina, sub efectul for ei de îndesare, gradul de atrac ie sau de respingere între lamelele (foi ele) de bentonit i granulele de nisip.

În cazul în care con inutul de umiditate este prea sc zut, bentonita nu va fi umectat suficient i se va g si i sub form pr foas , în amestec ac ionând ca un ingredient (material de umplutur). În cazul când con inutul de umiditate este prea mare, bentonita va fi prea fluid , va avea un aspect plastic i se va depozita compact între granulele de nisip în loc s le înconjoare sub forma unei pelicule uniforme i continue de liant. Umiditatea excesiv va cauza sc derea puterii de liere a bentonitei, deoarece ea va ac iona ca un lubrifiant între granulele de nisip, determinând o sc dere a fluidit ii amestecului având ca efect realizarea unor densit i de formare neuniforme.

Pentru prepararea amestecului pentru formarea la presiuni înalte este important valoarea umidit ii de revenire, cea care asigur realizarea capacit ii de îndesare cuprins între 35 i 42%, specific fiec rei instala ii de formare. Temperatura amestecului nu trebuie s dep easc 400°C, dep irea acestei valori poate cauza: propriet i neuniforme, în special de rezisten i permeabilitate; cre terea vâscozit ii amestecului, usc ri superficiale ale suprafe elor formelor; sc derea rezisten ei la erodare a amestecului; deplasarea punctului caracteristic; plasticitate sc zut , ceea ce face s creasc adaosul de bentonit ; sc derea gradului de amestecare.

Procesul de formare a ramelor cu ma ina automat de formare prin vibrare i presare cuprinde urm toarele opera ii [29]:

- cur irea pl cii port-model de resturile de amestec de formare r mase de la formarea anterioar ;
- suflarea modelului cu solu ie sau prafuri antiaderente (de multe ori, ca solu ie antiaderent , poate fi folosit motorina);
- a ezarea ramelor pe placa port-model;
- alimentarea cu amestec de formare;
- executarea opera iei de vibrare (scuturare); opera ia de vibrare - scuturare are drept scop distribu ia omogen a amestecului de formare în rama de formare;

- rotirea plăcii de presare deasupra ramei de formare în vederea presării; pentru poziționarea corectă a plăcii de presare, mașina este prevăzută cu un limitator de curs la rotirea brațului suport;
- presarea amestecului de formare în ramă;
- retragerea plăcii de presare are loc după terminarea presării amestecului de formare în ramă;
- bascularea - înainte de începerea operației de basculare este necesară verificarea poziției corecte a clemelor de prindere a ramelor pentru a se evita desprinderea acestora în timpul basculării;
- preluarea ramei de formare - în timpul executării acestei operații se efectuează ridicarea mesei de preluare a ramei și eliberarea acesteia din clemele de fixare de pe placa de basculare. După ce clemele de prindere s-au retras are loc lășarea în jos a mesei și preluarea ramei, după care se execută operația de readucere a plăcii de basculare în poziția inițială.
- încheierea operației de formare se consideră în momentul în care placa de basculare cu placa port-model este readusă în poziția inițială, după care se repetă aceleași operații pentru următoarea ramă de formare.

Prin operația de presare pistonul de presare ridică, prin tija pistonului, placa de basculare pe care este fixat ansamblul ramă-model contra plăcii de presare. La terminarea presării placa de basculare se retrage în poziția inițială.

Mașina este prevăzută cu un dispozitiv de repetare a operației de presare. Operația de repetare a presării este necesară în cazul constatării unor abateri dimensionale ale formei în timpul primei presări și este necesară intervenția pentru remedierea acestora.

În timpul presării se depune, pe marginile ramei, amestec de formare care împiedică presarea corectă a acestuia în ramă și apariția unor abateri dimensionale ale formei. Pentru aceasta este necesară îndepărtarea depunerilor de amestec de formare de pe ramă și repetarea presării.

Mașina, nefiind dotată cu dispozitiv mecanic de curățare a ramei, această operație se execută manual, îndepărtarea amestecului de formare de pe marginile ramei efectuându-se cu ajutorul unui răzuitor.

La repetarea presării se efectuează următoarele operații:

- se blochează comenzile mașinii
- se îndepărtează amestecul de formare de pe marginea ramei cu ajutorul unui răzuitor;
- după terminarea curățării, se efectuează presarea, deblocând comenzile mașinii.

Pentru formarea saboilor de frână pe linia de formare mecanizată se folosesc mașini automate de formare în curent de aer-presare, de tipul HFP-2. Caracteristicile tehnice ale acestora sunt prezentate în tabelul 3.3 [29].

În cazul mașinii de format automat tip HFP2 (prezentată în figura 3.14), trebuie să se țină cont de următoarele aspecte [29]:

- presarea insuficientă poate duce la prăbușirea sau desprinderea amestecului de format din ramă în timpul manevrelor care se execută după ieșirea ramei de pe mașina de format;
- tot din cauza presării incomplete pot apărea defecte ale piesei datorate tasării amestecului de formare în timpul procesului de turnare;
- presarea cu o presiune mai mare de 980 kg/m^2 poate duce la apariția golurilor în interiorul piesei datorită scăderii permeabilității amestecului de formare datorită tasării excesive.

Tab.3.3. Caracteristici tehnice mașini automate de formare de tipul HFP-2

Caracteristici tehnice	UM
dimensiunea interioară maximă a ramelor de formare	1250x1000 mm
sarcina utilă	25 kN
forța de presare statică	400 kN
cursa de presare	215 mm
cursa de adâncire	430...900 mm
cursa de reglare a plăcilor de presare	50...350 mm
dimensiunea plăcilor de întoarcere (basculare)	1000...1250 mm
distanța dintre placa de basculare și placa de presare	900 mm
distanța dintre placa de basculare și regleta de adâncire	1120 mm
dimensiunea exterioară a ramei de formare	1400 mm
masa netă	20300 kg
racordul de aer comprimat	R 3"
presiunea de exploatare	6,5 ± 0,5 atm.
timpul minim al mașinii	4s–scuturare/3s-vibrare



Fig.3.14. Mașina de format tip HFP2

Asamblarea formelor se face prin aezarea semiformei II pe semiforma I, aceasta din urmă aflându-se pe cucerul conveierului, în momentul în care semiforma I a ajuns în dreptul mașinii de format, pe care se execută semiforma II. Operația de asamblare se realizează cu ajutorul buloanelor de centrare. După executarea acestei operații, ramele de formare asamblate sunt trimise spre sectorul de turnare. Înainte de executarea operației de turnare are loc consolidarea ramelor cu ajutorul unor bride metalice, pentru a se putea evita deplasarea semiformelor sub acțiunea presiunii create după turnare, la aprinderea gazelor.

Turnarea pieselor este procedeul tehnologic de realizare a pieselor prin introducerea unui material metalic în stare lichid într-o cavitate special executată (figura 3.15). Prin solidificarea topiturii rezultă piesa turnată care reproduce configurația și dimensiunile cavității. Pentru realizarea corectă a turnării este necesar să se efectueze calculul rețelei de turnare. Prin rețeaua de turnare se înalțește ansamblul de canale și cavități executate în formă, cu scopul introducerii, prin turnare, a aliajului lichid în cavitatea formei [29, 30].

Rețelele de turnare trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- a) Atacul cu metal lichid a cavității formei se va face:
 - în dreptul pereților subiri, în cazul pieselor cu solidificare simultan;
 - în dreptul pereților groși, în cazul pieselor cu solidificare dirijată.
- b) Jetul de metal lichid trebuie să fie îndreptat spre spațiile libere, evitând caderă acestuia direct pe miezuri sau pereții formei;
- c) Numărul alimentatoarelor trebuie să asigure umplerea corectă a formei, iar secțiunile acestora o îndepărtare ușoară;
- d) La turnarea prin ciocul oalei rețeaua trebuie să cuprindă toate elementele de rețea a zgurii.



Fig. 3.15. Turnarea saboilor

La calculul rețelelor de turnare se determină, în primul rând, aria alimentatoarelor iar, în raport cu aceasta, se stabilesc apoi ariile celorlalte elemente ale rețelei.

Aria alimentatoarelor se determină cu relația [30]:

$$A_{al} = \frac{Q}{t \cdot k} \text{ [cm}^2\text{]} \quad (3.4)$$

unde:

Q - greutatea metalului lichid turnat prin rețeaua de turnare, [kg];

t - durata de umplere a cavității formei, [s];

k - debitul specific de turnare, [kg/cm²s].

Durata de umplere a cavității formei - t - se determină cu formula [30]:

$$t = s \cdot \sqrt{Q} \quad (3.5)$$

unde s reprezintă un coeficient de corecție, care depinde de grosimea medie a pereților și de natura metalului ce se toarnă. Se adoptă s = 1,89 [30].

$$\Rightarrow t = 1,89 \cdot \sqrt{200} = 26,72 \text{ s.} \quad (3.6)$$

Debitul specific de turnare (k) este în funcție de densitatea relativă a pieselor turnate. Se adoptă [30], k = 0,90.

$$\Rightarrow A_{al} = \frac{200}{26,72 \cdot 0,9} = 8,31 \text{ [cm}^2\text{]}. \quad (3.7)$$

Rețeaua de turnare obișnuită cuprinde: piciorul de turnare, colectorul de zgură și alimentatoarele. Între secțiunile acestora trebuie să existe un raport optim, valabil în general, de genul [30]:

$$A_{al} : A_{c.zg.} : A_p = 1 : 1,4 : 1,25 \quad (3.8)$$

$$\Rightarrow A_{c.zg.} = 8,31 \cdot 1,4 \Rightarrow A_{c.zg.} = 11,63 \text{ [cm}^2\text{]} \quad (3.9)$$

$$\Rightarrow A_p = 8,31 \cdot 1,25 \Rightarrow A_p = 10,38 \text{ [cm}^2\text{]} \quad (3.10)$$

Viteza de turnare este func ie de aria total a sec iunii alimentatoarelor i de în l imea piesei. Rela ia care leag ace ti factori este [30]:

$$v = K \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \cdot 10^{-3} \text{ [Kg/s]}, \quad (3.11)$$

unde:

v - viteza de turnare, [Kg/s];

K - constant , se adopt $K = 2,7 \text{ g/cm}^3$;

A - sec iunea total a alimentatoarelor, [cm²];

g - accelera ia gravita ional , $g = 981 \text{ [cm/s}^2\text{]}$;

h - distan a, pe vertical , între alimentator i partea superioar a piciorului pâlniei sau în l imea de turnare, [cm].

$$v = 2,7 \cdot 166,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 10,5} \cdot 10^{-3} = 64,4 \text{ g/s} \Rightarrow v = 0,644 \text{ kg/s} \quad (3.12)$$

Având în vedere c sabo ii de frân nu necesit prelucrare mecanic ulterioar (deci, pentru modele nu sunt necesare adaosuri de prelucrare) la prelucrarea modelelor s-au prev zut doar adaosurile de contrac ie liniar de 1% i înclina ia pentru demulare de 2°.

Temperatura de turnare joac un rol important în procesul de fabricare a pieselor turnate:

- o temperatur prea mare a fontei la turnare poate duce la sinteriz ri masive a amestecului de formare pe suprafa a exterioar a piesei turnate, ceea ce duce la un aspect necorespunz tor a piesei la dezbatere i o cur ire anevoioas ;
- o font rece la turnare poate duce la apari ia de stropi reci pe suprafa a exterioar a piesei, apari ia de împ duriri la suprafa a piesei turnate datorit curgerii neuniforme a fontei reci precum si apari ia de retasuri interioare la piesa turnat datorat r cirii bru te a maselotelor în timpul procesului de solidificare.

Turnarea formelor se realizeaz cu ajutorul unei oale de turnare cu o capacitate de 800-1000 kg, care este manevrat cu macaraua în deplasarea ei de la sectorul de elaborare (cuptorul cu induc ie) i sectorul de turnare al conveiorului.

Dup turnare are loc r cirea sabo ilor de frân i se supun opera iei de dezbatere. Pentru a putea fi dezbatute piesele turnate din font trebuie l sate s se r ceasc sub 500°C. Durata de men inere în form a sabo ilor de frân este de circa o or . Dup turnare, ansamblul ram superioar - ram inferiora intr în tunelul de r cire care este prev zut cu aspiratoare de aer, cu rol mixt, atât de preluare a gazelor narse emanate dup turnare cât i de r cirea aerului din tunel. La ie irea din tunel, dup r cirea pieselor în form , c rucioarele conveiorului cu ramele asamblate ajung la dispozitivul automat de dezbatut ac ionat hidraulic. Acest dispozitiv este prev zut cu gheare de preluare a ramelor de pe c rucioare i transportarea lor în zona de ac ionare a dispozitivului de dezbatere, prev zut la partea inferioar cu o pâlnie pentru preluarea amestecului de formare dezbatut i recircularea lui.

Cur irea pieselor turnate implic înl turarea re elelor de turnare, a maselotelor, a bavurilor, precum i sablarea pieselor. Piese, odat dezbatute, sunt preluate de banda metalic care le transport în sectorul cur torie. Timpul de

urcirea pieselor până la începerea efectivă a operației de curățare este de 1-2 ore. După înlăturarea rezelelor de turnare și a bavurilor, urmează operația de sablare cu alicie. Această operație se execută în camere special amenajate, prevăzute cu platforme rotitoare și vagonet. Operația se execută cu alicie de oțel, cu diametrul de 2-3 mm, în camere de sablare cu jet vertical și lateral.

3.1.5. Defecte ale pieselor turnate

Defectele pieselor turnate sunt consecințele fie ale unor cauze unice, fie ale unor acțiuni reciproce de cauze foarte complexe, fiecare din acestea fiind, la rândul lor în funcție de un mare număr de variabile specifice (de exemplu două defecte cu un aspect exterior cu totul deosebit pot avea una sau mai multe cauze comune).

Obținerea unor piese turnate de calitate superioară, cu defecte minime, este condiționată de întocmirea unei tehnologii de fabricație cât mai corecte, însoțită de cea mai severă disciplină tehnologică. Prin defect al piesei turnate se înțelege orice abatere de la formă, dimensiuni, masă, aspect exterior, compactitate, structură, compoziție chimică sau proprietăți mecanice și fizice prescrise în standarde, normative sau condiții tehnice contractuale [30].

În general, la turnarea aliajului în cavitatea formei are loc un transfer intens de căldură de la corpul cald (aliajul lichid) la corpul rece (forma de turnare). Câmpul de temperatură din pereții formei caracterizează, în fiecare moment, procesele care au loc atât la suprafața de contact aliaj-formă cât și în volumul formei.

În timpul umplerii cavității formei cu aliaj lichid, straturile de amestec în contact cu aliajul se încălzesc la temperaturi apropiate de ale aliajului. Suprafețele de la partea superioară a cavității formei, paralele cu oglinda aliajului în urcare, se încălzesc puternic, încă din timpul umplerii, înainte de a veni în contact cu aliajul datorită intensității mari a radiațiilor termice.

Straturile în contact cu aliajul lichid ajung repede la o temperatură apropiată de a acestuia. Straturile de amestec mai îndepărtate ajung la o temperatură mai mică mult mai târziu, deoarece o parte din căldură este reținută de straturile apropiate. Încălzirea determină dilatarea amestecului, însă, intensitatea încălzirii fiind diferită, și valoarea dilatării va fi diferită. Datorită acestui fapt, în amestecul de formare apar tensiuni orientate în toate direcțiile posibile, care pot duce la deformări și deteriorări ale suprafețelor cavității formelor, cu consecințe asupra calității suprafețelor pieselor turnate [30].

În cazul saboilor de frână, pot apărea o serie de defecte, de exemplu: retasuri, sufluri, adâncituri locale, asperități, lipsuri de material, arsuri, cruste respectiv incluziuni de amestec de formare.

Retasurile sunt goluri în corpul pieselor turnate care se formează ca rezultat al contracției aliajului în timpul solidificării pieselor. Retasurile au suprafața neregulată și pot fi închise în corpul piesei sau deschise.

Suflurile sunt goluri de formă sferică sau alungită și sunt provocate de bulele de gaze înglobate în aliajul lichid până la solidificarea piesei. Gazele care produc sufluri pot să provină din aliajul lichid sau din formă, dar, în cele mai multe cazuri, acestea sunt rezultatul acțiunii concomitente a ambelor surse.

Suflurile provocate de gazele din aliajul lichid se recunosc ușor, deoarece afectează toate piesele turnate din aceeași arză, sunt uniform repartizate în toată piesa și au luciu metalic.

Mecanismul formării suflurilor este același, indiferent de proveniența gazelor. Gazele printruse în aliajul lichid tind să iasă în atmosferă. Dacă fluiditatea aliajului este ridicată, bulele pot să iasă în atmosferă dar, pe măsură ce scade temperatura aliajului (crește vâscozitatea) bulele nu se mai pot degaja și rămân

incluse în aliaj, provocând goluri în piesele turnate [18].

Pentru ca bulele de gaz să iasă din aliajul lichid, trebuie ca suma presiunilor gazelor din piesă să fie mai mare decât suma presiunilor exterioare. Viteza de evacuare a gazelor este cu atât mai mare cu cât este mai mare diferența dintre aceste presiuni, astfel că, în anumite cazuri gazele ies cu o viteză atât de mare, încât produc fierberea aliajului lichid.

Viteza de evacuare a gazelor se poate determina cu ajutorul formulei lui Stokes [30]:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{g}{\eta} \cdot r^2 (\rho_a - \rho_g) \quad (3.13)$$

unde: g este accelerația gravitațională ;

η - vâscozitatea aliajului lichid;

ρ_a și ρ_g - densitatea aliajului lichid, respectiv a bulei de gaz.

Viteza de degajare a gazelor din aliajul lichid crește cu pătutratul razei bulei de gaz, ceea ce înseamnă că gazele incluse mecanic din formă se elimină mai ușor decât cele care se formează din aliaj, datorită faptului că gazele care provin din formă se prezintă întotdeauna în stare moleculară.

Suflurile provocate de formă se prezintă sub forma unor goluri sferice sau alungite, izolate sau grupate în cuiburi. Se deosebesc ușor de suflurile provenite din metal, deoarece au suprafața oxidată și nu afectează toate piesele din aceeași arjă, ci numai anumite piese sau numai o anumită parte a piesei.

Suflurile provocate de formă se produc atunci când, din anumite cauze, presiunea gazelor din exteriorul aliajului lichid depășește presiunea interioară a acestuia. Prin urmare, spre deosebire de suflurile provocate de aliajul lichid, cele provocate de formă apar mai frecvent în piesele cu înălțime mică sau la părțile superioare ale pieselor mari.

Cele mai importante cauze care provoacă sufluri datorită formei de turnare sunt [30, 31]:

- dimensionarea necorespunzătoare a secțiunilor diverselor elemente ale reelei de turnare;
- uscarea insuficientă a formelor și miezurilor;
- conținutul prea ridicat de umiditate în formele crude;
- folosirea amestecului de formare cu lianți care degajă cantitate mare de gaze imediat după turnare, când aliajul este încă în stare lichid ;
- ventilarea necorespunzătoare a formelor și, în special, a miezurilor;
- turnarea aliajului la temperatură prea mică, astfel că din cauza vâscozității ridicate a aliajului nu se mai pot evacua gazele care au pătutrats în aliaj;
- îndesarea prea puternică a formelor sau amestec de formare cu permeabilitate prea scăzută.

turbirea (lipsuri de material) se caracterizează prin detașarea unei bucăți din pereții piesei ca urmare a neatenției la dezbatere, curățire sau transport.

Crusta reprezintă un defect de suprafață și apare sub forma unei plăci metalice pe pereții piesei, deșpartial de corpul piesei printr-un strat de amestec de formare. Crustele se produc în urma crăpării și cojirii suprafeței formei, în special la cele uscate.

Incluziunile de amestec de formare sunt bucăți de amestec de formare înglobate în corpul piesei, la turnarea în forme temporare. Aceste incluziuni pot fi localizate la suprafața sau în interiorul piesei. Granulele de nisip cad în formă în timpul asamblării datorită faptului că au greutatea specifică mai mică decât aliajul

lichid sunt antrenate de acesta și plutesc la suprafața lui. În unele cazuri se elimină prin maselot, dar există multe cazuri în care sunt incluse în porțile superioare ale piesei. Cauzele producerii acestui defect sunt: rezistența prea mică a formei, curățarea insuficientă a formei, amplasarea greșită a alimentatoarelor (când jetul de aliaj lichid lovește perpendicular miezul are loc spălarea acestuia) și înălțimea de cedere prea mare a jetului de aliaj lichid.

Pentru prevenirea apariției defectelor se recomandă aplicarea următoarelor măsuri [30, 32]:

- folosirea unui amestec de formare bine preparat, omogen și cu umiditate normală și uniform repartizat;
- îndesarea uniformă în tot volumul pereților formei (în general, formarea mecanizată asigură îndesarea uniformă a amestecului de formare);
- uscarea formelor sau întărirea chimică a amestecului de formare;
- folosirea unui liant care poate asigura o rezistență superficială mai mare a amestecului de formare sau de miez;
- permeabilitate mare a amestecului;
- adăugarea de substanțe organice și de praf de carbune care, la încălzire, trec printr-o stare plastică care asigură amestecului un oarecare grad de plasticitate.

3.2. Analiza caracteristicilor saboilor de frână din material compozit

În general, calea ferată este considerată a fi unul dintre cele mai ecologice moduri de transport. Cu toate acestea, contribuția transportului feroviar la poluarea fonică este semnificativă, 10% din populație fiind expusă la nivele de zgomot care depășesc pragul de „perturbare gravă”, [36]. În unele regiuni europene se manifestă o opoziție semnificativă față de zgomotul feroviar din partea opiniei publice, care solicită inițiative politice pentru reducerea acestuia. Dacă nu se întreprind acțiuni de remediere, aceasta ar putea conduce la restricții ale traficului feroviar de-a lungul celor mai importante coridoare feroviare europene, în special trenurile de marfă, iar întreruperile de activitate rezultate ar putea avea efecte negative asupra economiilor europene. Mai mult, un posibil transfer modal de la transportul feroviar la transportul rutier pe aceste coridoare ar conduce la un impact sporit asupra mediului, în special emisii de gaze cu efect de seră, emisiile de CO₂ provenite din transportul feroviar de marfuri fiind mult mai scăzute decât cele provenite din transportul rutier de marfuri. Aceasta s-ar putea întâmpla într-un moment în care Comunitatea are în vedere oportunitatea dezvoltării unei rețele feroviare care să acorde prioritate transportului de marfuri [37].

Zgomotul reprezintă una dintre cele mai răspândite amenințări la adresa sănătății în rile industrializate. Reducerea zgomotului este deci necesară nu doar din rațiuni de confort dar și pentru a diminua efectele sale dăunătoare asupra sănătății, de exemplu probleme cardiovasculare și deteriorarea facultăților cognitive.

Comunitatea Europeană a acționat deja cu privire la această chestiune, adoptând măsuri în domeniile mediului și interoperabilității feroviare (Directiva 2002/49/CE [36] privind zgomotul ambiental prevede hărți acustice strategice și planuri de acțiune pentru căile ferate principale și marile aglomerări).

În 2003 experții [36-39] au identificat zgomotul de rulare al vagoanelor de marfă ca fiind cea mai puternică sursă de zgomot feroviar. Tehnologia de frânare utilizată în prezent (saboii de frână din font turnat care frânează pe suprafața roților) produce rugozități pe suprafața roților, în consecință, conduce la un nivel

înalt de vibrație ainelor și a roților. Având în vedere faptul că trenurile de marfuri operează adesea în timpul nopții, emisiile de zgomot ale acestora sunt mai critice.

Experții recomand să se acorde prioritate mare surilor la surs (în special vehicule) deoarece acestea oferă un raport cost/eficacitate mai bun. Cu toate acestea, conform datelor [38], în Europa se cheltuiesc anual în total 150 – 200 de milioane de euro pentru construcția de bariere acustice. Barierele acustice ar putea, indiscutabil, constitui un element eficient al programelor de reducere a zgomotului, acolo unde este necesar, de exemplu în zonele urbane dense. Dacă barierele sunt însoțite de mături la surs, lungimea sau înălțimea barierelor poate fi redusă, aceasta conducând la reduceri semnificative ale costurilor.

În vederea rezolvării problemelor la surs și a realizării interoperabilității de-a lungul liniilor de cale ferată, în decembrie 2005 Comisia a adoptat specificații tehnice pentru interoperabilitatea legată de zgomotul feroviar (STI „zgomot”) [39] introducând limite pentru materialul rulant utilizat în Uniunea Europeană. Aceste limite se aplică materialului rulant nou și recondiționat, inclusiv pentru vagoanele de marfuri, care trebuie să fie echipate cu saboți de frână silențioși care reduc emisiile de zgomot cu aproximativ 50%.

Obiectivul acțiunii comunitare este acela de a reduce nivelul de expunere a cetățenilor la zgomotul feroviar prin promovarea unor programe de reducere a zgomotului feroviar care să limiteze emisiile de zgomot provenite de la trenurile de marfuri, fără să periclită competitivitatea transportului feroviar de marfuri, în principal prin post-echiparea vagoanelor de marfuri cu frâne mai silențioase, care este cea mai rentabilă.

În principiu, post-echiparea ar trebui să se aplice tuturor vagoanelor de marfuri europene cu un kilometraj anual de peste 10 000 de km și a căror durată de viață medie este de cel puțin 5 ani. Datorită utilizării lor sporadice vagoanele cu un kilometraj sub 10 000 de km pe an (15% din parcul de vagoane) reprezintă mai puțin de 3% din activitatea de transport general a parcului de vagoane de marfuri. În consecință trebuie acordată prioritate post-echipării vagoanelor cu un kilometraj anual ridicat pentru a maximiza reducerea de zgomot chiar de la început. Aceste două excepții ar reduce semnificativ costul post-echipării, fără să periclită obiectivul de reducere a zgomotului.

Data țintă pentru finalizarea exercițiului de post-echipare ar fi 2015. Evaluarea impactului [39] a demonstrat că parcul european de vagoane ar putea fi practic post-echipat până la această dată, cu condiția să fie utilizate tehnologiile corespunzătoare de post-echipare.

Este apreciat că fiind cea mai rentabilă măsură aceea de înlocuire a sistemelor de frânare, și anume: trecerea de la frâna cu saboți la frâna pe disc, cu garnituri de frână din materiale compozite.

Saboții de frână din materiale compozite au fost dezvoltati pentru a înlocui saboții convenționali din font, sursă importantă de zgomot. Aceștia sunt eficace în reducerea zgomotului (cu 10 dB, echivalentul a 50% din zgomotul saboților de font).

În ultimii 10 ani, industria de profil a dezvoltat mai multe tipuri de saboți de frână din materiale compozite în scopul înlocuirii saboților de frână convenționali din font (figura 3.16), care constituie principala sursă a rugozității în roți. Acești saboți de frână permit o reducere a zgomotului de rostogolire perceptibilă până la 50%.



Fig.3.16. Variet ile de sabo i utiliza i pe vehiculele feroviare, [40]

Sabo ii K sunt disponibili din 2003. Având caracteristici de frânare diferite de cele ale sabo ilor conven ionali, reechiparea necesit ajust ri ale sistemului de frânare, costuri suplimentare [40].

Sabo ii LL sunt sabo i de frânare din material compozite care prezint acelea i caracteristici de frânare cu ale fontei, nefiind necesar o adaptare major a sistemului de frânare, iar costurile ini iale de reechipare sunt considerabil mai sc zute [40].

3.2.1. Sabo ii K

Sabo ii K sunt realiza i din materiale compozite organice i posed caracteristici de frânare diferite de cele ale sabo ilor tradi ionali. Post-echiparea necesit ajust ri ale sistemului de frânare (figura 3.17), conducând astfel la costuri suplimentare ini iale de pân la 10 000 de euro per vagon. Sunt foarte eficien i în ceea ce prive te reducerea zgomotului (reducere de pân la 10 dB, echivalentul a 50%) i sunt în general considera i, în cazul vagoanelor noi, ca fiind neutri din punct de vedere al costurilor.

A a numi ii sabo i K reprezint o tehnologie testat , utilizat pentru vagoanele noi, dar care presupune cheltuieli mari de post-echipare. Lista sabo ilor de frân tip K din material compozit utiliza i în transportul interna ional, conform reglement rilor UIC [41], se prezint în anexa (tabelul 3.1.A).



Fig.3.17. Imagine a vagonului modernizat cu sabot tip K, [41]

3.2.2. Sabo ii LL

Sabo ii LL necesit doar ajust ri minore ale sistemului de frânare. Ei sunt proiecta i astfel încât s aib caracteristici de frânare destul de asem n toare cu cele ale sabo ilor de font . Ei sunt confec iona i fie din materiale compozite organice, fie din metale sinterizate i asigur o reducere a zgomotului de acela i ordin de m rime ca al sabo ilor K. Alte tipuri, a a zi ii sabo i LL, sunt de aceea dezvolta i în mod expres pentru post-echipare. La începutul anului 2008, un tip de sabo i K au primit omologare UIC definitiv , în vreme ce trei tipuri de sabo i LL au doar o omologare provizorie. Lista sabo ilor de frân tip LL din material compozit utiliza i în transportul interna ional, conform reglement rilor UIC [41], se prezint în anexa (tabelul 3.2.A).

Prin înlocuirea sabo ilor din font cu sabo ii LL din material compozit se ob ine o reducere a zgomotului i o cre tere a durabilit ii sabo ilor de 1,5 ori. Dezavantajele constau în faptul c pre ul unitar va fi de 3-4 ori mai mare în detrimentul sabo ilor de material compozit, monitorizarea va deveni mai frecvent (de exemplu, verificarea în l imii flan ei ro ii la fiecare 50.000 km) precum i o uzur a ro ii de 2-3 ori mai mare (figura 3.18) [45].

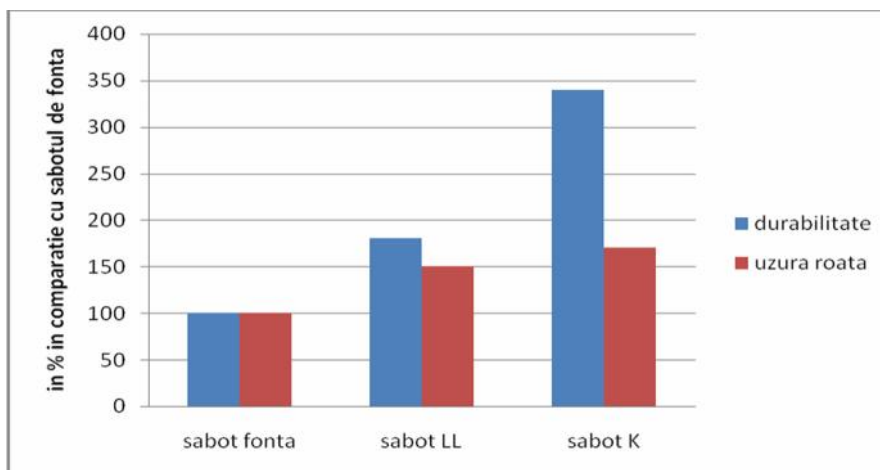


Fig.3.18. Caracteristicile sabo ilor din material compozit comparativ cu a sabo ilor din font , [45]

Reducerea zgomotului la surs , prin echiparea vagoanelor cu sabo i din material compozit, din punct de vedere a costurilor implicate, această op iune este mai eficient , comparativ cu construirea barierelor de zgomot, deoarece se evit investi ii i întreținerea acestora pentru administratorii de infrastructur .

Echiparea materialului rulant cu sabo i K este de dorit a se efectua la vagoanele noi, deoarece post-echiparea aduce costuri suplimentare de circa 2000-10000 euro/vagon. Uniunea European a cheltuit până în prezent circa 15 milioane de euro pentru cercetare-dezvoltare-produc ie a sabo ilor din material compozit.

Figura 3.19 prezint varia ia coeficientului de frecare în func ie de vitez pentru sabo ii din material compozit comparativ cu cei ob inu i prin turnare din font fosforoas .

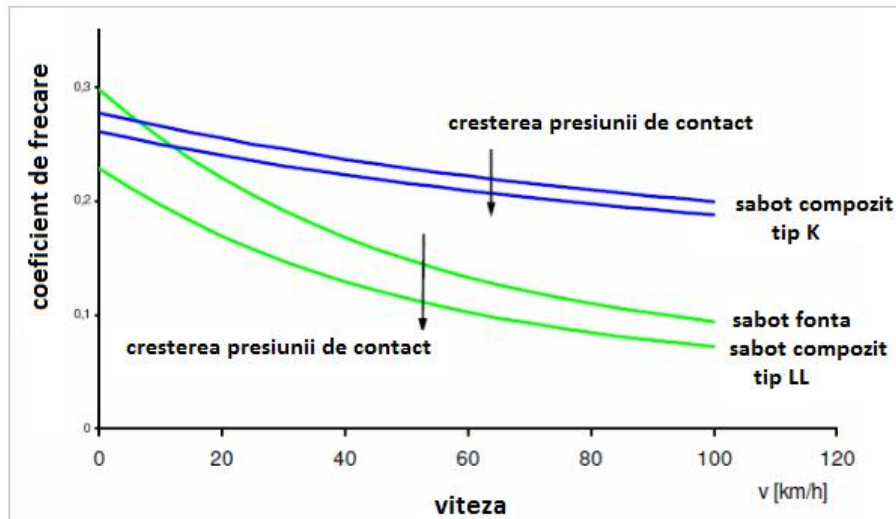


Fig. 3.19. Coeficientul de frecare, pentru diferiți saboți de frână (K, LL, font), la viteze diferite, [46]

Conform studiului de evaluare a impactului, este necesară post-echiparea a 370000 de vagoane, aproximativ două treimi din ele fiind de înute de regiile autonome feroviare naționale și o treime de operatori privați (inclusiv de operatori de transport combinat și de întreprinderile feroviare mici).

Cu tehnologia actuală, post-echiparea ar conduce la costuri de investiții între 200-700 de milioane de euro (saboți LL) sau 1,0-1,8 miliarde euro (saboți K) și la costuri suplimentare de întreținere în valoare de 200-400 de milioane de euro (cumulate până în 2025, pentru ambele tehnologii) [42].

Principalul avantaj al post-echipării îl reprezintă reducerea emisiilor de zgomot ale trenurilor de marfă cu până la 50%, în consecință, o descoperire cu aproximativ 16 milioane a numărului de persoane grav afectate de zgomotul feroviar. Concluziile studiului privind raportul costuri-beneficii demonstrează beneficii nete considerabile ale post-echipării, de ordinul 3 la 10, în raport cu costurile. Aceasta trebuie să se ia în considerare beneficiile majore ale post-echipării care nu au putut fi cuantificate, cum ar fi economiile datorate scăderii numărului de programe de reducere a zgomotului legat de infrastructură, diminuarea costurilor de întreținere a infrastructurii feroviare și creșterea eficienței administrării parcului de vagoane și locomotive.

Principalul obstacol pentru post-echiparea vagoanelor de marfă pe o scară largă este de natură financiară deoarece chiar dacă se acceptă în general că post-echiparea este modalitatea cea mai rentabilă, de reducere semnificativă a zgomotului feroviar, actorii interesați nu dispun de suficiente resurse sau stimulente pentru a o pune în practică.

Cea mai bună soluție a fost identificată ca fiind combinarea dintre taxele de acces pe căile feroviare diferențiate în funcție de zgomot, plafoanele de emisie de zgomot și angajamentele voluntare. Principalul avantaj al acestei opțiuni îl reprezintă beneficiile mari în ceea ce privește reducerea zgomotului (cu o rată cost/beneficii de până la 10), costurile potențial mai mici față de alte instrumente cum ar fi subvențiile directe, precum și largă aplicare la vagoane înregistrate în diferite state membre sau chiar în afara UE. Instrumentele de piață cum sunt taxele

diferențiate de acces pe calea ferată reprezintă, de asemenea, o modalitate prin care se încurajează acordarea de prioritate vagoanelor cu rată mare de utilizare. În plus, plafoanele de emisie de zgomot ar putea contribui la creșterea eficienței diferențierii taxelor de acces pe calea ferată din momentul începerii întreprinderilor feroviare sunt și mai mult stimulate să pună în practică post-echiparea.

Administratorii de infrastructură îi vor adapta sistemele de taxare în conformitate cu legislația comunitară. De asemenea, ei sunt responsabili pentru instalarea sistemelor de identificare și a instrumentelor informatice necesare. Finalizarea programelor de post-echipare se preconizează pentru sfârșitul anului 2015, având în vedere intervalul de timp de trei ani necesar pentru înlocuirea saboților de frână.

Plafoanele de emisie sonoră limitează emisiile medii într-un interval determinat de timp, într-un anumit loc de-a lungul liniei de cale ferată. De exemplu, emisiile sonore actuale ar putea fi considerate ca limită în vederea prevenirii creșterii zgomotului dacă transportul feroviar de marfă se dezvoltă. În temeiul Directivei 2002/49/CE, statele membre de competență juridică de stabilire a asemenea limite privind zgomotul ambiental.

În vederea menținerii nivelului de reducere a zgomotului obținut în urma post-echipării, Comisia Europeană recomandă statelor membre introducerea unor plafoane de emisie sonoră pentru principalele linii feroviare de transport de marfă ca o a doua etapă după finalizarea programelor inițiale de post-echipare. Cu toate acestea, analizele costuri/beneficii ar trebui realizate înainte de introducerea acestui instrument, considerându-se că la acea dată reducerea zgomotului va fi fost deja obținută prin post-echipare și prin alte mijloace.

3.3. Concluzii

Din analiza tehnologiei de fabricare a saboților de frână din font fosforos rezultă următoarele concluzii:

- calitatea pieselor turnate în forme de mare densitate, dar în mod special calitatea suprafețelor și precizia dimensională este net superioară calității obținute prin orice altă metodă clasică de formare;
- instalațiile de formare la înaltă presiune realizează forme cu densitatea de îndesare cuprinsă între 1,45-1,56 kg/dm³ la o capacitate de îndesare a amestecului între 35 și 40%;
- aspectul "uscătat" al amestecului crud de formare cu care se lucrează este consecință a utilizării unor lianți bentonitici caracterizați prin valori mici ale umidității normale de lucru;
- tehnica preparării amestecurilor crude destinate formării de mare densitate, capătă o nouă dimensiune în contextul utilizării unor bentonite activate cu putere mare de liere, caracterizate printr-o rezistență la compresiune la crud de min. 10 N/cm² și un indice de umflare cuprins între 10-20 ml;
- utilizarea materialelor carbonice trebuie făcută în cunoștință de cauză, datorită faptului că degradarea termică a componentelor amestecului de formare face ca numărul mare de substanțe toxice, degajate sub formă de noxe, precum și spectrul lor de agresivitate poate să determine o creștere a riscului de îmbolnăviri;
- utilizarea huilei la prepararea amestecurilor de formare este acceptată din punctul de vedere al protecției și igienei muncii, pentru că benzopirenul, reprezentantul cel mai incriminat al hidrocarburilor policiclice aromatice cu efect cancerigen recunoscut, nu este identificat în emisiile noxelor degajate de acest material, prezența lui în mediul de lucru fiind exclusă;

➤ fonta fosforoasă P10, din care sunt confecționați saboii de frân, se caracterizează prin capacitatea de a menține coeficientul de frecare și rezistența mare la uzur chiar la temperaturi ridicate, previne lipirea elementelor cuplei de frecare, prezintă conductivitate termică ridicată și rezistență la ocuri termice. Nu respectă însă cerința de rezistență la coroziune și de stabilitate a coeficientului de frecare în mediu umed;

➤ la saboii de frân din fontă fosfoasă coeficientul de frecare scade cu creșterea vitezei (0,3-0,1), densitatea materialului este de $7,2 \text{ kg/dm}^3$ iar viteza maximă admisă materialului rulant echipat cu astfel de saboii este de până la 120 Km/h.

În ceea ce privește analiza efectuată cu privire la utilizarea saboilor de material compozit se deprind următoarele concluzii:

➤ costurile semnificative de investiție și costurile suplimentare de întreținere au fost identificate ca fiind principalul obstacol în calea post-echipării. Cu toate acestea, exemplele de post-echipare a vagoanelor de marfă cu saboii de frân din materiale compozite (neomologate UIC) în Portugalia și Regatul Unit demonstrează că post-echiparea neutră din punct de vedere al costurilor este posibilă;

➤ în mod clar, tehnologia disponibilă la ora actuală nu poate fi considerată suficientă pentru o post-echipare la scară europeană. De aceea, Comisia invită industria să dezvolte în continuare saboii de frân din materiale compozite, în strânsă cooperare cu întreprinderile feroviare și proprietarii de vagoane, în vederea unei reduceri semnificative a costurilor;

➤ exercițiul de cartografiere acustică în cadrul Directivei 2002/49/CE și datele raportate Comisiei de către statele membre ar trebui utilizate pentru evaluarea succesului programelor de post-echipare: pe baza hărților acustice din 2007, considerate nivel de referință, va fi monitorizată eficacitatea programelor de post-echipare și va fi posibil să se ia o decizie în ceea ce privește stabilirea unor plafoane de emisie sonoră;

➤ cu toate acestea, având în vedere durata lungă de viață a materialului rulant, vor trece mai mulți ani până când, la nivel general, emisiile de zgomot provenite de la trenurile de marfă vor putea fi reduse semnificativ în baza legislației în vigoare și dacă nu se introduc măsuri suplimentare la nivelul parcului actual;

➤ această inițiativă se concentrează asupra unei măsuri specifice de reducere a zgomotului feroviar: post-echiparea vagoanelor de marfă cu saboii de frân silențioși. Chiar dacă această măsură este în general considerată ca fiind foarte eficientă și eficientă, ea nu poate rezolva toate problemele legate de zgomotul feroviar din Europa;

➤ materialul compozit tip K este recomandat, în cazul vagoanelor noi sau în cazul vagoanelor aflate în circulație, atunci când se dispune de fondurile necesare pentru modificarea sistemului de frân;

➤ coeficientul de frecare este superior la materialul compozit tip K comparativ cu materialul compozit tip LL respectiv fontă;

➤ se remarcă o serie de avantaje în cazul folosirii materialelor compozite tip LL, datorită cheltuielilor reduse cu ajustarea sistemului de frânare în vederea montării saboilor, greutatea mai mică a sabotului, coeficientului de frecare asemănător cu cel al saboilor din fontă;

➤ din analiza caracteristicilor termo-fizice ale materialelor din care se confecționează saboii de frân (fontă respectiv materiale compozite) se observă o comportare net superioară a materialelor compozite, caracterizată prin obținerea unor produse mai ușoare care se comportă suficient de bine la temperaturile, uneori ridicate, din timpul procesului de frânare.

4. CARACTERISTICILE SABOTILOR DE FRÂN DESTINAȚI MATERIALULUI RULANT

În timpul frânerii, în stratul superficial al sabotului se pot atinge temperaturi de 800 – 900°C, temperaturi la care unii constituenți structurali se pot topi. La rulare se pot produce modificări de structură însoțite de creșterea durității.

Odată cu creșterea vitezei de circulație și a tonajelor vehiculelor feroviare au apărut preocupări privind frânarea eficientă și sigură a acestor vehicule.

4.1. Condiții tehnice de calitate ale sabotilor de frână fabricați din font fosforoasă

Pentru saboții din font se cunoaște că la temperaturile mari din timpul frânerii (800 – 900 °C) fosfura de eutectic aflat în imediată apropiere a celulelor eutectice se topește și curge în jurul cristalelor austenitice din suprafața rugoasă și brută a sabotului. Acest lucru face ca orice contact roată – sabot să se realizeze pe o suprafață mai mare și să se dezvolte o frecare mai mare. Conținutul de fosfor al fontei din care se execută sabotul este important dar nu trebuie neglijat și influența celorlalte componente asupra structurii metalografice.

Condițiile tehnice de calitate și dimensiunile principale ale sabotilor de frână din font fosforoasă P10, destinați materialului rulant motor și remorcat de cale ferată cu ecartamentul normal sunt precizate în Caietul de sarcini Nr.1/SFMR/SDT/2000/Sabotii de frână pentru material rulant motor și remorcat avizat de Autoritatea Feroviară Română [8]. În cazul sabotilor acror formă și dimensiuni diferă, ei pot fi fabricați din punct de vedere al materialului la fel ca cei mai sus menționați, diferind doar desenele privind dimensiunile acestor produse avizate de Autoritatea Feroviară Română sau realizate conform standardelor internaționale din domeniu.

Sabotii de vagoane sunt clasificați în funcție de mărime, astfel [8]:

- S₁ – saboții mărimea 1 destinați vagoanelor de marfă și cisterne;
- S₂ – saboții mărimea 2 destinați vagoanelor de marfă;
- S₃ – saboții mărimea 3 destinați vagoanelor de marfă cu frână asimetrică.

Sabotii de locomotive sunt clasificați în funcție de destinație, în:

- saboții de frână pentru locomotive Diesel hidraulice (LDH) de 1250 CP;
- saboții de frână pentru locomotive Diesel electrice (LDE) de 2100 CP;
- Saboții de frână pentru locomotive electrice (LE) de 5100 kW și 3400 kW.

inele de armare pentru vagoane se clasifică astfel:

- inele de armare tip A;
- inele de armare tip B;
- inele de armare tip C;

iar după mărimea sabotului în:

- inele de armare mărimea 1 pentru sabot mărimea 1;
- inele de armare mărimea 2 pentru sabot mărimea 2;
- inele de armare mărimea 3 pentru sabot mărimea 3.

Fiecare tip de sabot (pentru cele trei tipuri de locomotive) se poate fabrica folosind una dintre variantele de inele de armare A, respectiv B. Este de menționat faptul că există diferențe constructive între inelele de armare tip A respectiv tip B, funcție de destinația sabotului utilizat.

Formele, dimensiunile i toleran ele dimensionale ale sabo ilor i inelor de armare pentru sabo ii de vagoane sunt conforme cu [8]:

- STAS 109 – 86 Frâne pentru vagoane de cale ferat cu ecartament normal. Portsabo i cu sabo i demontabili. Dimensiuni, cu excep ia sabotului S₃ a c rui lungime va fi de 380mm;

- Fi a UIC 542 – O Piese de frân ;

- Desenul de execu ie pentru sabo ii de vagoane, întocmit de Serviciul Documenta ie Tehnic , anume CFR V.08 – 01.00.0/C aprobat de Autoritatea Feroviar Român , Societatea Na ional de Transport Feroviar de C I tori i Societatea Na ional de Transport Feroviar de Marf .

Formele, dimensiunile i toleran ele dimensionale ale sabo ilor i inelor de armare pentru sabo ii de locomotive sunt conforme cu Fi a UIC 542 – O Piese de frân i desenele de execu ie întocmite de Serviciul Documenta ie Tehnic aprobate de Autoritatea Feroviar Român , Societatea Na ional de Transport Feroviar de C I tori i Societatea Na ional de Transport Feroviar de Marf [8].

Suprafa a de aplicare a sabotului pe portsabot trebuie s aib o form cilindric având abateri de la cilindricitate de maxim 2 mm, pentru toate tipurile de material rulant motor i remorcat.

Abaterile limit pentru dimensiunile netolerate sunt conform SR ISO 8062:1995.

4.1.1. Caracteristici chimice a sabo ilor de frân din font

Corpul sabotului de frân pentru material rulant motor i remorcat se execut din font fosforoas tip P10, a c rei compozi ie chimic se prezint în tabelul 4.1.

Tab.4.1. Compozi ia chimic a sabo ilor din font fosforoas

Compozi ia chimic , %			
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-sulfur din font

ina de armare a sabo ilor de frân pentru material rulant motor i remorcat se confec ioneaz din o el laminat. Con inutul de carbon, sulf si fosfor pentru acest o el trebuie s fie: % C < 0,130 %; % S < 0,0062 %; % P < 0,0062 %. ina de armare a sabotului trebuie s aib sec iunea minim de 100 mm² i lungimea de minim 80 % din lungimea sabotului.

4.1.2. Caracteristici mecanice a sabo ilor de frân din font

Sabotul trebuie s prezinte pe suprafa a lateral , ca i în sec iune, o duritate Brinell de 197 – 225 HB [8].

Sabo ii trebuie s reziste, f r s se fisureze sau s se rup , la primul oc al înc rc rii definite, la încercarea rezisten ei la oc a sabotului i a inei de armare, verificarea rezisten ei inei de armare, respectiv verificarea aspectului rupturii. Dup oc ul sau ocurile urm toare destinate rupturii sabotului, ina de armare trebuie s r mân întreg i s men in împreun buc ile de font spart , urechea sabotului putând eventual s se desprind , f r s prezinte îns defecte ale structurii.

Armatura extras din sabotul de frân pentru material rulant motor sau

remorcat trebuie s suporte încercarea de îndoire definit la încercarea la îndoirea unei de armare fr s se fisureze sau s se rup . Aceast încercare este necesar a se efectua numai la certificarea unui nou furnizor sau la omologarea sabo ilor, în cazul abaterilor de la calitate în fabricarea sabo ilor sau datorit schimb rii procedului ori produsului de protec ie superficial a arm turii.

4.1.3. Caracteristici fizice a sabo ilor de frân din font

Sabo ii trebuie debavura i i sabla i, îndep rtându-se urmele de scurgeri, canalele de aerisire i maselotele, precum i orice alt defect de turnare vizibil sau nu, ce ar putea afecta montajul sau exploatarea sabo ilor. Bavurile r mase trebuie s aib în l ime de maxim 2 mm, nu trebuie s prezinte riscuri la manipularea sabo ilor.

Urechea sabotului prev zut pentru trecerea penei de blocare a sabotului in portsabot, nu trebuie s prezinte sufluri, incluziuni de nisip, retasuri, incluziuni de zgur , lipsuri de material, microretasuri sau suprapuneri de materiale.

Defectele de turnare (retasuri, sufluri), cu excep ia incluziunilor mecanice i nemecanice, sunt admise pe suprafa a de frecare a sabo ilor (mai pu in in zona central) i în ruptur dup încercarea la oc, în urm toarele limite [8]:

- un singur defect cu diametru max. de 10 mm;
- mai multe defecte cu diametre mai mici de 10 mm i a c ror sum de arii s fie mai mic de 10mm din suprafa a sabotului.

Pe celelalte suprafe e ale sabotului se admit urm toarele defecte:

- o singur suflur în dreptul pâlniei de turnare cu adâncimea, l imea i lungimea de maxim 10 mm, situat la o distan de minim 100 mm de urechea sabotului;
- asperiti pe suprafa a de contact cu portsabotul cu în l imea de maxim 2 mm;
- adâncituri locale cu adâncimea de maxim 6 mm, l imea de maxim 15 mm si lungimea de maxim 50 mm;
- maxim dou lipsuri de material la nervurile de ghidare ale t lpii sabotului în port-sabot, cu adâncimea de maxim 1 mm si lungimea de maxim 10 mm.

Dup ruperea prin oc, suprafa a rupt a sabotului trebuie s prezinte un aspect omogen cu nuan cenu ie.

inele de armare nu trebuie s prezinte suprapuneri de material sau defecte de suprafa ca de exemplu, arsuri, cute, exfolieri, incluziuni de calamin care pot influen a buna lor comportare pe durata func ion rii.

ina de armare trebuie s fie vizibil pe cel pu in 15 mm de fiecare parte a urechii sau la extremit ile sabotului pentru a avea siguran a pozi ion rii ei corecte. Tot pentru verificarea bunei lor pozi ion ri, inele de armare vor avea dou g uri, cu diametre de cel mult $\varnothing 8$ mm, a ezate simetric în raport cu axa de simetrie transversal .

Examenul metalografic al fontei sabotului trebuie s eviden ieze (conform SR EN ISO945-1:2009 i fi a UIC 832) [8]:

- fr atac chimic i cu grosiment G de 100x:
 - forma separ rilor de grafit lamelar (Gf 1);
 - caracterul separ rilor de grafit lamelar izolate cu grosime i repartizarea uniform (Gr 1); se admite i prezen a grafitului lamelar în rozete (Gr 2);

- lungimea separ ilor grafitului lamelar peste 70 pân la 125 μ m (Gl 5), peste 125 μ m pân la 25 μ m (Gl 6), peste 250 μ m pân la 500 μ m (Gl 7).
- dup atacul cu nital i cu grosiment G de cel pu in 200x:
 - o configura ie perlitic în care 50 % din perlit este eviden iat ;
 - propor ia de ferit sub form de insule izolate s fie mai mic de 5% din suprafa a e antionului;
 - lipsa prezen ei cementitei libere sau a altor carburi sub form de bastona e, dup atacul cu nital i un grosiment de 50x sau 100x;
 - pe suprafa a de frecare a sabotului, o zon de ferit cu grosimea medie maxim de 0,3 mm si o grosime maxim local de 0,5 mm.
- dup atacul cu nital i un grosiment G de 25x i 50x:
 - re ea de eutectic fosforos repartizat uniform.

Societ ile comerciale care doresc s fabrice sabo i trebuie s fie furnizori feroviari i s de in certificate de omologare tehnic eliberate de Autoritatea Feroviar Român , conform reglement rilor în vigoare [8].

Recep ionarea cantitativ i calitativ a sabo ilor se efectueaz de c tre organele de control tehnic i de calitate a produc torului, precum i de recep ia Societ ii Na ionale de Transport Feroviar de C I tori i Societ ii Na ionale de Transport Feroviar de Marf , în conformitate cu planul de recep ie i control pentru fabricarea sabo ilor.

Sabo ii se supun urm toarelor verific ri [8]:

- verificarea compozi iei chimice a materialului sabotului;
- verificarea aspectului, formei si dimensiunilor sabotului;
- încercarea durit ii Brinell a materialului sabotului;
- încercarea rezisten ei la oc a sabotului i a rezisten ei unei de armare;
- verificarea aspectului rupturii;
- verificarea structurii metalografice a materialului sabotului;
- verificarea st rii urechii i a pozi iei unei de armare;
- încercarea la îndoirea unei de armare.

4.2. Condi ii tehnice de calitate ale sabo ilor de frân fabrica i din materiale compozite

Zgomotul de frânare reprezint o surs de zgomot intermitent , ce apare numai în momentul intr rii frânei în ac iune. Zgomotele i vibra iile sunt produse prin frecarea sabo ilor de frân pe bandaje în momentul frân rii. Trecerea la frânarea prin discuri sigure pe remorcile TGV Atlantique i TGV Réseau a permis reducerea nivelului de zgomot la TGV Sud-Est de la 99,5 db(A) la 25 m i 270 km/or la 94,5 db(A) la 300 km/or .

Pentru a reduce poluarea fonic generat de traficul feroviar, se pot distinge între m suri pasive la locul perturb rii i m suri active la sursa de zgomot. Cele mai importante metode pasive de reducere a impactului zgomotului generat de traficul feroviar asupra mediului sunt pere ii de protec ie împotriva zgomotului i ferestrele izolatoare, iar majoritatea planurilor de ac iune i a investi iilor desf urate de statele membre se axeaz pe aceste metode. Dar, acestea au efect numai la nivel local, impunând investi ii imense pentru protejarea unor p r i extinse din re elele feroviare. În schimb, m surile orientate c tre surs reduc zgomotul la nivelul întregului sistem feroviar, daca sunt introduse la scar larg . Problema vagoanelor de marf feroviare zgomotoase poate fi redus , înlocuindu-se sabo ii de frân din font cu sabo i de frân din material compozit. Acest problem este examinat , în

prezent de industria feroviar și afectează aproximativ 370 000 de vagoane de marfă vechi. Dotarea vagoanelor de marfă feroviare existente cu saboii de frân K sau LL este măsura cea mai rentabilă în ceea ce privește vehiculele.

Utilizarea saboilor din material compozit (tip K și LL) pe materialul rulant motor și remorcat se face în conformitate cu standardele internaționale UIC 541-4 Frâne – Frâne cu saboii de frân din material compozit [47]. Condițiile generale de certificare presupun respectarea normativelor din domeniu, UIC SET 07/2012 Normele de proiectare a saboilor de frân din material compozit (K) respectiv UIC SET 07/2013 Normele de utilizare a saboilor de frân din material compozit (LL) [47-49].

Vagoanele dotate cu saboii de frân din materiale compozite (K sau LL) trebuie să fie marcate cu un " K " respectiv " LL ", într-un cerc imediat la dreapta marcajului, în conformitate cu cerințele standardelor internaționale EN 15877-1: 2012, pct 4.5 30.2.10.

Saboii K au coeficientul de frecare mai mare decât a saboilor de frân din font de circa 2,5 ori, montarea acestora pe vagoanele existente necesitând modificări la sistemul de frânare, aceștia fiind recomandați a se utiliza la vehiculele noi.

Saboii LL au coeficientul de frecare similar cu a saboilor de frân din font, montarea acestora pe vagoanele existente nu necesită modificări majore la sistemul de frânare, aceștia fiind recomandați a se utiliza la vehiculele vechi aflate în exploatare.

În prezent, există o gamă variată de saboii din material compozit în exploatare, cei mai utilizați fiind [50-59]:

- saboii K: Cosid 810, Jurid 816 M, Becorit 929-1SG;
- saboii LL: CoFren C952, Jurid 777, Icer-Becorit IB 116.

Specificatiile generale pentru certificarea saboților de frână de tip compozit sunt: specificații privind frecarea, geometria, proprietățile fizice și chimice ale saboilor de frân din materiale compozite. Acestea sunt valabile pentru toți saboii de frân (LL și K) din material compozit.

Condițiile care au fost impuse materialelor compozite sunt [51, 60-65]:

- un nivel ridicat al coeficientului de frecare;
- modificări ale coeficientului de frecare cu viteza foarte mici sau chiar zero;
- menținerea caracteristicilor la temperaturi ridicate;
- eficiență maximă.

De exemplu, schematic saboii fabricați de SMiOC Frenoplast Buřhak și Cie lawski S.A. Poland [54, 57] sunt prezentați în figura 4.1, dimensiunile saboilor fiind prezentate în tabelul 4.2.

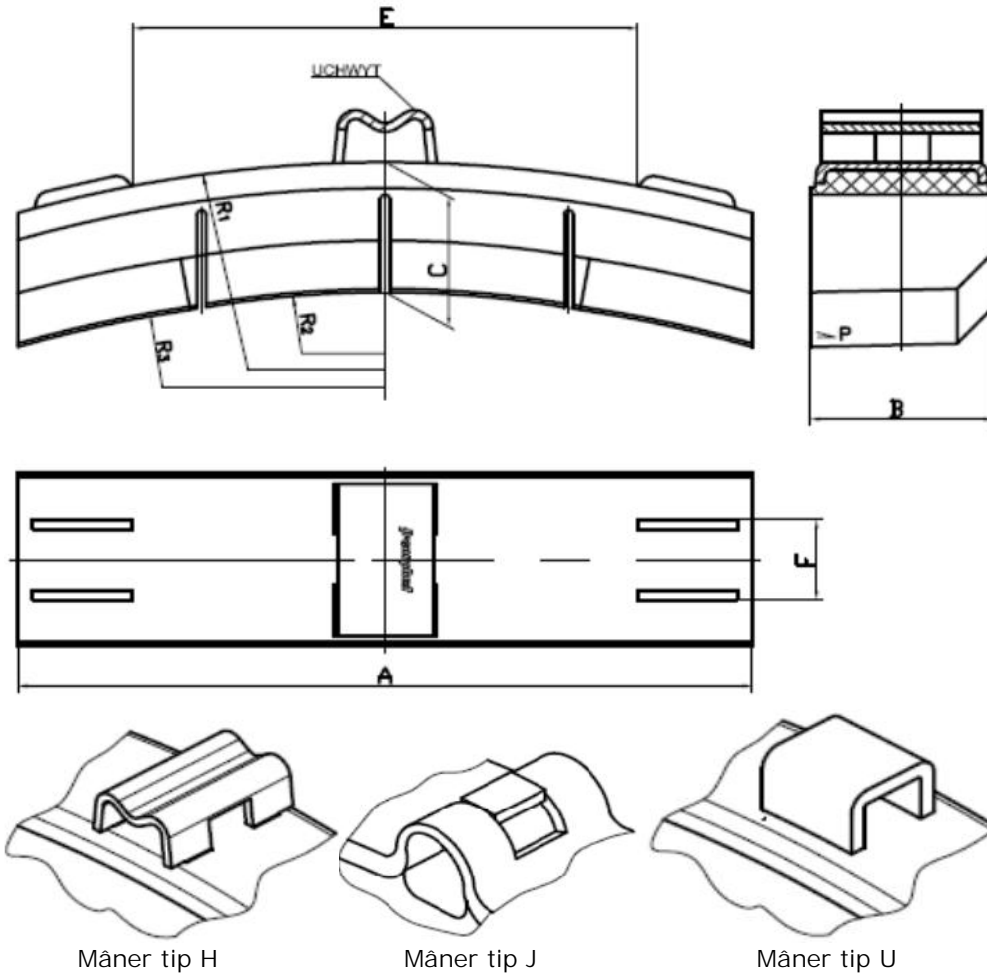


Fig.4.1. Sabo i frâna tip LL respectiv K, [57]

În România, societatea S.C. FEROM S.R.L., având domeniul principal de activitate construc ia i repararea de material rulant, produce sabo i de frân din material compozit organici (nemetalici) tip K i LL. Tipurile de sabo i de frân fabrica i sunt [60]:

- sabo i K: TMD 804;
- sabo i LL: IB 116, C 952.

Sabo ii K tip TMD 804 se utilizeaz la vagoanele de marf , de c l tori i la locomotive. Costurile de mentenan ale frânei, dotat cu ace ti sabo i, sunt mai mici cu circa 30% fa de cele cu sabo i de frân din font . Rezisten a la uzur este de 5 ori mai mare, comparativ cu aceea a sabotului din font . Comportarea ro ilor, din punct de vedere al uzurii, este aproximativ egal cu aceea produs de sabo ii din font . Nivelul de zgomot scade cu circa 10dB(A). Utilizarea sabo ilor nu eman pulberi toxici iar greutatea sabotului este mai mic de 3 ori comparativ cu sabotul din font .

Tab.4.2. Caracteristicile dimensionale a sabo ilor din material compozit

Dimensiuni, [mm]												Tip mâner	Nr.
A	B	C	D	E	F	M	N	P	R1	R2	R3		
320	80	60	160	220	37	-	-	1:40	560	450	550	H	F9039
250	80	50	-	180	37	156	78	1:40	560	-	420	H	F9058
320	80	60	200	220	37	-	-	1:40	560	425	500	H	F9059
400	80	60	200	220	37	-	-	1:40	560	425	500	H	F9149
400	80	60	200	220	37	-	-	1:20	560	660	600	H	F9172
244	90	63	80	146	37	-	-	1:20	544	200	250	H	F9176
266	90	70	86	170	37	-	-	1:20	718	250	900	H	F9177
320	80	60	-	220	37	-	-	1:40	560	-	365	H	F9182
320	80	60	200	220	37	-	-	1:40	560	420	500	H	F9187
250	90	50	-	182	37	157	78	1:20	560	-	600	H	F9218
313	90	50	-	257	30	-	-	-	482	-	-	J	F9219
250	80	60	160	180	37	-	-	1:40	560	450	480	H	F9223
320	80	60	200	220	37	-	-	1:40	560	450	550	H	F9224
350	80	60	220	220	37	-	-	1:40	560	450	520	H	F9225
400	80	60	200	220	37	-	-	1:20	560	450	550	H	F9227
250	80	60	170	180	37	157	78	1:40	560	450	550	H	F9261
320	80	60	170	220	37	157	78	1:40	560	450	550	H	F9262
400	80	42	-	220	37	-	-	1:20	560	-	355	H	F9267
260	78	32	-	170	27	-	-	-	350	-	317	H	F9322
320	90	60	160	220	37	157	78	1:40	560	350	620	H	F9381
311	84	42	-	210	36	-	-	-	451	-	470	U	F9403
320	80	60	-	220	37	-	-	1:20	560	-	460	H	F9416
320	90	50	-	260	37	-	-	-	450	-	-	H	F9418
320	80	58	-	230	30	-	-	1:40	425	-	500	H	F9423
346	86	60	-	274	30	-	-	1:20	530	-	480	U	F9425
320	80	50	200	220	37	-	-	1:40	560	425	500	H	F9431
244	90	62	80	146	37	-	-	1:40	544	200	250	H	F9451
250	80	60	-	180	37	157	78	1:40	560	-	580	H	F9455
250	80	60	170	180	37	157	78	1:40	560	450	550	H	F9457
320	80	60	170	220	37	157	78	1:40	560	450	550	H	F9458
320	80	40	-	220	37	-	-	1:40	560	-	365	H	F9475
320	80	50	200	220	37	157	78	1:40	560	450	550	H	F9501
320	80	58	-	220	30	-	-	1:20	560	-	505	H	F9506
320	80	60	170	220	37	157	78	1:40	560	450	550	H	F9532
311	80	55	-	282	38	-	-	1:10	480	-	425	H	F9536
320	80	60	170	220	37	-	-	1:40	560	450	550	H	F9541
311	80	55	-	282	38	-	-	1:10	480	-	482	H	F9549

Caracteristici sabot K tip TMD 804 [60]:

- coeficientul de frecare mediu: 0,31;
- temperatura maxim la frânarea de durat : 350°C;
- temperatura maxim la frân ri totale i rapide: 700°C;
- viteza maxim : 160km/h;
- duritate: 96HRX;
- densitate: 2,16g/cm³;
- lungime 250mm, 320mm, grosime 60mm i l ime 80mm.

Saboii LL tip IB 116 pot înlocui saboii din font , fără modificări constructive, fiind admisi în traficul internațional. Costurile de mentenanță ale frânei dotate cu acești saboii sunt mai mici cu circa 30% față de cele cu saboii de frân din font . Comportarea roților, din punct de vedere al uzurii, este aproximativ egală cu aceea produsă de saboii din font . Nivelul de zgomot scade cu circa 10dB(A). Greutatea sabotului este mai mică de 4 ori comparativ cu sabotul din font . Utilizarea nu emană pulberi toxice.

Caracteristici sabot LL tip IB 116 [60]:

- coeficientul de frecare mediu: comparabil cu al sabotului de frân din font fosforos P10;
- temperatura maximă la frânarea de durată : 450°C;
- temperatura maximă la frânări totale și rapide: 650°C;
- viteză maximă : 120km/h;
- duritate: 110-120HRX;
- densitate: 2,19g/cm³;
- lungime 250mm, 320mm, grosime 60mm și lățime 80mm.

Saboii LL tip C 952 pot înlocui sabotul din font fără modificări constructive fiind admisi în traficul internațional. Rezistența la uzură este de 10 ori mai mare, comparativ cu aceea a sabotului din font . Costurile de mentenanță ale frânei dotate cu acești saboii sunt mai mici cu circa 30% față de cele cu saboii de frân din font . Comportarea roților din punct de vedere al uzurii este aproximativ egală cu aceea produsă de saboii din font . Nivelul de zgomot scade cu circa 10dB(A). Utilizarea nu emană pulberi toxice.

Caracteristicile sabotului LL tip C 952 [60]:

- coeficientul de frecare mediu: comparabil cu al sabotului de frân din font fosforos P10;
- material compozit sinterizat având ca adăos modificatori de fricțiune;
- punct de topire: 1000°C;
- temperatura maximă la frânări totale și rapide: 650°C;
- viteză maximă : 120km/h;
- densitatea: 8,35g/cm³;
- lungimea 250mm, 320mm, grosimea 60mm și lățimea 80mm.

4.3. Concluzii

Zgomotul generat de traficul feroviar este în mare măsură o problemă a trenurilor de marfă și a celor care au vagoane sau locomotive mai vechi și reprezintă o problemă gravă în special în timpul nopții. În general, zgomotul de rulare este mai ridicat din cauza mijloacelor feroviare slab întreținute și a trenurilor care rulează pe o infrastructură slab întreținută. Zgomotul aerodinamic este relevant în mod special pentru liniile de mare viteză pentru care, în majoritatea cazurilor, au fost implementate măsuri de limitare a zgomotului, precum bariere fonice. Barierele fonice reduc impactul zgomotului de rulare, dar în mod normal sunt prea joase pentru a avea vreun efect asupra zgomotului generat de pantograf. Zgomotul locomotivelor este cel mai relevant pentru vitezele mici de până la aproximativ 30km/h, zgomotul de rulare la viteze de peste 30km/h, iar zgomotul aerodinamic predomină la viteze de peste 200km/h. Cea mai importantă sursă de zgomot este zgomotul de rulare, care afectează toate tipurile de tren.

Cea mai semnificativă reducere a zgomotului se va realiza prin introducerea materialului rulant modern. Pe termen scurt, cea mai importantă este înlocuirea saboilor de frân din font cu saboii de frân din material compozit la vagoanele de

marf feroviare. Dotarea vagoanelor de marf feroviare existente cu saboii de frân K sau LL este m sura cea mai rentabil în ceea ce prive te vehiculele. Materialul compozit tip K este recomandat, în cazul vagoanelor noi sau în cazul vagoanelor aflate în circula ie, atunci când se dispune de fondurile necesare pentru modificarea sistemului de frân .

În cazul folosirii materialelor compozite tip LL, se remarc urm toarele:

- cheltuieli mici cu ajustarea sistemului de frânare în vederea mont rii sabo ilor;

- greutate mai mic a sabotului;
- coeficientului de frecare asem n tor cu a celor conven ionali;
- valorilor asem n toare pentru uzura ro ilor;
- reducerea zgomotului cu cca. 50%;
- sc derii cheltuielilor cu mentenan a sistemului de frânare cu cca. 30%;
- rezisten ei la uzur mai mari de cca. 5 ori;
- faptului c nu eman pulberi toxice la frânare.

Dotarea parcului de vagoane de marf feroviare existente cu sisteme de frânare cu emisii reduse de zgomot, în special prin înlocuirea sabo ilor de frân din font cu saboii de frân din material compozit, reprezint cea mai important i rentabil etap în materie de m suri de reducere a zgomotului la surs .

Industria de profil a dezvoltat mai multe tipuri de saboii de frân din materiale compozite în scopul înlocuirii sabo ilor de frân conven ionali din font , care constituie principala surs a rugozit ii unei i ro ii respectiv a zgomotului de rulare.

Saboii K sunt realiza i din materiale compozite organice i posed caracteristici de frânare diferite de cele ale sabo ilor tradi ionali. Sunt foarte eficien i în ceea ce prive te reducerea zgomotului, reprezint o tehnologie testat utilizat pentru vagoanele noi, dar care presupune cheltuieli mari de post-echipare.

Saboii LL necesit doar ajust ri minore ale sistemului de frânare, au caracteristici de frânare destul de asem n toare cu cele ale sabo ilor de font i sunt confec iona i fie din materiale compozite organice fie din metale sinterizate. Asigur o reducere a zgomotului de asem n tor ca al sabo ilor K i sunt dezvolta i în mod expres pentru post-echipare.

Post-echiparea conduce la costuri de investi ii între 200-700 de milioane de euro (saboii LL) sau 1,0-1,8 miliarde euro (saboii K) i la costuri suplimentare de între inere în valoare de 200-400 de milioane de euro (cumulate pân în 2025, pentru ambele tehnologii).

Comisia European recomand ob inerea de materiale compozite pentru saboii de frân cu caracteristici superioare în vederea reducerii semnificative a costurilor i a zgomotului.

Partea a II-a

CERCETĂRI ȘI EXPERIMENTĂRI PROPRII PRIVIND IMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII SABOȚILOR DE FRÂNĂ DESTINAȚI MATERIALULUI RULANT

5. CERCETĂRI PRIVIND CALITATEA SABOȚILOR DE FRÂNĂ PRODUȘI DIN FONTĂ FOSFOROASĂ

5.1. Fluxul tehnologic de obținere a saboților de frână din fontă fosforoasă

Fluxul tehnologic de procesare a saboților de frână tip $S_1/S_2/S_3$ destinați industriei transporturilor (material rulant motor și remorcat) - flux executat la SC TEF SRL SIMERIA - este prezentat în fig.5.1 [26].

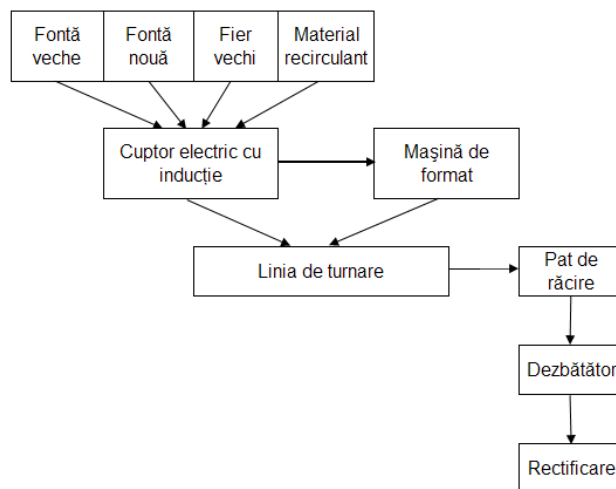


Fig.5.1 Fluxul tehnologic de procesare a saboților de frână

Secția de turnătorie a firmei S.C. TEF Simeria este dotată cu echipamente moderne [29]:

- trei cuptoare electrice cu inducție, două cu capacitate de 2 tone și unul cu capacitate de 5 tone;
- mașină automată de format în curent de aer-presare, model HFP 2,
- linie semiautomată de turnare pentru fabricarea saboților de frână SNCFR, tip P10, mărimea S1, S2 și S3, turnați din fontă fosforoasă, cu destinația material feroviar rulant motor și remorcat.

Fazele primare ale procesului tehnologic de obținere a saboților de frână sunt:

- recepția și cântărirea materialelor la intrarea în societate se face cu ajutorul unui cântar bascul electronic de 40 tone; feroaliajele se cântăresc cu ajutorul unui cântar de 500 kg amplasat pe platforma cuptoarelor;

- repartizarea materialelor se face pe sortimente și sunt depozitate mai apoi în depozitul de materiale, de unde sunt aduse pe platforma cuptoarelor cu ajutorul unui cărucior și a unor bene metalice;
- fierul vechi și fonta veche se depozitează într-o hală dotată cu macara de 5 tone, în afara turnătoriei, de unde se aduc în turnatorie în cantități necesare pe o perioadă de 3-7 zile și se depozitează;
- feroaliajele sunt depozitate lângă platforma cuptoarelor;
- elaborarea aliajului se efectuează în cuptoare cu inducție (2 cuptoare de capacitate 2 tone, respectiv un cuptor de capacitate 5 tone);
- debitarea fierului vechi se face cu flacără oxigaz și cu foarfecă ghilotină la dimensiuni de maxim 40x40x150cm, pentru a putea fi încărcate în cuptoare (prelucrarea realizându-se în depozitul de fier vechi); fonta veche este adusă de la furnizori avansat pregătită.

Unul din cele mai importante aspecte, legate de amestecul de formare utilizat la linia semiautomată, este menținerea proprietăților acestora, într-o plajă constantă, timp îndelungat, de-a lungul mai multor schimburi de turnare.

În situația în care reperatele executate diferă mult ca greutate și, deci, raportul metal /formă se schimbă frecvent, elementul cel mai sensibil la acest parametru este umiditatea amestecului de formare, care variază într-o plajă foarte mare în situația în care se trece de la turnarea reperelor mici (de 2 - 3 kg lichid/formă) la turnarea de reperate mari (20 - 25 kg lichid/formă).

Controlul umidității amestecului de formare, în cazul turnătoriei de la S.C. TEF Simeria, se realizează cu ușurință, cu ajutorul a două utilaje din componența liniei, și anume: toba de răcire CDR 2000 și aparatul de control a umidității la prepararea amestecului de formare LIPPKE. Toba de răcire are rolul de a dezbate formele la turnare, de a răci piesele și amestecul de turnare, de a umidifica amestecul de formare în așa fel încât la depozitarea în buncărele de amestec refolosit, umiditatea amestecului să fie aproximativ constantă și cuprinsă între 0,8 și 1,2%, indiferent de raportul metal/formă, realizat la reperatele turnate. Acest lucru se poate realiza cu ușurință întrucât instalația CDR 2000 permite pulverizarea unei cantități de apă recalculată la fiecare formă turnată, care ajunge în toba de răcire.

Menținerea unei anumite umidități în amestecul recirculat (uzat) este importantă, nu numai pentru că ușurează dozarea apei la prepararea amestecului nou, dar și pentru faptul că sunt create condiții optime de umidificare și umflare în timp a bentonitei, pentru ca aceasta să atingă proprietățile maxime de liere [29].

Controlul umidității amestecului de formare se face cu sistemul Lippke, care este un sistem performant de control care, prin intermediul unui calculator de proces și cu ajutorul unor senzori performanți de temperatură și de umiditate, permite obținerea unor amestecuri cu umiditatea prescrisă de producătorul mașinii DISA.

În timpul preparării amestecului se determină în mod automat (prin intermediul senzorilor) temperatura și umiditatea amestecului refolosit, iar apoi calculatorul de proces al sistemului Lippke, stabilește câtă apă trebuie adăugată, în așa fel încât să se ajungă la umiditatea necesară obținerii unei capacități de îndesare cuprinsă între 35-42%. Adăugarea apei în amestecător se face automat, calculatorul comandând electrovalvele și debitmetrele din sistem.

Pentru a ajunge la anumite performanțe, una din principalele probleme legate de prepararea amestecului a constituit-o alegerea materialelor optime care să permită realizarea cerințelor impuse de tehnologia de formare.

La alegerea tipului și sortului nisipului de bază, s-au luat în calcul recomandările constructorului utilajului de formare, privind valoarea presiunii metalostatice dezvoltate de cantitatea maximă de aliaj lichid turnat în forma cu dimensiunile de 480 x 600 x 330 mm.

Conform recomandărilor [26, 29], s-a analizat și s-a decis că tipul optim de nisip este cel de Văleni, sortul T0, care prezintă caracteristicile înscrise în tabelul 5.1.

În privința alegerii tipului și calității bentonitei, au efectuat teste de laborator pentru toată gama de bentonite din producția internă. Rezultatele analizelor au relevat faptul că, din punctul de vedere al puterii de liere (rezistența la compresiune la crud) și a umidității normale, acestea nu corespund recomandărilor.

Astfel, în privința puterii de liere, s-a constatat faptul că acestea nu pot realiza nivelul minim de rezistență impus decât la valori mari ale conținutului de bentonită, fapt ce atrage după sine depășirea limitei superioare a intervalului acceptat în părți fine levigabile (argilă AFS) pentru amestecul de formare.

Tab.5.1. Caracteristicile fizico-chimice ale nisipului cuarțos de Văleni

Nr. Crt.	Caracteristici	U.M.	Valori admisibile
1	Granulația medie M 50, min	mm	0,16
2	Grad de uniformitate, GU	%	55
3	PH-ul, min	-	7
4	Fracția granulometrică: - sub 010 mm, max. - din care trecerea prin sita de 0063 mm, max. - între 03 și 01 mm, min - rest pe sita 06 mm, max.	% % % %	10 5 80 3
5	Părți levigabile, max.	%	0,5
6	Umiditatea de livrare, max.	%	8
7	Compoziția chimică: SiO ₂ , min.	%	98

Această depășire determină automat creșterea conținutului de umiditate (peste 4,5 %), cu consecințe nefavorabile asupra fluidității și capacității de îndesare. Pe de altă parte, analizele de laborator au scos în evidență faptul că aceste bentonite au valori ridicate ale umidității normale, ceea ce denotă că amestecurile vor avea capacitate de îndesare redusă, un nivel ridicat de umiditate [29].

În paralel cu aceste testări, în cadrul programului de verificări realizat de laboratorul societății, de analize fizico - chimice și protecția mediului, s-a analizat bentonita BEST 100 livrată conform CS 01 / 2000, de societatea comercială ADEF 95 Ploiești. Produsul este o bentonita calcică activată pe cale umedă, cu un conținut ridicat de montmorillonit (> 70%), care are o umiditate normală de lucru < 2 %, fapt ce îi conferă o mare putere de liere, astfel că la proba tehnologică rezistența la compresiune la crud a fost de minim 10 N/cm².

Valorile caracteristicilor fizico chimice ale acestei bentonite sunt prezentate în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2. Caracteristicile fizico-chimice ale bentonitei activate BEST 100

Nr. Crt.	Caracteristici	U.M.	Valori admisibile	Rezultate laborator TEF Simeria	
1	Umiditatea de livrare, max.	%	10	6	
2	Cifra bentonitică		0,9	0,9	
3	Grad de umflare, min.	cm ³ /g	15	15,8	
4	Conținut de montmorilonit, min.	%	70	80	
5	pH-ul, min.	-	8	7,5	
6	Finețea de măcinare	- rest pe sita 02 (umed), max.	%	-	
		- rest pe sita 0063 (uscat), max.	%	10,9	
7	Rezistența la compresiune la crud, min.	N/cm ²	10	10,9	
8	Rezistența la tracțiune în strat umed la cald, min.	N/cm ²	0,2	-	
9	Umiditatea normală de lucru a bentonitei, max.	%	2	1,9	
10	Permeabilitatea, min.	UP	55	60	
11	Compoziția chimică:				
	-	SiO ₂	%	52,83	-
	-	Al ₂ O ₃		14,60	-
	-	Fe ₂ O ₃		4,40	-
	-	CaO		3,30	-
	-	MgO		6,42	-
	-	K ₂ O + Na ₂ O		1,0	-

În practica industrială este tot mai indicată utilizarea materialelor carbonice moderne. Astfel, în privința materialului carbonic, s-a luat în considerare la dimensionarea consumului o valoare cuprinsă între 50 și 60% din valoarea conținutului de bentonita nouă adăugată sistemului.

Au fost făcute teste și experimentări industriale, cu rezultate bune, în urma cărora materialul Carboluxon a fost acceptat în utilizarea curentă, în prezent fiind finalizate analizele de laborator cu rezultate excelente pentru un alt material carbonic, CARBODEF 60.

Comparativ cu produsele similare indigene, acest material se remarcă printr-un conținut redus de sulf și cenușă, precum și prin valori mari ale conținutului de volatili și carbon fix, astfel că, din aceste puncte de vedere, produsul CARBODEF răspunde tuturor recomandărilor constructorului instalației.

Valorile caracteristicilor fizico-chimice ale produsului CARBODEF 60 sunt prezentate în tabelul 5.3 [29].

Prepararea amestecului de formare se execută într-o instalație de amestecare de tip intensiv cu palete și role orizontale, cu o capacitate de 1000 kg/șarjă.

Tab.5.3. Caracteristicile fizico-chimice ale materialului carbonic CARBODEF 60

Nr. crt.	Caracteristici	U.M.	Condiții de admisibilitate	Rezultate laborator TEF Simeria	Metoda de analiză	
1	Aspect-culoare	-	pulbere neagră	pulbere neagră	-	
2	Umiditate	%	Max 3%	0,9	SR 5264/95	
3	Conținut în volatile	%	30-35	35,5	STAS 5268/90	
4	Conținut în carbon fix	%	min 60	77,36	STAS 5268/90	
5	Conținut în sulf	%	0,4...0,6	0,46	STAS 5270/90	
6	Conținut în cenușă	%	3-5	3,82	STAS	
7	Finețea de măcinare	- rest pe sita 02 (umed), max.	%	min 95	-	STAS 9484/16/74
		- rest pe sita 0063 (uscat), max.	%	100	-	
8	Densitatea în vrac	g/dm ³	500-600	-	-	

Tab.5.4. Caracteristicile fizico – mecanice ale amestecului de formare

Nr. Crt.	Caracteristici	U.M.	Valori admisibile	Rezultate laborator TEF Simeria *
1	Capacitatea de îndesare C ₄₅	%	35-42	37
2	Rezistența la compresiune la crud	N/cm ²	17,3-20,8	17-21,3
3	Rezistența la tracțiune la crud, min.	N/cm ²	3,0	3,2-6,5
4	Permeabilitatea, min.	UP	50	80-90
5	Densitatea la prepararea	g/cm ²	0,97-0,84	0,911
6	Densitatea de îndesare	g/cm ²	1,45-1,56	1,48
7	Conținutul în argila AFS	%	11-13	11,46-13,02
8	Conținutul în argilă vie, min.	%	7	8,4-8,7
9	Pierdere la calcinare	%	4,5-6,0	4,69-5,91
10	Temperatura, max.	°C	30	30-38
11	Umiditatea	%	Variabilă, până la obținerea valorii lui C ₄₅	2,8-3,5
12	Conținutul în carbon, max.	%	3,0	1,34-1,66
13	Eficiența în amestecare	%	94	90

* datele înscrise în tabel reprezintă limita rezultatelor înregistrate pe o perioadă de 30 zile.

Caracteristicile fizico - mecanice ale amestecului recirculat (uzat) introdus în circuitul de preparare - formare are următoarele caracteristici: 9,85 % conținut în argilă AFS, min.7,4% conținut în argilă vie, 3,5 - 4,0 % pierdere la calcinare, 40°C temperatura maximă, umiditatea variabilă și 1,15-1,26% conținutul de carbon. După preparare, amestecul are caracteristici fizico - mecanice prezentate în tabelul 5.4.

Rețeta de preparare: 97,75 - 95,80 % amestec recirculat; 1,5-3 % nisip nou; 0,5 - 0,8 % bentonită; 0,25 - 0,4 % material carbonic; apă: până la realizarea capacității de îndesare de 37 ± 2 %.

Din datele prezentate, rezultă foarte clar faptul că în formarea la înaltă presiune, unde sunt realizate forme de mare densitate, este foarte important fiecare detaliu, începând de la calitatea materiilor tehnologice utilizate și sistemul de control aplicat, până la automatizările și metodele prin care sunt conduse procesele tehnologice.

5.2. Rezultate obținute la prelucrarea datelor experimentale

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

Pentru cercetarea industrială s-au urmărit în practică un număr de 25 de șarje destinate producerii saboților de frână. În tabelul 5.5 se prezintă compoziția chimică a fontei fosforoase (P10) destinate producerii saboților de frână.

O caracteristică importantă cu influență foarte mare asupra durabilității în exploatare a sabotului de frână este duritatea. La saboții de frână, duritatea se determină în cinci puncte, două situate la capetele sabotului și trei în secțiunea sabotului conform figurii 5.1.

Sabotul trebuie să prezinte pe suprafața laterală, ca și în secțiune, o duritate Brinell de 197- 225HB [8].

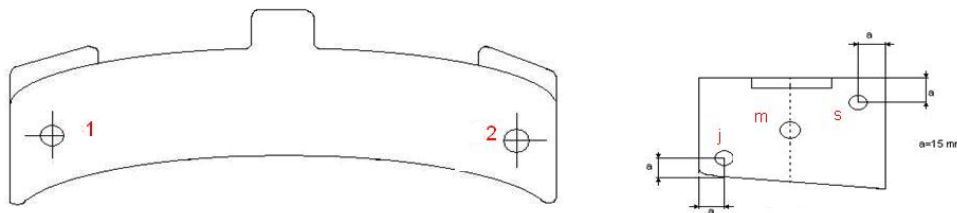


Fig.5.1. Zonele de prelevare a durității sabotului, [8]

În tabelul 5.6. se prezintă probele de duritate pentru saboții de la șarjele analizate.

Pentru analiză s-au folosit următoarele notații (conform figurii 5.1):

- HB_1 și HB_2 reprezintă duritatea la capetele sabotului (punctele 1 și 2);
- HB_s , HB_m și HB_j reprezintă duritatea în secțiune, în trei puncte, aflate pe diagonala feliei secționată dintr-un sabot rupt la încercarea de reziliență - sus, mijloc și jos (punctele s , m și j).
- $(HB_1+HB_2)/2$ media durității pe suprafața sabotului;
- $(HB_s+HB_m+HB_j)/3$ media durității în secțiunea sabotului;
- R elementele reziduale ($\%Cr + \%Mo + \%Ti + \%Nb + \%V + \%W$).

Tab.5.5. Compoziția chimică a șarjelor analizate

Nr. șarjă	Compoziția chimică, %					
	C	Si	Mn	P	S	R
1	3,16	1,41	0,79	0,86	0,046	0,26
2	3,06	1,44	0,85	0,86	0,067	0,214
3	3,02	1,8	0,56	0,97	0,048	0,219
4	2,91	1,75	0,59	0,89	0,084	0,249
5	3,27	1,68	0,81	1,01	0,053	0,22
6	3,02	1,65	0,68	0,85	0,049	0,179
7	3,29	1,52	0,8	0,92	0,03	0,153
8	3,16	1,89	0,77	0,9	0,043	0,1089
9	3,23	1,71	0,85	0,92	0,045	0,16
10	2,95	2	0,77	0,99	0,065	0,206
11	3,23	1,55	0,69	0,92	0,053	0,217
12	3,27	2	0,79	0,93	0,053	0,19
13	3,04	1,9	0,7	0,84	0,043	0,224
14	2,99	1,85	0,59	1,01	0,082	0,269
15	3,16	1,72	0,62	0,93	0,101	0,158
16	3,11	1,68	0,63	1,04	0,153	0,215
17	3,05	1,76	0,91	0,89	0,067	0,261
18	3,28	1,58	0,76	0,95	0,049	0,168
19	3,19	1,63	0,73	0,96	0,052	0,314
20	3,3	1,58	0,64	0,9	0,066	0,185
21	2,96	1,65	0,58	0,81	0,089	0,176
22	3,13	1,74	0,78	0,93	0,047	0,344
23	3,07	1,75	0,77	0,94	0,071	0,143
24	3,02	1,53	0,68	0,91	0,083	0,262
25	3,17	1,66	0,63	0,82	0,036	0,202

Tab.5.6. Probele de duritate a șarjelor analizate

Nr. șarjă	Duritate, [HB]				
	HB ₁	HB ₂	HB _s	HB _m	HB _j
0	1	2	3	4	5
1	216	212	219	197	218
2	224	232	217	204	216
3	218	222	222	208	217
4	217	218	219	203	217
5	222	214	215	198	209
6	221	225	218	200	217
7	230	226	223	203	229
8	208	199	202	197	209
9	218	216	224	214	225
10	216	215	229	228	230
11	228	226	229	217	229
12	223	223	217	211	228

Tab.5.6. Probele de duritate a șarjelor analizate (continuare)

0	1	2	3	4	5
13	214	214	218	205	217
14	217	218	222	198	221
15	222	224	218	210	226
16	209	210	207	200	212
17	218	222	214	210	223
18	225	220	228	213	222
19	219	221	218	208	223
20	215	210	211	197	213
21	225	217	214	207	221
22	239	231	231	218	226
23	249	246	245	232	248
24	212	217	211	204	212
25	232	234	234	221	230

5.2.1. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul EXCEL

5.2.1.1. Corelații exprimate grafic și analitic

Datele experimentale obținute au fost prelucrate în programul de calcul EXCEL, rezultatele fiind prezentate sub formă grafică și analitică pentru a se observa influența compoziției chimice asupra durității saboților de frână. Au fost obținute ecuații de corelație liniară, polinomială (gradul 2, 3, 4), logaritmice și exponențiale. Având în vedere valorile apropiate pentru coeficienți de corelație, pe de o parte, iar pe de altă parte simplitatea expresiei, am considerat prezentarea în lucrare numai a corelațiilor de gradul 2 [61-65]. De asemenea pentru s-a prezentat sub formă grafică și analitică, și limitele de variație a domeniului tehnologic. O parte din rezultatele obținute sunt prezentate în continuare în figurile 5.3-5.11 iar o altă parte în anexe - figurile 5.1.A-5.12.A.

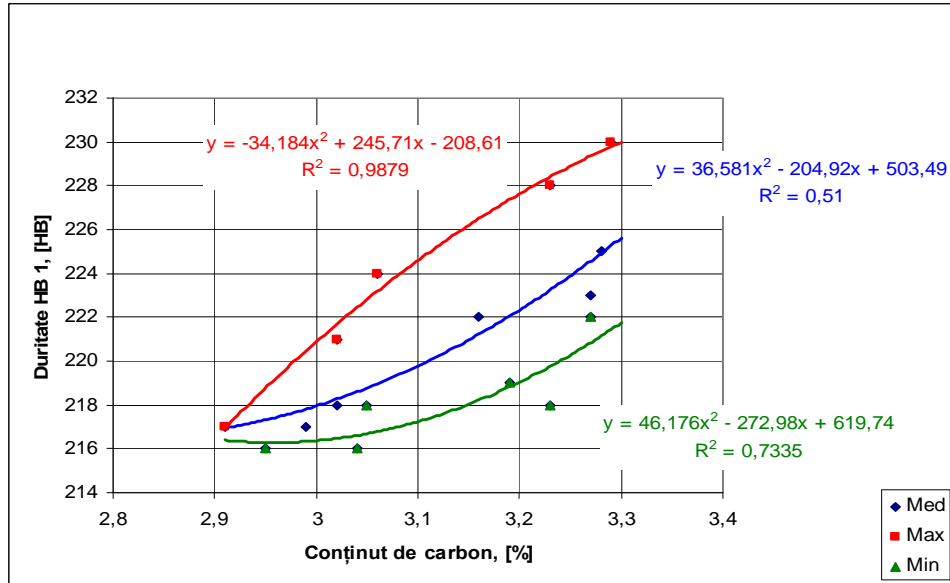


Fig.5.3. Variația durtății măsurată pe suprafața sabotului (HB_1) în funcție de conținutul de carbon

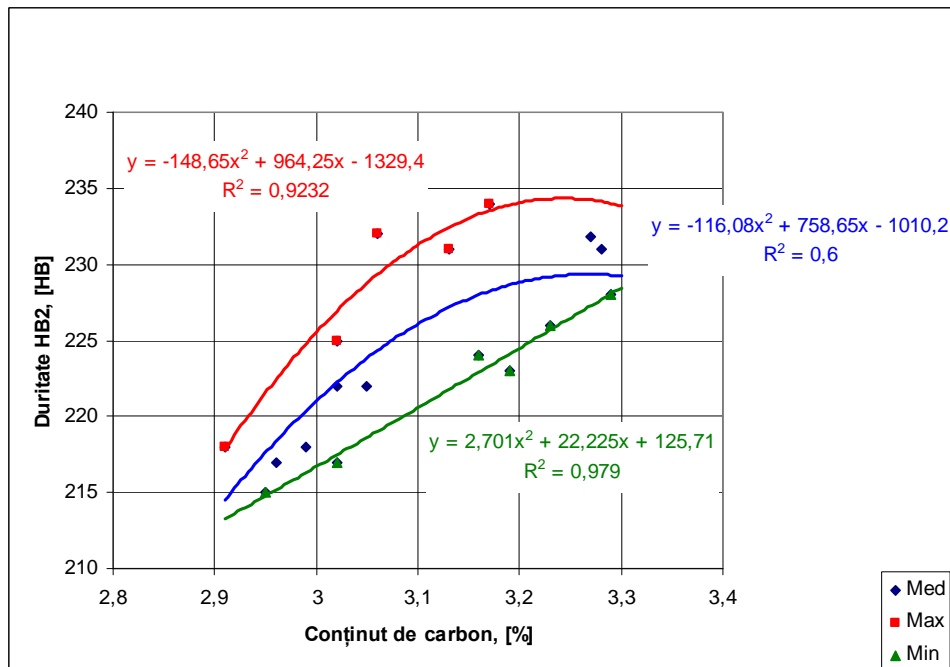


Fig.5.4. Variația durtății măsurată pe suprafața laterală a sabotului (HB_2) în funcție de conținutul de carbon

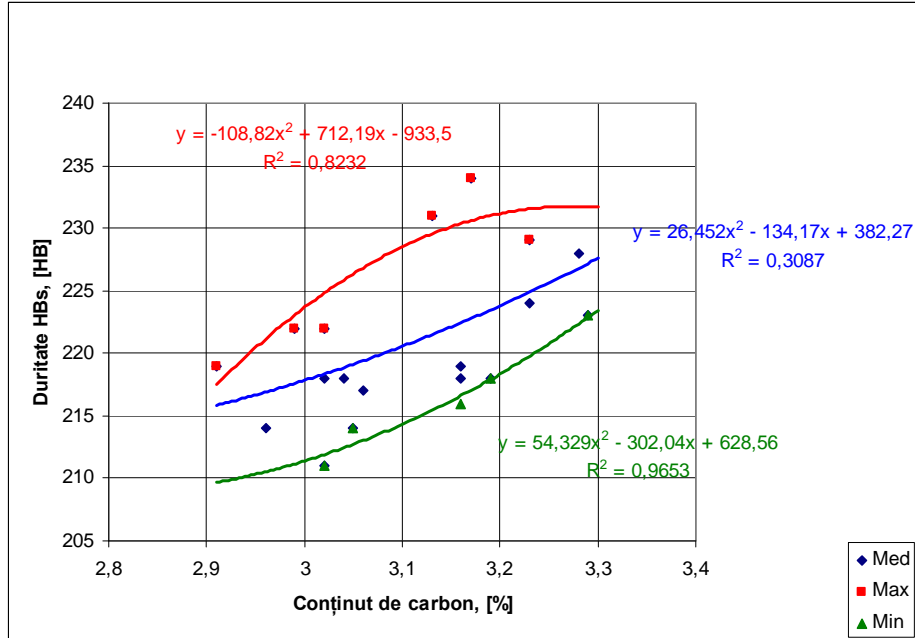


Fig.5.5. Variația durtății măsurată în secțiunea sabotului, partea de sus (HB_s) în funcție de conținutul de carbon.

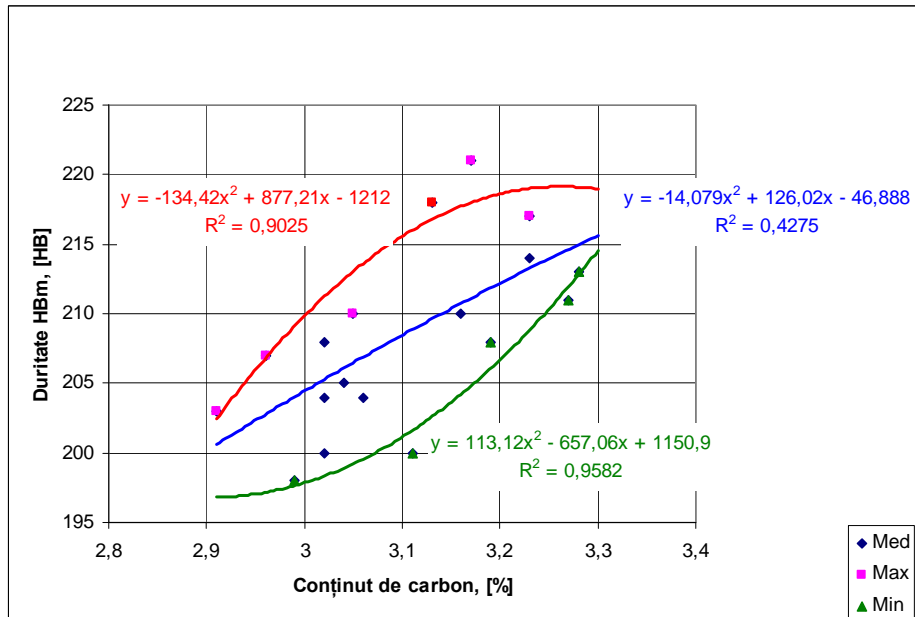


Fig.5.6. Variația durtății măsurată în secțiunea sabotului, partea de mijloc (HB_m) în funcție de conținutul de carbon

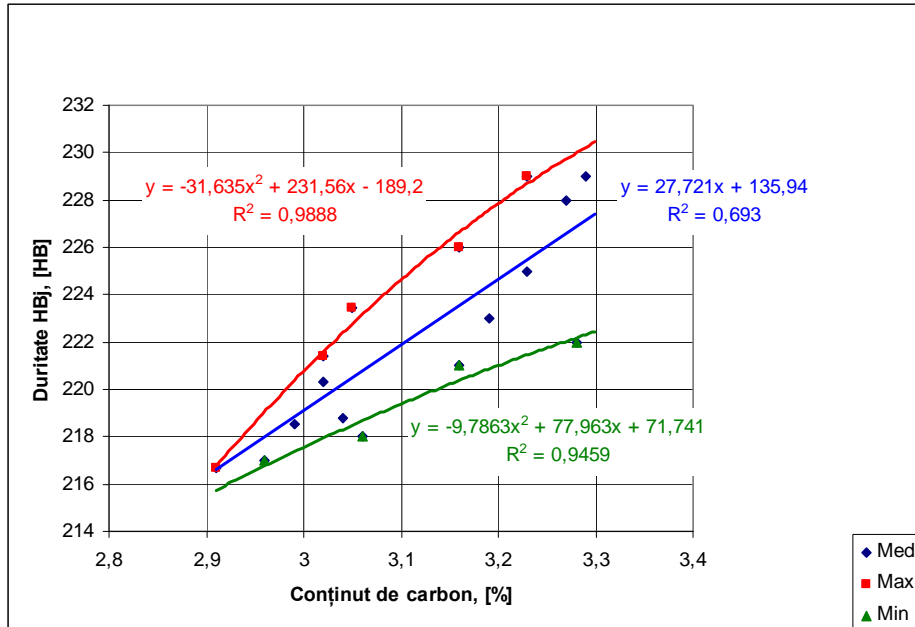


Fig.5.7. Variația durezzații măsurată în secțiunea sabotului, partea de jos (HB_j) în funcție de conținutul de carbon

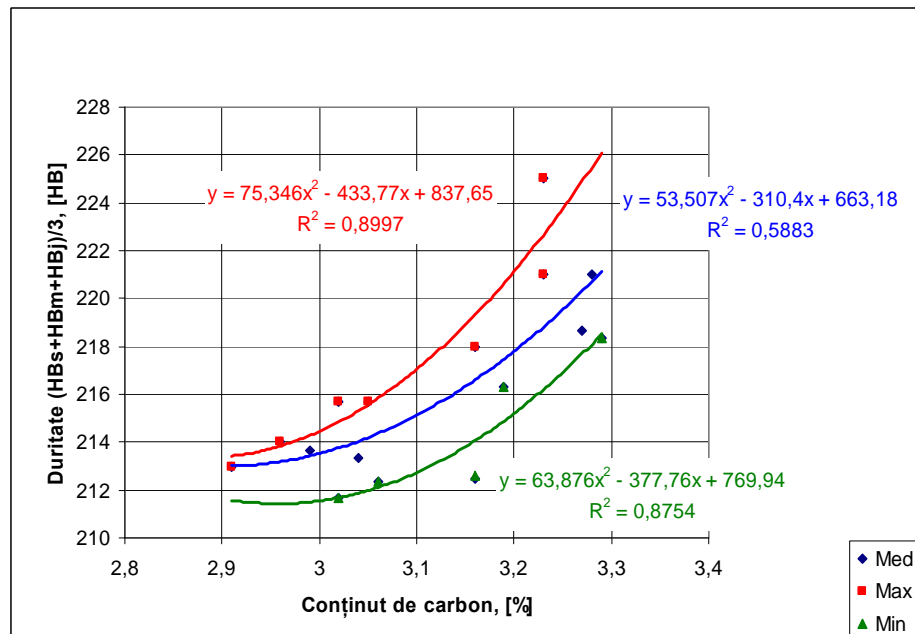


Fig.5.8. Variația durezzații medii în secțiunea sabotului în funcție de conținutul de carbon

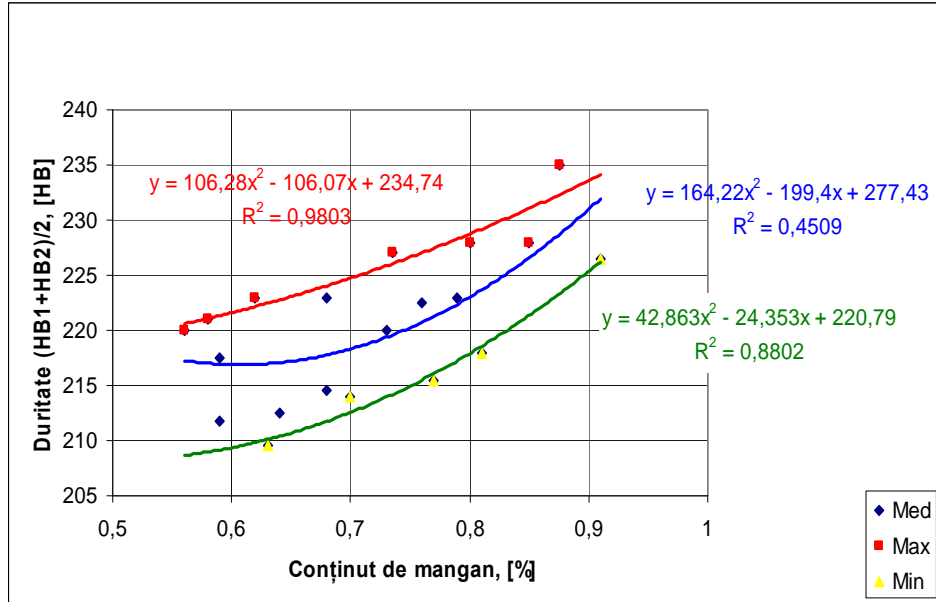


Fig. 5.9. Variația durtății medii la capetele sabotului în funcție de conținutul de mangan

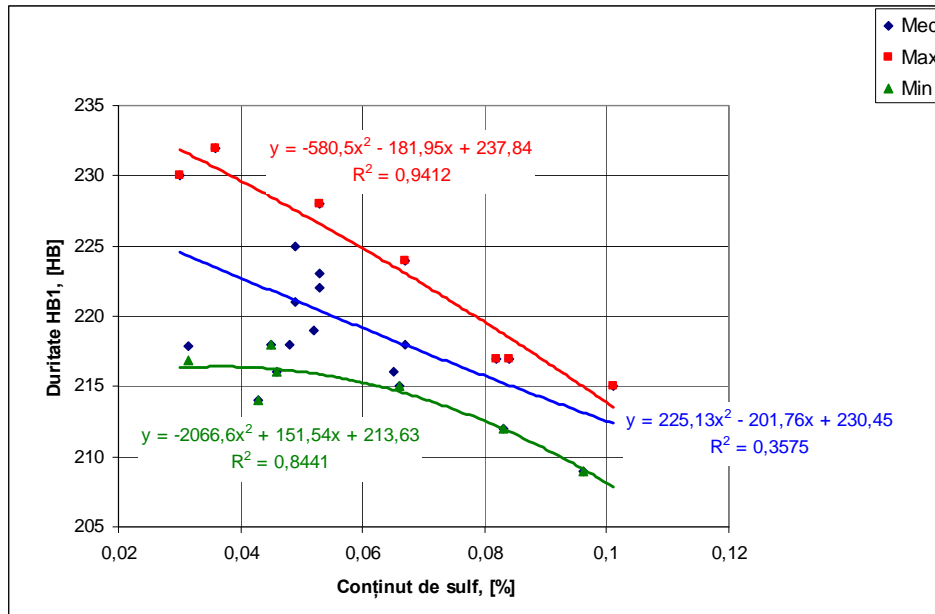


Fig. 5.10. Variația durtății măsurată pe suprafața laterală a sabotului (HB_1) în funcție de conținutul de sulf

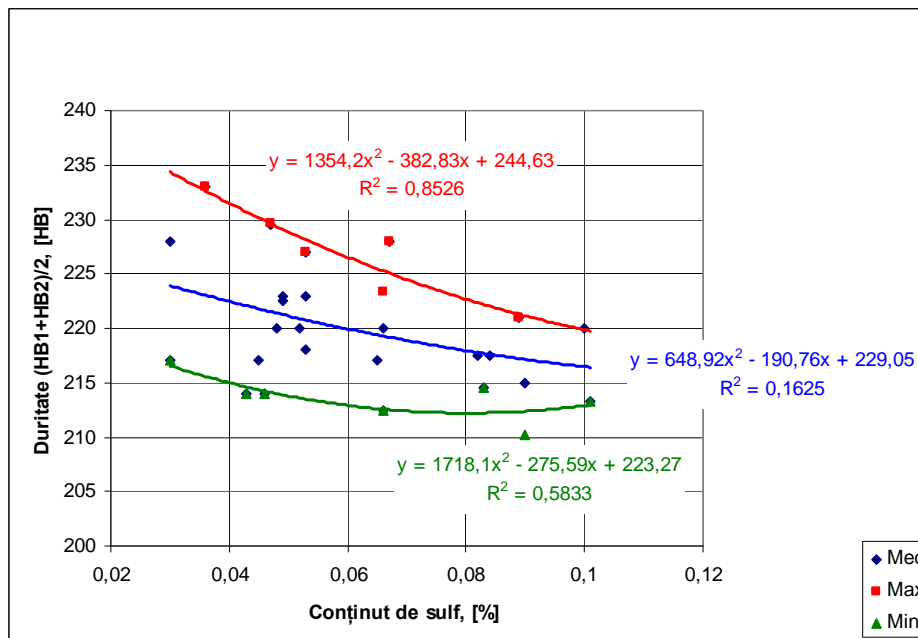


Fig.5.11. Variația durtății medii pe suprafața sabotului în funcție de conținutul de sulf

5.2.1.2. Analiza rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul EXCEL

Analizând graficele din figurile 5.3 – 5.8 respectiv figura 5.1.A din anexe se constată creșterea durtății, odată cu creșterea conținutului de carbon. Mărirea concentrației de carbon din structura fontei pentru saboți are însă și efecte negative ca de exemplu:

- intensifică grafitizarea;
- micșorează rezistența la rupere, în cazul grafitului cristalizat lamelar, datorită mării suprafețelor de coeziune redusă dintre lamelele de grafit și masa de ferită;
- micșorează fluiditatea fontei în stare topită, deci și capacitatea de turnare.

Totuși creșterea concentrației de carbon din structura fontei are și rezultate benefice dintre care enumerăm următoarele:

- micșorează temperatura de topire, deci și temperatura de turnare datorită apropierii compoziției chimice de punctul eutectic;
- micșorează contracția, deci și pericolul de formare al retasurilor din cauza volumului mare pe care îl ocupă grafitul.

Din analiza graficelor din figura 5.9 și figurile 5.2.A-5.7.A din anexe se observă că durtatea fontei crește și cu creșterea conținutului de mangan. Creșterea conținutului de mangan are următoarele efecte:

- se micșorează segregatia carbonului și se împiedică acțiunea sulfurului crescând astfel durtatea și rezistența la rupere;
- se mărește contracția datorită micșorării grafitizării;
- se micșorează fluiditatea fontei și odată cu aceasta capacitatea de turnare.

Datorită celor expuse mai sus la executarea pieselor turnate conținutul de mangan se limitează la valorile de 0,5 – 0,8 %.

Din analiza graficelor din figurile 5.10-5.11 și figurile 5.8.A-5.12.A din anexe se observă scăderea durității cu creșterea conținutului de sulf. Sulful formează cu fierul sulfura de fier (Fe - S) care la solidificare constituie împreună cu fierul un eutectic ușor fuzibil (Fe - Fe S), care se topește la circa 950 °C. Acest eutectic se solidifică cel mai târziu și din acest motiv se formează segregatii intercrystaline care micșorează proprietățile mecanice ale fontei.

De asemenea sulful împiedică grafitizarea favorizând formarea cementitei cu următoarele efecte asupra fontei cenușii: crește fragilitatea, mărește contractia, micșorează fluiditatea și mărește tendința de formare a crăpăturilor în piesele turnate. La turnarea pieselor din fontă cenușie conținutul de sulf se limitează la valorile de 0,08 – 0,12 %.

5.2.2. Rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul MATLAB

În programul MATLAB au fost prelucrate aceleași date ca și în programul EXCEL, date referitoare la duritatea saboților de frână din fontă fosforoasă și compoziția chimică a acestora, deoarece s-a dorit să se stabilească atât ecuații de corelație dublă, cât și posibilitatea unei comparații tehnologice cu corelațiile simple obținute în programul EXCEL, pentru aceiași parametri independenți [65-70].

Corelațiile duble sunt exprimate prin funcții polinomiale de gradul 2, atât sub formă grafică cât și analitică. Sunt prezentate ecuații de corelație, suprafețele de regresie și curbele de nivel în figurile 5.12-5.42 respectiv figurile 5.13.A-5.34.A cu ecuațiile corespunzătoare (relațiile 5.1.A-5.22.A). De asemenea, se prezintă pentru fiecare corelație coeficientul de corelație și coordonatele punctelor de inflexiune.

5.2.2.1. Corelații exprimate analitic și grafic

$$HB_1 = 97,73 \cdot C^2 - 38,57 \cdot Mn^2 - 67,84 \cdot C \cdot Mn - 537,78 \cdot C + 272,09 \cdot Mn + 922,93 \quad (5.1)$$

Coeficientul de corelație $R^2 = 0,66$.

Coordonatele punctului șa: $C = 3,04\%$; $Mn = 0,84\%$, $HB_1 = 219,34HB$.

$$HB_2 = 48,90 \cdot C^2 + 96,19 \cdot Mn^2 - 2,76 \cdot C \cdot Mn - 271,20 \cdot C - 120,50 \cdot Mn + 635,40 \quad (5.2)$$

Coeficientul de corelație $R^2 = 0,79$.

Coordonatele punctului de minim: $C = 2,79\%$; $Mn = 0,66\%$, $HB_2 = 216,71HB$.

$$HB_s = 216,2 \cdot C^2 - 6,4 \cdot Mn^2 - 114,1 \cdot C \cdot Mn - 1238,5 \cdot C + 452,5 \cdot Mn + 1974,0 \quad (5.3)$$

Coeficientul de corelație $R^2 = 0,67$.

Coordonatele punctului șa: $C = 3,13\%$; $Mn = 0,81\%$, $HB_s = 219,78HB$.

$$HB_m = -154,64 \cdot C^2 + 19,82 \cdot Mn^2 + 162,32 \cdot C \cdot Mn + 859,76 \cdot C - 506,99 \cdot Mn - 978,81 \quad (5.4)$$

Coeficientul de corelație $R^2 = 0,73$.

Coordonatele punctului șa: $C = 3,01\%$; $Mn = 0,44\%$, $HB_m = 203,67HB$.

$$HB_j = 2,94 \cdot C^2 - 73,81 \cdot Mn^2 + 57,16 \cdot C \cdot Mn - 171,64 \cdot C - 33,82 \cdot Mn + 488,47 \quad (5.5)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,66$.

Coordonatele punctului șa: C = 2,88%; Mn = 0,88%, HB_j = 225,84HB.

$$(HB_1+HB_2)/2 = 97,38 \cdot C^2 - 2,94 \cdot Mn^2 - 132 \cdot C \cdot Mn - 527,86 \cdot C + 421,29 \cdot Mn + 912,39 \quad (5.6)$$

Coeficientul de corelație: R² = 0,57.

Coordonatele punctului șa: C = 3,16%; Mn = 0,66%, (HB₁+HB₂)/2 = 218,21HB.

$$HB_1 = -163,88 \cdot Mn^2 + 13,36 \cdot Si^2 + 6,24 \cdot Mn \cdot Si + 239,53 \cdot Mn - 47,91 \cdot Si + 169,82 \quad (5.7)$$

Coeficientul de corelație: R² = 0,52.

Coordonatele punctului șa: Mn = 0,76%; Si = 1,61%, HB₁ = 222,36HB.

$$HB_m = -3,25 \cdot Mn^2 + 28,06 \cdot Si^2 - 72,02 \cdot Mn \cdot Si + 155,94 \cdot Mn - 36,24 \cdot Si + 164,22 \quad (5.8)$$

Coeficientul de corelație R² = 0,63.

Coordonatele punctului șa: Mn = 1,10%; Si = 2,06%, HB_m = 213,07HB.

$$HB_j = -66,26 \cdot Mn^2 + 23,16 \cdot Si^2 - 65,87 \cdot Mn \cdot Si + 241,97 \cdot Mn - 24,42 \cdot Si + 137,87 \quad (5.9)$$

Coeficientul de corelație: R² = 0,68.

Coordonatele punctului șa: Mn = 0,91%; Si = 1,83%, HB_j = 226,38HB

$$(HB_s+HB_m+HB_j)/3 = -177,73 \cdot Mn^2 + 8,34 \cdot Si^2 + 80,09 \cdot Mn \cdot Si + 140,49 \cdot Mn - 93,43 \cdot Si + 245,58 \quad (5.10)$$

Coeficientul de corelație: R² = 0,50.

Coordonatele punctului șa: Mn = 0,79%; Si = 1,77%, (HB_s+HB_m+HB_j)/3 = 218,41HB

$$HB_1 = -76,08 \cdot Mn^2 - 528,32 \cdot S^2 - 487,38 \cdot Mn \cdot S + 144,10 \cdot Mn + 286,06 \cdot S + 162,86 \quad (5.11)$$

Coeficientul de corelație: R² = 0,54.

Coordonatele punctului șa: Mn = 0,16%; S = 0,34%, HB₁ = 200,56HB.

$$HB_2 = -28,7 \cdot Mn^2 - 3057,3 \cdot S^2 - 630,8 \cdot Mn \cdot S + 95,8 \cdot Mn + 774,6 \cdot S + 162,7 \quad (5.12)$$

Coeficientul de corelație: R² = 0,59.

Coordonatele punctului șa: Mn = -2,04%; S = 0,33%, HB₂ = 195,57HB, este situat în afara domeniului tehnologic.

$$HB_m = 39,2 \cdot Mn^2 + 3146,6 \cdot S^2 + 314,5 \cdot Mn \cdot S - 4,79 \cdot Mn - 679,9 \cdot S + 235,6 \quad (5.13)$$

Coeficientul de corelație: R² = 0,63.

Coordonatele punctului de minim: Mn = 0,22%; S = 0,09%, HB_m = 197,35HB

$$HB_j = -64,65 \cdot Mn^2 + 71,90 \cdot S^2 - 367,23 \cdot Mn \cdot S + 153,45 \cdot Mn - 258,33 \cdot S + 145,91 \quad (5.14)$$

Coeficientul de corelație: R² = 0,65.

Coordonatele punctului șa: Mn = 0,76%; S = 0,14%, HB_j = 223,69HB

$$HB_1 = 85,4 \cdot C^2 + 537,1 \cdot S^2 + 91,4 \cdot C \cdot S - 517,6 \cdot C - 445,6 \cdot S + 1010,7 \quad (5.15)$$

Coeficientul de corelație: R² = 0,70.

Coordonatele punctului de minim: C = 2,94%; S = 0,16%, HB₁ = 212,44HB

$$HB_2 = -6,4 \cdot Si^2 - 2671,5 \cdot S^2 + 329,6 \cdot Si \cdot S + 16,7 \cdot Si - 305,4 \cdot S + 209,9 \quad (5.16)$$

Coeficientul de corelație: R² = 0,51.

Coordonatele punctului șa: Si = 0,29%; S = -0,03%, HB₂ = 218,26HB situat în afara domeniului tehnologic.

$$HB_s = 151,98 \cdot C^2 - 121,95 \cdot P^2 - 214,51 \cdot C \cdot P - 738,30 \cdot C + 898,73 \cdot P + 936,52 \quad (5.17)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,66$.

Coordonatele punctului șa: $C = 3,10\%$; $P = 0,95\%$, $HB_s = 220,36HB$

$$HB_m = -186,9 \cdot C^2 - 470,8 \cdot P^2 + 122,1 \cdot C \cdot P + 1065,6 \cdot C + 481,7 \cdot P - 1688,8 \quad (5.18)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,63$.

Coordonatele punctului de maxim: $C = 3,15\%$; $P = 0,92\%$, $HB_m = 211,40HB$

$$HB_j = -65,7 \cdot C^2 - 494,4 \cdot P^2 - 63,5 \cdot C \cdot P + 476,9 \cdot C + 1116,3 \cdot P - 1049 \quad (5.19)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,51$.

Coordonatele punctului de maxim: $C = 3,18\%$; $P = 0,92\%$, $HB_j = 225,63HB$

$$(HB_1 + HB_2)/2 = 61,53 \cdot C^2 + 277,38 \cdot P^2 - 27,66 \cdot C \cdot P - 368,56 \cdot C - 406,19 \cdot P + 986,75 \quad (5.20)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,50$.

Coordonatele punctului de minim: $C = 3,19\%$; $P = 0,89\%$, $(HB_1 + HB_2)/2 = 216,93HB$

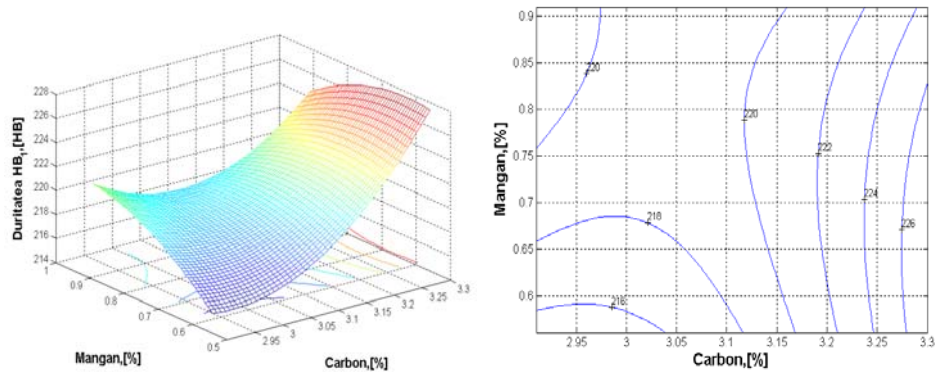


Fig.5.12. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan

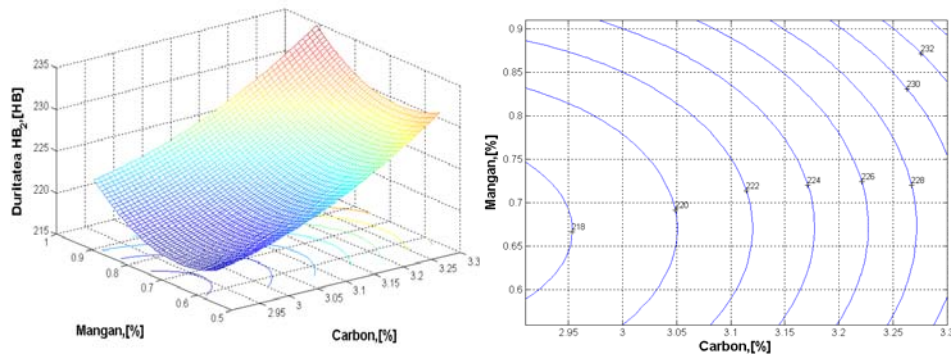


Fig.5.13. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan

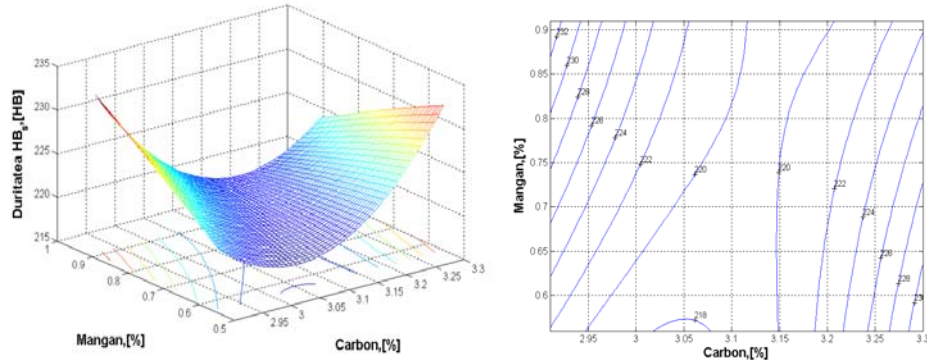


Fig.5.14. Variația durtății (HB_s) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan

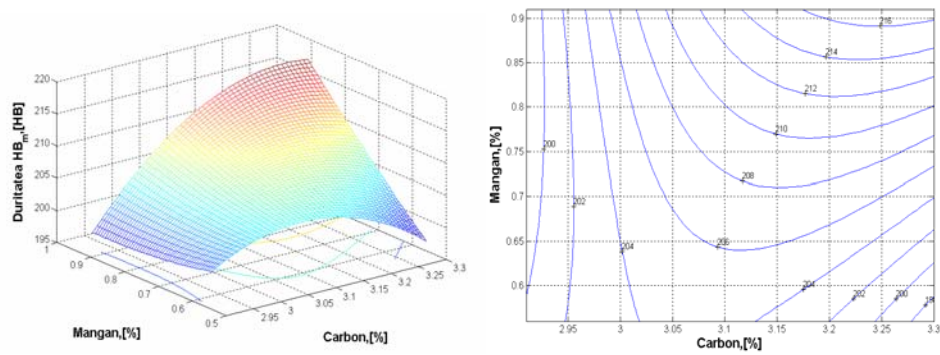


Fig.5.15. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan

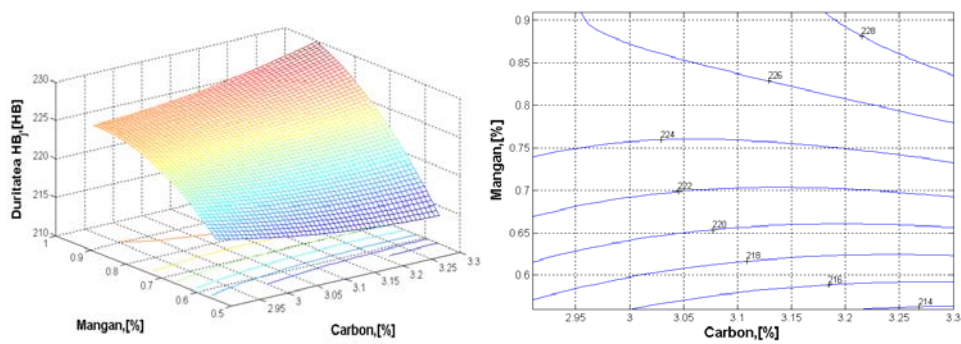


Fig.5.16. Variația durtății (HB_j) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan

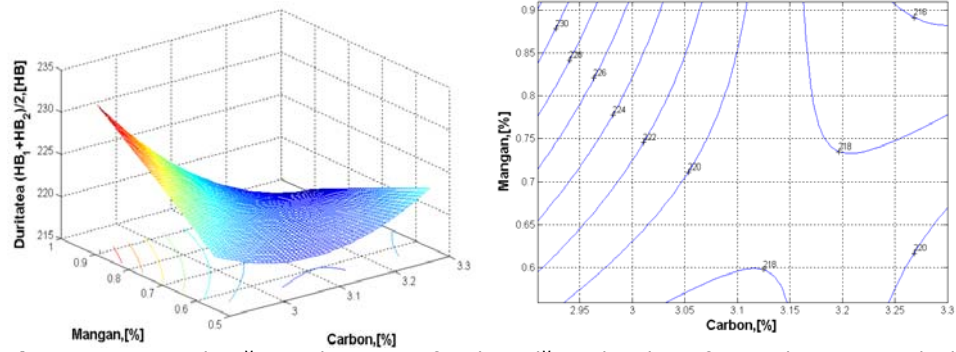


Fig.5.17. Variația durtății medii pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan

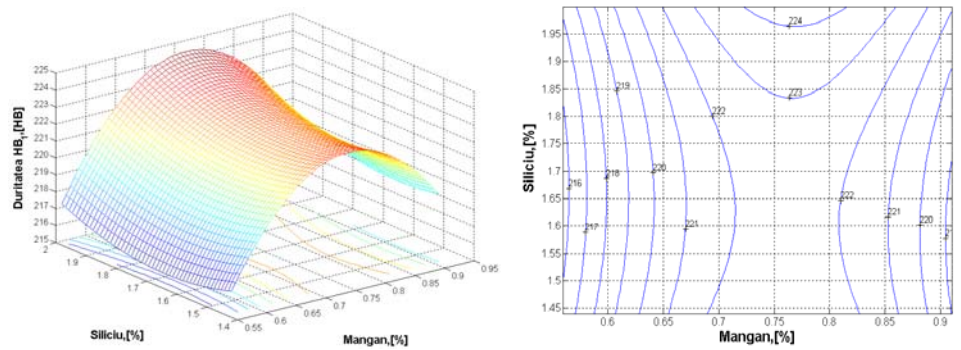


Fig.5.18. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și siliciu

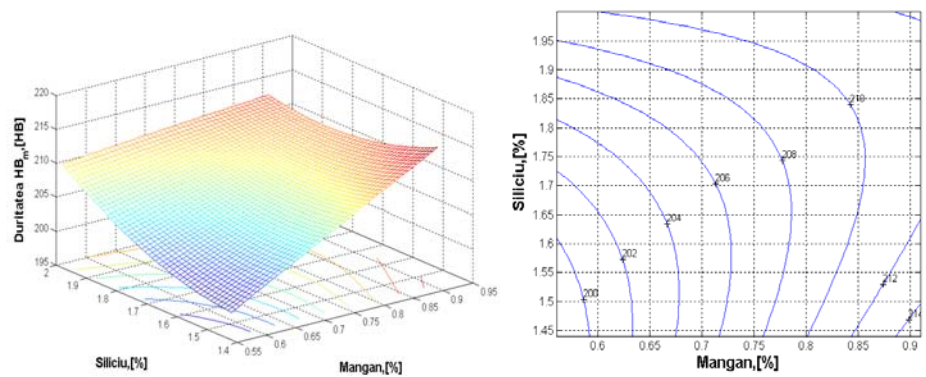


Fig.5.19. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și siliciu

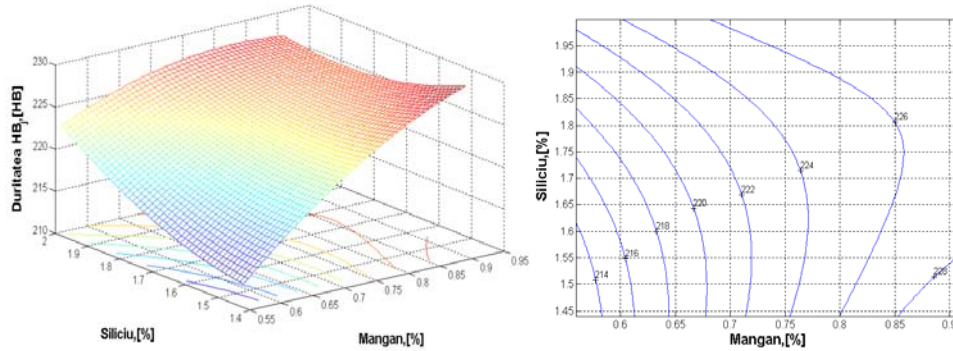


Fig.5.20. Variația durtății (HB_1) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și siliciu

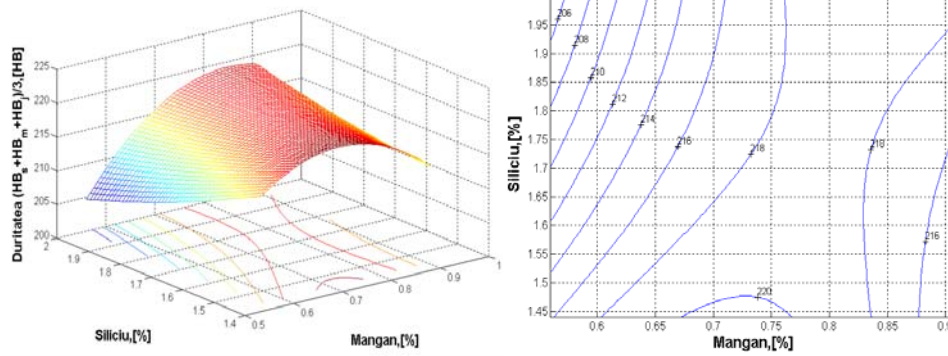


Fig.5.21. Variația durtății medii în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și siliciu

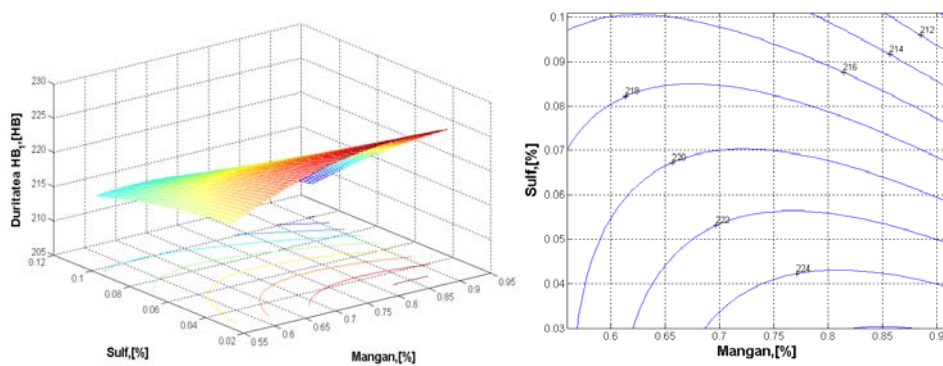


Fig.5.22. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și sulf

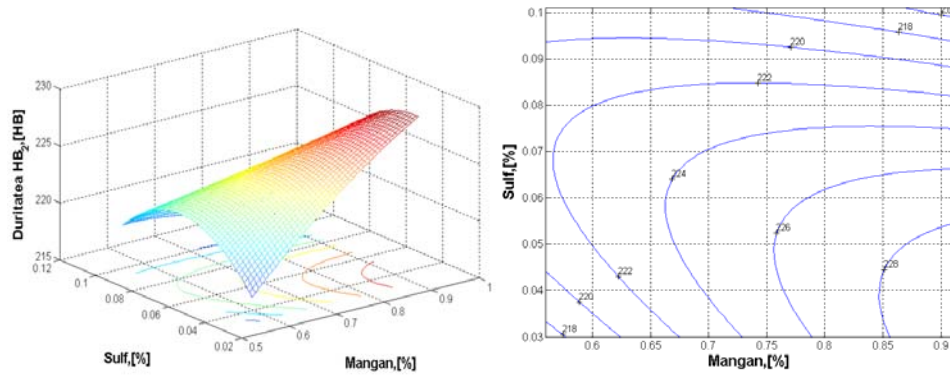


Fig.5.23. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și sulf

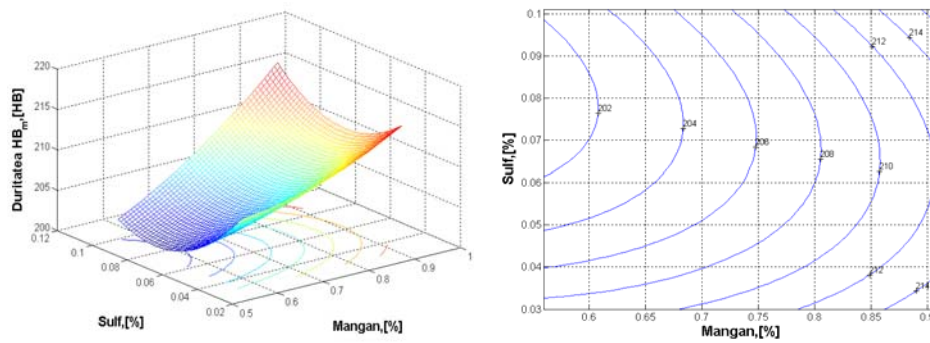


Fig.5.24. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și sulf

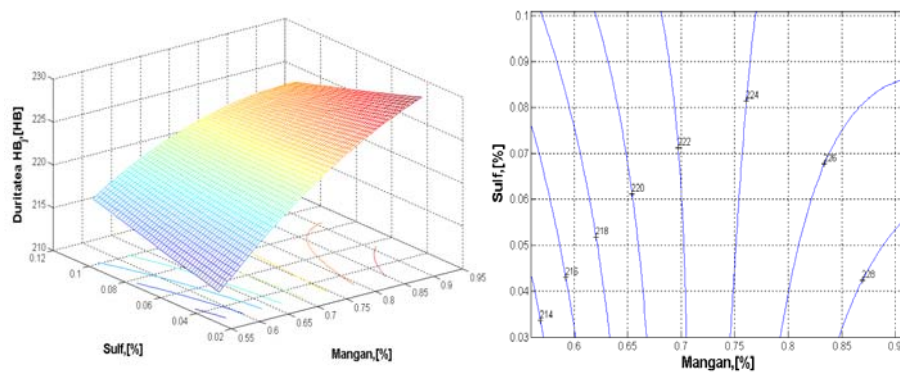


Fig.5.25. Variația durtății (HB_1) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și sulf

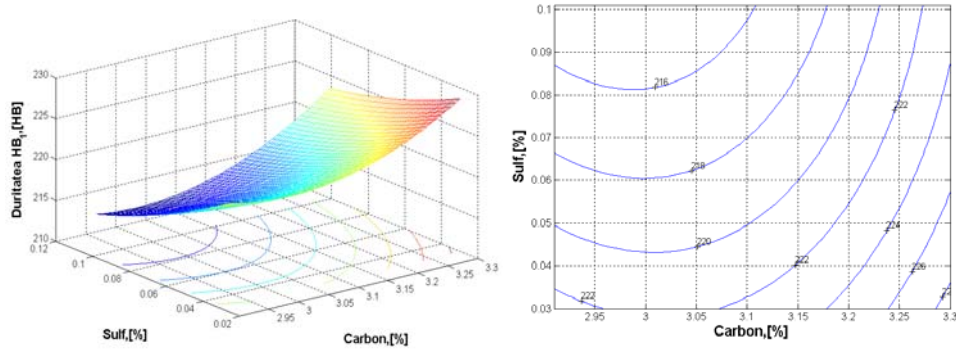


Fig.5.26. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și sulf

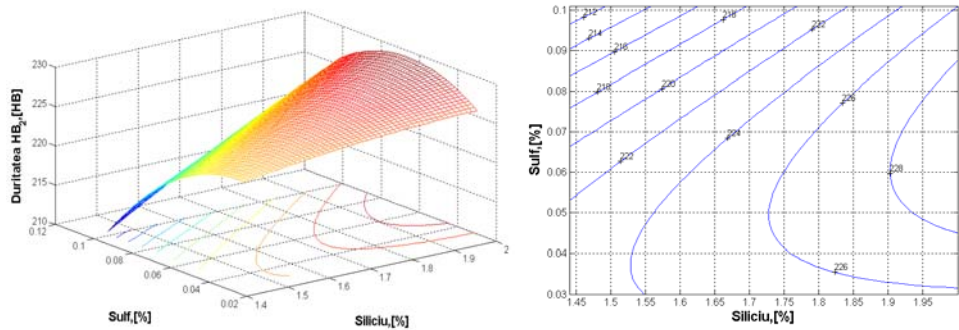


Fig.5.27. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de siliciu și sulf

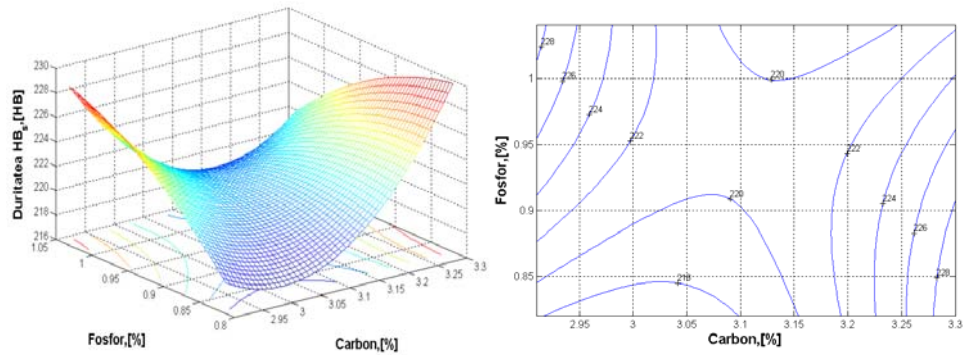


Fig.5.28. Variația durtății (HB_s) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și fosfor

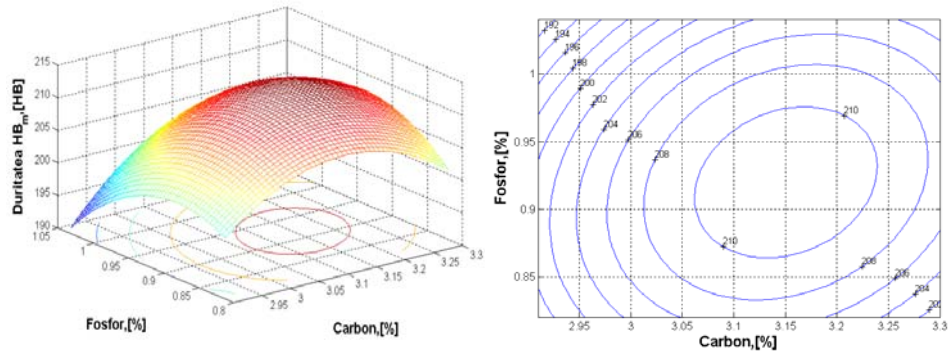


Fig.5.29. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și fosfor

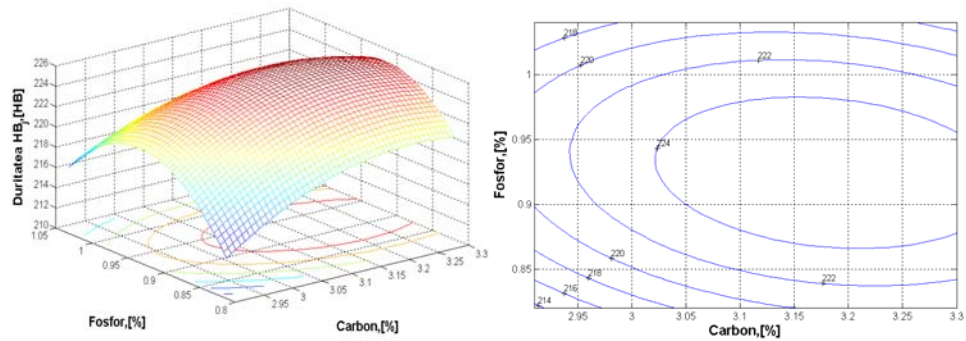


Fig.5.30. Variația durtății (HB_j) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și fosfor

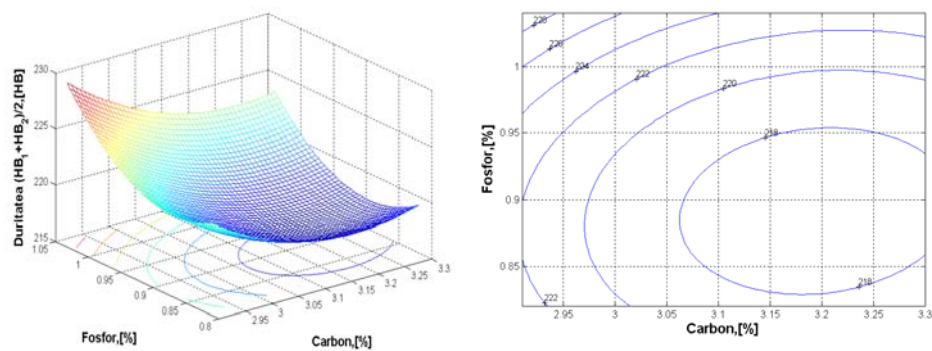


Fig.5.31. Variația durtății medii pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și fosfor

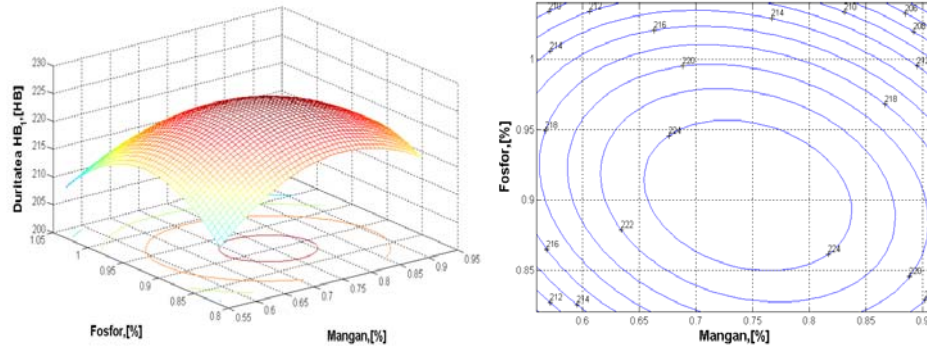


Fig.5.32. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și fosfor

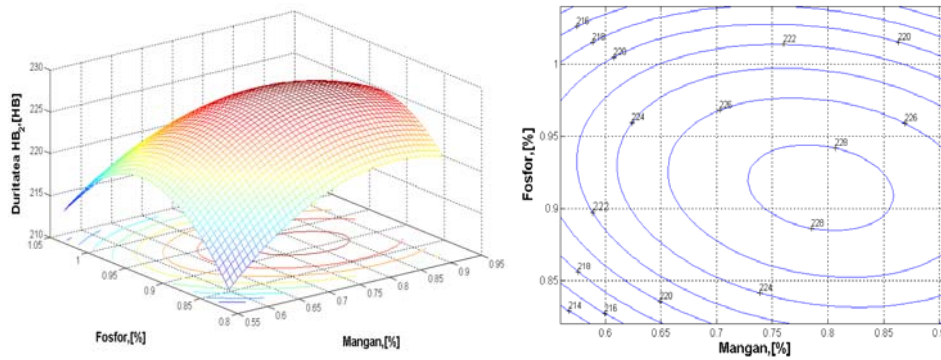


Fig.5.33. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și fosfor

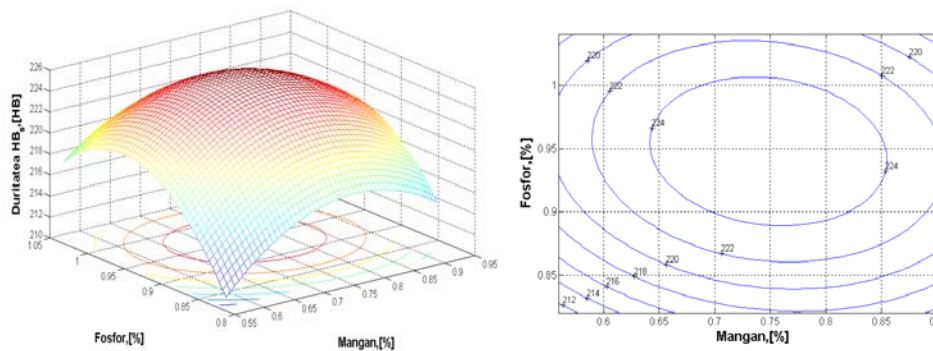


Fig.5.34. Variația durtății (HB_3) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și fosfor

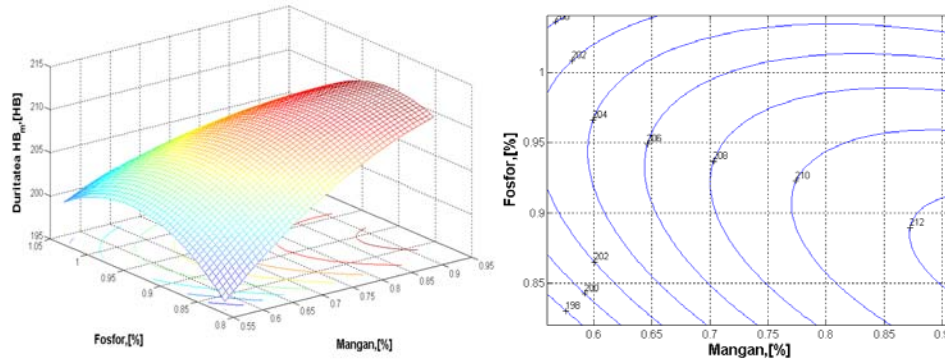


Fig.5.35. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și fosfor

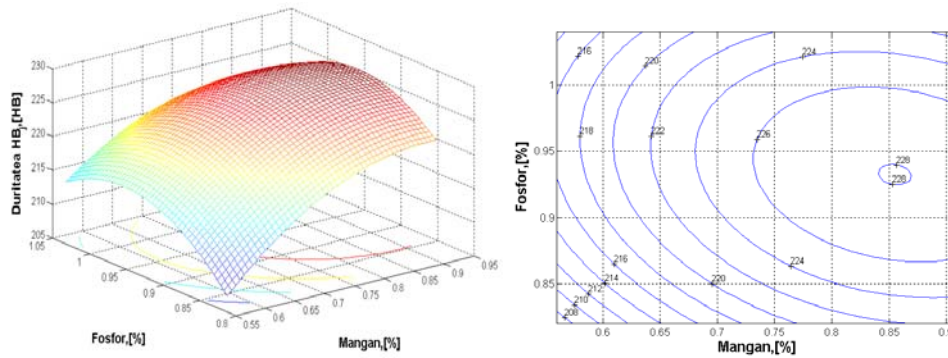


Fig.5.36. Variația durtății (HB_j) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și fosfor

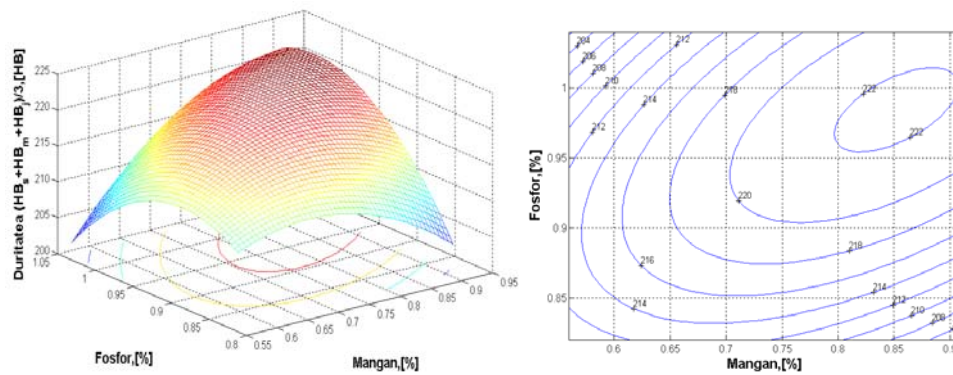


Fig.5.37. Variația durtății medii în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și fosfor

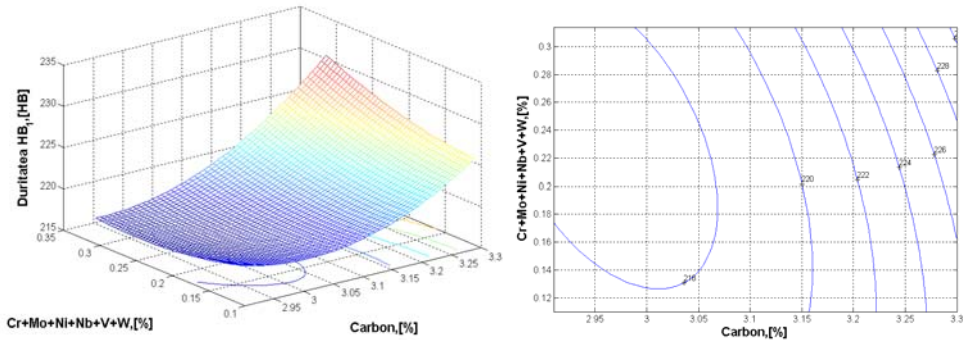


Fig.5.38. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și elemente reziduale

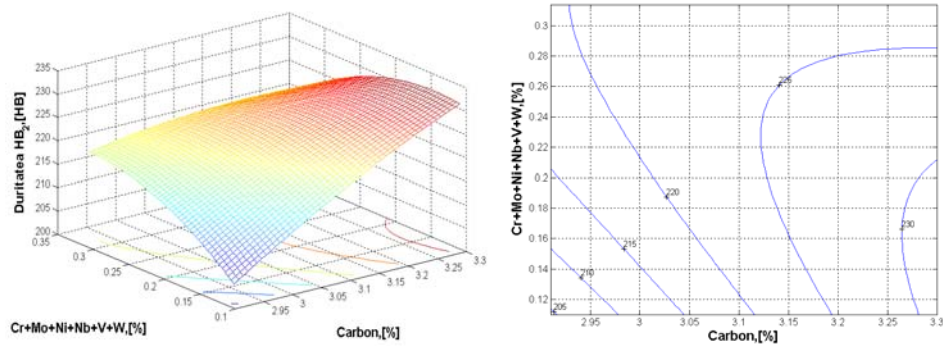


Fig.5.39. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și elemente reziduale

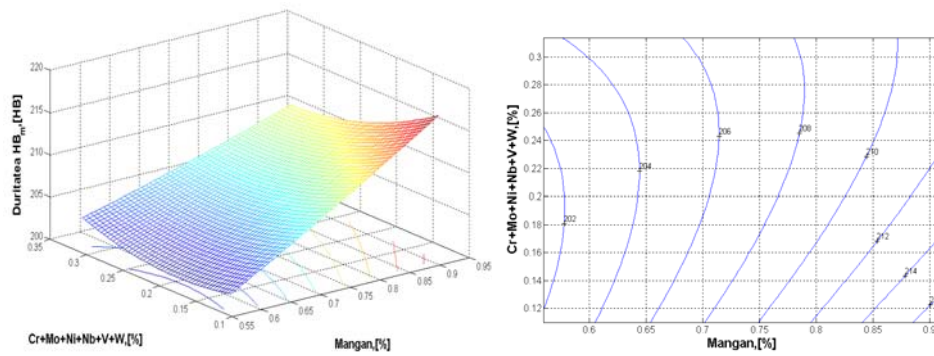


Fig.5.40. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și elemente reziduale

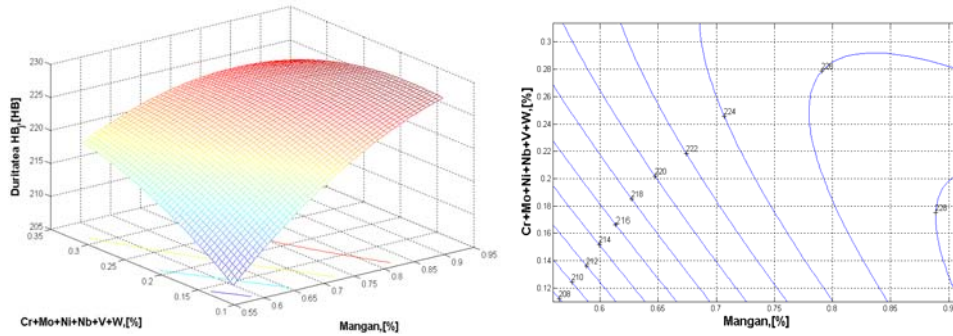


Fig.5.41. Variația durtății (HB_j) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și elemente reziduale

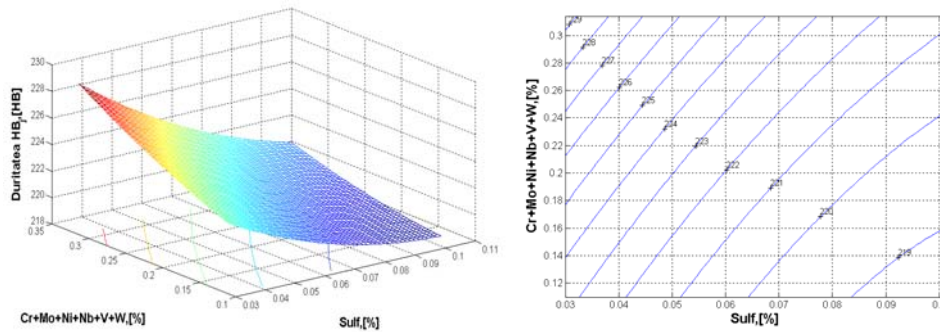


Fig.5.42. Variația durtății (HB_j) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de sulf și elemente reziduale

$$HB_1 = -246,3 \cdot Mn^2 - 721,2 \cdot P^2 - 172,9 \cdot Mn \cdot P + 523,7 \cdot Mn + 1431,8 \cdot P - 616 \quad (5.21)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,70$.

Coordonatele punctului de maxim: $Mn = 0,74\%$; $P = 0,90\%$, $HB_1 = 225,98HB$

$$HB_2 = -142,3 \cdot Mn^2 - 691,9 \cdot P^2 - 117,9 \cdot Mn \cdot P + 333,7 \cdot Mn + 1359,2 \cdot P - 525,4 \quad (5.22)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,64$.

Coordonatele punctului de maxim: $Mn = 0,79\%$; $P = 0,91\%$, $HB_2 = 228,58HB$

$$HB_s = -147,31 \cdot Mn^2 - 487,06 \cdot P^2 - 63,99 \cdot Mn \cdot P + 281,13 \cdot Mn + 281,13 \cdot P - 339,77 \quad (5.23)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,55$.

Coordonatele punctului de maxim: $Mn = 0,74\%$; $P = 0,94\%$, $HB_s = 225,65HB$.

$$HB_m = -69,06 \cdot Mn^2 - 374,25 \cdot P^2 - 158,38 \cdot Mn \cdot P + 274,99 \cdot Mn + 800,74 \cdot P - 268,57 \quad (5.24)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,63$

Coordonatele punctului de maxim: $Mn = 1,00\%$; $P = 0,85\%$, $HB_m = 212,98HB$

$$HB_j = -137,18 \cdot Mn^2 - 483,85 \cdot P^2 - 94,71 \cdot Mn \cdot P + 322,92 \cdot Mn + 983,55 \cdot P - 368,6 \quad (5.25)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,74$.

Coordonatele punctului de maxim: $Mn = 0,85\%$; $P = 0,93\%$, $HB_j = 228,02HB$.

$$(HB_s + HB_m + HB_j)/3 = -158,16 \cdot Mn^2 - 539,33 \cdot P^2 + 337,92 \cdot Mn \cdot P - 63,23 \cdot Mn + 774,26 \cdot P - 131,9 \quad (5.26)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,73$.

Coordonatele punctului de maxim: $Mn = 0,85\%$; $P = 0,98\%$, $(HB_s + HB_m + HB_j)/3 = 222,32HB$.

$$HB_1 = 90,5 \cdot C^2 + 90,4 \cdot R^2 + 85 \cdot C \cdot R - 556 \cdot C - 294,2 \cdot R + 1074,6 \quad (5.27)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,65$.

Coordonatele punctului de minim: $C = 2,96\%$; $R = 0,23\%$, $HB_1 = 217,17HB$.

$$HB_2 = -41 \cdot C^2 - 333,4 \cdot R^2 - 302,2 \cdot C \cdot R + 355,9 \cdot C + 1095,2 \cdot R - 503,8 \quad (5.28)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,79$.

Coordonatele punctului șa: $C = 2,55\%$; $R = 0,48\%$, $HB_2 = 216,15HB$.

$$HB_m = 7,9 \cdot Mn^2 + 136,9 \cdot R^2 - 108,77 \cdot Mn \cdot R + 43,03 \cdot Mn + 10,35 \cdot R + 179,51 \quad (5.29)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,61$.

Coordonatele punctului șa: $Mn = 1,72\%$; $R = 0,64\%$, $HB_m = 219,87HB$.

$$HB_j = -93,19 \cdot Mn^2 - 155,67 \cdot R^2 - 221,71 \cdot Mn \cdot R + 220,47 \cdot Mn + 250,42 \cdot R + 101,09 \quad (5.30)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,71$.

Coordonatele punctului de maxim: $Mn = 1,47\%$; $R = -0,24\%$, $HB_j = 232,96HB$ punct situat în afara domeniului tehnologic.

$$HB_j = 846,99 \cdot S^2 + 34,60 \cdot R^2 - 239,17 \cdot S \cdot R - 150,78 \cdot S + 22,06 \cdot R + 225,03 \quad (5.31)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,56$.

Coordonatele punctului minim: $S = 0,08\%$; $R = -0,02\%$, $HB_j = 218,31HB$ punct situat în afara domeniului tehnologic.

5.2.2.2. Analiza rezultate obținute la prelucrarea datelor în programul MATLAB

Din analiza ecuațiilor de corelațiilor duble exprimate sub formă analitică în relațiile (5.1) – (5.31) respectiv (5.1.A) – (5.22.A) și grafic în figurile 5.12 – 5.42 respectiv 5.13.A – 5.34.A, rezultă o serie de observații și concluzii, atât cu caracter general, cât și specific, și anume:

- variația parametrilor independenți în limitele tehnologice, determină și pentru parametrul dependent de asemenea o variație tot în limitele tehnologice, cu situarea acestuia pe o suprafață de regresie sau în vecinătatea acesteia având în vedere, dispersia, abaterea și eroarea;
- reprezentările grafice a funcțiilor polinomiale de gradul II, sunt suprafețe care prezintă ca punct staționar fie punct extrem (de maxim sau de minim) fie punct șea, coordonatele acestora se situează uneori în limitele tehnologice de variație pentru parametrii independenți, respectiv în limitele prevăzute de standarde pentru parametrul dependent, iar uneori destul de departe de limitele tehnologice, sau chiar în domeniul în care valorile parametrilor nu au sens tehnologic;

- prin intersecția suprafețelor de corelație cu plane de nivel (paralele cu planul orizontal) s-au obținut curbele de nivel, acestea permițând stabilirea limitelor de variație a parametrilor independenți, pentru a obține o anumită valoare pentru parametrul dependent, constatându-se că există limite de variație mai mari pentru parametrii independenți în apropierea punctului staționar în cazul existenței punctului șea. Pentru fiecare reprezentare grafică se pot indica subdomeniile (hașurate) în care este de dorit să se găsească valorile pentru parametru dependent, ceea ce determină de fapt limitele de variație pentru parametrii independenți;
- pentru prelucrările în programul Matlab, am luat în considerare ca parametru dependent duritatea (determinată în două puncte pe suprafața sabotului și în trei puncte în secțiunea sabotului respectiv media acestuia atât pe suprafață cât și pe secțiunea acestuia) iar ca parametrii independenți compoziția chimică a fontei fosforoase din care se toarnă saboții, obținând astfel ecuații de corelație dublă;
- pentru toate corelații obținute, coeficientul de corelație R^2 are valori de peste 0,50 ceea ce arată că aceste corelații sunt semnificative și redau foarte bine legătura dintre duritate și compoziția chimică;
- Corelațiile prezentate analitic și grafic prezintă puncte de extrem (9 puncte de minim respectiv 16 puncte de maxim) sau șea (26 puncte șea), dintre acestea doar 5 fiind situate în afara domeniului tehnologic de variație a variabilelor;
- pentru valori a parametrului duritate cuprinse între 197-225HB se pot determina limitele de variație pentru parametrii independenți, și anume: C = 2,95-3,2%, Mn = 0,6-0,7%, Si = 1,45-1,95%, S = 0,06-0,09%; P = 0,85-1,0%, iar elementele reziduale de dorit valori sub 0,2%.

5.2.3. Analiza variației durității

Datele referitoare la compoziția chimică standard a fontei elaborată precum și datele experimentale sunt prezentate în tabelul 5.7.

În figurile 5.35.A – 5.38.A din anexe se prezintă examenul metalografic pentru fonta fosforoasă elaborată la cele 25 de șarje.

Tab.5.7. Compoziția chimică a fontei fosforoase P10

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	1,20	1,20	0,33	0,80	-	-
	mediu	2,25	1,60	0,665	0,95	-	-
Experimental	maxim	3,30	2,00	0,91	1,04	0,153	0,344
	minim	2,91	1,41	0,56	0,81	0,03	0,109
	mediu	3,12	1,70	0,72	0,919	0,065	0,213

Tabelul 5.8 prezintă datele referitoare la variația durității la saboții de frână, determinată în conformitate cu SR EN ISO 6506-1:2006, atât pe suprafața sabotului (HB_1 , HB_2) cât și în secțiunea acestuia (HB_s , HB_m , HB_j) în punctele de prelevare a durității. Valorile medii ale durității saboților pe suprafața $(HB_1+HB_2)/2$ și în secțiune $(HB_s+HB_m+HB_j)/3$ precum și diferența acestora este prezentată în tabelul 5.9.

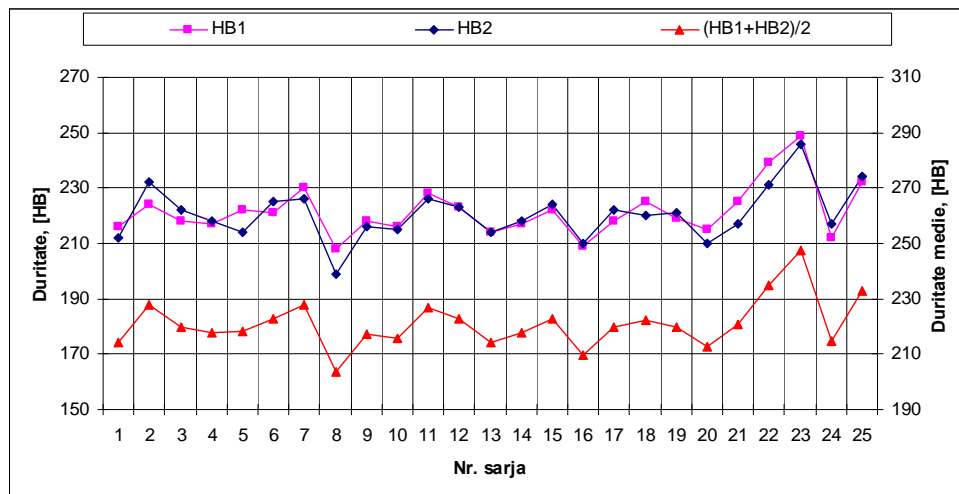
Tab.5.8. Duritatea probelor la saboții de frână

Valori	Conform Standard [HB]	Duritate determinată conform indicațiilor din figura 5.1, [HB]				
		HB ₁	HB ₂	HB _s	HB _m	HB _i
maxim	255	249	246	245	232	241,66
minim	197	208	199	202	197	202,67
mediu	226	222	220,62	220,44	208,60	217,02

Tab.5.9. Duritatea medie și diferența de duritate pentru probele experimentale

Valori	Duritate, valori medii pe suprafața laterală și în secțiune transversală		Duritate diferențe pe suprafața laterală și în secțiune transversală	
	$(HB_1+HB_2)/2$	$(HB_s+HB_m+HB_i)/3$	$ HB_1-HB_2 $	$ HB_s-HB_i $
maxim	247,5	241,66	9	11
minim	203,5	202,66	0	0
mediu	221,61	217,03	3,77	4,07

Datele experimentale au fost prelucrate în programul de calcul Excel rezultând o serie de dependențe și corelații grafice prezentate în figurile 5.43 -5.50.

**Fig.5.43.** Variația durității și a mediei acesteia pe suprafața laterală a saboților

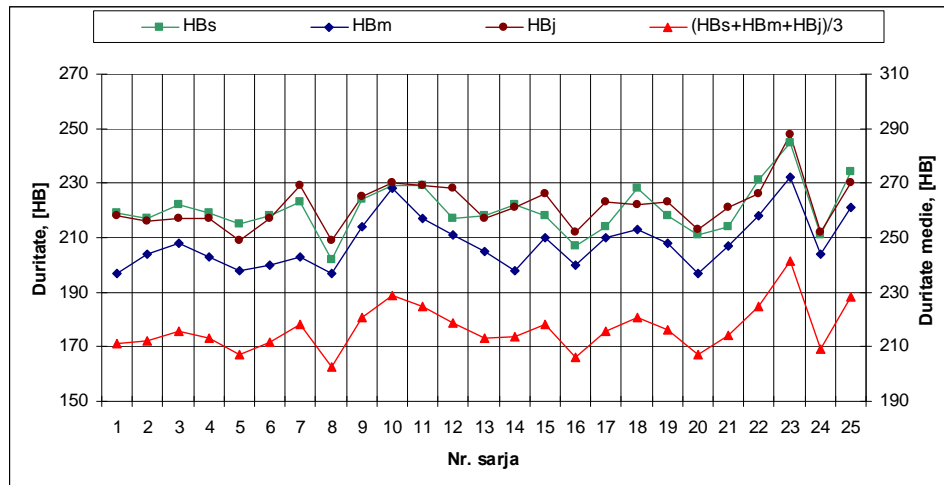


Fig.5.44. Variația durității și a mediei acesteia în secțiunea transversală a saboților

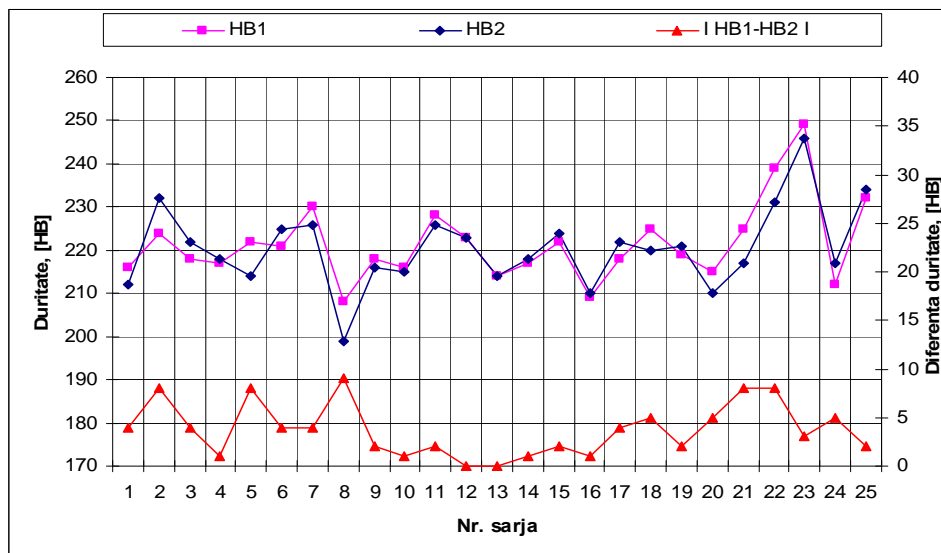


Fig.5.45. Variația durității și a diferenței de duritate pe suprafața laterală a saboților

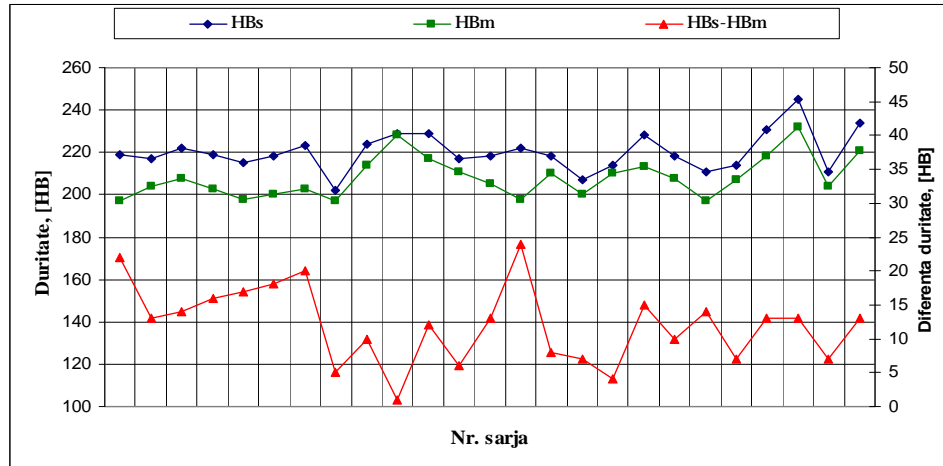


Fig.5.46. Variația durtății și a diferenței de durtate în suprafața transversală a saboților (zona superioară și zona centrală)

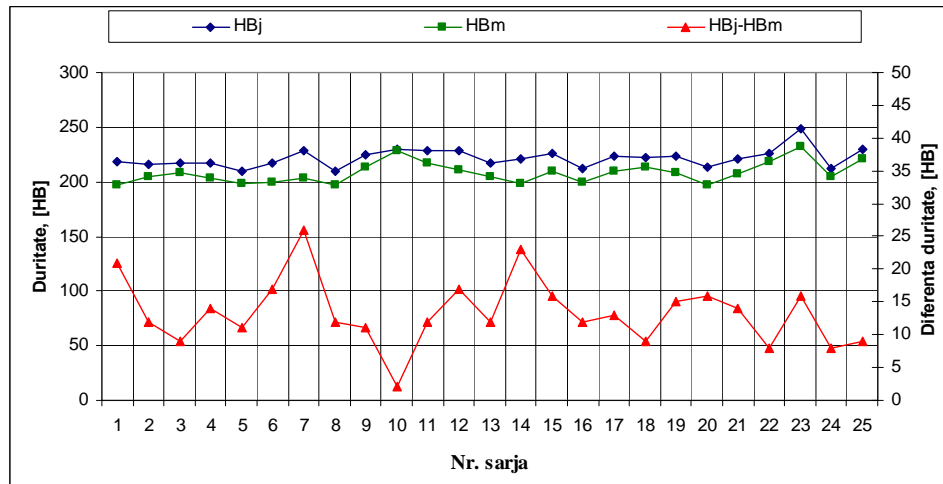


Fig.5.47. Variația durtății și a diferenței de durtate în suprafața transversală a saboților (zona inferioară și zona centrală)

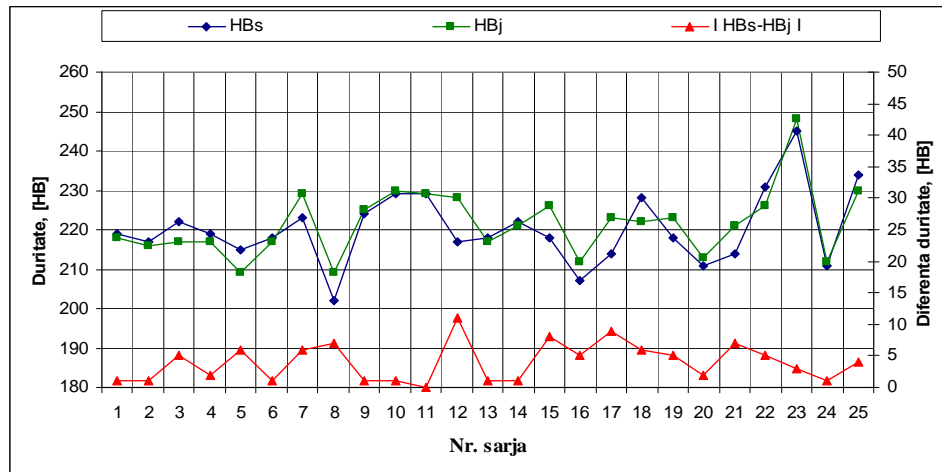


Fig.5.48. Variația durității și a diferenței de duritate pe suprafața transversală a saboților (zona inferioară și zona superioară)

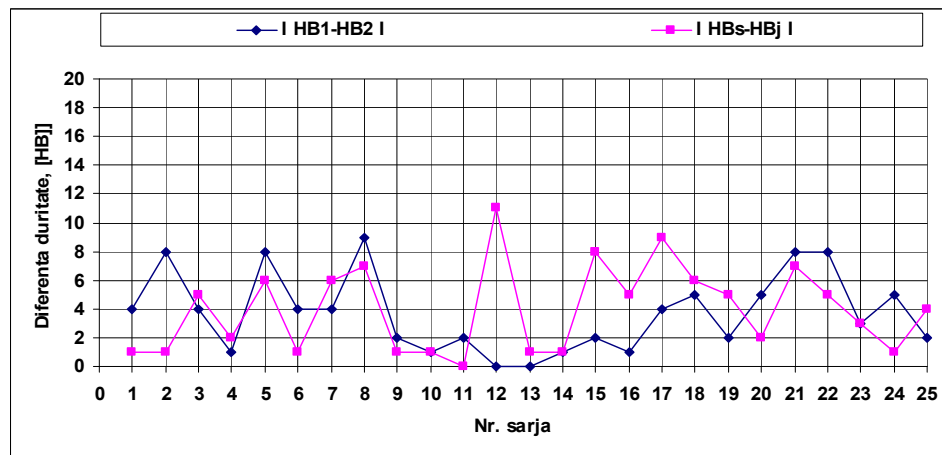


Fig.5.49. Variația diferenței de duritate pe suprafața laterală și în secțiunea transversală a saboților

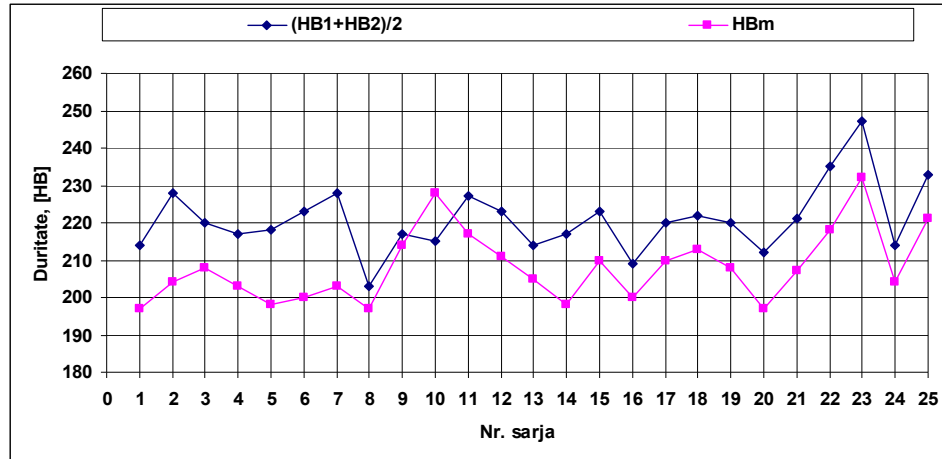


Fig.5.50. Variația durtății medii pe suprafața laterală și durtatea în zona centrală a secțiunii transversale a saboților

Din analiza diagramelor prezentate în figurile 5.43 și 5.44 se constata că există variații mici ale durtății măsurate pe suprafața laterală și în secțiunea transversală a sabotului respectiv a mediei acestora. Acest lucru se datorează variației în limite înguste a compoziției chimice a saboților.

Referitor la diferența dintre durtăți măsurată pe suprafața laterală cât și în secțiune, prezentate grafic în figurile 5.45 – 5.50, valorile rezultate sunt relativ mici ceea ce indică o bună omogenitate chimică a saboților.

Valorile durtății obținute în cadrul experimentărilor industriale se încadrează în intervalul 197-240HB fiind în conformitate cu standardele internaționale.

Omogenitatea chimică și structurală a saboților conduce la variații mici ale valorilor pentru durtate atât pe suprafața laterală cât și în secțiunea transversală ceea ce se va regăsi în durabilitatea în exploatare a saboților.

5.3. Concluzii

Din experimentările efectuate, prelucrarea datelor și analiza tehnologică a rezultatelor obținute, consider că pot fi scoase în evidență o serie de concluzii, și anume:

- durtatea saboților de frână este influențată de compoziția chimică și componenței structurali ai fontei;
- rezultatele obținute au aplicabilitate în practica elaborării fontei destinate fabricării saboților de frână pentru materialul rulant motor și remorcat;
- influența compoziției chimice asupra durtății saboților de frână a fost urmărită pentru un număr de 25 de șarje elaborate în cuptorul cu inducție de capacitate 2 tone;
- pentru fiecare șarjă s-a determinat compoziția chimică și caracteristicile fizico-mecanice;
- datele obținute au fost prelucrate în programele de calcul Excel și Matlab în vederea stabilirii unor corelații între parametrii independenți

- (elementele din compoziția chimică) și parametrul dependent (duritatea);
- prin prelucrarea datelor în programul de calcul Excel s-au obținut ecuații de corelație polinomiale de gradul 2, în lucrare fiind prezentate cele semnificative din punct de vedere al valorii coeficientului de corelație și care au sens tehnologic;
 - de menționat că au fost obținute și ecuații de corelație liniară exponențială și polinomiale de gradul 3 dar nu au fost prezentate în lucrare considerând că cele polinomiale de gradul 2 sunt suficient de reprezentative;
 - domeniile de variație sunt delimitate atât la partea superioară cât și la partea inferioară de curbe polinomiale de gradul 2 (exprimate și sub formă analitică);
 - pentru a obține o duritate în intervalul 197-225HB compoziția chimică a fontei trebuie să varieze în limite înguste ($C = 2,95-3,2\%$, $Mn = 0,6-0,7\%$, $Si = 1,45-1,95\%$, $S = 0,06-0,09\%$; $P = 0,85-1,0\%$);
 - valorile pentru parametrii independenți (compoziția chimică) se pot stabili pe cale grafică utilizând oricare din reprezentările grafice dar și analitic (indicat după corelația dublă de gradul 2).
 - pentru corelațiile obținute, valoarea coeficienților de corelație fiind de peste 0,50 conduce la afirmația că acestea sunt reprezentative, fiind relativ ușor de observat, mai ales în reprezentările grafice, influența compoziției chimice asupra durității;
 - aceleași date au fost prelucrate și în programul de calcul Matlab rezultând ecuații de corelație dublă reprezentate sub formă analitică și grafică (suprafețe de corelație și curbe de nivel);
 - reprezentările grafice rezultate din programul de calcul Matlab permit stabilirea în limite mai înguste a valorilor pentru parametrii independenți (compoziția chimică a fontei) astfel încât să rezulte pentru duritate valoarea dorită, confirmând valabilitatea rezultatelor obținute în programul Excel;
 - corelațiile obținute sunt utile atât pentru cercetare cât și pentru practica elaborării fontei destinate turnării saboților de frână pentru calea ferată.

6. EXPERIMENT RI I REZULTATE PRIVIND UTILIZAREA MATERIALELOR COMPOZITE PENTRU FABRICAREA SABO ILOR DE FRÎN

6.1. Considera ii tehnologice

Având în vedere avantajele materialelor compozite pentru fabricarea sabo ilor de frân [71, 74-79], comportarea acestora în exploatare comparativ cu cei produ i din font fosfoas , precum i Normele UE [71-73] referitoare la poluarea sonor respectiv caracteristicile dimensionale, s-au efectuat o serie de experiment ri privind utilizarea materialelor compozite pentru producerea sabo ilor destina i echip rii vagoanelor de marf .

Pentru testarea materialelor compozite destinate fabric rii sabo ilor de frân pentru material rulant, s-au produs epruvete/e antion sub form de disc i sub form de cilindru, în func ie de caracteristicile instala iilor experimentale. De asemenea, pentru compara ie cu materialul clasic utilizat pentru fabricarea sabo ilor de frân (fonta fosforos) s-au produs e antioane pentru experiment ri i din acest material.

6.2. Producerea epruvetelor din materialelor compozite

Pentru testarea materialelor compozite destinate fabric rii sabo ilor de frân pentru material rulant, s-a produs material compozit dup un num r de 38 de re ete. Materialele utilizate pentru producerea compozitului i componen a re etelor sunt prezentate în tabelele 6.1-6.4.

În acest sens am proiectat i executat o matri pentru producerea unui disc din material compozit, dimensiunile matri elor sunt prezentate în figura 6.1 pentru e antioanele tip „DISC” i figura 6.2 pentru e antioanele de tip „CILINDRU”.

În tabelul 6.5 se prezint pentru fiecare prob tehnologia de fabricare, respectiv analiza tehnologic privind rezultatul ob inut din punct de vedere al compactit ii, integrit ii, elasticit ii i aspectului e antionului.

În total s-au produs 38 de e antioane, din care 6 probe tip „CILINDRU” i 32 probe tip „DISC”.

Din categoria probelor tip „DISC” (32 de e antioane) au fost selectate un num r de 6 probe pentru determin ri privind rezisten a la uzare.

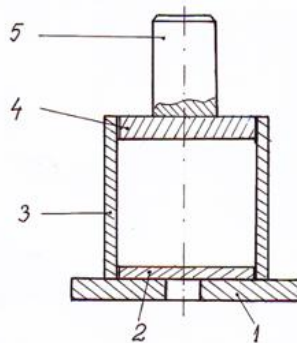


Fig.6.1. Pres pentru formarea epruvetelor tip „DISC”:
1 - placa de baz ; 2 - disc pentru extragerea probei; 3 - corp cilindric;
4 - disc pentru presarea materialului; 5-cep pentru presare.

La elaborarea în fază de laborator a epruvetelor tip „DISC” și „CILINDRU” s-a procedat conform descrierii a procesului de obținere a probelor prezentat în tabelul 6.5.

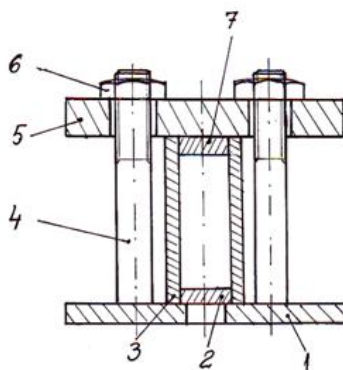


Fig.6.2. Pres pentru formarea epruvetelor tip „CILINDRU”:
1 - placa de bază ; 2 - pastil pentru extragerea probei; 3 - corp cilindric;
4 – prezon pentru presare; 5-placa superioară ; 6 - piuli ; 7 - pastil pentru presare.

Tab.6.1. Compoziția rețetelor probelor din materiale compozite (P1-P10)

Nr. Crt.	Compoziția, [%]	Probe									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	NOVOLAC ¹⁾	15,5	25	35	35	35	40	35	35	40	45
2	Hexametyltetramina	1,5	2,5	3,5	3,5	4	6	5	4	4	5
3	Sulf	2	2,5	2,5	0,5	0	0	0	0	0	0
4	Agent de vulcanizare ²⁾	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	BaSO ₄	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ZnO ₂	2	3	1	6	6	0	5	6	6	0
7	Al ₂ O ₃	12	11	7	5	2	0	5	2	5	0
8	SiO ₂	8	6	1	12	8	0	10	8	11	0
9	Alamă a chii (1-1,5mm)	13	13	13	16	16	16	13	16	15	15
10	Fibră carbonică	17	15	15	12	12	12	10	12	12	15
11	Grafit	0	0	0	0	17	17	0	10	0	15
12	Aluminiu a chii	0	0	0	0	0	9	7	7	7	5
13	Aluminiu pulbere	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Alamă pulbere	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	Praf de cauciuc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	Cauciuc dizolvat în solvent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Cauciuc crud tăiat mărunt	20	22	22	10	0	0	10	0	0	0
Total [%]		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Greutate probă, [g]		200	100	100	100	100	100	100	100	100	100

¹⁾ Rășină fenolică formaldehidică solidă tip NOVOLAC (turnatorie);

²⁾ Agent de vulcanizare (0,75% urotropină + 1,25% difenilguanidină)

- În timpul elaborării probelor am întâmpinat o serie de dificultăți cum ar fi:
- imposibilitatea amestecării corecte a componentelor din rețete;
 - stabilirea modului de transformare a rășinii fenolice din termoplast în termorigid ;
 - corelarea raportului rășină / hexamethyltetramin ;
 - stabilirea modului de dizolvare a cauciucului crud;
 - stabilirea dozajului de sulf în funcție de cantitatea de cauciuc utilizat ;
 - lipirea frecventă a probelor de pereții matriei de formare.

S-a stabilit tehnologia de obținere a epruvetelor din material compozit, parametrii procesului respectiv ordinea și modul de adaos a componentelor în rețetele experimentale.

Tab.6.2. Componenta rețetelor probelor din materiale compozite (P11-P21)

Nr. Crt.	Componenta, [%]	Probe										
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	NOVOLAC ¹⁾	45	45	30	45	15	45	16	0	16	16	0
2	Hexamethyltetramina	5	5	5	5	3	5	2	0	3	3	0
3	Sulf	0	0	5	0	7	0	0,6	1	1	1	1
4	Agent de vulcanizare ²⁾	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	BaSO ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	ZnO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Al ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	SiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Alamă a chii (1-1,5mm)	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Fibră carbonică	15	15	0	15	0	15	0	0	0	0	0
11	Grafit	15	10	10	10	10	10	11,4	19	10	10	19
12	Aluminiu a chii	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Aluminiu pulbere	0	10	10	10	15	10	20	20	17	17	20
14	Alamă pulbere	0	15	15	15	20	15	20	20	20	20	20
15	Praf de cauciuc	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
16	Cauciuc dizolvat în solvent	0	0	0	0	30	0	0	0	33	33	0
17	Cauciuc crud tăiat mărunt	0	0	0	0	0	0	30	40	0	0	40
Total [%]		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Greutate probă, [g]		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

¹⁾ Rășina fenolică formaldehidică solid tip NOVOLAC (turnatorie);

²⁾ Agent de vulcanizare (0,75% urotropină + 1,25% difenilguanidină)

Tab.6.3. Compoziția rețetelor probelor din materiale compozite (P22-P29)

Nr. Crt.	Compoziția, [%]	Probe							
		22	23	24	25	26 ³⁾	27 ³⁾	28 ²⁾	29 ²⁾
1	NOVOLAC ¹⁾	16,5	23,76	16,25	23,01	22,69	22,35	21,3	21,27
2	Hexamethyltetramin	3	3,96	2,98	3,83	3,77	3,55	6,38	6,4
3	Sulf	0,5	0	1,63	3,17	4,67	6,15	4,25	4,25
4	Fibra carbonică		0	0	0	0	0	10,63	10,63
5	Grafit	10	9,9	9,89	9,58	9,43	9,35	0	0
6	Aluminiu pulbere	17	14,85	16,85	14,38	14,15	13,95	14,89	14,9
7	Aluminiu a chii	0	0	0	0	0	0	0	13,95
8	Alam pulbere	20	14,85	19,75	14,38	14,15	13,95	21,28	21,28
9	Alam a chii	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Cauciuc dizolvat în solvent	33	32,68	32,65	31,65	31,14	30,70	21,27	30,66
Total [%]		100	100	100	100	100	100	100	100
Greutate probă, [g]		100	101	101,15	104,3	105,95	107,6	47	47

¹⁾ Rășină fenolică formaldehidică solid tip NOVOLAC (turnatorie);

²⁾ probe cilindrice pentru experimente la Universitatea Politehnică Timișoara;

³⁾ probe disc pentru experimente la Universitatea Dunărea de Jos Galați și Facultatea de Inginerie Hunedoara.

Tab.6.4. Compoziția rețetelor probelor din materiale compozite (P30-P38)

Nr. Crt.	Compoziția, [%]	Probe								
		30 ³⁾	31 ³⁾	32 ³⁾	33 ²⁾	34 ²⁾	35 ²⁾	36 ²⁾	37	38 ³⁾
1	NOVOLAC ¹⁾	22,3	19,69	40	20	37,5	20	25	30	20
2	Hexamethyltetramin	3,7	3,94	5	6	10	6	8	4	4
3	Sulf	6,14	7,48	0	5	0	5	0	0	6
4	Fibra carbonică	0	0	10	10	12,5	10	10	10	0
5	Grafit	9,3	9,84	15	0	7,5	0	10	16	15
6	Aluminiu pulbere	0	0	0	0	0	0	23	15	20
7	Aluminiu a chii	0	14,76	10	15	12,5	15	0	0	0
8	Alam pulbere	13,95	14,76	0	0	20	0	24	25	15
9	Alam a chii	0	0	20	24	0	28	0	0	0
10	Cauciuc dizolvat în solvent	30,66	29,53	0	20	0	16	0	0	20
Total [%]		100	100	100	100	100	100	100	100	100
Greutate probă, [g]		107,6	101,6	100	50	40	50	50	100	100

¹⁾ Rășină fenolică formaldehidică solid tip NOVOLAC (turnatorie);

²⁾ probe cilindrice pentru experimente la Universitatea Politehnică Timișoara;

³⁾ probe disc pentru experimente la Universitatea Dunărea de Jos Galați și Facultatea de Inginerie Hunedoara



O parte din probe au fost distruse la dezbaterea lor din matrița de formare. Prin experimente succesive și îndepărtarea neajunsurilor majoritatea problemelor au fost rezolvate.

Realizarea acestora a avut la bază o documentare temeinică și multe încercări/experimente.


În final s-au ales pentru continuarea experimentelor și încercărilor în fază


de laborator a caracteristicilor materialelor compozite obținute un număr de 6 probe tip disc din material compozit (P26, P27, P30, P31, P32, P38) și 6 probe tip cilindru din material compozit (P28, P29, P33, P34, P35, P36).


Tab.6.5. Tehnologia de fabricare a materialului compozit pentru probe

<p>Proba 1</p> <p>Parametri :</p> <p>Temperatura de încălzire = 400 °C</p> <p>Presare la cald cu for a F = 5 tf</p> <p>Timp de încălzire = 20 min</p> <p>Timp meninere = 10 min</p>	
<p>Ordinea straturilor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1/3 din achiile de alam ; - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de ($BaSO_4 + ZnO_2 + Al_2O_3 + SiO_2$) ; - un strat subțire de rășină fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină ; - 1/3 din achiile de alam ; - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de ($BaSO_4 + ZnO_2 + Al_2O_3 + SiO_2$); - un strat de rășină fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină ; - 1/3 din achiile de alam ; - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de ($BaSO_4 + ZnO_2 + Al_2O_3 + SiO_2$); - rășină fenolic (50% din cantitate) ; - hexametiltetramina rămasă este presată peste stratul de rășină . 	
<p>Observații: Au rezultat zone din probă cu tendință de dezmembrare în structură. Probă necorespunzătoare atât ca aspect cât și ca structură. Explicarea constă în cantitatea prea mică de rășină comparativ cu ceilalți componenți din compoziția probei.</p>	
<p>Proba 2</p> <p>Parametri :</p> <p>Temperatura de încălzire = 200 °C</p> <p>Timp de încălzire = 20 min</p> <p>Timp meninere = 45 min</p> <p>Fora de presare 5 tf</p>	
<p>Ordinea straturilor :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1/3 din achiile de alam ; - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de ($ZnO_2 + Al_2O_3 + SiO_2$) ; - 1/3 din cantitatea de cauciuc tăiat în bucățele mici și presate cu sulf; - un strat subțire de rășină fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină ; - 1/3 din achiile de alam ; - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de ($ZnO_2 + Al_2O_3 + SiO_2$) ; - 1/3 din cantitatea de cauciuc tăiat în bucățele mici și presate cu sulf; - un strat de rășină fenolic (cca. 25% din cantitate) ; 	

<ul style="list-style-type: none"> - 1/3 din hexametyltetramin presarat peste stratul de rîn ; - 1/3 din achiile de alam ; - 1/3 – din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de ($ZnO_2 + Al_2O_3 + SiO_2$); - 1/3 din cantitatea de cauciuc tîat în bucîele mîrunte îpres rate cu sulf; - rîn fenolic (50% din cantitate); - Cantitatea rîmas din hexametyltetramin presarat peste stratul de rîn ;
<p>Observații: În imagine se observă la partea superioară a probei straturi care se desfac deoarece nu au suficient rîn . Cauciucul este intact iar pulberea metalică din rețetă este uscată și nu a fost umectată de rîn . Cămin sursă de remediere se va merge pe scdereă cantității de material pulverulent și adugarea de rîn în compensație avînd în vedere corecțiile de 3% la sulf și 10% la hexametyltetramin . Hexametyltetramina are rolul de a transforma rîna din termoplast în termorigid . Voi încerca să înclezesc pistonul matriei separat de corpul ei și îl montez doar înainte de presare. Se va încerca mîrirea forței de presare la 10tf.</p>


<p>Proba 3</p> <p>Parametri :</p> <p>Temperatura de încălzire $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$</p> <p>Timp de încălzire = 20 min</p> <p>Timp meninere = 45 min</p> <p>Forța de presare 10tf</p>	
<p>Ordinea straturilor :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1/3 din achiile de alam ; - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de ($ZnO_2 + Al_2O_3 + SiO_2$); - 1/3 din cantitatea de cauciuc tîat în bucîele mîrunte îpres rate cu sulf; - un strat subțire de rîn fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametyltetramin presarat peste stratul de rîn ; - 1/3 din achiile de alam ; - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de ($ZnO_2 + Al_2O_3 + SiO_2$); - 1/3 din cantitatea de cauciuc tîat în bucîele mîrunte îpres rate cu sulf; - un strat de rîn fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametyltetramin presarat peste stratul de rîn ; - 1/3 din achiile de alam ; - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de ($ZnO_2 + Al_2O_3 + SiO_2$); - 1/3 din cantitatea de cauciuc tîat în bucîele mîrunte îpres rate cu sulf; - rîn fenolic (50% din cantitate); - Cantitatea rîmas din hexametyltetramin presarat peste stratul de rîn ; 	
<p>Observații: Din imagine se observă că partea de sus (de către pistonul matriei) este necorespunzătoare, probabil datorită lipsei rînii sintetice care se topește și curge la baza matriei. S-a introdus din nou proba în cuptor pentru a se încerca o sinterizare /durificare folosind următorii parametri: temperatura de încălzire = $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, timp de meninere = 4 ore, rîcire lentă odată cu cuptorul. Proba arată mult mai rău deoarece s-a produs arderea cauciucului la această temperatură. Se va renunța la temperaturi de încălzire mai mari de $250\text{ }^{\circ}\text{C}$.</p>	


<p>Proba 4</p> <p>Parametri :</p> <p>Temperatura de încălzire $T_1 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ Timp de încălzire = 15 min Timp meninere = 20 min Forța de presare = 25tf Datorită inerenței termice a rezultat $T_1 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ Temperatura de încălzire $T_2 = 180\text{ }^\circ\text{C}$ Timp de încălzire = 20 min Timp meninere = 30 min Datorită inerenței termice temperatura a crescut la $T_1 = 203\text{ }^\circ\text{C}$ Răcire lentă odată cu cuptorul</p>	
<p>Ordinea straturilor :</p> <ul style="list-style-type: none"> - tapetarea bazei matriei cu grafit; - fibră carbonică aprox. 1/3 din cantitate; - 1/3 din achiile de cupru; - cauciuc mărunt impregnat cu sulf; - 1/3 din amestecul de $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2)$; - 1/4 din cantitatea de rășină fenolică ; - 1/3 din cantitatea de hexametilтетрамин presată peste rășină ; - fibră carbonică aproximativ 1/3 din cantitate; - 1/3 din achiile de cupru; - cauciuc mărunt impregnat cu sulf; - 1/3 din amestecul de $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2)$; - 1/4 din cantitatea de rășină fenolică ; - 1/3 din cantitatea de hexametilтетрамин presată peste rășină ; - fibră carbonică 1/3 din cantitate; - 1/3 din achiile de cupru; - cauciuc mărunt impregnat cu sulf; - 1/3 din amestecul de $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2)$; - 1/2 din cantitatea de rășină fenolică ; - 1/3 din cantitatea de hexametilтетрамин presată peste rășină ; - Se presară grafit la partea superioară pentru a se evita lipirea rășinii de piston; 	
<p>Observații: Ultimul strat de rășină se pune mai consistent deoarece această curge pe baza matriei. Proba rezultată este necorespunzătoare. La a doua încălzire fașa superioară a probei s-a carbonizat și s-a umflat datorită gazelor emise. Fașa inferioară a probei arată că nu a fost suficientă rășină fenolică. Prin încălzirea după presarea puternică proba prezintă tendința de separare în straturi.</p>	

<p>Proba 5</p> <p>Parametri :</p> <p>Temperatura de încălzire = $170\text{ }^\circ\text{C}$ Timp de încălzire = 20 min Timp de meninere = 15 min Forța de presare = 5 tf Datorită inerenței termice temperatura cuptorului a ajuns la $190\text{ }^\circ\text{C}$.</p>	
<p>Ordinea straturilor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - 1/3 din achiile de cupru; 	


<ul style="list-style-type: none"> - 1/3 din fibra carbonic ; - un strat subțire de rășină fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presarat peste stratul de rășină ; - 1/3 din amestecul de pulberi metalice ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din achiile de cupru; - un strat de rășină fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presarat peste stratul de rășină ; - 1/3 din amestecul de pulberi metalice ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din achiile de cupru; - rășină fenolic restul (cca. 50% din cantitate); - cantitatea rășină din hexametiltetramin presarat peste stratul de rășină ; - 1/3 din amestecul de pulberi metalice ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - se tapetează partea superioară a matriei cu un strat subțire de grafit.
<p>Observații: În imagine se observă o probă bine încheiată care pe alocuri, în câteva zone, stratul de rășină a fost deficitar. Cauza o reprezintă neomogenitatea amestecului în matriea de presare și încălzire. Căminșuri de remediere se vor avea în vedere următoarele:</p> <ul style="list-style-type: none"> - fibra carbonic se va tăia mai scurt (40 -50 mm); - omogenizarea componentelor din rețetă se face mai bine.


Proba 6	Probă distrusă la scoaterea din matrie
<p>Parametri :</p> <p>Temperatura de încălzire = 170 °C</p> <p>Timp de încălzire = 20 min</p> <p>Timp de menținere = 15 min</p> <p>Forța de presare = 5tf</p> <p>Datorită înălțării temperaturii cuptorului a ajuns la 185 °C.</p>	
<p>Ordinea straturilor :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1/3 din achiile de cupru; - 1/3 din fibra carbonic ; - un strat subțire de rășină fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presarat peste stratul de rășină ; - 1/3 din amestecul de pulberi metalice ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din achiile de cupru; - un strat de rășină fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presarat peste stratul de rășină ; - 1/3 din amestecul de pulberi metalice ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din achiile de cupru; - rășină fenolic rășină (cca. 50% din cantitate); - cantitatea rășină din hexametiltetramin presarat peste stratul de rășină ; - 1/3 din amestecul de pulberi metalice ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); 	
<p>Observații: Materialul probei s-a lipit de pistonul matriei. Proba a trebuit să fie distrusă pentru a putea folosi în continuare matriea. Acest lucru se datorează lipsei straturilor subțiri de grafit de la bază și partea superioară a matriei care au rolul de a împiedica lipirea.</p>	


<p>Proba 7</p> <p>Parametri :</p> <p>Temperatura de încălzire = 170 °C</p> <p>Timp de încălzire = 20 min</p> <p>Timp de menținere = 15 min</p> <p>Forța de presare = 5tf</p> <p>În urma termică a cuptorului a fost cutată ca temperatura să crească la 190 °C</p>	
<p>Ordinea straturilor :</p> <ul style="list-style-type: none"> - un strat subțire de grafit; - 1/3 din achiile de alamă amestecate cu cele de aluminiu; - 1/3 din cantitatea de cauciuc tăiat bucățele mici; - 1/3 din fibra carbonică ; - un strat subțire de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presată peste stratul de rășină ; - 1/3 din amestecul de pulberi ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - 1/3 din achiile de alamă amestecate cu cele de aluminiu; - 1/3 din cantitatea de cauciuc tăiat bucățele mici; - 1/3 din fibra carbonică ; - un strat de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presată peste stratul de rășină ; - 1/3 din amestecul de pulberi ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - 1/3 din achiile de alamă amestecate cu cele de aluminiu; - 1/3 din cantitatea de cauciuc tăiat bucățele mici; - 1/3 din fibra carbonică ; - rășină fenolică rămasă (cca. 50% din cantitate); - cantitatea rămasă din hexametiltetramin presată peste stratul de rășină ; - 1/3 din amestecul de pulberi ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - un strat subțire de grafit cu rol de protecție la lipire. 	
<p>Observații: Fibra carbonică a fost tăiată la lungimea de 20 – 25 mm pentru o mai bună omogenizare cu ceilalți componenți. Au fost amestecate toate componentele după care au fost introduse în matrice. Aspectul probei este bun dar se constată că nu se produce o reacție corespunzătoare între hexametiltetramin și rășină. Se observă neomogenități datorită faptului că amestecarea s-a făcut cu dificultate. Datorită faptului că fibra carbonică este prea ușor se amestecă greu cu materialele pulverulente. Acestea au tendința să cadă la baza vasului de amestec. De asemenea nici rășină fenolică nu s-a amestecat uniform deoarece pe probă se observă unele zone unde aceasta este absentă.</p>	

<p>Proba 8</p> <p>Parametri :</p> <p>Temperatura de încălzire = 185 °C</p> <p>Timp de încălzire = 20 min</p> <p>Timp de menținere = 15 min</p> <p>Forța de presare = 5tf</p> <p>Datorită înălțării termice temperatura cuptorului a ajuns la 206 °C.</p>	
<p>Ordinea straturilor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - se tapetează baza matricei cu un strat subțire de silice; - 1/3 din achiile de cupru + 1/3 achiile de aluminiu; 	

<ul style="list-style-type: none"> - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de pulberi ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - un strat subtire de rina fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametyltetramin pres rat peste stratul de rina ; - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de prafuri($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - 1/3 din achiile de cupru + 1/3 a chii aluminiu; - un strat de rina fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametyltetramin pres rat peste stratul de rina ; - fibra carbonic 1/3 din cantitate; - 1/3 din amestecul de pulberi ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - a chii de cupru 1/3 + 1/3 a chii de aluminiu; - rina fenolic (cca . 50% din cantitate); - cantitatea r mas din hexametiltetramin pres rat peste stratul de rina ; - se tapeteaz partea superioar a matri ei cu un strat sub ire de silice.
<p>Observa ii: Din imagini se observ zone cu rina insuficient .</p> <p>Proba are consisten si este dur .Se va încerca cre terea u oar a cantit ii de rina fenolic .</p>

<p>Proba 9</p> <p>Parametri :</p> <p>Temperatura de înc lzire = 180 °C</p> <p>Timp de înc lzire = 10 min</p> <p>Timp de men inere = 20 min</p> <p>For a de presare = 5tf</p> <p>Datorit inerii termice temperatura cuptorului a ajuns la 185 °C.</p> <p>Cuptorul a fost cald (95 °C) de la prelucrarea anterioar .</p>	
<p>Ordinea straturilor :</p> <ul style="list-style-type: none"> - se tapeteaz baza matri ei cu un strat subțire de grafit dup ce s-a a ezat hârtie uns cu vaselin ; - 1/3 din achiile de cupru + 1/3 achiile de aluminiu; - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de pulberi ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - un strat sub ire de rina fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametyltetramin pres rat peste stratul de rina ; - 1/3 din fibra carbonic ; - 1/3 din amestecul de pulberi ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - 1/3 din achiile de cupru + 1/3 achiile de aluminiu; - un strat de rina fenolic (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametyltetramin pres rat peste stratul de rina ; - fibr carbonic 1/3 din cantitate; - 1/3 din amestecul de pulberi ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZnO}_2$); - a chii de cupru 1/3 + 1/3 a chii de aluminiu; - rina fenolic (cca . 50% din cantitate); - cantitatea r mas din hexametiltetramin pres rat peste stratul de rina ; - se tapeteaz partea superioar a matri ei cu un strat sub ire de grafit. 	
<p>Observa ii: Din imagini se observ c la partea de jos a probei rina este insuficient . Prob destul de dur i tenace. Se caut solu ii pentru a se evita lipirea probei de matri .</p>	

Proba 10	
Parametri : Temperatura de încălzire = 175 °C Timp de încălzire = 20 min Timp de menținere = 15 min Forța de presare = 5tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 196 °C.	
Ordinea straturilor : <ul style="list-style-type: none"> - se tapetează baza formei cu un strat subțire de grafit; - 1/3 din achiile de cupru + 1/3 achiile de aluminiu; - 1/3 din fibra carbonică ; - 1/3 din cantitatea de grafit; - un strat subțire de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină ; - 1/3 din fibra carbonică ; - 1/3 din cantitatea de grafit; - 1/3 din achiile de cupru + 1/3 achiile de aluminiu; - un strat de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină ; - fibră carbonică 1/3 din cantitate; - 1/3 din cantitatea de grafit; - achiile de cupru 1/3 + 1/3 achiile de aluminiu; - rășină fenolică (cca.50% din cantitate); - cantitatea rămasă din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină ; - se tapetează partea superioară a matriei cu un strat subțire de grafit ; 	
Observații: Probabil bună aspect și dozaj de componente. Imaginea arată zone cu adâncituri mari. Aceasta se datorează loviturilor puternice aplicate la baza matriei pentru dezbateră probei (datorită insuficienței grafitului presat la baza elementului de protecție la lipire). De fapt s-a lipit alba rotund de la baza formei și a fost greu să fie dezbătut. La următoarea probă se vor menține cantitățile și se va presăra mai mult grafit la baza formei. Zona cu achiile de cupru a fost în partea de jos a matriei și arată o distribuție neuniformă a rășinii sintetice.	

Proba 11	
Parametri : Temperatura de încălzire = 175 °C Timp de încălzire = 20 min Timp de menținere = 15 min Forța de presare = 5tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 196 °C.	
Ordinea straturilor: <ul style="list-style-type: none"> - se tapetează baza formei cu un strat subțire de grafit; - 1/3 din achiile de cupru + 1/3 achiile de aluminiu; - 1/3 din fibra carbonică ; - 1/3 din cantitatea de grafit; - un strat subțire de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină ; 	

- 1/3 din fibra carbonică ;
- 1/3 din cantitatea de grafit;
- 1/3 din achiile de cupru + 1/3 achiile de aluminiu;
- un strat de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate);
- 1/3 din hexametilтетрамин presat peste stratul de rășină ;
- fibră carbonică 1/3 din cantitate;
- 1/3 din cantitatea de grafit;
- achiile de cupru 1/3 + 1/3 achiile de aluminiu;
- rășină fenolică (cca. 50% din cantitate);
- cantitatea rămasă din hexametilтетрамин presat peste stratul de rășină ;
- se tapetează partea superioară a matriei cu un strat subțire de grafit.

Observații: Proba este bună ca formă și consistentă. Prezintă în continuare zone cu neomogenități. În anumite zone rășina nu este prezentă pentru a lega componentele. Se pare că un strat de grafit subțire și uniform rezolvă problema lipirii probei de matriă. Se va încerca și folosirea foliei de aluminiu pentru a proteja proba la lipirea de corpul matriei.

Proba 12

Parametri:

Temperatura de încălzire = 175 °C

Timp de încălzire = 20 min

Timp de menținere = 15 min

Forța de presare = 7tf


Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 192 °C.




Ordinea straturilor:

- se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit;
- se adaugă o foie de staniol alimentar cu rol de protecție la lipire;
- 1/3 din pulberea de cupru + 1/3 din pulberea de aluminiu;
- 1/3 din fibra carbonică ;
- 1/3 din cantitatea de grafit;
- un strat subțire de rășină fenolică (cca. 25 % din cantitate);
- 1/3 din hexametilтетрамин presat peste stratul de rășină ;
- 1/3 din fibra carbonică ;
- 1/3 din cantitatea de grafit;
- 1/3 din pulberea de cupru + 1/3 din pulberea de aluminiu;
- un strat de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate);
- 1/3 din hexametilтетрамин presat peste stratul de rășină ;
- fibră carbonică 1/3 din cantitate;
- 1/3 din cantitatea de grafit;
- 1/3 din pulberea de cupru + 1/3 din pulberea de aluminiu;
- rășină fenolică (cca. 50% din cantitate);
- cantitatea rămasă din hexametilтетрамин presat peste stratul de rășină ;
- se tapetează partea superioară a formei cu un strat subțire de grafit;
- un strat de folie de aluminiu alimentar.

Observații: Fașa superioară a probei aproape bună. Fașa inferioară prezintă o suprafață cu deficit de rășină. Este necesar un strat de rășină și la baza probei (primul strat de la bază). În rest proba are consistență și este suficient de dură.

Proba 13	
Parametri: Temperatura de încălzire = 170 °C Timp de încălzire = 20 min Timp de menținere = 10 min Forța de presare = 7tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 192 °C.	
Ordinea straturilor: <ul style="list-style-type: none"> - se tapetează baza formei cu un strat subțire de grafit; - se adaugă o foie de staniol alimentar; - 1/3 din pulberea de cupru + 1/3 din pulberea de aluminiu; - 1/3 din cantitatea de grafit; - 1/3 din praful de cauciuc amestecat cu sulf; - un strat subțire de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină; - 1/3 din praful de cauciuc amestecat cu sulf; - 1/3 din cantitatea de grafit; - 1/3 din pulberea de cupru + 1/3 din pulberea de aluminiu; - un strat de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate); - 1/3 din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină; - 1/3 din praful de cauciuc amestecat cu sulf; - 1/3 din cantitatea de grafit; - 1/3 din pulberea de cupru + 1/3 din pulberea de aluminiu; - rășină fenolică (cca. 50% din cantitate); - cantitatea rămasă din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină; - se tapetează partea superioară a matriei cu un strat subțire de grafit; - un strat de folie de aluminiu alimentar. 	
Observații: Aspectul bun. La fel și structura. Dar proba este casantă motiv pentru care în imagine apare ruptură. Probabil din cauza faptului că am folosit praful de cauciuc care provine din polizarea unui cauciuc care a fost vulcanizat inițial. Se vor lua soluții pentru introducerea cauciucului în rețetă.	

Proba 14	
Parametri: Temperatura de încălzire = 175 °C Timp de încălzire = 20 min Timp de menținere = 15 min Forța de presare = 7tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 192 °C.	
Ordinea straturilor: <ul style="list-style-type: none"> - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se adaugă o foie de staniol alimentar; - un strat de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate); - 1/4 din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină; - 1/3 din pulberea de cupru + 1/3 din pulberea de aluminiu; - 1/3 din cantitatea de grafit; - 1/3 din fibra carbonică; - un strat subțire de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate); 	

- 1/4 din hexamethyltetramin presat peste stratul de rășină;
- 1/3 din fibra carbonică;
- 1/3 din cantitatea de grafit;
- 1/3 din pulberea de cupru + 1/3 din pulberea de aluminiu;
- un strat de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate);
- 1/4 din hexamethyltetramin presat peste stratul de rășină;
- 1/3 din cantitatea de grafit;
- 1/3 din fibra carbonică;
- 1/3 din pulberea de cupru + 1/3 din pulberea de aluminiu;
- rășină fenolică (cca. 50% din cantitate);
- cantitatea rămasă din hexamethyltetramin presat peste stratul de rășină;
- se tapetează partea superioară a matriei cu un strat subțire de grafit;
- un strat de folie de aluminiu alimentară.

Observații: Aspect bun, structură bună. Proba s-a lipit de matriță și s-a deteriorat la scoaterea din formă. Zonele deteriorate se observă în imaginea de mai sus și se datorează ocurilor de la loviturile aplicate pentru dezbaterea probei.

Proba 15

Parametri:

Temperatura de încălzire = 165 °C

Timp de încălzire = 10 min

Timp de menținere = 15 min

Fora de presare = 5tf

Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 170°C.

Temperatura inițială a cuptorului = 96 °C
(cuptor cald de la prelucrarea anterioară).





Ordinea straturilor:

- se așază o foie de staniol alimentară la baza formei;
- se tapetează baza formei cu un strat subțire de grafit;
- se dizolvă cauciucul și se amestecă cu cantitatea de sulf;
- în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează;
- se introduce amestecul obținut în formă;
- pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentară cu rol de protecție la lipire;
- se face o presare la rece cu foră $F = 1$ tf;
- se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu foră $F = 5$ tf.


Observații: Formă bună a probei obținute dar foarte moale la palpare. Cauciucul nu s-a dizolvat, doar s-a înmuiat devenind gelatinos. La palpare proba seamănă cu un burete, este foarte elastică. Cauze posibile:


- nu s-a dizolvat corespunzător cauciucul;
- prea mult sulf în rețetă (25% în loc de 2%) datorită unei greșeli de cântărire. Combinația staniol alimentară și strat subțire de grafit rezolvă problema lipirii probei.

Proba 16	
Parametri : Temperatura de încălzire = 175 °C Timp de încălzire = 20 min Timp de menținere = 15 min Forța de presare = 7tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 196 °C.	
Ordinea straturilor : <ul style="list-style-type: none"> - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se adaugă o foie de staniol alimentar; - un strat de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate); - 1/4 din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină ; - 1/3 din pulberea de cupru + 1/3 din pulberea de aluminiu; - 1/3 din cantitatea de grafit; - 1/3 din fibra carbonică ; - un strat subțire de rășină fenolică (cca. 25% din cantitate); - 1/4 din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină ; - 1/3 din fibra carbonică ; - 1/3 din cantitatea de grafit; - 1/3 din pulberea de cupru + 1/3 din pulberea de aluminiu; - 1/3 din cantitatea de grafit; - 1/3 din fibra carbonică ; - 1/3 din pulberea de cupru + 1/3 din pulberea de aluminiu; - rășină fenolică (cca. 50% din cantitate); - cantitatea rămasă din hexametiltetramin presat peste stratul de rășină ; - se tapetează partea superioară a matriei cu un strat subțire de grafit; - un strat de folie de aluminiu alimentar. 	
Observații: Aspect bun al probei atât ca formă cât și consistență. Prezintă mici zone cu cratere datorită neomogenității rășinii. Se consideră o probă reușită care ar putea fi testată tribologic. Principala problemă o constituie în continuare omogenizarea compoziției.	



Proba 17	
Parametri : Temperatura de încălzire = 170 °C Timp de încălzire = 15 min Timp de menținere = 10 min Forța de presare la cald = 5tf Forța de presare la rece = 1tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 185 °C.	
Ordinea straturilor : <ul style="list-style-type: none"> - se adaugă o foie de staniol alimentar la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - cauciucul tăiat mărunt (2 mm²) și se amestecă cu cantitatea de sulf; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează ; - se introduce amestecul obținut în matriă ; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentar; 	


<ul style="list-style-type: none"> - se face o presare la rece cu for a $F = 1 \text{ tf}$; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu for a $F = 5 \text{ tf}$.
Observații: Proba s-a dezintegrat la scoaterea din matrie. Nu s-a realizat legătura între componentele ei.


Proba 18 Parametri : Temperatura de încălzire = $150 \text{ }^\circ\text{C}$ Timp de încălzire = 10 min Timp de menținere = 15 min For a de presare la cald = 5 tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la $156 \text{ }^\circ\text{C}$.	
Ordinea straturilor : <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentară la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - cauciucul tăiat mărunt (2 mm^2) se amestecă cu cantitatea de sulf; - se adaugă pe rând ceilalți componente și se omogenizează ; - se introduce amestecul obținut în formă ; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentară; - se face o presare la rece cu for a $F = 1 \text{ tf}$; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu for a $F = 5 \text{ tf}$. 	
Observații: Din nou s-a obținut o probă sfărâcioasă fără legătură între componentele ei. Posibila cauză : cauciucul crud nedizolvat în aflat în stare solid nu face legătură între componentele ei. Se va încerca dizolvarea cauciucului.	


Proba 19 Parametri : Temperatura de încălzire = $165 \text{ }^\circ\text{C}$ Timp de încălzire = 2 min Timp de menținere = 15 min For a de presare la cald = 5 tf For a de presare la rece = 1 tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la $169 \text{ }^\circ\text{C}$. Temperatura inițială a cuptorului = $150 \text{ }^\circ\text{C}$	
Ordinea straturilor : <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentară la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă cauciucul tăiat mărunt (2 mm^2) și se amestecă cu cantitatea de sulf; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componente și se omogenizează ; - se introduce amestecul obținut în matrie ; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentară; - se face o presare la rece cu for a $F = 1 \text{ tf}$; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu for a $F = 5 \text{ tf}$. 	
Observații: Legătura între componente este mult mai bună. Proba este elastică. Posibile cauze - sulful care deși este în cantitate mică dă elasticitate cauciucului (se	


observa urme de sulf pe circumferin a probei).
Este necesar s se dizolve mai bine cauciucul astfel încât acesta s fie mai semifluid.


<p>Proba 20</p> <p>Parametri: Temperatura de încălzire = 170 °C Timp de încălzire = 15 min Timp de menținere = 15 min For a de presare la cald = 5tf For a de presare la rece = 1tf Datorit inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 199 °C.</p>	
<p>Ordinea straturilor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentară la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă cauciucul tăiat mărunt (2 mm²) și se amestecă cu cantitatea de sulf; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în matrie; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentară; - se face o presare la rece cu forța F = 1 tf; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu forța F = 5 tf. 	
<p>Observații: Proba arată bine ca formă și consistență dar încă este elastică. Pentru a scăde elasticitatea se va crește conținutul de sulf și va crește și cantitatea de rășină fenolică.</p>	
<p>Proba 21</p> <p>Parametri : Temperatura de încălzire = 160 °C Timp de încălzire = 5 min Timp de menținere = 15 min Temperatura inițială a cuptorului = 140 °C For a de presare la cald = 5tf For a de presare la rece = 1tf Datorit inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 166 °C.</p>	
<p>Ordinea straturilor :</p> <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentară la baza matriei; - se tapetează baza formei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă cauciucul tăiat mărunt (2 mm²) și se amestecă cu cantitatea de sulf; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în matrie; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentară; - se face o presare la rece cu forța F = 1 tf; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu forța F = 5 tf. 	
<p>Observații: Proba a rezultat foarte elastică și moale aproape de consistența unui burete. Probabil cauza o reprezintă cantitatea de sulf care nu este stabilită corect.</p>	


Proba 22	
Parametri : Temperatura de încălzire = 170 °C Timp de încălzire = 15 min Timp de menținere = 15 min Forța de presare la cald = 5tf Forța de presare la rece = 1tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 192 °C.	
Ordinea straturilor : <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentar la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă cauciucul tăiat mărunt (2 mm²) și se amestecă cu cantitatea de sulf; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în matrie; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentar; - se face o presare la rece cu forța F = 1 tf; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu forța F = 5 tf. 	
Observații: Proba rezultat este lipicioasă și se zgârie relativ ușor. A fost introdus din nou în cuptor și încălzit la 200 °C. Datorită inerției termice temperatura a ajuns la T = 206 °C. Proba arată mai bine, nu mai este lipicioasă dar are fețele rugoase datorită emisiei de gaze de la încălzire. Nu se poate considera o probă reușită.	


Proba 23	
Parametri : Temperatura de încălzire = 170 °C Timp de încălzire = 15 min Timp de menținere = 15 min Forța de presare la cald = 5tf Forța de presare la rece = 1tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 180 °C.	
Ordinea straturilor : <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentar la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă cauciucul tăiat mărunt (2 mm²) în solvent; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în matrie; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentar; - se face o presare la rece cu forța F = 1 tf; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu forța F = 5 tf. 	
Observații: Proba bună ca aspect și formă dar lipsită de duritate. Se va repeta încercarea. Se caută soluții la problema durității probei.	

Proba 24	
Parametri : Temperatura de încălzire = 170 °C Timp de încălzire = 15 min Timp de menținere = 15 min Forța de presare la cald = 5tf Forța de presare la rece = 1tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 195 °C.	
Ordinea straturilor: <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentar la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă cauciucul tăiat mărunt (2 mm²) în solvent și se amestecă cu sulful; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în matrie; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentar; - se face o presare la rece cu forța F = 1 tf; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu forța F = 5 tf. 	
Observații: Aspect bun ca formă și consistență, dar duritatea încă este scăzută. Se va măări conținutul de sulf la 10 % pentru a durifica cauciucul. Se va măări și cantitatea de rășină fenolică.	


Proba 25	
Parametri : Temperatura de încălzire = 170 °C Timp de încălzire = 15 min Timp de menținere = 15 min Forța de presare la cald = 5 tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 174 °C.	
Ordinea straturilor : <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentar la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă cauciucul tăiat mărunt (2 mm²) în solvent și se amestecă cu sulful; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în matrie; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentar; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu forța F = 5 tf. 	
Observații: Aspect bun a probei atât ca formă cât și consistență. Duritatea probei a crescut. Se va măări temperatura cât și concentrația de sulf la 15%. Reacția sulfurii cu cauciucul nu se produce corect, sulful fiind împins către exterior. Duritatea probei este inegală pe cele două fețe ale probei. Duritatea feței de la baza formei este mai mare decât cea de la partea superioară.	

Proba 26	
Parametri : Temperatura de încălzire = 180 °C Timp de încălzire = 20 min Timp de menținere = 20 min Forța de presare la cald = 5tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 202 °C.	
Ordinea straturilor: <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentară la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă cauciucul tăiat mărunt (2 mm²) și se amestecă cu sulful; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în matri; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentară; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu forța F = 5 tf. 	
Observații: Proba foarte bună ca formă și consistență. Se observă creșterea durității probei cu creșterea conținutului de sulf. Se va măări conținutul de sulf la 20%. Se pare că creșterea temperaturii de încălzire este benefică.	

Proba 27	
Parametri : Temperatura de încălzire = 180 °C Timp de încălzire = 20 min Timp de menținere = 20 min Forța de presare la cald = 5tf Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 203 °C.	
Ordinea straturilor : <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentară la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă cauciucul tăiat mărunt (2 mm²) și se amestecă cu sulful; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în matri; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentară; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu forța F = 5 tf. 	
Observații: Proba foarte bună ca formă și consistență. Pe o față proba este dură iar pe cealaltă este mai moale. Probabil dizolvarea cauciucului s-a făcut cu exces de solvent. Se va avea în vedere reducerea cantității de solvent.	


Proba 28	
Parametri : Temperatura de încălzire = 180 °C Timp de încălzire = 20 min Timp de menținere = 20 min Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 203 °C.	


<p>Ordinea straturilor :</p> <ul style="list-style-type: none"> - se tapetează baza formei cu un strat subțire de grafit; - se topește 2/3 din cantitatea de rășină fenolică prin încălzire la 70 °C; - în rășină topită se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează rapid; - se încarcă forma cu amestecul obținut și se presează periodic (prin baterea cu ciocanul a unui dorn metalic cu rol de piston); - între straturile introduse se intercalează bucăți de rășină fenolică amestecate cu hexamethyltetranin până la epuizarea cantității din rețetă; - se adaugă la partea superioară un strat subțire de grafit cu rol de protecție la lipire.
<p>Observații: Au fost executate două probe din această rețetă. Prima probă are aspect și formă bună cu o singură zonă în care rășină nu a ajuns și proba prezintă un por mare. Proba a doua s-a rupt la dezbaterea din formă. Ruptura se datorează neomogenității amestecului. Componentele fiind solide nu se pot amesteca bine. Se va căuta soluție de omogenizare mai bună înainte de introducerea în formă.</p>


<p>Proba 29</p>	
<p>Parametri :</p> <p>Proba 29.1</p> <p>Temperatura de încălzire = 180 °C</p> <p>Timp de încălzire = 20 min</p> <p>Timp de menținere = 20 min</p> <p>Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 202 °C.</p>	
<p>Proba 29.2</p> <p>Temperatura de încălzire = 185 °C</p> <p>Timp de încălzire = 10 min</p> <p>Timp de menținere = 20 min</p> <p>Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 195 °C.</p> <p>Proba 29.3</p> <p>Temperatura de încălzire = 222 °C</p> <p>Timp de încălzire = 20 min</p> <p>Timp de menținere = 20 min</p>	
<p>Ordinea straturilor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - se tapetează baza formei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă cauciucul în solvent și se amestecă cu sulf; - se introduc ceilalți componenți în soluția obținută și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în formă; - se adaugă un strat subțire de grafit la partea superioară a formei cu rol de protecție la lipire; - se montează capacul formei și se strâng uruburile de presare; 	
<p>Observații: Se introduce matricea în cuptorul de încălzire. Fibra carbonică a fost tăiată scurt la lungimea de cca.10 mm. Au fost fabricate două probe din același material. Ambele probe prezintă formă și consistență bună. Se va acorda atenție la cantitatea de rășină fenolică (au fost unele pierderi de rășină în procesul de amestecare). Se va acorda atenție la cantitatea de rășină fenolică pentru a nu se pierde din cantitate în procesul de sfărâmare și omogenizare.</p> <p>Se repetă proba 29. Cauciucul se dizolvă în solvent până la obținerea unei paste</p>	


consistente apoi se amestecă cu sulf. Se introduc apoi: grafitul, aluminiul și alama și se omogenizează.


Separat se dizolvă r în solvent prin amestecare continuă. Se introduce hexametylteramina și se amestecă bine până la dizolvare. În final se amestecă foarte bine cele două soluții. Se amestecă soluția unică cu fibra carbonică. Se încarcă forma cu materialul obținut efectuând presiuni manuale periodice cu ajutorul unui dorn. Se montează capacul formei și se strâng uruburile de presare. Se introduce în cuptor. Proba obținută este bună.


Proba 30	
Parametri: Temperatura de încălzire = 200 °C Timp de încălzire = 20 min Timp de menținere = 20 min Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 222 °C. Presare la cald cu foră F = 5 tf	
Ordinea straturilor : <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentară la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă cauciucul tăiat mărunt (2 mm²) și se amestecă cu sulf; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în formă; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentară; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu foră F = 5 tf. 	
Observații: Proba bună atât ca formă, consistență cât și ca duritate. Se va mări conținutul de sulf la 23%.	

Proba 31	
Parametri : Temperatura de încălzire = 200 °C Timp de încălzire = 20 min Timp de menținere = 20 min Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 223 °C. Presare la cald cu foră F = 5 tf	
Ordinea straturilor : <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentară la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă cauciucul tăiat mărunt (2 mm²) și se amestecă cu sulf; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează; - separat se dizolvă în solvent r în fenolic se adaugă hexametylteramina și se amestecă până la dizolvarea ei; - se amestecă cele două soluții și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în formă; - pistonul matriei se îmbracă cu staniol alimentară; - se face o presare ușoară la rece; - se introduce matriea în cuptorul de încălzire; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu foră F = 5 tf. 	
Observații: Proba bună atât ca formă, consistență cât și ca duritate.	

Proba 32	
Parametri : Proba 1 Temperatura de încălzire = 200 °C Timp de încălzire = 15 min Timp de menținere = 20 min Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 215 °C.	
Ordinea straturilor: <ul style="list-style-type: none"> - se așază o foie de staniol alimentar la baza matriei; - se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă în solvent rășina fenolică și se adaugă hexametylteramina și se amestecă până la dizolvarea ei; - în soluția obținută se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în matrie; - pistonul matriței se îmbracă cu staniol alimentar; - se face o presare ușoară la rece; - se introduce matrița în cuptorul de încălzire; - se face o presare la cald, după scoaterea matriei din cuptor, cu forța $F = 5 \text{ tf}$. 	
Observații: Se introduce matrița în cuptorul de încălzire. Fibra carbonică a fost tăiată la lungimea de cca. 40 - 50 mm. Proba arată bine ca formă geometrică și consistență. Prezintă duritate satisfăcătoare.	

Proba 33	
Parametri : Proba 33. 1 Temperatura de încălzire = 200 °C Timp de încălzire = 20 min Timp de menținere = 20 min Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 223 °C. Proba 33. 2 Temperatura de încălzire = 200 °C Timp de încălzire = 20 min Timp de menținere = 20 min Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 225 °C.	
Ordinea straturilor : <ul style="list-style-type: none"> - cauciucul se dizolvă în solvent ; - se adaugă sulfura și se omogenizează ; - se adaugă grafitul, Al_2O_3, alama și se omogenizează ; - separat se dizolvă rășina în solvent, se adaugă hexametyltetramina și se amestecă până la dizolvare; - se combină cele două soluții și se omogenizează ; - se amestecă soluția unică cu fibra carbonică ; - se încarcă forma prin presarea ușoară la încălzire; - se montează capacul formei și se strâng uruburile de fixare; - se introduce forma în cuptorul de încălzire. 	
Observații: Se introduce forma în cuptorul de încălzire. Fibra carbonică a fost tăiată la lungimea de cca. 10 mm. Au fost fabricate două probe din același material. Ambele forme arată bine ca formă geometrică și consistență. Prezintă duritate satisfăcătoare.	

<p>Proba 34</p> <p>Parametri :</p> <p>Proba 1</p> <p>Temperatura de încălzire = 200 °C</p> <p>Timp de încălzire = 15 min</p> <p>Timp de menținere = 20 min</p> <p>Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 226 °C.</p> <p>Proba 2</p> <p>Temperatura de încălzire = 200 °C</p> <p>Timp de încălzire = 15 min</p> <p>Timp de menținere = 20 min</p> <p>Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 225 °C.</p>	
<p>Ordinea straturilor:</p> <ul style="list-style-type: none"> - se tapetează baza formei cu un strat subțire de grafit; - se dizolvă rășina fenolică în solvent; - se adaugă hexametilteramina și se amestecă până la dizolvarea ei; - se introduc ceilalți componenți în soluția obținută și se omogenizează; - se introduce amestecul obținut în formă; - se adaugă un strat subțire de grafit la partea superioară a formei cu rol de protecție la lipire; - se montează capacul formei și se strâng uruburile de presare. <p>Observații: Se introduce matricea în cuptorul de încălzire. Fibra carbonică a fost tăiată la lungimea de cca. 10 mm. Au fost fabricate două probe din același material. Ambele forme arată bine ca formă geometrică și consistență. Prezintă duritate satisfăcătoare.</p>	

<p>Proba 35</p> <p>Parametri :</p> <p>Proba 35.1</p> <p>Temperatura de încălzire = 200 °C</p> <p>Timp de încălzire = 15 min</p> <p>Timp de menținere = 20 min</p> <p>Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 226 °C.</p> <p>Proba 35.2</p> <p>Temperatura de încălzire = 200 °C</p> <p>Timp de încălzire = 15 min</p> <p>Timp de menținere = 20 min</p> <p>Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 213 °C.</p> <p>Proba 35.3</p> <p>Temperatura de încălzire = 200 °C</p> <p>Timp de încălzire = 15 min</p> <p>Timp de menținere = 20 min</p> <p>Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 222 °C.</p>	
<p>Ordinea straturilor :</p> <ul style="list-style-type: none"> - cauciucul se dizolvă în solvent; - se adaugă sulfura și se omogenizează; - se adaugă Al₂O₃, alama și se omogenizează; - separat se dizolvă rășina în solvent, se adaugă hexamethyltetramina și se amestecă până la dizolvare; 	

- se combin cele două soluții și se omogenizează ;
- se amestecă soluția unică cu fibra carbonică ;
- se încarcă forma prin presarea uoară a încercăturii;
- se montează capacul formei și se strâng uruburile de fixare;
- se introduce forma în cuptorul de încălzire.

Observații: Se introduce forma în cuptorul de încălzire. Fibra carbonică a fost tăiată la lungimea de cca. 10 - 15 mm. Au fost fabricate trei probe din același material. Răcirea s-a făcut în apă, deci brusc. Se constată un grad mai mare de finețe al probei la suprafață. Prima probă s-a rupt la dezbatere. Proba a 2-a și a 3-a s-au efectuat cu cuptorul cald. Probele arată bine ca formă geometrică și consistență. Prezintă duritate satisfăcătoare.

Proba 36

Parametri:

Proba 36.1

Temperatura de încălzire = 200 °C

Timp de încălzire = 15 min

Timp de menținere = 20 min

Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 223 °C.

Proba 36.2

Temperatura de încălzire = 200 °C

Timp de încălzire = 10 min

Timp de menținere = 15 min

Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 214 °C.



Ordinea straturilor:

- se dizolvă rășina în solvent ;
- se adaugă hexametilteramina și se amestecă până la dizolvare;
- în soluția formată se adaugă ceilalți componenți din rețetă și se omogenizează ;
- se încarcă forma prin presarea uoară a încercăturii;
- se montează capacul formei și se strâng uruburile de fixare;
- se introduce forma în cuptorul de încălzire.

Observații: Se introduce forma în cuptorul de încălzire. Fibra carbonică a fost tăiată la lungimea de cca. 10 - 15 mm. Au fost fabricate două probe din același material. Răcirea s-a făcut în apă, deci brusc. Proba a 2-a s-a efectuat cu cuptorul cald. Probele arată bine ca formă geometrică și consistență. Prezintă duritate satisfăcătoare.

Proba 37

Parametri :

Temperatura de încălzire = 200 °C

Timp de încălzire = 15 min

Timp de menținere = 20 min

Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la 222 °C.



Ordinea straturilor :

- se așază o foie de staniol alimentară la baza matriei;
- se tapetează baza matriei cu un strat subțire de grafit;
- se dizolvă rășina în solvent rășinatic, se adaugă hexametilteramina și se amestecă până la dizolvarea ei;

- în soluția obișnuită se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează;
- se introduce amestecul obișnuit în matrice;
- pistonul matricei se îmbracă cu staniol alimentară;
- se face o presare ușoară la rece;
- se introduce matricea în cuptorul de încălzire;
- se face o presare la cald, după scoaterea matricei din cuptor, cu forța $F = 5 \text{ tf}$.

Observații: Se introduce matricea în cuptorul de încălzire. Fibra carbonică a fost tăiată la lungimea de cca. 40 - 50 mm. Probă nesatisfăcătoare cu rân în insuficient care face să existe mulți pori în structură.

Proba 38

Parametri:

Temperatura de încălzire = $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Timp de încălzire = 20 min

Timp de menținere = 20 min

Datorită inerției termice temperatura cuptorului a ajuns la $213 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Forța de presare $F = 5 \text{ tf}$



Ordinea straturilor:

- se așază o foie de staniol alimentară la baza matricei;
- se tapetează baza matricei cu un strat subțire de grafit;
- se dizolvă cauciucul în solvent, se adaugă sulfurile și se omogenizează;
- în soluția obișnuită se adaugă pe rând ceilalți componenți și se omogenizează;
- se dizolvă în solvent rășina fenolică, se adaugă hexametilteramina și se amestecă până la dizolvarea ei;
- se amestecă cele două soluții și se omogenizează;
- se introduce amestecul obișnuit în matrice;
- pistonul matricei se îmbracă cu staniol alimentară;
- se face o presare ușoară la rece;
- se introduce matricea în cuptorul de încălzire;
- se face o presare la cald, după scoaterea matricei din cuptor, cu forța $F = 5 \text{ tf}$.

Observații: Se introduce matricea în cuptorul de încălzire. Fibra carbonică a fost tăiată la lungimea de cca. 40 - 50 mm. Proba obișnuită este satisfăcătoare din punct de vedere calitativ.

6.3. Producerea epruvetelor din font fosforos

Pentru producerea epruvetelor din font fosforos, s-au elaborat 2 arje de font fosforos în cuptorul cu inducție de capacitate 10kg (figura 6.3), existent în laboratorul de Topituri Metalice a Facultății de Inginerie din Hunedoara, Universitatea Politehnică Timișoara.



Fig.6.3. Cuptor cu induc ie, capacitate 10 kg

Înc rc tura metalic a fost format din sp rturi de sabo i de fran (produ i din font fosforoas) sco i din func iune, greutatea acesteia fiind de 9,254kg. Pentru formarea zgurii s-a utilizat un amestec de var i bauxit (80%var i 20% bauxit) în cantitate de 0,4kg. Durata topirii înc rc turii a fost de 75 de minute. Având în vedere c s-a efectuat o simpl retopire s-a considerat c nu este necesar o corec ie a compozi iei chimice a b ii la terminarea topirii. Dup terminarea topirii s-a men inut baia metalic în cuptor înc 5 minute pentru înc lzirea b ii la temperatura de turnare (1420°C). Temperatura s-a m surat cu pirometru optic i cu un termocuplu (figura 6.4). Dup m surarea temperaturii s-a evacuat arja în oala de turnare i în continuare în forme pentru ob inerea epruvetelor.



Fig.6.4. M surarea temperaturii b ii metalice

Înainte de evacuarea din cuptor s-a prelevat prob pentru determinarea compozi iei chimice aceasta fiind determinat la SC TEF SRL SIMERIA i prezentat în tabelul 6.6.

Tab.6.6. Compoziția chimică a fontei fosforoase

Compoziția chimică, %						
Nr. arj	C	Si	Mn	P	S	Cr+Mo+Ti+W+V+Nb
1	3,16	1,82	0,92	1,05	0,066	0,268
2	3,12	1,93	0,87	1,02	0,065	0,257

Se respectă relația:
 $1,72\%S + 0,30\% < \%Mn < 1\%$ (S% reprezintă conținutul de sulf din fontă);
 $0,41\% < 0,92\% < 1\%$.

Aspecte referitor la procesul de elaborare a fontei sunt prezentate în figurile 6.1.A - 6.3.A din anexa.

Din prima arjă elaborată s-au turnat 4 e antioane de tip „DISC” (figura 6.5 respectiv figura 6.2.A), de greutate cuprinsă între 0,6 – 0,7 kg/e antion, iar din a doua arjă s-au turnat 4 e antioane de tip „CILINDRU” (figura 6.6 și figura 6.3.A), de greutate 0,05Kg /e antion.



Fig.6.5. E antion de tip „DISC”



Fig.6.6. E antioane de tip „CILINDRU”

După curățarea antioanelor au fost polizate și lufuite în vederea determinării caracteristicilor privind rezistența la uzură utilizând instalațiile:

- instalația de încercare la uzură abrazivă cu disc abraziv, existentă în dotarea laboratorului de Tratamente Termice de la Facultatea de Mecanică, Universitatea Politehnică Timișoara;
- Tribometrul Universal UMT-2 (CETR®, SUA) existent în dotarea Universității „Dunărea de Jos” din Galați;
- stand de laborator pentru studiul uzurii prin metoda tift pe disc aflat în dotarea Laboratorului de Organe de Mașini din cadrul Facultății de Inginerie din Hunedoara.

6.4. Concluzii

Din analiza experimentelor proprii efectuate în laborator cu privire la elaborarea materialelor compozite destinate saboilor de frână pentru materialul rulant rezultă o serie de concluzii și contribuții:

- stabilirea a 38 de rețete experimentale de realizare a materialului compozit pentru saboii de frână;
- stabilirea tehnologiei de obținere a materialului compozit;
- proiectarea și executarea matrițelor pentru e antioanele de tip „DISC” și „CILINDRU”;

- pentru realizarea e antioanelor din material compozit ca materiale de bază s-au utilizat: novolac, a chii și pulberi metalice, grafit, cauciuc sau fibră carbonică. Pe lângă aceste materiale, în proporții mai mici au mai fost utilizate și alte materiale: hexametyltetramina, sulf, agent de vulcanizare, sulfat de bariu, alumină, etc.;
- realizarea a 6 probe din material compozit tip „CILINDRU” și 32 probe din material compozit tip „DISC” după rețetele experimentale;
- fiecare probă a fost analizată din punct de vedere tehnologic (compactitate, integritate, elasticitate, aspect și antion, etc.) lucru care ne-a permis selectarea celor mai bune probe, din punct de vedere a caracteristicilor, pentru continuarea experimentelor și efectuarea testelor de laborator specifice;
- selecția probelor din material compozit (6 probe tip disc - P26, P27, P30, P31, P32, P38 și 6 probe tip cilindru P28, P29, P33, P34, P35, P36);
- obținerea în laborator a probelor din font fosforoasă, utilizate pentru comparația caracteristicilor cu a probelor din material compozit.

7. ÎNCERCAREA LA UZARE A MATERIALELOR COMPOZITE. REZULTATE ȘI ANALIZE TEHNOLOGICE

7.1. Considerații generale

În industrie a apărut necesitatea tot mai mare de a reduce sau controla uzarea, din mai multe motive: extinderea duratei de viață a mașinilor, fabricarea de produse mai eficiente, dezvoltarea de noi produse avansate, conservarea resurselor materiale limitate, economisirea de energie și pentru îmbunătățirea siguranței [80-85]. De-a lungul timpului, aceste obiective au fost realizate de cele mai multe ori doar prin modificări dimensionale, prin selectarea unor materiale mai performante sau prin tratamente termice.

Calitatea suprafețelor elementelor unei cuple de frecare, realizată prin diverse procedee tehnologice, se deosebește, uneori esențial, de calitatea suprafețelor, după câteva ore de funcționare în timpul căreia elementele cuplei sunt supuse la mișcare relativă și presiuni de contact.

Apariția mișcării elastice și a frecării conduc la realizarea unui câmp termic cu gradienti, uneori ridicăți, astfel că în stratul de interacțiune mecanică apar modificări ale proprietăților fizico-mecanice și ale structurii [86-90]. Realizarea unei intensități minime de uzare, intensitate care să asigure, în continuare, cuplei de frecare o durabilitate maximă, în condițiile unor sarcini de exploatare cunoscute, este un deziderat de care trebuie să țină cont în cadrul încercărilor experimentale.

Cunoașterea micro-geometriei optime din punct de vedere funcțional a coeficientului de frecare, temperaturii în zona de contact și a intensității de uzare, dă posibilitatea unor aprecieri pertinente cu privire la durabilitatea în exploatare a materialului compozit destinat confecționării sabotului de frână.

7.2. Determinarea uzurii pe instalația de încercare la uzare abrazivă

Pentru determinări s-a utilizat instalația de încercare la uzarea abrazivă cu disc abraziv, existentă în dotarea laboratorului de Tratamente Termice de la Facultatea de Mecanică - Universitatea Politehnica Timișoara.

7.2.1. Caracteristicile instalației

Schema standului de încercare la uzarea abrazivă și părțile componente ale acestuia se prezintă în figura 7.1 [80,81].

Principalele caracteristici ale instalației utilizate (figura 7.2) sunt:

- viteza tangențială de alunecare (medie) a epruvetei este $Va = 0,209$ m/s;
- lungimea parcursului în spirală asigură o uzură masivă măsurabilă la o balanță analitică cu precizia de 0,001 g;
- aplicarea epruvetei asigură o poziție perpendiculară pe suprafața discului rotativ cu o abatere sub 2^0 ;
- presiunea de apăsare a epruvetei pe hârtia abrazivă este de $0,4$ N/mm²;
- avansul radial al probei este $Sr = 0,5$ mm/rot.

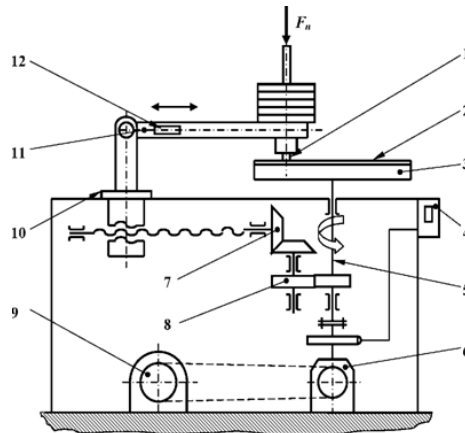


Fig.7.1. Schema standului de încercare la uzare abrazivă:

- 1 - epruveta de încercat; 2 - hârtie de șlefuit; 3 - disc rotativ;; 4 - numărător de ture;
5 - arbore principal; 6 - reductor melcat; 7 - angrenaj conic; 8 - angrenaj cilindric; 9 - motor electric de antrenare; 10 - culisa; 11 - braț mobil; 12 - traductor tensiometric rezistiv



Fig.7.2. Instalație pentru încercarea la uzare abrazivă

7.2.2.Modul de lucru

Încercarea se efectuează conform STAS 9639 - 81 și constă în apăsarea unei epruvete din materialul de examinat pe discul rotativ, în vederea determinării unor anumite caracteristici de uzare abrazivă [80,81].

Ca material abraziv se utilizează hârtie de șlefuit cu carbură de siliciu, HE 16 livrată sub formă de disc cu diametrul de 310mm.

Epruvetele sunt de formă cilindrică și au dimensiunile $\varnothing 14 \times 30$ mm sau $\varnothing 10 \times 30$ mm. Lungimea parcursului de uzare în spirală rezultă din compunerea celor două mișcări (de rotație și de avans) și are valoarea de 70m pe o durată de 7,08 minute.

Aprecierea comportării materialelor epruvetelor se face prin metoda gravimetrică (pierderi în greutate). În acest sens se determină uzura masică și durabilitatea relativă la uzare.

7.2.3. Prezentarea experimentărilor

Pentru experimentări s-a utilizat o probă din fontă fosforoasă elaborată în cuptorul cu inducție, conform celor prezentate în subcapitolul 6.3 De asemenea, au fost supuse experimentărilor și un număr de 6 probe din material compozit considerate cele mai reprezentative din totalul de 38 produse după rețete diferite în cadrul experimentărilor prezentate în subcapitolul 6.2.

Pentru toate epruvetele diametrul este de 14 mm. Timpul de încercare 7,08 minute, iar celelalte caracteristici dimensionale a epruvetelor sunt prezentate în tabelul 7.1.

Tab.7.1. Caracteristicile dimensionale ale epruvetelor

Nr. crt.	Nr. epruvetă	Masa inițială a epruvetei m_0 [g]	Masa finală a epruvetei m_f [g]	Înălțimea inițială a epruvetei l_i [mm]	Înălțimea finală a epruvetei l_f [mm]
1	1F (fontă P10)	30,531	30,379	32,0	31,95
2	28 (compozit)	4,825	3,535	32,2	23,1
3	29 (compozit)	4,752	3,331	31,7	23,1
4	33 (compozit)	3,919	2,600	31,6	21,1
5	34 (compozit)	6,044	5,295	31,7	27,0
6	35 (compozit)	7,670	5,829	29,9	23,4
7	36 (compozit)	7,221	5,247	30,8	22,5

Pentru fiecare epruvetă se determină uzura masică și durabilitatea relativă la uzare.

Uzura masică u se determină cu relația [82]:

$$u = m_0 - m_f, \text{ [g]} \quad (7.1)$$

unde: m_0 este masa epruvetei înainte de încercare, [g];

m_f - masa epruvetei după încercare, [g].

Uzura masică de parcurs se determină cu relația, [82]:

$$U_p = \frac{u}{L_u} = \frac{m_0 - m_f}{L_u}, \text{ [g/m]} \quad (7.2)$$

unde: L_u este parcursul de uzare, [m].

Durabilitatea relativă la uzare se calculează prin raportarea uzurii masice a epruvetei din material compozit (u_c) la uzura masică a epruvetei de fontă (u_f), cu relația [82]:

$$u_r = \frac{u_c}{u_f} \quad (7.3)$$

Aspectele din timpul experimentărilor sunt prezentate în figura 7.3.



Fig.7.3. Aspecte din timpul experimentărilor

7.2.4. Rezultatele experimentărilor

Rezultatele obținute în cadrul experimentărilor și prelucrării datelor sunt prezentat centralizat sub formă tabelară și grafică.

7.2.4.1. Rezultate pentru proba de fontă și probele din material compozit

Referitor la reducerea de greutate a probelor experimentale, acestea sunt prezentate în tabelele 7.1-7.3 și figura 7.4.

Tab.7.2. Rezultate experimentale privind uzarea și durabilitatea la uzare

Nr. crt.	Nr. epruvetă	Uzura masică $u = m_0 - m_f$ [g]	Parcursul de uzare L_u [m]	Uzura masică de parcurs $U_p = u / L_u$ [g/m]	Durabilitatea relativă la uzare $U_r = U_{fontă} / U_{compozit}$
1	1F (fontă P10)	0,152	70	0,00217	-
2	28 (compozit)	1,29	70	0,01842	8,48
3	29 (compozit)	1,421	70	0,02028	9,34
4	33 (compozit)	1,319	70	0,01884	8,67
5	34 (compozit)	0,749	70	0,01070	4,92
6	35 (compozit)	1,841	70	0,02630	12,11
7	36 (compozit)	1,974	70	0,02820	12,98

Tab.7.3. Rezultate experimentale privind reducerea greutății și înălțimii epruvetelor

Nr. crt.	Nr. epruvetă	Uzura masică $u = m_0 - m_f$ [g]	uzura masică relativă, [%]	Reducerea de înălțime absolută, [mm]	Reducerea de înălțime relativă, [%]
1	1 (fontă P10)	0,152	0,498	0,05	0,156
2	28 (compozit)	1,29	26,74	9,1	27,91
3	29 (compozit)	1,421	29,88	8,6	27,12
4	33 (compozit)	1,319	34,44	10,5	23,21
5	34 (compozit)	0,749	12,47	4,1	12,95
6	35 (compozit)	1,841	24,01	6,5	21,82
7	36 (compozit)	1,974	27,33	8,3	26,93

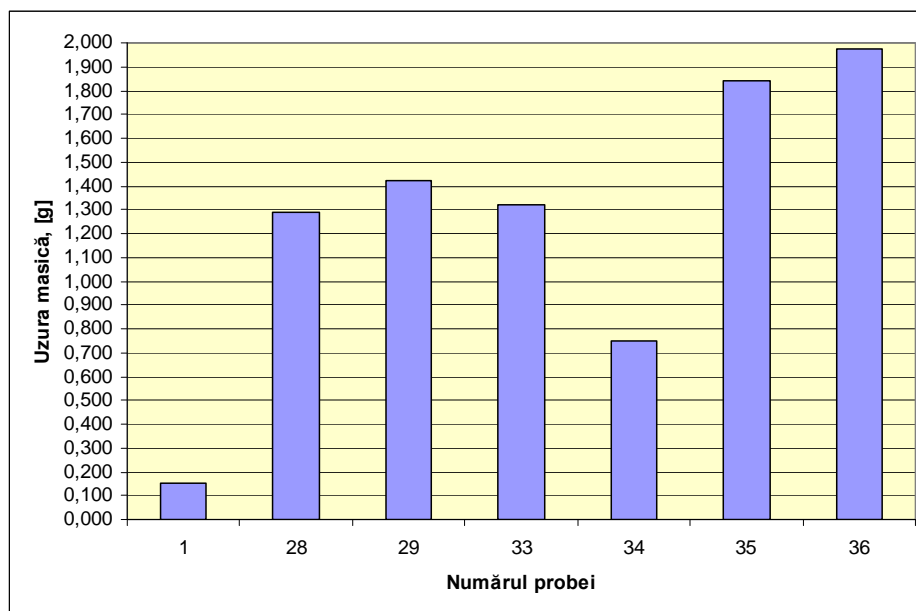


Fig.7.4. Variația uzurii masice:
1 – epruveta din fontă; 28 – 36 – epruvete din compozit

7.2.4.2. Rezultate intermediare pentru o probă din material compozit

Variația greutății epruvetei

În timpul experimentărilor epruveta nr. 36 produsă din material compozit a fost cronometrată și cântărită la timpi intermediari. Valorile obținute sunt prezentate în tabelul 7.4 și figurile 7.5-7.7.

Tab.7.4. Variației în timp a masei epruvetei

Timpul, [min]	0	2	4	6	7,08
Masa, [g]	7,221	6,543	5,822	5,465	5,247
Reducere de greutate absolută, [g]	0	0,769	1,399	1,765	1,974
Reducerea de greutate relativă, [%]	0	10,636	19,374	24,426	27,337

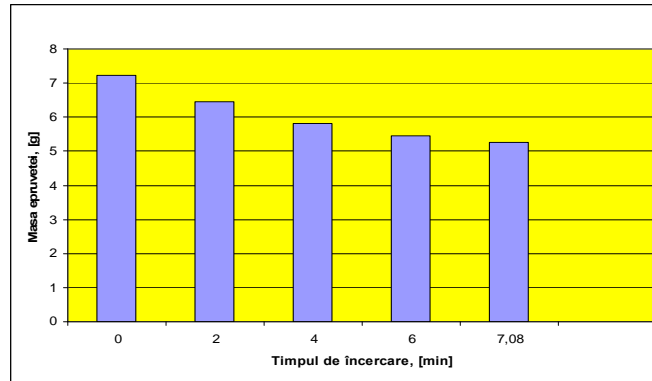


Fig.7.5. Variația masei epruvetei în funcție de timpul de încercare

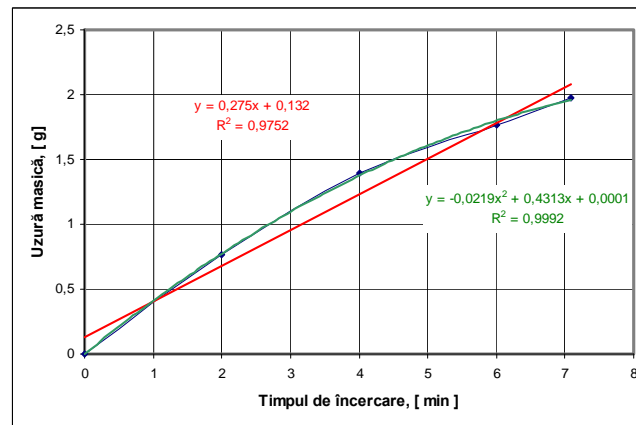


Fig.7.6. Uzura masică pentru epruveta nr. 36

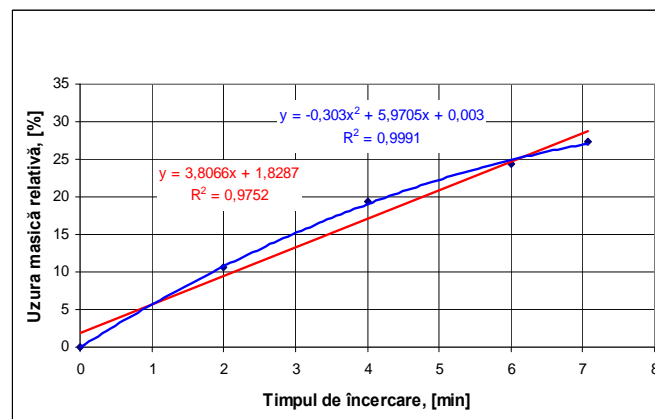


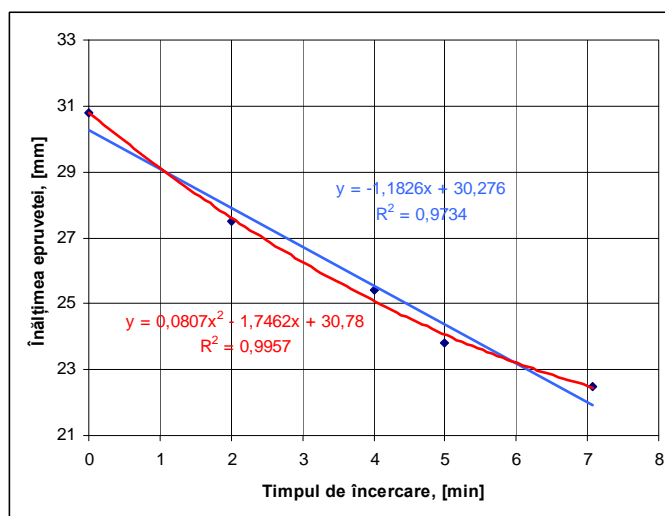
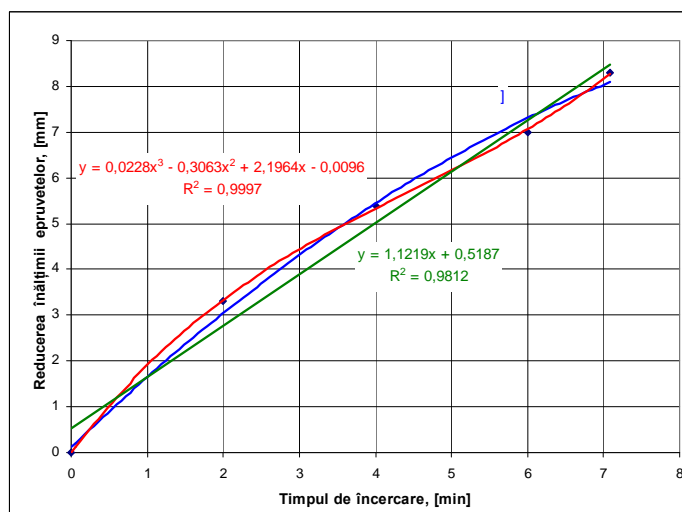
Fig.7.7. Uzura masică relativă pentru epruveta nr. 36

Variația înălțimii epruvetei

Date referitoare la variația înălțimii epruvetei 36 în timpul experimentărilor se prezintă în tabelul 7.5 și în figurile 7.8-7.10.

Tab.7.5. Variația lungimii epruvetei în timpul experimentărilor, [mm]

Timp, [min]	0	2	4	6	7,08
Înălțimea epruvetei, [mm]	30,8	27,5	25,4	23,8	22,5
Reducerea absolută de înălțime, [mm]	0	3,3	5,4	7	8,3
Reducerea relativă de înălțime, [%]	0	10,71	17,53	22,72	26,95

**Fig. 7.8.** Reducerea înălțimii epruvetei**Fig. 7.9.** Reducerea absolută a înălțimii epruvetei

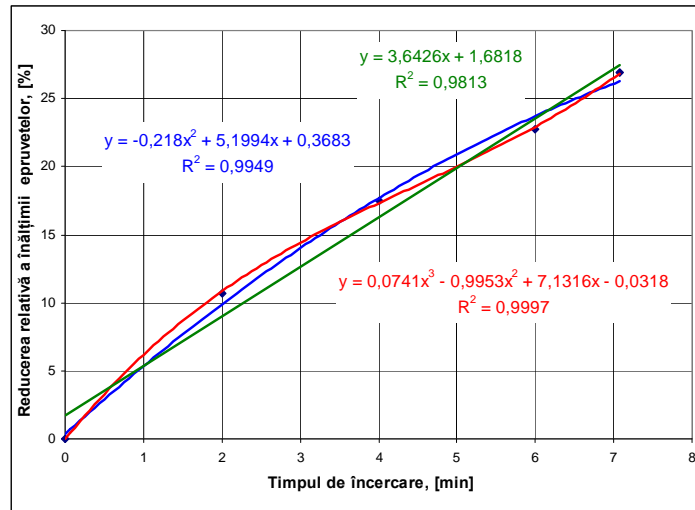


Fig.7.10. Reducerea relativă a înălțimii epruvetei

Influența densității epruvetei asupra uzurii

Se cunoaște că:

$$m = \rho \cdot V, [\text{kg}] \quad (7.4)$$

Volumul epruvetelor din material compozit:

$$V_{1-6} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_{1-6} \quad (7.5)$$

unde : D = 14 mm - diametrul epruvetelor;

H₁₋₆ = înălțimea epruvetelor după încercare.

$$\text{Dar } \rho_{1-6} = \frac{m_{1-6}}{V_{1-6}} = \frac{m_{1-6}}{k \cdot H_{1-6}} \quad (7.6)$$

$$\text{unde: } k = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \text{const.} \quad k = 1,538 \text{ cm}^2$$

În tabelul 7.6 se prezintă valorile înălțimii și a densității epruvetelor.

Tab.7.6. Valorile înălțimii inițiale și a densității epruvetelor

Nr. crt.	Numărul epruvetei	Masa inițială a epruvetei [g]	Înălțimea inițială a epruvetei [mm]	Densitatea Epruvetei [g/cm ³]	Uzura masică u = m ₀ - m _f [g]
1	28	4,825	32,2	0,9748	1,29
2	29	4,752	31,7	0,9746	1,421
3	33	3,919	31,6	0,8063	1,319
4	34	6,044	31,7	1,2396	0,749
5	35	7,670	29,9	1,6678	1,841
6	36	7,221	30,8	1,5243	1,974

Variația rezistenței la uzare abrazivă în funcție de densitatea epruvetei se prezintă în graficul din figura 7.11.

Imaginile epruvetelor după încercare se prezintă în figura 7.12.

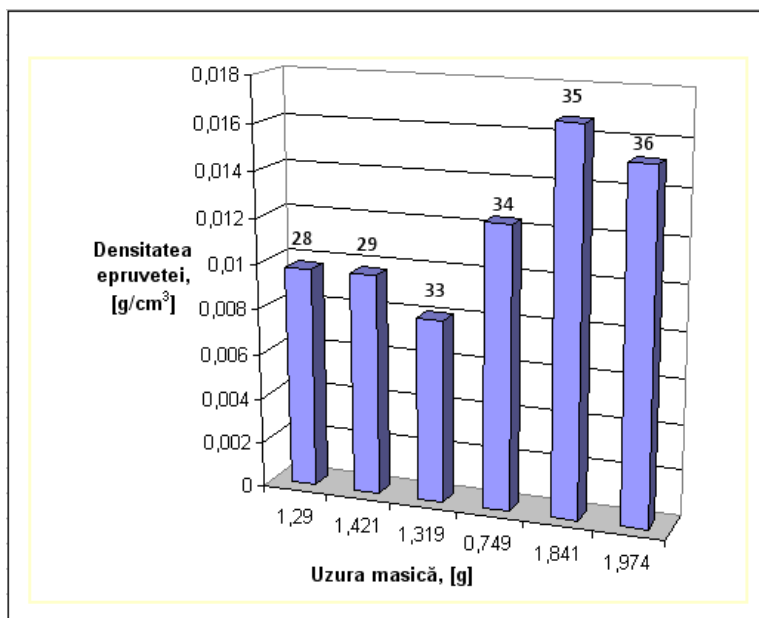


Fig.7.11. Variația uzurii masice în funcție de densitatea epruvetelor



Fig.7.12. Epruvetele după încercarea la uzarea abrazivă

7.2.5. Încercarea la uzare cu placă de oțel

În final pe același stand în locul hârtiei abrazive s-a folosit o placă de oțel (S 355 JR). În aceleași condiții a fost supusă încercării la uzarea abrazivă o epruvetă produsă după rețeta 36 și o epruvetă din fontă fosforoasă P10. Imagini din timpul încercării se prezintă în figura 7.13.

Parametrii încercării au fost:

- viteza tangențială de alunecare a epruvetei are valoarea medie $V_a = 0,209$ m/s;
- lungimea parcursului de uzare în spirală rezultă din compunerea celor două mișcări (de rotație și de avans) și are valoarea de 70 m;
- aplicarea epruvetei asigură o poziție perpendiculară pe suprafața discului rotativ cu o abatere sub 2° ;
- epruveta are forma cilindrică cu dimensiunile $\varnothing 14 \times 30$ mm;
- presiunea de apăsare a epruvetei pe hârtia abrazivă este de $0,4$ N/mm²;
- lungimea parcursului în spirală asigură o uzură masică măsurabilă la o balanță analitică cu precizia de 0,001 g.



Fig.7.13. Încercarea la uzarea abrazivă pe placa de oțel

Rezultatele măsurătorilor se prezintă în tabelul 7.7 iar interpretarea rezultatelor se prezintă în tabelul 7.8.

Tab.7.7. Rezultatele măsurătorilor la încercarea pe disc de oțel a epruvetelor

Nr. crt.	Nr. epruvetă	Masa inițială a epruvetei m_0 , [g]	Masa finală a epruvetei m_f , [g]	Lungimea inițială a epruvetei l_i , [mm]	Lungimea finală a epruvetei l_f , [mm]	Timpul de încercare t , [min]
1	36 - S	8,267	8,259	30,3	30,25	7,08
2	1- F	31,205	31,204	30,25	30,24	7,08

Tab.7.8. Interpretarea rezultatelor la încercarea pe disc de oțel a epruvetelor

Nr. crt.	Nr. epruvetă	Uzura masică $u = m_0 - m_f$, [g]	Parcursul de uzare Lu , [m]	Uzura masică de parcurs $U_p = u / Lu$ [g/m]
1	36 -S	0,008	70	0,000011
2	1- F	0,001	70	0,000014

7.2.6. Concluzii

Din analiza experimentărilor efectuate și a rezultatelor obținute din prelucrarea datelor rezultă următoarele concluzii:

- cea mai mare rezistență la uzarea abrazivă o are epruveta 34;
- acest lucru se explică prin adaosul de 7% grafit la care se adaugă și creșterea cantității de fibră carbonică de la aproximativ 10% la valoarea de 12,5%;
- rezistența la uzare nu depinde de densitatea epruvetei din material compozit;
- rezistența la uzare abrazivă este satisfăcătoare și în cazul epruvetelor 28, 29 și 33 care au în componența lor adaos de cauciuc cu cantitate moderată de sulf;
- epruveta 33 are o rezistență la uzare abrazivă apropiată de a epruvetei 28.
- diferența de uzură masică dintre epruveta din material fontă și cea din material compozit, la încercarea pe placă de oțel este de 0,00003g/m., deci de 21,5%, ceea ce justifică și din acest punct de vedere importanța cercetărilor efectuate. Acest lucru arată că rezistența la uzarea abrazivă nu depinde foarte mult de cantitatea părții metalice din masa epruvetei și nici de granulația acesteia.

7.3. Determinarea la uzare pe instalația Tribometru Universal UMT-2 (CETR®, SUA)

7.3.1. Obiectivul experimentărilor

Testarea tribologică a probelor s-a efectuat la Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați în cadrul departamentului de Inginerie Mecanică condus de Prof. Dr. ing. Lorena Deleanu.

Cercetarea tribologică a probelor din material compozit are ca obiective influența unor factori de material (concentrația și natura constituenților) și a unor parametri a regimului de lucru (forța de apăsare, viteza de alunecare, timpul de încercare, regimul de frecare) asupra caracteristicilor tribologice a probelor testate, proceselor care au loc în straturile superficiale și a posibilităților de modelare a acestora în sensul dorit. În acest sens se va observa [91-95]:

- evoluția unui parametru de uzură;
- evoluția coeficientului de frecare;
- evoluția temperaturii în zona de contact.

Analiza ulterioară a stratului superficial permite explicarea valorilor coeficientului de frecare și a parametrilor de uzură, evaluarea calității suprafețelor uzate și dispersia materialelor de adaos precum și formularea unui model matematic care să permită realizarea unei tribo-modelări utilizabile în predicția funcționării tribo-sistemului real.

7.3.2. Prezentarea instalației și modul de lucru

Aparatul folosit la testarea tribologică este un Tribometru universal UMT2 prezentat schematic în figura 7.14 [90].

Pe acest tribo-tester se poate monta modulul pentru testele știft pe disc (pin on disk) unde se studiază contactul dintre cele două epruvete. Echipamentul permite rotirea discului în timp ce știftul este fix și poate efectua doar mișcări de poziționare în raport cu discul în plan vertical și în plan orizontal. Știftul poate fi încărcat cu forțe

de apăsare reglabile. Tribometru Universal UMT-2 (CETR®, SUA) permite realizarea testelor știft pe disc și vizualizarea variației parametrilor introduși (forța normală F_N , care este notată cu F_x în softwar-ul aparatului) cât și a parametrilor măsurați care pot fi selectați după necesitate. În figura 7.15 se prezintă un exemplu de vizualizare a parametrilor pe monitorul tribometrului.

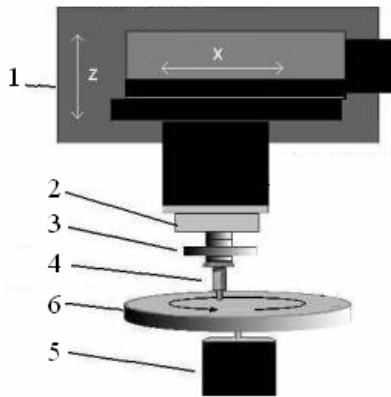


Fig.7.14. Configurația modului știft pe disc UMT-2(CETR®, SUA):
1- senzor dublu pentru forța de frecare și încărcarea, 2 - sistem de suspensie; 3 - suport știft, 4 - știft, 5 - masa-suport pentru disc, 6 - disc

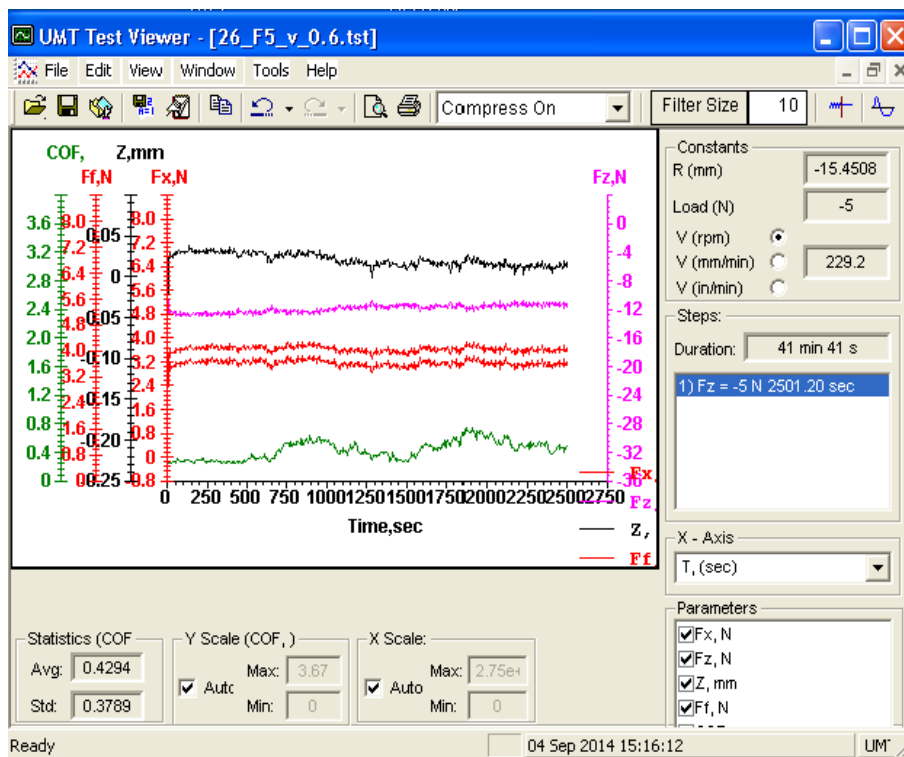


Fig.7.15. Parametrii măsurați în timpul încercării și modul de vizualizare a lor pe monitorul tribometrului

Pentru fiecare treaptă de viteză de alunecare se calculează timpul necesar parcurgerii distanței de 1500 m în condiții de laborator. Fiecare test s-e realizează la o rază de 25 mm de la centrul discului până la axa știftului, pe fiecare disc rezulta o singură urmă de uzură. Uzura s-a măsurat pentru fiecare disc în parte (uzura la știft fiind neglijabilă), ca pierdere de masă între valoarea măsurată inițial și valoarea măsurată la finalul testului. După uscarea probelor în urma curățirii cu alcool acestea se cântăresc cu o balanță digitală Denver Instrument PK - 352 cu o precizie de $\pm 0,01$ mg. S-au realizat două cântăriri succesive luând în calcul media acestora. Camera termografică FLIR „Therma CAM Quick View” – permite descărcarea de imagini de la un aparat de fotografiat în infraroșu la un PC precum și captarea imaginilor de la distanță în aparatul de fotografiat. Aceste capturi pot furniza informații cu privire la evoluția temperaturii în punctul de contact dintre știft și disc precum și temperatura urmei de contact.

Microscopul optic Olympus permite analiza stratului superficial și remarcarea aspectului urmelor de uzură cu posibilitatea de a trage concluzii cu privire la dispersia materialelor de adaos folosite la fabricarea probelor.

7.3.3. Experimentări și rezultate

Materialele studiate se testează în condiții de alunecare uscată, pentru presiuni medii normale de 0,17 Mpa și 0,34 MPa și viteze de alunecare $v = 0,4$ m/s, 0,6 m/s și 0,8 m/s folosindu-se discuri din materialul sabotului (material compozit) și știfturi din oțel marca LV, cu duritate de 214 – 245 HB și $Ra=0,6..08$ μm . În figurile 7.16-7.17 se prezintă forma și dimensiunile tribo-elementelor supuse testării.

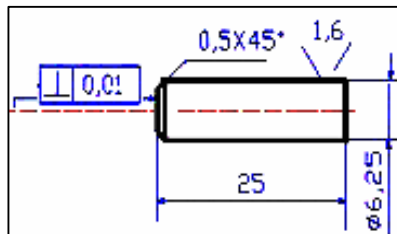


Fig.7.16. Forma și dimensiunile știftului din material compozit

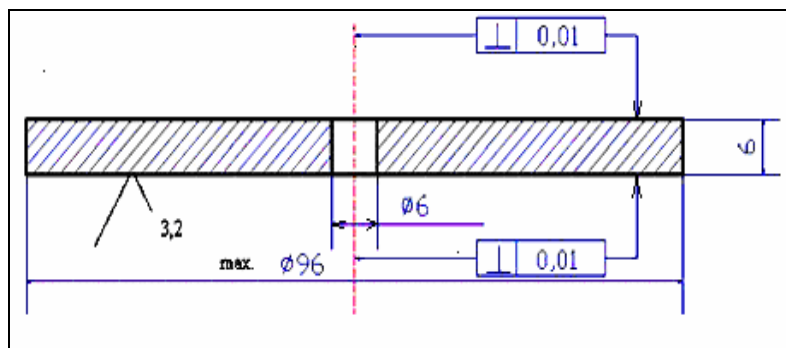


Fig.7.17. Forma și dimensiunile discului din material compozit

Cu ajutorul unei camere termografice se înregistrează temperatura dezvoltată la frecarea știft pe disc în trei zone diferite ale probei de material compozit.

7.3.3.1. Evoluția parametrului de uzură

a) Experimentări și rezultate

Se urmărește evoluția ratei de uzură liniară a probelor la diferite presiuni și viteze de alunecare. Rata de uzură liniară la o încercare se calculează cu relația :

$$W_e = \frac{\Delta_m}{F \cdot L}, [\text{g/N}\cdot\text{km}] \quad (7.7)$$

unde: $\Delta_m = m_i - m_f$, [g];

m_i - masa inițială a probei;

m_f - masa finală a probei rezultate în urma încercării prin cântărire cu o balanță electronică;

F - forța normală aplicată la tribometru;

L - distanța de alunecare.

Datele încercării cu sarcina F = 5 N sunt prezentate în tabelul 7.9.

Tab.7.9. Datele inițiale ale încercării la tribometru cu F=5N

Forța F = 5 N	Viteza de alunecare [m/s]	Masa inițială a probei, [g]	Masa finală a probei, [g]	Uzura masică Δ_m , [g]
Proba 26	0,4	48,6826	48,6325	0,0501
	0,6	48,6325	48,6010	0,0315
	0,8	48,6010	48,5810	0,0200
Proba 27	0,4	46,0631	46,0500	0,0131
	0,6	46,0817	46,0631	0,0186
	0,8	46,1114	46,0817	0,0297
Proba 30	0,4	52,7388	52,7159	0,0229
	0,6	52,7621	52,7388	0,0233
	0,8	52,8148	52,7621	0,0527
Proba 31	0,4	55,7905	55,7162	0,0743
	0,6	55,7162	55,6965	0,0197
	0,8	55,6965	55,6848	0,0117
Proba 32	0,4	55,8510	55,8260	0,0250
	0,6	55,8260	55,8094	0,0166
	0,8	55,8094	55,7963	0,0131
Proba38	0,4	51,2135	51,0911	0,1224
	0,6	51,0911	51,0624	0,0287
	0,8	51,0624	51,0442	0,0182

În tabelul 7.10 se prezintă rata de uzură liniară pentru fiecare probă de material folosind ca parametrii de încercare forța normală $F = 5\text{ N}$ și distanța de alunecare constantă $L = 1500\text{ m}$.

Datele experimentale obținute cu privire la uzura liniară au fost prelucrate în programul de calcul EXCEL iar rezultatele sunt prezentate sub forma grafică în figurile 7.18; 7.19 și 7.20.

Datele încercării cu sarcina $F = 10\text{ N}$ sunt prezentate în tabelul 7.11

În tabelul 7.12 se prezintă rata de uzură liniară pentru fiecare probă de material folosind ca parametrii de încercare forța normală $F = 10\text{ N}$ și distanța de alunecare constantă $L = 1500\text{ m}$.

Tab.7.10. Rata de uzură liniară a probelor calculată cu relația 1 la sarcina $F=5\text{ N}$

Materialul	Viteza de alunecare, [m/s]	Uzura liniară, [g/N·km]
Proba 26	0,4	0,0066
	0,6	0,0042
	0,8	0,0026
Proba 27	0,4	0,0017
	0,6	0,0024
	0,8	0,0039
Proba 30	0,4	0,0030
	0,6	0,0031
	0,8	0,0070
Proba 31	0,4	0,0099
	0,6	0,0026
	0,8	0,0015
Proba 32	0,4	0,0033
	0,6	0,0022
	0,8	0,0017
Proba 38	0,4	0,0163
	0,6	0,0038
	0,8	0,0024

Tab.7.11. Datele inițiale ale încercării la tribometru cu $F=10\text{ N}$

Forța	Viteza de alunecare	Masa inițială	Masa finală	Uzura masică
0	1	2	3	4
Proba 26	0,4	48,5297	48,5172	0,0125
	0,6	48,5172	48,4655	0,0517
	0,8	48,4655	48,4528	0,0127
Proba 27	0,4	45,9910	45,9806	0,0104
	0,6	45,9806	45,9714	0,0092
	0,8	45,9714	45,9643	0,0071
Proba 30	0,4	52,6769	52,6627	0,0142
	0,6	52,6627	52,6567	0,0060
	0,8	52,6567	52,6496	0,0098

Tab.7.11. (continuare)

0	1	2	3	4
Proba 31	0,4	55,6455	55,6355	0,0100
	0,6	55,6355	55,6253	0,0102
	0,8	55,6253	55,6176	0,0077
Proba 32	0,4	55,7885	55,7660	0,0225
	0,6	55,7660	55,7524	0,0136
	0,8	55,7524	55,7442	0,0082
Proba38	0,4	51,0442	50,9574	0,0868
	0,6	50,9574	50,9286	0,0288
	0,8	50,9286	50,9036	0,0250

Tab.7.12. Rata de uzură liniară a probelor calculată cu relația 1 la sarcina F=10 N

Materialul	Viteza de alunecare, [m/s]	Uzura liniară [g/N·km]
Proba 26	0,4	0,00083
	0,6	0,0034
	0,8	0,00084
Proba 27	0,4	0,00069
	0,6	0,00061
	0,8	0,00047
Proba 30	0,4	0,00094
	0,6	0,0004
	0,8	0,00065
Proba 31	0,4	0,00066
	0,6	0,00068
	0,8	0,00051
Proba 32	0,4	0,0015
	0,6	0,0009
	0,8	0,00054
Proba 38	0,4	0,0057
	0,6	0,0019
	0,8	0,0016

Datele experimentale obținute cu privire la uzura liniară, folosind sarcina F=10 N, au fost prelucrate în programul de calcul EXCEL iar rezultatele sunt prezentate sub forma grafică în figurile 7.21 – 7.23.

În figurile 7.24 – 7.25 se prezintă rata de uzură liniară a probelor prin suprapunerea graficelor la sarcina de 5 N și 10 N.

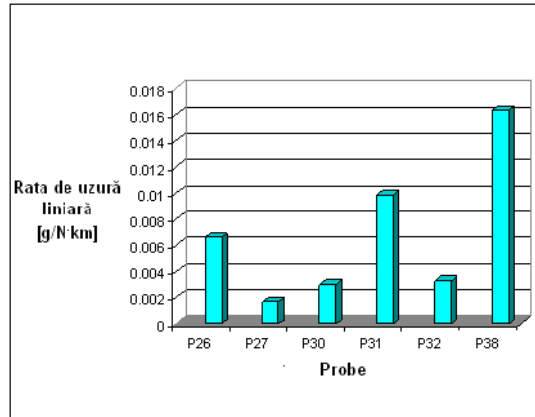


Fig.7.18. Rata de uzură liniară a probelor la $V = 0,4$ m/s, $F=5N$

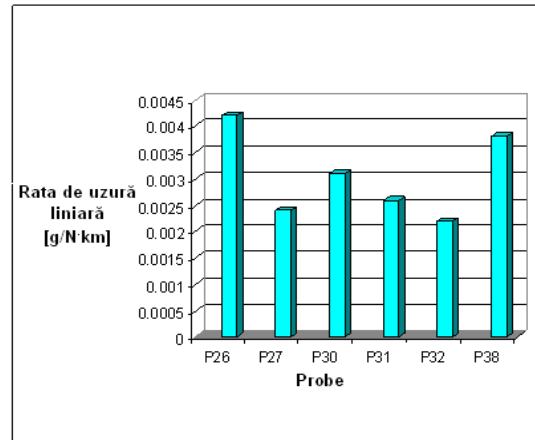


Fig.7.19. Rata de uzură liniară a probelor la $V = 0,6$ m/s, $F=5N$

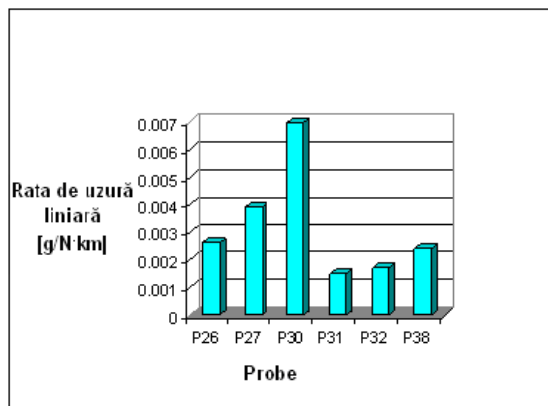
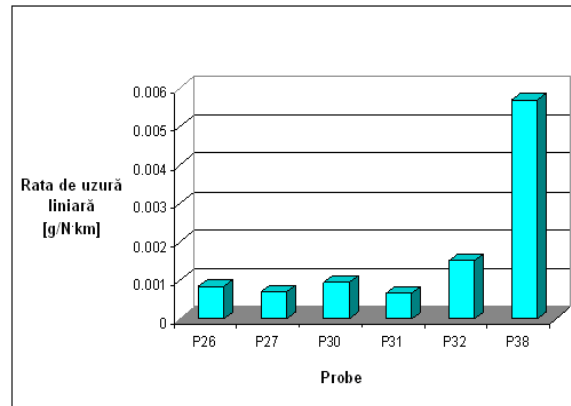
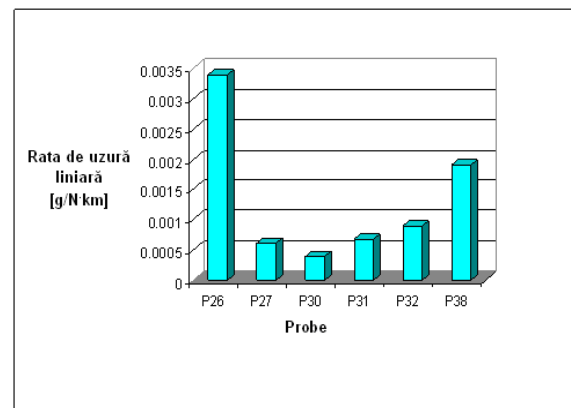
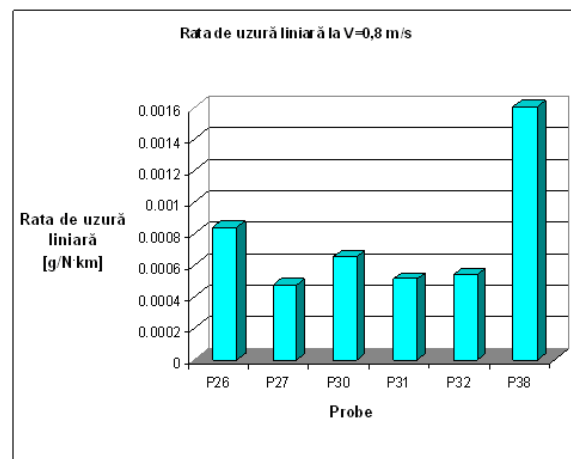


Fig.7.20. Rata de uzură liniară a probelor la $V = 0,8$ m/s, $F=5N$

**Fig.7.21.** Rata de uzură liniară a probelor la $V = 0,4$ m/s, $F=10$ N**Fig.7.22.** Rata de uzură liniară a probelor la $V = 0,6$ m/s, $F=10$ N**Fig.7.23.** Rata de uzură liniară a probelor la $V = 0,8$ m/s, $F=10$ N

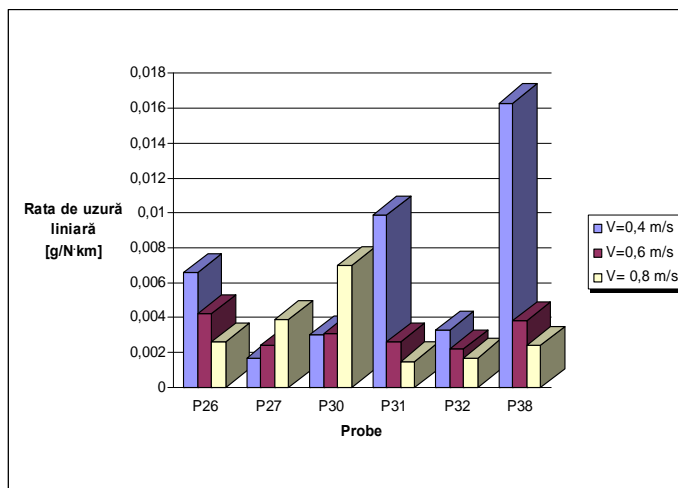


Fig.7.24. Rata de uzură liniară a probelor F=5 N

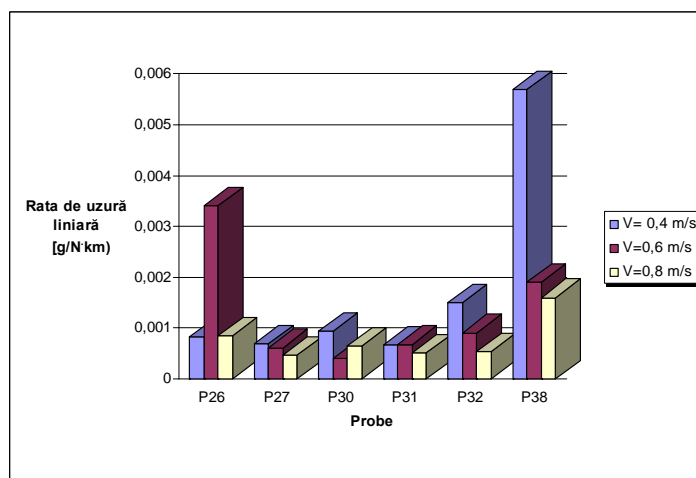


Fig.7.25. Rata de uzură liniară a probelor F= 10 N

b) Concluzii:

- rata de uzură liniară scade cu creșterea vitezei de alunecare;
- rata de uzură liniară scade cu creșterea sarcinii de lucru ;
- cea mai bună comportare la uzare o au probele P27, P31, P32 și P38;
- probele P26 și P30 sunt influențate în mică măsură de creșterea sarcinii de lucru. Pentru proba P26 explicația creșterii ușoare a ratei de uzură liniară cu creșterea sarcinii de lucru constă în conținutul mai redus al probei în sulf cu efect asupra comportamentului cauciucului. Pentru proba P 30 variațiile mici ale ratei de uzură liniară este explicată prin scăderea constituenților metalici din masa probei.

7.3.3.2. Evoluția coeficientului de frecare

Turația n de rotire a discului depinde de viteza de alunecare și raza de lucru iar timpul de desfășurare a fiecărui test, t , depinde de viteza de alunecare. În tabelul 7.13 se prezintă relațiile de calcul folosite la determinarea parametrilor încercărilor.

Tab.7.13. Relații de calcul folosite la determinarea parametrilor încercării

Presiunea [Mpa]	Timpul de testare t [min]	Turația n [rot/min]
$p = Fz / A$	$t = L/v$	$n = 30 \cdot v/r$

Valorile parametrilor încercării rezultate din calcul sau alese sunt prezentate în tabelul 7.14.

Tab.7.14. Parametrii încercării probelor

Viteza de alunecare, [m/s]	Forța de apăsare F_1 [N]	Forța de apăsare F_2 [N]	Turația [rot/min]	Timpul de încercare [s]
0,4	5	10	152,8	3750
0,6	5	10	229,2	2500
0,8	5	10	305,6	1875

Regimul de frecare folosit pentru testare este cel de frecare uscată. Pentru fiecare probă s-a folosit un știft din oțel. Încercările s-au efectuat cu trei viteze de alunecare și două sarcini conform tabelului 7.14. În urma realizării testelor au rezultat datele încercării în fișier text (figura 7.26) precum și graficele parametrilor înregistrate de softwer –ul computerului tribometrului (figura 7.27).

```

26_F5_v_0.4_s.txt - Notepad
File Edit Format View Help
Data File:
1. F:\!!_Lorena\PASCU_\F5\26_F5_v_0.4.tst

[1] Fz = -5 N 3750.97 sec]
      Time      COF
      sec
1.697      0.282
5.102      0.281
8.506      0.278
11.911     0.302
15.315     0.270
18.719     0.296
22.124     0.281
25.528     0.335
28.933     0.366
32.337     0.347
35.742     0.408
39.146     0.398
42.551     0.371
45.955     0.358
  
```

Fig.7.26. Datele încercării probei P26 cu $F=5$ N și $V= 0,4$ m/s până la secunda 45,95

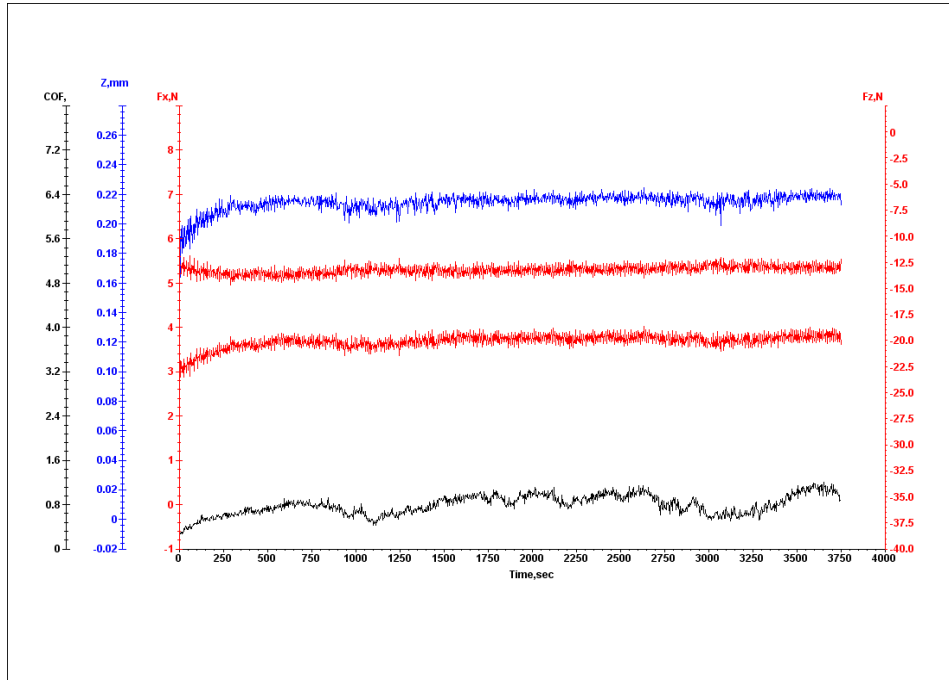


Fig.7.27. Graficele parametrilor mășurați de tribometru la încercarea probei P31 cu $F=5$ N și $V= 0,4$ m/s

a) Date experimentale pentru sarcina $F=5N$

Datele experimentale pentru sarcina $F=5N$ obținute în fișier text din soft-ul computerului tribometrului au fost importate și prelucrate în programul de calcul EXCEL iar rezultatele sunt prezentate sub forma grafică în figurile 7.28 – 7.34.

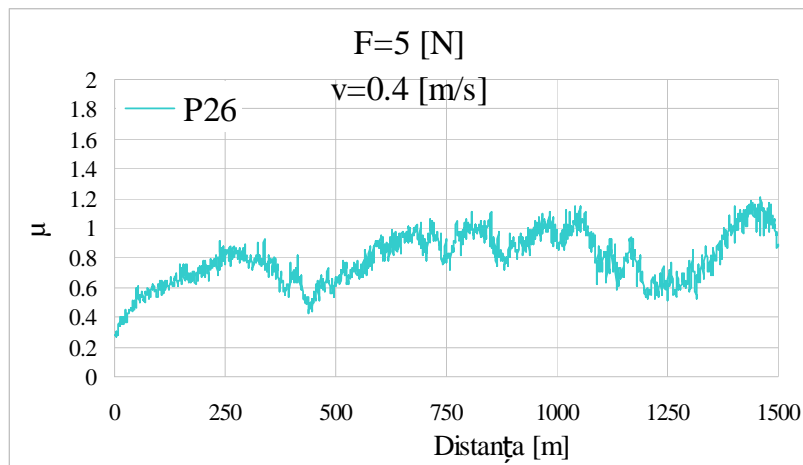


Fig.7.28. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 5N$ și $V= 0,4$ m/s

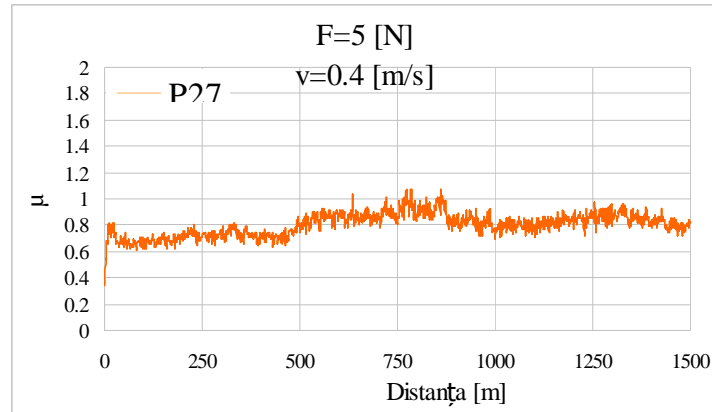


Fig.7.29. Coeficientul de frecare la încercarea probei 27 cu $F= 5$ N și $V= 0,4$ m/s

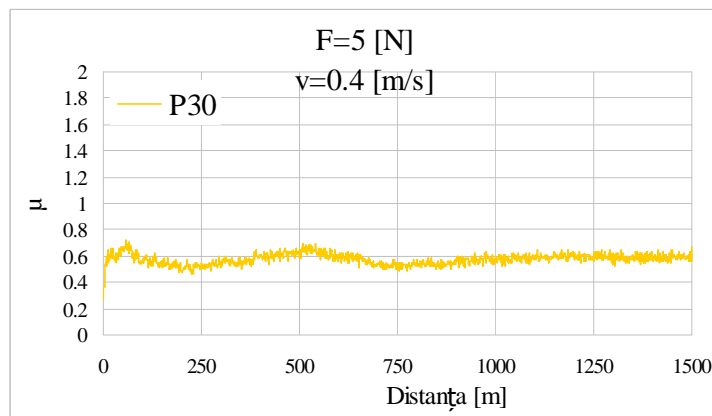


Fig.7.30. Coeficientul de frecare la încercarea probei 30 cu $F= 5$ N și $V= 0,4$ m/s

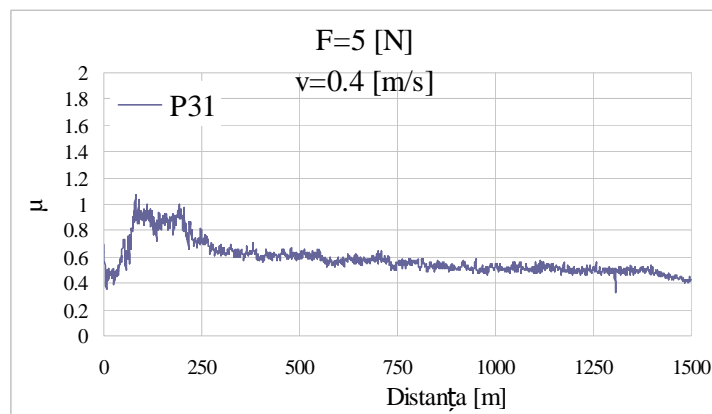


Fig.7.31. Coeficientul de frecare la încercarea probei 31 cu $F= 5$ N și $V= 0,4$ m/s

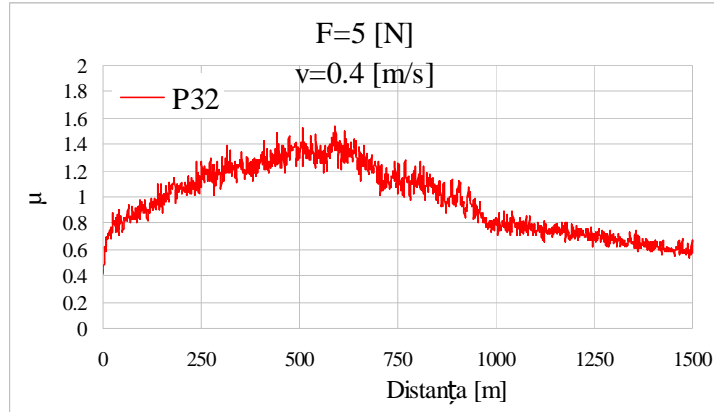


Fig.7.32. Coeficientul de frecare la încercarea probei 32 cu F= 5N și V= 0,4 m/s

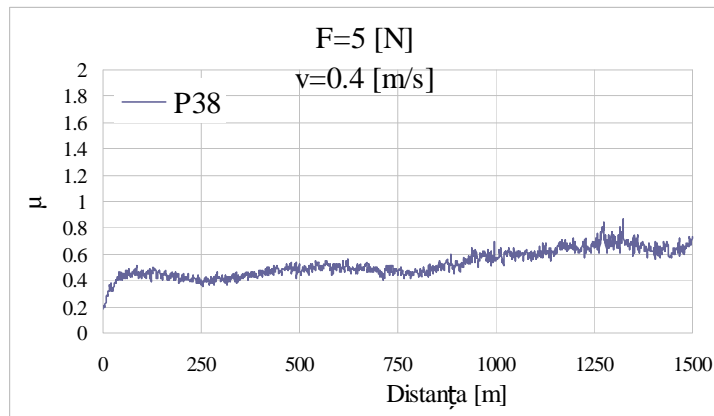


Fig.7.33. Coeficientul de frecare la încercarea probei 38 cu F= 5N și V= 0,4 m/s

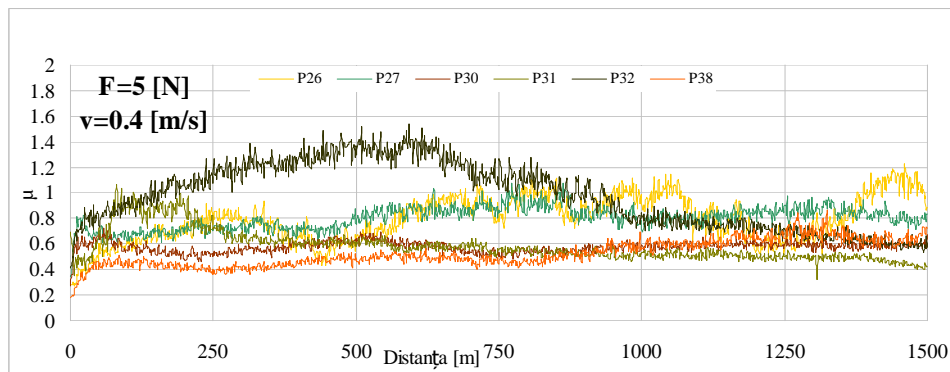
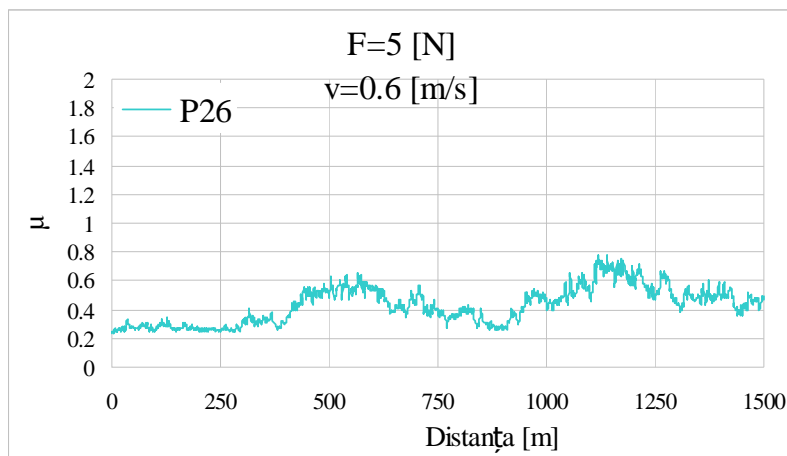
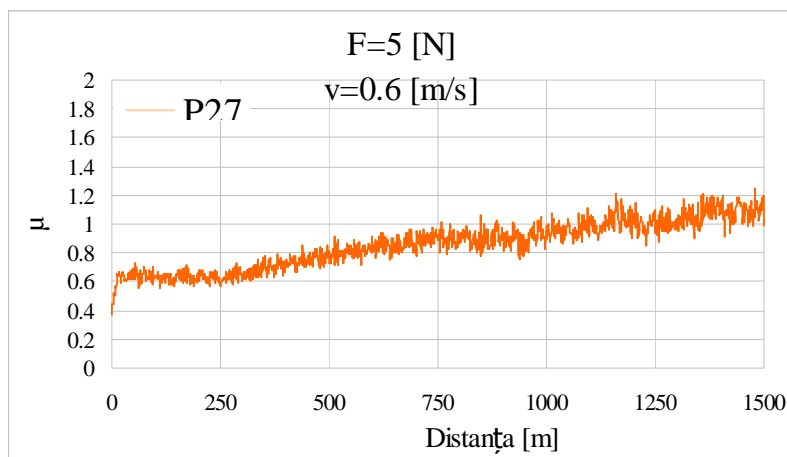


Fig. 7.34. Coeficientul de frecare suprapus la încercarea probelor cu F= 5N și V= 0,4 m/s

b) Concluzii:

- variația coeficientului de frecare la începutul testelor de frecare se explică prin contactul discontinuu dintre pin și disc ca urmare a neregularității suprafeței frontale a probei;
- coeficienții de frecare au valori de peste 0,4 la toate probele fapt care conduce la creșterea eficienței frânării;
- la proba P38 se observă o creștere continuă a coeficientului de frecare pe durata testului cu efect benefic asupra duratei procesului de frânare;
- frânări cu coeficient de frecare constant dar la diverse valori cuprinse între 0,4 - 0,7 asigură și materialul celorlalte probe supuse testului .

**Fig.7.35.** Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 5$ N și $V= 0,6$ m/s**Fig.7.36.** Coeficientul de frecare la încercarea probei 27 cu $F= 5$ N și $V= 0,6$ m/s

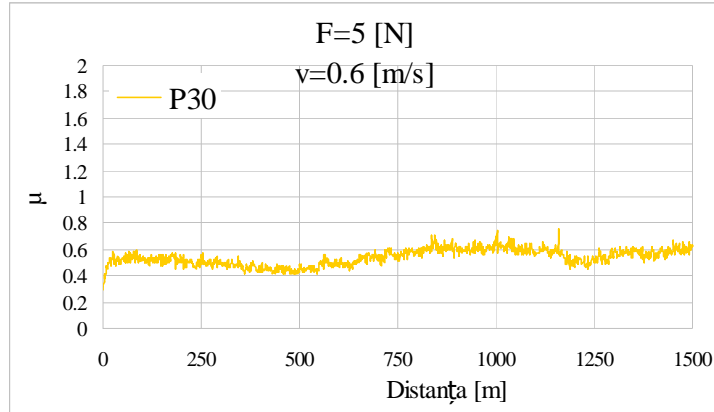


Fig.7.37. Coeficientul de frecare la încercarea probei 30 cu $F= 5$ N și $V= 0,6$ m/s

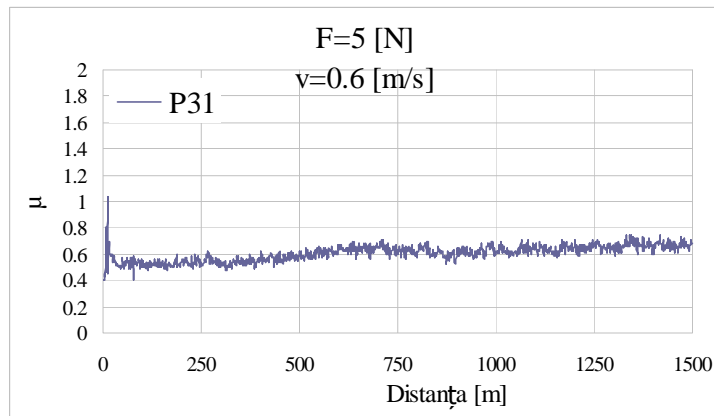


Fig.7.38. Coeficientul de frecare la încercarea probei 31 cu $F= 5$ N și $V= 0,6$ m/s

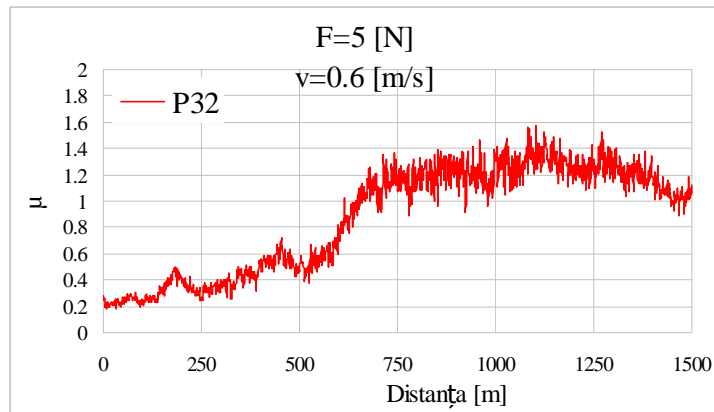


Fig.7.39. Coeficientul de frecare la încercarea probei 32 cu $F= 5$ N și $V= 0,6$ m/s

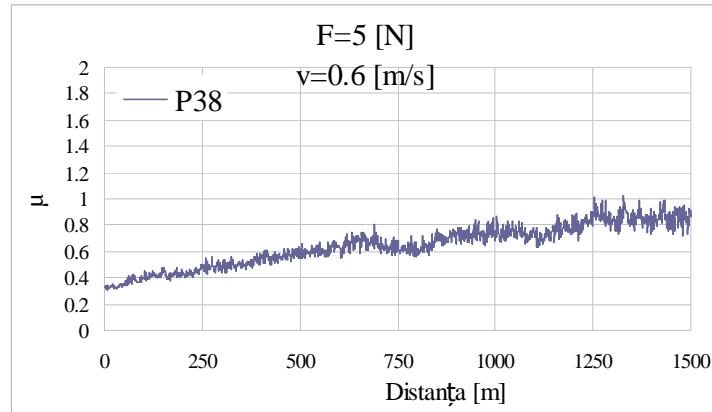


Fig.7.40. Coeficientul de frecare la încercarea probei 38 cu $F= 5\text{N}$ și $V= 0,6\text{m/s}$

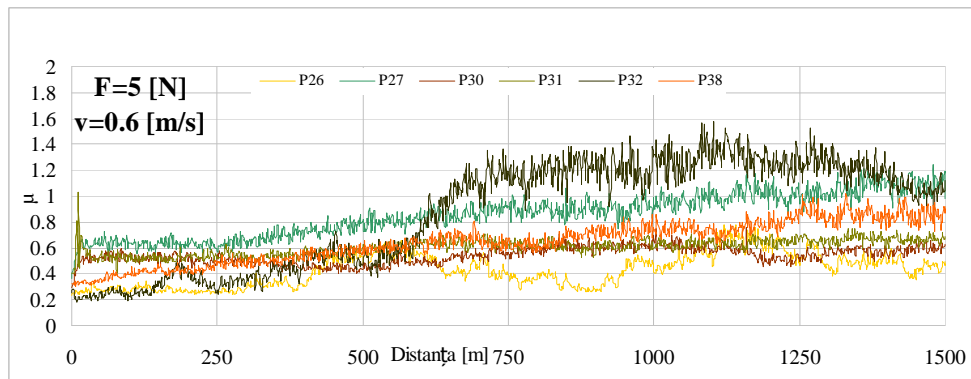


Fig.7.41. Coeficientul de frecare suprapus la încercarea probelor cu $F= 5\text{N}$ și $V= 0,6\text{ m/s}$

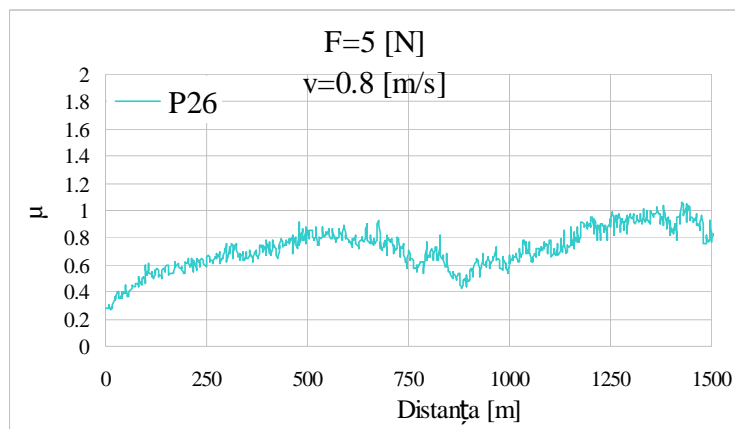


Fig.7.42. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 5\text{N}$ și $V= 0,8\text{m/s}$

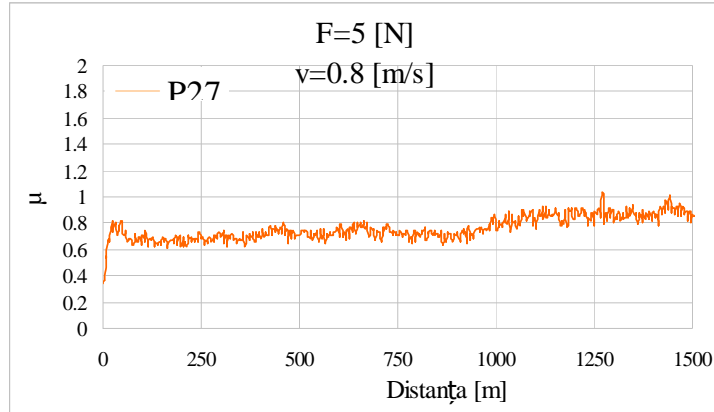


Fig.7.43. Coeficientul de frecare la încercarea probei 27 cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s

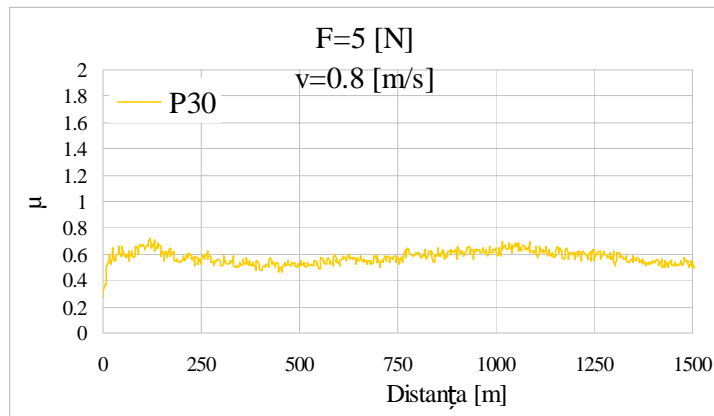


Fig.7.44. Coeficientul de frecare la încercarea probei 30 cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s

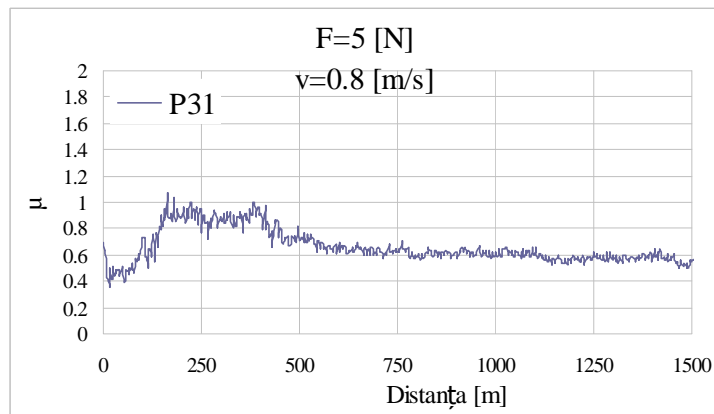


Fig.7.45. Coeficientul de frecare la încercarea probei 31 cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s

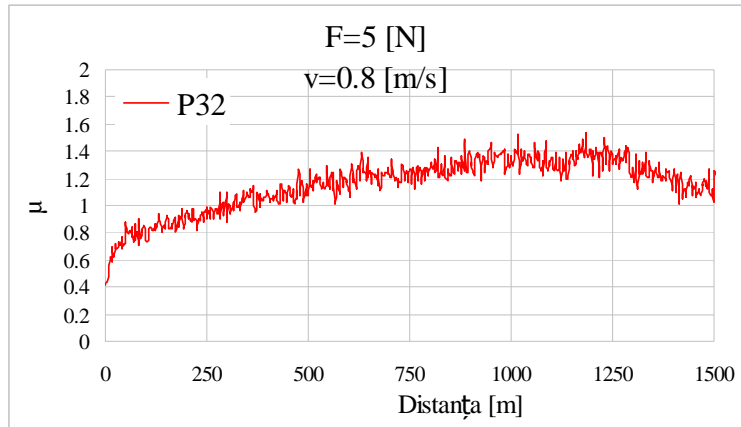


Fig.7.46. Coeficientul de frecare la încercarea probei 32 cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s

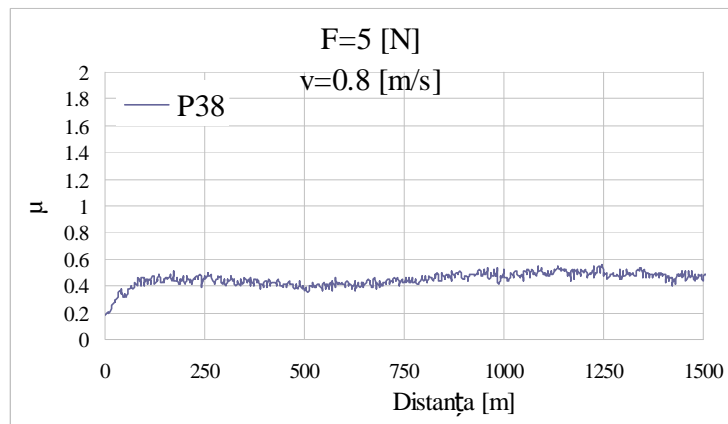


Fig.7.47. Coeficientul de frecare la încercarea probei 38 cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s

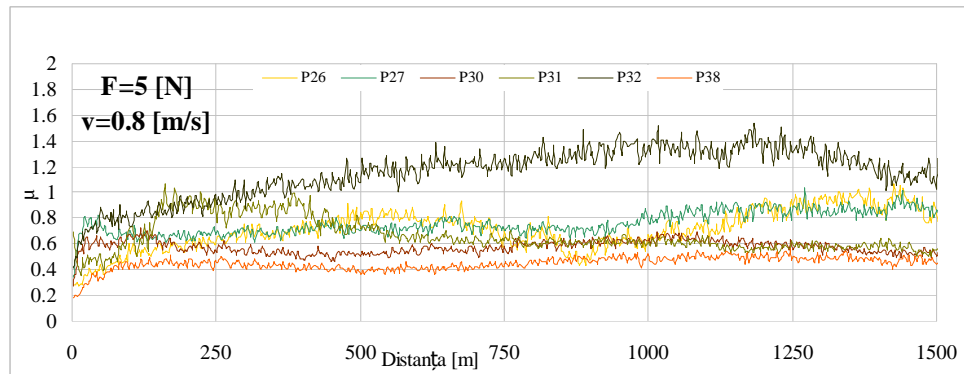


Fig.7.48. Coeficientul de frecare suprapus la încercarea probelor cu $F= 5$ N și $V= 0,8$ m/s

Concluzii:

- cu creșterea vitezei de alunecare la aceeași sarcină se observă o evoluție crescătoare a coeficientului de frecare cu creșterea distanței parcurse la majoritatea probelor ;
- coeficienții de frecare au valori bune cu excepția probei P26;
- se păstrează evoluția aproximativ constantă a coeficientului de frecare în funcție de distanța de lucru;
- la proba P38 se observă o scădere a coeficientului de frecare de la 0,7 la o valoare cuprinsă între 0,4 – 0,6.

Regimul de frecare folosit pentru testarea cu $F = 10$ N este tot cel de frecare uscată. Pentru fiecare probă s-a folosit un știft din oțel. Încercările s-au efectuat cu trei viteze de alunecare . În urma realizării testelor au rezultat datele încercării în fișier text (figura 7.49) precum și graficele parametrilor înregistrate de softwer –ul computerului tribometruului (figura 7.50). Datele experimentale pentru sarcina $F = 10$ N obținute în fișier text din software-ul calculatorului tribometruului au fost importate și prelucrate în programul de calcul EXCEL iar rezultatele sunt prezentate sub forma grafică în figurile 7.51 – 7.71.

```

26_F10_v_0.6.s.txt - Notepad
File Edit Format View Help
Data File:
1. F:\!!_Lorena\PASCU_\F10\26_F10_v_0.6.tst

[1] Fz = -10 N 2501.15 sec]
  Time      COF
  sec
  1.128     0.264
  3.395     0.329
  5.661     0.345
  7.927     0.331
  10.193    0.324
  12.460    0.390
  14.726    0.382
  16.992    0.447
  19.258    0.420
  21.525    0.490
  23.791    0.473
  26.057    0.493
  28.323    0.485
  30.590    0.481

```

Fig.7.49. Datele încercării probei

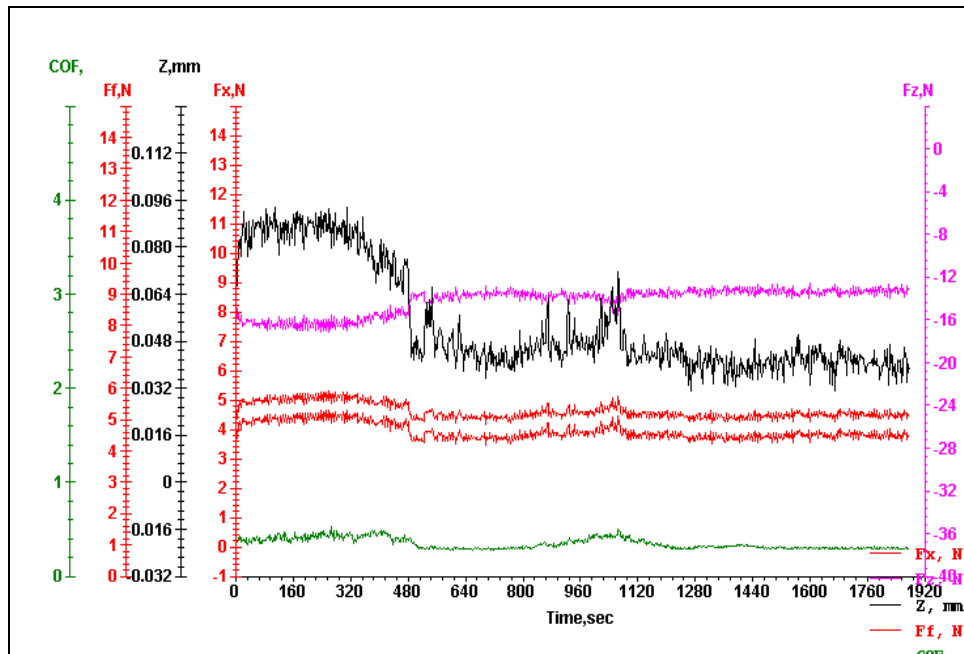


Fig.7.50. Graficele parametrilor mășurați de tribometru la încercarea probei P26 cu $F=10$ N și $V= 0,8$ m/s

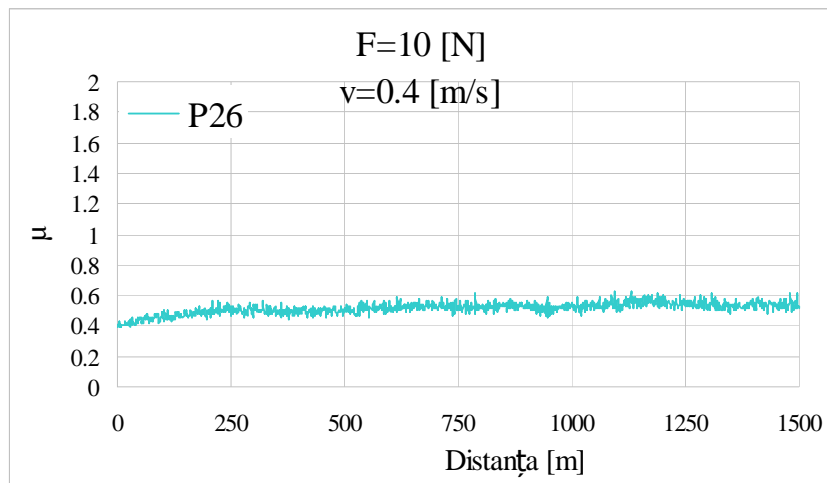


Fig.7.51. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 10$ N și $V= 0,4$ m/s

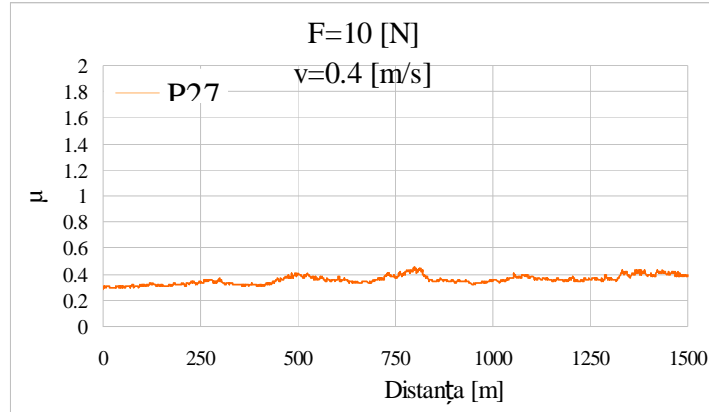


Fig.7.52. Coeficientul de frecare la încercarea probei 27 cu $F= 10$ N și $V= 0,4$ m/s

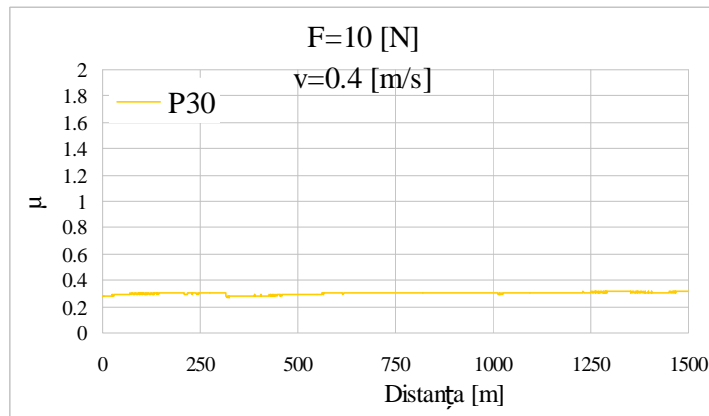


Fig.7.53. Coeficientul de frecare la încercarea probei 30 cu $F= 10$ N și $V= 0,4$ m/s

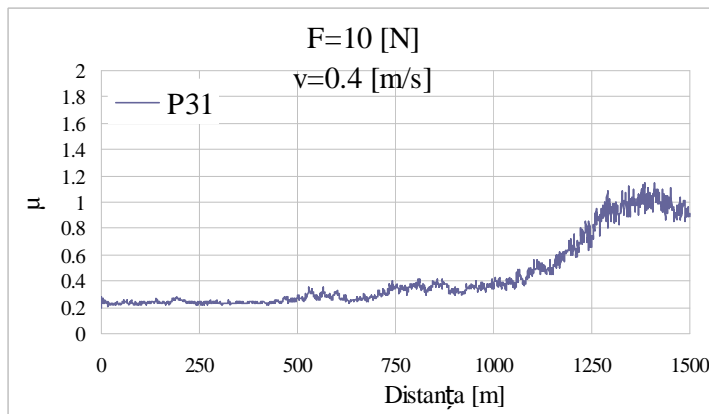


Fig.7.54. Coeficientul de frecare la încercarea probei 31 cu $F= 10$ N și $V= 0,4$ m/s

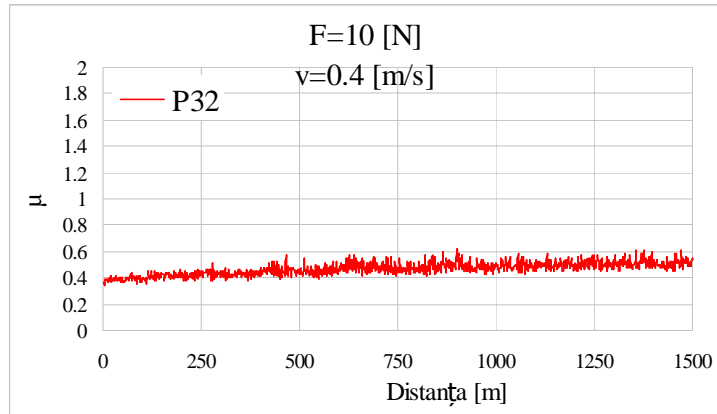


Fig.7.55. Coeficientul de frecare la încercarea probei 32 cu $F= 10\text{N}$ și $V= 0,4 \text{ m/s}$

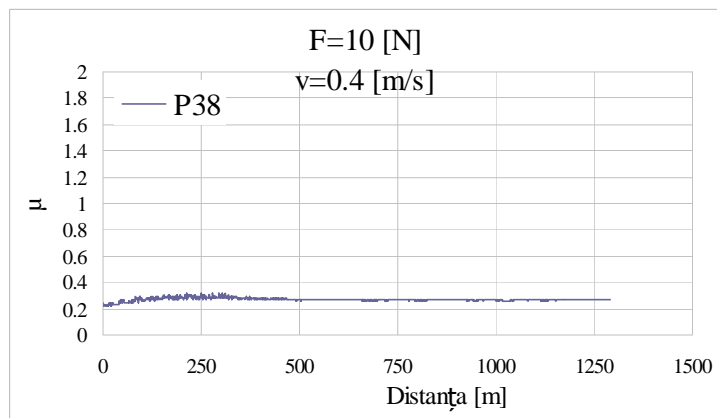


Fig.7.56. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 10\text{N}$ și $V= 0,4 \text{ m/s}$

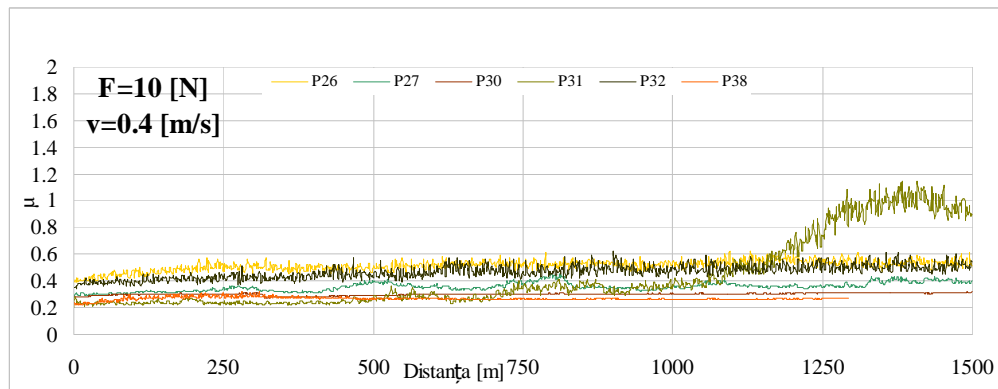


Fig.7.57. Coeficientul de frecare suprapus la încercarea probelor cu $F= 5\text{N}$ și $V= 0,4 \text{ m/s}$

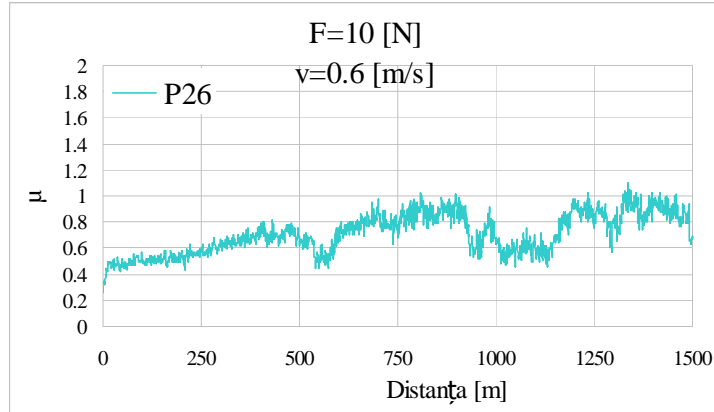


Fig.7.58. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 10\text{N}$ și $V= 0,6\text{ m/s}$

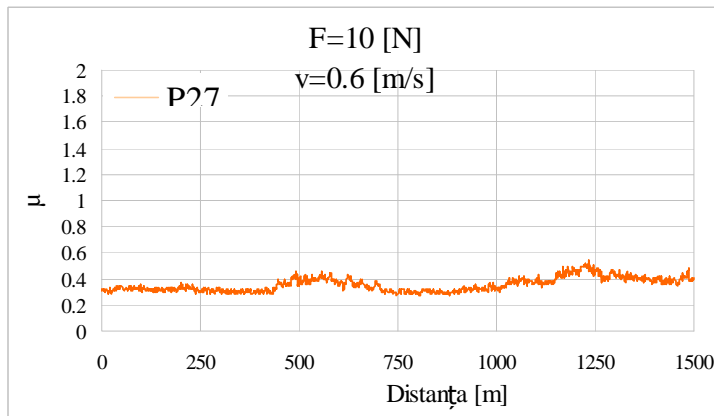


Fig.7.59. Coeficientul de frecare la încercarea probei 27 cu $F= 10\text{N}$ și $V= 0,6\text{ m/s}$

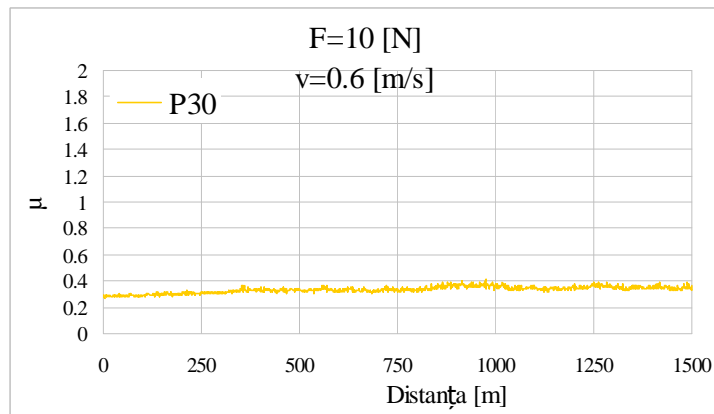


Fig.7.60. Coeficientul de frecare la încercarea probei 30 cu $F= 10\text{N}$ și $V= 0,6\text{ m/s}$

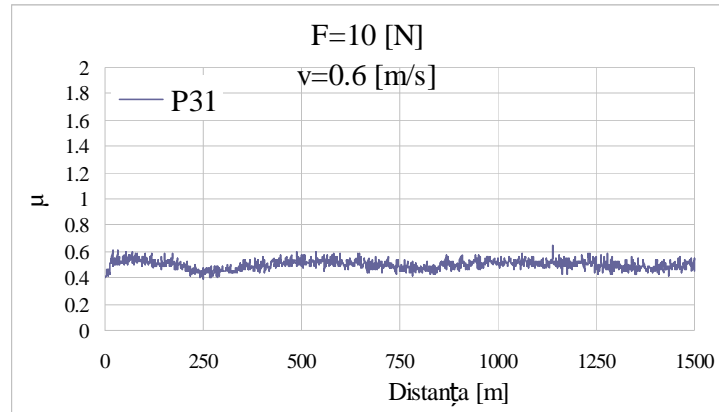


Fig.7.61. Coeficientul de frecare la încercarea probei 31 cu $F= 10$ N și $V= 0,6$ m/s

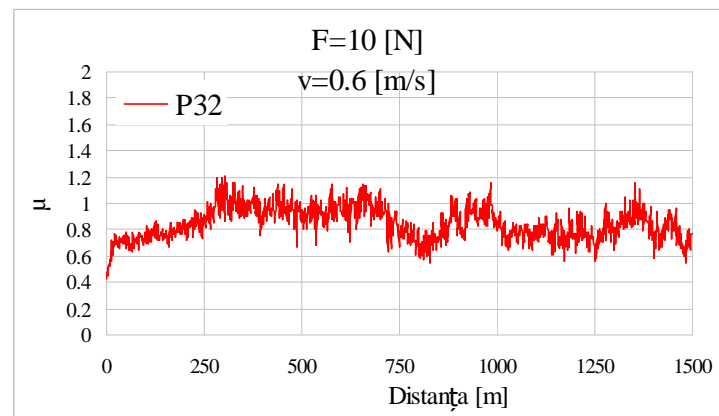


Fig.7.62. Coeficientul de frecare la încercarea probei 32 cu $F= 10$ N și $V= 0,6$ m/s

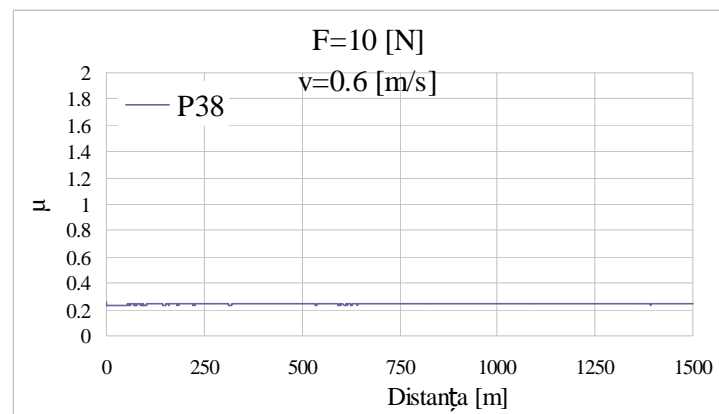


Fig.7.63. Coeficientul de frecare la încercarea probei 38 cu $F= 10$ N și $V= 0,6$ m/s

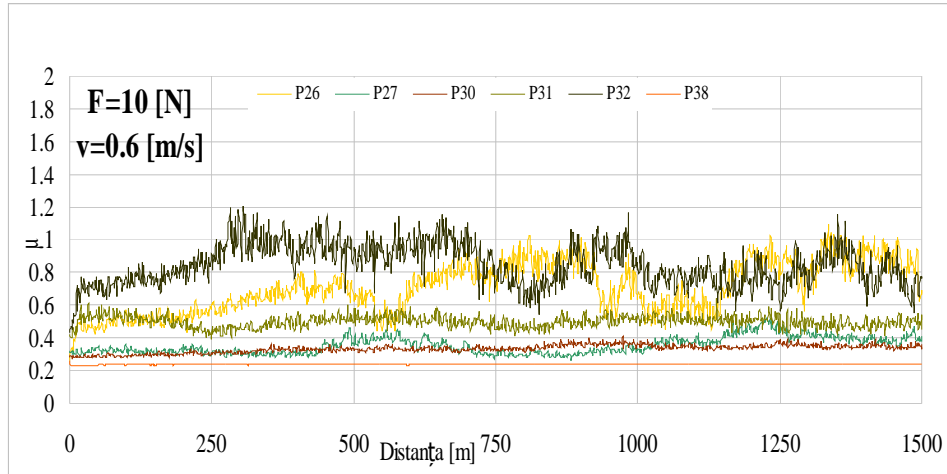


Fig.7.64. Coeficientul de frecare suprapus la încercarea probelor cu $F= 10$ N și $V= 0,6$ m/s

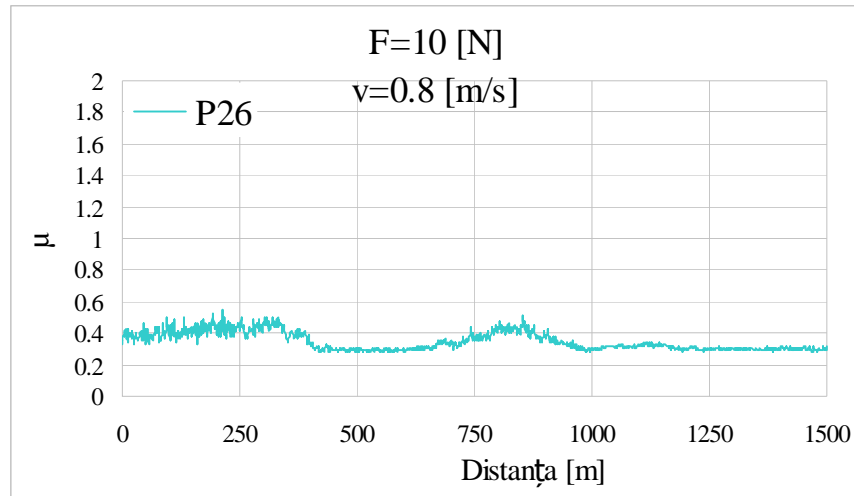


Fig.7.65. Coeficientul de frecare la încercarea probei 26 cu $F= 10$ N și $V= 0,8$ m/s

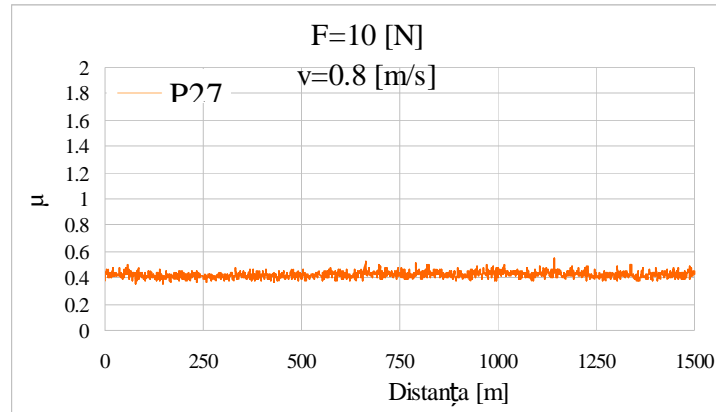


Fig.7.66. Coeficientul de frecare la încercarea probei 27 cu $F= 10$ N și $V= 0,8$ m/s

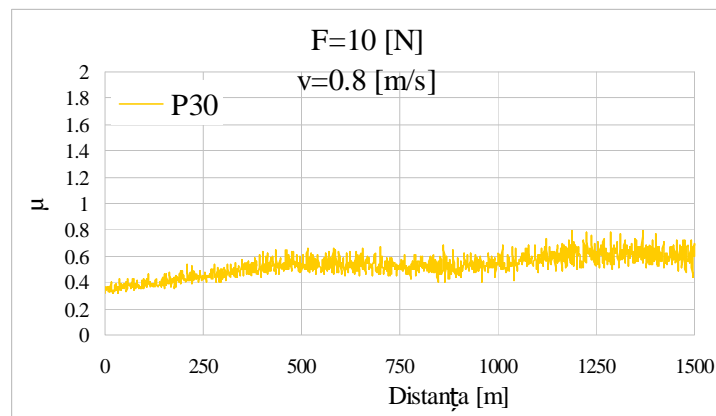


Fig.7.67. Coeficientul de frecare la încercarea probei 30 cu $F= 10$ N și $V= 0,8$ m/s

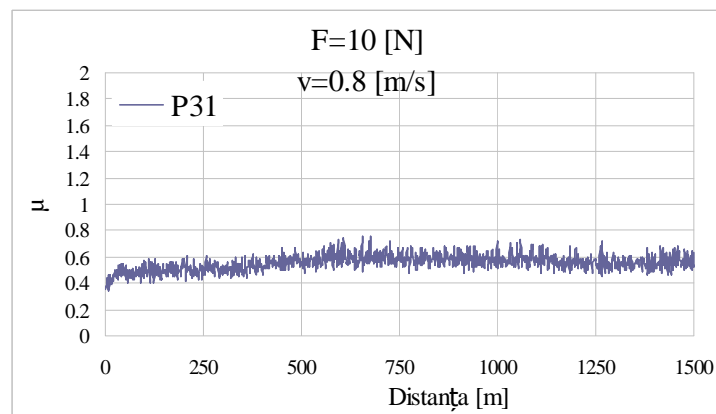


Fig.7.68. Coeficientul de frecare la încercarea probei 301cu $F= 10$ N și $V= 0,8$ m/s

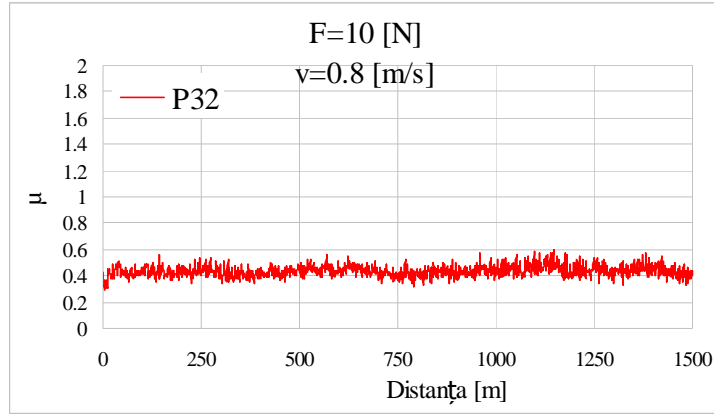


Fig.7.69. Coeficientul de frecare la încercarea probei 32 cu $F= 10\text{N}$ și $V= 0,8$ m/s

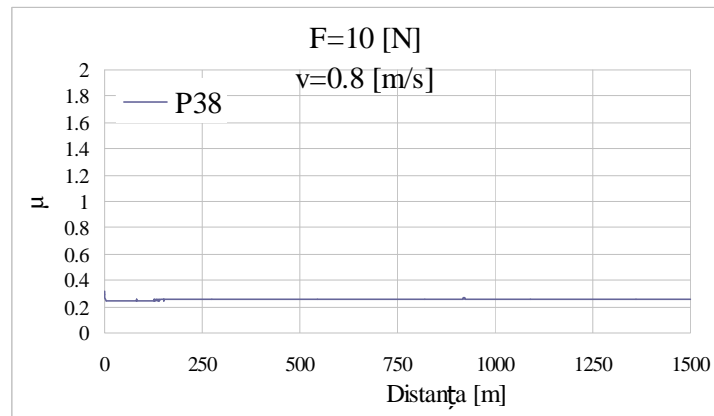


Fig.7.70. Coeficientul de frecare la încercarea probei 38 cu $F= 10\text{N}$ și $V= 0,8$ m/s

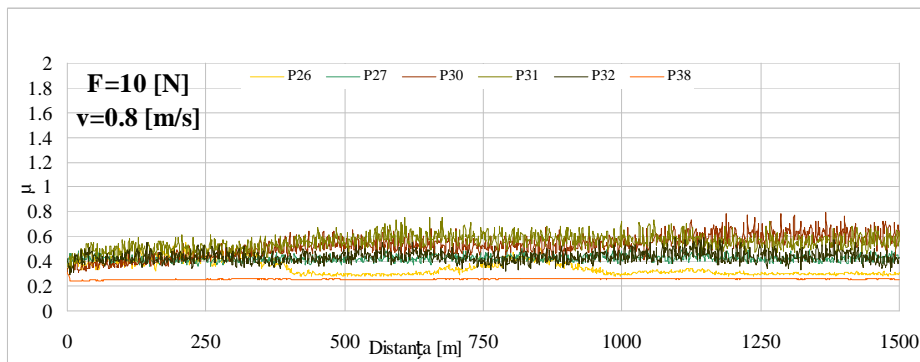


Fig.7.71. Coeficientul de frecare suprapus la încercarea probelor cu $F= 10\text{N}$ și $V= 0,8$ m/s

Concluzii:

- cu creșterea sarcinii de lucru la aceeași viteză de alunecare coeficienții de frecare scad dar devin stabili în timp;
- excepție de la această observație face materialul probei P31 la care spre finalul încercării coeficientul crește către valoarea de 0,8;
- creșterea sarcinii la viteza de alunecare de 0,6 m/s nu modifică esențial evoluția coeficientului de frecare. Totuși la unele probe el scade puțin dar își păstrează o evoluție destul de constantă.
- toate probele au o evoluție relativ constantă a coeficientului de frecare pe durata încercării ;
- coeficientul de frecare scade cu creșterea sarcinii și vitezei la probele 26 și 38 urmând ca la celelalte probe să se mențină peste 0,4 .

7.4. Evoluția câmpului termic în zona de contact**7.4.1. Aparatură și mod de lucru**

Câmpul termic a fost măsurat cu ajutorul unei Camere termografice FLIR „Therma CAM Quick View” care permite descărcarea de imagini de la un aparat de fotografiat în infraroșu la un PC precum și captarea imaginilor de la distanță în aparatul de fotografiat. Imaginile captate pot furniza informații cu privire la evoluția temperaturii în punctul de contact dintre știft și disc precum și temperatura urmei de contact.

Încercarea s-a realizat pe un stand de laborator pentru studiul uzurii prin metoda știft pe disc aflat în dotarea Laboratorului de Organe de Mașini din cadrul Facultății de Inginerie din Hunedoara prezentat în figura 7.72.

Turația n de rotire a discului depinde de viteza de alunecare și raza de lucru iar timpul de desfășurare a fiecărui test depinde de viteza de alunecare. În tabelul 7.15 se prezintă relațiile de calcul folosite la determinarea parametrilor încercărilor.

Valorile parametrilor încercării rezultate din calcul sau alese sunt prezentate în tabelul 7.16.



Fig.7.72. Stand de laborator pentru studiul uzurii prin metoda știft pe disc

Tab.7.15. Relații de calcul utilizate la determinarea parametrilor încercărilor

Presiunea [Mpa]	Timpul de testare T , [min]	Viteza de alunecare [m/s]	Viteza unghiulară [rad/s]
$p = Fz / A$	$t = L/v$	$V = \omega R$	$\omega = \pi n / 30$

Tab.7.16. Parametrii încercării probelor

Viteza de alunecare [m/s]	Raza de încercare a probei disc [mm]	Presiunea sau încărcarea specifică [Mpa]	Forța de apăsare F [N]	Lungimea parcursă la încercare [m]	Turația probei disc [rot/min]	Timpul de încercare [s]
3,92	25	0,19	5,5	500	1500	127,55
3,92	25	0,19	5,5	1000	1500	255,10
3,92	25	0,19	5,5	1500	1500	382,65
3,92	25	0,19	5,5	2000	1500	510,20
3,92	25	0,19	5,5	2500	1500	637,75
3,92	25	0,19	5,5	3000	1500	765,30

Regimul de frecare folosit pentru testare este cel de frecare uscată. Au fost testate două probe, una din material compozit iar cealaltă din fontă fosforoasă. Pentru fiecare probă s-a folosit un știft din oțel.

7.4.2 Experimentări pentru discuri din material compozit

7.4.2.1. Rezultate experimentale obținute

În figurile 7.73–7.80 sunt prezentate imaginile care arată evoluția temperaturii în punctul de contact dintre știft și disc precum și temperatura urmei de contact pentru proba disc din material compozit.

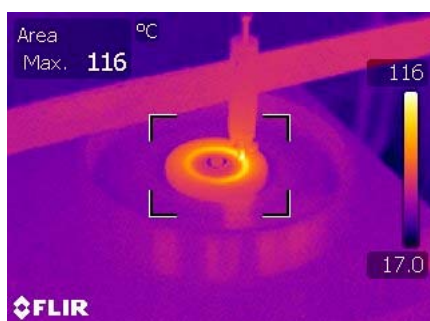


Fig.7.73. Evoluția temperaturii la lungimea L = 500m

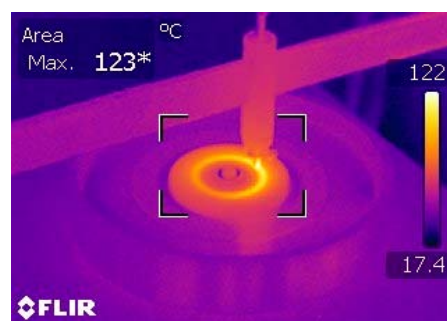


Fig.7.74. Evoluția temperaturii la lungimea L = 1000m

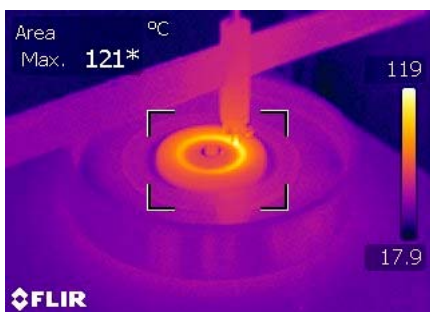


Fig.7.75. Evoluția temperaturii la lungimea L = 1500m

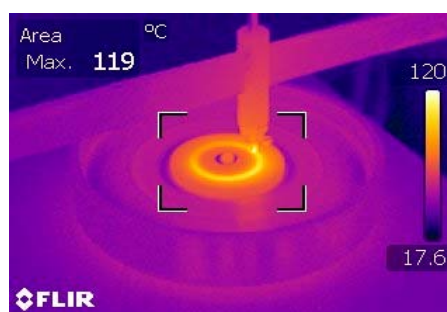


Fig.7.76. Evoluția temperaturii la lungimea L = 2000m

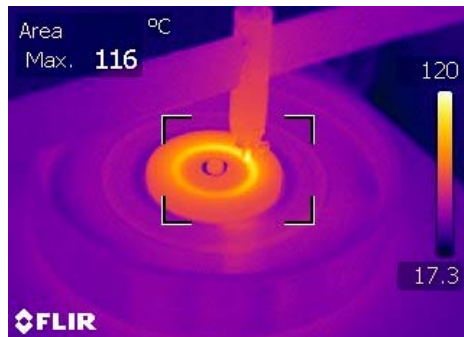


Fig.7.77. Evoluția temperaturii la lungimea L = 2500m

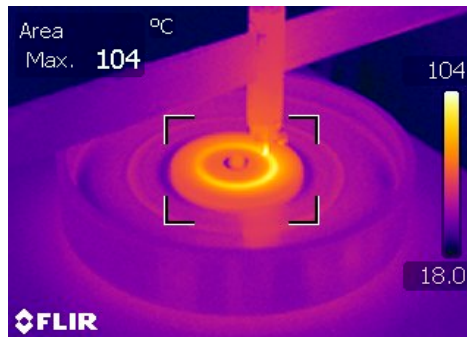


Fig.7.78. Evoluția temperaturii la lungimea L = 3000m

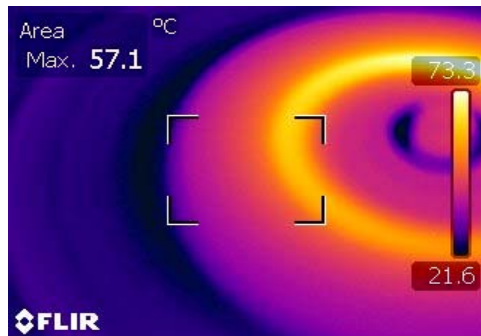


Fig.7.79. Temperatura compozitului la finalul încercării

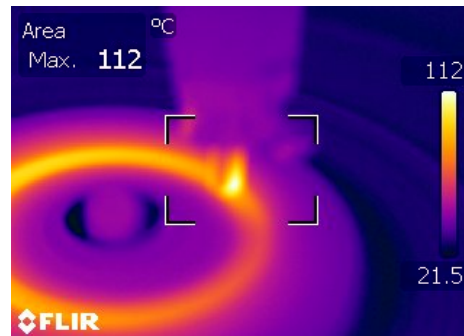


Fig.7.80. Temperatura știftului la finalul încercării

7.4.2.2. Concluzii:

- temperatura în zona de contact crește rapid în prima parte a încercării astfel încât la parcurgerea distanței de 500 m în zona de contact atinge valoarea de 116°C;
- în intervalul de 500 – 1000 m temperatura mai crește foarte puțin, doar cu 2°C. Se poate spune că în acest interval de lungime parcursă se produce o stabilizare a temperaturii;
- peste 1000 m temperatura începe să scadă astfel încât la finalul încercării se situează la valoarea de 104°C;
- temperatura urmei de frecare pe materialul compozit la finalul încercării este relativ scăzută și are valoarea de 57,1°C;
- cea mai mare parte a căldurii se disipează în știft care în cupla reală de frecare reprezintă bandajul roții și care la finalul încercării are temperatura de 112°C.

7.4.3 Experimentări pentru discuri din fontă fosforoasă

7.4.3.1. Rezultate experimentale obținute

În figurile 7.81 – 7.88 sunt prezentate imaginile care arată evoluția temperaturii în punctul de contact dintre știft și disc precum și temperatura urmei de contact pentru proba disc din fontă fosforoasă.

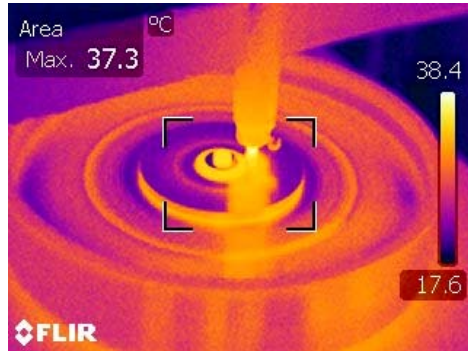


Fig.7.81. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 500\text{m}$

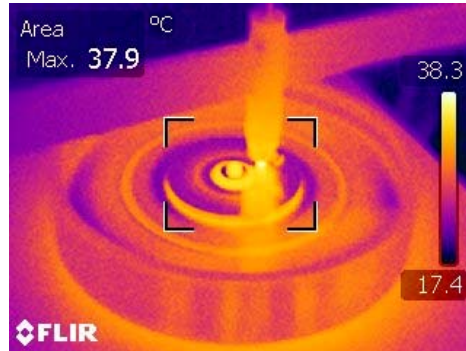


Fig.7.82. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 1000\text{m}$

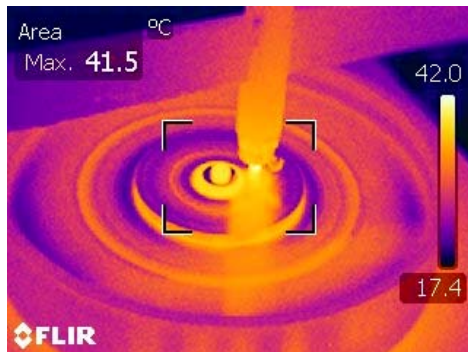


Fig.7.83. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 1500\text{m}$

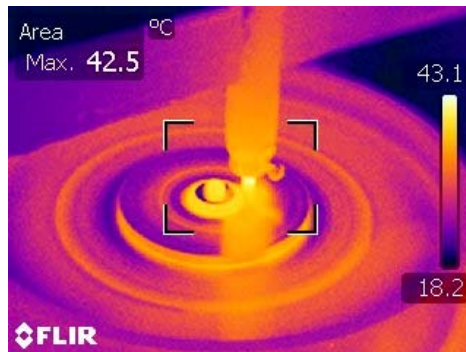


Fig.7.84. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 2000\text{m}$

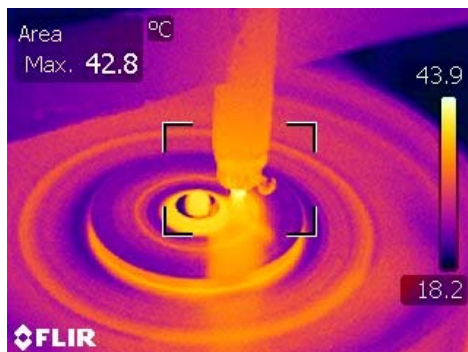


Fig.7.85. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 2500\text{m}$

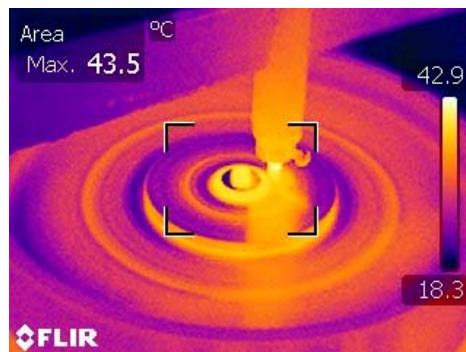


Fig.7.86. Evoluția temperaturii la lungimea $L = 3000\text{m}$

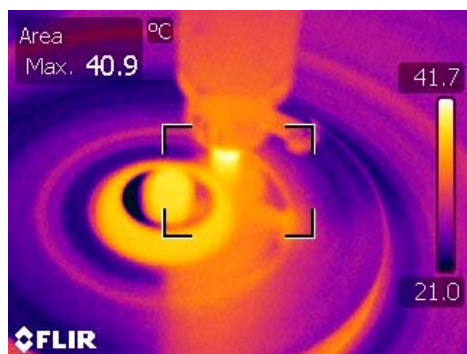


Fig.7.87. Temperatura fontei fosforoase la finalul încercării

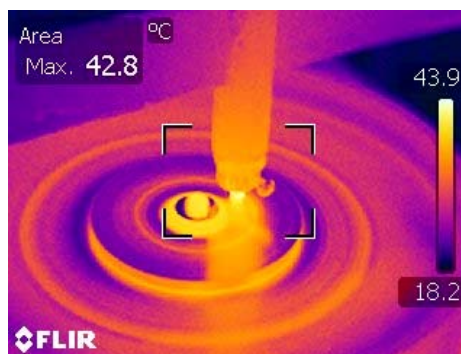


Fig.7.88. Temperatura știftului la finalul încercării

7.4.3.2. Concluzii:

- cea mai rapidă creștere a temperaturii în zona de contact se produce în primii 500m din lungimea parcursă la încercare;
- pe următoarea distanță și până la finalul încercării se observă o creștere lentă a temperaturii în intervalul 37,3 – 43,5°C;
- la finalul încercării discul din fontă fosforoasă are o temperatură de 40,9°C iar știftul 43,9°C ceea ce arată o repartizare mai mare a temperaturii la știft.

7.5. Analiza ulterioară a stratului superficial

7.5.1. Considerații tehnologice

Necesitatea studierii fenomenelor și proceselor fizice din straturile superficiale ale probelor de material compozit se impune datorită condițiilor diverse de solicitare cum sunt : viteze mari de alunecare a suprafețelor cuplei cinematice roată – sabot, presiuni ridicate datorate forței de frânare, condițiile diverse de solicitare ale materialelor (temperaturi joase sau ridicate, umiditatea etc.

Procesele de frecare – uzare din cadrul cuplei cinematice sabot de frână – roată (bandajul roții) sunt procese complexe de natură mecanică, fizică și chimică care apar la contactul static sau dinamic dintre suprafețe între care poate uneori să apară un agent lubrifiant lichid, solid sau gazos.

În cazul de față, uzura trebuie analizată în funcție de sarcinile aplicate, viteza de alunecare și mediu. Pot apărea distrugerii în condiții statice (deformații, coroziune) sau în condiții dinamice care, în literatura de specialitate, sunt denumite și tribo-distrugerii.

Caracteristicile mediului în care lucrează cupla cinematică pot influența semnificativ evoluția distrugerilor din stratul superficial. De regulă procesele termice și chimice interacționează cu cele mecanice. Degradarea mecanică a straturilor superficiale poate însemna, pe lângă îndepărtarea de material din zona uzată și curgeri, înmuieri zonale sau pe arii mai întinse ale stratului superficial ca efect al suprapunerii a două sau mai multe forme de uzură. Caracteristică pentru această cuplă de frecare, din punct de vedere mecanic, este uzura de abraziune cauzată de particule sau asperitățile mai dure ale bandajului forțate să se miște față de materialul mai moale al sabotului. Pe durata frecării proprietățile mecanice ale stratului superficial și micro – topografia acestuia se poate modifica determinând astfel modificări ale procesului abraziv.

Această formă de uzură se manifestă prin zgârierea și detașarea de particule din stratul mai moale al sabotului, de către proeminențele mai dure din stratul superficial al bandajului roții. Procesul de uzură poate fi inițiat și de particule dure care accidental pot pătrunde la suprafața de contact din cupla cinematică care prin antrenare pot zgâria suprafețele în mod diferit în funcție de proprietățile lor mecanice.

Parametrii care caracterizează stratul superficial pot fi grupați în [3]:

- parametrii geometrici (macrogeometrie și microgeometrie);
- parametrii mecanici (duritate și stare de tensiuni);
- parametrii fizico – metalurgici (compoziție chimică, structură și puritate).

Aprecierea gradului de degradare a materialelor supuse procesului de uzare se poate face dacă se cunoaște evoluția parametrilor stratului superficial enumerați mai sus. Controlul acestor parametrii se face prin metode fizice de investigație care să nu afecteze structura și starea fizico – chimică a stratului superficial.

7.5.2. Aparatura utilizată

Pentru analiza stratului superficial a fost utilizat Microscopul electronic cu baleiaj (SEM) cu sistem EDS integrat aflat în dotarea Laboratorului de metalografie a Universității Politehnice din Timișoara, prezentat în figura 7.89.

Caracteristici:

- tip Inspect S + EDAX GENESIS XM 2i;
- producător FEI Company – Olanda, an fabricație 2007;
- sursă filament de wolfram montat în ansamblul tun electronic de tip tetrodă, tensiune 200 V la 30 kV, curent fascicul $>2 \mu\text{A}$, rezoluție 3.0nm pe specimenul standard cu particule de aur separate pe substrat de carbon, la 30 kV în ambele moduri de operare: high-low-vacuum, 10 nm la 3kV în modul high-vacuum, $i < 12 \text{ nm}$ la 3 kV în modul low-vacuum;
- domeniu focalizare 3–99 mm, mărire:6x (la cea mai mare distanță de lucru) la $>1.000.000\times$;
- câmp de vizualizare identic în high-low-vacuum (18 mm la cea mai mare distanță de lucru);
- EDS - unitate de detecție tip SEM cu cristal SAPPHIRE Si(Li) și fereastră SUTW pentru detecția tuturor elementelor începând cu Beriliu ($Z=4$) și până la Uraniu ($Z=92$). Rezoluție de 135eV sau mai bună măsurată pe linia MnK α , 1000 cps și o constantă de timp de 100 μsec . Raportul semnal/zgomot este 15,000:1 sau mai bun. Aria activă este 10 mm^2 . Cristalul este protejat automat la încălzire (dacă se evaporă azotul lichid din vasul Dewar de 10 litri).



Fig.7.89. Microscopul electronic cu baleiaj

7.5.3. Rezultate obținute

În figurile 7.90 – 7.92 se prezintă imaginile SEM ale zonei uzate și neuzate, la diferite magnitudini, pentru probele 26 și în figurile 7.93 – 7.96 pentru proba 32.

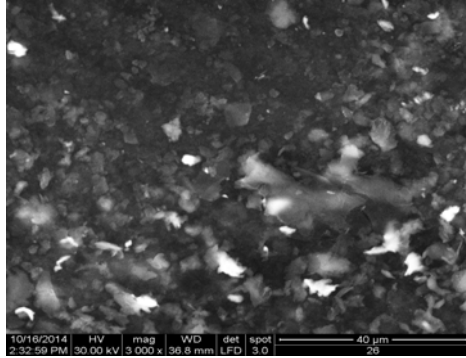


Fig.7.90. Proba 26 - zona neuzată la 3000x

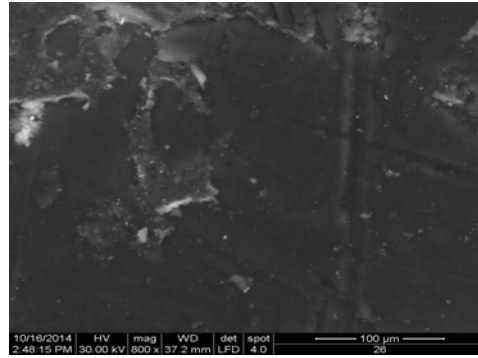


Fig. 7.91 Proba 26 - zona neuzată la 800x

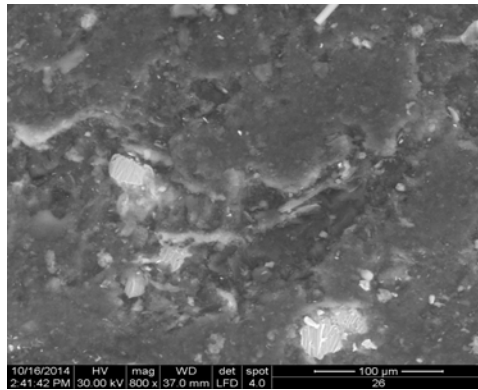


Fig.7.92. Proba 26 - zona uzată la 800x

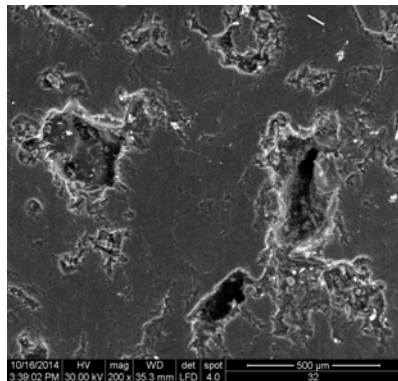


Fig.7.93. Proba 32 – zona 1 neuzată la 200x

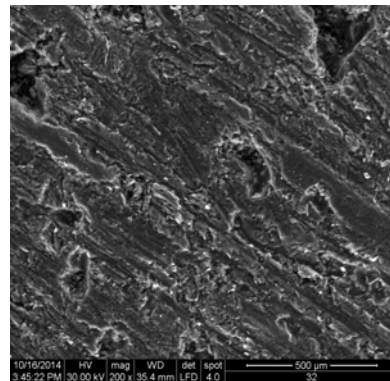


Fig.7.94. Proba 32 – zona 1 uzată la 200x

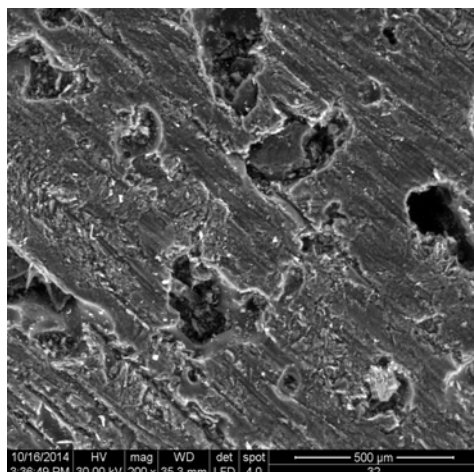


Fig. 7.95. Proba 32 – zona 2 neuzată la 200x

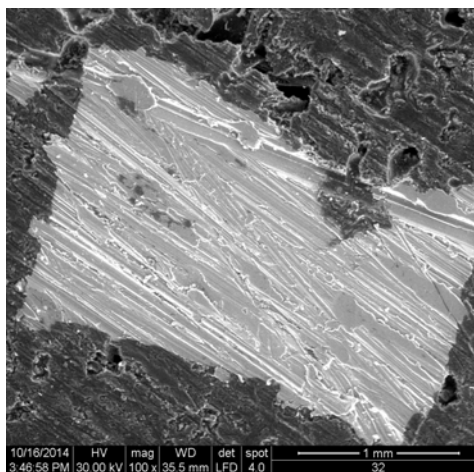


Fig. 7.96. Proba 32 – zona 2 uzată la 100 x

7.5.4. Concluzii:

Din imaginile SEM prezentate, se observă urmele de uzură obținute la $p=0,35$ Mpa și $v=0,8$ m/s. Se observă o ușoară descoperire a particulelor metalice din masa probei. Se observă golurile existente în masa compozitului ca urmare a răcirii rapide a masei nemetalice în contact cu masa metalică. Se observă existența unor pori în masa compozitului ca urmare a unor imperfecțiuni de fabricație. Salturile coeficientului de frecare se datorează, pe de o parte, golurilor, iar pe de altă parte, alternanței dintre masa metalică și cea nemetalică. Uzura abrazivă prin exfoliere poate fi observată datorită îndepărtării particulelor de uzură care fac să rămână descoperite particulele metalice din structura probei.

Rata de uzură liniară cât și coeficientul de frecare ale probei 32 au valori mai bune comparativ cu materialul compozit al probei 26. Materialele studiate prezintă comportări diferite din punct de vedere al formării particulelor de uzură și dezvoltării de material transferat, în funcție de regimul de viteză și presiune.

Partea a III a

CONCLUZII FINALE RECAPITULATIVE ȘI EVIDENȚIEREA CONTRIBUȚIILOR PERSONALE PENTRU REZOLVAREA TEMEI DE DOCTORAT ȘI DIRECȚII DE DEZVOLTARE A CERCETĂRILOR

8. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII DE CONTINUARE A CERCETĂRILOR

8.1. Concluzii finale

Luând în considerare literatura de specialitate și rezultatele experimentale cu privire la îmbunătățirea calității materialului destinat fabricării saboților de frână pentru materialul rulant au rezultat următoarele concluzii:

- Procesul de frânare este influențat de o serie de factori aleatori cum sunt: condițiile atmosferice (cea și burnia) precum și gradul de curățare al unei de cale ferată. Acești factori influențează negativ aderența dintre roată și înconstatându-se experimental că, la frânări, în acele condiții de umiditate, se pot parcurge spații de frânare diferite. Acest lucru se datorează sistemului de frânare folosit, principiului și inerției sistemului de frânare, dar mai ales materialului utilizat pentru construcția sabotului sau a plăcuțelor de frână;
- Eficiența frânării depinde de tipul de frână, astfel că la frâna cu saboți, forța de frânare depinde de viteza de circulație a materialului rulant, pe când în cazul frânei cu discuri, forța de frânare este aproape constantă pe durata frânării;
- Calitatea pieselor turnate în forme de mare densitate, dar în mod special calitatea suprafețelor și precizia dimensională este net superioară calității obținute prin orice altă metodă clasică de formare;
- Elementele chimice din structura fontei, destinate fabricării saboților de frână pentru materialul rulant, influențează diferit cristalizarea, astfel:
 - creșterea conținutului de mangan favorizează cristalizarea cementitică, neutralizează influența dăunătoare a sulfurii prin formarea sulfurii de mangan cu efect asupra creșterii durității și a rezistenței la rupere. Dar creșterea conținutului de mangan micorează fluiditatea fontei cu efecte negative asupra capacității de turnare. Manganul are o influență mai mică asupra durității la suprafața sabotului, comparativ cu duritatea în secțiunea transversală a acestuia;
 - creșterea conținutului de siliciu favorizează cristalizarea grafitică. Prin modificarea conținutului de siliciu se modifică raportul dintre carbonul legat sub formă de cementită și carbonul liber sub formă de grafit. În practica industrială se ține cont de suma (C + Si) care depinde de structura cerută fontei și grosimea pereților piesei. Siliciul crește fluiditatea fontei cu efecte pozitive asupra capacității de turnare a fontei;
 - sulfurii formează cu fierul sulfura de fier care la solidificare formează cu fierul un eutectic ușor fuzibil care se topește la 950 °C. Însă acest eutectic se solidifică cu întârziere, favorizând producerea segregărilor intercrystaline cu efecte negative asupra proprietăților mecanice ale fontelor.

- fosforul influențează apariția eutecticului fosforos. Creșterea conținutului de fosfor conduce la creșterea durității atât la suprafață cât și în secțiunea sabotului. Cantitatea de eutectic fosforos din font este în direct dependență cu conținutul de fosfor. Eutecticul fosforos se distribuie sub formă de separări izolate, alungite la un capăt sau dispuse sub formă de reea discontinuă sau continuă la limita grunilor structurii primare.
 - elementele de aliere Ni, Cr, Mo, Cu, etc., au influență asupra masei metalice de bază contribuind la realizarea unei structuri fine a grafitului.
- Viteza de răcire influențează structura fontei turnate astfel încât creșterea acesteia favorizează creșterea conținutului de cementit iar scăderea ei duce la creșterea conținutului de grafit. Prezența grafitului conferă fontelor o serie de proprietăți ca: fluiditate bună, contracție mică, capacitate de amortizare a vibrațiilor, rezistență la ocuri termice, proprietăți lubrifiante;
- Analizând rezultatele cercetărilor experimentale la un număr de 25 de arje de font fosforoasă elaborate într-o turnatorie de saboți de frână se pot concluziona următoarele:
- compoziția chimică a fontei utilizate la fabricarea saboților de frână asigură încadrarea durității în limitele prevăzute de standarde;
 - din relațiile de corelație rezultă clar influența conținutului de carbon, mangan și siliciu asupra durității;
 - există o diferență de duritate între extremitățile sabotului în secțiunea transversală și centrul secțiunii, fapt explicabil prin condițiile de solidificare;
 - curbele de nivel obținute în prezentarea grafică permit alegerea parametrilor independenți (C, Mn, Si, P) astfel încât să se obțină pentru duritate o valoare dorită.
- În unele regiuni europene se manifestă o opoziție semnificativă față de zgomotul feroviar din partea opiniei publice, care solicită inițiative politice pentru reducerea acestuia. Dacă nu se întreprind acțiuni de remediere, aceasta ar putea conduce la restricții ale traficului feroviar de-a lungul celor mai importante coridoare feroviare europene, în special trenurile de marfă, iar întreruperile de activitate rezultate ar putea avea efecte negative asupra economiilor europene. Legislația Europeană impune limite atât pentru materialul rulant nou cât și pentru cel recondiționat și pus în circulație în spațiul european. Astfel se cere echiparea materialului rulant cu saboți de frână silențioși, care să reducă semnificativ emisiile de zgomot.
- Cercetarea tribologică a probelor din material compozit a avut ca obiective influența unor factori de material (concentrația și natura constituenților) și a unor parametrii a regimului de lucru (forța de apăsare, viteza de alunecare, timpul de încercare, regimul de frecare) asupra caracteristicilor tribologice a probelor testate, proceselor care au loc în straturile superficiale și a posibilităților de modelare a acestora în sensul dorit. În acest sens s-a observat:
- evoluția unui parametru de uzură;
 - evoluția coeficientului de frecare;
 - evoluția temperaturii în zona de contact. Analiza ulterioară a stratului superficial a permis explicarea valorilor coeficientului de frecare și a parametrilor de uzură, evaluarea calității suprafețelor uzate, dispersia materialelor de adaos;
- La testarea tribologică prin metoda tift pe disc se observă că rata de uzură liniară a probelor din material compozit scade cu creșterea vitezei de alunecare și cu creșterea sarcinii de lucru;
- Coeficienții de frecare obținuți prin testarea tribologică a probelor din material

compozit scăd, în general, cu creșterea sarcinii și vitezei de alunecare urmând să se mențină peste valoarea de 0,4.

- Temperatura în zona de contact a probelor din material compozit crește la valoarea de circa 116°C în primii 500m ai drumului de testare, are apoi o evoluție aproximativ constantă până la 1000m urmând ca apoi să scăd astfel încât la finalul drumului de încercare (3000m) aceasta să fie de 43,5°C.
- Din imaginile SEM ale urmelor de frecare de pe probele din material compozit supuse testării tribologice prin metoda tift pe disc se observă o ușoară descoperire a particulelor metalice din masa probei. Se observă golurile existente în masa compozitului ca urmare a răcirii rapide a masei nemetalice în contact cu masa metalică. Salturile coeficientului de frecare se datorează pe de o parte golurilor iar pe de altă parte alternanței dintre masa metalică și cea nemetalică. Uzura abrazivă prin exfoliere poate fi observată datorită îndepărtării particulelor de uzură care fac să rămână descoperite particulele metalice din structura probei.
- Rezistența la uzură abrazivă a probelor din material compozit nu depinde de densitatea epruvetei.

8.2. Contribuții originale

Având la bază studiul din literatura de specialitate privitor la tematica tezei de doctorat, experimentele efectuate în fază de laborator, analizele tehnologice a rezultatelor obținute și verificarea acestora în laboratoare de specialitate, consider că mi-am adus următoarele contribuții personale:

1. Realizarea unor sinteze din literatura tehnică de specialitate cu privire la tehnologia de fabricație a saboilor de frână din font fosforoasă respectiv din materiale compozite;
2. Analiza fluxului tehnologic de obținere a saboilor de frână;
3. Analiza influenței factorilor tehnologici de elaborare și turnare a saboilor de frână la nivel industrial și prelucrarea datelor experimentale obținute în programul de calcul EXCEL respectiv prezentarea rezultatelor sub formă grafică și analitică pentru a se observa influența compoziției chimice asupra durității saboilor de frână.
4. Prelucrarea datelor experimentale cu privire la influența compoziției chimice asupra durității în programul de calcul Matlab și prezentarea rezultatelor sub formă grafică și analitică, pentru a se observa influența multiplă a elementelor de aliere asupra durității fontei destinate saboilor de frână pentru materialul rulant.
5. Elaborarea unui număr de 38 de rețete pentru material compozit, destinat fabricării saboilor de frână.
6. Fabricarea preselor pentru formarea materialului compozit, destinat saboilor de frână.
7. Realizarea unui număr de 38 de probe din material compozit, dintre care 32 au fost probe disc ($\varnothing 96 \times 5$), iar 6 au fost probe cilindrice ($\varnothing 14 \times 30$).
8. Realizarea unei forme de turnare pentru fabricarea probelor de fontă în vederea analizei de laborator.
9. Turnarea, în condiții de laborator, în cuptorul cu inducție, a unei probe disc și a 3 probe cilindrice din fontă fosforoasă, în vederea analizei comparative.
10. Încercarea la uzură abrazivă a probelor cilindrice din material compozit și din fontă fosforoasă. Pentru determinări s-a utilizat instalația de încercare la uzura abrazivă cu disc abraziv, existentă în dotarea laboratorului de

Tratamente Termice de la Facultatea de Mecanic - Universitatea Politehnica Timișoara.

11. 11. Evaluarea comportării tribologice a probelor pe Tribometrul Universal UMT-2 (CETR®, SUA) aflat în dotarea Universității Dunărea de Jos Galați cu ajutorul parametrilor de frecare și uzur.
12. Evaluarea influenței parametrilor de testare (viteză, lungime de alunecare, forță, material) asupra parametrilor tribologici.
13. Analiza proceselor tribologice din stratul superficial prin metode nedistructive (analiza ulterioară a stratului superficial al urmei de frecare cu ajutorul unui Microscop electronic cu baleiaj SEM cu sistem EDS integrat aflat în dotarea Laboratorului de metalografie a Universității "Politehnica" din Timișoara).
14. Înregistrarea evoluției câmpului termic cu ajutorul unei Camere termografice FLIR „Therma CAM Quick View” care permite descărcarea de imagini de la un aparat de fotografiat în infraroșu, la un PC, precum și captarea imaginilor de la distanță în aparatul de fotografiat. Încercarea s-a realizat pe un stand de laborator pentru studiul uzurii, prin metoda tift pe disc, aflat în dotarea Laboratorului de Organe de Mașini din cadrul Facultății de Inginerie din Hunedoara.
15. Elaborarea unei metodologii experimentale de testare tribologică pentru a evidenția influența materialului și parametrii de testare respectiv studiul evoluției coeficientului de frecare.

8.3. Direcții de continuare a cercetărilor

Având în vedere rezultatele cercetărilor efectuate, referitoare la materialele compozite pentru fabricarea saboților de frână destinați materialului rulant, considerăm că acestea prezintă interes deosebit pentru transportul feroviar, și pot continua, pe viitor, în următoarele direcții:

- Extinderea cercetărilor prin alcătuirea unor rețele noi care să conțin componente cu alicor proprii și să crească rezistența la uzur, rezistența termică și să scadă costul de fabricație.
- Îmbunătățirea proprietăților materialului, prin utilizarea și a altor tipuri de rășini.
- Îmbunătățirea tehnologiei de fabricație a materialului pentru a obține densități mai mari

DI SEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRILOR

1. Pascu Liviu, Pu an Adriana, Socalici Ana, Hepu Teodor, Researches on the quality of pig iron to be used in making rail braking shoes, *Metalurgia Internațional*, 18(4), 2013, pp.193-199.
2. [Liviu Pascu](#), [Adriana Putan](#), [Vasile Putan](#), [Alina Lascutoni](#), [Analysis on the similarity between steel ladles and hot-water models regarding natural convection phenomena](#), International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, Kos, Greece, 19-25 September, 2012, [AIP Conference Proceedings](#), Volume 1479, p.767-770.
3. Liviu Pascu, Diana Stoica, Ana Socalici, Determining the Cooling Affected Volume by Adding Microcoolers in the Steel, International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, Kos, Greece, 19-25 September, 2012, [AIP Conference Proceedings](#), Volume 1479, p.763-766.
4. [Lascutoni Alina](#); [Ardelean Erika Diana](#); [Pascu Liviu](#), [Hepu Teodor](#), [Mathematical model regarding at addition of microcoolers in tundish of continuous casting machines](#), International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, Rhodes, Greece, Sep.21-27, 2013. [AIP Conference Proceedings](#), Volume 1558, pp.1333-1336.
5. Pascu Liviu, Socalici Ana, Popa Erika, Crisan Eugen, 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.
6. Popa Erika, Pascu Liviu, Socalici Ana, Lascutoni Alina, Industrial research on the quality of brake shoes meant for rolling stock, International Conference on Applied Sciences ICAS 2014, Hunedoara, 2-4 october 2014.
7. Socalici Ana, Pascu Liviu, Popa Erika, Hepu Teodor, The influence of the cast iron structure upon the hardness of brake shoes meant for the rolling stock, International Conference on Applied Sciences ICAS 2014, Hunedoara, 2-4 october 2014.
8. Liviu Pascu, Elena Stînea, Teodor Hepu, the influence of residual elements upon the hardness of the brake shoes made of sulfurous cast iron, *Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International journal of engineering*, 12(4), 2014.
9. Pascu Liviu, Optimizarea structurii și calității încercării metalice destinate elaborării fontelor fosforoase, Simpozion științific Studenesc, HD-43-STUD, Hunedoara, 24-25 Mai 2013.
10. Stînea Elena, Pascu Liviu, Influența elementelor de aliere asupra durității saboilor de frână pentru materialul rulant, Simpozion științific Studenesc, HD-44-STUD, Facultatea de Inginerie Hunedoara, 23-24 Mai 2014.
11. Pascu Liviu, Raport cercetare nr. 1, Materiale utilizate la producerea saboilor de frână destinați materialului rulant, 2012.
12. Pascu Liviu, Raport cercetare nr. 2, Contribuții privind îmbunătățirea calității materialului destinat fabricării saboilor de frână pentru materialul rulant motor și remorcat, 2013.

ANEXE

Anexa 3.A

Tab.3.1.A. Saboții de frână tip K utilizați în transportul internațional

Nr. Crt.	Producător	Tip	Aranjament	Diam. roată, [mm]	Viteza max.		Forța dinamică		Sarcina pe osie		Perioadă aprobare	
					gol [km/h]	înc. [km/h]	min. [kN]	max. [kN]	min. [t]	max. [t]		
1	CoFren	C810 (organic)	2xBg	920	120	120	2,5	19,0	3,6	22,5	15/10/03	14/10/13
2	CoFren	C810 (organic)	2xBgu	920	120	120	2,5	19,0	3,6	22,5	15/10/03	14/10/13
3	CoFren	C810 (organic)	1xBgu1	920	120	120	5,0	38,0	3,6	22,5	01/03/11	28/02/21
4	CoFren	C333 (sintered)	1xBgu1	920	120	120	5,0	38,0	3,6	22,5	01/07/11	30/06/21
5	Honeywell	J816M (organic)	2xBg	920	120	120	2,5	19,0	3,6	22,5	01/07/05	30/06/15
6	Honeywell	J816M (organic)	2xBgu	920	120	120	2,5	19,0	3,6	22,5	01/07/05	30/06/15
7	CoFren	C810 (organic)	2xBg	840	120	100	5,5	14,5	7,5	17,5	01/08/11	31/07/21
8	CoFren	C810 (organic)	2xBg	840	120	100	8,7	12,2	7,5	18,0	01/02/12	31/01/22
9	Honeywell	J816M (organic)	2xBg	840-730	120	100	5,5	14,5	7,5	17,5	01/07/12	30/06/22
10	Frenoplast	FR 513 (organic)	2xBg1	920	120	120	2,5	19,0	3,6	22,5	01/07/12	30/06/22
11	CoFren	C810 (organic)	1xBgu	840-760	120	100	6,0	25,0	4,5	18,0	01/01/13	31/12/22
12	CoFren	C810 (organic)	2xBg	760	120	100	-	10,1	9,2	16,0	01/02/13	31/01/23
13	Frenoplast	FR 513 (organic)	2xBg	840-730	120	100	5,5	14,5	7,5	17,5	01/05/13	30/04/23

Tab.3.2.A. Saboții de frână tip K utilizați în transportul internațional

Nr. Crt.	Producător	Tip	Aranjament	Diam. roată [mm]	Viteza max.		Forța dinamică		Sarcina pe osie		Perioadă aprobare	
					gol [km/h]	înc. [km/h]	min. [kN]	max. [kN]	min. [t]	max. [t]		
1	IcerRail / Becorit	IB116 (organic)	2xBg	920	120	120	6,0	50,0	3,6	22,5	01/05/13	30/04/23
2	IcerRail / Becorit	IB116(organic)	2xBgu	920	120	120	6,0	50,0	3,6	22,5	01/05/13	30/04/23
3	CoFren	C952-1 (sinterizat)	2xBg	920	120	120	6,0	50,0	3,6	22,5	01/05/13	30/04/23
4	CoFren	C952-1 (sinterizat)	2xBgu	920	120	120	6,0	50,0	3,6	22,5	01/05/13	30/04/23

Anexa 5.A

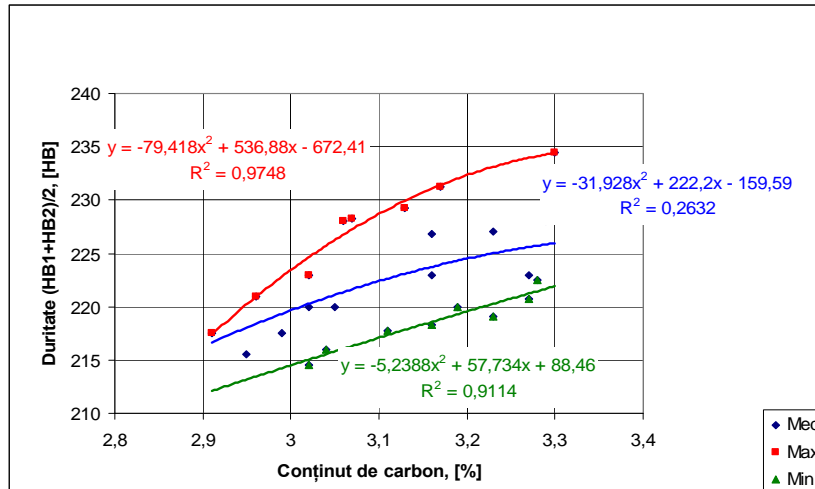


Fig.5.1.A. Variația duriții medii la capetele sabotului în funcție de conținutul de carbon

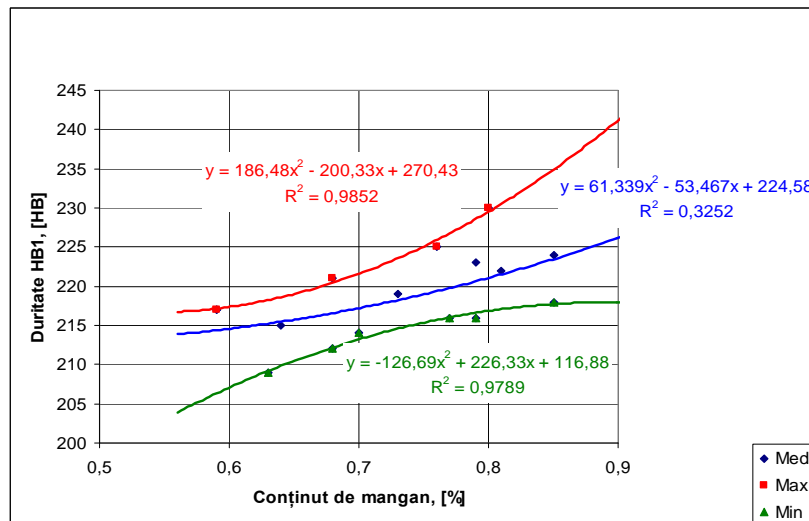


Fig.5.2.A. Variația duriții măsurată în lateralul sabotului (punctul 1) în funcție de conținutul de mangan

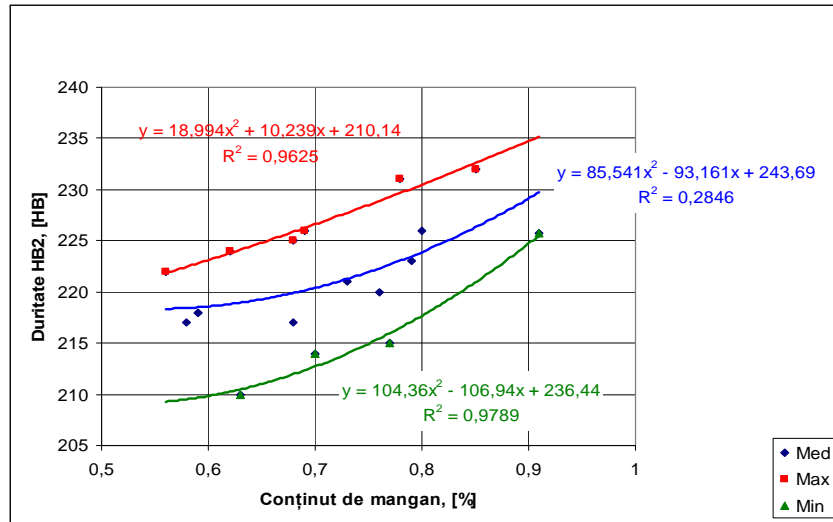


Fig. 5.3.A. Variația durității măsurată în lateralul sabotului (punctul C2) în funcție de conținutul de mangan

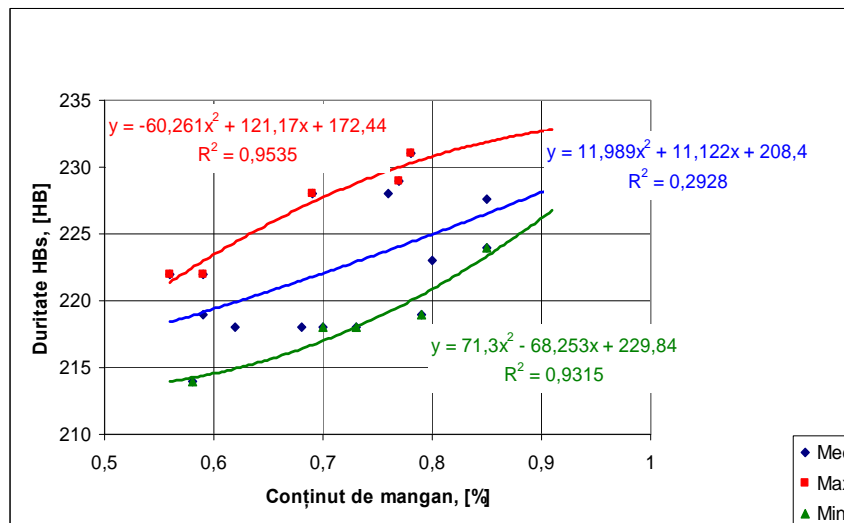


Fig.5.4.A. Variația durității măsurată în secțiunea sabotului, partea de sus în funcție de conținutul de mangan

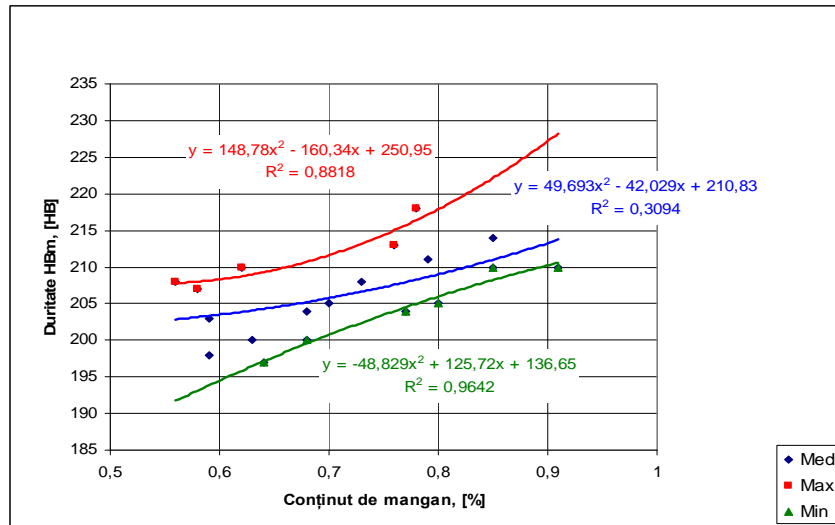


Fig. 5.5.A. Variația durității măsurată în secțiunea sabotului, partea de mijloc în funcție de conținutul de mangan

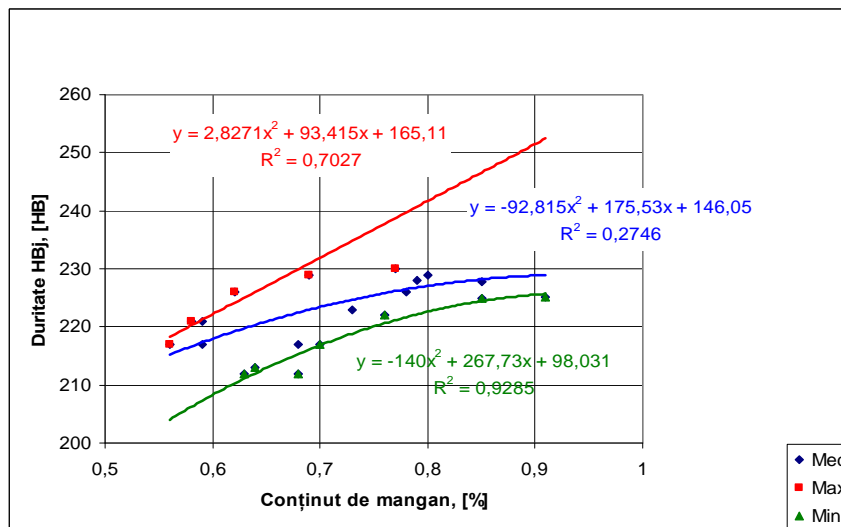


Fig.5.6.A. Variația durității măsurată în secțiunea sabotului, partea de jos în funcție de conținutul de mangan

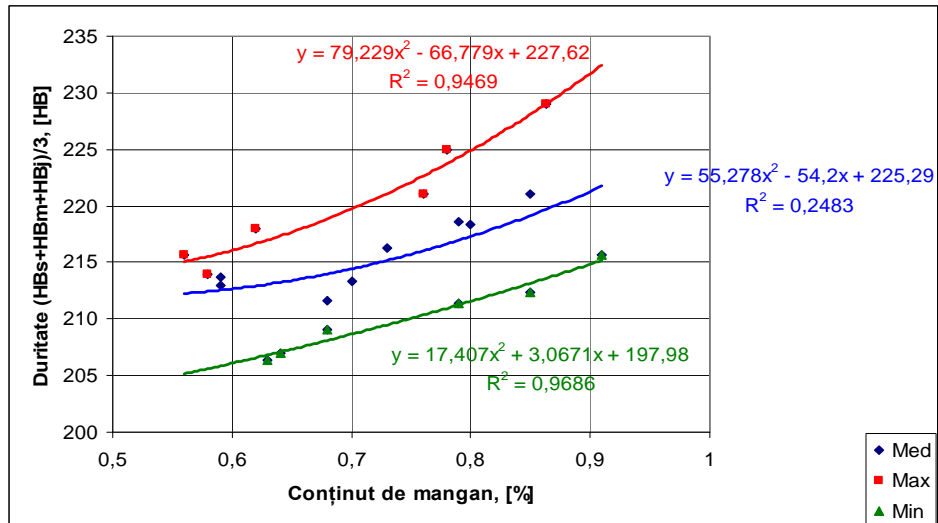


Fig.5.7.A. Variația durității medii în secțiunea sabotului în funcție de conținutul de mangan

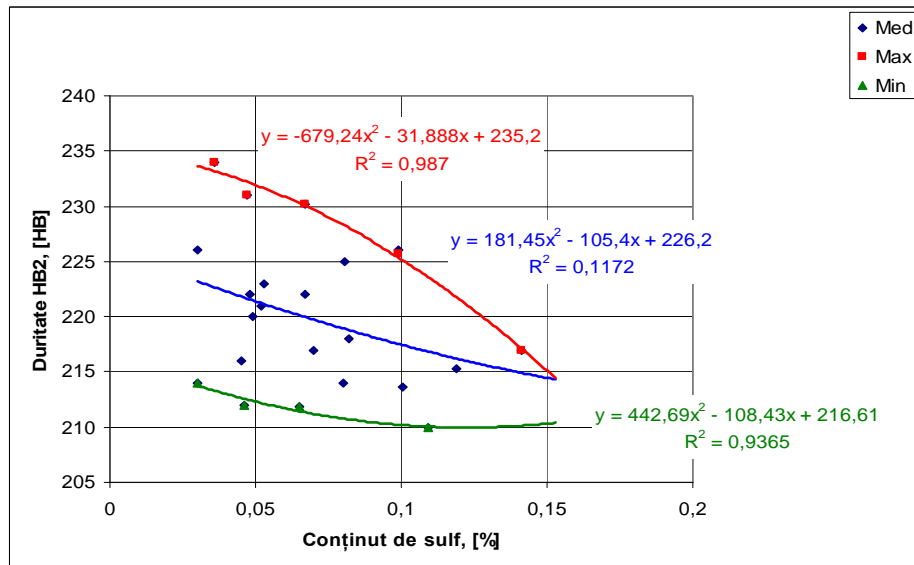


Fig.5.8.A. Variația durității măsurată în lateralul sabotului (punctul 2) în funcție de conținutul de sulf

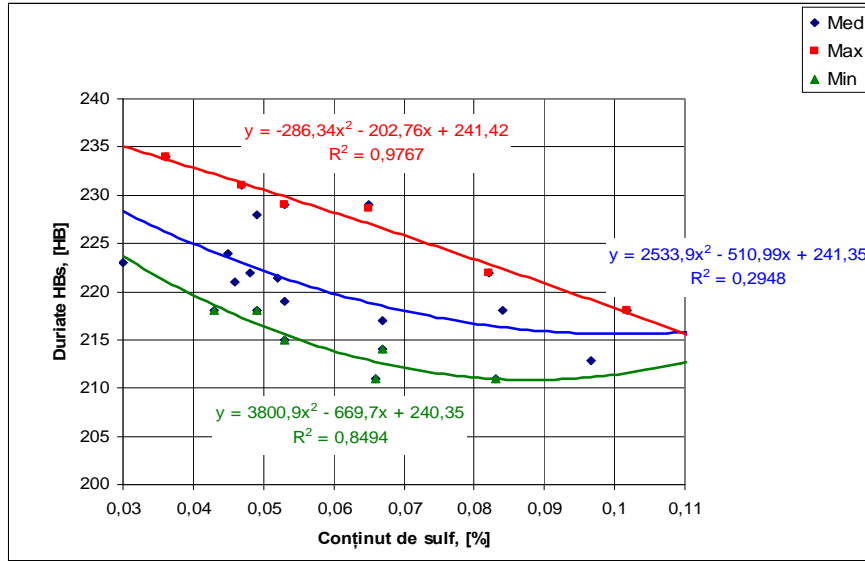


Fig. 5.9.A. Variația duriității măsurată în secțiunea sabotului, partea de sus în funcție de conținutul de sulf

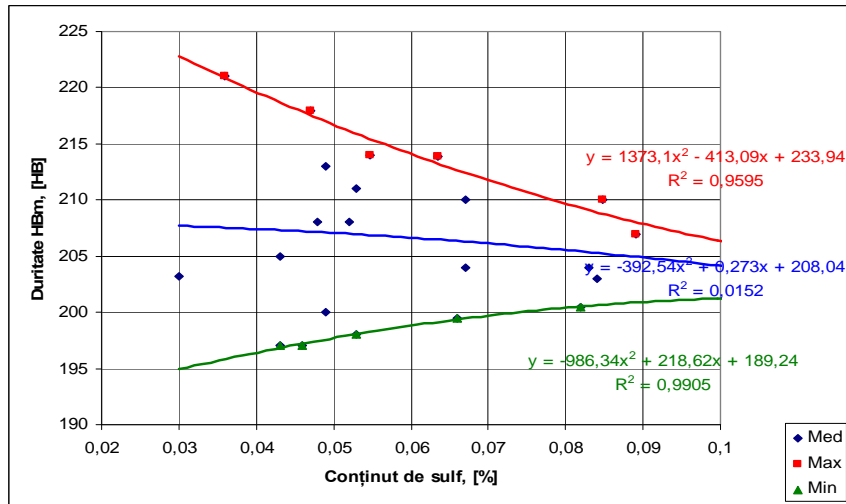


Fig.5.10.A. Variația duriității măsurată în secțiunea sabotului, partea de mijloc în funcție de conținutul de mangan

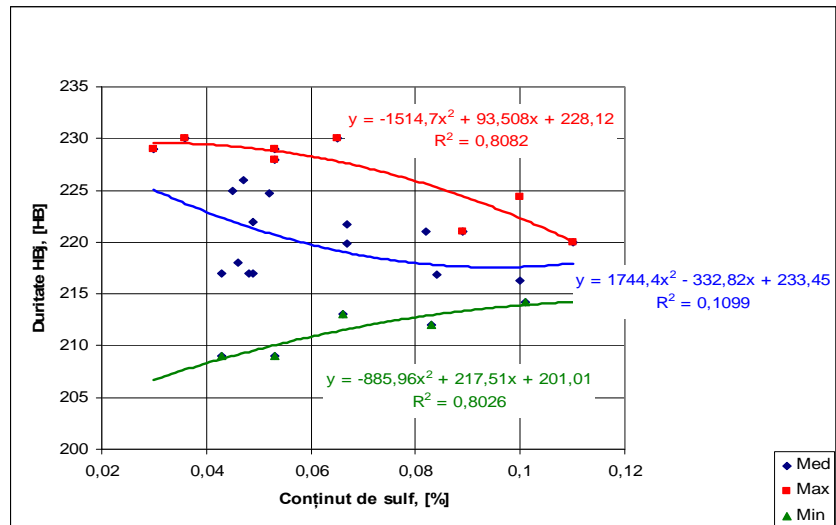


Fig. 5.11.A. Variația durtă□ii măsurată în secțiunea sabotului, partea de jos în funcție de conținutul de sulf

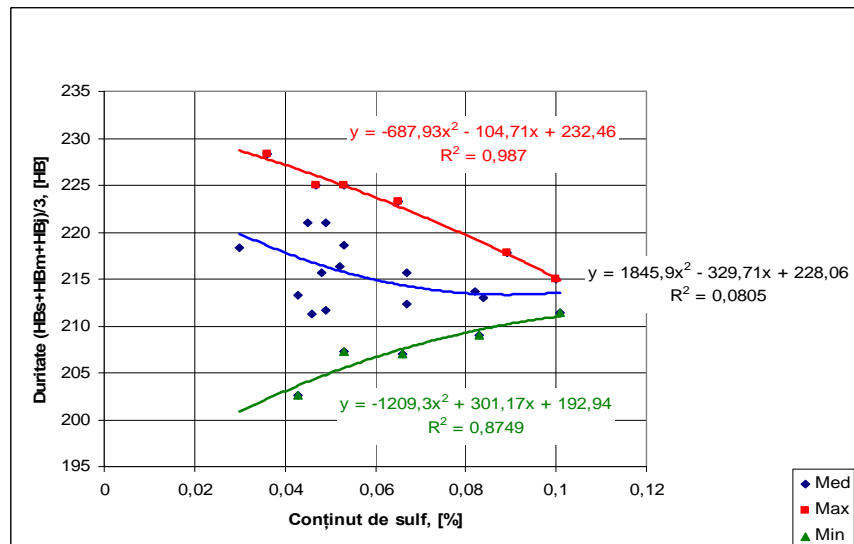


Fig.5.12.A. Variația durtă□ii medii în secțiunea sabotului în funcție de conținutul de sulf

$$(HB_s+HB_m+HB_j)/3 = 307,8 \cdot C^2 - 79,6 \cdot Mn^2 - 212,3 \cdot C \cdot Mn - 1753,9 \cdot C + 792,3 \cdot Mn + 2637,5 \quad (5.1.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,83$.

Coordonatele punctului șa: $C = 3,12\%$; $Mn = 0,80\%$, $(HB_s+HB_m+HB_j)/3 = 214,02HB$.

$$HB_2 = -52,49 \cdot Mn^2 - 8,69 \cdot Si^2 + 161 \cdot Mn \cdot Si - 177,62 \cdot Mn - 82,8 \cdot Si + 348,66 \quad (5.2.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,63$.

Coordonatele punctului șa: $Mn = 0,76\%$; $Si = 1,61\%$, $HB_2 = 222,36HB$.

$$HB_s = -85,68 \cdot Mn^2 - 3,61 \cdot Si^2 + 19,33 \cdot Mn \cdot Si + 97,81 \cdot Mn + 5,65 \cdot Si + 174,09 \quad (5.3.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,57$.

Coordonatele punctului de maxim: $Mn = 0,94\%$; $Si = 3,31\%$, $HB_s = 229,66HB$.

$$HB_j = -151,1 \cdot C^2 - 2966,6 \cdot S^2 - 1423,4 \cdot C \cdot S + 1040 \cdot C + 4790,8 \cdot S - 1560,1 \quad (5.4.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,50$.

Coordonatele punctului de maxim: $C = 2,77\%$; $S = 0,14\%$, $HB_j = 222,29HB$.

$$(HB_1+HB_2)/2 = -51 \cdot C^2 - 7169,9 \cdot S^2 - 404,3 \cdot C \cdot S + 337,7 \cdot C + 2247,8 \cdot S - 367,5 \quad (5.5.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,53$.

Coordonatele punctului de maxim: $C = 3,02\%$; $S = 0,07\%$, $(HB_1+HB_2)/2 = 223,50HB$.

$$HB_1 = 79,3 \cdot C^2 + 27,6 \cdot Si^2 + 3,4 \cdot C \cdot Si - 473,9 \cdot C - 109,5 \cdot Si + 1014,7 \quad (5.6.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,66$.

Coordonatele punctului de minim: $C = 2,95\%$; $Si = 1,80\%$, $HB_1 = 216,45HB$.

$$HB_2 = 44,44 \cdot C^2 + 13,96 \cdot Si^2 - 29,79 \cdot C \cdot Si - 197,07 \cdot C + 50,08 \cdot Si + 437,75 \quad (5.7.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,75$.

Coordonatele punctului de minim: $C = 2,51\%$; $Si = 0,88\%$, $HB_2 = 212,20HB$

$$HB_s = -10 \cdot Si^2 - 5927 \cdot S^2 - 259 \cdot Si \cdot S + 58,6 \cdot Si + 1205 \cdot S + 129,1 \quad (5.8.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,61$.

Coordonatele punctului de maxim: $Si = 2,25\%$; $S = 0,05\%$, $HB_s = 226,71HB$

$$HB_m = 48,7 \cdot Si^2 + 1616,2 \cdot S^2 + 360 \cdot Si \cdot S - 183,3 \cdot Si - 913,7 \cdot S + 388,5 \quad (5.9.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,50$.

Coordonatele punctului de minim: $Si = 1,42\%$; $S = 0,12\%$, $HB_m = 201,34HB$

$$HB_1 = 94,91 \cdot C^2 - 182,59 \cdot P^2 - 170,33 \cdot C \cdot P - 407,39 \cdot C + 822,21 \cdot P + 454,27 \quad (5.10.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,84$.

Coordonatele punctului șa: $C = 2,93\%$; $P = 0,88\%$, $HB_1 = 218,44HB$

$$HB_2 = 4,8 \cdot C^2 - 345,1 \cdot P^2 + 154,73 \cdot C \cdot P - 145,07 \cdot C + 138,63 \cdot P + 351,34 \quad (5.11.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,84$.

Coordonatele punctului șa: $C = 2,57\%$; $P = 0,77\%$, $HB_2 = 218,60HB$.

$$HB_1 = -4,72 \cdot Si^2 - 560,93 \cdot P^2 + 72,41 \cdot Si \cdot P - 47,86 \cdot Si + 881,32 \cdot P - 131,08 \quad (5.12.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,60$.

Coordonatele punctului de maxim: $Si = 1,88\%$; $P = 0,90\%$, $HB_1 = 223,61HB$.

$$HB_2 = -20,17 \cdot Si^2 - 606 \cdot P^2 + 119,09 \cdot Si \cdot P - 29,26 \cdot Si + 901,61 \cdot P - 168,00 \quad (5.13.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,59$.

Coordonatele punctului de maxim: $Si = 2,07\%$; $P = 0,94\%$, $HB_1 = 228,79HB$

$$HB_s = 33,4 \cdot Si^2 - 314,2 \cdot P^2 + 237,6 \cdot Si \cdot P + 105,9 \cdot Si + 1003,3 \cdot P - 339,5 \quad (5.14.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,57$.

Coordonatele punctului șa: $Si = 1,74\%$; $P = 0,93\%$, $HB_s = 222,80HB$

$$HB_2 = 27,08 \cdot S^2 - 412,90 \cdot P^2 - 719,27 \cdot S \cdot P + 586,46 \cdot S + 801,23 \cdot P - 157,15 \quad (5.15.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,58$.

Coordonatele punctului șa: $S = 0,16\%$; $P = 0,82\%$, $HB_2 = 222,42HB$.

$$HB_s = -4076,6 \cdot S^2 - 344,2 \cdot P^2 + 194,5 \cdot S \cdot P + 304,5 \cdot S + 647,1 \cdot P - 93,6 \quad (5.16.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,60$.

Coordonatele punctului de maxim: $S = 0,06\%$; $P = 0,95\%$, $HB_s = 225,24HB$

$$HB_m = 2611,6 \cdot S^2 - 186,5 \cdot P^2 - 769 \cdot S \cdot P + 274,2 \cdot S + 386,9 \cdot P + 25,5 \quad (5.17.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,51$.

Coordonatele punctului șa: $S = 0,07\%$; $P = 0,87\%$, $HB_m = 206,04HB$

$$HB_j = 2413,1 \cdot S^2 - 115,8 \cdot P^2 - 1513,8 \cdot S \cdot P + 1001,8 \cdot S + 319,8 \cdot P + 41,4 \quad (5.18.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,50$.

Coordonatele punctului șa: $S = 0,07\%$; $P = 0,89\%$, $HB_j = 221,94HB$.

$$HB_s = -91,43 \cdot Mn^2 - 386,29 \cdot R^2 - 215,13 \cdot Mn \cdot R + 187,65 \cdot Mn + 319,07 \cdot R + 119,03 \quad (5.19.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,37$.

Coordonatele punctului de maxim: $Mn = 0,80\%$; $R = 0,18\%$, $HB_s = 224,62HB$.

$$HB_1 = 354,70 \cdot S^2 + 129,08 \cdot R^2 - 790,23 \cdot S \cdot R - 30,62 \cdot S - 8,81 \cdot R + 227,12 \quad (5.20.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,52$.

Coordonatele punctului șa: $S = -0,03\%$; $R = -0,06\%$, $HB_1 = 227,94HB$ punct situat în afara domeniului tehnologic.

$$HB_s = -194,88 \cdot S^2 + 303,23 \cdot R^2 - 798,30 \cdot S \cdot R + 75,48 \cdot S - 92,49 \cdot R + 218,46 \quad (5.21.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,50$.

Coordonatele punctului șa: $S = -0,03\%$; $R = 0,11\%$, $HB_s = 212,15HB$.

$$(HB_1+HB_2)/2 = 450,09 \cdot P^2 - 373,74 \cdot R^2 - 350,4 \cdot P \cdot R - 744,3 \cdot P + 503,32 \cdot R + 501,25 \quad (5.22.A)$$

Coeficientul de corelație: $R^2 = 0,54$.

Coordonatele punctului șa: $P = 0,92\%$; $R = 0,24\%$, $(HB_1+HB_2)/2 = 219,35HB$.

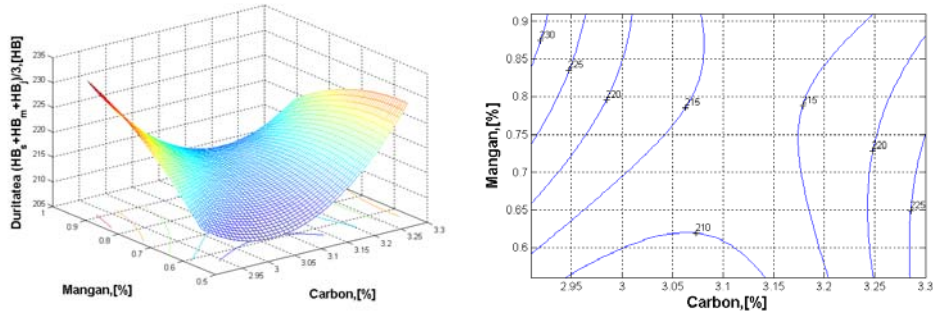


Fig.5.13.A. Variația durtății medii în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și mangan

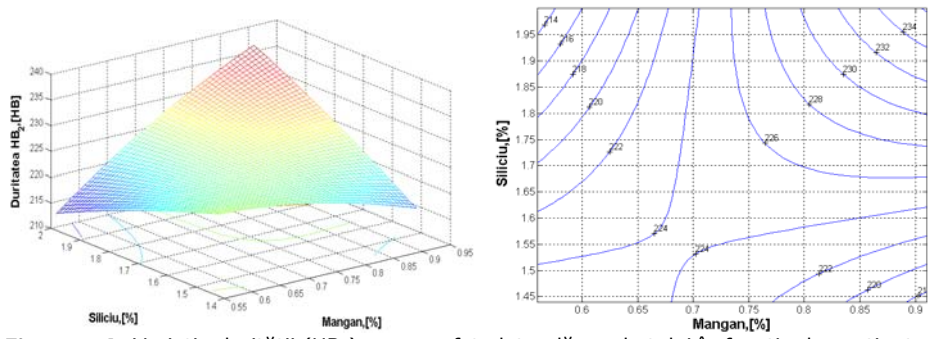


Fig.5.14.A. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și siliciu

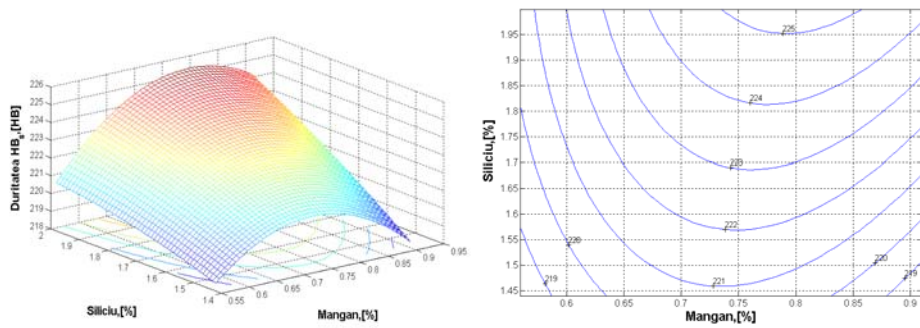


Fig.5.15.A. Variația durtății (HB_s) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și siliciu

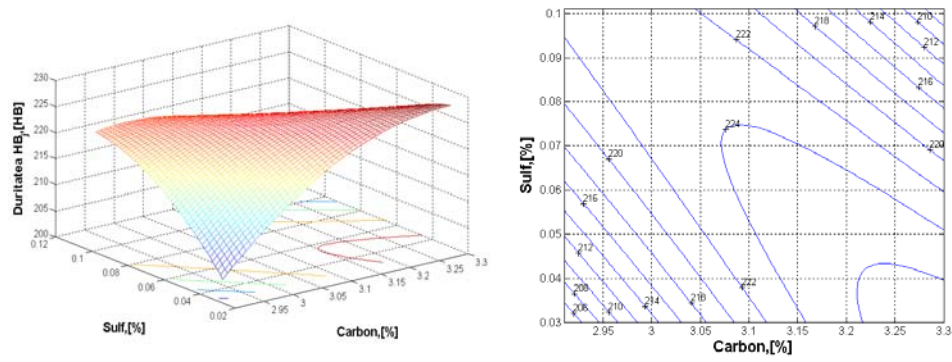


Fig.5.16.A. Variația durtății (HB_1) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și sulf

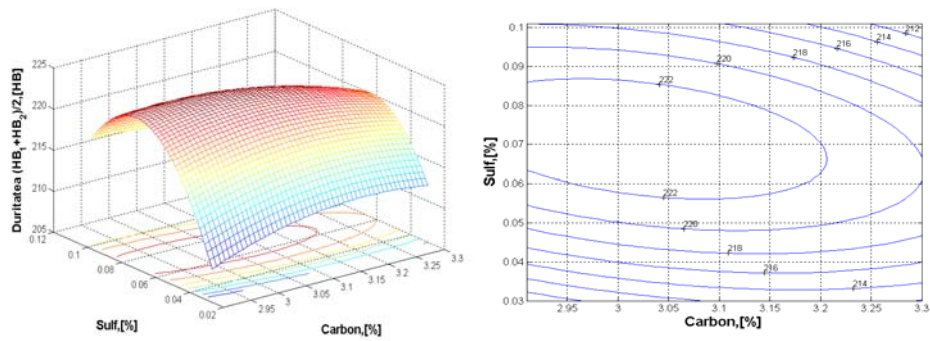


Fig.5.17.A. Variația durtății medii pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și sulf

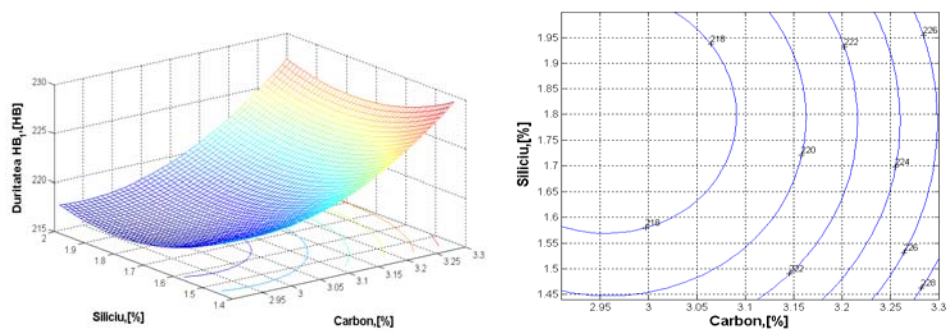


Fig.5.18.A. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și siliciu

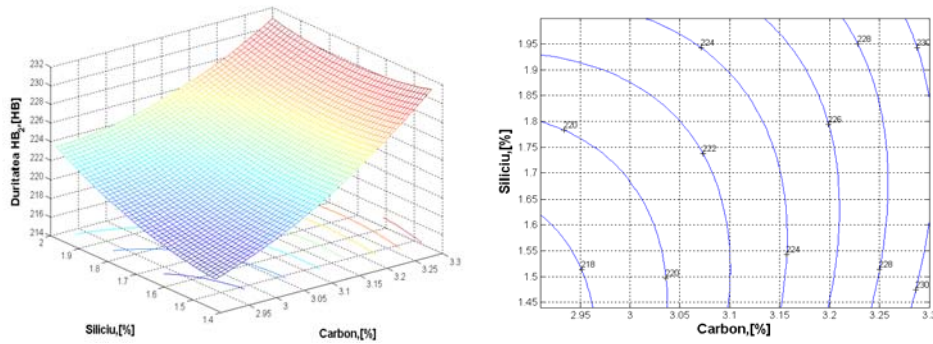


Fig.5.19.A. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și siliciu

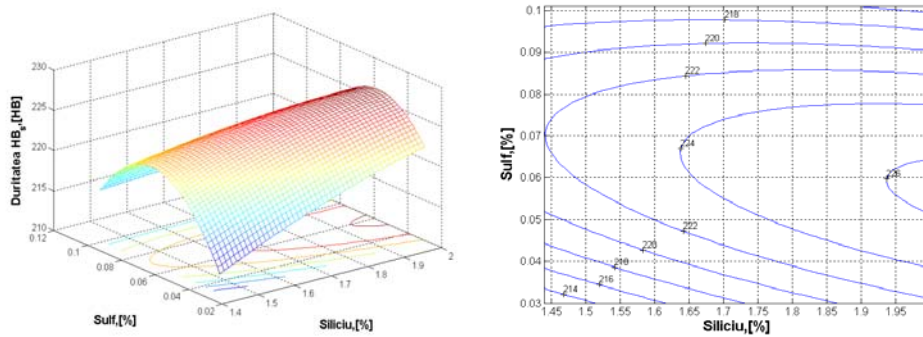


Fig.5.20.A. Variația durtății (HB_s) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de siliciu și sulf

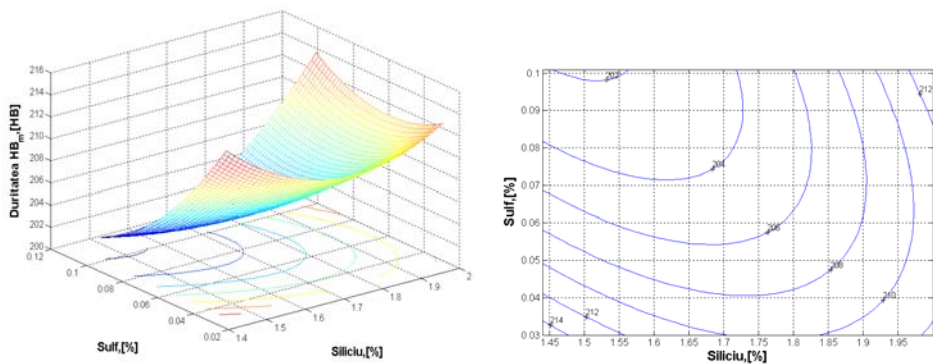


Fig.5.21.A. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de siliciu și sulf

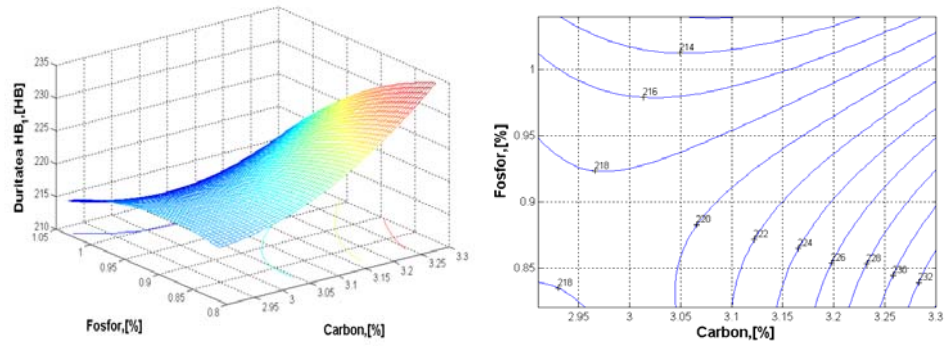


Fig.5.22.A. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și fosfor

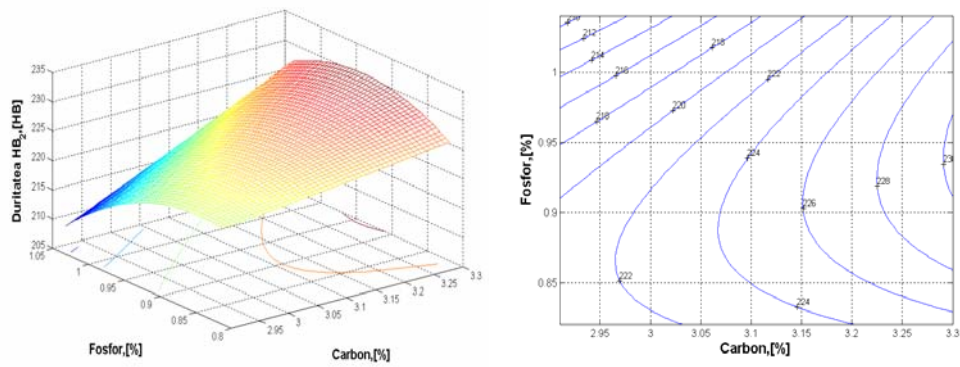


Fig.5.23.A. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de carbon și fosfor

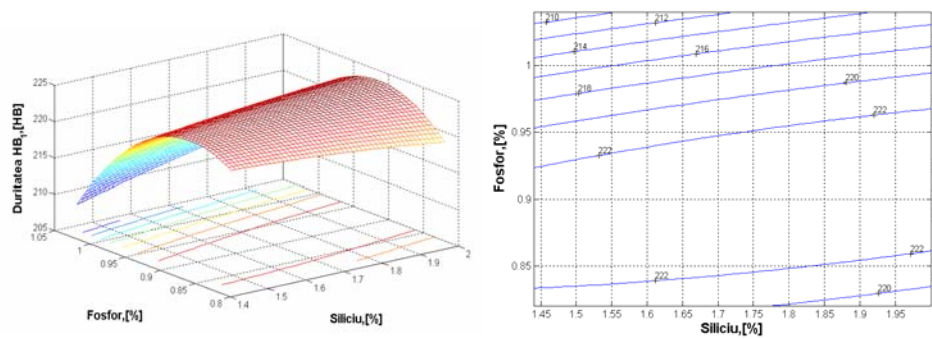


Fig.5.24.A. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de siliciu și fosfor

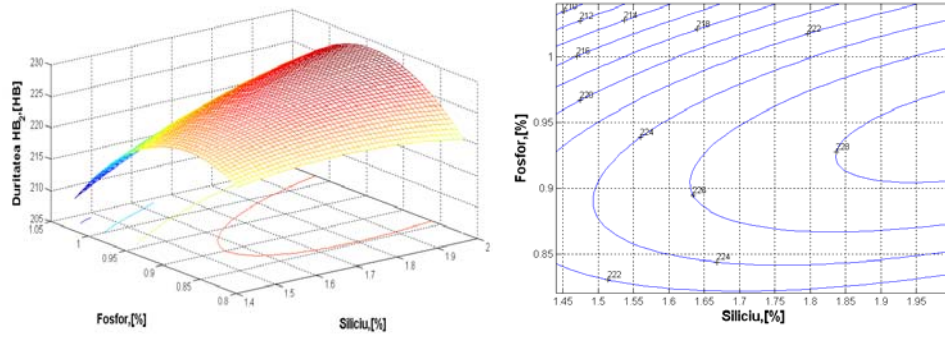


Fig.5.25.A. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de siliciu și fosfor

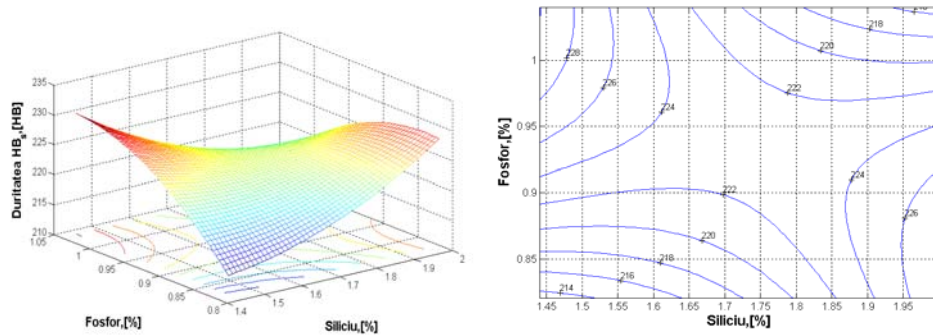


Fig.5.26.A. Variația durtății (HB_2) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de siliciu și fosfor

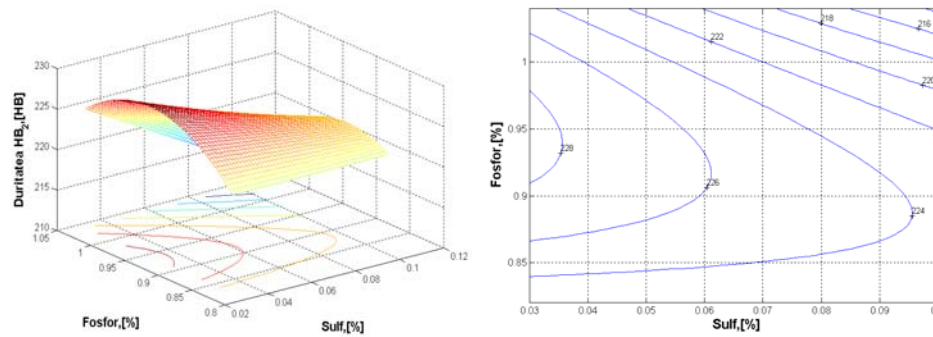


Fig.5.27.A. Variația durtății (HB_2) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de sulf și fosfor

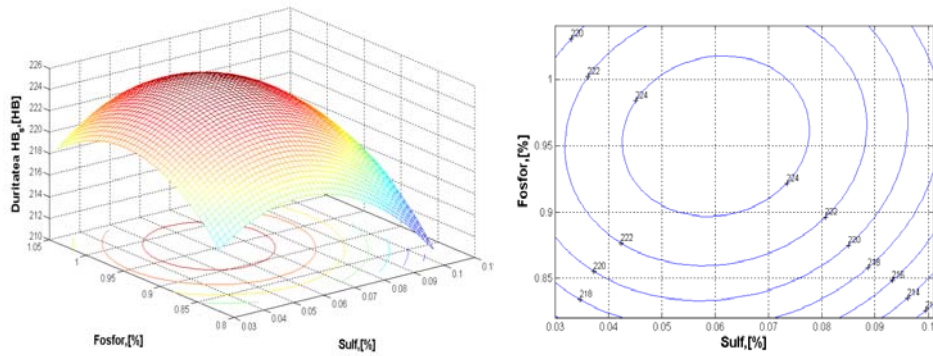


Fig.5.28.A. Variația durtății (HB_s) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de sulf și fosfor

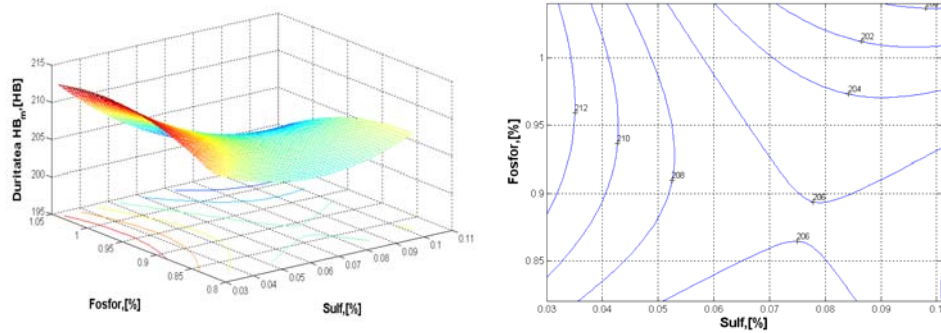


Fig.5.29.A. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de sulf și fosfor

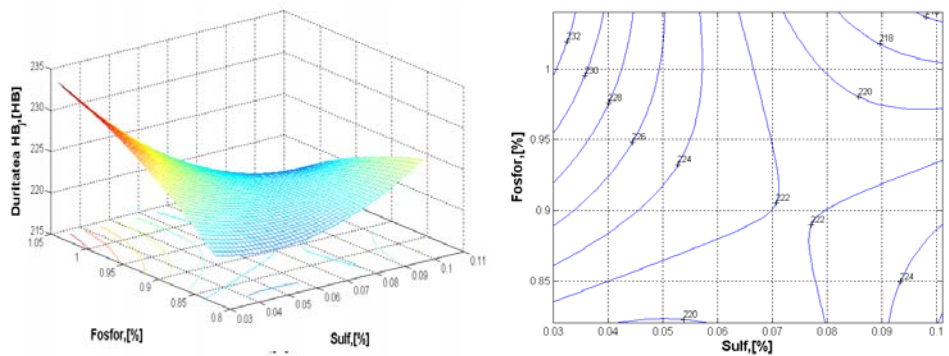


Fig.5.30.A. Variația durtății (HB_b) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de sulf și fosfor

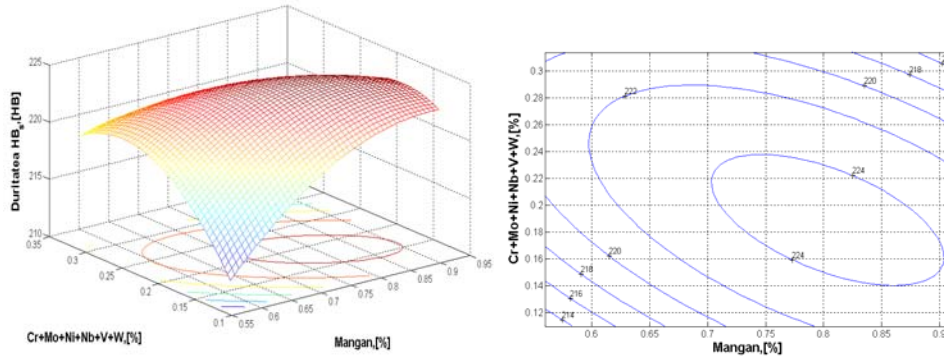


Fig.5.31.A. Variația durtății (HB_2) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de mangan și elementele reziduale

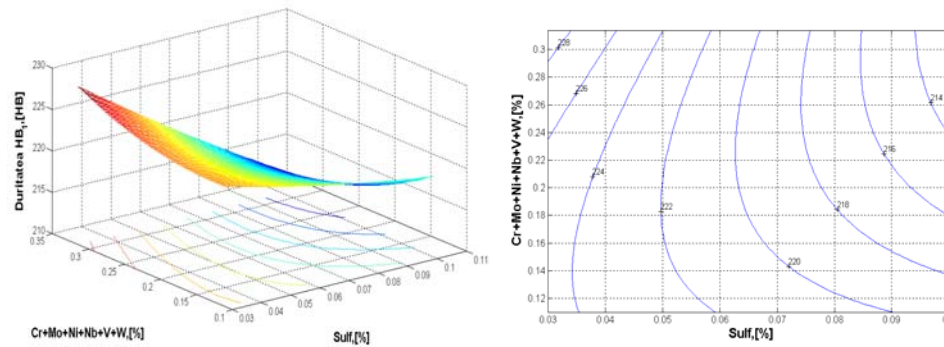


Fig.5.32.A. Variația durtății (HB_1) pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de sulf și elementele reziduale

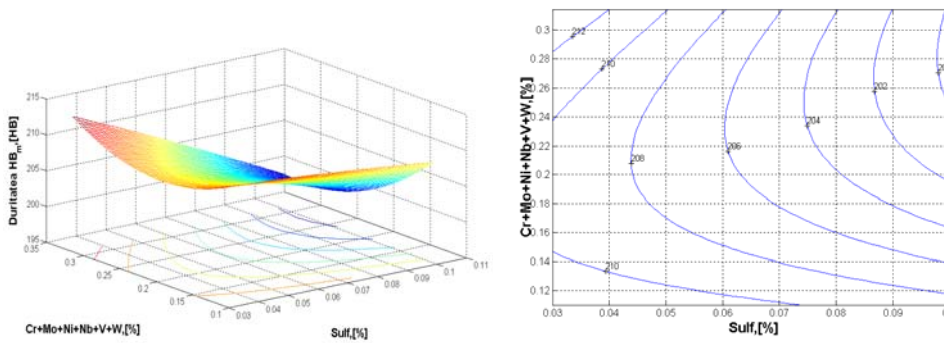


Fig.5.33.A. Variația durtății (HB_m) în secțiunea transversală a sabotului în funcție de conținuturile de sulf și elementele reziduale

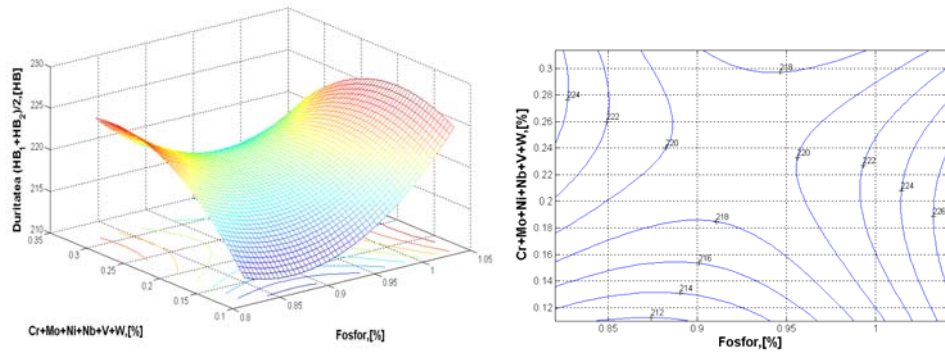


Fig.5.34.A. Variația durității medii pe suprafața laterală a sabotului în funcție de conținuturile de fosfor și elementele reziduale

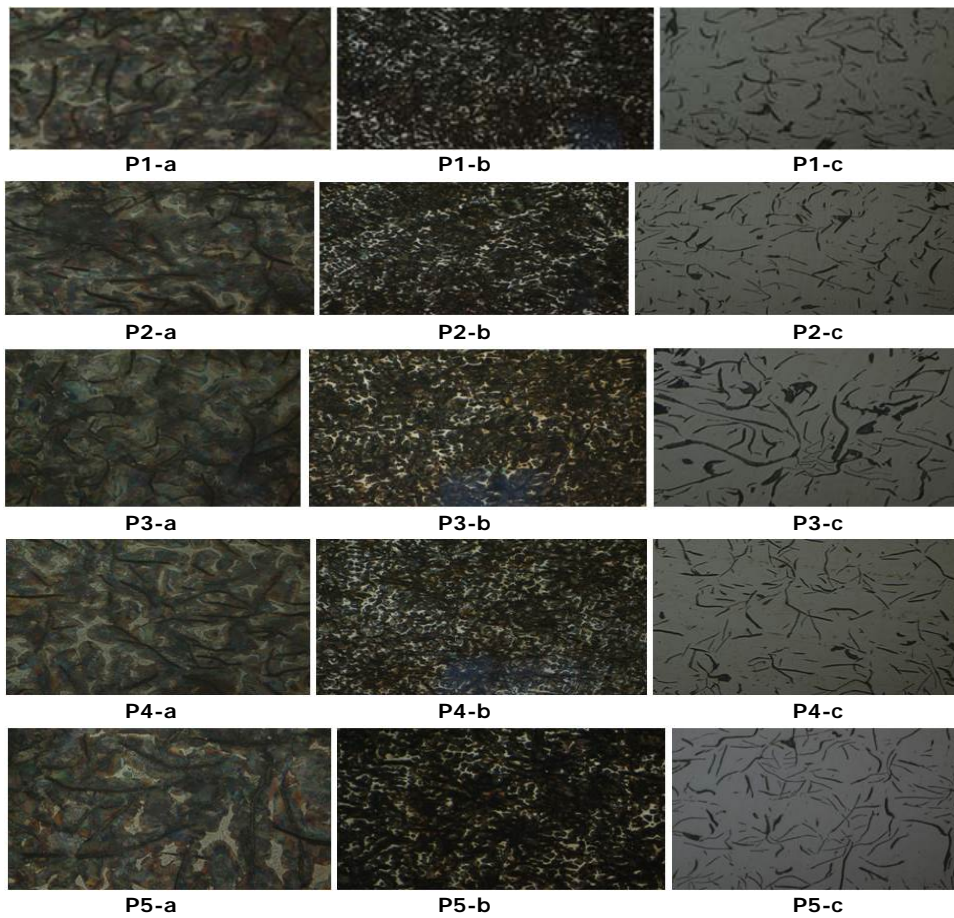


Fig.5.35.A. Microstructuri probe (P1-P5):
a – perlită, x200; b – eutectic fosforos, x50; c – grafit, x100

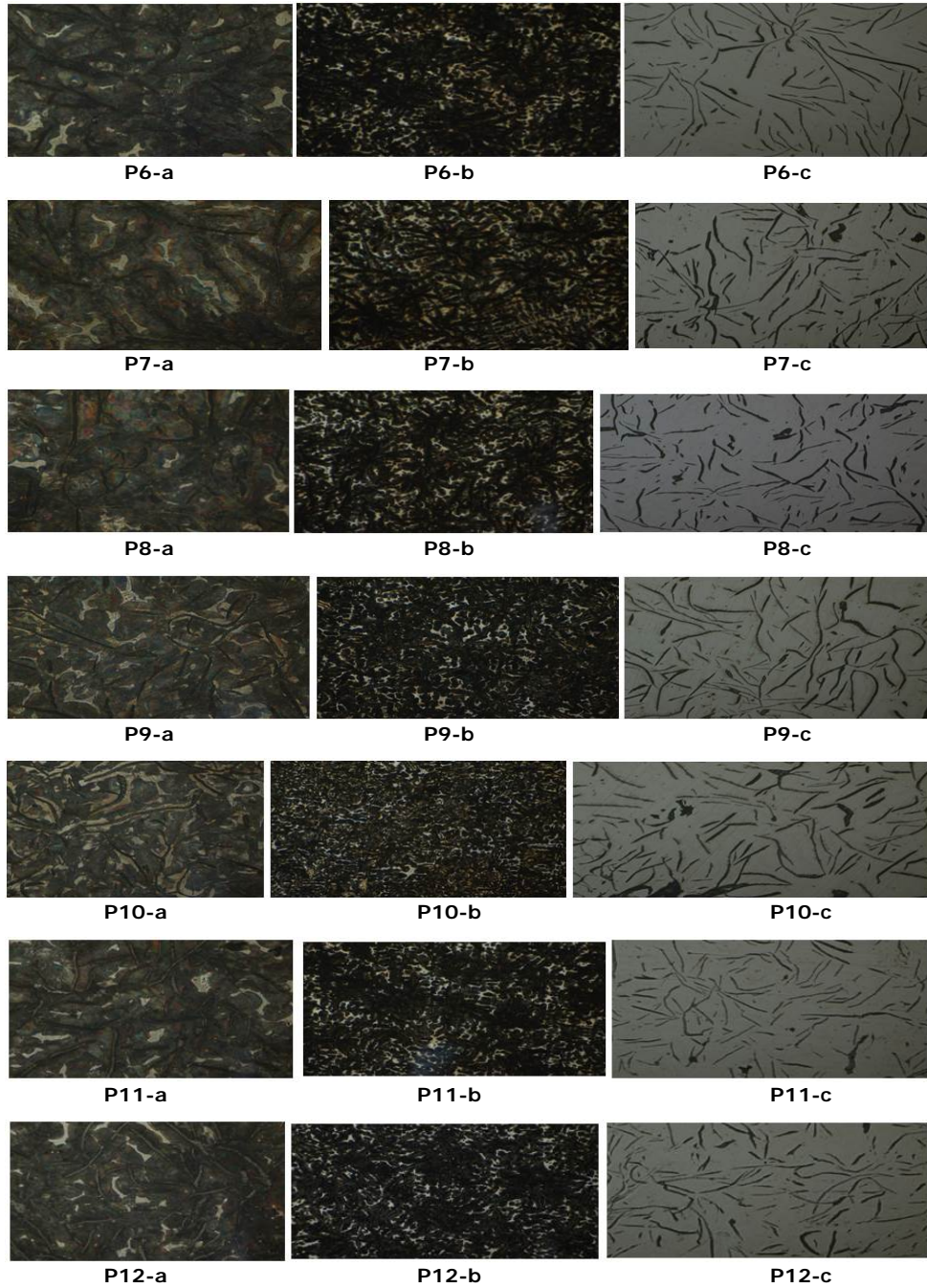


Fig.5.36.A. Microstructuri probe (P6-P12):
a – perlită, x200; b – eutectic fosforos, x 50; c – grafit, x100

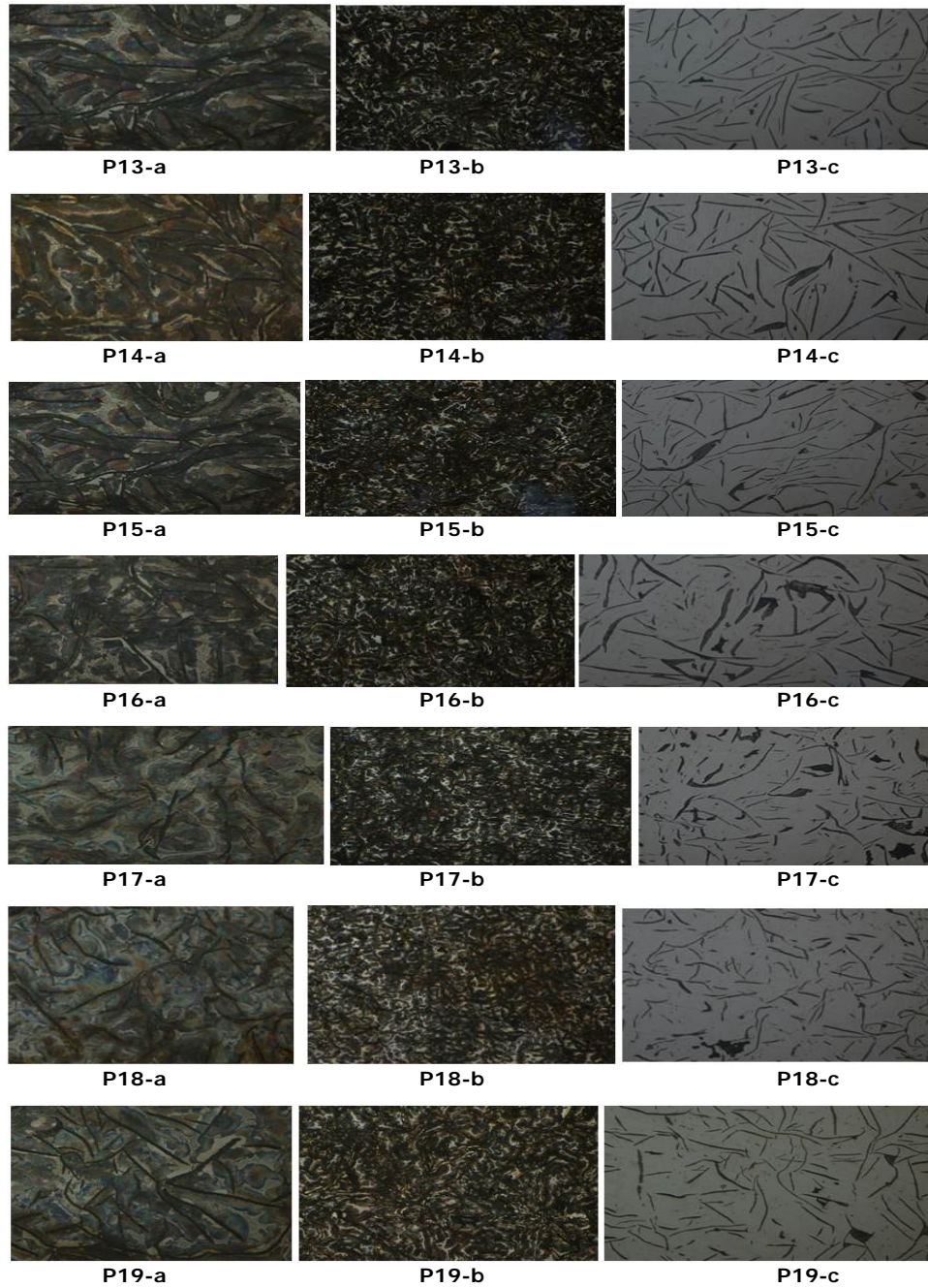


Fig.5.37.A. Microstructuri probe (P13-P19):
a - perlită, x200; b - eutectic fosforos, x50; c - grafit, x100

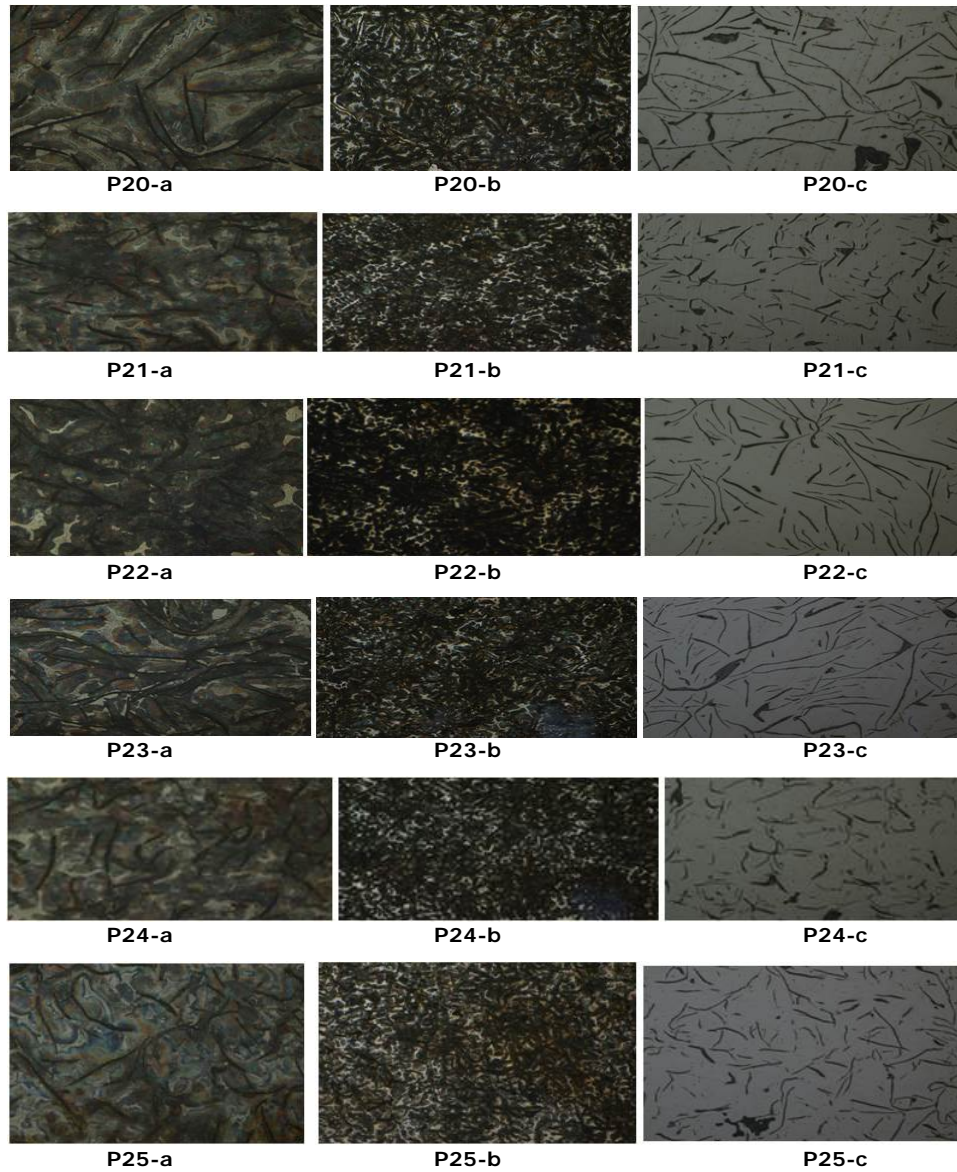


Fig.5.38.A. Microstructuri probe (P19-P25):
a – perlită, x200; b – eutectic fosforos, x50; c – grafit, x100

Anexa 6.A



Fig.6.1.A. Aspecte din timpul elaborării fontei în cuptorul cu inducție



Fig.6.2.A. Probe tip DISC din fontă fosforoasă P10



Fig.6.3.A. Probe tip CILINDRU din fontă fosforoasă P10

BIBLIOGRAFIE

1. M. Stoica, Frânarea trenurilor, Ed. ASAB, Bucure ti, 2002.
2. http://www.forum_trenuri.com/t1205
3. D. St nescu, Evolu ia c ilor ferate în regiunea Prahova (1872-2000) i impactul acestora asupra societ ii prahovene, Tez de doctorat, Universitatea Bucure ti, Facultatea de Istorie, 2009.
4. I. C lug rescu, Ma ini i utilaje vagoane, Editura didactic i pedagogic – Bucure ti, 1985.
5. <http://www.asam.ro/productie/turnatorie/>
6. <http://www.agir.ro/buletine/1593.pdf>
7. C. Tuzu, Tehnologie i calitate în fabricarea ma inilor i utilajelor, Editura Tehnica, Bucuresti, 1973.
8. *** Caiet de sarcini, Nr.1/SFMR/SDT/2000, Sabo i de frân pentru material rulant motor i remorcat.
9. A. Aloman, .a., Tratat de tiin a i ingineria materialelor metalice, vol.I, Ed. AGIR 2006.
10. E. Weiss, G. Fedorko, P. Futas, A. Pribulova, I. Vasocva, Dependence of quality properties for grey iron on used raw materials, *Metalurgija*, 48, 1 2009, pp.43-45.
11. T. Sudarshan, T. S. Srivatsan, Role of phosphorus content on porosity of cast irons, *Journal of Materials Science*, 27(4), 869-875, 1992.
12. Y. Zhang, Y. Chen, R. He, B. Shen, Investigation of tribological properties of brake shoe materials — phosphorous cast irons with different graphite morphologies, *Wear*, 166(2), 179-186, 1993.
13. . Dom a, Z. Miron, Îndrum tor pentru utilizarea fontelor, o elurilor i aliajelor neferoase, Editura Tehnic , Bucure ti, 1985.
14. Z. Bacinschi, .a., Tratat de tiin a i ingineria materialelor metalice, vol.II, Ed. AGIR 2007.
15. S.H. Lee, S.M. Lee, Application of Thermodynamic Analysis Method for the Development of Flake Graphite Cast Irons with Superior Properties, *Journal of the Korea Foundry Society*; 33(1), 2013
16. *** Metals Handbook Desk Edition, ASM International, 1998.
17. O. P. Singh, S. Mohan, K. Venkata Mangaraju, M. Jayamathy, R. Babu, Thermal seizures in automotive drum brakes, *Engineering Failure Analysis*, 17(5), 2010, 1155-1172
18. C. Ferrer, M. Pascual, D. Busquets, E. Rayón, Tribological study of Fe–Cu–Cr–graphite alloy and cast iron railway brake shoes by pin-on-disc technique, *Wear*, 268(5), 2010, 784-789.
19. http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2012/474533/I_POL-TRAN_ET%282012%29474533%28SUM01%29_RO.pdf
20. <http://www.docstoc.com>
21. J. R. Davis, Cast Iron, ASM International, 1996.
22. T. Tsujimura, S. Manabe, High Speed Friction Characteristics of Several Cast Irons for Brake Shoes, *The Journal of the Japan Foundrymen's Society* 60(2), 1988, 98-103.

23. S. Das, D.P. Mondal, S. Sawala, N. Ramakrishnan, Synergic effect of reinforcement and heat treatment on the two body abrasive wear of an Al-Si alloy under varying loads and abrasive sizes, *Wear*, 264, 47-59, 2008.
24. W.L. Guesser, et al., Production experience with compacted graphite iron automotive components, in: Proceedings of the AFS Congress, Dallas, 2001
25. I. Riporan, M. Chiamera, Tehnologia elaborării în turnării fontei, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
26. V. Cojocaru, C. Filipiu, Pregătirea încercăturii pentru elaborarea fontei în cuptoare cu inducție, Editura Samia, Iasi, 2006.
27. C. Teftescu, Îndrumătorul proiectantului de tehnologii în turnătorii, Vol. I, Vol. II, București, E.D.P., 1983
28. C. Teftescu, I. Cazacu, Tehnologii de executare a pieselor prin turnare, Ed. Tehnic, București, 1981
29. <http://www.tef.com.ro>
30. C. Teftescu, C. Cosneanu, Sisteme de amestecuri de formare pentru turnătorii, București, Ed. Tehnic, 1989
31. H.R. Abbasi, M. Bazdar, A. Halvaei, Effect of phosphorus as an alloying element on microstructure and mechanical properties of pearlitic gray cast iron, *Materials Science and Engineering*, 444(1-2), 314-317, 2007.
32. M. Ihm, Introduction to Gray Cast to Brake Rotor Metallurgy, SAE International Brake Colloquium, 2003.
33. D.C. Barton, Modelling of materials for automotive braking, *Materials Technology*, 49(6), 379-385, 2004.
34. M. Macnaughta, Cast iron brake discs—a brief history of their development and metallurgy, Technical Report, Foundryman, 1998, 321
35. http://www.anpm.ro/anpm_resources/migrated_content
36. Directiva 2002/49/CE, JO L 189, 18.7.2002, p. 12
37. <http://ec.europa.eu/transport/rail/ws/doc/position-paper.pdf>
38. UIC: Reducerea zgomotului la nivelul infrastructurii europene de căi ferate. Raport de evaluare 2007, <http://www.uic.asso.fr>
39. http://ec.europa.eu/transport/rail/studies/index_en.htm
40. A. Gatlan, Poluarea fonică în transportul feroviar și feroviar urban, *Buletinul AGIR*, Supliment 1/2012, pp.49-62.
41. <http://www.uic.org>
42. www.uic.asso.fr (Noise Reduction in Rail Freight - a 2007 report on the state of the art)
43. ***M suri de reducere a zgomotului feroviar la nivelul parcului existent, COM(2008) 432, Bruxelles, Comisia Comunităților Europene, 2008.
44. Y. Chengmei, Study on a New Formulation of Domestic Metro Synthetic Brake Shoe, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol:6 2012.
45. http://www.rail-forum.eu/wp-content/uploads/2014/04/130529_Graeber.pdf
46. http://visionstillesrheintal.files.wordpress.com/2013/06/noise_technical_measures_catalogue_final-2.pdf
47. ***UIC 541-4 Frâne – Frâne cu saboți de frână din material compozit. Condiții generale de certificare
48. ***UIC SET 07/2012 Normele de proiectare a saboților de frână din material compozit (K)
49. ***UIC SET 07/2013 Normele de utilizare a saboților de frână din material compozit (LL)

50. ***Railway noise in urban areas: possible source noise reduction measures, RAILNOISE, 2006
51. <http://www.agir.ro/buletine/780.pdf>
52. *** Contract CEEX nr.XC29/2006, Noi materiale și aplicații pentru modernizarea infrastructurilor din transporturi în vederea reducerii nivelului de vibrații și zgomot pentru liniile de cale ferată terestre și supraterane.
53. P. Neharkar Suresh, R.J. Patil, P.R. Sonawane, Study of friction and wear for optimization of disc brake material for reduction of brake sound, International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering, 2(6), 137-144, 2014.
54. http://frenoplast.eu/files/SHOES_L_EN.pdf
55. <http://ec.europa.eu/transport/rail/ws/doc/position-paper.pdf>.
56. www.becorit.de
57. www.cosid.de
58. www.icer-rail.com
59. www.jurid.de
60. www.ferom.ro
61. L. Pascu, A. Pușan, A. Socalici, T. Hepu, Researches on the quality of pig iron to be used in making rail braking shoes, Metalurgia Internațională, 18(4), 193-199, 2013.
62. L. Pascu, Optimizarea structurii și calității încercăturii metalice destinate elaborării fontelor fosforoase, Simpozion Științific Studențesc, HD-43-STUD, Hunedoara, 24-25 Mai 2013.
63. L. Pascu, A. Pușan, V. Pușan, A. Lascutoni, Analysis on the similarity between steel ladles and hot-water models regarding natural convection phenomena, International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, Kos, Greece, 19-25 September 2012, AIP Conference Proceedings, 1479, 767-770, 2012.
64. L. Pascu, Diana Stoica, Ana Socalici, Determining the Cooling Affected Volume by Adding Microcoolers in the Steel, International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, Kos, Greece, 19-25 September, 2012, AIP Conference Proceedings, 1479, 763-766, 2012.
65. A. Lascutoni, E. Ardelean, L. Pascu, T. Hepu, Mathematical model regarding addition of microcoolers in tundish of continuous casting machines, International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, Rhodes, Greece, Sep.21-27, 2013, AIP Conference Proceedings, 1558, 1333-1336, 2013.
66. 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.
67. E. Popa, L. Pascu, A. Socalici, A. Lascutoni, Industrial research on the quality of brake shoes meant for rolling stock, International Conference on Applied Sciences ICAS 2014, Hunedoara, 2-4 october 2014.
68. A. Socalici, L. Pascu, E. Popa, T. Hepu, The influence of the cast iron structure upon the hardness of brake shoes meant for the rolling stock, International Conference on Applied Sciences ICAS 2014, Hunedoara, 2-4 october 2014.
69. L. Pascu, E. Stinea, T. Hepu, the influence of residual elements upon the hardness of the brake shoes made of sulfurous cast iron, Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International journal of engineering, 12(4), 2014.

70. E. Stînea, L. Pascu, Influența elementelor de aliere asupra durității și a saboajelor de frână pentru materialul rulant, Simpozion științific Studențesc, HD-44-STUD, Facultatea de Inginerie Hunedoara, 23-24 Mai 2014
71. ***The UIC-project Noise Impact of Composite Brake Blocks (Nicobb), Meunier, Deutsche Bahn AG, 2009
72. *** Usage guidelines for composite (LL) brake blocks, UIC, UIC 2013
73. *** Noise Technical Measures Catalogue, UIC003-01-04fe UIC, 2013
74. S. Zhang, F. Wang, Comparison of friction and wear performances of brake material dry sliding against two Al matrix composites reinforced with different SiC particles, Journal of Materials Processing Technology, 182, 122-127, 2007.
75. G. Straffelini, M. Pellizari, A. Molinari, Influence of load and temperature on the sliding wear behavior of Al based metal matrix composites against friction material, Wear. 256, 754-783, 2004.
76. B. Breuer, K. H. Bill, Brake Technology Handbook SAE International, 2008
77. http://web.yzu.edu/gen/stem/generated_bin/documents/basic_module/120_911_CTME_Fireline_Final_Report.pdf
78. http://home.ufam.edu.br/berti/nanomateriais/8403_PDF_CH32.pdf
79. 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
80. *** STAS 9639 – 81, Încercările metalelor. Încercarea la uzare pe disc rotativ cu hârtie de lefuit
81. F. Sucal, .a., Organe de mașini. Mecanisme și tribologie – Studii de caz, Ed. Todesco, 2008
82. C. Georgescu, L. Deleanu, M. Botan, Dry sliding of composites with PBT matrix and micro glass beads on steel, Industrial Lubrication and Tribology, 66(3), 424 –433, 2014.
83. L. Deleanu, M. Răp, I.G. Bîrsan, J. Constantin, P. Badea, Tribological aspects of a metal + polymer composite, The Annals of University "Dunărea de Jos" of Galați, Fascicle VIII, 2006 (XII), Tribology, 14-21, 2006.
84. M. Botan, C. Georgescu, L. Deleanu, Wear Resistance of Materials Based on Polyamide and Aramid Fibers, 8th International Conference on Tribology, 30 Oct -1 Nov, Sinaia, Romania, 2014.
85. M. Botan, C. Pirvu, C. Georgescu, L. Deleanu, Influence of Feed Speed on Surface Quality of Several Building Stones, World Tribology Congress 2013 Torino, Italy, September 8 – 13, 2013.
86. C. Georgescu, M. Botan, L. Deleanu, Influence of Adding Materials in PBT upon Tribological Behavior, the 3rd International Conference on Polymers Processing in Engineering, ICPPE 2013.
87. M. Botan, C. Georgescu, L. Deleanu, Influence of PTFE Concentration in PBT upon Thermal Properties, 12th International Conference Research and Development in Mechanical Industry, 14-17 September 2012, Vrnjaka Banja, Serbia.
88. M. Botan, C. Georgescu, D. Dobrea, L. Deleanu, Mechanical properties for blends of PBT and PTFE, The 7th International Symposium KOD 2012, 24-26 May, Balatonfüred, Hungary, 531-563.
89. L. Deleanu, C. Georgescu, C. Suci, A comparison between 2D and 3D surface parameters for evaluating the quality of surfaces, The 3rd International Conference on Diagnosis and Prediction in Mechanical Engineering Systems May 31 – June 1, 2012, Galați, Romania.

90. C. Georgescu, M. Botan, L. Deleanu, Tribological Characterisation of PBT+ Glass Bead Composites with the Help of Block-on-ring Test, 13th International Conference on Tribology, Kragujevac, Serbia, 15 – 17 May, 2013.
91. L. Maftai, Contribu ii la studiul comport rii tribologice a compozitelor cu poliamid i microsfer e de sticl , tez e de doctorat Universitatea "Dun rea de Jos" Gala i, 2010
92. W.L. Guesser, et al., Production experience with compacted graphite iron automotive components, in: Proceedings of the AFS Congress, Dallas, 2001
93. * * * Cercet ri fundamentale i aplica ii privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondi ion rii elicelornavale – Elnav, CEEX 322/2006.
94. M. Botan, C. Georgescu, L. Deleanu, Influence of the Feed Speed on the Surface Quality for Granite and Marble, The 16th International Conference VAREHD, Suceava, October 25-27, 2012, Proceedings of VAREHD, Vol. 16, 2012.
95. C. Georgescu, M. Botan, L. Deleanu, Tribological Characterisation of PBT + Glass Bead Composites with the Help of Block-on-Ring Test, Tribology in Industry, 35(2), 134-140, 2013.
96. M. Botan, C. Georgescu, L. Deleanu, Thermal Properties of Composites with Poly(Butylene Terephthalate) and Glass Beads, Scientific Conference Of Doctoral School From "Dunarea de Jos" University Of Galati, 2013.

