

TITLUL TEZEI

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la
Universitatea Politehnică Timișoara
în domeniul de doctorat Ingineria materialelor

autor ing. Flavius BUCUR

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Ana Virginia SOCALICI

luna 09 anul 2023

PREFAȚĂ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Partea I

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

CAPITOLUL 1 FONTE UTILIZATE LA TURNAREA SABOȚILOR DE FRÂNĂ A MATERIALULUI RULANT

Saboții de frână folosiți la calea ferată sunt fabricați în conformitate cu prevederile fișei UIC 832 și cu cerințele suplimentare conținute în Caietul de sarcini, Nr.1/SFMR/SDT/2000, Saboți de frână pentru material rulant motor și remorcat, elaborate de Societatea Națională a Căilor Ferate Române (SNCFR) și aprobat de Autoritatea Feroviară Română (AFER) [1/3, 2/6].

La materialul rulant de cale ferată, pentru elaborarea saboților de frână, se folosește o fontă aliată cu fosfor. Fontele destinate saboților au în structură steadită, care este un eutectic ternar fosforos (perlită, cementite și fosfură de fier) [3/7, 4/8, 5/9].

În fontele cenușii aliate cu fosfor o importanță foarte mare o are eutecticul fosforos care este foarte dur și fragil. Eutecticul fosforos este influențat de procentul de fosfor și de elementele care influențează capacitatea de segregare a acestuia (figura 1/1.7) [6/5,7 /13].

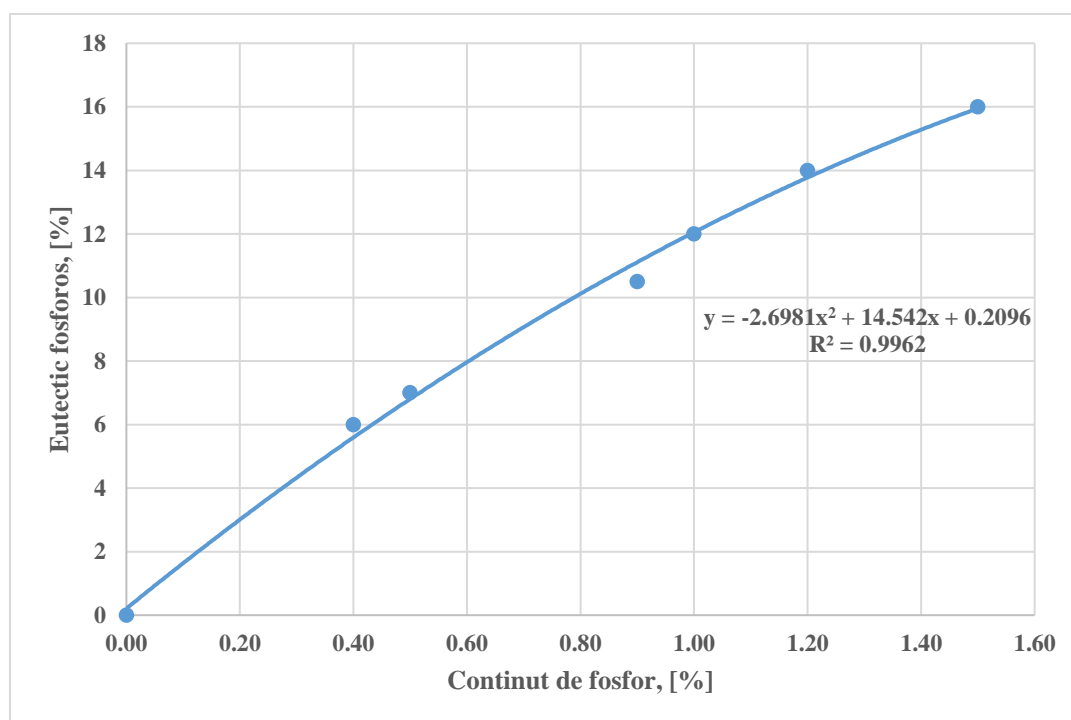


Figura 1/1.7. Variația eutecticului fosforos în fonte [6/5, 8/10]

În fontele fosforoase, având în vedere formarea steaditei, aceasta fiind un constituent cu o duritate mare se obține o creștere a durității acestora (figura 2/1.10) [5/9, 6/5, 8/10, 9/12].

Calitatea saboților de frână (în special calitatea suprafețelor și precizia dimensională) turnați în forme de mare densitate, este superioară comparativ cu saboții de frână obținuți prin orice altă metodă clasică de formare. Fonta fosforoasă P10, din care sunt confecționați saboții de frână, are caracteristici superioare. Influența conținutului de fosfor al fontei din care este confecționat sabotul este importantă, dar nu trebuie ignorată influența celorlalte elemente componente a structurii metalografice asupra coeficientului de frânare și a uzurii.

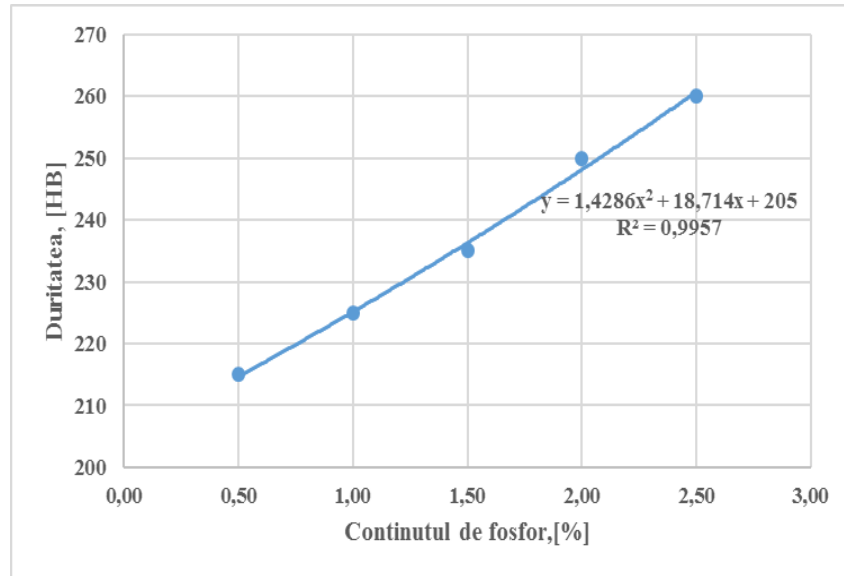


Figura 2/1.10. Influența fosforului asupra durității fontei

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

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

CAPITOLUL 2

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

Fabricarea saboților din fontă fosforoasă se realizează la FOREVA Simeria, parte din REVA Simeria.

Secția de turnătorie a firmei SC FOREVA SRL Simeria produce semifabricate turnate din fontă cenușie și slab aliată, cu masa între 1kg – 5000kg, având ca destinație [10/22]:

- a) saboți de frână;
- b) piese de schimb pentru uz general industrial;

Fluxul tehnologic de la SC FOREVA SRL Simeria are în dotare [10/22]:

- trei cuptoare electrice cu inducție;
- mașină automată de format în curent de aer-presare;
- amestecător cu paleți EIRICH, capacitate 640kg;
- amestecător HAMMERS;
- stație de preparare a amestecului de formare;
- dezbătător cu masa excentrică, capacitate 7,5t;
- o linie semiautomată de turnare saboților de frână;
- camera de sablat cu alice cu turbine WHEELABRATOR SMARTLINE;
- camera de sablat cu alice cu bandă;
- o linie de formare-turnare automatizată Omega SO8172.

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

La confecționarea saboților de frână destinați materialului rulant, cea mai largă utilizare o au fontele fosforoase P10 [1/3,2/6,11/23].

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

Caietul de sarcini Nr.1/SFMR/SDT/2000 [2/6] reglementează condițiile pe care trebuie să le îndeplinească saboții de frână din fontă tip P10, saboți destinați materialului rulant. Tabelul 1/2.1 prezintă compoziția chimică a saboților din fontă fosforoasă tip [1/3, 6/5, 2/6].

Tabelul 1/2.1. Compoziția chimică a saboților din fontă fosforoasă

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

Caracteristici fizice și mecanice ale saboților de frână din fontă:

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

Sabotul trebuie să prezinte pe suprafața laterală, ca și în secțiune, o duritate Brinell de cuprinsă între 197 – 255HB [6/5, 2/6, 12/29].

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

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

Partea a II-a

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

CAPITOLUL 3

CERCETĂRI EXPERIMENTALE INDUSTRIALE PRIVIND TURNAREA SABOȚILOR DE FRÂNĂ DIN FONTĂ FOSFOROASĂ

Procesul tehnologic de obținere a saboților de frână cuprinde:

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

Saboții de frână pentru materialul rulant motor și remorcat sunt piese omologate, iar activitățile de furnizare a acestora sunt autorizate de către Autoritatea Feroviară Română [2/6].

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

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

Pentru elaborarea fontelor experimentale, încărcătura a fost structurată astfel:

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

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

Încercarea durtății Brinell se realizează în conformitate cu SR EN ISO 6506-1:2006 (figura 3/3.7) și cu instrucțiunile prevăzute în caietul de sarcini [1/3, 2/6, 13/38, 14/39], astfel:

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

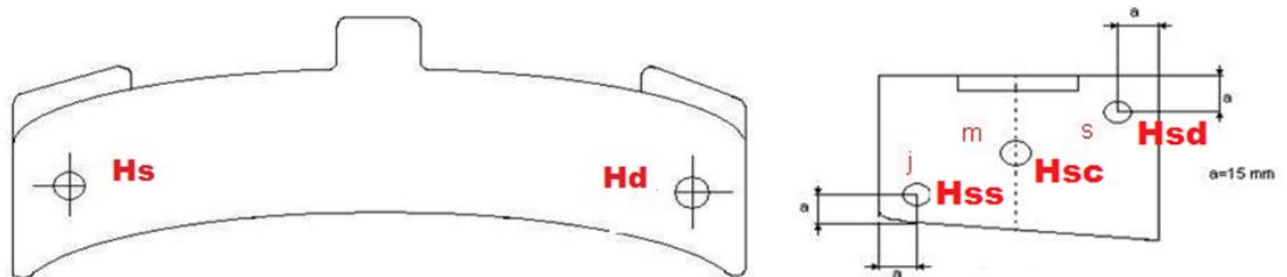


Figura 3/3.7. Puncte de măsurare a durtății [13/38]

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

Pentru șarjele industriale examenul metalografic al fontei sabotului s-a efectuat conform cu SR EN ISO 945-1:2009 și fișa UIC 832 și a constat în analiza a patru probe/șarjă, și anume [1/3, 6/5, 15/30]:

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

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

După precedeu de prelucrare, probele au fost analizate cu ajutorul microscopului optic Olympus BX51M obținându-se microstructurile la măririle de 100x, 200x, 300x și 500x pentru ambele probe. Din punct de vedere al suprafeței ocupate de grafit se evidențiază încadrarea în structura de tip G6, atât pentru proba P1, cât și pentru proba P2.

CAPITOLUL 4

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

În cadrul cercetărilor industriale efectuate s-a urmărit stabilirea unor corelații între elementele din compoziția chimică a saboților de frână (parametri independenți) și duritatea - principalul parametru calitativ pentru saboții de frână (parametru dependent). Datele referitoare la compoziția chimică a saboților de frână a șarjelor experimentale industriale respectiv a durității acestora în punctele măsurate au fost prelucrate în programele EXCEL și MATLAB.

Pentru stabilirea ecuațiilor de corelație s-au analizat următorii parametri: parametri independenți: elementele din compoziția chimică a saboților de frână (C, Mn, Si, S, P); parametri dependenți: duritatea măsurată în cele cinci puncte ale sabotului (Hs, Hd, Hss, Hsc și Hsd), media durității pe suprafața sabotului (Hm) și media durității în secțiunea sabotului (Hsm). Pentru exemplificare, în figurile 4/4.9-10/4.15 sunt prezentate suprafețele de regresie și curbele de nivel pentru duritatea fontei (Hs, Hd, Hss, Hsc, Hsd, $(Hs+Hd)/2$, $(Hss+Hsc+Hsd)/3$) în funcție de compoziția chimică (C, Mn) [16/40-18/44]. De asemenea, s-a determinat pentru fiecare corelație coeficientul de corelație și coordonatele punctelor de inflexiune.

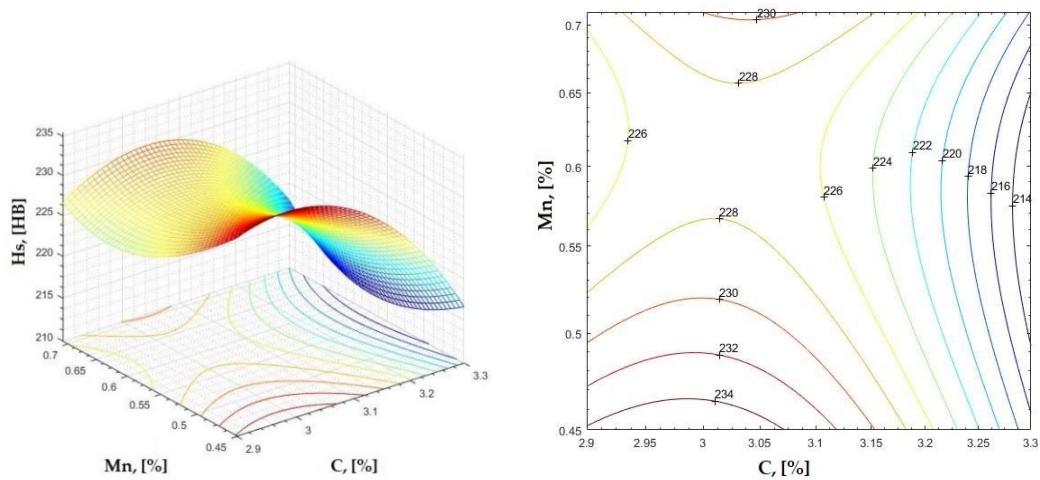


Figura 4/4.9. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_s = f(C, Mn)$

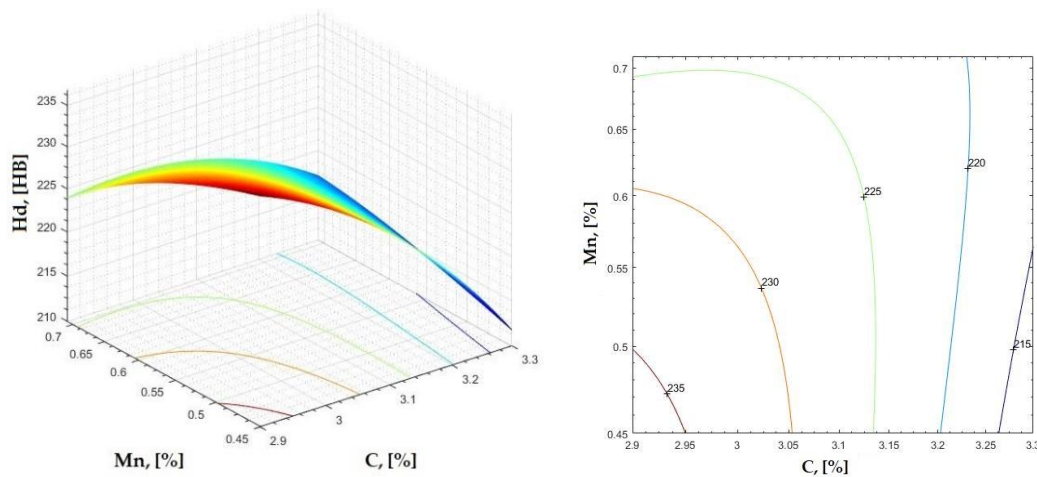


Figura 5/4.10. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_d = f(C, Mn)$

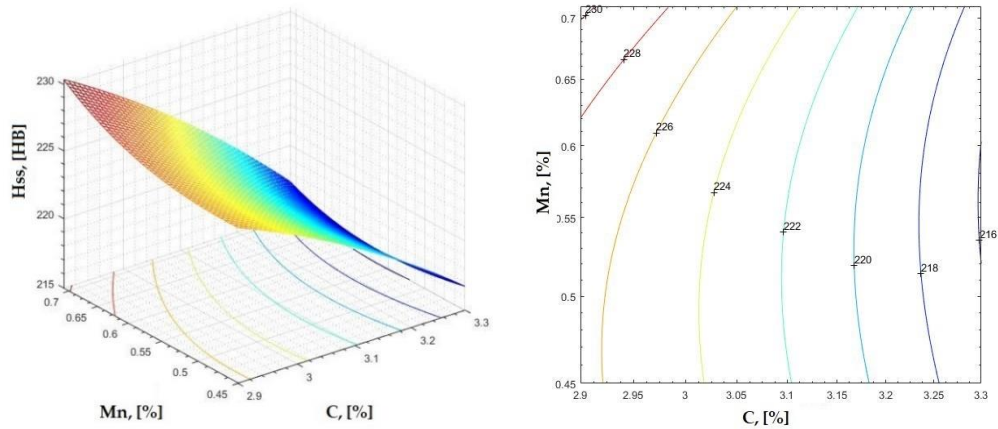


Figura 6/4.11. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{ss} = f(C, Mn)$

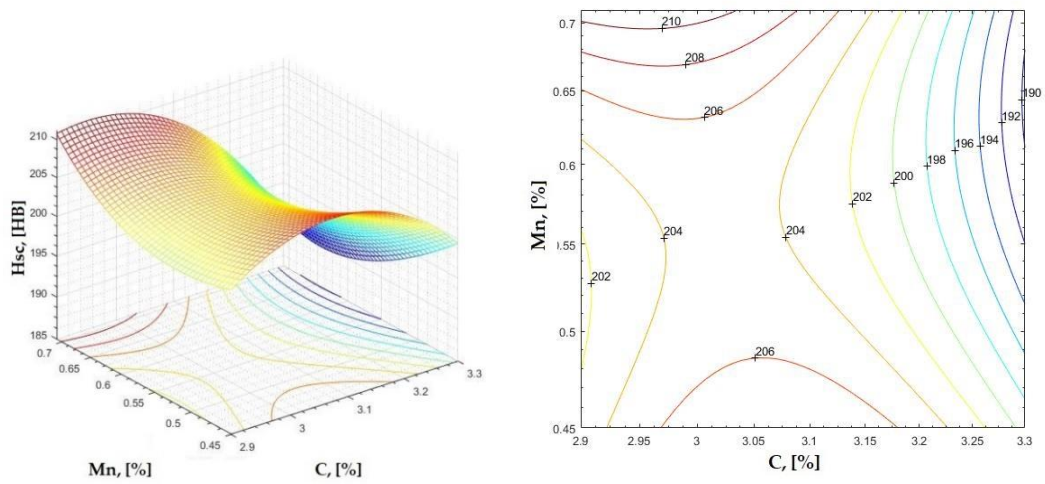


Figura 7/4.12. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sc} = f(C, Mn)$

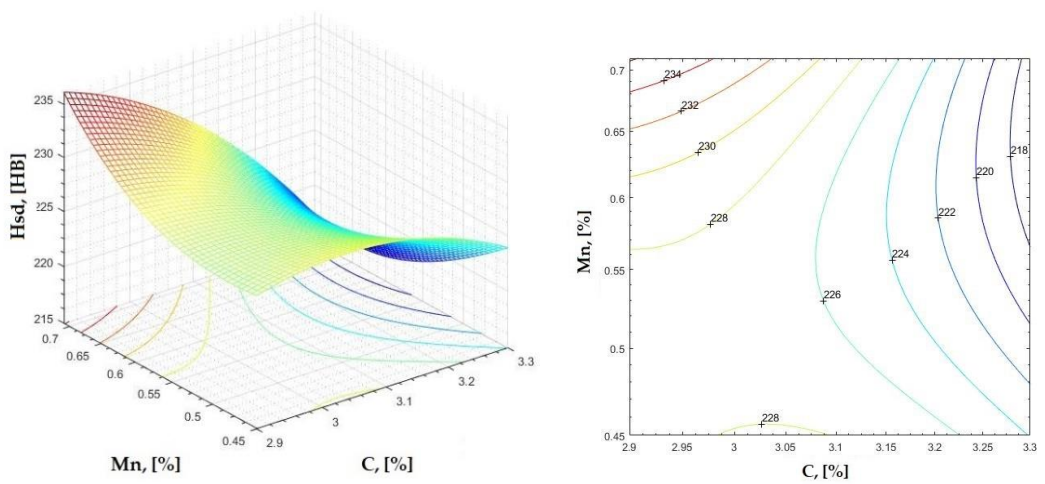


Figura 8/4.13. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $H_{sd} = f(C, Mn)$

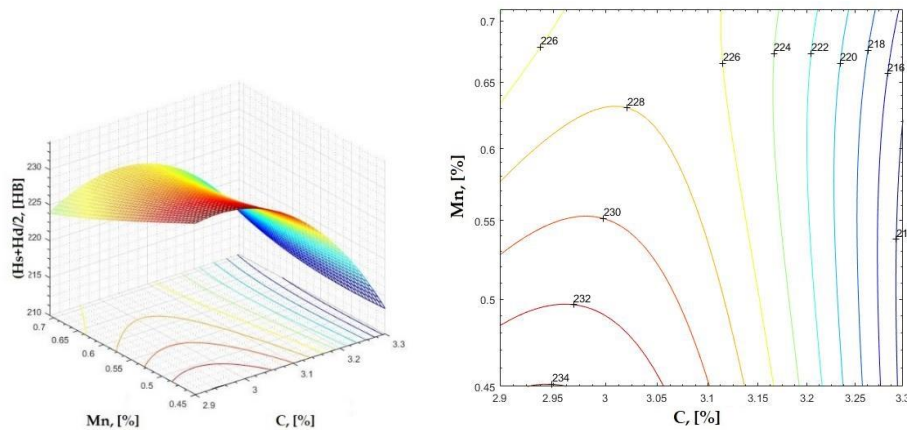


Figura 9/4.14. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(Hs+Hd)/2 = f(C, Mn)$

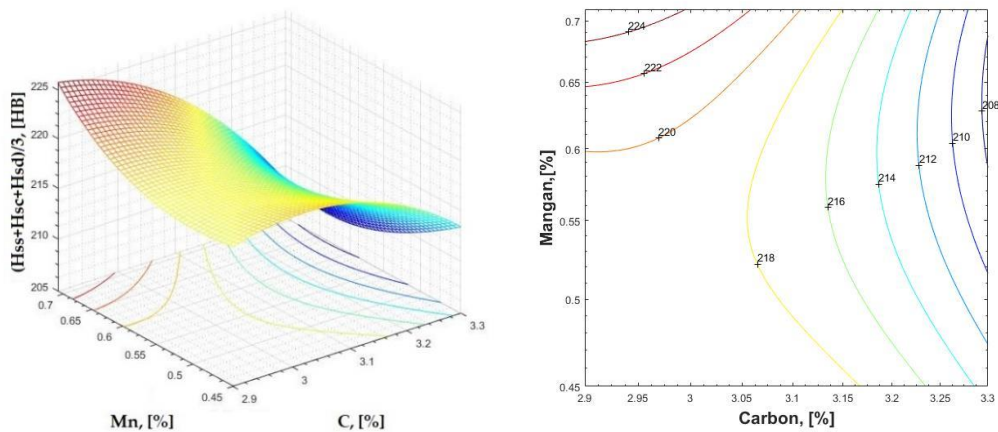


Figura 10/4.15. Suprafața de regresie și curbele de nivel pentru $(Hss+Hsc+Hsd)/3 = f(C, Mn)$

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

CAPITOLUL 5

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

În vederea realizării simulării procesului de turnare și solidificare a saboților de frână de tip S1, turnat din fontă fosforoasă, s-a fost realizat modelul piesei. Pentru modelare s-a folosit modulul CAD a softului SolidWorks. În urma modelării sabotului se obțin cele două elemente componente: sabotul propriu-zis (din fontă) și șina de armare (din oțel). Ulterior, prin intermediul aceluiași soft, Solidworks, se realizează ansamblul sabot-șina de armare. În urma realizării modelului 3D a sabotului de tip S1, are loc simularea procesului de turnare și solidificare, cu ajutorul softului Altair-InspireCast. În acest fel, este realizată o analiză cu element finit a procesului de turnare și solidificare. Pentru sabotul de tip S1, forma de turnare

cuprinde o baterie de 8 saboți, împreună cu rețeaua de turnare. Înainte de efectuarea turnării aliajului lichid în formă sunt amplasate șinele de armare. În acest context, pentru obținerea ansamblului pieselor brut turnate, s-a realizat modelul cu ajutorul softului SolidWorks (figura 11/5.6). Pentru simularea procesului de turnare și solidificare a fost realizat modelul 3D, folosind metoda elementului finit. Modelul obținut ilustrează fenomenul care are loc în practica industrială, respectiv turnarea prin rețea de turnare a unei baterii de 8 saboți de frână.

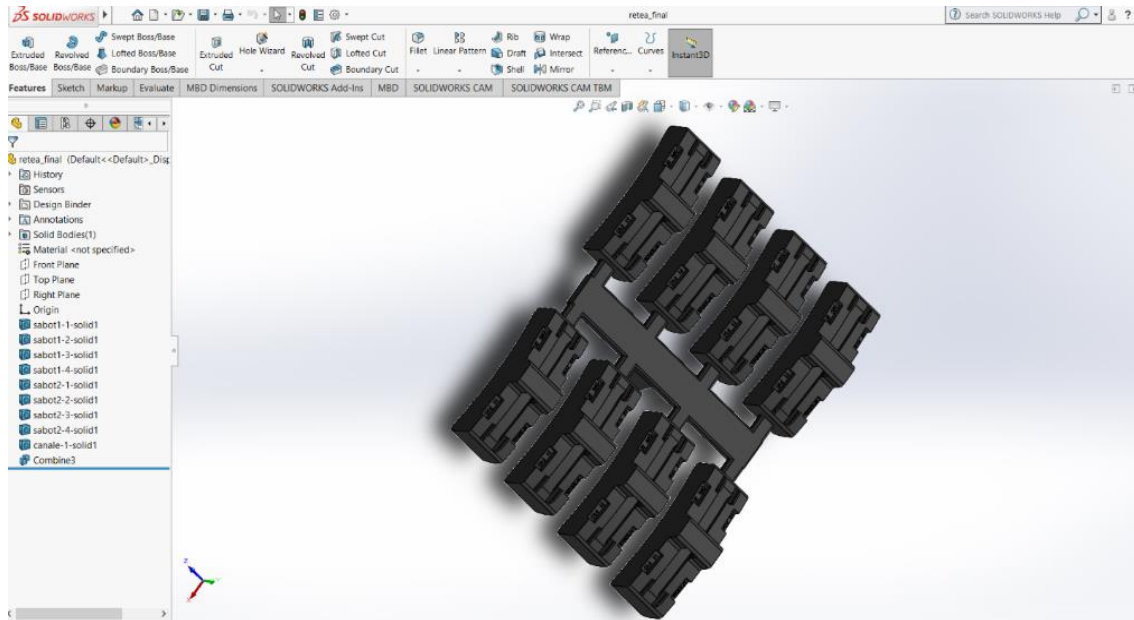


Figura 11/5.6. Ansamblul pieselor brut turnate

Modulul destinat studiului procesului de solidificare a aliajului lichid indică, în primul moment, temperatura maximă ($1273,15^{\circ}\text{C}$), după care are loc o scădere vizibilă a temperaturilor înregistrate. Din rezultatele simulării rezultă faptul că după aproximativ 5 minute, temperatura a scăzut cu aproximativ 190°C . Sfârșitul procesului de solidificare, indicat de simularea procesului, este identificat la 16381,81s (aproximativ 4,55 ore), prezentat în figura 12/5.16.

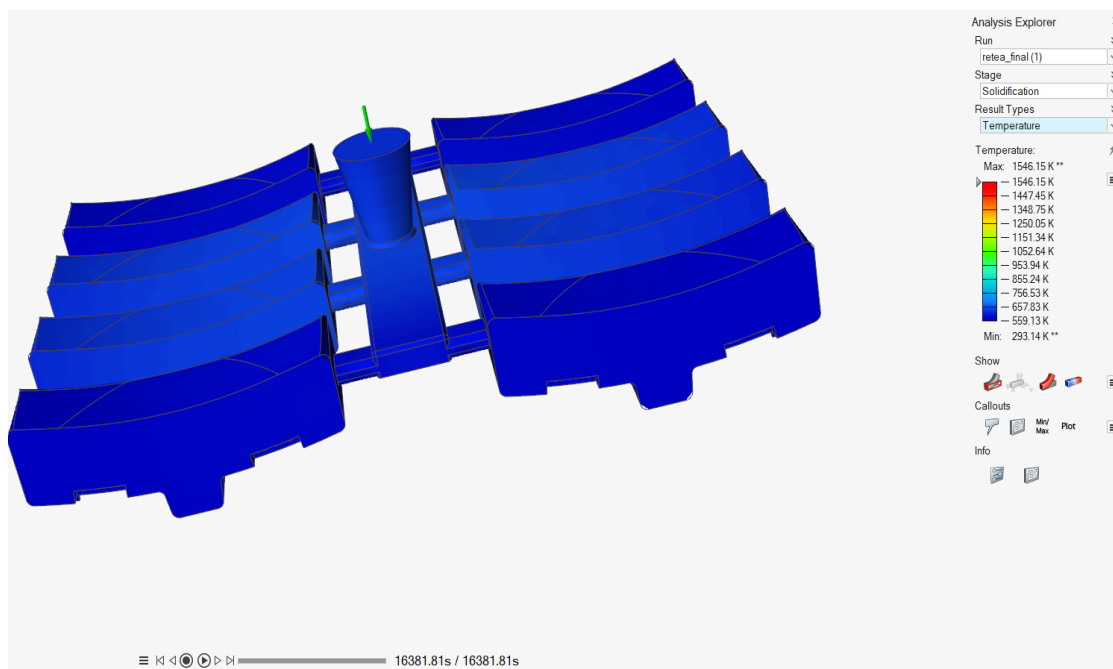


Figura 12/5.16. Sfârșitul procesului de solidificare

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

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

CAPITOLUL 6

VERIFICAREA INDUSTRIALĂ A REZULTATELOR EXPERIMENTALE

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

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

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

Pentru a evidenția influența microstructurii asupra caracteristicilor mecanice și tehnologice ale saboților de frână s-a optat pentru caracterizare morfologică a probelor experimentale utilizând microscopia electronică cu baleaj (microscopul electronic cu baleaj Quanta FEG 250) [19/68].

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

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

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

- evidențierea grafitului pentru ambele probe (forma separărilor de grafit, repartizarea grafitului, lungimea separărilor de grafit și suprafața ocupată de acesta) s-a obținut pe probe neatacate;
- evidențierea masei metalice de bază, a perlitei și a eutecticului fosforos s-a obținut prin determinări pe probele atacate cu nital 5%.

CAPITOLUL 7

CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Direcții de continuare a cercetărilor:

- Creșterea gradului de pregătire a încărcăturii metalice destinate elaborării fontei fosforoase;
- Reducerea consumurilor specifice de metal și energie pe fluxul tehnologic de fabricație a saboților de frână;
- Creșterea duratei de exploatare a saboților de frână;
- Extinderea cercetărilor privind obținerea saboților de frână din material compozit, având în vedere normativele europene cu privire la reducerea zgomotului pe calea ferată.

BIBLIOGRAFIE

- [1/3] *** UIC 832 – Technical specification for the supply of brake-shoes made from phosphoric iron for tractive and trailing stock, 2004
- [2/6] *** Caiet de sarcini, Nr.1/SFMR/SDT/2000, Saboți de frână pentru material rulant motor și remorcat
- [3/7] A. Aloman, ș.a., Tratat de știința și ingineria materialelor metalice, vol.I, Ed. AGIR 2006.
- [4/8] A. Josan, Tehnologia formării și turnării aliajelor, Ed. Politehnica, Timișoara, 2002
- [5/9] A. Josan, Tehnologii de formare și turnare a pieselor metalice. Aplicații practice, Ed. Politehnica, Timișoara, 2020
- [6/5] L. Pascu, Researches on Improving the Quality of Brake Shoes Meant for Use with the Rolling Stock, PhD thesis, Politehnica Timisoara, Romania, 2015
- [7/13] W. L.Guesser, I.Masiero, Thermal Conductivity of Gray Iron and Compacted Graphite Iron Used for Cylinder Heads, Revista Materia, 10(2), 265 -72, 2005
- [8/10] I. Ripoșan, M. Chișamera, L. Sofroni, Tratat de Știință și Ingineria Materialelor, vol.3, Editura Agir, 2009
- [9/12] <https://images.slideplayer.com/12/3514010/>
- [10/21] <https://revasimeria.ro/>
- [11/23] I. Călugărescu, E. Pretorian, D. Tilea, I. Langa, E. Opreșenescu, M. Radoi, Mașini și utilaje vagoane, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1985
- [12/29] **F. Bucur**, Z. Trisovic, Calitatea saboților de frână destinați materialului rulant, Simpozionul Științific Studentesc HD 53 STUD, Secțiunea Studii Doctorale, Mai 2023, Hunedoara
- [13/38] **F. Bucur**, V. Putan, A. Socalici, A. Josan, “Research on the influence of chemical composition on the hardness of cast iron”, U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 81, Iss. 3, pp.150-156, 2019, FI 0,5 (WOS:00048721540001)
- [14/39] **F. Bucur**, Research on the Factors Influencing the Quality of Phosphorous Cast Irons, Acta Technica Corvinensis - Bulletin of Engineering, Vol. 12 Issue 1, pp.35-38, Jan-Mar 2019, (ProQuest, Google Scholars, EBSCO).
- [15/30] *** SR EN ISO 945-1:2009/AC2010 Microstructure of cast irons - Part 1: Graphite classification by visual analysis
- [16/40] **F. Bucur**, A. Socalici, A. Josan, V. Putan, “Research regarding the hardness of cast iron”, International Conference on Applied Sciences ICAS 2019, Journal of Physics: Conference Series 1426, 012049, 2020, (WOS:000649150700049)
- [17/43] **F. Bucur**, L. Pascu, C. Birtok Baneasa, A. Budiul Berghian, A. Socalici, “Research on the production of composite materials for brake shoes”, U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 84, Iss. 1, pp.227-236, 2022, FI 0,5 (WOS:000487215400015)
- [18/44] C. Pacurar, **F. Bucur**, Monitorizarea factorilor de mediu într-o uzina siderurgică, in Simpozionul Științific Studentesc HD 48 STUD, Secțiunea Studii Doctorale, Mai 2018, Hunedoara.
- [19/69] www.icer.ro