

REZUMAT

al tezei de doctorat cu titlul „Cercetări privind utilizarea materialelor compozite la sistemele de frânare ale autovehiculelor”

Doctorand: Ing. CRĂCIUN Andrei Lucian

Conducător științific: Prof.univ.dr.ing. HEPUȚ Teodor

CAPITOLUL 1. OPORTUNITATEA CERCETĂRILOR, OBIETIVE ȘI STRATEGII EXPERIMENTALE

Exigențele actuale, privind siguranța rutieră, impune dezvoltarea unor noi soluții tehnice pentru sistemele „vitale” ale autovehiculului [1/1].

Multe părți din componența autovehiculelor contribuie activ sau pasiv la creșterea performanței în funcționare. Siguranța este strâns legată de eficiența sistemului de frânare, acesta fiind unul dintre cele mai importante componente dintr-un autovehicul [2/2].

Datorită faptului că industria autovehiculelor este o ramură a economiei care utilizează produse obținute în aproape toate celelalte industrii, fiind cea mai mare consumatoare de materiale din economie, preocupările actuale sunt îndreptate în direcția valorificării celor mai noi cercetări din domeniul materialelor și tehnologiilor moderne din toate domeniile care participă la realizarea autovehiculelor [3/4].

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

- obținerea în laborator a materialelor compozite organice după rețete proprii, destinate realizării plăcuțelor de frână pentru autovehiculele de dimensiuni mici și performanțe medii;
- analiza tehnologică și optimizarea caracteristicilor calitative ale materialelor de fricțiune produse;
- caracterizarea și testarea materialelor compozite organice produse după rețete proprii optimizate, conform standardelor în vigoare.

Cercetările au caracter aplicativ, rezultatele obținute având aplicabilitate practică în domeniul ingineriei autovehiculelor.

Teza de doctorat are un caracter multidisciplinar și reprezintă o contribuție în domeniul ingineriei materialelor cu destinație pentru sistemele de frânare ale autovehiculelor rutiere. Prin cercetările și experimentările propuse și efectuate s-a urmărit obținerea, caracterizarea și testarea unor materiale compozite organice, destinate realizării plăcuțelor de frână din componența sistemelor de frânare ale autovehiculelor de dimensiuni mici și cu performanțe medii.

CAPITOLUL 2. ANALIZA COMPONENTELOR SISTEMELOR DE FRÂNARE ALE AUTOVEHICULELOR

Acest capitol cuprinde o prezentare generală a principalelor componente ale sistemului de frânare al autovehiculelor, cu evidențierea principiilor de funcționare ale acestora, analiza rolului discurilor și a plăcuțelor de frână, prezentarea cerințelor impuse acestor elemente co-funcționale în vederea evitării riscurilor legate de siguranță, precum și importanța utilizării materialelor compozite în producerea plăcuțelor de frână.

Discurile și plăcuțele de frână sunt cele mai solicitate componente pentru siguranța sistemului de frânare, care funcționează împreună, în realizarea lor fiind impuse anumite cerințe care trebuie îndeplinite de fiecare în parte. În condițiile respectării acestor cerințe, riscurile legate de siguranță, pierderea confortului și reducerea duratei de viață a acestui ansamblu co-funcțional pot fi evitate prin [4/12]:

- utilizarea unor materiale adecvate care să satisfacă multitudinea de cerințe impuse pentru ambele componente co-funcționale;
- utilizarea unor tehnologii moderne de fabricație;

- întreținerea corectă a ansamblului disc-plăcuță de frână.

În acest context, direcțiile de cercetare actuale în industria autovehiculelor sunt îndreptate spre domeniul materialelor și tehnologiilor de fabricație a pieselor din componența acestuia.

CAPITOLUL 3. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND MATERIALELE UTILIZATE LA FABRICAREA DISCURILOR ȘI A PLĂCUȚELOR DE FRÂNĂ

Acest capitol cuprinde sinteza bibliografică cu privire la evoluția materialelor utilizate la fabricarea discurilor și a plăcuțelor de frână.

Discurile de frână ale autovehiculelor sunt produse din fontă, acesta fiind cel mai eficient material din punct de vedere tehnologic și economic, care satisface toate proprietățile necesare acestui component al sistemului de frânare [5/13]. În condiții reale de funcționare, discul de frână este expus la o solicitare de oboseală termomecanică din acest motiv, materialele utilizate la realizarea discurilor de frână trebuie să prezinte: capacitate termică și difuzivitate termică ridicată, să aibă o densitate scăzută, să asigure un coeficient bun de frecare, caracteristici mecanice stabile la temperaturi ridicate în mediu umed, rezistență ridicată la uzură, rezistență la coroziune, stabilitate la frecare, greutate și zgomot scăzut, durabilitate în funcționare și nu în ultimul rând preț de cost cât mai scăzut [5/13]. De-a lungul timpului, proprietățile fontelor destinate realizării discurilor de frână au fost îmbunătățite prin adăugarea unor elemente de aliere, cum ar fi: mangan, vanadiu, molibden, crom, cupru, etc. [6/19].

În procesul de turnare al fontelor destinate realizării discurilor de frână trebuie riguros controlată atât compoziția chimică, cât și factorii care influențează procesul de răcire. În acest sens, principalul parametru este viteza de răcire care depinde de: grosimea peretelui piesei, proprietățile termo-fizice ale formei de turnare, caracteristicile tehnologiei de turnare (temperatura, viteza de turnare, temperatura formei de turnare) [7/20].

Cele mai utilizate fonte utilizate la fabricarea discurilor de frână sunt fontele cenușii cu grafit lamelar, nodular și vermicular, iar microstructurile care oferă cea mai bună comportare în exploatare a discurilor de frână sunt cele ferito-perlitice și perlitice [8/21].

Discurile de frână pot avea un efect direct asupra duratei de viață a plăcuțelor de frână, acestea fiind o componentă importantă în cadrul sistemului de frânare al autovehiculelor. Plăcuțele de frână pot fi de diferite tipuri, iar alegerea lor se face în funcție de: tipul autovehiculului, tipul motorului și caracteristicile generale prevăzute în standardele aflate în vigoare [9/45].

Tipologia plăcuțelor de frână depinde de materialul din care acestea sunt realizate și pot fi: organice, semi-metalice, metalice și ceramice [9/45].

Materialele compozite nu există în stare naturală, ci sunt produse sintetic pentru a răspunde unor exigențe bine definite. Printr-o alegere corespunzătoare, atât calitativ, cât și cantitativ a materialelor componente se pot realiza materiale compozite cu proprietăți superioare materialelor tradiționale [1/1],[2/2]. În conceperea unui material compozit se urmărește obținerea unei rezistențe și a unei rigidități mari raportate la unitatea de greutate, parametrii exprimați prin două caracteristici: rezistența specifică și modulul specific [10/46].

Principalele categorii de materiale care intră în compoziția plăcuțelor de frână organice sunt: materiale abrazive, modificatori de frecare, material de umplură și lianți [11/48].

Coeficienții de frecare pentru cuplele de frecare disc-plăcuță de frână sunt cuprinse între 0,3-0,7, dar plăcuțele de frână pentru traficul urban au un coeficient mediu de frecare cuprins între 0,25-0,35 [12/63].

Principalele defectele ale discurilor de frână sunt: trepidația frânei, zgomotul în funcționare, fisuri și zgârieturi, iar în ceea ce privește plăcuțele de frână defectele se referă la: desprinderea materialului de fricțiune, defecte legate de utilizare, defecte de montaj, avarii provocate de influențe ale mediului. Obținerea și conservarea calităților de frânare ale unui

autovehicul se poate realiza cu ajutorul unor componente ale sistemelor de frânare care să nu prezinte defecte [4/12].

În concluzie, materialele compozite datorită calităților pe care le au se impun în fața materialelor clasice. În industria autovehiculelor, folosirea acestor materiale duce la creșterea rezistenței componentelor, concomitent cu scăderea greutateii acestora, ceea ce presupune reducerea consumului de combustibil și creșterea performanțelor.

CAPITOLUL 4. EXPERIMENTĂRI ȘI ANALIZE TEHNOLOGICE PRIVIND OBTINEREA ȘI CARACTERIZAREA MATERIALELOR COMPOZITE

În cadrul acestui capitol s-au produs, analizat, optimizat și caracterizat mai multe rețete de materiale compozite destinate realizării plăcuțelor de frână pentru autovehiculele de dimensiuni mici și performanțe medii.

În prima parte a programului de cercetare experimentală s-au conceput și realizat două matrițe în vederea producerii probelor necesare determinării caracteristicilor fizico-mecanice și tribologice ale materialelor compozite. De asemenea s-au conceput și realizat 20 de rețete și s-a stabilit din aproape în aproape tehnologia de sinterizare pe baza analizelor tehnologice efectuate la fiecare rețetă. Dintre acestea au fost selectate un număr de 8 rețete din care s-au realizat probe disc și cilindrice (pini) din care au fost prelevate epruvete în vederea determinării caracteristicilor fizico-mecanice și tribologice.

În a doua parte a programului de cercetare experimentală s-au caracterizat materialele produse prin determinarea experimentală a caracteristicilor fizico-mecanice și s-a realizat optimizarea rețetelor inițial stabilite prin calcul statistico-matematic.

În partea a treia s-au produs materialele compozite după rețetele optimizate pentru care s-au determinat experimental caracteristicile fizico-mecanice și s-a efectuat studiul morfologiei suprafețelor.

În vederea stabilirii rețetelor prezentate în acest capitol s-a plecat de la un amestec de materii prime, care cuprinde: aluminiu, grafit, oxid de zirconiu, carbură de siliciu, oxid de titan, oxid de aluminiu, sulf, rășină fenolică (de tip Râșnov) și fibră de nucă de cocos. Alegerea acestora s-a făcut având în vedere destinația plăcuțelor de frână (pentru autovehiculele de dimensiuni mici și performanțe medii) în conformitate cu literatura de specialitate cu privire la componența plăcuțelor de frână organice. Obținerea în laborator a materialelor compozite organice destinate realizării plăcuțelor de frână are la bază metalurgia pulberilor [13/64].

Din cele 20 de probe s-au selectat opt considerate corespunzătoare din punct de vedere al compactității, integrității, elasticității și aspectului eșantionului, acestea fiind utilizate în cadrul experimentelor următoare. Cele 8 rețete pot fi grupate în două familii de materiale compozite datorită compoziției similare a componenților. În cadrul aceleiași familii de materiale compozite, aproximativ 75% dintre constituenți au fost menținuți la aceeași proporție și s-a modificat cu câte $\pm 5g$ (5%) proporția de aluminiu și fibră de nucă de cocos. Diferența de la o familie de compozite la cealaltă constă în faptul că, prima familie are în compoziție oxid de titan, iar cea de a doua oxid de aluminiu, ambele componente având proporții identice. Din fiecare rețetă s-au realizat probe cilindrice din care s-au prelevat epruvete pentru determinarea durității, a densității, a porozității, epruvete pentru analiza morfologiei suprafețelor, precum și pentru efectuarea încercărilor mecanice. Concluziile obținute la determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale materialelor compozite sunt [14/65]:

- valorile densităților pentru cele două familii de materiale compozite produse sunt relativ scăzute comparativ cu densitățile metalelor;
- cea mai mare densitate o au epruvetele produse după rețetele fără fibră de nucă de cocos, aceasta datorită faptului că în aceste rețete există cea mai mare cantitate de metal;
- cea mai mică valoare a porozității s-a obținut pentru probele realizate cu 10% fibră de nucă de cocos;

- se observă că există o tendință de creștere a rezistenței la compresiune cu creșterea proporției de fibră de nucă de cocos.
- analizând rezultatele obținute comparativ cu cele din literatura de specialitate s-a observat că valorile obținute pentru forța de rupere prin compresiune, tensiunea de rupere și modulul de elasticitate longitudinal au valori relativ scăzute.
- pentru unele probe ruperea nu s-a produs la valoarea maximă a forței disponibilă la echipamentului de încercare care este de 5 KN, deci aceste probe prezintă rezerve de rezistență, ceea ce impune repetarea încercărilor pe un echipament de încercare care să permită o forță de rupere mai mare.

Având în vedere rezultatele obținute, s-a trecut la optimizarea componentelor rețetelor.

Astfel, s-au conceput 15 rețete la care proporția de aluminiu a variat între 6 - 25(%), iar proporția de nucă de cocos între 0 - 19 (%).

Din fiecare rețetă s-au produs probe disc pentru care s-a determinat rezistența la compresiune.

Rezultate obținute au fost prelucrate în Excel și Matlab, în vederea obținerii unor corelații între rezistența la compresiune și proporția de componente din rețetă, pe baza cărora se pot stabili rețetele optime de producere a materialelor compozite.

În fig.1/4.37 se prezintă variația rezistenței la compresiune în funcție de cantitatea de aluminiu și fibră de nucă de cocos pentru familia F1 de materiale compozite, iar în fig.2/2.48 pentru familia F2.

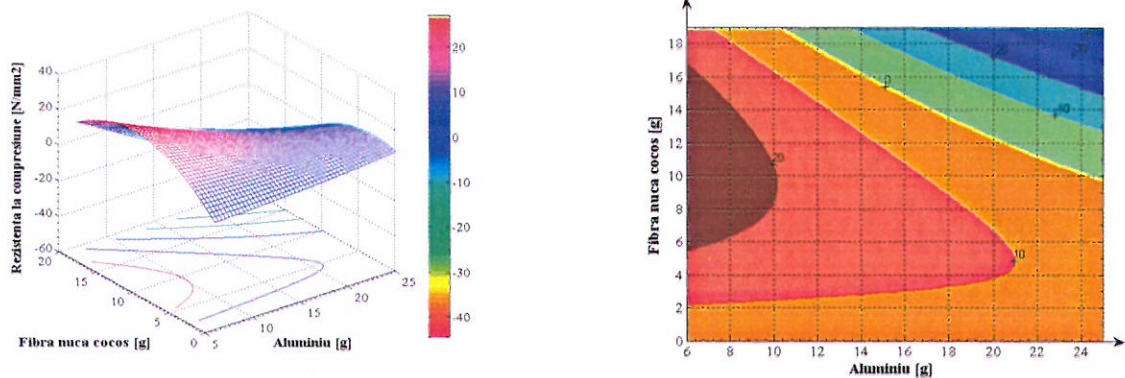


Fig.1/4.37 Variația rezistenței la compresiune în funcție de cantitatea de aluminiu și fibră de nucă de cocos pentru familia F1 de materiale compozite

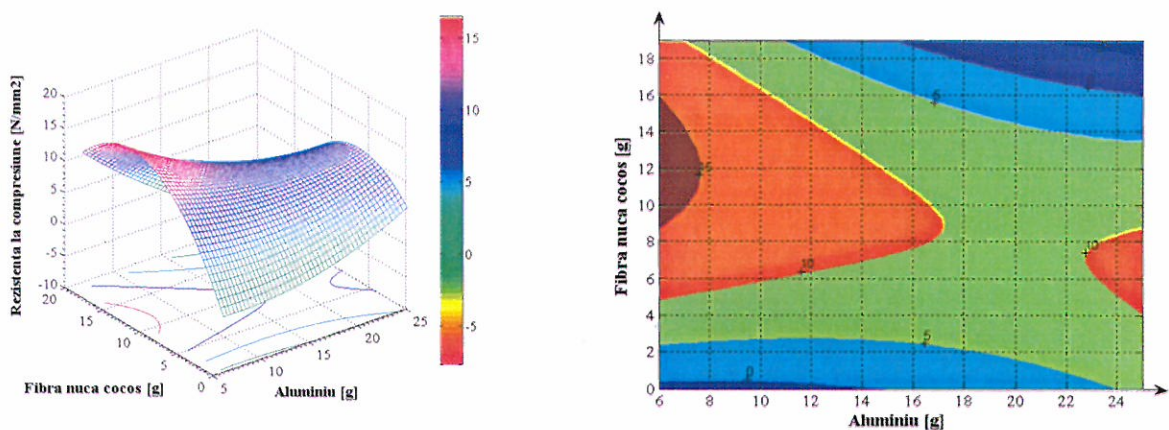


Fig.2/2.48 Variația rezistenței la compresiune în funcție de cantitatea de aluminiu și fibră de nucă de cocos pentru familia F2 de materiale compozite

Domeniul tehnologic pentru conținutul de aluminiu este cuprinsă între 10g și 20g (10-20%), iar pentru fibra de nucă de cocos între 6-14g, acesta asigurând cele mai bune caracteristici mecanice la compresiune pentru materialele compozite produse.

Pentru caracterizarea completă a celor două familii de materiale compozite s-a efectuat studiul morfologiei suprafețelor probelor prin microscopie electronică de tip SEM și analiză EDX. Concluziile obținute în urma acestor analize sunt:

- distribuția particulelor în materialul de fricțiune este diferită de la o probă la alta;
- particulele de material au dimensiuni diferite și sunt neuniform dispersate în matrice;
- probele nu prezintă omogenitatea constituenților;
- analiza EDX evidențiază similaritatea elementelor materialelor compozite produse cu componentele inițiale introduse în rețetă.

Materialele compozite organice sunt materiale eterogene, alcătuite din mai multe componente cu proprietăți diferite, prin urmare, alegerea constituenților și a procentului acestora în rețete va afecta în mod semnificativ comportamentul în funcționare. Din acest motiv pentru obținerea unor proprietăți fizico-mecanice superioare s-au efectuat modificări în rețetele produse inițial și s-a efectuat o îmbunătățire a tehnologiei de sinterizare.

Având în vedere domeniul tehnologic obținut pentru componentele rețetelor ca urmare a studiilor de optimizare s-au produs materiale compozite după patru rețete având compoziția chimică prezentată în tabelele 1/4.12 și 2/4.13., câte două pentru fiecare familie F1, respectiv F2.

Tabelul 1/4.12

Compoziția chimică optimizată a materialelor compozite aparținând familiei F1

Probe	Aluminiu [%]	Grafit [%]	Oxid de zirconiu [%]	Carbură de siliciu [%]	Oxid de titan [%]	Rășină fenolică [%]	Hexametyl tetramină [%]	Fibră nucă de cocos [%]
C1	20	5	2	11	11	40	6	5
C2	15	5	2	11	11	40	6	10

Tabelul 2/4.13

Compoziția chimică optimizată a materialelor compozite aparținând familiei F2

Probe	Aluminiu [%]	Grafit [%]	Oxid de zirconiu [%]	Carbură de siliciu [%]	Oxid de aluminiu [%]	Rășină fenolică [%]	Hexametyl etramină [%]	Fibră nucă de cocos [%]
C3	20	5	2	11	11	40	6	5
C4	15	5	2	11	11	40	6	10

Parametrii tehnologiei de sinterizare au fost stabiliți ca urmare a mai multor încercări experimentale, care au permis efectuarea unor analize critice și îmbunătățirea succesivă a acestora. Parametrii tehnologiei de sinterizare se prezintă în tabelul 3.

Tabelul 3

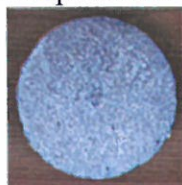
Parametrii tehnologiei de sinterizare

Temperatura de încălzire [°C]	Timp de menținere în cuptor [min]	Forța de presare [KN]	Regim de răcire			
			În cuptor		În aer	
			Temperatură [°C]	Timp [min]	Temperatură [°C]	Timp [min]
200	60	20	100	480	25	2880

Probele obținute după rețetele optimizate sunt prezentate în fig.3/4.42.



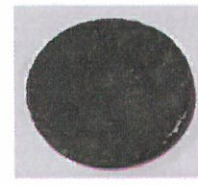
C1 (5 % cocos)



C2 (10 % cocos)



C3(5 % cocos)



C4 (10 % cocos)

Familia F1 (TiO₂)

Familia F2 (Al₂O₃)

Fig.3/4.42 Probele obținute după rețetele optimizate

Analizând probele obținute după cele patru rețete optimizate din punct de vedere al compactității, integrității, elasticității și a aspectului la extragerea din matriță s-au obținut următoarele concluzii:

- toate probele și-a păstrat integritatea la extragerea din matriță;
- omogenizarea și solidificarea constituenților arată că ordinea efectuării operațiilor în obținerea materialului compozit este bună;
- toate probele au o suprafață netedă, formă geometrică complet circulară, duritate și consistență corespunzătoare;
- regimul de încălzire-menținere-răcire este corespunzător, presarea aplicată, atât la cald, cât și la rece realizează o compactare eficientă a materialului;
- toate probele se consideră reușite și pot fi folosite pentru prelevarea epruvetelor necesare caracterizării materialelor compozite produse după rețetele optimizate.

Aceste probe au fost analizate din punct de vedere al caracteristicilor fizico-mecanice și s-au trasat grafice comparative pentru densitate, porozitatea în ulei și apă, duritate, rezistență la compresiune. Concluziile obținute sunt:

- densitățile materialelor compozite organice produse după rețetele optimizate cresc cu creșterea cantității de fibră de nucă de cocos;
- scăderea nivelului de porozitate, atât în apă, cât și în ulei, ca urmare a creșterii legăturii dintre liant și materialul de umplutură a fost determinată de omogenizarea corespunzătoare a componentelor rețetei
- duritatea, rezistența la compresiune și modulul de elasticitate longitudinal, cresc cu creșterea cantității de fibră de nucă de cocos
- factorii care influențează obținerea unor caracteristici fizico-mecanice superioare pentru materialele compozite produse sunt tipul componentelor aleși în rețete, optimizarea proporției componentelor și parametrii tehnologiei de sinterizare

În continuare s-a studiat morfologia suprafeței materialelor compozite produse prin microscopia SEM și analiza EDX. Din imaginile SEM se observă că:

- particulele de material au dimensiuni diferite, dar sunt uniform dispersate în matrice;
- carbonul este prezent în toate structurile și domină ceilalți constituenți; acesta s-a distribuit omogen printre constituenții rețetei.
- aluminiul este prezent și el în toate probele;
- se observă o bună dispersie a fibrei de nucă de cocos și a liantului prin matricea de aluminiu, realizându-se o interfață corespunzătoare între materialul de umplutură și matricea de aluminiu.

Analiza EDX arată o combinație relativ bună a constituenților și faptul că nu s-au produs modificări în proporția acestora.

Concluziile obținute ca urmare a caracterizării în laborator a materialelor compozite produse după rețete proprii optimizate sunt :

- integritatea structurală a materialelor compozite produse asigură acestora caracteristici fizico-mecanice superioare;
- factorii care influențează obținerea unor caracteristici fizico-mecanice superioare pentru materialele compozite produse sunt tipul componentelor aleși în rețete, optimizarea proporției componentelor și parametrii tehnologiei de sinterizare.

CAPITOLUL 5. COMPORTAREA TRIBOLOGICĂ A MATERIALELOR COMPOZITE DESTINATE REALIZĂRII PLĂCUȚELOR DE FRÂNĂ

În acest capitol s-a analizat comportarea tribologică a materialelor compozite produse după rețetele optimizate. Strategia cercetărilor experimentale a cuprins determinarea caracteristicilor funcționale, a coeficientului de frecare și a temperaturii în zona cuplei de frecare. În acest sens s-au efectuat determinări experimentale în laborator efectuate cu privire la uzura probelor din materiale compozite produse după rețete proprii optimizate, folosind metode de testare standardizate. Cercetarea tribologică a probelor din material compozit a avut ca obiective influența unor factori de material (concentrația și natura constituenților) și a unor parametri ai regimului de lucru (forța de apăsare, viteza de alunecare, timpul de încercare, regimul de frecare) asupra caracteristicilor tribologice a probelor testate. Cunoașterea acestor elemente oferă posibilitatea unor aprecieri pertinente cu privire la durabilitatea în exploatare a materialelor compozite destinate realizării plăcuțelor de frână.

În vederea efectuării acestui studiu s-au realizat epruvete sub formă de discuri și pini din fontă, destinate montării în instalațiile de uzare care permit studiul comportării la frecare și uzură a materialelor compozite produse. În acest sens s-au elaborat două șarje de fontă care s-au analizat din punct de vedere al compoziției chimice, a durtății și a structurilor metalografice.

Analizând compozițiile chimice a fontelor elaborate în cele două șarje, comparativ cu compoziția chimică a discurilor de frână conform normelor ASTM A 159 se observă că:

- fonta elaborată în prima șarjă se încadrează în marca G 2500;
- fonta elaborată în șarja a doua se încadrează în marca G 3000.

Astfel s-a ales prima șarja deoarece aceasta este destinată realizării discurilor de frână pentru autoturismelor. Din această șarja de fontă s-au realizat epruvete sub formă de discuri și pini, în conformitate cu echipamentele de încercare și s-a realizat determinarea caracteristicilor funcționale ale materialelor compozite. Astfel s-a studiat:

- influența caracteristicilor masice și dimensionale asupra unor parametri de uzare;
- influența vitezei și a forței de apăsare asupra parametrilor de uzare.

Instalația tribologică pentru testarea materialelor compozite funcționează pe baza regimului de frecare uscată, iar metoda de testare folosită este pin pe disc. Principali parametri utilizați în experimentările tribologice sunt [15/66]:

- viteza de alunecare: $v = 3,92 \text{ m/s}$ și $4,71 \text{ m/s}$;
- raza de încercare: $R = 25 \text{ mm}$;
- lungimea parcursă la încercare: $L = 2000 \text{ m}$;
- timpul de încercare: $t = 8,5 \text{ min.}$

În cadrul experimentărilor s-au determinat intensitatea de uzare și durabilitatea de uzare. Cea mai mare intensitate de uzare s-a obținut pentru compozitul C1, iar cea mai mică pentru compozitul C4. De asemenea, pentru ambele familii de materiale compozite cea mai mare durabilitatea relativă de uzare s-a obținut pentru compozitele care conțin 10% fibră de nucă de cocos (C2 și C4). Cea mai mică uzură masică a fost obținută pentru proba C2 (familia F1 de materiale compozite), urmată de C4 (familia F2 de materiale compozite), ambele fiind realizate cu 10 % fibră organică. Concluziile obținute sunt:

- cea mai mare rezistență la uzură o are epruveta C2 urmată de C4, ambele fiind realizate cu 10% fibră de nucă de cocos;
- rezistența la uzură este satisfăcătoare și în cazul epruvetelor C1 și C3, realizate cu 5 % fibră organică;
- uzura discului din fontă este mult mai mică decât uzura materialelor compozite, ceea ce arată că rezistența la uzură nu depinde foarte mult de cantitatea părții metalice, acest lucru fiind foarte important pentru situația practică deoarece plăcuțele de frână se înlocuiesc mai ușor decât discul.

Materialele studiate s-au testat în continuare, în condiții de frecare uscată, utilizând forțe de apăsare de valori diferite: $F=5\text{N}$, $F=10\text{N}$ și $F=15\text{N}$ și două viteze de alunecare: $3,92\text{ m/s}$, respectiv $4,71\text{ m/s}$, urmărindu-se evoluția ratei de uzură. Concluziile obținute sunt:

- rata de uzură liniară scade cu creșterea vitezei de alunecare;
- rata de uzură liniară scade cu creșterea forței de apăsare;
- cea mai bună comportare la uzare o au probele C2 și C4, realizate cu 10 % fibră organică.

În cadrul acestui capitol s-a analizat și evoluția câmpului termic în zona de contact a cuplelor de frecare. Acesta a fost analizat cu ajutorul unei camere termografice. Imaginile captate pot furniza informații cu privire la evoluția temperaturii în punctul de contact dintre pin și disc, precum și temperatura urmei de contact.

Experimentările s-au efectuat cu trei forțe diferite de încărcare de 5N , 10N și 15N . Distanța de parcurs fiind de la 500m la 2000m . Concluziile obținute sunt:

- pentru toți cei patru pini C1-C4, temperatura în zona de contact crește rapid în prima parte a încercării până la parcurgerea distanței de 500 m ;
- în intervalul de $500 - 1500\text{ m}$ temperatura mai crește mai puțin și se poate spune că în acest interval de lungime parcursă începe procesul de stabilizare a temperaturii;
- cea mai mare parte a căldurii se disipă în pin care în cupla reală de frecare reprezintă plăcuța de frână;
- cu cât temperatura în zona de contact este mai mică, cu atât disiparea de căldură este mai mare, deci este mai mică degradarea componentelor organice din materialele compozite
- cea mai bună comportare o au pinii C2 și C4, ambii fiind realizați cu 10% fibră organică

În continuare s-a efectuat studiul influenței unor parametri ai regimului de lucru: forța de apăsare, turația, timpul de încercare, asupra caracteristicilor tribologice a probelor testate. În acest sens s-a studiat evoluția coeficientului de frecare pe un tribometru TR-20, a cărui principiu de funcționare are la bază metoda „pin pe disc”. Pinul echipamentului este o bilă din oțel cu diametrul de 6 mm , iar regimul de frecare folosit pentru testare este cel de frecare uscată.

În cadrul experimentărilor, epruvetele din material compozite au fost realizate sub formă paralelipipedică și cântărite cu o balanță digitală cu precizia de $\pm 0,01\text{ mg}$. S-au realizat trei cântăriri succesive luând în calcul media acestora. Uzura s-a măsurat pentru fiecare probă în parte prin pierdere de masă între valoarea măsurată inițial și valoarea măsurată la finalul testului.

Parametrii de încercare în cadrul experimentului sunt [16/71]:

- diametrul urmei de uzare: $D=15\text{ mm}$;
- turația: $n=150\text{rot/min}$;
- timpul de testare: $t=5\text{ h}$;
- distanța de testare: $d=2200\text{ m}$.

Experimentările s-au realizat pentru 3 forțe de încărcare de 5 , 10 respectiv 15 N , înregistrându-se evoluția coeficienților de frecare. Concluziile obținute sunt:

- Pentru toate forțele de apăsare, coeficientul de frecare devine stabil după un interval relativ mare de timp de la începutul experimentărilor, acest lucru fiind confirmat de faptul că: temperatura din zona de contact a cuplelor aflate în frecare crește în primii 1500m ai spațiului parcurs și doar apoi începe să scadă; scăderea temperaturii indică o disipare mai mare a căldurii și menținerea la o valoare constantă a coeficientului de frecare.

De asemenea, în cadrul capitolului s-a studiat influența forței de apăsare asupra coeficientului de frecare, și influența forței de apăsare asupra uzurii probelor.

- coeficienții de frecare scad cu creșterea forței de apăsare;
- uzura scade cu creșterea forței de apăsare.

CAPITOLUL 6. CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Concluziile obținute la finalul lucrării sunt:

- Calitățile sistemului de frânare pot fi asigurate prin utilizarea unor materiale adecvate pentru realizarea componentelor acestuia, utilizarea unor tehnologii moderne de fabricație și întreținerea corectă a ansamblului disc-plăcuță de frână;
- La fabricarea plăcuțelor de frână trebuie găsit întotdeauna un compromis între siguranță, confort și eficiență economică;
- La obținerea în laborator a probelor din materialele compozite, factorii care influențează obținerea unui amestec omogen sunt viteza de amestecare, cantitatea de rășină fenolică, ordinea de amestecare a componentelor;
- Îmbunătățirea caracteristicilor materialelor compozite se poate realiza prin modificări ale concentrației componentelor din rețete, precum și prin modificarea parametrilor tehnologiei de sinterizare;
- Factorii care influențează obținerea unor caracteristici fizico-mecanice superioare pentru materialele compozite produse sunt tipul componentelor aleși în rețete, optimizarea proporției componentelor și parametrii tehnologiei de sinterizare;
- Cunoașterea unor parametri de uzură, a temperaturii în zona de contact a cuplelor de frecare, precum și a evoluției coeficientului de frecare sub diferite valori ale forțelor de apăsare, permit aprecierea durabilității în funcționare a materialelor compozite;
- Pentru toate materialele compozite testate, rata de uzură liniară scade cu creșterea vitezei de alunecare și crește cu creșterea forței de apăsare;
- Pentru toate materialele compozite testate, coeficienții de frecare scad cu creșterea forței de apăsare, iar după o anumită perioadă de funcționare aceștia se stabilizează în timp;
- Proprietățile de frecare și uzură ale materialelor de fricțiune depind de forța de apăsare, viteza de alunecare, temperatura în zona de contact, structura anatomică a materialului de fricțiune, durata și lungimea de parcurs
- Cele mai bune caracteristici tribologice le au probele C2 și C4, ambele fiind realizate cu 10% fibră organică; se precizează că C2 face parte din prima familie de materiale compozite produse (care are în rețetă oxid de titan), iar C4 face parte din cea de a doua familie (care are în rețetă oxid de aluminiu);
- Coeficienții medii de frecare obținuți pentru probele C2 și C4, califică aceste materiale în categoria celor care pot fi utilizate în realizarea plăcuțelor de frână pentru autovehiculele mici și performanțe medii, destinate traficului urban;
- Rezultatele obținute în această lucrare califică fibra de nucă de cocos ca material de umplutură pentru materialele compozite destinate realizării plăcuțelor de frână pentru autovehiculele de dimensiuni mici și performanțe medii.
- Inconvenientul producerii materialelor compozite analizate în prezenta teză de doctorat este prețul materiei prime relativ mare, nuca de cocos fiind un fruct exotic.

Contribuțiile originale ale acestei lucrări sunt:

- Studiul literaturii de specialitate cu privire la elementele componente ale sistemului de frânare, factorii care influențează funcționarea ansamblului disc-plăcuță de frână, materialele din care se realizează discurile și plăcuțele de frână
- Proiectarea a două matrițe pentru realizarea probelor disc și cilindrice (pin) din materialele compozite dezvoltate și îmbunătățirea soluției constructive a matriței pentru producerea probelor disc;
- Stabilirea componenței celor 20 de rețete pentru materialele compozite produse în laborator;

- Stabilirea succesiunii de realizare a procesului tehnologic de sinterizare a materialelor compozite, determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale acestora și analiza critică a rezultatelor obținute;
- Producerea a 15 probe cu concentrații variabile de aluminiu (6-25%) și fibră de nucă de cocos (0-19%) și determinarea rezistenței mecanice la compresiune în vederea obținerii datelor necesare optimizării rețetelor prin calcul statistico-matematic
- Prelucrarea datelor în programele de calcul Excel și Matlab, în vederea stabilirii domeniului tehnologic pentru compoziția rețetelor;
- Stabilirea domeniului tehnologic pentru concentrația de aluminiu și fibră de nucă de cocos care a dus la îmbunătățirea caracteristicilor fizico-mecanice;
- Formularea, definitivarea și stabilirea rețetelor optimizate;
- Modificarea tehnologiei de sinterizare a materialelor compozite după rețetele optimizate și obținerea în laborator a acestora
- Determinarea caracteristicilor fizico-mecanice și studiul morfologiei suprafețelor;
- Analiza comparativă a caracteristicilor fizico-mecanice a materialele compozite obținute în cele două variante de rețete (inițială și optimizată);
- Elaborarea, în laborator, a două șarje de fonte necesare determinării caracteristicilor tribologice a materialelor compozite (în fază de laborator) și analiza tehnologică a acestora în concordanță cu standardele în vigoare;
- Determinări experimentale privind evoluția unor parametri de uzură în vederea aprecierii comportamentului tribologic al materialelor produse;
- Studiul influenței caracteristicilor masice și dimensionale a epruvetelor realizate din materialele compozite produse după rețetele optimizate asupra unor parametri de uzare;
- Studiul influenței vitezei și a forței de apăsare asupra parametrilor de uzare;
- Analiza evoluției câmpului termic în zona de contact a cuplelor de frecare (fontă-material compozit, respectiv material compozit-fontă);
- Analiza evoluției uzurii și a coeficientului de frecare sub acțiunea diferitelor forțe de încărcare;

Ca orice cercetare dezvoltată pe o temă dată, nu se poate spune că se finalizează la un moment dat, pentru că evoluția în domeniul plăcuțelor de frână, deschide permanent oportunități de dezvoltare și aprofundare, cu reluare sau prin impunere de noi tehnici de lucru.

Direcțiile viitoare de cercetare sunt:

- testarea tribologică a materialelor compozite la viteze de alunecare și forțe de încărcare mai mari decât cele folosite în acest studiu
- evidențierea proceselor de uzură care apar în stratul superficial al probelor analizate
- studiul fenomenului de oboseală termică care apare în timpul funcționării la contactul dintre discurile și plăcuțele de frână;
- testarea performanțelor de frânare conform normelor ECE R 90
- aprecierea durabilității, a ciclului de viață și a modului de apariție a defectelor
- dezvoltarea unui sistem de producere a plăcuțelor de frână la scară industrială
- utilizarea altor tipuri de fibre organice, avantajoase din punct de vedere economic sau a unei combinații de fibre (în, rapiță, trestie) în producerea materialelor de fricțiune.

Bibliography

- [1/1] <http://www.unitbv.ro/Portals/31/Sustineri%20de%20doctorat/Rezumate/GheorghitaViorel.pdf>
- [2/2] http://www.unitbv.ro/Portals/31/Sustineri%20de%20doctorat/Rezumate/GheorgheVasile_v2.pdf
- [3/4] http://www.upt.ro/img/files/uefiscdi/PN-II-ID-PCE-2012-4-0104/Raport%20stiintific_2016.pdf
- [4/12] www.textar.com, *Evaluarea erorilor plăcuțelor frânei cu disc și a discurilor de frână*. Inf. teh.
- [5/13] O. Maluf, M. Angeloni, M.T. Milan, D. Spinelli, W.W.F. Filho, *Development of materials for automotive disc brakes*, *Pesquisa e Technologica Minerva* 4(2), pp.149-158

- [6/19] I.Ripoșan, M.Chișamera, *Tehnologia elaborării și turnării fontei*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1981
- [7/20] L.Sofroni, I. Ripoșan, V. Brabie, M. Chișamera, *Turnarea fontei*, Ed. Didactică și Pedagogică, 1985
- [8/21] L. Sofroni, D. M. Ștefănescu, *Fonte modificate cu proprietăți superioare*, Ed. Tehnică, București, 1971
- [9/45]<http://www.autosaga.ro/lectia-auto/placute-de-frana-functionare-si-tipuri-de-placute-frana-sport-ceramice-organice-metalice.html>
- [10/46]C. Dumitraș, C.Opran, *Prelucrarea materialelor compozite, ceramice și minerale*, Ed.Tehnică, București, 1994.
- [11/48] P.J. Blau, *Compositions, functions and testing of friction brake materials and their additives*, Metals and ceramics division, august 2001
- [12/63]http://www.linkeng.com/sites/default/files/files/SAE_J2975-866_environmental_and_friction_marking_01_09_2013.pdf
- [13/64].**A.L.Crăciun**, C. Pinca-Bretotean, Advanced materials with natural fibred reinforced aluminium composite for automotive brake disc, *Solid State Phenomena*, 254, pp.91-96, 2016
- [14/65].**A.L.Crăciun**, T. Hepuș, C. Pinca-Bretotean, Formulation of materials with natural fiber for brake system components, *International Journal of Engineering*, XIV (3), 2016
- [15/66].**A. L.Crăciun**, C. Pinca-Bretotean, D.Uțu, A. Josan, Tribological properties of nonasbestos brake pad material by using coconut fiber, *IOP Conference Series: Material Science and Engineering* 163 0124014, pp. 1-9
- [16/71].**A.L.Crăciun**, C. Pinca-Bretotean, C. Birtok-Băneasă, A. Josan, *Composites materials for friction and braking applications*, *IOP Conference Series, Materials Science and Engineering*, 200(1), art. no. 012009, 2016, September 2017