
REZUMAT

Cercetările întreprinse în vederea elaborării tezei de doctorat au avut ca scop dezvoltarea unor noi procedee de elaborare a oțelurilor sinterizate prin care să se elimine utilizarea grafitului ca sursă de carbon pentru alierea cu Fe și să se obțină astfel oțeluri sinterizate cu compoziție chimică, structură și caracteristici funcționale superioare oțelurilor sinterizate convenționale.

Pentru atingerea scopului propus în cercetare au fost fixate următoarele obiective:

- Studiul proceselor fizico-chimice și metalurgice care au loc la carburarea urmată de sinterizarea pieselor din pulberi pe bază de Fe, procedeu denumit CARBSINT (CS);
- Studiul proceselor fizico-chimice și metalurgice care au loc la sinterizarea urmată de carburarea pieselor din pulberi feroase, proces denumit SINTCARB (SC);
- Studiul influenței pe care o are alierea cu cupru asupra proceselor fizico-chimice și structurale la aplicarea procedeelelor CS și SC;
- Analiza comparativă a caracteristicilor fizico-chimice și structurale ale oțelurilor elaborate prin cele două procedee termochimice;
- Analiza comparativă a caracteristicilor mecanice ale oțelurilor elaborate prin procedeul CS respectiv SC;
- Evaluarea comparativă a caracteristicilor oțelurilor sinterizate CS și SC folosind ca date pentru comparare caracteristicile de catalog ale oțelurilor sinterizate comerciale similare din punctul de vedere al compoziției chimice și a constituenților structurali;

Lucrarea de doctorat este structurată în 5 capitole astfel:

În **Capitolul I** este prezentat rezultatul cercetării bibliografice, cercetare care s-a făcut în vederea identificării unor nișe în domeniul oțelurilor elaborate prin Metalurgia Pulberilor (MP) astfel încât, în cercetare să se poată asigura aportul de elemente de noutate și originalitate.

În acest context a fost identificată direcția principală de cercetare și anume posibilitatea de a înlocui procedeul convențional de elaborare a oțelurilor sinterizate, care are la bază amestecul de pulberi feroase și grafit, cu noi procedee bazate pe conceptul de introducere a carbonului necesar alierii cu fierul prin procedee termochimice. În acest cadru s-a ales ca procedeu de tratament termochimic carburarea în mediu gazos de CH_4 , investigațiile fiind orientate în direcția carburării în același ciclu termic cu sinterizarea, mai întâi a probelor în stare crudă (compactizate și nesinterizate) respectiv a pieselor sinterizate. Elementele de originalitate sunt determinate de faptul că aportul de carbon necesar alierii cu Fe se face în câte un ciclu termic complex, ambele

tratamente atât cel termochimic cât și cel de sinterizare realizându-se succesiv în același ciclu fără a scoate proba din cuptor.

În **capitolul al II-lea** sunt prezentate rezultatele cercetărilor experimentale privind elaborarea oțelurilor sinterizate prin procedeele CS respectiv SC. În cadrul experimentărilor s-au realizat trei amestecuri și anume: unul de pulbere de Fe+1,5% stearat de Zn și celelalte două au fost făcute din pulberi de Fe+1,5% Cu+1,5% stearat de Zn respectiv Fe+3% Cu+1,5% stearat de Zn. După omogenizare amestecurile au fost compactizate cu presiuni de 400 MPa, 500 MPa și 600 MPa. S-au determinat densitățile aparente și porozitățile probelor crude și s-a constatat că porozitățile scad odată cu creșterea conținutului de Cu. În continuare s-au elaborat oțeluri sinterizate prin cele două procedee și s-au determinat caracteristicile lor fizico-chimice, densitate aparentă și conținut de carbon structural Cs [%]. Conținutul de carbon structural Cs (care a difuzat în rețeaua Fe formând constituenții structurali) s-a făcut prin captură de imagine cu ajutorul programului NIS ELEMENTS aferent microscopului NIKON din dotarea Departamentului de IMST.

Din punct de vedere structural, în cazul oțelurilor CS se constată existența unor structuri omogene din punctul de vedere al distribuției constituenților structurali, în timp ce în cazul oțelurilor SC structurile sunt cu gradient structural.

Explicația este dată de faptul că prin procedeul CS se asigură difuzia carbonului absorbit la carburare în toată masa probei în cele 60 de minute de tratament de sinterizare în timp ce la procedeul SC, după carburare se practică răcirea deci intervine un gradient de concentrație în Cs pe secțiune mai mare în suprafață și mai mic în miez.

Pe baza rezultatelor experimentale prezentate în acest capitol se pot trage următoarele concluzii parțiale:

- Oțelurile sinterizate elaborate prin procedeul CARBSINT au la bază aportul de carbon necesar alierii cu fierul prin practicarea unor tratamente termice succesive, mai întâi de carburare a probelor crude urmată de sinterizarea probelor crude carurate, ambele tratamente termice derulându-se în același ciclu termic;
- Oțelurile sinterizate elaborate prin procedeul SINTCARB au la bază alierea carbonului cu fierul prin carburarea probelor după sinterizarea acestora. Deci, în cadrul procedurii SINTCARB ordinea operațiilor termice este inversă față de procedeul CARBSINT și anume se practică mai întâi sinterizarea probelor crude urmată de carburarea probelor în stare sinterizată, ambele tratamente fiind practicate în același ciclu termic.

Diferențele dintre cele două procedee de elaborare a celor două categorii de oțeluri sinterizate influențează semnificativ caracteristicile fizice, chimice și structurale ale acestora și implicit natura acestora.

În acest cadru cele două categorii de oțeluri elaborate ca urmare a cercetărilor experimentale se înscriu în două grupe:

- Oțeluri omogene – din care fac parte oțelurile sinterizate CARBSINT care au omogenitate fizico-chimică și structurală;
- Oțeluri cu gradient structural și de concentrație în carbon structural din care fac parte oțelurile sinterizate SINTCARB.

În ceea ce privește caracteristicile fizico-chimice și structurale ale oțelurilor sinterizate elaborate prin cele două procedee se pot formula următoarele concluzii:

- Densitățile aparente ale oțelurilor CS respectiv SC sunt influențate de compoziția lor chimică și anume oțelurile sinterizate CS și SC nealiat cu cupru au densitățile aparente mai mari și anume 7,11 respectiv 7,22 g/cm³, în timp ce oțelurile aliate cu Cu au densități în limitele (6,98-7,24) g/cm³ (densitatea de 7,24 g/cm³ se înregistrează numai în cazul oțelului A2SC90-6);
- Comparativ cu oțelurile sinterizate convențional conform datelor din standardele internaționale oțelurile CS și SC nealiat cu cupru au densitățile cu 4,36% respectiv cu 5,82% mai mari față de limita maximă de 6,8 g/cm³ prescrisă oțelurilor sinterizate convenționale, în timp ce oțelurile sinterizate CS și SC aliate cu cupru au densitățile aparente la limita maximă de 7,2 g/cm³. De remarcat faptul că oțelul sinterizat A2SC90 are densitatea mai mare și anume 7,2 g/cm³;

Conținutul în carbon structural Cs a celor două categorii de oțeluri sinterizate evoluează diferit datorită diferențelor de procedură practicate la elaborarea acestor oțeluri. În acest sens se pot constata următoarele:

- Oțelurile sinterizate CS au distribuția omogenă a Cs în volum și totodată, funcție de presiunea de compactizare cantitatea de Cs diferă. Astfel, oțelurile CS la care compactizarea s-a făcut cu 400 MPa au CS în limitele (0,21-0,30)%, pentru presiunea de 500 MPa conținutul în Cs se situează în limitele (0,15-0,22)%;
- Oțelurile sinterizate SC au conținutul de Cs mai mic față de cel al oțelurilor CS, astfel, cele la care s-a practicat presiunea de compactizare de 400 MPa au conținutul de Cs în limitele (0,18-0,25) respectiv (0,16-0,23) pentru presiunea de 500 MPa și (0,14-0,19) pentru cele la care amestecurile s-au presat cu 600 MPa;

-
- Distribuția Cs în oțelurile sinterizate SC este neomogenă și anume evoluează pe un gradient descrescător dinspre margine înspre miezul probei.

Din punct de vedere structural, conținutul de Cs influențează structura microscopică a oțelurilor astfel:

- Atât oțelurile sinterizate CS cât și cele SC sunt oțeluri hipoeutectoide, conținutul maxim de Cs nedeșășind valoarea de 0,30% Cs;
- Datorită modului de introducere a carbonului necesar alierii cu Fe prin carburare în structura acestor oțeluri nu se identifică grafit remanent ceea ce este un avantaj al acestor procedee;
- Distribuția Cs în volumul oțelurilor influențează structura acestora astfel că, oțelurile CS au o structură omogenă în timp ce oțelurile SC sunt cu gradient structural.

Cercetările experimentale cu rezultatele prezentate în acest capitol conduc la următoarele concluzii parțiale:

- Funcție de procedeul de elaborare adoptat se pot elabora două categorii de oțeluri sinterizate astfel:
 - ✓ Oțeluri sinterizate omogene din punct de vedere chimic și structural prin adoptarea procedurii CARBSINT;
 - ✓ Oțeluri sinterizate cu gradient de concentrație și structural prin adoptarea procedurii SINTCARB;
- Elaborarea unor oțeluri cu structură fără impurități ca urmare a lipsei în masa metalică de bază a grafitului remanent care este imposibil de evitat atunci când se practică procedeul convențional și anume elaborarea oțelurilor sinterizate din amestecuri omogene de pulberi de Fe+Gr sau Fe**+Gr (** fiind elementele de aliere);
- Prin practicarea noilor procedee de elaborare a oțelurilor sinterizate se obțin oțeluri cu densități aparente situate la limita superioară prescrisă în standardele specifice oțelurilor sinterizate comerciale și în unele cazuri densitățile oțelurilor CS sau SC pot depăși cu (4,36-5,82) % această limită. Aceasta are repercursiuni pozitive asupra caracteristicilor funcționale ale acestor oțeluri;
- În funcție de reglarea timpului de carburare se pot elabora oțeluri cu structuri de carburare atunci când se practică procedeul SINTCARB. În acest sens, pe lângă avantajele morfologice-structurale sunt asigurate și avantaje tehnico-economice prin reducerea consumului de energie, manoperă și timp datorită faptului că cele două tratamente sinterizare+carburare se realizează în același ciclu termic.

În **capitolul al III-lea** sunt prezentate rezultatele cercetărilor privind comportarea la solicitările mecanice ale oțelurilor CARBSINT și SINTCARB.

În cazul fiecărui tip de încercare au fost solicitate probele CS și SC și s-au discutat rezultatele încercărilor pe fiecare dintre cele două categorii de oțeluri (CS și SC) respectiv pentru oțelurile fără Cu și cele cu 1,5% Cu și 3% Cu și s-a ajuns la următoarele concluzii:

- Oțelurile sinterizate elaborate prin carburare au valori mai mari ale proprietăților mecanice comparativ cu oțelurile sinterizate elaborate prin procedeul convențional și anume de adaos al carbonului necesar pentru alierea cu Fe sub formă de grafit în amestecul de pulberi. Principalul factor care determină acest efect este lipsa carbonului remanent în structura metalică de bază a oțelului rezultat prin carburare;
- În cazul oțelurilor sinterizate destinate pieselor de rezistență se impun oțelurile elaborate prin carburare cu rezistențele mecanice la rupere la tracțiune mari și anume oțelurile cu R_m mai mari de 140 N/mm^2 cât este recomandarea standard și anume A3CS90-500, A3SC90-500, A3SC45-600, A3CS90-600 și A3SC90-600;
- În cazul în care pieselor de fabricație din oțeluri sinterizate se impune o bună ductilitate (exemplu piese realizate prin laminare, sinter-forjare) se impune utilizarea oțelurilor A1CS45-600, A1SC45-600 și A1CS90-600;
- În cazul în care piesele din oțeluri sinterizate trebuie să aibă o bună rezistență la solicitarea cu șoc sunt recomandate oțelurile A1SC90-500, A1CS45-600, A1SC45-600, A1CS90-600 sau A1SC90-600;
- În situația în care se impune rezistență mecanică la solicitări complexe situație care se întâlnește cel mai des în practică se recomandă utilizarea oțelurilor sinterizate A3SC45-600, A3CS90-600 sau A3SC90-600.

În **capitolul IV** sunt prezentate rezultatele cercetărilor cu privire la duritate respectiv la comportarea la uzare a oțelurilor elaborate prin tratamentele CARBSINT respectiv SINTCARB

Datele privind evoluția durităților oțelurilor sinterizate elaborate prin carburare scot în evidență următoarele concluzii parțiale:

- Duritățile oțelurilor sunt influențate de presiunea de compactizare și de timpul de carburare și anume, cele mai mari durități (171-177) HV30 se înregistrează în cazul oțelurilor CS, compactizate la 600 MPa și carurate timp de 90 de minute;
- Din punctul de vedere al procedului de carburare se constată că oțelurile elaborate prin procedeul SINTCARB au durități mai mari în suprafață și mai mici în miez, în timp ce oțelurile elaborate prin procedeul CARBSINT au durități în suprafață și în miez relativ uniforme;

-
- Conținutul în Cu influențează duritățile oțelurilor indiferent de procedeul de carburare și anume, oțelurile cu un conținut de 3% Cu au cele mai mari valori de duritate;

Referitor la comportarea la solicitarea la uzare rezultă următoarele concluzii:

- Oțelurile elaborate prin carburare timp de 90 de minute au coeficienții de frecare mai mici comparativ cu cele carburate timp de 45 de minute indiferent de procedeul de carburare;
- Ariile secțiunilor uzate și ratele uzării se reduc odată cu creșterea timpului de carburare;
- Presiunile de compactizare nu au o influență notabilă asupra celor 3 parametri tribologici;
- Creșterile relative ale coeficienților de frecare ale oțelurilor carburate timp de 45 de minute sunt mai mici față de cele ale oțelurilor carburate 90 de minute;
- Cele mai mici diferențe ale coeficienților de frecare ai oțelurilor SC și CS se înregistrează în cazul oțelurilor aliate cu 3% Cu (1,82-2,56)%, carburate 45 de minute respectiv (4,71-8,15)% pentru cele carburate 90 de minute;
- Aceeași constatare este valabilă și la studiul comparativ între oțelurilor CS-CS respectiv SC-SC;
- Diferențele cu privire la ariile secțiunilor uzate $\Delta CS-SC$, $\Delta CS-CS$ și $\Delta SC-SC$ sunt mult mai mici în cazul oțelurilor carburate 90 de minute față de cele carburate 45 de minute;
- Referitor la rata uzării, și în acest caz, diferențele $\Delta CS-SC$, $\Delta CS-CS$ și $\Delta SC-SC$ sunt mai mici în cazul oțelurilor carburate 90 de minute comparativ cu cele carburate 45 de minute dar valoric nu diferă atât de mult ca în cazul ariei secțiunii uzate.

Capitolul V este destinat atât concluziilor finale dar și contribuțiilor originale ale autorului respectiv direcțiilor de cercetare viitoare pe care lucrarea de doctorat le-a generat.

Concluziile au fost prezentate în cadrul rezumatului aferent capitolelor anterioare iar, în ceea ce privește originalitatea cercetărilor, se evidențiază următoarele:

- Abordarea și punerea la punct a unor noi procedee de adaos a carbonului necesar alierii cu fierul pentru obținerea oțelurilor sinterizate cu structuri și caracteristici de utilizare superioare oțelurilor sinterizate convenționale;
- Studiul influenței conținutului de Cu ca element de aliere asupra proceselor fizico-chimice și metalurgice care au loc la elaborarea oțelurilor sinterizate prin carburare;
- Stabilirea condițiilor de elaborare a unor oțeluri cu gradient de concentrație în carbon structural, prin aplicarea unui procedeu nou numit SINTCARB;
- Stabilirea condițiilor de elaborare a unor oțeluri omogene din punct de vedere structural prin practicarea procedeuului CARBSINT;

-
- Stabilirea parametrilor tehnologici de elaborare a oțelurilor sinterizate fără grafit remanent și cu caracteristici mecanice superioare oțelurilor sinterizate convenționale.

Pe baza datelor privind caracteristicile de utilizare și de rezistență la uzare a oțelurilor CARBSINT și SINTCARB și ținând seama de solicitările la care urmează să fie supuse aceste oțeluri se pot face următoarele recomandări:

- În cazul oțelurilor sinterizate destinate pieselor de rezistență se impun oțelurile elaborate prin carburare cu rezistențele mecanice la rupere la tracțiune mari și anume oțelurile cu R_m mai mari de 140 N/mm^2 cât este recomandarea standard și anume A3CS90-500, A3SC90-500, A3SC45-600, A3CS90-600 și A3SC90-600;
- În cazul în care pieselor de fabricație din oțeluri sinterizate se impune o bună ductilitate (exemplu piese realizate prin laminare, sinter-forjare) se impune utilizarea oțelurilor A1CS45-600, A1SC45-600 și A1CS90-600;
- În cazul în care piesele din oțeluri sinterizate trebuie să aibă o bună rezistență la solicitarea cu șoc sunt recomandate oțelurile A1SC90-500, A1CS45-600, A1SC45-600, A1CS90-600 sau A1SC90-600;
- În situația în care se impune rezistență mecanică la solicitări complexe, situație care se întâlnește cel mai des în practică, se recomandă utilizarea oțelurilor sinterizate A3SC45-600, A3CS90-600 sau A3SC90-600;

Referitor la oțelurile elaborate prin carburare destinate pieselor supuse la frecare și uzare prin frecare se fac următoarele recomandări:

- Dacă este necesară o alunecare cu o frecare redusă sunt recomandate oțelurile CS respectiv SC carburate 45 de minute și aliate cu 3% Cu;
- Atunci când este necesară rezistență la uzare se recomandă oțelurile CS și SC carburate 90 de minute și aliate cu 3% Cu;
- Din punctul de vedere al presiunii de compactizare pentru frecare ușoară se recomandă oțelurile CS respectiv SC aliate cu 3% Cu și carburate timp de 45 de minute rezultate prin compactizarea pulberilor cu 600 MPa;
- Pentru rezistența la uzare se recomandă oțelurile CS respectiv SC aliate cu 3% Cu carburate 90 de minute și rezultate prin compactizarea pulberilor cu 500 MPa.

Direcțiile viitoare de cercetare propuse sunt:

- O nouă direcție importantă de continuare a cercetărilor vizează studii privind tratamentele termice/termochimice ale oțelurilor elaborate prin carburare.

-
- O altă direcție de continuare a cercetărilor o pot constitui studiile privind carburarea în alte medii decât în mediu gazos, spre exemplu, carburarea cu ajutorul pastelor pentru carburare care poate aduce avantaje, în special de natură economică, prin posibilitatea de a realiza călirea direct de la temperatura de sinterizare.
 - O altă direcție care este posibilă în laboratoarele de la Departamentul de la IMST o constituie studiul posibilităților de carburare în cuptoare cu încălzire cu microunde care pot conduce în special la reducerea timpilor de carburare.