

REZUMAT

Cercetarile care au facut obiectul tezei de doctorat sunt ancorate intr-un domeniu important al stiintei si ingineriei materialelor si anume Metalurgia Pulberilor iar obiectivele cercetarilor se incadreaza intr-o directie prioritara a cercetarii la nivelul programelor de cercetare nationala PNII si European FP7 si anume “Nanostiinte, Nanotehnologii, Materiale si Tehnologii noi”.

In lucrarea de doctorat sunt prezentate rezultatele cercetarilor care au avut ca scop abordarea unui nou procedeu de elaborare a otelurilor din pulberi de Fe care a fost denumit GASCARBUSINTERING (GCS) si care consta in carburarea pulberii de Fe in stare compactizata si sinterizarea acesteia, ambele tratamente fiind practicate in cadrul aceluiasi ciclu termic, fapt ce aduce pe langa avantajele tehnice si avantaje economice constand in reducerea consumului de energie, gaz si manopera

Primul capitol este rezervat prezentarii cercetarii bibliografice care a fost realizata prin consultarea unui numar de 128 surse bibliografice de actualitate si bine orientate in vederea asigurarii elementelor de originalitate a cercetarilor desfasurate in cadrul lucrarii de doctorat.

In acest capitol, se prezinta perspectivele Metalurgiei Pulberii in viitorul apropiat pe baza datelor culese din “The Powder Metallurgy Worldwide 2007 – 2012” subliniind faptul ca pana la sfarsitul anului 2012 piata mondiala a produselor metalurgiei pulberilor va atinge circa 700 milioane de tone si, totodata, ce mai mare parte a componentelor utilizate vor fi cele cu densitate ridicata ($7,4 - 7,6$) g/cm^3 si a materialelor avansate.

Aceasta subliniere scoate in evidenta particularitatile cercetarilor desfasurate care au vizat pe de o parte elaborarea unor material avansate sub forma otelurilor sinterizate cu gradient de concentratie in C% in sectiune, iar pe de alta parte asigurarea unor densitati ridicate ale otelurilor prin laminarea lor la cald.

In continuare se analizeaza interdependenta dintre densitatea/porozitatea si proprietatile mecanice ale materialelor sinterizate si prezinta o serie de rezultate obtinute pe plan mondial in cercetarile vizand cresterea densitatii in tehnologia metalurgiei pulberilor.

Sunt prezentate procedeele noi de compactizare ale pulberilor prin presare si anume: compactizarea la cald pe baza unor lianti speciali (warm compaction) si compactizarile dinamice cum sunt: compactizarea prin soc, compactizarea prin combustie dirijata si compactizarea cu viteza ridicata.

Se descriu operatiile post-sinterizare aplicate in vederea densificarii materialelor sinterizate si face o analiza detaliata a acestor procedee avand in vedere faptul ca unul dintre obiectivele cercetarii il constituie densificarea otelurilor elaborate prin GASCARBUSINTERING ca urmare a laminarii la cald a acestor oteluri.

In finalul capitolului I, sunt prezentate rezultatele cercetarilor la nivel mondial privind carburarea materialelor feroase elaborate prin metalurgia pulberilor.

Sunt detaliate particularitatile carburarii materialelor sinterizate comparativ cu aceleasi materiale dar in stare turnata sau laminata, fiind relevant faptul ca datorita prezentei porilor in materialele sinterizate, carburarea este mult mai rapida iar potentialul de carbon al atmosferei de carburare, in cazul acestor materiale este mai redus fata de a celor clasice.

Sunt prezentate si procedee similare cu procedeul GCS si anume procedeul CARBUSINTERING care consta, spre deosebire de GCS, in carburarea pulberilor de Fe compactizate prin carburare in mediu solid in acelasi ciclu termic cu sinterizarea lor, precizand ca procedeul CARBUSINTERING prezinta dezavantajele specific carburarii in mediul solid comparativ cu carburarea in mediu gazos si anume calitatea inferioara a zonei carburate datorita lipsei posibilitatii de control al proceselor fizico-chimice la carburarea si a timpului mai indelungat necesar carburarii.

In finalul capitolului I sunt prezentate scopul si obiectivele cercetarilor precum si organizarea cercetarilor sub forma itinerariului experimental.

Scopul cercetarilor constă în:

- Studierea efectului densificării prin compactizare în matrită și îmbogățirea în C;
- Studiul efectelor timpului de menținere la temperatura de carburare și structura oțelurilor GCS;
- Studiul efectului laminării la cald asupra densificării oțelurilor sinterizate;
- Studiul influenței parametrilor variabili: presiunea de compactizare, timpul de menținere la temperatura de carburare și procedeul de laminare.

Obiectivele lucrării de doctorat constau în:

- Dezvoltarea oțelurilor GCS din pulberi de Fe compactizate la 400 și 600 MPa și menținute la temperatura de carburare 120 sau 240 de minute;
- Deformarea plastică prin FHR a oțelurilor GCS elaborate folosind două moduri de laminare: laminare într-un singur pas cu reducerea înălțimii probei cu 2 mm., sau prin reducerea înălțimii probei cu câte 1 mm., prin două treceri succesive;

În capitolul al II-lea intitulat ”**CERCETARI PRIVIND ELABORAREA OTELURILOR PRIN PROCEDEUL GASCARBUSINTERING**” sunt prezentate rezultatele cercetărilor experimentale întreprinse în vederea aplicării acestor noi metode de elaborare a oțelurilor sinterizate.

Mai sunt prezentate: concepția privind GASCARBUSINTERING (GCS) precum și avantajele pe care le poate aduce aplicarea acestui procedeu în Metalurgia Pulberilor.

Este prezentat în continuare programul experimental și anume variabilele utilizate în cercetare materializate prin: cele două presiuni de compactizare ale pulberii de Fe marca DWP200-HEG5001 și anume 400 și 600 MPa, timpuri de menținere la temperatura de carburare de 910 °C și anume 120 min. și 240 min.

A fost fixat necesarul de 280 de probe pentru experimentari.

Instalația experimentală, de concepție proprie, constă dintr-un ansamblu format din cutia specială pentru carburare în mediu de CH₄ și sinterizare în Ar,

tratamente aplicate succesiv, dar in acelasi ciclu termic, cuptorul de GCS si instalatia de monitorizare si achizitie a datelor de process.

In continuare sunt prezentate caracteristicile fizico-chimice si tehnologice ale pulberii de Fe utilizata pentru experimentari precum si forma si dimensiunile probelor compactizate.

Densitatea si porozitatea medie a probelor obtinute dupa compactizare se situeaza in limitele (6,62 – 7,07) g/cm³ respectiv (15,76 – 9,99) %, valorile densitatilor crescand odata cu creastera presiunii de compactizare de la 6,62 g/cm³ pentru presiunea de compactizare de 400 MPa la 7,07 g/cm³ la compactizarea cu 600 MPa.

Dupa compactizarea probelor de pulbere de Fe acestea au fost supuse carburarii in mediu de CH₄ si sinterizarii si in finalul procesului s-a determinat continutul lor in C%, microstructura, densitatea si porozitatea probelor din otel GCS.

Rezultatele experimentale scot in evidenta faptul ca in sectiunea probelor continutul de C% este variabil si anume maxim in zona de suprafata care a fost in contact cu atmosfera de carburare si minim in miezul materialului.

In ceea ce priveste influenta parametrilor de proces, presiunea de compactizare si timpul de mentinere la temperatura de carburare acestia au o influenta notabila asupra evolutiei continutului mediu de C in sectiunea probelor si anume continutul mediu de C creste odata cu cresterea timpului de mentinere la temperature de carburare si scaderea presiunii de compactizare a pulberii de Fe, cele mai ridicate valori inregistrandu-se pentru probele compactizate la 400 MPa si anume 1,15%C la mentinerea timp de 240 min. respectiv 0,93%C la mentinerea timp de 120 de min. comparativ cu probele compactizate la 600 MPa si mentinute la aceeasi timpi (0,68%C si 0,68%C).

O alta concluzie importanta este aceea ca in ceea ce priveste densitatile probelor inainte de GCS (compactizate) si cele dupa GCS nu apar diferente semnificative.

Un alt element particular este acela ca din punct de vedere microscopic dupa GCS porozitatea este mai accentuate in zona de contact a probelor cu mediul de

carburare si incalzire, fapt ce justifica necesitatea aplicarii ulterioare a laminarii la cald in vederea densificarii materialului in intregul sau volum si in special in zona de suprafata, care in multe aplicatii cum este cazul rotilor dintate trebuie sa aiba o rezistenta mecanica si la uzura mare.

In capitolul al III-lea intitulat ”**CERCETARI PRIVIND DENSIFICAREA OTELURILOR PRIN LAMINARE LA CALD**” este prezentata procedura de lucru la laminarea la cald a otelurilor care au fost elaborate in cercetarile prezentate in capitolul precedent si sunt caracterizate probele laminate din punctul de vedere al densitatilor obtinute si al al aspectului microscopic fiind facute si corelatiile referitoare la efectele parametrilor variabili introdusi la laminare si anume: laminarea cu reducerea sectiunii cu 2 mm. intr-o singura trecere, respectiv in doua treceri succesive asupra densitatilor, porozitatilor si aspectelor microscopice ale otelurilor laminate.

In acest context, se constata ca, asa cum era de asteptat, laminarea la cald a otelurilor GCS are efect favorabil asupra densificarii acestor materiale prin atingerea unor densitati ridicate si anume cca. $7,4 \text{ g/cm}^3$. Practic, se constata ca densitatea dupa laminarea probelor creaste odata cu cresterea presiunii de compactizare si a timpului de mentinere la temperatura de carburare inscriindu/se in intervalul $(7,06 - 7,39) \text{ g/cm}^3$.

Procedeul optim de laminare este cel cu reducerea grosimii probelor cu 2 mm. la o singura trecere, obtinandu-se astfel densitati aparente de cca. $7,49 \text{ g/cm}^3$ si densitati relative de cca. 94%.

Prin analiza metalografica se evidentiaza ca stratul superficial initial poros se densifica la laminarea la cald a otelurilor GCS.

In capitolul al IV-lea intitulat “**ANALIZA CARACTERISTICILOR MECANICE ALE OTELURILOR GCS LAMINATE LA CALD**” sunt analizate caracteristicile mecanice ale otelurilor GCS.

In acest cadru, este studiata evolutia otelurilor la incercarea la tractiune, la soc, la incovoiere si al duritatii.

Din punctul de vedere al rezistenței la tracțiune, se arată că, deși oțelurile GCS obținute prin compactizarea pulberii de Fe la aceleași presiuni și densități relative adecvate, modulul de elasticitate și rezistența mecanică a acestor oțeluri cresc odată cu creșterea timpului de menținere la temperatura de carburare, iar din punct de vedere valoric acești parametri situează oțelurile nealiat GCS conform "Guide to design of sintered parts" în categoria oțelurilor aliate P/M cu compoziția Fe-2Cu-2.5Ni sinterizat la temperaturi ridicate ($1250-1280^{\circ}\text{C} \times 30-60$ min. în atmosferă de N_2+H_2).

Rezistența la solicitarea cu soc a oțelurilor GCS laminate la cald este influențată de presiunea de compactizare a pulberii de Fe. Valorile cele mai ridicate ale rezilienței ($381,33-434,99$) J/m^2 respectiv energiei de impact ($32,41-38,31$) J înregistrându-se în cazul probelor compactizate la 600 MPa și menținute la temperatura de carburare timp de 240 min.

Aceste valori situează oțelurile GCS laminate la cald în categoria oțelurilor aliate cu compoziția Fe-2Cu-2.5Ni PS+R+HSH (represat după presinterizare și sinterizat la temperatură ridicată).

Încercarea la încovoiere a oțelurilor GCS a scos în evidență aceleași concluzii cu cele de la încercarea la soc și anume că presiunea de compactizare a pulberii de Fe și timpul de menținere la temperatura de carburare influențează modulul de elasticitate E și F_{max} , valorile cele mai ridicate fiind în cazul oțelurilor rezultate prin compactizarea pulberii de fier la presiunea cea mai mare și anume 600 MPa și menținute timpul cel mai îndelungat la temperatura de carburare și anume 240 min.

Determinările de duritate au relevat faptul că duritățile probelor cresc odată cu creșterea timpului de menținere la temperatura de carburare, fapt explicabil prin prisma creșterii conținutului în C odată cu creșterea timpului de menținere.

În ceea ce privește modul de laminare se observă că duritatea este influențată de modul de laminare, în sensul că aceasta crește la laminarea în două treceri, fapt explicabil prin ecruisarea oțelului, în special la cea de-a doua trecere când temperatura probelor scade sub 1000°C .

Avand in vedere aceste rezultate obtinute la elaborarea otelurilor sinterizate prin procedeul GASCARBUSINTERING urmata de laminarea la cald a otelurilor, se pot formula urmatoarele contributii originale aduse cu ocazia acestei teze de doctorat: aplicarea unui nou procedeu de elaborare a otelurilor prin P/M si anume carburarea in mediu gazos si sinterizarea in acelasi ciclu termic a compactizatorilor din pulbere de Fe, metoda care a fost GAZCARBUSINTERING; aplicarea laminarii la cald in vederea densificarii otelurilor sinterizate, procedeu prin care s-au atins valori de densitate in intervalul de cca.7,4 g/cm³ si conceperea si realizarea unei instalatii experimentale pentru cercetarile de carburare in mediu gazos si sinterizare a pulberilor de fier compactizate.