

MATERIALE MAGNETOREOLOGICE SI ELECTROREOLOGICE

Cozma Diana, Păun Daniel, Sezer Bülent

Conducător științific: dr. ing. Claudia BORDA

Introducere

“Ingineria este știința sau arta de a produce cu economie și eleganță aplicații practice ale cunoștințelor dobândite prin științele exacte” [1]. Principala reușită a aplicațiilor ingineresti – pe lângă un design corespunzător, capabil să facă produsul respectiv cât mai atractiv [2] – este legată de capacitatea de-a funcționa în mod corespunzător în cele mai variate condiții de exploatare. Din acest motiv, inginerul proiectant trebuie să ia în calcul “scenariul celui mai nefavorabil caz”, legat atât de calitatea materialelor din componența produsului cât și de condițiile de exploatare ale acestuia. Rezultă un produs cu coeficienți foarte mari de siguranță, ceea ce implică un surplus al consumului de masă și de energie. În plus, în proiectarea clasică nu există nici o metodă care să permită anticiparea comportamentului la oboseală a unui anumit produs, fabricat dintr-un material dat, înaintea ruperii catastrofale. Toată experiența acumulată în acest domeniu se bazează pe observațiile efectuate după rupere, când este întotdeauna prea târziu, dacă s-au pierdut bunuri materiale sau mai ales vieți omenești [1].

Pentru a elimina inconvenientele de mai sus, s-au căutat modalități de creare a unor funcții de legătură între material și sistem, după modelul sistemelor vii. Pornind de la ideea că sistemele vii nu fac distincție între materiale și structuri, s-a dezvoltat noțiunea de *sistem material inteligent*

[1]. Materialele inteligente încorporează caracteristicile de adaptabilitate și de multifuncționalitate, fiind capabile să prelucreze informațiile, utilizând exclusiv caracteristicile intrinseci ale materialelor [3].

Scurt istoric

Preocuparea de-a crea structuri adaptive datează de cel mult două decenii [5]. Primele eforturi în acest sens s-au semnalat la începutul anilor '80, când S.U.A. au sponsorizat cercetările de integrare a proiectoarelor luminoase în învelișul exterior al avioanelor de luptă. A rezultat "Programul Învelișului Intelligent" (Smart Skin Program) care s-a derulat timp de aproape un deceniu. Ulterior, cercetările s-au extins în mod

considerabil dar au fost axate tot pe tehnologiile aeronautice și spațiale.

În Japonia eforturile au fost, de la bun început, axate pe dezvoltarea bine structurată și pe scară largă a materialelor multifuncționale. În 1985 s-a înființat "Forumul Sticlei Noi" (New Glass Forum) destinat dezvoltării de materiale ceramice senzoriale, prin modificarea proprietăților chimice, mecanice sau optice. În 1987 forumul a fost înlocuit de "Asociația Sticlei Noi" (New Glass Association) care reunea peste 200 de companii din diverse domenii de activitate. Ulterior au mai funcționat: "Consiliul pentru Aeronautică, Electronică și alte Științe Avansate" (1987-1989) și "Agenția de Știință și Tehnologie" (înființată în 1989) care au reunit, pentru prima

oară, specialiști din medicină, farmacie, științe ingineresti, fizică, biologie, electronică și informatică.

În Germania studiul materialelor adaptive s-a axat inițial exclusiv pe controlul vibrațiilor din aero- și astronave. În 1990 aceste preocupări au atras atenția instituțiilor de stat intrând sub coordonarea Centrului de Tehnologie din Düsseldorf. Acesta a organizat un colocviu, în toamna

anului 1991 când, în limba germană, a fost adoptat termenul de "adaptronică" [6].

Caracterizare generală

Prin analogie cu științele biologice, sistemele inteligente pot îndeplini funcții de activatori (mușchi), de senzori (nervi) sau de control (creier).

Noțiunea de material inteligent poate fi extinsă la un nivel mai înalt de inteligență artificială, prin încorporarea unei "funcții de învățare". Rezultă un *material foarte inteligent* care poate detecta variațiile mediului și-și poate modifica caracteristicilor proprii astfel încât să controleze variațiile care au generat această modificare. S-au dezvoltat, astfel, noțiunile de "inteligență pasivă" (care permite doar reacția la mediu) și de "inteligență activă" (care reacționează în mod discret la constrângeri mecanice, termice sau electrice exterioare, ajustându-și caracteristicile printr-un sistem de feed-back) [7].

actuator a fost preluat în mod „automat” din limba engleză fără să existe o acțiune corespunzătoare în limba română – *a actua* - așa cum există în limba franceză *actionneur* de la *actionner* = a acționa) sunt constituiți din materiale inteligente capabile să efectueze o acțiune. Ei au capacitatea de ași modifica: 1-forma (generând lucru mecanic); 2-rigiditatea; 3-poziția; 4-frecvența vibrațiilor interne; 5-capacitatea de amortizare; 6-frecarea internă sau 7-vâscozitatea, ca reacție la variațiile de temperatură, câmp electric sau magnetic.

Cele mai răspândite materiale pentru actuatori (numite și materiale reactive sau adaptive) sunt: materialele cu memoria formei, materialele piezoelectrice, materialele electro- și magnetostrictive precum și materialele electro- și magnetoreologice [1].

Senzorii (captatori) sunt sisteme de detecție ce traduc modificările mediului prin emiterea unor semnale cu ajutorul cărora este descrisă starea structurii și a sistemului material. Printre funcțiile lor se numără: controlul defectelor, amortizarea vibrațiilor, atenuarea zgomotului și prelucrarea

datelor. Unei structuri i se pot atașa senzori externi sau îi pot fi încorporați senzori [8]. Cele mai răspândite materiale senzoriale sunt: materialele cu memoria formei, materialele piezoelectrice, materialele electrostrictive, fibrele optice și particulele de marcă [1].

Sistemele de control (dispozitive de transfer) se bazează pe așa numitele "rețele neurale" care au rolul de-a asigura comunicarea complexă, prelucrarea semnalului și memoria prin evaluarea stimulilor primiți de sistem și controlul reacției acestuia. Prelucrarea semnalului și acțiunea

rezultată se fac după o anumită "arhitectură" care include: 1-organizarea globală; 2-organizarea locală; 3-ierarhia simplă și 4-multiierarhia [9]. După acest model, informațiile mai puțin importante, care nu necesită precizii foarte ridicate, pot fi prelucrate la un nivel inferior, fără a mai trebui să treacă prin nivelul central. Rezultă atât reducerea timpului de stimulareacțiune,

cât și reducerea consumului energetic. În felul acesta este prelungită "viața" sistemului de control care trebuie să fie mai lungă decât duratele de funcționare ale oricăruia dintre componentele sale.

Materialele inteligente, care au mai fost numite: senzoriale, adaptive, metamorfice,

multifuncționale sau deștepte (smart) [10], sunt fructul colaborării specialiștilor din trei domenii: știința materialelor, inginerie mecanică și construcții civile și pot combina funcția de actuator cu cea de senzor. Cea mai eficace metodă de obținere a materialelor inteligente este asamblarea de particule (particule assemblage) care se poate realiza fie prin atașarea, fie prin integrarea elementelor active într-o structură unitară.

Conceptul de asamblare de particule presupune: 1-producerea unui amestec ordonat de diferite particule; 2-manipularea particulelor cu o microsondă și 3-aranjarea particulelor pe substraturi. Metoda de aranjare pe substraturi presupune parcurgerea a trei etape (după modelul copierii xerografice): desenarea, dezvoltarea și fixarea [11]. Cu ajutorul sistemelor materiale inteligente au fost concepute sisteme de prelucrare mecanică inteligentă cum ar fi, de exemplu, îndoirea precisă "în L" a tablelor subțiri [12].

Un ansamblu de materiale inteligente, analizat la scară microscopică dar integrat la scară microscopică poartă denumirea de "structură inteligentă". Ea se poate auto-monitoriza, reacționând unitar la orice stimul extern [13]. Cea mai simplă structură materială inteligentă este alcătuită dintr-un senzor, un actuator și un amplificator de feed-back. Între senzor și actuator poate să existe sau nu un cuplaj mecanic, prima variantă fiind mult mai eficace, deoarece culegerea informației și acționarea se produc în același punct [14].

În urma studiului, dezvoltării și implementării materialelor inteligente în diverse sisteme materiale a apărut noțiunea de "viață artificială" (a-life) dedicată creării și studiului unor organisme și sisteme de organisme construite de oameni. În conformitate cu conceptul a-life, sistemele materiale inteligente sunt astfel concepute încât să poată manifesta atât caracteristici adaptive (pot fi "educate" sau pot reacționa în mod spontan la mediu) cât și posibilitatea de-a transmite informații la proiectant și utilizator.

Pot exista numeroase aplicații comerciale ale materialelor inteligente, dar cea mai valoroasă dintre acestea este posibilitatea de-a studia și înțelege o serie de fenomene fizice complexe, în special din domeniul fizicii fundamentale.

Prin aportul sistemelor materiale inteligente proiectanții nu vor mai trebui să adauge masă și energie, pentru a mări fiabilitatea produselor.

Experiența nu se va mai dobândi prin studii de caz și anchete, după producerea accidentului (rupere la oboseala), ci chiar în timpul funcționării sistemelor materiale inteligente, prin monitorizarea reacțiilor și a adaptabilității acestora.

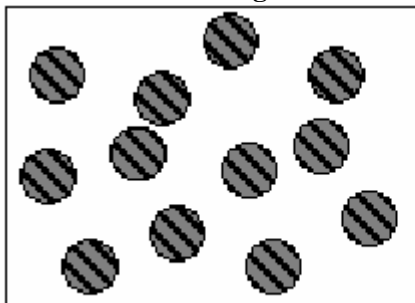
Piața mondială a materialelor inteligente depășește 1 miliard \$ anual dintre care 75 % reprezintă materialele piezoelectrice și electrostrictive, câte 10 % materialele magnetostrictive și cele cu memoria formei și restul de 5% materialele electro- și magnetoreologice.

5.2 Materialele magnetoreologice

Materialele magnetoreologice (MR) sunt suspensii stabile de particule feromagnetice ultrafine, cu dimensiuni de ordinul a 0,05-10 μm , într-un mediu fluid purtător, izolator.

5.2.1 Caracterizarea generală a materialelor MR

La aplicarea unui câmp magnetic, materialele MR au capacitatea de a-și modifica vâscozitatea cu până la șase ordine de mărime, datorită formării lanțurilor de particule aliniate. Fenomenul este ilustrat în Fig.5.9.



(a)

Fig.5.9 Ilustrare schematică a comportamentului reversibil al particulelor din cadrul

materialelor MR: (a) dispunere dezordonată, în absența câmpului magnetic extern; (b) aliniere după o direcție unică, la aplicarea câmpului [368]

Formarea lanțurilor „de perle”, cum mai sunt numite șirurile de particule MR aliniate din Fig.5.9(b), este însoțită de modificarea proprietăților reologice (elasticitate, plasticitate, vâscozitate), magnetice, electrice, termice, acustice, etc. însă principalul efect este creșterea vâscozității aparente. La îndepărtarea câmpului magnetic, particulele revin la starea dezordonată din Fig.5.9(a) [368].

În structura unui material MR se regăsesc 3 componente majore: particulele feromagnetice, fluidul purtător și stabilizatorul.

1. Particulele feromagnetice dispersate au formă sferică și ocupă cca. 20-50 % din volumul materialului MR. În mod curent, se utilizează pulbere din material magnetic moale (remagnetizabil) cum ar fi carbonil de fier (FeCO).

Un exemplu de astfel de pulbere este S-3700, obținută de societatea ISP, prin descompunerea pentacarbonilului de fier, Fe(CO)₅. Compoziția chimică a particulelor acestei mărci este: Fe-max 1 % C-max 0,7 % O –max 1 % N.

2. Fluidul purtător servește ca mediu continuu de izolare și trebuie să aibă o vâscozitate de 0,01-1 Pa·s la 400C. Fluidele purtătoare utilizate în mod curent sunt: apa, glicolul, kerosenul și uleiul sintetic sau mineral (siliconic).

3. Stabilizatorul are rolul de a păstra particulele suspendate în fluid, împiedicându-le să se strângă împreună sau să se depună gravitațional. Stabilizarea se face în mod diferit, în funcție de concentrația particulelor:

a) *la concentrații mici*, în jur de 10 %, stabilizarea constă din formarea unui gel care favorizează dispersia și lubrifierea, modifică vâscozitatea și inhibă uzura. Un exemplu de astfel de stabilizator este silicagelul, format din particule ultrafine și poroase de silice, care au

capacitatea de-a absorbi mari cantități de lichid;

b) *la concentrații mari*, de până la 50 %, stabilizarea se face cu substanțe tensioactive, neutre sau ionice care aderă pe suprafața particulelor favorizând dispunerea lor în structuri fin dispersate, ramificate spațial.

Materialele ER se obțin prin măcinarea în mori cu bile) unde se introduc toate componentele materialului, inclusiv fluidul purtător și se produce fărâmițarea și amestecarea lor sub efectul ciocnirilor bilelor, la turații de ordinul a 2000 rot./min.

Comportarea materialelor MR, în spațiul tensiune-deformație-viteză de forfecare, este asemănătoare celei prezentate în Fig.5.2, pentru materialele ER. În ceea ce privește influența intensității câmpului magnetic aplicat asupra variației tensiunii cu viteza de forfecare, se prezintă Fig.5.10.

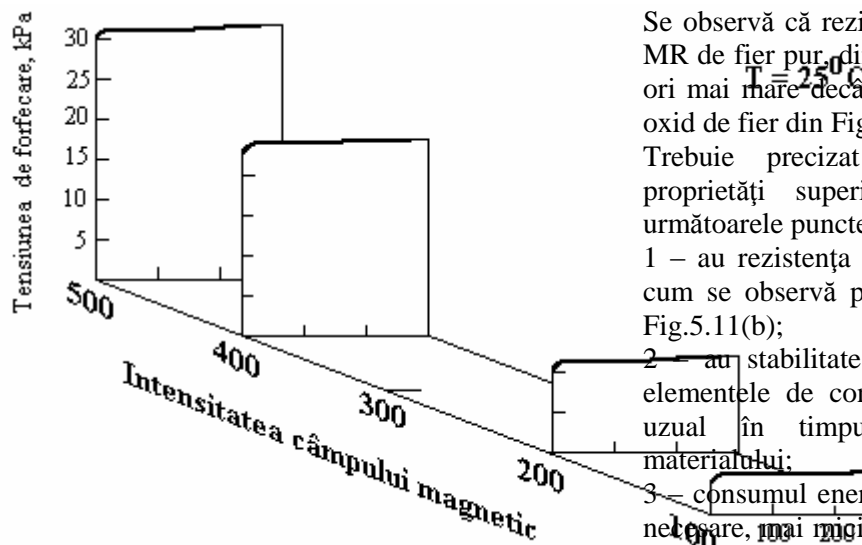


Fig.5.10
Influența intensității câmpului magnetic asupra variației tensiunii în funcție de viteză de forfecare, la un material MR [369]

Se observă că tensiunea de forfecare se stabilizează, odată cu creșterea vitezei de forfecare dar crește proporțional, în funcție de rădăcina pătrată a intensității câmpului magnetic aplicat [369].

Un material MR „bun” este caracterizat prin: (i) vâscozitate inițială scăzută; (ii) valori ridicate ale tensiunii de forfecare la anumite valori ale intensității câmpului magnetic; (iii) dependență neglijabilă de temperatură și (iv) înaltă stabilitate. După cum s-a mai menționat, cele mai bune proprietăți MR le are fierul pur. Superioritatea acestuia este ilustrată în Fig.5.11.

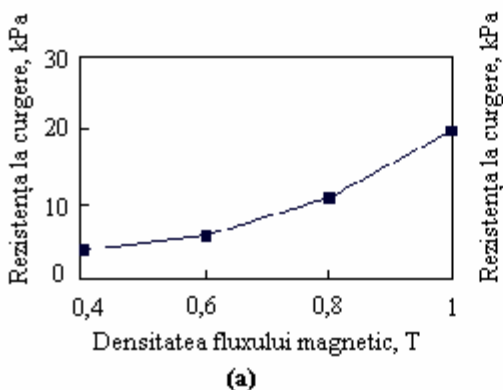


Fig.5.11
Influența materialului particulelor asupra proprietăților MR: (a) la oxidul de fier; (b) la o suspensie de 40% fier pur [368]

Se observă că rezistența la curgere a suspensiei MR de fier pur, din Fig.5.11(a) este de cca. șase ori mai mare decât cea a suspensiei pe bază de oxid de fier din Fig.5.11(b).

Trebuie precizat că materialele MR au proprietăți superioare materialelor ER, din următoarele puncte de vedere:

1 – au rezistența la curgere mai ridicată, după cum se observă prin compararea Fig.5.4(b) cu Fig.5.11(b);

2 – au stabilitate mai mare la impuritățile și elementele de contaminare, care apar în mod uzual în timpul producerii și utilizării materialului;

3 – consumul energetic este mai redus (puterile necesare, mai mici de 50 W, putând fi asigurate, la tensiuni de 12-24 V și intensități de 1-2 A, chiar și de bateriile electrice).

Datorită atât superiorității lor față de materialele ER cât și proprietăților lor reologice ușor-controlabile, materialele MR sunt utilizate cu succes în aplicații, la controlul șocurilor și vibrațiilor.

5.2.2 Aplicațiile materialelor MR

Aplicațiile materialelor MR se regăsesc în cadrul acelorași categorii generale, întâlnite și la materialele ER – dispozitivele controlabile și structurile adaptive.

Cele mai răspândite *dispozitive controlabile* cu materiale MR sunt amortizoarele. Câteva tipuri de amortizoare cu materiale MR sunt prezentate schematic în Fig.5.12.

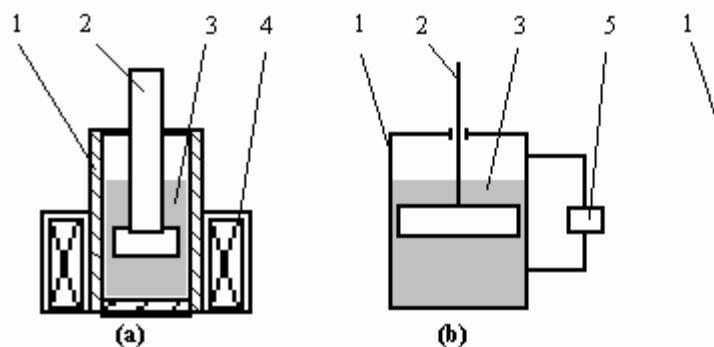


Fig.5.12
Tipuri de amortizoare controlabile cu materiale MR: (a) amortizor clasic; (b) amortizor cu supapă exterioră de reglare; (c) amortizor cu supapă de reglare încorporată: 1-cilindru, 2-piston, 3-fluid MR, 4-bobină electromagnetică, 5-supapă de reglare a debitului [368, 369]

Amortizorul MR clasic, din Fig.5.12(a), are dezavantajul că efectul electromagnetului (4)

trebuie să acopere tot diametrul cilindrului, deci o regiune destul de mare, ceea ce necesită un câmp magnetic foarte puternic [368]. Variantele de amortizoare din Fig.5.12(b) și (c) folosesc o valvă de reglare a debitului care, din punct de vedere funcțional, este o rezistență hidraulică controlată. Viteza de trecere a fluidului MR (4) prin supapa (5) este reglată prin intermediul unui câmp magnetic perpendicular pe direcția fluxului. Supapa de control al debitului este un ansamblu de cilindri și inele coaxiale, la exteriorul cărora s-a înfășurat o bobină din sârmă de cupru. Solenoidul astfel format generează un câmp magnetic perpendicular pe axa supapei, care poate atinge, de exemplu, o intensitate de 300 kA/m, la un curent de 1,2 A și un număr de 1000 de spire.

Un exemplu de utilizare a dispozitivelor controlabile cu fluide MR sunt amortizoarele de la scaunele șoferilor de pe camioanele grele, frânele și ambreiajele controlabile, sistemele de frânare de la simulatoarele de conducere auto, etc.

Amortizoarele controlabile cu fluid MR sunt candidați foarte promițători pentru sistemele de reglare a rigidității structurilor adaptive, în special în cazurile cu risc ridicat de expunere la calamități naturale cum ar fi furtunile mari sau cutremurele. Un astfel de amortizor pentru protecție antiseismică, produs de firma Lord, este schițat în Fig.5.13.

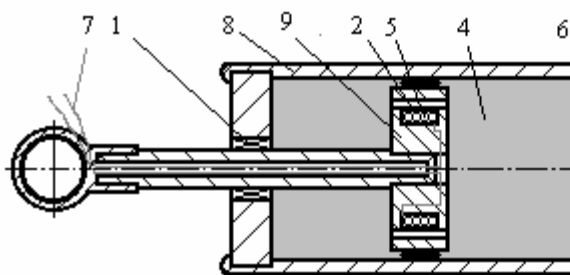


Fig.5.13

Schema unui amortizor controlabil cu material MR: 1-lagăr și etanșare, 2-orificiu inelar, 3-acumulator de presiune, 4-fluid MR, 5- bobină electromagnetică, 6-diafragmă elastică, 7-sârme de alimentare a electromagnetului, 8-cilindru, 9-piston [370]

Cursa amortizorului este de $\pm 2,5$ cm. Cilindrul principal (8) are un diametru de 3,8 cm și conține pistonul (9), acumulatorul de presiune (3) și fluidul MR (4). Câmpul magnetic este

produs de bobina (5), plasată pe piston. Puterea absorbită la funcționarea amortizorului este mai mică de 10

W. Timpul de reacție al ansamblului a fost mai mic de 10 ms [370].

Utilizând astfel de amortizoare, firma Lord a dezvoltat structuri adaptive protejate la vibrații și șocuri, două exemple fiind oferite de Fig.5.14.

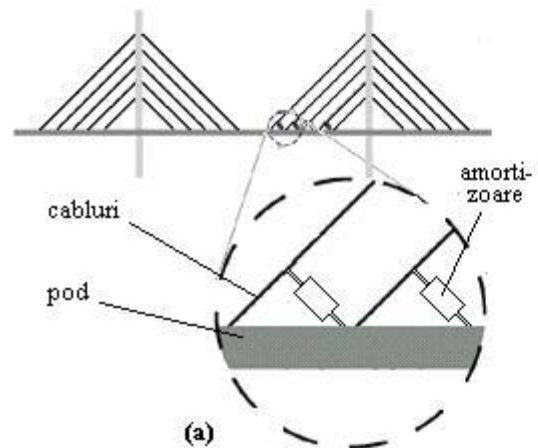


Fig.5.14

Ilustrarea modului de utilizare a amortizoarelor controlabile, cu material MR, la construcția structurilor adaptive: (a) la poduri fixate prin cabluri; (b) la blocuri cu multe etaje [370]

Acet sistem de protecție este ieftin, necesită o întreținere necostisitoare și consumă puțină energie electrică. În principiu, amortizoarele sunt astfel plasate încât disipă energia mecanică, de la trecere a diverselor segmente succesive ale structurii.

Dacă sunt corect amplasate și legate, amortizoarele asigură protecția podurilor fixate prin cabluri, Fig.5.14(a) și a blocurilor înalte, Fig.5.14(b), chiar și în cazul unor furtuni mari sau a unui cutremur puternic [371].

O aplicație aparte a fluidelor MR o reprezintă finisarea de mare precizie. Materialul de prelucrat este adus în contact cu fluidul MR exact în zona care trebuie îndepărtată. La aplicarea câmpului magnetic, fluidul MR – care până atunci se rotea odată cu piesa de prelucrat – își mărește brusc

vâscozitatea, ceea ce duce la desprinderea unui strat superficial, numai în zona vizată. Dacă

procesul este calibrat corect și condus prin calculator, se asigură o precizie de prelucrare tipică de 50 μm, pentru operațiile de superfinisare [372].

În cadrul materialelor inteligente, au mai fost incluse recent încă două categorii „senzoriale” – materialele optice și particulele de marcare – care ocupă însă fracțiuni neglijabile din piața mondială.

În comparație cu materialele cu memoria formei – care sunt considerate în mod unanim drept primele care au fost utilizate în *aplicații adaptive*, celelalte materiale inteligente pot fi considerate „în primele stadii ale copilăriei” [267].

6. MULȚUMIRI

Mulțumim doamnei doctor coordonator Claudia Borda pentru ajutorul și îndrumările oferite.

Bibliografie

- [1]. Leandru-Gheorghe Bujoreanu, (2002), MATERIALE INTELIGENTE, Editura Junimea
Disponibil la: <http://www12.tuiasi.ro/users/112/L.G.Bujoreanu-Materiale%20inteligente.pdf>
Accesat la data :12.05.2015
- [2]. Monica Lohan, Materiale Inteligente cu memoria formei,
Disponibil la: <http://ro.scribd.com/doc/238520865/Universitatea-Tehnica-proiect#scribd>
Accesat la data :12.05.2015
- [3]. Ladislau Véká,(2008), Nanofluide magnetice si fluide Magnetoreologice,
Disponibil la: <http://www.diaspora-stiintifica.ro/diaspora2008/docs/prezentari/WE22/Vekas.pdf>
Accesat la data :12.05.2015
- [4]. Alexandru Mihai Ghita, Materiale electro și magnetoreologice,
Disponibil la: <https://prezi.com/-j3-1dy7tnsa/materiale-electro-si-magnetoreologice/>
Accesat la data :12.05.2015