

ANALIZA MATERIALELOR COMPOZITE FOLOSITE ÎN INDUSTRIA NAVALĂ LA MIEZURILE MOTOARELOR ELECTRICE

Șl. dr. ing. **Adelina BORDIANU**

Universitatea Politehnica din București, România

REZUMAT. Materialele compozite reprezintă un domeniu prioritar de cercetare. Am arătat cât este de important să se studieze structura și proprietățile acestora deoarece datorită structurii complexe ale acestor materiale o mică modificare în structură poate duce la modificarea rezultatelor și proprietăților finale. În această lucrare este studiat un material compozit ce poate fi folosit cu succes în fabricarea miezurilor motoarelor electrice ale navelor astfel încât caracteristicile de funcționare ale acestora să fie îmbunătățite

Cuvinte cheie: materiale compozite, motoare electrice, omogenizare.

ABSTRACT. Composite materials are a priority research area. It is important to study their structure and properties because, due to the complex structure of these materials, a small change in structure can result in changes in final results and properties. In this paper is studied a composite material that can be successfully used in the manufacture of the electric motors of the ships so that their operating characteristics are improved.

Keywords: composite materials, electric motors, homogenization.

1. INTRODUCERE

Materialele compozite reprezintă un domeniu prioritar de cercetare în momentul de față fiind utilizate cu succes în realizarea de structuri performante în diferite ramuri ale tehnicii. Ele reprezintă o foarte bună alternativă a materialelor clasice în diferite aplicații, dar pot fi folosite cu succes și în noi arii de cercetare.

Avantajele importante ale materialelor compozite în raport cu materialele tradiționale (rezistență mecanică și chimică îmbunătățite, reducere a greutății, bună rezistență la șoc și incendiu etc.) au făcut ca multe dintre marile descoperiri ale ultimului secol să fie legate de materialele compozite.

În industria navală materialele compozite sunt utilizate cu succes în realizarea bărcilor, iahturilor, culegătoarelor de mine, submarine mici pentru cercetare, vapoare comerciale și militare etc.

Principalele avantaje aduse de materialele compozite sunt legate de reducerea greutății pentru a reduce costurile de operare și pentru a îmbunătăți eficiența, rezistența la coroziune pentru funcționarea fără deteriorare, creșterea rezistență la tracțiune pentru durabilitate mai ușoară, izolarea termică și absența semnăturilor magnetice [1]-[3].

Un material compozit poate fi descris ca fiind o combinație între două sau mai multe materiale distincte, care la nivel microscopic își mențin

proprietățile și structura proprie, dar la nivel microscopic materialul rezultant apare ca fiind omogen. Întreg ansamblul prezintă caracteristici și proprietăți diferite față de fiecare material component în parte.

Cel mai simplu material compozit este format din două componente. Unul dintre ele poartă denumirea de matrice, iar celălalt se numește incluziune (întăritură). Incluziunile sunt încorporate în matrice, aceasta din urmă având ca prim rol protejarea acestora.

Tendința actuală este reprezentată de crearea și utilizarea materialelor compozite cu incluziuni de dimensiuni nanometrice. Acest fapt nu exclude ca cercetătorii să nu continue să dezvolte și să analizeze materialele cu incluziuni de dimensiuni mai mari (microscopice).

Deoarece există multe modalități de a obține materiale compozite este important să se studieze structura și proprietățile lor.

Motoarele navale trebuie să aibă caracteristici de funcționare mult mai fiabile deoarece condițiile de funcționare sunt deosebite față de domeniul terestru și de aceea aceste echipamente în standardizarea lor au litera N – navalizate.

În această lucrare sunt analizate eșantioane de material compozit magnetic moale ce pot fi folosite cu succes în fabricarea motoarelor electrice ale navelor. Folosind aceste materiale pierderile totale pot fi reduse semnificativ.

2. EȘANTIONUL UTILIZAT

Eșantioane de material compozit moale de tip Somaloy® Prototyping de la Höganäs. Fiecare incluziune a acestor materiale este acoperită cu un strat izolator – fig. 2.1.

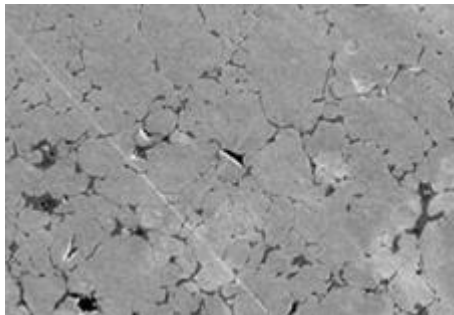


Fig. 2.1. Imaginea materialului compozit

Acest lucru înseamnă că rezistivitatea materialului este îmbunătățită, prezintă proprietăți stabile cu temperatura (până la temperaturi de peste 100°C), iar pierderile se reduc, mai ales cele datorate curenților turbionari. Aceste materiale pot fi folosite cu succes pentru o mulțime de aplicații (mașini electrice, senzori, dispozitive de acționare electromagnetică, ecranarea câmpului magnetic etc.) atât la frecvențe mici, medii sau chiar la frecvențe înalte.

Materialul în stare brută realizat de Höganäs este sub formă de blocuri, din care în funcție de aplicație se pot tăia, folosind procedee mecanice, formele dorite.

Suntem interesați de modul în care sunt influențate pierderile în funcție de dimensiunile eșantioanelor de compozit, de creșterea valorii câmpului magnetic și de creșterea frecvenței.

S-a demonstrat că pentru eșantioanele mai mici de anumite dimensiuni (2.5cm) pierderile prin curenți turbionari sunt datorate numai particulelor, neexistând căi suplimentare de curent. În schimb, dacă dimensiunile eșantioanelor cresc, curenții la nivel macroscopic nu mai pot fi neglijați. Acest lucru înseamnă că pierderile prin curenți turbionari depind de geometria eșantioanelor. Acest lucru l-am cercetat în cadrul lucrării.

3. ANALIZA NUMERICĂ

Pierderile prin curenți turbionari pot fi calculate ca o sumă de doi termeni diferiți: primul datorat pierderilor din interiorul particulei și cel de-al doilea datorat căilor de curent din întregul material. Deoarece structura reală a materialului este complicată, pentru a reuși să se analizeze compozitul din punct de vedere

numeric trebuie utilizată teoria omogenizării matematice [6].

Analiza numerică a materialelor compozite este foarte importantă deoarece se pot obține rezultate destul de rapid, se pot realiza mai multe simulări concomitent, se pot prezice anumite rezultate experimentale și, de asemenea, se pot realiza comparații între rezultatele obținute și cele experimentale.

Analiza materialelor compozite este foarte dificilă datorită structurii complexe a materialului, din această cauză, de-a lungul timpului s-au dezvoltat mai multe metode de analiză.

O metodă de prin care se poate ușura analiza materialelor compozite este folosirea de ipoteze simplificatoare.

Prima ipoteză o reprezintă simplificarea geometriei, adică aproximarea incluziunilor cu forme geometrice simple, sfere, elipsoizi etc. În realitate, în urma proceselor tehnologice de obținere a incluziunilor, acestea au forme și dimensiuni diferite și se poate întâmpla să nu fie înglobate perfect în matrice. În analiză acestea se consideră că au aceleași dimensiuni, matricea le înglobează perfect și în anumite cazuri incluziunile sunt distribuite uniform în matrice.

Simetria materialului este de asemenea o ipoteză importantă care ajută la modelarea mai ușoară a materialului micșorându-se astfel numărul de proprietăți ale materialului ce depind de mai multe direcții.

În modelarea compozitelor foarte des acestea sunt approximate cu materiale omogene.

Se reușește astfel să se descrie comportamentul global al materialului compozit neomogen în funcție de proprietățile sale microscopice.

Prin înlocuirea materialului real cu un material omogen (fictiv), analiza acestuia devine mult mai ușor de rezolvat din punct de vedere numeric.

Folosind teoria omogenizării matematice, se poate ține cont atât de efectele de la nivel global, cât și cele de la nivel local. Pornind de la caracteristicile matricii și incluziunilor s-au determinat proprietățile efective ale materialului compozit, modelându-se comportamentul său electromagnetic.

Prin folosirea teoriei omogenizării matematice au putut fi puse în evidență atât fenomenele ce au loc la scară microscopică (locală), cât și cele de la scara macroscopică (globală).

Astfel s-a considerat o celulă elementară. Materialul este format din ansamblul tuturor acestor celule. Problema este cum se poate modela geometria celulei elementare pentru a putea să se țină cont de eventualele contacte. S-au considerat 2 geometrii distincte – fig. 3.1.

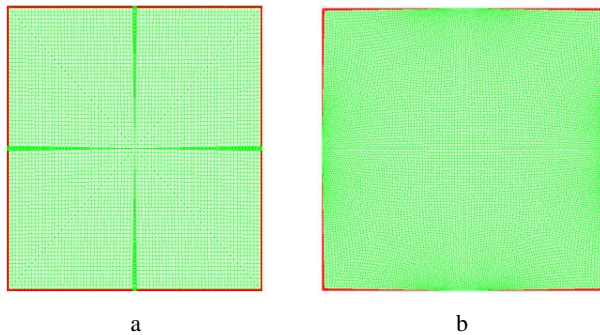


Fig. 3.1. Geometrii pentru celula elementară.

Cele două geometrii pentru celula elementară sunt asemănătoare (raportul dintre volumele matricii și incluziunii este aproximativ același).

Pentru simplitate, am hotărât ca analiza să se realizeze pentru o celulă ce are geometria din figura 3.1.a.

4. REZULTATE NUMERICE

Fluxul magnetic Φ corespunzător unei inducții magnetice uniforme (0.5 T și 1 T) este impus după direcția normală a domeniului (axa z). Analiza se realizează folosind metoda elementelor finite, pentru un interval de frecvențe între 50Hz și 10kHz.

S-a studiat modul în care valorile pierderilor clasice se modifică cu creșterea frecvenței și a dimensiunii eșantionului. Astfel s-au considerat două eșantioane, unul cu o secțiune de 5x5 mm² și unul cu secțiunea de 20x10 mm².

În tabelul 1 și 2 sunt prezentate valorile obținute pentru o inducție de 0.5 T.

Tabelul 1. Valorile pierderilor pentru un eșantion cu secțiunea de 5x5 mm²

Frecvența [Hz]	Pierderile [mJ/kg]
50	0,126
200	0,507
1000	2,706
5000	12,68
1000	25,38

Tabelul 2. Valorile pierderilor pentru un eșantion cu secțiunea de 20x10 mm²

Frecvența [Hz]	Pierderile [mJ/kg]
50	0,144
200	0,577
1000	2,88
5000	14,58
1000	30,008

În tabelul 3 sunt prezentate valorile obținute pentru o inducție de 1T.

Tabelul 3. Valorile pierderilor pentru un eșantion cu secțiunea de 5x5 mm²

Frecvența [Hz]	Pierderile [mJ/kg]
50	0,507
200	2,028
1000	10,143
5000	50,732
1000	101,566

Se observă că o dată cu creșterea dimensiunii eșantionului pierderile cresc. La fel și dacă inducția magnetică se dublează. De exemplu la o dublare a inducției pierderile cresc de aproximativ 4 ori.

Analizând rezultatele s-a concluzionat că pentru un eșantion de dimensiuni scăzute pierderile sunt numai la nivel de incluziune, curentul macroscopic datorat contactelor este foarte mic și poate să nu fie luat în considerare. Dar pentru eșantioane de dimensiuni mai ridicate este foarte important să se țină cont și de acesta deoarece pierderile cresc semnificativ - circulația curentilor turbionari, care, pentru secțiuni mici, este în principal locală, tinde spre o distribuție la nivel global.

O problemă ce poate apărea este legată de faptul că în analiză s-a considerat un model omogen. Primul pas a fost identificarea modalității în care se pot modela contactele (adică care sunt valorile lungimii contactului și a conductivității acestuia) deoarece în realitate se poate întâmpla ca să nu existe contacte între toate celulele, dimensiunea contactului poate fi mai mică sau mai mare etc. De asemenea pot să apară zone în care incluziunile sunt aglomerate (apar clusteri).

Pentru a realiza acest model s-a pornit de la imaginea obținută cu micrograful într-o zonă a materialului compozit. Dacă imaginea este realizată în altă zonă a materialului, se poate întâmpla ca valorile parametrilor să varieze, ceea ce poate duce la modificarea valorilor pierderilor.

5. CONCLUZII

Datorită structurii complexe ale materialelor compozite o primă problemă care a trebuit să fie rezolvată a fost descoperirea unor metode de analiză a materialelor compozite prin care să se afle ce fel de proprietăți au aceste materiale.

De-a lungul timpului au apărut mai multe metode de analiză a materialelor compozite, una dintre acestea este folosirea de ipoteze simplificatoare. În anumite cazuri în schimb este nevoie de anumite ipoteze suplimentare. De exemplu, cum se pot analiza materiale care au proprietăți diferite în celule

sau materiale care au clusteri multipli în compoziție.

Din analiza efectuată s-a constatat faptul că materialele compozite sunt influențate de frecvența la care sunt supuse.

Pierderile cresc de asemenea cu creșterea dimensiunii: cu cât dimensiunea este mai mare circulația curenților turbionari tinde spre o distribuție la nivel global.

Materialele compozite au proprietăți superioare materialelor obișnuite, dar rămânând compatibile cu acestea, asta însemnând că pot înlocui cu ușurință pe cele tradiționale, dar în analiza trebuie să se țină cont de mai mulți parametri.

În ultimii 50 de ani, mai ales în domeniul naval, se caută să mărească utilizarea de materiale compozite.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Andrew T. Grenier, *Fire Characteristics of Cored Composite Materials for Marine Use*, 1996.
- [2] Basem E.Tawfik, Heba Leheta, Ahmed Elhewy, Tarek Elsayed, *Weight reduction and strengthening of marine hatch covers by using composite materials*, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Volume 9, Issue 2, March 2017, Pages 185-198.
- [3] *Marine composites*, Second edition, Eric Greene Associates, 1999.
- [4] Silke Behrens, *Magnetic nanocomposites*, Current Opinion in Biotechnology, vol. 39, 2016, pp. 89-96 .
- [5] Shiwang Cheng et al., *Big Effect of Small Nanoparticles: A Shift in Paradigm for Polymer Nanocomposites*, ACS Nano, 2017, 11 (1), pp 752–759.
- [6] J.P. Bastos, N. Sadowski, *Magnetic Materials and 3D Finite Element Modeling*, CRC Press, 2014.

Despre autor

Sef lucrări dr. Ing. **Adelina BORDIANU**
Universitatea Politehnica București

Absolventă a Universității Politehnica București din 2009 și cadru didactic la această instituție.. Este doctor în Inginerie Electrică, titlu obținut la Universitatea Politehnica București în anul 2012. A efectuat stagii de pregătire pentru redactarea tezei în Italia și Franța. Este master în Magnetism Tehnic și Aplicat. A scris 42 articole – 13 în volumele unor manifestări științifice internaționale recunoscute și indexate, 13 la reviste ISI și BDI, 4 în reviste recunoscute internațional și CNCSIS, 10 în volumele unor manifestări științifice internaționale și 2 la conferințe naționale. A scris o carte de specialitate și este membru în 3 proiecte de cercetare. Este membru IEEE