

# APLICAȚII ALE MAGNEȚILOR PERMANENȚI ÎN INDUSTRIA AERONAUTICĂ. ALEGERE. STABILITATE

Dr. ing. Dragoș POPA<sup>1</sup>, Dr. ing. Mirela Maria CODESCU<sup>2</sup>, Ing. Dragoș Andrei POPA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> AGIR-SETEC, București, România,

<sup>2</sup>Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie  
Electrică ICPE-CA, București, România,

<sup>3</sup>Universitatea „Politehnica“, București România

**REZUMAT.** Lucrarea va descrie aspecte privind alegerea, utilizarea și comportamentul magneților permanenți în industria aeronautică. Se va face o scurtă prezentare a instrumentelor și sistemelor electrice de putere utilizate la bordul aeronavelor, vor fi evaluați factorii de perturbație ai acestora precum și măsuri pentru eliminarea sau diminuarea efectelor negative. Vom trata stabilitatea termică pentru a expune comportamentul în timp a magneților permanenți la diferite temperaturi, pentru a anticipa funcționalitatea sistemelor în diferite condiții de mediu.

**Cuvinte cheie:** magnet permanent, stabilitate termică, sisteme electrice aeronautice, instrumente.

**ABSTRACT.** The paper will describe aspects related to the choice, use and behaviour of permanent magnets in the aeronautical industry. A brief presentation of power tools and power systems used on board aircraft will be made, their disturbing factors as well as measures to eliminate or mitigate adverse effects will be assessed. We will treat thermal stability to expose the behaviour of permanent magnets at different temperatures in time to predict the functionality of systems under different environmental conditions.

**Keywords:** permanent magnet, thermal stability, aeronautical electrical systems, instruments.

## 1. INTRODUCERE

Alegerea unui magnet permanent pentru a fi utilizat în industria aeronautică trebuie să țină cont de mediul în care va fi folosit, factor important în acest sens este temperatura de lucru. Ca urmare, cercetările și experimentările întreprinse în ICPE – CA, în domeniul magnetilor NdFeB, pentru îmbunătățirea stabilității cu temperatura a caracteristicilor magnetice au evidențiat faptul că, prin selectarea și controlul corespunzător al nivelului substituției Fe cu Co și Al, precum și al adaosului de Dy, se pot obține magneți cu câmp coercitiv ridicat,  $H_c = 1280$  kA/m, ce asigură magnetilor energii specifice mari,  $(BH)_{max} = 260$  kJ/m<sup>3</sup>, precum și stabilitate ridicată termică îmbunătățită, respectiv coeficient reversibil de temperatură al inducției  $\alpha(B) = -0,10$  (%/°C). Microstructura magnetilor din sistemul ternar Nd-Fe-B este constituită din graunți de fază magnetică dură, Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B (asa-numită fază  $\Phi$ ), tetragonală, înconjurată la limita de graunți de o fază bogată în Nd. Faza bogată în Nd asigură densificarea în timpul sinterizării în fază lichidă și totodată decuplează magnetic graunții fazei  $\Phi$ . Prezența cobaltului determină creșterea temperaturii de lucru, prin

aparitia fazei Nd<sub>2</sub>(Fe,Co)<sub>14</sub>B care are un punct Curie mai ridicat decât al fazei magnetic dure Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B. Alumiul compensează scăderea câmpului coercitiv datorată prezentei Co, printr-o mai bună udabilitate a graunților fazei Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B de către faza bogată în neodim. Adăosul de dysprosiu contribuie, de asemenea, la creșterea câmpului coercitiv prin creșterea câmpului de anizotropie al fazei  $\Phi$ . Aceste contribuții combinate au permis obținerea de magneți în sistemul (Nd,Dy)(Fe,Co,A)B cu stabilitate termică ridicată și temperaturi de utilizare mari, în jurul a 150 °C.

## 2. EFECTUL TEMPERATURII ASUPRA MAGNETILOR PERMANENȚI CU PĂMÂNTURI RARE

La temperaturi ridicate, caracteristicile magnetilor permanenți se modifică, temperatura având ca efect pierderi ale fluxului magnetic. În general, se pot distinge următoarele tipuri de pierderi:

- *pierderi reversibile ale inducției*, datorate dependenței de temperatură a magnetizării (M) la saturare (în general, prin analogie se calculează

coeficientul reversibil al inducției remanente dependent de magnetizarea spontană,  $M_S$ ). Aceste pierderi sunt anulate prin revenirea la temperatura inițială, pierderile putând fi exprimate prin coeficientul de variație cu temperatura al inducției remanente, respectiv al magnetizării. Pierderile reversibile trebuie luate totdeauna în considerare și trebuie făcute calcule în vederea utilizării magnetilor la temperaturi mai mari decât cea ambiantă.

- **pierderi ireversibile** sunt determinate de dependența de temperatura a câmpului coercitiv intrinsec,  $H_C$ . La temperaturi ridicate, câmpul coercitiv scade și magnetizarea diverselor domenii poate fi inversată, determinând pierderi ireversibile ale inducției magnetice. Aceste pierderi există și după revenirea la temperatura inițială, ele putând fi eliminate printr-o nouă magnetizare. Pierderile ireversibile depind de valoarea câmpului coercitiv, de dependența sa de temperatura, precum și de punctul de lucru al magnetului ( $B/\mu_0 H$ ). Variațiile ireversibile pot fi prevenite printr-un tratament termic de stabilizare.

- **pierderi iremediabile** ale inducției sunt datorate deteriorării suprafeței magnetului, oxidării, modificării structurale.

Coeficientul reversibil al magnetizării în raport cu temperatura,  $\alpha_M$ , poate fi măsurat și calculat funcție de câmpul magnetic aplicat pentru magnetii perfect anizotropi tip  $Nd_2Fe_{14}B$ ,  $Sm_2Co_{17}$  și  $SmCo_5$ . Coeficientul reversibil al temperaturii  $\alpha_M$ , caracterizează stabilitatea la temperatura a magnetizării magnetilor permanenți și, în general, este definită prin magnetizarea remanentă sau magnetizarea de saturatie.

În practică este definit conform relației:

$$\alpha_M = \frac{M(T) - M(20^\circ C)}{M(20^\circ C) \cdot (T - 20^\circ C)} \cdot 10^6 \quad (\text{ppm}/^\circ C)$$

În practică, se pot reduce pierderile ireversibile într-un circuit cu magneti permanenți prin alegerea unui material magnetic cu o curbă de demagnetizare  $B(H)$  dreaptă și un câmp coercitiv mare la temperatura ambiantă. Stabilitatea este realizată dacă punctul de lucru al circuitului se află, la temperatura de utilizare, deasupra câmpului critic. Magnetii tip  $SmCo_5$  și  $Sm_2Co_{17}$  posedă o bună stabilitate termică până la aproximativ  $250^\circ C$ , respectiv  $300 - 350^\circ C$ .

Performanțele magnetilor  $NdFeB$  la temperaturi ridicate sunt limitate datorită temperaturii Curie scăzute,  $T_C \sim 310^\circ C$ , efectul fiind acela al scăderii proprietăților magnetice cu temperatura, în special a câmpului coercitiv intrinsec  $H_C$ . Studiile întreprinse pentru a vedea efectul diverselor adaosuri asupra proprietăților intrinseci ale compusului  $Nd_2Fe_{14}B$  au

gasit soluții practice care permit utilizarea magnetilor  $NdFeB$  până la aproximativ  $200^\circ C$ .

În multe aplicații sunt necesare temperaturi extreme, ridicate sau coborate, de aceea este necesar ca proiectanții să cunoască pierderile ireversibile ale fluxului după o primă încălzire sau răcire și, de asemenea, pierderile ulterioare la temperatura ridicată sau coborâtă. În continuare este prezentat un studiu al dependentei de temperatura și de perioada de expunere la temperatura ridicată pentru fluxul magnetic (circuit deschis), figura 3, precum și al curbelor de demagnetizare, figura 4.

În practică, pierderile ireversibile de 5 % sunt acceptabile, dimensiunile magnetilor și temperatura de funcționare trebuind să fie limitate. În orice circuit magnetic trebuie luat în considerare efectul global al expunerii la temperaturi mai mari de  $100^\circ C$  asupra câmpului coercitiv al inducției,  $H_C$ , asupra câmpului coercitiv intrinsec,  $H_C$ , și asupra inducției remanente,  $B_r$ . Se poate spune, de asemenea, că pierderile ireversibile la temperatura ridicată sunt invers proporționale cu valoarea câmpului coercitiv al inducției,  $H_C$ , pentru fiecare tip de material.

Din figura 3 se poate observa relația directă dintre pierderile de flux în timp ( $> 1$  h), funcție de temperatura de expunere și permeanță. Pierderile sunt dependente de valorile  $H_C$  și  $H_C$ , astfel încât magnetii realizați din același tip de material, dar cu caracteristici magnetice mai bune vor avea pierderi mai reduse.

În figura 1 sunt prezentate curbele de demagnetizare înainte și după expunerea la temperatura ridicată funcție de tipul magnetului și geometria acestuia. Combinând efectul datorat pierderilor ireversibile cu cel al expunerii la temperatura ridicată, se poate spune că în condiții de temperatură  $< 100^\circ C$  sunt acceptabile toate tipurile de materiale prezentate. Se observă de asemenea că valorile  $H_C B$  rămân aproape constante (modificări  $< 10\%$ ), chiar după expuneri de 5000 ore forma curbei de demagnetizare rămâne aproape neschimbată.

Din cele prezentate se constată că magnetii cu punct de permeanță ridicat creează pierderi ireversibile acceptabile,  $< 3\%$ , după prima oră de expunere, pentru temperaturi situate în intervalul  $75 - 125^\circ C$ . Odată cu scăderea permeanței și creșterea temperaturii, se constată pierderi ridicate, acest lucru putându-se observa și în cazul magnetilor ce contin Dy. Adăosuri de Co și Dy determină scăderi ale pierderilor inițiale  $< 0,5\%$  la aceeași temperatură.

Se poate concluziona că magnetii  $NdFeB$  cu sau fără Dy au aproximativ aceeași comportare la temperatura ridicată, adaosul de Co determinând o scădere a pierderilor.

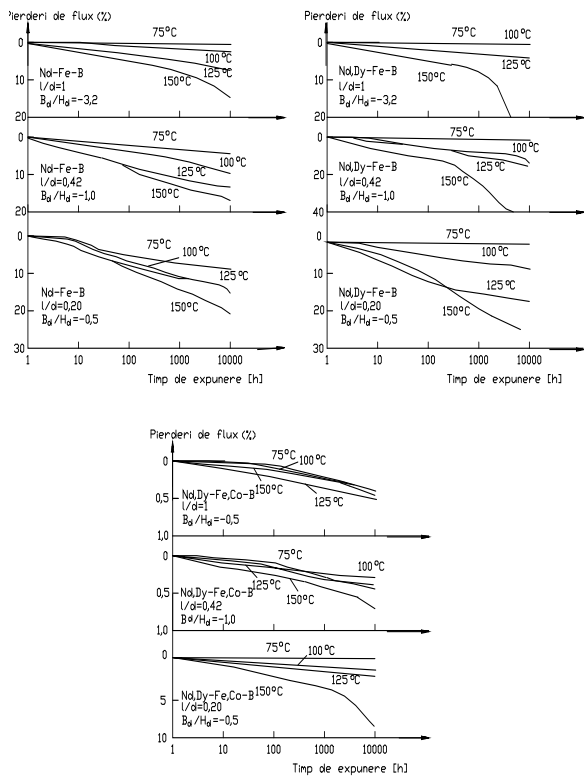


Fig. 1. Stabilitatea termica pentru perioade > 5000 h, în circuit deschis, ale fluxului functie de temperatura de expunere 75 - 150°C si permeanta.

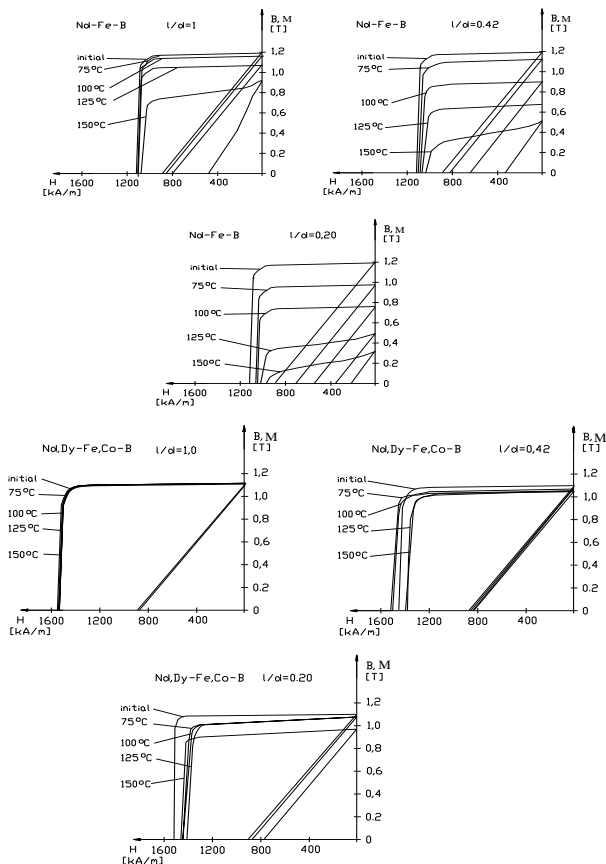


Fig. 2. Modificarea curbelor de demagnetizare dupa un timp >5000 h, functie de compozitia materialului, temperatura, raportul  $l/d$  ce da permeanta circuitului deschis  $B/H = -3,2; -1,0; -0,5$ .

### 3. COMPORTAREA MAGNETILOR PERMANENTI CU PAMÂNTURI RARE LA SOLICITARI MAGNETICE

Magnetii permanenti sunt deseori solicitati sa lucreze în vecinatatea unor câmpuri magnetice externe, iar aceste câmpuri influenteaza câmpul creat de magnet în întrefier. In realizarea circuitelor magnetice cu magneti permanenti trebuie tinut cont de acest lucru, si trebuie minimizat efectul câmpului demagnetizant.

Magnetii pot fi folositi în dispozitive care functioneaza în conditii statice sau dinamice. In cel de-al doilea caz, în timpul functionarii se poate modifica câmpul propriu de demagnetizare sau asupra acestuia pot actiona câmpuri externe variabile.

Prin introducerea în circuit a unui întrefier (cu aer) se creaza în magnet un câmp demagnetizant,  $H_d$ , opus magnetizarii initiale a probei. Câmpul de demagnetizare este proportional cu magnetizatia:

$$H_d = -N \cdot \mu_o \cdot M = -N \left( \frac{B}{\mu_o} - H \right)$$

Factorul de demagnetizare  $N$  depinde de forma magnetului si are valori cuprinse între 0 si 1. Relatia:

$$B = \mu_o(H - 1/NH_d)$$

reprezinta linia de permeanta în circuit deschis. Intersectia acesteia cu curba de demagnetizare determina punctul de lucru ( $B_d, H_d$ ) al circuitului deschis al magnetului. Pe masura ce magnetul este mai scurt ( $l/d$  mai mic), creste câmpul de demagnetizare si scade valoarea inductiei. Astfel, punctul de lucru în circuit deschis se deplaseaza pe curba de demagnetizare, de la o valoare apropiata de  $B_r$ , pentru magneti lungi, la o valoare mai mica,  $B$ . Pentru a obtine informatii asupra proprietatilor magnetice ale unui magnet, este suficienta cunoasterea inductiei  $B_d$ , câmpul  $H_d$  putându-se calcula cu relatia:

$$H_d = \frac{B_d}{\mu_o(1 - N)}$$

Valorile pentru factorul de demagnetizare  $N$  se pot calcula cu relatiile:

$$N = \frac{1}{m^2 - 1} \left[ \frac{m}{\sqrt{m^2 - 1}} \ln(m + \sqrt{m^2 - 1}) - 1 \right]$$

elipsoid alungit

$$N = \frac{1}{2} \left[ \frac{m^2}{(m^2 - 1)^{3/2}} \arcsin \frac{\sqrt{m^2 - 1}}{m} - \frac{1}{m^2 - 1} \right]$$

elipsoid aplatizat

$$m = l/d.$$

Au fost efectuate numeroase calcule pentru determinarea valorilor factorului de demagnetizare  $N$ , valorile acestuia fiind date în nomograme și tabele.

Proiectarea unui circuit consta în determinarea lungimii și ariei magnetului pentru ca acesta să producă în întrefier fluxul dorit. Fluxul total pe care trebuie să-l asigure magnetul este suma dintre fluxul util și pierderile de flux din circuit. Ținând seama de acestea, în proiectare se iau în considerare doi factori de corecție:

$k_1$  - fluxul magnetizat/fluxul în întrefier;

$k_2$  - tensiunea magnetomotoare (fmm) magnet/fmm întrefier.

Deci:

$$\Phi_m = k_1 \cdot \Phi_{\text{int}}$$

$$U_{mm,m} = k_2 \cdot U_{mm,\text{int}}$$

(m - magnet, int - întrefier)

Aceste relații se pot scrie:

$$\Phi_m = B_m \cdot S_m = k_1 \cdot B_{\text{int}} \cdot S_{\text{int}}$$

$$U_{mm,m} = -H_m \cdot l_m = -k_2 \cdot B_{\text{int}} \cdot l_{\text{int}} \cdot \mu_o^{-1}$$

De aici se pot determina lungimea, secțiunea și volumul magnetului:

$$S_m = k_1 \cdot \frac{B_{\text{int}}}{B_m} \cdot S_{\text{int}}$$

$$l_m = -\frac{k_2 \cdot B_{\text{int}} \cdot S_{\text{int}}}{\mu_o \cdot H_m}$$

$$V_m = -\frac{k_1 \cdot k_2 \cdot B_{\text{int}}^2 \cdot V_{\text{int}}}{\mu_o (B_m \cdot H_m)}$$

Pentru un volum dat al magnetului, intensitatea cea mai mare a inducției în întrefier se obține atunci când energia specifică ( $B_m \cdot H_m$ ) este maximă.

Dacă asupra unui magnet permanent acționează un câmp extern echivalent cu câmpul coercitiv, acesta nu va genera în întrefier nici un flux magnetic. Dacă câmpul extern este mai mare decât  $H_C$ , polaritatea câmpului magnetic generat de magnet se va inversa. La îndepărtarea acestui câmp, magnetul va avea polaritatea inițială dacă câmpul aplicat nu a depășit valoarea lui  $\mu H_C$ . La cele mai multe materiale magnetice valorile câmpurilor  $H_C$  și  $\mu H_C$  sunt destul de apropiate, ele diferind magnetii din clasa feritelor dure, aliaje Co - Pt și magneti permanenți cu pamânturi rare.

La magnetii permanenți cu pamânturi rare valoarea câmpului demagnetizant ar trebui să fie foarte mare ( $\gg H_C$ ) pentru ca acesta să influențeze în

vreun fel caracteristicile magnetice ale magnetului permanent. Magnetii permanenți pe baza de pamânturi rare sunt suficient de stabili la câmpuri demagnetizante. Demagnetizarea magnetilor permanenți cu pamânturi rare nu se poate realiza în totalitate numai prin acțiunea unui câmp extern, iar demagnetizarea prin încălzirea la temperaturi ridicate poate conduce la degradarea structurală a magnetului. Pentru demagnetizarea magnetilor permanenți cu pamânturi rare se folosește acțiunea combinată a temperaturii și câmpului extern. S-a evidențiat că este posibilă o demagnetizare termică prin încălzirea magnetului la o temperatură mai mică cu 125°C decât  $T_C$  (550°C la  $\text{SmCo}_5$  și 200°C la  $\text{NdFeB}$ ). Astfel, prin acțiunea concomitentă a temperaturii și a câmpului extern, este posibilă demagnetizarea magnetului la temperaturi mai joase (pentru  $\text{SmCo}_5$  - 450°C, respectiv 125°C pentru  $\text{NdFeB}$ ) și 100 kA/m. Cele mai bune rezultate se evidențiază prin remagnetizări în câmpuri de 1200 kA/m.

#### 4. EFECTUL TENSIUNILOR MECANICE

Magnetii permanenți, pe lângă influența câmpului demagnetizant propriu prezintă pierderi de flux datorate socului mecanic sau vibrațiilor, acestea fiind proporționale cu amplitudinea undelor de soc. Din studiile efectuate până în prezent s-a constatat că este foarte dificil să se găsească o corelație între comportarea diferitelor materiale la acțiunea sollicitărilor mecanice datorită variației condițiilor experimentale și a diferentelor în producerea undelor de soc.

Din punct de vedere fizic, mecanismul pierderilor ireversibile datorate sollicitărilor mecanice este asemănător cu acela al pierderilor datorate variației termice.

Toate experimentele efectuate au pus în evidență faptul că propagarea undelor de soc în magnetii permanenți conduce la modificări mici ale magnetizării, ce descresc rapid spre o valoare limită odată cu creșterea numărului de cicluri efectuate. S-a constatat de asemenea că pierderile de flux sunt mult mai mici în materialele magnetice a căror forță coercitivă este mare. Pentru magneti cu pamânturi rare se ține cont că pierderile datorate sollicitărilor mecanice sunt invers proporționale cu valoarea câmpului coercitiv și astfel putem spune că magnetii cu pamânturi rare au o foarte bună comportare la acest tip de sollicitări din punct de vedere magnetic. Pentru magnetii permanenți pe baza de pamânturi rare nu s-au efectuat încercări la socuri mecanice deoarece se cunoaște faptul că acești magneti sunt foarte fragili și casanți datorită microstructurii lor sub formă de graunți.

## 5. INFLUENȚA ALTOR FACTORI ASUPRA STABILITĂȚII MAGNETILOR PERMANENȚI CU PĂMÂNTURI RARE

### 5.1. Stabilitatea structurală

În modificarea structurală a magnetilor permanenți cu pământuri rare pot fi distinse trei procese:

- îmbatrânirea prin oxidare selectivă;
- îmbatrânirea suprafeței ce conduce la o nucleație mai ușoară a stratului de suprafață;
- îmbatrânirea structurală interioară.

Pentru analiza procesului de oxidare selectivă a fost studiat stratul de suprafață. Elementele pământuri rare sunt foarte reactive, oxigenul difuzează în material, determinând o oxidare selectivă a stratului de suprafață. Valorile mai scăzute ale parametrilor  $k(T)$  pentru magnetii NdFeB semnifică faptul că aceștia au o stabilitate mai bună la oxidare în aer uscat și că aceștia ar putea fi utilizați în condiții de mediu uscat fără a fi protejați.

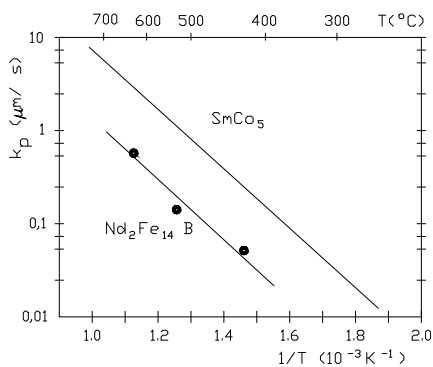


Fig. 3. Curba de oxidare Arrhenius  $k(T)$  pentru magneti NdFeB și SmCo<sub>5</sub>.

Acest comportament se poate schimba dacă magnetii sunt expuși în medii agresive. În asemenea condiții pot fi activate reacții electrochimice locale create la jonctiunea dintre graunții matricii magnetice și cea a fazei intergranulare. Această reacție este puternic influențată de temperatura de utilizare și umiditatea mediului. Pentru a evita acest lucru, în general, magnetii sunt protejați prin acoperiri de protecție a suprafeței.

În figura 4 este prezentat schematic efectul oxidării asupra curbei de demagnetizare.

Straturile de suprafață ale magnetilor au o coercivitate mai mică decât magnetul inițial, ca urmare magnetizația poate fi inversată de câmpul de demagnetizare al magnetului. Aceasta se poate evidenția în special la majoritatea magnetilor montați într-un circuit deschis. Modificarea bruscă este localizată în primul cadran și contribuie în întregime la îmbatrânire.

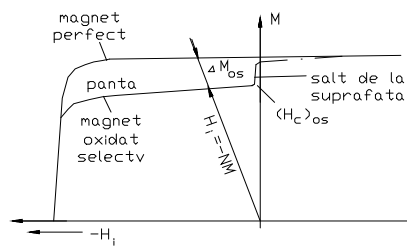


Fig. 4. Reprezentarea schematică a efectului oxidării selective.

### 5.1.2. Coroziunea magnetilor permanenți cu pământuri rare

Coroziunea magnetilor NdFeB poate determina scăderea proprietăților lor magnetice, cât și deteriorarea circuitelor în care sunt introduși datorită pulberii metalice fine ce se formează la suprafața magnetului datorită oxidării. O creștere a rezistenței la coroziune poate fi obținută prin diverse acoperiri, placări și tratamente de suprafață. Pe lângă acoperire trebuie luată în seamă și rezistența la coroziune a magnetilor neacoperiți care servesc ca substrat la acoperiri. Coroziunea care începe la suprafață se accelerează exponențial în timp, în funcție de geometria magnetului. Adăosul de Al, Dy, Co, Zr este însoțit de modificarea proprietăților magnetice și determină de obicei o scădere a inducției remanente  $B_r$  și a energiei specifice maxime  $(BH)_{max}$ . Cu toate că rezistența la coroziune poate fi crescută cum a fost menționat mai sus, totuși magnetii sunt afectați de alți factori, cum ar fi conținutul de oxigen, carbon, azot. Se poate spune că se obține un minim al coroziunii când conținutul de oxigen este cuprins între 0,6 - 1,2 % oxigen, 0,06 - 0,14 % carbon și 0,05 - 0,10 % azot.

### 5.1.3. Acoperiri de protecție

Pentru a evita efectul corodării, se recomandă în general o acoperire ca protecție a suprafeței magnetilor, pentru care precizăm câteva metode de realizare: acoperirea cu rasină epoxi prin electroforeză, acoperirea prin galvanizare, acoperirea chimică, încapsularea, depunerea fizică de vapori, depunerea chimică de vapori, pulverizarea.

Aliajele NdFeB sunt foarte susceptibile atât la atacul chimic cât și la cel coroziv al mediului ambiant, rezultând corodarea aliajului și deteriorarea proprietăților fizice și magnetice. Rezultate foarte bune pentru prevenirea coroziunii de către mediul înconjurător o au acoperirile prin depunere ionică de vapori de aluminiu, respectiv acoperirea cu rasină prin electroforeză.

### 5.2. Efectul vâscozității și al relaxării

Variația în timp a magnetizației de saturatie a magnetilor permanenți este în principal datorată

procesului de activare termica. Într-un cristalit, un volum  $v$  care nu este magnetizat la saturatie poate fi creat în anumite conditii de câmp și temperatura un volum denumit și volum de activare. În cazul aplicării unui câmp magnetic slab volumul  $v$  creat dispare. Dacă câmpul este mai puternic decât  $H_c$ ,  $v$  se extinde la întregul volum. Dacă unui feromagnet magnetizat la saturatie  $i$  se aplica un câmp magnetic invers de intensitate ridicata pe directia de magnetizare, se constata ca magnetizarea variaza aproximativ proportional cu logaritmul timpului ( $\ln t$ ), variatia poate fi exprimata prin expresia:

$$M(t) = M(0) - S_0 \ln t$$

unde  $S_0$  este vâscozitatea magnetica.

Din relatia de mai sus se poate spune ca câmpul de fluctuatie magnetica nu depinde de câmpul aplicat, totusi este incorect sa spunem ca câmpul de fluctuatie este independent de câmpul aplicat. Susceptivitatea ireversibila  $\chi^{ir}$  este modificarea diferentia la în magnetizare ireversibila odata cu câmpul aplicat datorita relaxării momentelor în lungul barierelor de energie. Modificarea ireversibila a magnetizatiei este proportionala cu modificarea momentului remanent masurat dupa ce câmpul aplicat a fost adus la zero. Coeficientul de fluctuatie,  $H_f$  - notat și cu  $S_v$ , este determinat de coeficientul vâscozitatii prin ecuatia:

$$H_f = \frac{S}{\chi^{ir}}$$

unde  $\chi^{ir}$  este susceptivitatea ireversibila.

Studiul vâscozitatii conduce în general la o mai buna înțelegere a mecanismului coercivitatiei.

### 5.3. Efectul radiatiilor cu neutroni asupra proprietatilor magnetice ale magnetilor permanenti cu pamânturi rare

Studiul comportarii la radiatii a magnetilor permanenti a aparut datorita posibilitatii utilizarii acestora în diverse aplicatii, inclusiv în acceleratoare de particole. Prima utilizare a magnetilor permanenti în acceleratoare de particole a fost facuta în anii '60. Iradierea nu are efecte negative asupra proprietatilor magnetilor permanenti pe baza de pamânturi rare, dupa iradiere acestia pastrându-si radioactivitatea doar pentru scurt timp.

## 6. CONCLUZII

1. S-a prezentat un studiu privind influenta diferitilor factori asupra magnetilor permanenti pe baza de pamânturi rare (temperatura, câmpuri demagnetizante, solicitari mecanice, coroziune, radiatii, efectul relaxării

și vâscozitatii), precum și unele metode pentru preîntâmpinarea efectelor negative ale acestora.

2. În cercetarile ce se fac în vederea realizării magnetilor permanenti, se urmareste atât cresterea performantelor magnetice ale acestora (inductie remanenta, câmp coercitiv, energie specifica maxima), cât și a temperaturii maxime de utilizare și a rezistentei fata de diversi agenti corozivi.

3. Temperatura maxima de utilizare pentru magnetii tip NdFeB, 100 - 180°C. Cresterea temperaturii maxime de functionare, practic marirea stabilitatii la temperatura se realizeaza în general prin înlocuirea partiala a elementelor compusului de baza sau doparea acestuia cu alte elemente de tranzitie.

4. Pentru magnetii NdFeB stabilitatea ridicata la temperatura se obtine prin adaugarea a diferite procente masice de DyAl<sub>2</sub>, DyFeAl<sub>2</sub>, Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CoAl, V. Adaosul elementelor de tranzitie Al, V, precum și a Dy au rol deosebit în cresterea anizotropiei magneti-cristaline, influentând favorabil procesele de inversare a magnetizatiei în vederea obtinerii unor valori ridicate ale câmpului coercitiv intrinsec și implicit o stabilitate mai ridicata la temperatura.

5. Rezistenta foarte buna a acestor magneti la câmpuri demagnetizante, datorita valorii ridicate a câmpului coercitiv și a formei dreptunghiulare pentru curbele de demagnetizare. Acest lucru îi recomanda a fi utilizati în circuite cu câmpuri demagnetizante de valori ridicate.

6. Comportarea magnetilor la solicitari mecanice, din punct de vedere magnetic este foarte buna; probleme de ordin mecanic se ridica doar din cauza fragilitatii acestora, datorita structurii acestia fiind foarte casanti.

7. Magnetii pe baza de pamânturi rare sunt foarte putin rezistenti la agenti corozivi, de aceea pentru realizarea unor protectii anticorozive cât mai bune s-au efectuat și se efectueaza în continuare numeroase studii, domeniile de utilizare a acestor magneti în industria aeronautica fiind de obicei în incinte inchise ermetic sau climatizate.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] I. Aron, V. Paun, Echipamentul electric al aeronavelor, Ed. Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1980.
- [2] I. Aron, Aparate de bord pentru aeronave, Editura tehnica, Bucuresti, 1984
- [3] N. Vasile, Fortele parasite in motoarele sincrone cu magneti permanenti, Ed. ICPE, Bucuresti, 1997.
- [4] W. Kappel, M. M. Codescu, D. Popa, Proc. 9-th ICSI Conf. „Progress in Cryogenics and Isotopes Separation”, Ed. Conphys, Rm.Valcea, Romania, 2003, p. 105
- [5] W. Kappel, M. M. Codescu, D. Popa, Proc. 3-rd Nat. „New research trends in material science” – ARM – 3, Constanta, Ed. Printech, Bucuresti, Romania, 2003, p. 166
- [6] H. Gavrilă, s.a., Magnetism tehnic și aplicat, Ed. Academiei Romane, 2000.
- [7] David Meeker, Finite Element Method in Magnetism, Users's Manual, 2001