

A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională, "Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti", SEBEŞ, 2011

# ANALIZA CÂMPURILOR MAGNETICE ÎN ETANȘĂRI ROTITOARE CU NANOFLUIDE MAGNETICE

Tünde BORBÁTH, Valeriu PANAITESCU, Iosif POTENCZ, István BORBÁTH, Ladislau VÉKÁS

# MAGNETIC FIELD ANALYSIS IN MAGNETIC NANOFLUID ROTATING SEALS

Design concepts and some constructive details of the magneto fluidic rotating seal systems are presented. Efficient computing techniques were developed to estimate the magnetic field distribution in order to provide easier design and to allow further investigation concerning the factors influencing the sealing capacity.

Keyword: magnetic sealing nanofluide, numerical simulation, magnetic field distribution, sealing capacity

Cuvinte cheie: etanșare cu nanofluide magnetice, simulare numerică, distribuția câmpului magnetic, capacitate de etanșare

# 1. Introducere

Nanofluidele magnetice sunt o categorie de fluide inteligente. Proprietățile magnetice și de curgere unice ale acestor fluide fac posibilă utilizarea lor în diverse echipamente de vid înalt, în difuzoare, în hard-discuri, în amortizoare etc. Etanşările rotitoare cu nanofluide magnetice cu o construcție relativ simplă și cu performanțe deosebite sunt utilizate în foarte multe echipamente high-tech ale zilelor noastre, inclusiv în calculatoare personale. Este un produs cu un domeniu larg de aplicabilitate, dar totuși în general limitat la etanşarea gazelor și în mod indirect, a vaporilor si lichidelor presurizate. O proiectare pretențioasă ale acestor etanşări face posibilă soluționarea problemelor specifice pentru medii periculoase, pentru domenii largi de presiune și vid sau pentru condiții radioactive intense.

Dezvoltarea tehnologiei de etanşare cu nanofluide magnetice este puternic legată de proprietățile magnetice, termo-fizice și de hidrodinamica nanofluidelor magnetice.

Ele sunt utilizate în echipamente rotitoare, permiţând mişcarea de rotaţie în timp ce se păstrează etanşarea fără scăpări datorită formării unei bariere fizice în formă de inel de nanofluid magnetic, acesta fiind ținut în loc de un magnet permanent.

Conform [1, 2]:

$$\Delta p = \mu_0 \int_0 H_{\text{max}} M dH - \mu_0 \int_0 H_{\text{min}} M dH =$$
  
=  $\mu_0 M_s (H_{\text{max}} - H_{\text{min}}) = M_s (B_{\text{max}} - B_{\text{min}}),$  (1)

capacitatea de etanşare  $\Delta p$  al unui etaj de etanşare este direct proporțional cu magnetizația de saturație  $M_s$ . Această ecuație sublinează faptul că la proiectarea circuitului magnetic trebuie ținut cont de obținerea diferențelor cât mai mari între inducția magnetică maximă  $(B_{max})$  între dinții pieselor polare și arbore precum și inducția magnetică minimă  $(B_{min})$  măsurată în dreptul suprafeței lichidelor magnetice.

Proiectarea circuitului magnetic pentru etanşările cu nanofluide magnetice este legată de o mulțime de factori, cum ar fi materialele selectate, geometriile, diferența de presiune, temperatură, viteza de rotație, mediul înconjurator și joacă un rol critic în obținerea soluțiilor cost-eficiențe odată cu îndeplinirea tuturor cerințelor impuse pentru fiecare aplicație.

Pe parcursul lucrării a fost studiată o etanşare cu nanofluid magnetic având piesele polare dințate, conținând 2x16 dinți cu forme dreptunghiulare.

# 2. Simularea numerică

Analiza circuitului magnetic ale etanşărilor cu nanofluide magnetice se face utilizând metoda elementelor finite. Această metodă se află printre cele mai populare metode numerice care este capabilă să furnizeze soluții pentru probleme complexe din majoritatea domeniilor inginereşti, inclusiv pentru distribuția câmpului magnetic. Flexibilitatea și adaptabilitatea acestei metode permite folosirea ei în rezolvarea problemelor legate de analiza câmpurilor magnetice pentru domenii cu combinații din diferite materiale [3]. Pe baza calculelor câmpurilor magnetice ale programului ANSYS Emag stau ecuațiile lui Maxwell. Ecuațiile au drept necunoscute mărimile de stare locală B, H sau potențiale. Se va presupune că sunt satisfăcute ecuațiile fundamentale ale regimului magnetic staționar:

- Relația de compatibilitate:  $div \mathbf{B} = 0$ , (2)
- Relația de echilibru: rot**H = J**,
- Relația constitutivă  $\mathbf{B} = f(\mathbf{H})$  [4]. (4)

# 2.1. Preprocesare

Pentru analiza câmpului magnetic staționar generat de magnet permanent este indicat elaborarea unor analize bidimensionale. Principalul necunoscut al elementelor bidimensionale este potențialul magnetic vector, fiecare nod al elementelor având un singur grad de libertate, un potențial magnetic vector în direcția Z: AZ. Soluțiile câmpurilor magnetice sunt derivate din potențialul magnetic vector prin diferențierea soluțiilor. Pentru a obține o discretizare cât mai fină ale componentelor etanşării folosim elementul patrulateral 2-D: Plane53 cu 8 noduri. Utilizarea elementului liniar bidimensional INFIN9 ne permite modelarea efectelor aşa-numitului "câmp îndepărtat" în analizele magnetice, fără specificarea condițiilor de limită în afara modelului [3].

Geometria și structura sistemului fizic studiată:



Fig. 1 Modelul etanşării cu nanofluid magnetic:
1 – Magnet permanent; 2 – Piese polare; 3 – Arbore;
4 – Nanofluid magnetic (ținut într-o formă de inel între piesele polare și arbore magnetic permeabil); 5 – Mediul înconjurător

(3)

Sistemul de unități de măsură este sistemul internațional de unități SI.

Ambele piese polare (având dimensiunea de 57 x 34 x 15,5 mm) conțin 16 dinți cu dimenisiunile date de mai jos (vezi figura 2):

- Lățimea dintelui: b = 0,3 mm
- Lățimea canalului: c = 0,7 mm
- Adâncimea canalului: h = 0,8 mm
- Întrefier: d = 0,07 mm



Primul și ultimul dinte au lățimea de 0,4 mm. Magnetul permanent (având dimensiunea de 56 x 37 x 16 mm) este situat la o distanță de 3,14mm de la arbore.

Caracteristici ale materialelor:

- Pentru a reduce disiparea fluxurilor magnetice se alege pentru lagărele şi carcasă, materiale nemagnetice, aşadar se poate considera că au permeabilitate magnetică relativă egală cu 1.
- Materialul magnetului permanent: AlNiCo24 având forță coercitivă egală cu 35 kA/m. Curba de demagnetizare se regăseşte în [5].
- Materialul pieselor polare: oțel inoxidabil cu carbon redus de tip OLC15. Curba de demagnetizare se regăsește în [5].
- Materialul arborelui: oțel inoxidabil cu o rezistență mecanică mare: 13CN30. Curba de demagnetizare se regăseşte în [5].
- Nanofluid magnetic având o magnetizație de saturație egală cu 600G. În cazul lui au fost adoptate câteva ipoteze simplificatoare: în mod normal intensitatea câmpului magnetic în etanşari cu nanofluide magnetice este înaltă ( > 400kA/m), nanofluidul magnetic se saturează iar permeabilitatea lor magnetică poate fi considerată egală cu unu, aşadar prezența nanofluidelor magnetice nu influențează câmpul magnetic creat de magnet permanent şi poate fi neglijat [6].
- Mediul înconjurător: aer: μ<sub>rel\_aer</sub> = 1. 2.2. Solutionare

Metoda de soluționare este cea directă bazată pe eliminarea directă a ecuațiilor, recomandată pentru soluționarea problemelor legate de analiza statică bidimensională a distribuției câmpurilor magnetice.

### 2.3. Postprocesare





Fig. 3 Liniile câmpului magnetic în etanșare cu nanofluid magnetic

Fig. 4 Densitatea câmpului magnetic în zonă de întrefier la dinte nr.8 (la mijlocul piesei polare)

Liniile câmpului magnetic sunt prezentate în figura 3.



Fig. 5 Graficul densității câmpului magnetic în zonă de întrefier la dinte nr. 8 (la mijlocul piesei polare)

Distribuția câmpului magnetic în zona de întrefier la mijlocul piesei polare este prezentată în figurile 4 și 5. Valoarea maximă a densității de flux magnetic se regăseşte între dinții și arbore în partea centrală și începe să se micșoreze spre extremele dintelui.



Fig. 6 Variația inducțiilor magnetice în raport cu îndepărtarea dințiilor față de magnet permanent (dinte 1 – cel mai apropiat dinte de magnet permanent)

Din rezultatele obținute reiese că câmpul magnetic scade în intensitate cu cât se îndepărtează de magnetul permanent (vezi figura 6). Aşadar ca să obținem o valoare cât mai fidelă, calculăm valoarea medie ale diferenței de inducții magnetice luând în considerare fiecare dinte aparte:

 $\Delta B_{Mediu} = \sum (B_{max i} - B_{min i}) / 16 = 1,011 [T] \text{ pentru } i = 1..16 (5)$ 

# 2.4. Verificare și validare

Verificarea rezultatelor s-a făcut calculând fluxurile magnetice utile, luând în considerare că o parte ale fluxurilor magnetice pot fi disipate prin aer și prin piesele polare ( $\Phi d_3$ ), datorită carcasei ( $\Phi d_1$ ) și datorită lagărelor și pieselor polare ( $\Phi d_2$ ) (vezi figura 7).



Fig. 7 Disiparea fluxurilor magnetice în etanșarea cu fluide magnetice

Câmpul magnetic din întrefierul dințat s-a trasat grafic după o metodă descrisă și în [7]. Inducția magnetică medie în zonă de întrefier se calculează cu ajutorul formulei:

$$\mathsf{B}_{\mathsf{med}} = \Phi_{\delta} / \mathsf{S}_{\delta},\tag{6}$$

unde  $\Phi_{\delta}$  este fluxul magnetic în întrefier,

 $S_{\delta}$  este suprafața zonei de întrefier.

Raportul dintre  $B_{med}/B_{max}$ , respectiv  $B_{med}/B_{min}$  se obține prin metoda grafică și se calculează inducția magnetică minimă și maximă.

Astfel pentru etanşarea studiată se obțin următoarele valori pentru densități magnetice:

# 3. Rezultate și discuții

Folosind nanofluid magnetic cu magnetizație de saturație egală cu 600G pentru un etaj cu un dinte, conform relației (1), pentru valorile obținute prin simulare numerică obținem o diferență de presiune:

pentru un etaj de etanşare:

 $\Delta_{\rm p}[\rm N/m^2] = 10^3/4\pi \cdot \Delta B[T] \cdot M[G] = 5,543 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2, \tag{7}$ 

- pentru întreaga etanşare cu nanofluid magnetic:

 $\Delta P = \Delta_p \cdot \text{nr. dinți} = \Delta_p \cdot 32 = 154,64 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 \approx 15,5 \text{ bar,}$  (8) iar la valorile obținute la verificare prin metodă grafică, obținem:

- pentru un etaj de etanşare:
  - $\Delta_{\rm p}[{\rm N/m^2}] = 4,827 \cdot 10^4 {\rm N/m^2},$

pentru întreaga etanșare cu nanofluid magnetic:

 $\Delta P = 177,38 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 \approx 17,75 \text{ bar.}$ 

Diferența de 12,67 % între rezultatele obținute apare datorită:

- ipotezelor simplificatoare adoptate;
- metodele grafice şi grafo-analitice de trasare a câmpului magnetic sunt aproximative şi prezintă eroare de 2~5 %.

Lucrarea prezentată prezintă un prim pas în analiza câmpului magnetic prin simulare numerică la etanşările cu nanofluide magnetice.

Rezultatele obținute recomandă să fie verificate și prin efectuarea măsurătorilor pe ștand de probă.

# 4. Concluzii

■ Scopul lucrării a fost elaborarea unui model de calcul corect, adecvat și eficace.

■ Rezultatele obținute prin simularea numerică sunt într-o bună corelație cu cele obținute prin metoda grafică ceea ce ne permite să acceptăm metoda iar prin efectuarea mai multor simulări să continuăm

studiul asupra factorilor care influențează capacitatea de etanşare ale diferitelor construcții de etanşare cu nanofluid magnetic și să obținem informații importante pentru proiectarea adaptată la cerințele concrete ale fiecărei aplicații ale etanşărilor cu nanofluid magnetic.

■ Pe de altă parte, metoda aplicată ne oferă posibilitatea să proiectăm circuitul magnetic pentru etanşări cu nanofluide magnetice cu diversitate foarte mare, într-un timp mult mai scurt.

### BIBLIOGRAFIE

[1] Berkovsky, B.M., Medvedev, V.F., Krakov, M.S., *Magnetic Fluids* (in Russian), Moskva "Himia" Chap., 1989, 4, pag. 132 -171.

[2] Borbath, I., Kacso, Z., David, L., Potencz, I., Bica, D., Marinică, O., Vėkás, L., *Applications of magnetic nanofluids in rotating seals, Convergence of micro-and nanoengineering*, Bucharest; Romanian Academy Publ. House, 2006, pag. 200-210.

[3] \* \* \* ANSYS Release 12.0, ANSYS Inc., *Low frequency Electromagnetic Analysis Guide*, April 2009.

[4] Gabriela Ciuprina, *Studiul câmpului electromagnetic în medii neliniare*, Teză de doctorat , UPB, 1998.

[5] Cedighian, S., *Materiale magnetice*, Editura tehnică, București, 1974.

[6] Ravaud, R., Lemarquand, G., Lemarquand, V., *Mechanical properties of ferrofluid applications: Centering effect and capacity of a seal*, Tribology International 43, 2010, pag. 76–82.

[7] Richter, R., *Maşini Electrice*, vol.1, Editura tehnică, Bucureşti, 1958.

[8] Bejan, M., *În lumea unităților de măsură.* Ediția a doua revăzută și adăugită. Editura Academiei Române și Editura AGIR, București, 2005.

Drd.Ing.Tünde BORBÁTH

Facultatea de Energetică, Universitatea Politehnică din București e-mail:borbath.tunde@gmail.com Prof.Dr.Ing. Valeriu PANAITESCU

Facultatea de Energetică, Universitatea Politehnică din București

e-mail:valeriu.panaitescu@yahoo.com

# Ing. Iosif POTENCZ

CNISFC, Universitatea "Politehnica" Timişoara

### Ing. István BORBÁTH

director general, S.C. Roseal S.A. Odorheiu Secuiesc

#### e-mail:office@roseal.topnet.ro

### Dr.fiz. Ladislau VÉKÁS

CS1, şef laborator, Laboratorul de Lichide Magnetice, CCTFA,

Academia Română - Filiala Timișoara

e-mail:vekas.ladislau@gmail.com