

ETANȘĂRI MAGNETOHIDRODINAMICE

E. Avram, I. Fuiorea, A. Camerzan, C. Todirica,
Academia Tehnică Militară București

INTRODUCERE

Etanșările MHD se utilizează în domenii tehnice diverse, dar mai ales în tehnica vidului. Ele realizează o etanșare sigură într-o gamă largă de temperaturi și de presiuni, lucrează în contact cu medii diferite, sunt rezistente la șocuri și vibrații și necesită o întreținere minimă. Elementul de etanșare efectiv îl constituie ferofluidul, care este o suspensie coloidală, stabilă în timp, de particole magnetice subdomenice într-un fluid de bază. O cantitate mică de ferofluid este plasată în întrefierul creat de o piesă polară și suprafața arborelui. Pe arbore se prelucrează de regulă un număr de creștături realizându-se astfel o etanșare multiplă. Ferofluidul este reținut de forțele de natură magnetică și inelul astfel obținut rezistă la o diferență de presiune pe cele două fețe ale sale Δp . Etanșarea lucrează și când arborele se rotește sau execută o mișcare de translație

1. ECUAȚIILE MHD

Sistemul de ecuații ale MHD care descrie funcționarea etanșării este următorul:

Ecuția de continuitate:

$$\nabla \bar{v} = 0 \quad (1)$$

Ecuția de mișcare

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} = \bar{f} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta \bar{v} + f_m \quad (2)$$

unde f_m este forța masică de natură magnetică și are expresia:

$$f_m = -\frac{\eta}{\rho} \bar{H} \times \text{rot} \bar{H}.$$

Datorită cantității mici de ferofluid se poate neglija forța masică de greutate f . Într-un sistem de coordonate polare putem scrie distribuția de câmp în întrefierul etanșării :

$$\Phi = ct, \quad \Phi = BS = B_0 S_0,$$

$$dS_0 = R d\varphi dz, \quad dS = r d\varphi dz \quad H = H_0 \frac{S_0}{S} = H_0 R \frac{1}{r}$$

În final expresia câmpului va fi dată de:

$$\bar{H} = -H_0 \frac{R}{r} \bar{i}_r. \quad (3)$$

Pentru simplitate vom admite că arborele se află în repaus ($v=0$) Astfel vom putea scrie:

$$0 = -\frac{1}{\rho} \nabla p - \frac{\chi}{\rho} \mu \bar{H} \times \text{rot} \bar{H}, \quad (4)$$

sau încă :

$$\nabla p = \chi \bar{H} \times \mu (\nabla \times \bar{H}) \quad (5)$$

unde χ este susceptibilitatea magnetică a ferofluidului, μ permitivitatea întrefierului, H -intensitatea câmpului magnetic în întrefier, Δp -căderea de presiune.

Exprimând gradientul și rotorul în coordonate cilindrice se obține în final:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial r} &= 0 \\ \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} &= 0 \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= \chi H_0^2 \mu \frac{R}{r^2} \end{aligned} \quad (6)$$

În diferențe finite ultima ecuație se poate scrie astfel:

$$\frac{\Delta p}{\Delta z} = \frac{\Delta p}{a} = \chi \mu H_0^2 \frac{R}{r} \quad (7)$$

Dacă se ține cont și de neomogenitatea câmpului în întrefier precum și de efectul de capăt, expresia căderii de presiune se complică. În plus, geometria concretă a etanșării precum și rotația arborelui vor influența expresia presiunii suportate de o treaptă de etanșare

2. CALCULUL ETANȘĂRILOR

În lucrările de specialitate sunt propuse mai multe relații pentru expresia căderii de presiune. Astfel în [1] se propune o relație de forma:

$$\Delta p = \frac{\mu_0 M_s^2}{\chi} \left[\exp\left(-\chi \frac{H}{M_s}\right) + \frac{2\chi H}{M_s} - 1 \right] \quad (8)$$

unde M_s - este magnetizarea de saturație a ferrofluidului, χ -susceptibilitatea magnetică a ferrofluidului, H - Intensitatea câmpului magnetic aplicat

Deoarece câmpul aplicat H este de obicei mare, relația se poate simplifica :

$$\Delta p = \mu_0 M_s H \quad (9)$$

Un calcul mai precis se poate face integrând distribuția de câmp din întrefier:

$$\Delta p = \mu_0 \int_{H_1}^{H_2} M dH \quad (10)$$

H_1 și H_2 fiind intensitățile câmpului în zonele libere exterioare ale dopului de ferrofluid. În cazul unor piese polare cu profil triunghiular expresia căderii de presiune pe o treaptă este dată de:

$$\Delta p = c \mu_0 (\mu - 1) H_0^2 \quad (11)$$

în care H_0 este intensitatea câmpului sub piesele polare, iar c are expresia:

$$c = \frac{\sin \alpha}{\alpha \left[\left(\frac{\delta}{b} \right) \tan \alpha + 1 \right]} \quad (12)$$

În relația de mai sus α este unghiul de înclinare al profilului triunghiular față de axa arborelui, δ este jocul minim dintre piesa polară și arbore, iar b lățimea piesei polare. Valoarea optimă a unghiului α este de 60° . În relația de mai sus s-a presupus o dependență liniară între magnetizare și câmpul magnetic, fapt adevărat numai în cazul unor câmpuri slabe. Autorii lucrării [2] propun expresia

$$\Delta p = \mu_0 M H \frac{d}{h} \quad (13)$$

unde d este lungimea iar $2h$ grosimea inelului de ferrofluid.

Cercetări experimentale și numerice au condus la optimizarea soluțiilor constructive ale etanșărilor. Astfel, soluția optimă se obține pentru piese polare cu profil triunghiular având $\alpha = 45 - 60^\circ$ și raportul $b/\delta = 30-40$, vârful piesei polare trebuind să aibă o lățime de $(0.05-0.1)b$. Volumul magnetului permanent se poate determina ușor dacă cunoaștem mărimea întrefierului și a fluxului magnetic necesar:

$$V = \frac{4\Phi^2 \sigma}{H_f G \mu_0 \rho} \quad (14)$$

unde σ este coeficientul de depresiune, H_f - intensitatea câmpului magnetului permanent, G - permeanța întrefierului în funcționare, ρ un factor de putere subunitar. Elementele geometrice ale magnetului rezultă imediat, astfel încât vom avea:

$$S = \sqrt{\frac{\sigma G V}{\mu_0 \rho}}, \text{ respectiv } l = \frac{V}{S}. \text{ Raza interioară a}$$

magnetului se calculează cu relația empirică

$r_i = r_0 = \frac{i}{\pi}$, unde r_0 este raza arborelui, iar diametrul exterior D cu relația:

$$D = 2 \sqrt{\left[\frac{S}{\pi} + \left(r_0 + \frac{l}{\pi} \right)^2 \right]}$$

În cazul etanșărilor cu mai multe trepte, fluxul necesar pentru menținerea etanșeității se poate calcula cu relația [3]:

$$\Phi = 2\pi r_0 \delta \mu c_1 \sqrt{\frac{\Delta p \mu_0}{(\mu - 1)c}} \quad (15)$$

unde :

$$c_1 = \frac{\cos \alpha}{\alpha} \ln \left(\frac{b}{\delta} \tan \alpha + 1 \right)$$

Fluxul admis al unei trepte este:

$$\Phi = 2\pi r_0 b B_{max} \quad (16)$$

Acum se poate calcula cu ușurință numărul de trepte necesare :

$$n = \frac{\Phi_0}{\Phi_1} = \frac{\delta \mu}{b B_{max}} c_1 \sqrt{\frac{\Delta p \mu_0}{c(\mu - 1)}} \quad (17)$$

Valoarea inducției maxime nu trebuie să depășească **0,4 - 0,7 T**. [4]

În cazul în care arborele se rotește se poate calcula diferența de presiune critică pe care o poate suporta o treaptă în funcție de viteza unghiulară a arborelui:

$$\Delta p^* = \Delta p \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_k} \right)^2 \right] \quad (18)$$

unde Δp^* este căderea de presiune critică în regim dinamic, ω viteza unghiulară a arborelui, iar

$$\omega_k^2 = \frac{\Delta p (1 - \xi^2)^3}{\rho \xi^2 R^2 \left(1 + \frac{3}{2} \xi^2 - 3 \xi^4 + 6 \xi^2 \ln \xi + \frac{1}{2} \xi^6 \right)}$$

Prin ξ s-a notat raportul razelor arborelui R_1 , respectiv al piesei polare R_2 .

Relația (19) este corectă într-un interval relativ restrâns de turații, la viteze unghiulare mari intervenind efectul de pompaj datorat rugozităților. Autorii lucrării [5] propun limitarea turațiilor de lucru la 2000 rot/min, la o turație de 6000 rot/min scăderea presiunii suportate scăzând cu aproximativ 37%.

În concluzie, se poate spune că etanșările M.H.D sunt interesante prin simplitate și prin proprietățile lor, fiind posibilă utilizarea lor la viteze de până la 20 m/s și presiuni (ale unor medii gazoase) de până la 0,15-0,20 Mpa. În funcție de natura fluidul de bază cu care a fost preparat ferofluidul este posibilă utilizarea etanșărilor MHD până la temperaturi de -65°C . Prin cuplarea acestora cu alte tipuri de etanșări domeniul de aplicabilitate poate fi lărgit considerabil.

Bibliografie

1. **D.Shercliff**, *A textbook of Magnetohydrodynamics*, Pergamon Press, Oxford, 1965.
2. **K Shizava, T. Tanahashi**, *A new complete set of Basic Equations for conducting Magnetic Fluids with internal rotation Journal of magnetism and Magnetic materials* 65/1987, pg 181-184
3. **L.P. Orlov, V.E. Fertman**, *Principy rasčeta i konstruirovaniâ magnitnojidkostnyh uplotnenii, MGD, nr.4, 1980, pg.89-100*
4. **R. Moscowitz**, *Designing with feromagnetic fluids*, ASME Paper No. 74-De-5 for Meeting, 1974, pg.12.
5. **A.K.Kalinin**, *Analiz konstrukcii MGD uplotneniâ, Voprosy teorii i rasčeta električeskih mašin i aparatov. Ivanovo, 1975, Vyp.6, s.61-66.*