FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2000. március 24-25.

ANIZOTRÓP VEKTOR PREISACH MODELL

Füzi János

Summary – A method based on the classical Preisach model is proposed to describe the static 2D vector magnetic behaviour of anisotropic – grain-oriented – silicon iron sheets. A theoretical magnetic particle, endowed with orientation in the sheet's plane is introduced to depict the relationship between the field strength vector at the surface of the sheet and space-averaged magnetization vector through its cross-section. The magnitude of magnetization is governed by a classical Preisach operator. Its input is the projection of the field strength vector on the magnetization direction, while its orientation is determined by the equilibrium between the field strength orientation and the anisotropy of the sheet. The material is approximated by a classical continuum, its domain structure being neglected. The sheet is considered to consist of a set of non-interacting particles of the proposed kind, which yield the macroscopic magnetic characteristic of the real material.

1. Bevezetés

A szemcseorientált ferromágneses vasmaglemezek mágneses karakterisztikája erősen anizotróp [1]. A hengerezési iránynak megfelelő, úgynevezett könnyű mágnesezési irányban nagy a permeabilitásuk és, kicsi a koercitív térerősség, míg az erre merőleges keresztirányban a permeabilitás nagyságrendekkel kisebb. Ennek megfelelően ezeket az anyagokat olyan berendezések (például transzformátorok) gyártására használják, amelyekben a mágnesezés mindig ugyanabban az irányban történik. A vasmagok egyes tartományaiban (T csatlakozás, sarkak) azonban elkerülhetetlen a mágneses indukcióvektor elfordulása a könnyű mágnesezési irányból. Forgó villamosgépek vasmagjai olyan anyagból készülnek, amelyben a hengerezési műveletből származó anizotrópiát utólagos hőkezeléssel a lehető legkisebbre csökkentik. Azonban ezek a vasmaglemezek sem rendelkeznek teljesen izotróp mágneses karakterisztikával. A mágneses tér tanulmányozásához ezekben az anyagokban szükség van egy modellre, amely leírja a mágneses térerősségvektor és a mágnesezettségvektor közötti kapcsolatot. Ez a kapcsolat nemlineáris és nem egyértékű, hanem úgynevezett hiszterézisjellegűt mutat, amely abban nyilvánul meg, hogy a mágnesezettség és ezáltal a fluxussűrűség változása nem követi azonnal és arányosan a térerősség változását. Ugyanakkor a mágnesezettség az aktuális térerősségen kívül a mágneses múlttól, azaz a térerősségnek az aktuális pillanat előtt felvett értékeitől is függ. Azok a mágnesezési folyamatok, amelyekben a mágneses térerősség és a fluxussűrűség vektorai mindvégig párhuzamosak, megfelelően leírhatók a klasszikus (skaláris) Preisach modellel [2]. A jelleggörbék nemlinearitásából következően azonban a vektoriális mágneses hiszterézismodell nem építhető fel különböző irányokban működő skaláris modellek szuperpozíciójaként [3].

2. A modell felépítése

Tekintsünk egy elméleti mágneses részecskét, amely elemi mágneses operátorként működik. A mágnesezettségvektor (M) modulusza a klasszikus Preisach operátor [1] segítségével számítható ki, amelynek bemeneti mennyisége legyen a térerősségvektor (H) vetülete a mágnesezettségvektor irányára (H_m

1. ábra. Szögek értelmezése.

az 1. ábrán). A mágnesezettségvektor iránya az M és H közötti nyomaték ($H \times M$) valamint a lemez anizotrópiája közötti egyensúlyból következik:

$$HM \sin \theta_{hm} = H_k M \sin 2\theta_m, \quad (1)$$

ahol H_k az anyagra jellemző anizotrópiatér. Ennek nagysága forgó mágneses térbe helyezett vasmaglemez számított mágnesezési jelleggörbéinek a mért jelleggörbékhez való igazítási feltételből határozható meg.

A klasszikus Preisach modell adatbázisul szolgáló Everett felületek a hengerelési irányban és keresztirányban az úgynevezett első visszatérési (a határhiszterézishurokról induló) görbék méréséből számíthatók ki [1].

2. ábra. Az anizotróp 27ZDKH95 vasmaglemez Everett felületei.

A 2. ábrán a szemcseorientált, 0.27 mm vastag lézerkarcolt 27ZDKH95 vasmaglemez (Nippon Steel) Everett felületei láthatók. Itt $\alpha = H/H_S$ növekvő H esetén, $\beta = H/H_S$ csökkenő H esetén, M_α a mágnesezettség a (határhurkon elhelyezkedő) fordulóponthoz, $M_{\alpha\beta}$ pedig a $H = \beta H_S$ térerősségre kapott mágnesezettség az $(\alpha H_S, M_\alpha)$ pontban visszatérő hiszterézisgörbe mentén. A szaturációs térerősség hengerelési irányban $H_S = 340$ A/m, keresztirányban pedig $H_S = 1693$ A/m.

A következő elliptikus interpoláció egyenletesen alakítja egyik felületet a másikba az M vektor és a könnyű mágnesezési irány közötti szög függvényében:

$$E(\alpha, \beta) = \sqrt{E_e^2(\alpha, \beta) \cos^2 \theta_m + E_h^2(\alpha, \beta) \sin^2 \theta_m}. \quad (2)$$

Hasonlóan kell interpolálni a szaturációs térerősséget (az Everett felületek H léptékéhez).

3. ábra. Könnyű irányban való szaturációt követő, különböző állandó
télerősségértékkel végzett forgó mágnesezési folyamatok.

A mágnesezettség nagyságát a klasszikus Preisach modell adja, melynek adatbázisa a mágnesezettség és a könnyű mágnesezési irány közötti szögnek megfelelő Everett felület, bemeneti mennyisége pedig a mágneses térerősség mágnesezettségre eső vetülete ($H \cos \theta_{hm}$).

A modellezett vasmaglemezre $H_k = 100$ A/m anizotrópiateret tételezünk fel. Az (1) egyenletet az:

$$\varepsilon(\theta_m) = (H \sin(\theta_h - \theta_m) - H_k \sin 2\theta_m)^2 \quad (3)$$

hibafüggvény minimalizálásával lehet megoldani.

3. Számítási eredmények

Tekintsük a következő forgó mágnesezési folyamatot: a lemezt hengerelési irányban szaturációig mágnesezzük, majd a mágneses térerősséget H_0 értékre csökkentjük, azután pedig az állandó nagyságú térerősségvektort lassan forgatjuk. Az első körforgásra kapott eredmények a 3. ábrán láthatók.

4. Következtetések

Az anizotróp ferromágneses anyagok általános mágnesezési körülmények (a lemez geometriája, a térerősségvektor iránya és nagysága) közötti viselkedésének leírására szükség van egy vektoriális mágneses hiszterézismodellre. Kvázistatikus (a mágneses mennyiségek változási sebessége kicsi), kétdimenziós (a térerősség és mágnesezettség vektorok a lemez síkjában találhatók) esetre a feladat megoldható a mágnesezettség nagyságának a térerősség mágnesezettségre eső vetületéből klasszikus Preisach modellel való számításával és a mágnesezettség irányának a térerősség és az anizotrópiater által mágnesezettséggel képezett nyomatékok egyensúlyából való meghatározásával. A kapott modell térszámításra alkalmas, a lemezt e modell által leírt mágneses részecskék sokaságának tekintve és minden pontban a mágnesezettséget az ott aktuális térerősséggel számítva.

Irodalomjegyzék

1. H. Pfützner: Rotational Magnetization and Rotational Losses of Grain-Oriented Silicon Steel Sheets - Fundamental Aspects and Theory, *IEEE Trans. on Magnetics*, **30** (1994) 2802 - 2807.
2. I.D. Mayergoyz, Mathematical Models of Hysteresis, Springer, New York, 1991.
3. E. Della Torre, F. Vajda, Vector Hysteresis Modeling for Anisotropic Recording Media, *IEEE Trans. on Magnetics*, **32** (1996) 1116-1119.

Dr. Füzi János, egyetemi docens

Transilvania Egyetem, Villamosmérnöki Kar, Politehnicii 1-3, 2200 Brassó, Románia

Tel. & Fax: +40 68 143116; E_mail: fuzi@leda.unitbv.ro

Bolyai János ösztöndíjas (BO/00920/98 – Magyar Tudományos Akadémia)

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Elméleti Villamosságtan Tanszék,

H-1521 Budapest, Magyarország; Fax: +36 1 463 3189; E_mail: fuzi@evtsz.bme.hu