電磁鋼板表面の溝形成による磁区の細分化と鉄損の改善

川崎製鉄株式会社技術研究所 石田 昌 義

Fig. 1 方向性電磁鋼板の磁区構造(Type-II Lorentz SEM 像). (a) 溝形成(b) 溝なし.

Fig. 2 磁区幅に及ぼす溝深さの影響.

Fig. 3 鉄損に及ぼす溝深さの影響.

Fig. 4 直流磁化過程における供試電磁鋼板の磁区構造の変化(Type-II Lorentz SEM 像, 数字は呼称磁界強度).

方向性電磁鋼板の表面に電解エッチング法により線状の溝を形成し、溝周辺に発生する磁極の静磁エネルギーを用いて磁区を細分化させることにより低鉄損化を図る技術が開発されている⁽¹⁾。

厚さ 0.23 mm の方向性電磁鋼板製品板の表面に溝を形成した場合(a)と溝の無い場合(b)の磁区写真(Fig. 1)に示すように、溝の効果により磁区が細分化される。この技術において磁区細分化効果を十分に得るためには、溝の形態が極めて重要である。0.23 mm 厚の鋼板表面に、深さを連続的に変化させて溝を形成し、磁区の幅を測定した結果を、計算値とともに Fig. 2 に示す。溝が深いほど磁区幅が減少する傾向がある。ここで、溝周辺に発生する自由磁極の静磁エネルギーと磁壁のエネルギーの競合から磁区幅が決定されるモデルによる計算結果を用いた⁽²⁾。このように磁区幅を減少させることによって、異常渦電流損が減少することが理論的に知られている⁽³⁾。Fig. 3 には溝深さと鋼板の鉄損の関係を示す。溝深さの増加とともに鉄損は減少するが、同時にヒステリシス損が増

加する結果、鋼板の全鉄損に対しては溝深さは 20 μm 付近で最適値を有する結果となっている。

次に、深さ 20 μm の溝を形成した鋼板を直流磁化した際の磁区構造の変化を Fig. 4 に示す。磁化の進行とともに、磁壁の移動と同時に磁区構造に変化が生じ、呼称磁界強度 300 A/m では磁化方向と逆方向の磁化を有する磁区の内部に正方向の磁区が浸透している。このような磁化過程における磁区の細分化は、特に幅の広い磁区で生じやすい。溝近辺の一部に見られるスパイク状磁区も逆磁区の生成に関与していると考えられる。さらに強磁界では還流磁区の発生を経て飽和することが観察される。

文 献

- (1) K. Sato, A. Honda, K. Nakano, M. Ishida, B. Fukuda and T. Kan: J. Appl. Phys., **73**(1993), 6609.
- (2) 石田昌義, 中野 恒, 本田厚人, 佐藤圭司: 日本応用磁気学会誌, **18**(1994), 809.
- (3) R. H. Pry and C. P. Bean: J. Appl. Phys., **29**(1958), 532.

(2000年9月27日受理)

Iron Loss Reduction by Domain Refinement in Grooved Electrical Steel; Masayoshi Ishida (Kawasaki Steel Corporation)

Keywords: grain-oriented electrical steel, iron loss, domain wall spacing, electrolytic etching

SEM specimen preparation: as fabricated (Figs. 1, 4) TEM utilized: Hitachi H-700 (200 kV, Type-II Lorentz SEM method, Fig. 1), JEM-2000EX (200 kV, Type-II Lorentz SEM method, Fig. 4)