交流磁場印加による電磁鋼板中の磁壁挙動のローレンツ顕微鏡観察

東北大学多元物質科学研究所 赤瀬善太郎 進 藤 大 輔
日本電子株式会社 井 上 雅 夫
住友金属工業株式会社総合技術研究所 谷 山 明

Fig. 1 無方向性電磁鋼板の交流磁場(矩形波 ± 3.2 kA/m)下でのローレンツ顕微鏡像. (a) (b) 3 Hz. (c) 40 Hz. 矢印は磁壁(明線)の位置を示している.

電磁鋼板が交流磁場下で使用される場合, 鉄損は磁壁の移動速度に依存することが知られている. そこで本研究では, TEM 内部で試料に交流磁場を印加できるシステムを開発し⁽¹⁾, 電磁鋼板内の介在物や転位といった微細な欠陥が磁壁の挙動に及ぼす影響をその場観察した.

現在のシステムでは矩形波信号で磁場を印加した場合, 周波数を約 100 Hz まで連続的に変化させながら磁壁を観察することが可能である. Fig. 1 に観察例を示す. ± 3.2 kA/m, 3 Hz の外部磁場を加えた際往復していた磁壁(a), (b)は, 40 Hz では残像のために 2 つの磁壁があるように見える(c).

次に, 1 Hz 程度のサイン波や三角波の信号で磁場を印加したところ, 信号に合わせて磁壁が滑らかに移動する様子が観察された. Fig. 2 に二波励起に近い条件で撮影したローレンツ顕微鏡像を示す. 矢先に窒化アルミの介在物があり, その近傍には歪コントラスト, 周辺には転位コントラストが見られる. 磁壁コントラストを矢印で示す. この状態で低周波のサイン波(± 2.4 kA/m)の外部磁場で磁壁を緩やかに駆動したところ, 磁壁が介在物(Fig. 2(a))やその周りの歪(Fig. 2(b))にトラップされる様子が動的に観察された. 転位に対しては介在物に比べ相互作用が弱く, 影響を受けながらも通過する様子が観察された.

文 献

- (1) M. Inoue, T. Tomita, M. Naruse, Z. Akase, Y. Murakami and D. Shindo: J. Electron Microscopy, **54** (2005), 509–513.
(2006年 8 月 11 日受理)

Fig. 2 無方向性電磁鋼板の二波励起に近い条件でのローレンツ顕微鏡像. 矢印は磁壁(明線, 暗線), 矢先は窒化アルミの介在物を示す.

In situ Observation of Domain Walls in Electrical Steel Sheet by Lorentz Microscopy under External AC Magnetic Field; Zentaro Akase*, Daisuke Shindo*, Masao Inoue**, Akira Taniyama*** (*Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials Tohoku University, Sendai. **JEOL Ltd., Akishima. ***Corporate Research and Development Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd., Amagasaki)
Keywords: Lorentz microscopy, electrical steel sheet, AC magnetic field, domain walls, inclusion
TEM specimen preparation: double-jet electropolishing (electrolyte; 95% acetic acid, 5% perchloric acid; 60–70 V, 0.15 A/mm², 286 K)