

透磁率制御 Fe 系ナノ結晶薄帯の応力下熱暴露による異方性の変化

柳井 武志, 島田視宏, 高橋 賢一郎, 中野 正基,
福永 博俊 (長崎大学), 吉沢 克仁 (日立金属)

Change in anisotropy energy of an Fe-based nanocrystalline ribbon with controlled permeability
due to stress-exposure

Takeshi Yanai, Akihiro Shimada, Ken-ichiro Takahashi, Masaki Nakano,
Hirotoshi Fukunaga (Nagasaki University), Yoshihito Yoshizawa (Hitachi Metals)

はじめに アモルファス $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15.5}\text{B}_7$ 薄帯に応力下で適度な熱処理を施すと、ナノ結晶化しつつ試料の長手方向に対して垂直方向に異方性が現れる。この異方性付与した薄帯を用いて作製したトロイダルコアは、数 MHz 付近まで優れた磁気特性を示し、数百程度の透磁率が所望されるチョークコイルのコア材料として高いポテンシャルを有している [1]。従来、我々は異方性付与過程において、応力印加した試料を加熱炉内に配置し熱処理を施す手法 (FCS: Fixed Configuration of a Sample) を用いていたが、最近の研究で応力印加した試料を、あらかじめ適度な温度に保った炉内を通過させる熱処理法 (CSA: Continuous Stress-Annealing) が、短時間に大量の試料を作製できることに加え、FCS と比較して単位印加張力あたり得られる異方性が約 1.4 倍になることが明らかとなり [2]、生産性の観点から、この CSA 法に対する様々な検討・報告をしてきた [3]。本稿では、CSA で得られる異方性が FCS で得られる異方性よりも増加する要因を異方性の緩和過程から検討した。

実験 本実験では幅 2 mm、厚さ 20 μm 程度の $\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15.5}\text{B}_7$ アモルファス薄帯を用いた。100 MPa 程度の張力を印加した試料を、530 $^{\circ}\text{C}$ に保った赤外線加熱炉内を移動速度 10 cm/min で通過させる (Fig.1) ことで、ナノ結晶の構築と異方性付与を実現した。熱処理後、試料の B-H 曲線を測定し、得られた曲線から異方性エネルギーを算出した。この CSA により得られた異方性エネルギーを K_{uc} とする。次に同条件・同手法で異方性を付与した薄帯に FCS 法を用いて応力下熱暴露を施した。FCS 法では、室温から 530 $^{\circ}\text{C}$ まで 20 min で昇温し、10 min 間保持、その後室温付近まで自然冷却とした。応力熱暴露時に印加する張力は、50~200 MPa の間で変化させた。この FCS 熱暴露後の異方性エネルギー K_{uf} を先と同様の手法で算出し、その変化率を $(K_{uf} - K_{uc})/K_{uc}$ として算出した。

結果及び考察 Fig.2 に CSA にて異方性付与した薄帯を応力下の FCS 法にて熱暴露した際の、異方性エネルギーの変化率の応力 (熱暴露時) 依存性を示す。Fig.2 より応力下での熱暴露にもかかわらず 130 MPa 以下では、異方性の緩和が了解される。CSA を施した直後の試料の DSC 曲線を測定したところ、CSA 後の試料は結晶化に起因する 530 $^{\circ}\text{C}$ 付近の熱量ピークが観測されず、十分結晶化が進行していることが了解された。すなわち、観測された異方性の緩和は結晶相 (bcc Fe-Si) に起因するものであると解釈できる。最近の研究で十分結晶化した試料においては、結晶相の格子歪み率と誘起される異方性エネルギーとの間に比例関係が成立することが明らかとなり [4]、Fig.2 の結果は FCS 法で CSA 法と同等の格子歪みを得るには 1.3 倍程度大きな張力を用いる必要があることを示唆している。すなわち、緩和過程からも CSA は FCS 法と比較して少ない張力で大きな異方性を得るために、有効な熱処理法であることが判明した。

参考文献

- [1] 例えば, H. Fukunaga *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, **38** (2002) 3138.
- [2] 柳井ら, マグネティクス研究会資料, **MAG-04-81** (2004) 5.
- [3] 例えば, T. Yanai *et al.*, *J. Magn. Magn. Mater.*, **290-291** (2005) 1502.
- [4] M. Ohnuma *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **86** (2005) 1.

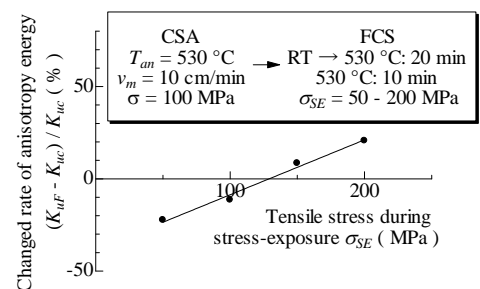
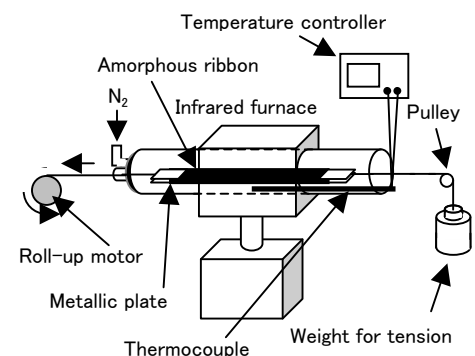


Fig.2 Changed rate of anisotropy energy due to stress-exposure.