

ジュール加熱法により異方性付与した Fe 系ナノ結晶薄帯の 異方性の不均一改善に関する検討

柳井 武志, 山崎 成司, 高橋 賢一郎, 中野 正基, 福永 博俊
(長崎大学)

Investigation on improvement in nonuniformity of anisotropy in Fe-based nanocrystalline ribbon
annealed by Joule-heating method

Takeshi Yanai, Masakazu Yamasaki, Ken-ichiro Takahashi, Masaki Nakano, Hirotohi Fukunaga
(Nagasaki University)

はじめに 我々はこれまでに、クリープ誘導磁気異方性を付与した Fe 系トロイダルコアが、市販の低透磁率コアであるギャップ付きのフェライトコアよりも①優れた磁気特性を示すこと、②作製プロセスの簡素化が必要であることを報告してきた¹⁾。この生産面の改善に関して、熱処理パターンや方法の改善等様々なアプローチを試みた結果、試料に直接通電することにより熱処理を施すジュール加熱法が、①熱処理装置の簡素化、②熱処理時間の短縮、等の観点から有効な手法の1つであることを確認した²⁾。本稿では、ジュール加熱法における問題点の1つである試料内の不均質な異方性³⁾の改善に向け、電流密度増加率に関し検討を行った。

実験 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。パソコンに GP-IB 接続した直流電源を用い、長手方向に 50, 100 MPa の張力 σ を印加して熱処理を施した。熱処理の初期電流密度 j_i を 25 A/mm^2 とし、最大の電流密度 j_m (38.5 A/mm^2) まで徐々に電流を増加させた。熱処理時間は 1 min とし、電流密度増加率 $\Delta j/\Delta t$ は 13.5 から 8100 (A/mm^2)/min の間で変化させた (Fig.1)。

結果及び考察

Fig.2 に異方性エネルギー K_{uc} の $\Delta j/\Delta t$ 依存性を示す。50 および 100 MPa のいずれの場合も $\Delta j/\Delta t$ を増加させると若干 K_{uc} が減少する傾向が得られた。Fig.3 に $\Delta j/\Delta t = 8100$ と 13.5 (A/mm^2)/min の時のヒステリシスループを示す。 K_{uc} の値としては同程度であるが、8100 (A/mm^2)/min で作製した試料のループが丸みを帯びることがわかった。これは、試料内部で熱処理が不均一となり、異方性の分布が生じたためと考えられる。低透磁率コアは直流バイアス磁界下で動作するため、異方性磁界までフラットな透磁率を有する材料が望ましい。そこで微分透磁率 μ_{dif} を評価した。結果を Fig.4 に示す。縦軸は $H = 0$ A/m での μ_{dif} の値、横軸は異方性磁界 H_A でそれぞれ規格化した。Fig.4 より $\Delta j/\Delta t$ を小さくすることで、 μ_{dif} が H_A 付近までフラットとなり異方性の分布が改善されたと考えられる。すなわち $\Delta j/\Delta t$ を適度に制御することで、ジュール加熱法においても異方性の強度分布の少ない試料の作製が可能であることが明らかとなった。

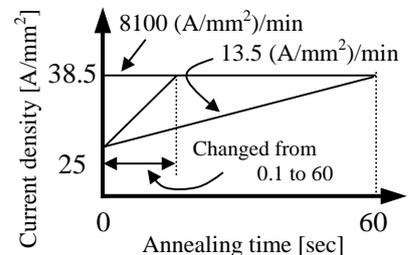


Fig. 1 Schematic representation of current density for Joule-heating.

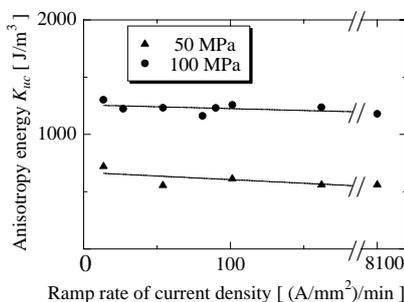


Fig. 2 Anisotropy energy as a function of ramp rate of current density.

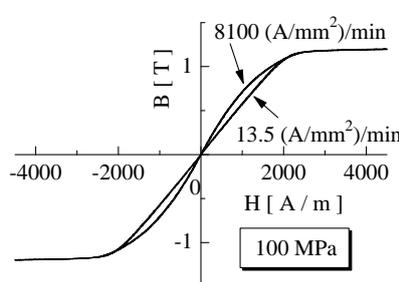


Fig. 3 Hysteresis loops of ribbons annealed at ramp rates of 13.5 and 8100 (A/mm^2)/min.

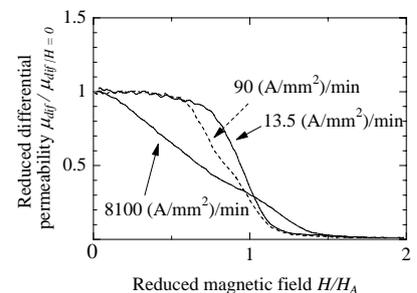


Fig. 4 Differential permeability of ribbons annealed at ramp rates of 13.5, 90 and 8100 (A/mm^2)/min.

参考文献

- 1) H. Fukunaga *et al.*, *J. Magn. Magn. Mater.*, **242-245** (2002) 279-281.
- 2) 柳井武志ら, 第 27 回日本応用磁気学会学術講演概要集, (2003) 229.
- 3) 山崎成司ら, 電気学会講演論文集, **2** (2003) 174.