

# 応力下連続ジュール加熱法により作製した 透磁率制御 Fe 系ナノ結晶薄帯の基礎特性

島田 視宏, 柳井 武志, 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)

Fundamental magnetic properties of Fe-based nanocrystalline ribbons with controlled permeability prepared by continuous stress-annealing by Joule heating

Akihiro Shimada, Takeshi Yanai, Ken-ichiro Takahashi, Masaki Nakano,

Hirotooshi Fukunaga (Nagasaki University), Yoshihito Yoshizawa (Hitachi Metals Ltd.)

**はじめに** 近年, IT 関連機器の急速な普及に伴い, それらが消費する電力は著しく増加している. これらの機器内では, 数多くの磁性部品が使用されており, 省電力の観点から, それらの高効率化が強く所望されている. 我々はこれまでに, 電源回路出力部で用いられるチョークコイル用コアに着目し, 既存のギャップ付きフェライトコアや圧粉コアの磁気特性を凌ぐ, 透磁率制御型 Fe 系ナノ結晶トロイダルコアを提案してきた[1]. また, 透磁率制御に必要な応力下での熱処理過程の簡素化を達成すべく, 赤外線加熱炉を用いた応力下の連続焼鈍法を提案し, 工業的に有利な手法であることを報告した[2]. 本稿では, 透磁率制御過程における装置の簡素化・省電力化を鑑み, 既報のジュール加熱法による異方性付与過程を進展させた“応力下連続ジュール加熱法”に対して, 基礎的な特性を評価したので報告する.

**実験** 本実験では幅 2 mm, 厚さ 20  $\mu\text{m}$  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 (日立金属社製) を用いた. パーソナルコンピュータに GP-IB 接続した高砂社製直流電源 (EX-375) を用い, Fig.1 に示す装置を構成した. 金属板ではさんだアモルファス薄帯の一端を巻取り用モータに, 他方は滑車を介しておもりを吊るすことで, 100 MPa 程度の張力を試料の長手方向に印加した. 自由に回転する銅パイプを電極とし, 薄帯は常に電極に接するように調整した. 本熱処理法により, Fig.1 に示した加熱範囲内に電流が流れ, 試料は応力下で連続的にジュール加熱される. 試料の移動速度は巻取り用モータの回転数を制御することで, 試料に通ずる電流密度は直流電源を定電流制御することで, それぞれ変化させた.

**結果及び考察** 異方性の誘導状態と通電電流密度および移動速度の関係を検討した. 応力下連続ジュール熱処理後の試料の直流ヒステリシスループを測定し, 得られたループ形状から, ①異方性誘導完了 (◎), ②異方性誘導途中 (○), ③異方性誘導無し (／), ④大きな保磁力の発現 (×), ⑤熱処理中の試料の機械的破断 (+), の 5 つの状態に分類した

(分類に関しては Ref.[3]参照). その結果を Fig.2 に示す. また, Fig.2 には既報の試料の一端を固定し, ジュール加熱を施した際の結果[4]を併記した. 移動速度 1~5 cm/min の範囲では 37.5~40 A/mm<sup>2</sup> 付近で安定して異方性誘導が完了した試料が得られており, その傾向は試料を固定した場合の結果とほぼ同様になった. しかしながら, 得られた異方性強度に着目すると, 試料を固定して熱処理を施した際は, 100 MPa の時に 1 kJ/m<sup>3</sup> 程度であるのに対し, 移動させた際には 2 kJ/m<sup>3</sup> 程度となり, 約 2 倍の差が観測された. この連続的に応力熱処理を施した際に, 固定して熱処理を施した場合よりも張力あたりの異方性エネルギーが増加する現象は, 赤外線加熱炉を用いた連続焼鈍時においても観測される[5]. すなわち, 応力下での連続焼鈍は, ①加熱炉を用いる手法, ②ジュール加熱を用いる手法とも熱処理時の印加張力低減の観点から有効な手法であることが明らかとなった.

参考文献:

- [1] 例えば, H. Fukunaga *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, **38** (2002) 3138.  
 [2] T. Yanai *et al.*, *J. Magn. Magn. Mater.*, **290-291** (2005) 1502.  
 [3] 例えば, 柳井ら, 第 27 回日本応用磁気学会学術講演概要集, (2003) 229.  
 [4] T. Yanai *et al.*, *SMM 16/Special Issue of Conference Proceedings*, (2004) 737.  
 [5] 柳井ら, マグネティックス研究会資料, **MAG-04-81** (2004) 5.

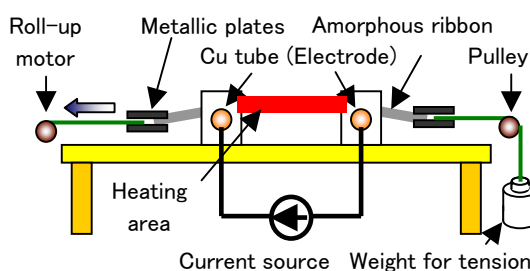
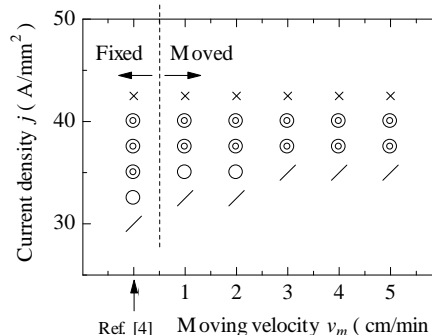


Fig.1 Schematic representation of continuous stress-annealing by Joule heating.



Ref. [4] Moving velocity  $v_m$  (cm/min)  
 Fig.2 Relationship among development state of anisotropy, current density, and moving velocity.