

Fe 系ナノクリスタル材料の磁場中熱処理による高周波比透磁率の向上

日大生産工(院) ○小林 拓巳 日大生産工 矢澤 翔大 工藤 祐輔
東静工業株式会社 佐久間 穂崇 渡邊 洋

1. はじめに

近年、電気自動車など次世代自動車の発展により電子部品の小型化、高性能化が要求されるようになった。特にノイズ除去に用いられる車載コイルは自動車の発展に応じた、高周波数帯域での特性や高いキュリー温度が必要である。ナノクリスタルは、高周波数帯域でも優れた磁気特性を示し、キュリー温度も 570℃と高いため車載コイルに適した特性を持つ。

ナノクリスタル材料とは Fe-Si-B アモルファスに Cu, Nb を添加した材料が一般的である。アモルファスに Cu、Nb を添加すると、Cu が結晶物の核になり磁気特性の良い FeSi 結晶核を生成する。また、高濃度の Nb が粒界アモルファスに濃縮され、FeSi 結晶のナノサイズ結晶が生成される。ナノクリスタル材料は結晶が小さいため、結晶磁気異方性が非常に小さくなる。加えて、微細結晶と残留アモルファスによって、磁歪も小さくなる。以上のように磁歪と結晶磁気異方性がどちらも小さいためナノクリスタル材料は優れた軟磁性特性を示す。

ナノクリスタル材料に磁場中熱処理を行うことにより、磁区構造を変化させ、誘導磁気異方性を付与することで、高周波特性が向上する⁽¹⁾ことが分かっている。

本実験では、Fe-Si-B-Nb-Cu ナノクリスタル薄帯に高周波数帯域の特性向上を目的とし、磁場中熱処理を行い、磁場強度の依存性について測定結果をまとめる。

2. 実験方法および測定方法

Fe-Si-B-Nb-Cu 薄帯から幅 5 mm、内径 6.5 mm、外径 8.9 mm のコアを作製し、磁場中熱処理を行った。本実験では温度は 600℃固定で磁場 0、40、80、160、240、400 kA/m と変化させた。また、0 kA/m とは無磁場のことである。処理後の試料に関してインピーダンスアナライザを用いて比透磁率を、BH アナライザを用いて BH ループと磁心損失を測定した。

BH ループにおいて最大に達した磁束密度を測定の最大磁束密度 B_{800} 、最大に達したのちに磁界をゼロにしても残っている磁束密度を残留磁束密度 B_r と残留磁束密度と最大磁束密度の比で表したものを角型比と呼び、角型比 B_r/B_{800} は以下の式から算出した⁽²⁾。

$$\text{角型比 } B_r/B_{800} = \frac{B_r}{B_{800}}$$

別の組成ではあるが、角型比が低くなることで比透磁率を向上する傾向がある⁽³⁾と報告されている。

3. 実験結果

Fig.1 には各印加磁場における角型比を示す。40 kA/m では磁場印加前後で角型比はあまり変化しなかった。しかし、磁場印加後において 40kA/m から 80kA/m までは、角型比が低くなった。だが、80 kA/m から 400 kA/m までほぼ横ばいの角型比を示した。

よって、磁場印加強度を上げることで角型比を低くするには上限があることがわかった。

Improvement of High-Frequency Specific Magnetic Permeability of Fe-Based Nanocrystalline Materials by Heat Treatment in a Magnetic Field

Takumi KOBAYAH, Shota YAZAWA, Hotaka SAKUMA, Hiroshi WATANABE, Yusuke KUDOU

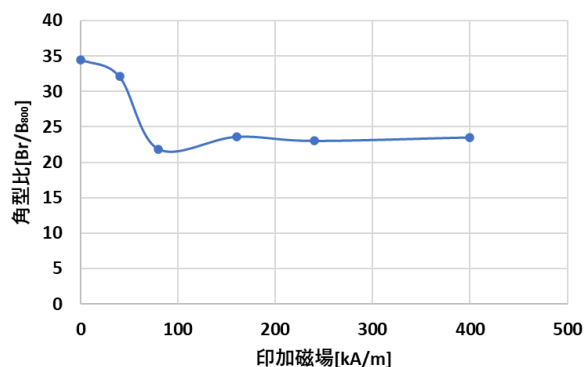


Fig.1 角型比

Fig.2には0 kA/mと40 kA/mから400 kA/mの磁場を印加して得た比透磁率の周波数特性を示す。

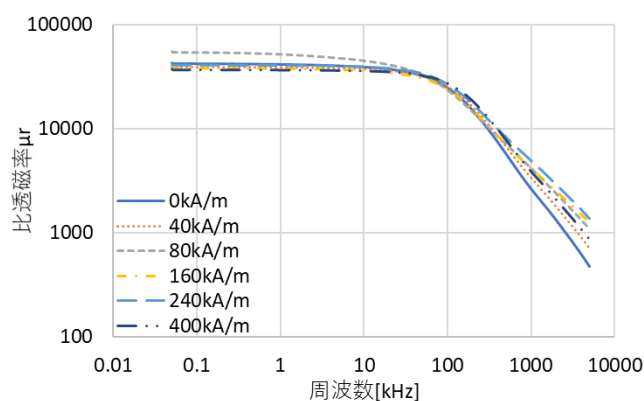


Fig.2 比透磁率の磁場依存性

低周波数では80 kA/mが最も高い特性を示し、0 kA/mが最も低かった。40 kA/mでは0 kA/mとほとんど変わらない周波数特性を示した。

高周波数帯域では、40 kA/m から 240 kA/m まで印加磁場が上昇するほど比透磁率が向上していた。しかし、高周波領域において240 kA/m以上の磁場を印加させ、400 kA/mまで磁場印加強度を上昇させると、磁場印加強度を上げるほど高周波において5 MHzの400 kA/mまでに比透磁率が約43%減少した。

また、各周波数での比透磁率の減少率は240kA/mから400kA/mまでにおいて、100kHzでは約12%減少、500kHzでは、約15%減少と高周波になるほど大きく、影響を受けていることがわかった。

つぎに Fig.3 に、5 MHz における 0 kA/m から 400kA/m までの比透磁率を示す。

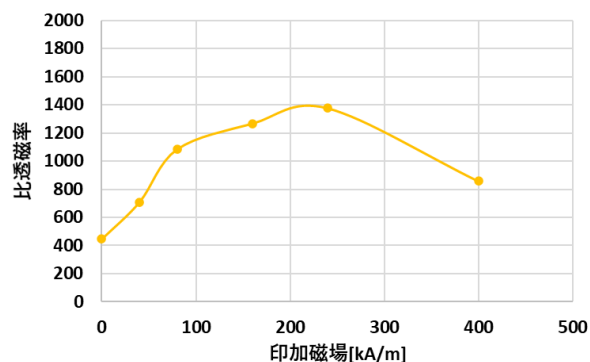


Fig.3 5 MHz の比透磁率

Fig.3 から磁場印加後の比透磁率が0 kA/mと比べ約3.5倍上昇した。また、5 MHzにおいて、240 kA/mが最も比透磁率が上昇することがわかった。

4. まとめ

本研究では組成 Fe-Si-B-Cu-Nb の薄帯に対し高周波数帯域における特性向上を目的に磁場中熱処理を行い、磁場依存性の観点から最適な印加磁場を検討した。

磁場中熱処理を行った試料から以下のことが分かった。

- ①印加磁場が40 kA/mから角型比は小さくなる。また、一定の値以下には印加磁場を大きくしても、角型比の変化はなかった。
- ②低周波数帯域での特性改善は期待できないが、印加磁場の大小にかかわらず、高周波数帯域での特性改善が期待できる。比透磁率において最適印加磁場は240 kA/mだと考えられる。

参考文献

- (1)「Fe系微細結晶の磁場中熱処理による磁気特性及び信頼性」 佐久間 穂崇、矢澤 翔大、渡邊洋、新妻 清純 (2022)
- (2)「磁気工学入門」 高梨 弘毅 日本磁気学会(2008)
- (3)「ナノ結晶 Fe-Cu-Nb-Si-B 合金の誘導磁気異方性と磁気特性」 吉沢 克仁、森 春幸、荒川 俊介、山内 清隆、日本応用磁気学会 19,457-460(1995)