

## 鉄系非結晶磁性材料の基礎特性評価

— 熱処理保持時間と保持温度の違いによる基礎特性の比較 —

日大生産工(院) ○木村祐太 日大生産工 矢澤 翔大 新妻 清純  
東静工業株式会社 渡辺 洋

### 1. まえがき

軟磁性材料である鉄系非結晶磁性材料は、結晶構造のような規則性をもたない非結晶構造であり、磁壁の移動を妨げる粒界が存在しないため磁気異方性が限りなく零に近く、高周波での比透磁率が高く磁心損失が小さいため良好な磁気特性を有することが知られている。鉄系非結晶磁性材料は、熱処理をすることである温度以上で結晶核が生成され結晶化が起こり、またそれ以下の温度でも焼鈍によって原子の再配列が起こり、より安定なアモルファス構造へ変化することが知られている。しかし、この構造変化による鉄系非結晶磁性材料の基礎特性評価は行われていない。

本研究では、鉄系非結晶磁性材料の熱処理条件を熱処理保持時間と保持時間別に検討を行い、比透磁率  $\mu_r$ 、磁心損失  $P_{cv}$  から基礎特性を評価した。

### 2. 実験方法および測定方法

コア状に巻かれた鉄系非結晶磁性材料（東静工業株式会社製）に電気炉（山田電機株式会社製 型番 YF-120-SP）を用いて熱処理を行った。コア材はリボン状の鉄系非結晶磁性材料の薄帯を巻いて作製している。熱処理保持時間を1時間から4時間の間で熱処理を行い、熱処理保持温度  $T_a$  を  $320^\circ\text{C}$  から  $440^\circ\text{C}$ 、電気炉内の雰囲気は大気、冷却速度は自然冷却とした。試料に1次巻線（銅線：線径1mm）を10ターン、2次巻線（PTFE電線：線形12/0.18）を3ターン巻き鉄系非結晶磁性材料のコアを設置して各巻線をB-Hアナライザ（岩崎通信機株式会社, SY-8218）に接続し、磁心損失  $P_{cv}$  を測定した。測定条件は周波数  $f$  を  $100\text{kHz}$ 、最大磁束密度  $B_m$  を  $100\text{mT}$  とした。またインピーダンスアナライザ（HIOKI社製 型番 IM3570）でインダクタンス  $L$  を測定後、周波数  $f$  が  $50\text{kHz}$  の時の比透磁率  $\mu_r$  を算出した。それぞれの結果から熱処理保持時間と熱処理保持温度を検討した。

鉄系非結晶磁性材料の熱処理プロファイルの図をFig.1に示す。熱処理で使用した電気炉は急激に温度を上昇させると目標とする熱処理温度を超える（オーバーシュート）を起こす可能性があるため、 $T_a - 100^\circ\text{C} = T_a' ^\circ\text{C}$  まで30分程度で上昇させた後、その温度を30分間保持し、その後30分で  $T_a ^\circ\text{C}$  に温度を上昇させ熱処理温度  $T_a ^\circ\text{C}$  を保持して二段階で熱処理を行った。

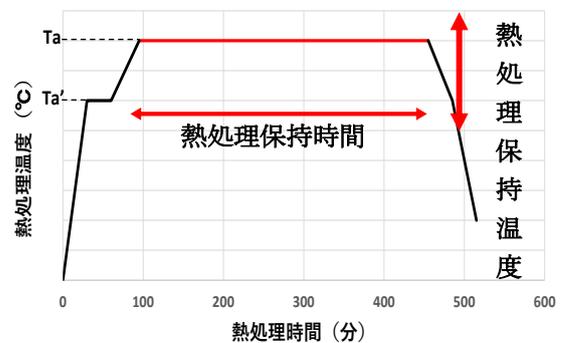


Fig.1 熱処理プロファイル

磁心損失  $P_{cv}$  は、コアの内径、外径、質量を計測することでB-Hアナライザの測定に必要な試料定数である実効磁路長  $L_e$ 、実効断面積  $A_e$ 、実効体積  $V_e$  を算出し測定した。このとき、コアはリボン状の薄帯を巻いて作製しているため、コア内部に隙間があり、計算から質量を求めると実際の質量とのズレが生じる懸念があるため、理想の質量と実際の質量の割合から占積率を算出した。その算出した値から実効断面積  $A_e$  と実効体積  $V_e$  に修正を加えて算出し測定を行った。

比透磁率  $\mu_r$  は、コアの内径と外径から平均磁路長  $l$  と断面積  $S$  を求め、インダクタンス  $L$  を測定することで算出した。

Fundamental characterization of iron-based amorphous magnetic materials  
— Comparison of basic properties with different heat treatment holding time and holding temperature —

Yuta KIMURA, Shouta YAZAWA, Kiyozumi NIIZUMA

### 3. 実験結果

鉄系非結晶磁性材料の磁心損失 $P_{cv}$ の温度保持時間別の熱処理保持温度の依存性の図をFig.2.1に,比透磁率 $\mu_r$ の温度保持時間別の熱処理保持温度の依存性をFig.2.2に示す。本研究は,企業との共同研究であるため詳細な数値は記載しないものとする。

Fig.2.1は縦軸が磁心損失 $P_{cv}$ ,横軸が熱処理保持温度である。Fig.2.1の結果から,磁心損失 $P_{cv}$ は熱処理温度が上昇すると熱処理保持時間に依存することなく磁心損失 $P_{cv}$ が320℃~360℃で減少していき,360℃~390℃あたりで増加し,400℃~420℃でまた減少し,440℃でまた増加していく傾向であった。また結果から,熱処理保持時間が1時間の時に最小となる熱処理保持温度は420℃であった。熱処理保持時間が2時間の時に磁心損失 $P_{cv}$ が最小となる熱処理保持温度は410℃であった。熱処理保持時間が3時間の時に磁心損失 $P_{cv}$ が最小となる熱処理保持温度は410℃であった。熱処理保持時間が4時間の時に磁心損失 $P_{cv}$ が最小となる熱処理保持温度は400℃であった。また磁心損失 $P_{cv}$ が最小となる熱処理条件は,熱処理保持時間が1時間の時の熱処理保持温度は420℃の時であった。

Fig.2.2は,縦軸が比透磁率 $\mu_r$ ,横軸が熱処理保持温度である。Fig.2.2の結果から,比透磁率 $\mu_r$ は熱処理温度が上昇すると熱処理保持時間に依存することなく340℃~390℃もしくは400℃まで増加していき,410℃~440℃までは減少する傾向であった。また結果から,熱処理保持時間が1時間の時に比透磁率 $\mu_r$ が最大となる熱処理保持温度は400℃であった。熱処理保持時間が2時間の時に比透磁率 $\mu_r$ が最大となる熱処理保持温度は400℃であった。熱処理保持時間が3時間の時に比透磁率 $\mu_r$ が最大となる熱処理保持温度は390℃であった。熱処理保持時間が4時間の時に比透磁率 $\mu_r$ が最大となる熱処理保持温度は390℃であった。また比透磁率 $\mu_r$ が最大となる熱処理条件は,熱処理保持時間が2時間の時の熱処理保持温度は400℃の時であった。

これらの結果から最適な熱処理条件は磁心損失 $P_{cv}$ が低く,比透磁率 $\mu_r$ が最大となる熱処理保持時間が2時間の時の熱処理保持温度は400℃の時であった。

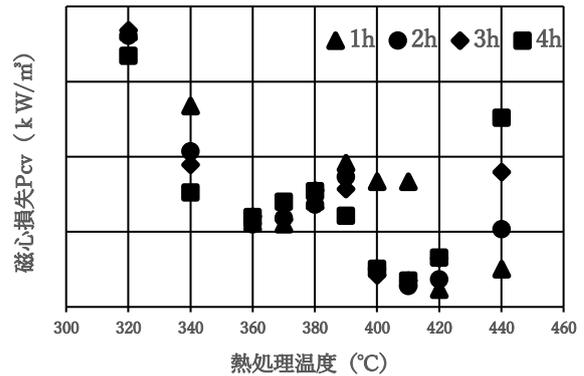


Fig.2.1 磁心損失 $P_{cv}$ の温度保持時間別の熱処理保持温度の依存性

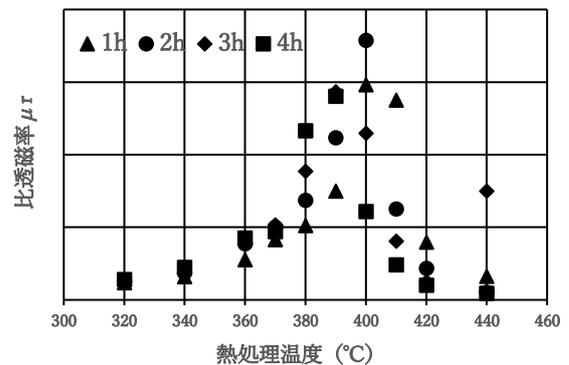


Fig.2.2 比透磁率 $\mu_r$ の温度保持時間別の熱処理保持温度の依存性

### 4. まとめ

本研究では,鉄系非結晶磁性材料の熱処理条件を磁心損失 $P_{cv}$ と比透磁率 $\mu_r$ の2つの基礎特性から最適な熱処理条件を検討した。結果から磁心損失 $P_{cv}$ が最小となる熱処理条件は,熱処理保持時間が1時間の時の熱処理保持温度は420℃の時であった。比透磁率 $\mu_r$ が最大となる熱処理条件は,熱処理保持時間が2時間の時の熱処理保持温度は400℃の時であった。これらのことから最適な熱処理条件は磁心損失 $P_{cv}$ が低く,比透磁率 $\mu_r$ が最大となる熱処理保持時間が2時間の時の熱処理保持温度は400℃の時であった。

### 参考文献

- 1)日立金属株式会社 山内清隆:「アモルファス金属及びファインメットの応用について」P5-2-1—P5-2-7
- 2)新宮 秀夫:「アモルファス金属の結晶化」15-7 (1980) P491-492
- 3)佐藤 俊:「アモルファス金属の性質と応用」実務表面技術,(1982) 第28巻11号,P556-562