

高保磁力を有するサマリウム鉄系希土類磁石の磁気特性評価 Magnetic property measurements of high-coercivity Sm-Fe magnets

千葉工大・工
東北大・NICHe
山形大・理工/東北大・NICHe
東北大・金研

齋藤哲治、三好博也
秋屋貴博
加藤宏朗
高橋弘紀

T. Saito¹, H. Miyoshi¹, T. Akiya², H. Kato^{2,3} and K. Takahashi⁴

¹ Department of Mechanical Science and Engineering, Chiba Institute of Technology

² New Industry Creation Hatchery Center, Tohoku University

³ Department of Applied Mathematics and Physics, Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

⁴ Institute for Materials Research, Tohoku University

1. はじめに

高性能な Nd-Fe-B 磁石が開発されて以来、ハード磁性材料の研究は主に Nd-Fe-B 磁石や Sm-Fe-N 磁石などの希土類磁石を中心に進められており、またこれらの希土類磁石の生産量も年々増加している。これらの希土類磁石は Nd₂Fe₁₄B 金属間化合物および Sm₂Fe₁₇N₃ 金属間化合物からなる希土類永久磁石である。最近、希土類金属 (R) と 3d 遷移金属の新しい金属間化合物として R₃Fe₂₉ 型や R₅Fe₁₇ 型などの金属間化合物が見出され、これらの金属間化合物が新しい希土類永久磁石の候補として注目されている^(1,2)。そこで、希土類金属と遷移金属の合金として Sm-Fe 合金を選び、急冷凝固法により作製した Sm₃Fe₂₉ 金属間化合物や Sm₅Fe₁₇ 金属間化合物の構造と磁気特性について調べたところ、急冷凝固法により作製した Sm-Fe アモルファス合金急冷薄帯に適切な熱処理を施した試料において Sm₅Fe₁₇ 金属間化合物が生成し、Nd-Fe-B 磁石や Sm-Fe-N 磁石を超える非常に高い保磁力を示すことがわかってきた⁽³⁻⁵⁾。

本研究では、急冷凝固法により作製した Sm-Fe 合金急冷薄帯に熱処理を施した高保磁力を有する試料の磁気特性、特に保磁力について調べた。

2. 実験方法

アルゴン雰囲気中高周波溶解法により作製した Sm_{22.5}Fe_{77.5} 合金を原料に用いた。得られた合金を底にノズルを有する石英管に入れた後アルゴン雰囲気中高周波溶解を行い溶湯とし、得られた溶湯をノズルから銅ロール上に噴射することにより急冷凝固した。得られた急冷薄帯はタンタル箔に包み込んだ後、アルゴン雰囲気中 773–1173K で 1 時間熱処理を行った。

得られた試料の結晶構造は X 線回折装置で、試料の組織は電子顕微鏡 (TEM) で、試料の磁気特性は最大磁界 25kOe の振動試料型磁力計 (VSM) で測定した。また、高い保磁力を有する試料については、東北大学金属材料研究所附属強磁場超伝導材料研究センターにおいて最大磁界 100kOe で磁気特性を評価した。

3. 結果および考察

Fig.1 に急冷凝固法で作製した Sm-Fe 合金急冷薄帯および熱処理を施した試料の X 線回折図を示す。また、急冷凝固法で作製した Sm-Fe 合金急冷薄帯および急冷凝固法で作製した Sm-Fe 合金急冷薄帯に 773K で熱処理を施した試料はアモルファスであるが、873K で熱処理を施した試料の X 線回折図には Sm₅Fe₁₇ 相と SmFe₃ 相の小さな回折ピークが見られる。しかし、熱磁気また、973K および 1073K で熱処理を施した試料の X 線回折図にも Sm₅Fe₁₇ 相と SmFe₃ 相の鋭い回折ピークが見られる。それに対して、1173K で熱処理を施した試料の X 線回折図には Sm₅Fe₁₇ 相と SmFe₃ 相の回折ピークの他に Sm₂Fe₁₇ 相の回折ピークも見られる。急冷凝固法で作製した Sm-Fe 合金急冷薄帯に熱処理を施した試料の熱磁気曲線を測定したところ、873K から 1073K で熱処理を施した試料は Sm₅Fe₁₇ 相と SmFe₃ 相からなることが確認できた。特に、973K で熱処理を施した試料は主に Sm₅Fe₁₇ 相からなることがわかった。

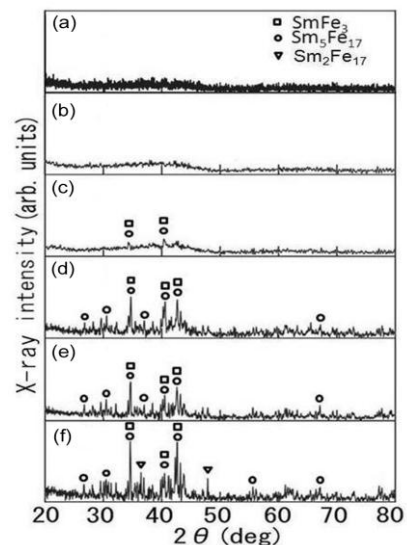


Fig. 1 X-ray diffraction patterns of (a) Sm-Fe melt-spun ribbon and that annealed at (b) 773 K, (c) 873 K, (d) 973 K, (e) 1073 K, and (f) 1173 K.

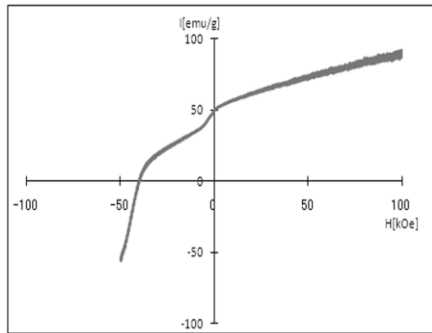


Fig. 2 Demagnetization curve of the Sm-Fe melt-spun ribbon annealed at 973 K.

The curve was measured using VSM with a maximum applied field of 100 kOe.

急冷凝固法で作製した Sm-Fe 合金急冷薄帯および熱処理を施した試料の磁気特性を VSM (最大磁界 25kOe) で測定した。急冷凝固法で作製した Sm-Fe 合金急冷薄帯はアモルファスでありほとんど保磁力を示さないが、急冷凝固法で作製した Sm-Fe 合金急冷薄帯に 873K から 1073K で熱処理を施した試料は高い保磁力を示すことがわかった。これは、これらの試料が $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$ 相からなるためであると思われる。しかし、VSM (最大磁界 25kOe) 測定で得られたヒステリシス曲線はマイナーループであり、試料の保磁力が 25kOe 以上であることしかわからなかった。

そこで、急冷凝固法で作製した Sm-Fe 合金急冷薄帯に 973K で熱処理を施した試料のヒステリシス曲線を最大磁界 100kOe の VSM (東北大学金属材料研究所附属強磁場超伝導材料研究センター) で測定した。その結果を Fig.2 に示す。急冷凝固法で作製した Sm-Fe 合金急冷薄帯に 973K で熱処理を施した試料は 40kOe という非常に大きな保磁力を示すことがわかった。また、得られた試料は残留磁化 50emu/g を示すこともわかった。しかし、得られた試料のヒステリシス曲線には kink (肩落ち) が見られた。これは急冷凝固法で作製した Sm-Fe 合金急冷薄帯に 973K で熱処理を施した試料がハード磁性相である $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$ 相の他に、保磁力が低い SmFe_3 相も幾分含むためであると思われる。

現在、急冷凝固条件および熱処理条件等の検討を行い、保磁力が低い SmFe_3 相も幾分含まない高特性の Sm-Fe 磁石の開発に取り組んでいる。

4. まとめ

急冷凝固法で作製したアモルファスの Sm-Fe 合金急冷薄帯に適当な熱処理を施すと $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$ 相が析出して大きな保磁力を示すことがわかった。Sm-Fe 合金急冷薄帯に 973K で熱処理を施した試料の保磁力は通常の VSM 測定では求まらなかったが、最大磁界 100kOe の VSM 測定により 40kOe であることがわかった。

5. 謝辞

本研究の一部は文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (S1002001) の研究費によって行われた。

参考文献

- [1] J. M. Cadogan, H. S. Li, A. Margarian, J. B. Dunlop, D. H. Ryan, S. J. Collocott, and R. L. Davis, *J. Appl. Phys.*, **76**, 6138 (1994).
- [2] F. J. G. Landgraf, G. S. Schneider, V. Villas-Boas, and F. P. Missell, *J. Less-Common Met.*, **163**, 209 (1990).
- [3] T. Saito, *J. Alloys Compd.*, **440**, 315-318 (2007).
- [4] T. Saito, *J. Appl. Phys.*, **101**, 09K517 (2007).
- [5] T. Saito and M. Ichiharada, *Scripta Mater.*, **57**, 457 (2007).