
ソフトフェライト研究 10 年の歩み

Recent Activities in Research of Soft Ferrite

後藤 聡志(Satoshi Gotoh)

要旨：

新素材事業展開の一環として、家電製品や進展の著しい民生用電子機器向けのソフトフェライト事業に参入した。それにとまって小型・薄型化，高周波化，高性能化に対応できる低損失 MnZn フェライトを 4 材質，高透磁率 MnZn フェライトを 5 材質開発した。さらに精密雰囲気制御ローラーハース炉を開発した結果，従来のプッシャー炉で製造される製品よりも高特性と高生産性を実現した。

Synopsis：

Four kinds of low loss materials and five kinds of high permeability materials of MnZn ferrite have been newly developed to establish a new business field of soft ferrites, which are used in electric equipment and systems having needs of smaller and thinner size and higher quality at higher frequencies. Newly developed roller hearth kilns, in which the temperature and the atmosphere can be precisely controlled to sinter MnZn ferrite, have contributed to the highest quality and productivity of the products compared with the conventional pusher type kilns.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Recent Activities in Research of Soft Ferrite



後藤 聡志
Satoshi Gotoh
技術研究所 化学研究
部門 主任研究員(課
長)・工博

要旨

新素材事業展開の一環として、家電製品や進展の著しい民生用電子機器向けのソフトフェライト事業に参入した。それにともなって小型・薄型化、高周波化、高性能化に対応できる低損失 MnZn フェライトを 4 材質、高透磁率 MnZn フェライトを 5 材質開発した。さらに精密雰囲気制御ローラーハース炉を開発した結果、従来のプッシャー炉で製造される製品よりも高特性と高生産性を実現した。

Synopsis:

Four kinds of low loss materials and five kinds of high permeability materials of MnZn ferrite have been newly developed to establish a new business field of soft ferrites, which are used in electric equipment and systems having needs of smaller and thinner size and higher quality at higher frequencies. Newly developed roller hearth kilns, in which the temperature and the atmosphere can be precisely controlled to sinter MnZn ferrite, have contributed to the highest quality and productivity of the products compared with the conventional pusher type kilns.

1 はじめに

ソフトフェライトは、金属系軟磁性材料に比べて比抵抗が格段に高く数 kHz から数百 MHz の間で優れた軟磁気特性を示し、高周波トランス、チョークコイル、ノイズフィルターなどのコアに用いられている。ソフトフェライトの需要拡大は日本国内では停滞気味であるが、家電製品やパソコン、携帯電話などの進展が著しい民生用電子機器向けの需要は世界的に見てなお増加の傾向にあり、さらなる低コスト化、小型・薄型化、高周波化、高性能化が望まれている。

このような趨勢の中で当社は新素材事業展開の一環として、川鉄マグネックス(株)(現川鉄フェライト(株))水島工場において 1990 年 10 月に MnZn 系のソフトフェライト事業へ進出した。この事業に進出した背景には製鉄過程で生じる豊富な資源(N₂ガス、純水)と高純度酸化鉄を利用できることが挙げられる。この事業化に必要な MnZn フェライトの新材質と製造プロセスの開発を川鉄フェライト(株)と共同で、当社ハイテク研究所新素材研究センター(現技術研究所化学研究部門)において行った。現在までにスイッチング電源用低損失材を 4 材質、高透磁率材を 5 材質¹⁾として高特性と高生産性が両立する精密雰囲気制御ローラーハース炉²⁾を開発した。

2 電源用低損失 MnZn フェライトの開発

各種電子機器で使用されているスイッチング電源は小型化・高性能化を軸に技術革新が進んでおり、トランス部の主要構成材料であるソフトフェライトコアも 100 kHz 程度以上の高周波での低損失化が技術開発の中心となっている³⁾。

MnZn フェライトの鉄損は履歴損、渦電流損および残留損から構成される。スイッチング周波数が 100 kHz~1 MHz と幅広くなると各周波数に対してそれぞれの割合が異なってくる。このことを考慮し、100 kHz~500 kHz を対象にした汎用低損失材 MB3⁴⁾、MB4⁵⁾および MBT1 と 500 k~1 MHz を対象にした高周波対応低損失材 MC2 を開発した。各周波数域に対して前記鉄損要因に及ぼす組成、微量添加物の影響と結晶組織制御を中心とする製造条件の影響を定量的に把握し、以下の 5 点の因子を最適化して低損失化を図った。

- (1) コアの平均結晶粒径と粒径分布
- (2) コアの焼結密度と空孔分布
- (3) 微量添加物による結晶粒界への高抵抗相の形成
- (4) 組成と成分の均一性
- (5) 残留応力

Fig. 1 に MB3、MB4 および MBT1 の標準リングコアでの鉄損温度特性を開発前の市販最高級材質と比較して示す。また Fig. 2 に MC2 の鉄損温度特性を示す。MB3 により約 20%、MB4 によりさらにその約 20% の鉄損改善が達成されている。また MBT1 は、常温から 100°C 付近までの鉄損の温度依存性を大幅に改善し、100°C

* 平成10年10月14日原稿受付

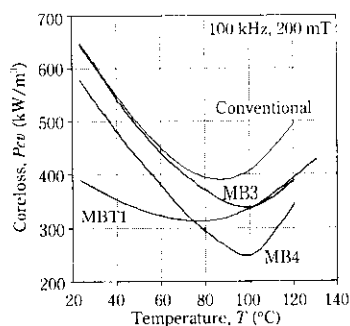


Fig. 1 Temperature dependence of core loss at 100 kHz and 200 mT of low loss materials, MB3, MB4 and MBT1 in comparison with the highest quality core manufactured by a conventional method

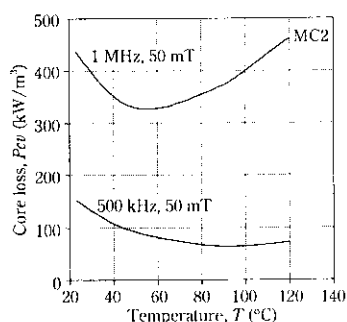


Fig. 2 Temperature dependence of core loss at 500 kHz and 1 MHz and 50 mT of MC2 developed for high frequency use

における鉄損を MB3 程度に維持し、室温近傍では MB3 の約 60% に低減させた材質である。常温から 100°C 付近までの範囲において低鉄損を維持しているため、広い実使用温度領域で低損失のトランスが実現でき、省エネルギーの社会的ニーズを満足できる材質である。

3 高透磁率 MnZn フェライトの開発

MnZn フェライトはソフトフェライトの中で最も初透磁率を高くすることができ数 MHz 程度までの比較的low周波域で使用される。この周波数域で使用されるノイズフィルターやデジタル通信機器に使用されるパルストランスのコアとして、周波数特性を改善した高透磁率材 MA055～MA150 (比初透磁率 5 500～15 000) を開発した。Fig. 3 に各種高透磁率材の初透磁率の周波数特性を示す。

フェライトコアの初透磁率を高めるには磁気異方性と磁歪が 0 になるような組成を選ぶとともに、結晶粒径を大きく均一にして動きやすい磁壁を形成すると同時に磁壁移動を妨げる結晶内部の欠陥、空孔、不純物などをできるだけ低減することが必要である。特に使用する原料は不純物のできるだけ少ないものを選ぶことが重要となり、当社化学事業部が開発した高純度酸化鉄 KH-CPW[®]を使用している。また初透磁率の周波数特性を向上させ、より高周波まで高透磁率を維持するには、高周波化にともなう磁気損失を抑える必要がある。そのため微量添加物を結晶粒界に析出させ、粒界の高抵抗化で渦電流損を減少させて周波数特性の改善を図った。添加物のみを増加し、これ以外の製造条件を一定にした場合、透磁率の値が低下するため、生産性を考慮すると両者の妥協点で製造条件を決定することになる。この問題は次章で述べる精密雰囲気制御ローラーハース法の導入により解決することができ、前章で述べた低損失材と

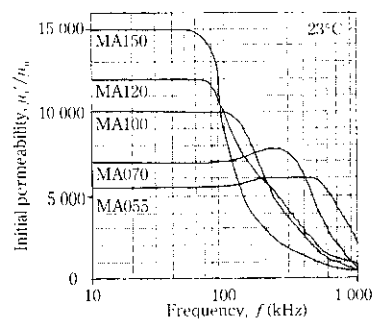


Fig. 3 Frequency dependence of initial permeability at 23°C high permeability materials, MA055～MA150

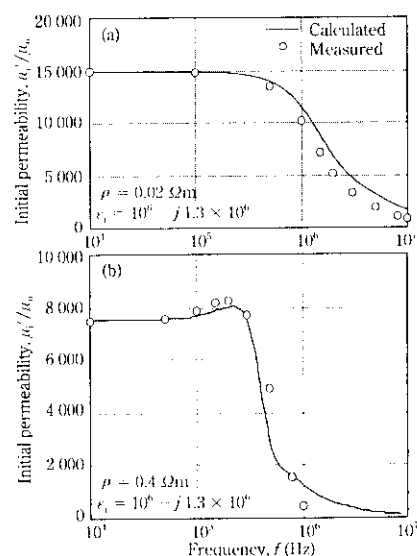


Fig. 4 Frequency dependence of the complex initial permeability, μ_i'/μ_0 , measured on two toroidal cores having the cross sectional radius of 2.5 mm with (a) $\mu_i/\mu_0 = 15\,000$ and $\rho = 0.02\,\Omega\cdot\text{m}$ and (b) $\mu_i/\mu_0 = 7\,500$ and $\rho = 0.4\,\Omega\cdot\text{m}$ in comparison with the calculated curves under the condition of permittivity, $\epsilon/\epsilon_0 = 10^6 - j1.3 \times 10^6$

同一焼成条件での短時間同時焼成を実現した。

MnZn フェライトは初透磁率を高くできるものの、低周波域で磁気緩和や共鳴現象を起こすので限界周波数の向上が常に望まれている。そこで MnZn フェライトの初透磁率の周波数依存性を、試料の形状とマクロな電磁気特性から導かれるコア内の電磁場挙動を用いて詳細に解析した結果、従来から原因とされてきた自然共鳴や磁壁共鳴ではなく、コア内の電磁波の寸法共鳴現象として説明できることを見出した³⁾。MnZn フェライトの複素初透磁率 μ_i'/μ_0 の緩和型あるいは共鳴型の周波数依存性は、Fig. 4 に示すようにコアの寸法、比抵抗、誘電率を考慮すれば Maxwell 方程式の厳密解から導くことができ、測定値をよく再現できる。これらの解析で初透磁率の周波数依存性を決定している大きな要因は、多結晶 MnZn フェライトの結晶組織に起因する極めて大きな誘電率であることがわかり、誘電率低減が透磁率の周波数特性改善に最も効果的であることを示した。

4 精密雰囲気制御ローラーハース炉の開発

MnZn フェライトの焼成時にはバッチ式箱型炉と連続式トンネル

炉があり、生産性の高い連続炉としてはプッシャー炉が従来から使用されている。プッシャー炉は焼成するコアを載せた高強度の耐火物台板を並べて入り口から油圧シリンダで押し込む方式である。精密な雰囲気制御が可能であるが台板強度の限界のために炉長が制限され、焼成も1日程度かかり時間短縮にも限界があった。一方、ローラーハース炉は回転するセラミックスローラー上を軽量台板が進む方式で生産能力が高く、陶磁器などの焼成に使用されていた。しかし精密な温度と雰囲気酸素濃度の制御が必要な MnZn フェライトの焼成には不向きであるとされていた。

そこで当社と川鉄フェライト(株)は MnZn フェライトの高特性と高生産性を満たす、テスト炉を含む3基のローラーハース炉の開発^{8,9)}を行い、以下のような性能と製品特性を得た。

- (1) 新規に開発した精密雰囲気制御ローラーハース炉の焼成時間は11hであり、従来のプッシャー炉で要した焼成時間の半分である。
- (2) 1基当たりの生産能力が従来の70 t/month から100 t/month

に増加した。

- (3) 低損失材と高透磁率材の2種の異なる MnZn フェライト材質を、焼成条件の切替なしに同時積載して焼成することが可能となった。
- (4) 最新のローラーハース炉を用いた量産工程で、低損失材 MB4 では鉄損 $P_{cv} = 270 \text{ kW/m}^3$ (100 kHz, 200 mT, 95°C) を、高透磁率材 MA100 では100 kHz まで初透磁率 $\mu_i/\mu_0 = 10\,000$ を達成した。

5 おわりに

当社がソフトフェライト事業参入を決定してから10年あまりが経過し、その間の研究開発状況を紹介した。今後さらに低損失、高透磁率、高周波化といった要求に応え得る材料開発を行い、製造・販売部門の川鉄フェライト(株)および川鉄フェライトタイランド(株)を通じて提供していく予定である。

参考文献

- 1) 川鉄フェライト(株): フェライトコア (1997年カタログ)
- 2) 川崎製鉄(株), (株)ノリタケカンパニー: 日本国特許 2109469
- 3) 平賀貞太郎, 奥谷克伸, 尾島輝彦: 「フェライト」, (1986), 109-112, [丸善]
- 4) 成谷 哲, 古松秀格, 山崎正勝, 奥谷克伸, 藤原煌三: 川崎製鉄技報, 24(1992)2, 150-151
- 5) 小日置英明, 成谷 哲, 池田幸司: 川崎製鉄技報, 29(1997)4, 43-44
- 6) 津崎昌夫, 高木堅志, 吉川文明, 島崎守美: 川崎製鉄技報, 24(1992)2, 148-149
- 7) 後藤聡志, 河野貴史, 曾我直樹: 川崎製鉄技報, 29(1997)4, 32-36
- 8) S. Kijima, K. Arie, K. Gotoh, S. Nakashima, H. Kobiki, T. Kawano, N. Soga, and S. Gotoh: J. Phys. IV France, (1997) Colloque C1, 65-55 (ICF-7 Bordeaux, September (1996))
- 9) 来島慎一, 有江清詩, 後藤国宏: 川崎製鉄技報, 29(1997)4, 215-219