

ソフトフェライト焼結体の接合と磁気特性

相山 英明, 田中 大之, 宮腰 康樹, 高橋 英徳, 中嶋 快雄

Joint Method of Sintered Soft Ferrite and Influence on Magnetic Properties

Hideaki AIYAMA, Hiroyuki TANAKA, Yasuki MIYAKOSHI
Hidenori TAKAHASHI, Yosio NAKAJIMA

キーワード：ソフトフェライト焼結体, 接合, 磁気特性, 携帯型交流極間式磁化器

1. はじめに

一般に、磁気コア用磁性材料としては、けい素鋼板やパーマロイなどの合金磁性材料が広く使用されているが、これらは比抵抗が小さいため使用周波数が高くなるに従い渦電流が大きくなり、エネルギー損失と発熱の問題が生じる。一方、フェライトは酸化物であるため比抵抗が大きく、渦電流損失が少ないという特徴を有している。その中でも、ソフトフェライトは、高透磁率及び低保磁力の軟磁気特性を有するために、磁気テープ、スイッチング電源など様々な製品に用いられている。しかし、ソフトフェライト材は焼結により作製されるため、その製造方法及び材料強度の点から、大型製品や複雑な薄型形状の製品への適用は困難である。

本研究はソフトフェライト焼結体を大型製品へ適用するために接着、ろう付け及びレーザー溶接の方法により接合し、接合方法の違いによる磁気特性の変化を検討した。

大型製品としては、磁粉探傷試験装置の一つである携帯型交流極間式磁化器を対象とした。この装置は、鉄道の車軸や鋼構造溶接部の表面きずの検出に用いられているものであり、ケイ素鋼板の鉄心にコイルを巻きそれに電流を流すことにより磁束を発生させ、その磁束を試験体に与え検査を行うものである。重さが3 kg以上あるため作業員の負担が大きくなるようになっており、装置の軽量化が望まれている。そのため、この鉄心にケイ素鋼板の替わりとして、ソフトフェライトの適用を試みた。

2. 実験方法

ソフトフェライト焼結体に対し、レーザー溶接、ろう付け及び接着により接合性の検討を行った。それぞれの接合条件を以下に示す。

2.1 レーザ溶接

- (1) 溶接機：CO₂ レーザ, 三菱電機製 (ML806T3)
- (2) 出力：200~1500W, 連続発振, パルス発振, ジャストフォーカス, デフォーカス
- (3) 溶接速度：1~2 m/min
- (4) 予熱温度：300℃, 後熱：3分間治具上で放熱

2.2 ろう付け

- (1) ろう材：Ni ろう (箔), 厚さ0.05 mm, 加重：0.5N,
- (2) ろう付け温度：1175 °C, 1分間保持 (真空中)
- (3) 冷却：炉冷
- (4) 表面処理：Pt 蒸着, Ni 無電解めっき

2.3 接着

- (1) セルロース系接着剤, 導電テープ

2.4 接合強度測定

接合強度測定用のろう付け試験体の概略図を図1に示す。接合強度の測定には板状の試料を用いて行った。試料の寸法及び接合方法は次の通りである。

- (1) 供試体：10×40×2mm, 接合面積：10×10mm
- (2) 接合方法：ろう付け3種類 (ろう材：1~3枚) 及びセルロース系接着剤の計4種類

事業名：一般試験研究

課題名：ソフトフェライト焼結体の接合技術に関する研究

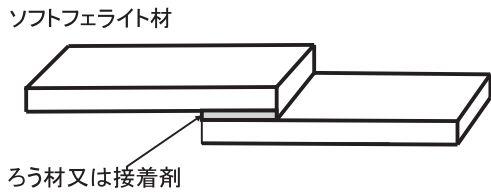


図1 接合用試験体の概略図

- (3) 測定機：デイズ社（ボンドテスターシリーズ4000）
- (4) 荷重速度：0.1mm/sec

2.5 磁化曲線の測定

図2に示す形状のソフトフェライト焼結体（JFEソフトフェライト社製（MB T1）、外径：50mm、内径：30mm、厚さ：5mmのリング状試料）を半割にし、ろう付け及び接着により接合を行った。

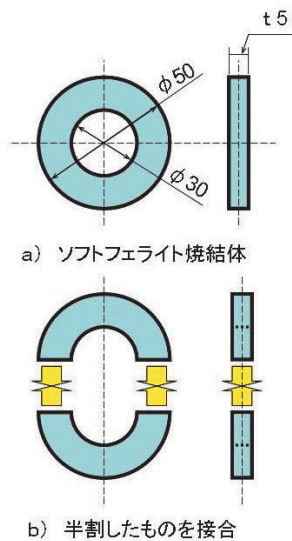


図2 磁化曲線用試料の概略図

図3にリング状試験体のろう付けに用いた治具を示す。

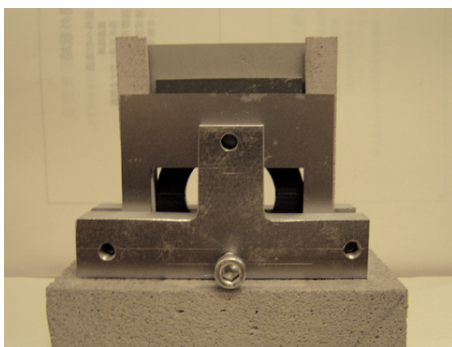


図3 ろう付け用治具

これに半割のソフトフェライト試料及びその間にろう材を挟み2.2項の条件でろう付けを行った。ろう付け及び接着により接合したリング状試験体を用い磁化曲線の測定を行った。磁化曲線の測定には、振動試料型磁力計（VSM）や超伝導量子干渉型磁束計（SQUID）を用いる方法や一般の磁束計を用いた電磁誘導法があるが、本研究では電磁誘導法を用いた。その原理を図4に示す。

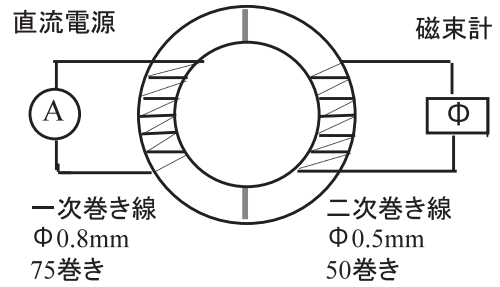


図4 磁化曲線測定原理

測定条件は以下の通りである。

- (1) 一次巻き線：φ0.8mmのフォルマル線，75巻き
- (2) 磁化電流：0～12A
- (3) 直流電源：(株)ケンウッドティ・エム・アイ（SP60-30）
- (4) 二次巻き線：φ0.5mmのフォルマル線，50巻き
- (5) 磁束計：電子磁気工業(株)(FM-3001)

2.6 大型製品への適用

用いたソフトフェライト形状は厚さ5mm、幅25mm、一辺60mmのL形のを接合しコの字型にしたものを作製した。それを5枚積層して断面が25×25mmの磁心とし、コの字形の両端に、φ0.8mmのフォルマル線を片側200巻きして磁化器とした。

3. 結果及び考察

3.1 レーザ溶接

図5にレーザー溶接の結果を示す。左上はレーザー出力1500W、ジャストフォーカス、溶接速度1m/secで予熱なしのものである。ソフトフェライト母材が大きく割れている。右上はレーザー出力700W、ジャストフォーカス、溶接速度2m/secで予熱温度200℃のものであり、左下はレーザー出力400W、ジャストフォーカス、溶接速度2m/secで予熱温度200℃のものである。これらも予熱のないものよりは割れの大きさ

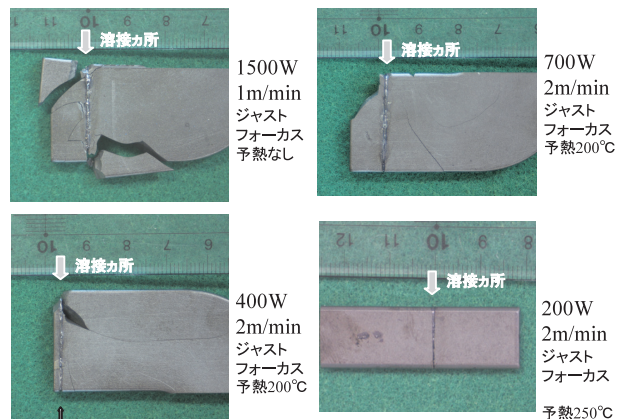


図5 レーザ溶接結果

は小さくなっているが依然母材に割れが生じている。右下はさらに出力を200Wと下げ、予熱温度を250℃としたものである。この場合は、割れは認められなかったが溶け込み深さが表面から約1mm程度であった。その他にレーザービームをデフォーカスとし溶接を行ったが、出力200W、予熱温度250℃の条件でも割れが生じた。そこで、予熱温度を300℃とし、出力400W、溶接速度2m/min、ジャストフォーカスで、5mm厚の試料にレーザー溶接を行った。これより、約3mmの溶け込み状況を確認できた。ただし、母材部左側に熱応力によると思われる割れが認められた。その結果の断面顕微鏡写真を図6に示す。現状では300℃以上の予熱を行うことは困難であり、レーザー溶接による接合は断念した。

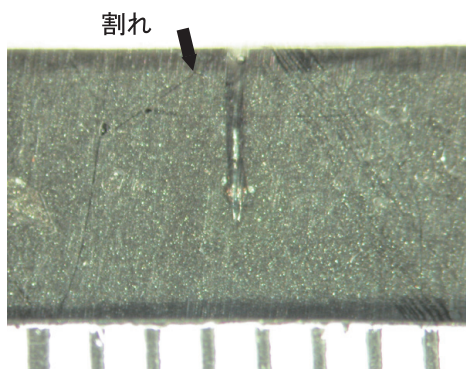


図6 レーザ溶接による溶込み状況

3.2 接合強度の測定

接合強度の結果を図7に示す。Niろうの厚さが厚くなる

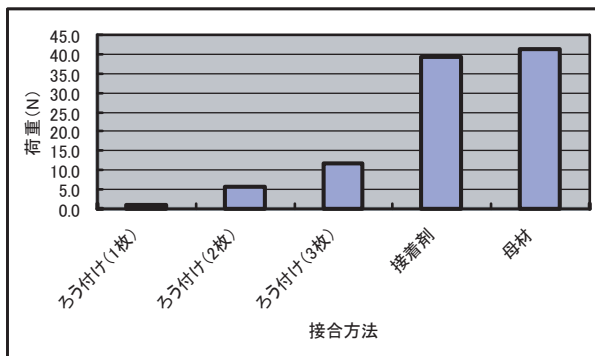


図7 接合強度結果

にしたがい接合強度も大きくなっている。ただし、Niろう3枚でろう付けしたものは強度のバラツキが大きく手で軽く曲げた程度で割れるものも生じた。これは、ろう付けによる残留応力の影響と思われる。接合後、割れた状態の試験体を図8に示す。このことから、磁化曲線測定用試料のろう付け条件として、ろう材の枚数は2枚で行った。

また、接着剤による接合強度は剥離せず母材部で破断した。このことから、1cm²の接着面積があれば十分な接合強度が得られることが分かった。

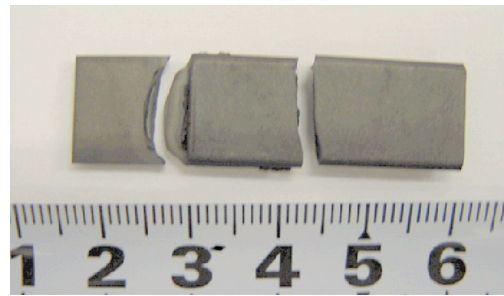


図8 接合残留応力による割れ状況

3.3 磁化曲線の測定

外径50mm、内径30mm、厚さ5mmの円盤状試料について、半割しないもの、ろう付け2種類及び接着2種類について、磁化曲線を測定した。図9にその結果を示す。横軸が磁界で縦軸が磁束密度である。半割しないものは60~70A/mの磁界で磁気飽和の傾向を示し、飽和磁束密度の大きさは約0.65T、最大透磁率は 9×10^{-3} H/mである。

市販の接着剤で接合したものが、接合したものの中で最も磁気特性がよく、200~300A/mの磁界で磁気飽和の傾向を示し、飽和磁束密度の大きさは約0.5T、最大透磁率は 3×10^{-3} H/mであり、半割しないものの約1/3であった。

導電テープ及びろう付けは600A/mの磁界でも磁気飽和の傾向が認められなく、最大透磁率は $0.4 \sim 0.5 \times 10^{-3}$ H/mである。ろう付けの表面処理として白金蒸着とNiめっきの2種類の処理を行ったが、表面処理の違いによる磁気特性の変化は認められなかった。

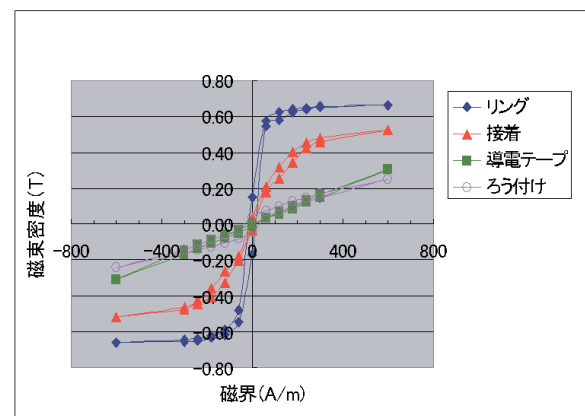


図9 各種接合方法による磁化曲線

3.4 大型製品への適用

今回の接合実験により、最も透磁率が高くかつ接合強度も大きかったセルローズ系接着材による接合方法を用いて磁心を作製した。これを用いてAC100Vで磁気吸引力を測定したところ、6kgの鋼板を持ち上げることができ(59Nの吸引力)、JISの性能(44N以上の吸引力)を満足することがで

きた。吸引力の測定の様子を図10に示す。しかし、試作した磁化器は吸引力は満足できたが、フェライトのインダクタンスがケイ素鋼板より低いため電流が流れ過ぎ発熱する問題が生じた。今後、線形を太く、巻き数を増やすか、巻き線の材質をアルミニウム等に変えるなどの検討が必要である。

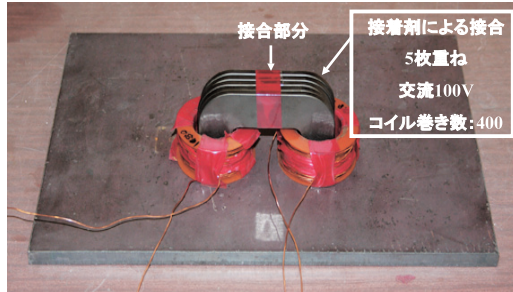


図10 試作器による吸引力の測定

4. まとめ

ソフトフェライト焼結体を用いて種々の接合を行い、磁気特性の測定を行い大型製品への適用を行った。その結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) CO₂ レーザ溶接（出力400W，溶接速度 2 m/min）では約 3 mm の溶込みが認められたが，溶接近傍に割れが発生し，接合不能であった。
- (2) ろう付けは白金蒸着あるいは Ni めっき処理を行うことにより接合することができた。
- (3) セルローズ系接着剤により接合したものが最も高い透磁率を示し，半割していないものの約 1/3 であった。
- (4) 導電テープ及びろう付けの透磁率は接合していないものの 10 数分の 1 であり，両接合方法とも，600 A/m の磁界でも磁気飽和の傾向が認められなかった。
- (5) 接着接合したものを携帯型交流極間式磁化器の磁心に適用したところ吸引力は満足できたが電流の流れすぎによる発熱の問題が生じた。今後の課題として，線形を太く，巻き数を増やすか，巻き線の材質をアルミニウム等に変えるなどの検討が必要である。

謝辞

本研究において，レーザ溶接に関する実験は苫小牧テクノセンターの御協力をいただきました。関係者にこの場をかりて感謝申し上げます。

引用文献

- 1) (株)日本非破壊検査協会：磁粉探傷試験実技参考書，(2001)