

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-88970

(P2004-88970A)

(43) 公開日 平成16年3月18日(2004.3.18)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H02K 1/04	H02K 1/04 B	5H002
H01F 27/24	H02K 1/18 B	
H01F 27/245	H02K 1/18 E	
H02K 1/18	H01F 27/24 Q	
	H01F 27/24 A	
審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 11 頁)		

(21) 出願番号 特願2002-249890 (P2002-249890)
 (22) 出願日 平成14年8月29日 (2002.8.29)

(71) 出願人 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
 (74) 代理人 100075096
 弁理士 作田 康夫
 (72) 発明者 金田 潤也
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
 株式会社日立製作所日立研究
 所内
 (72) 発明者 天城 滋夫
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号
 株式会社日立製作所日立研究
 所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 積層鉄心とそれを用いた回転電機およびトランス

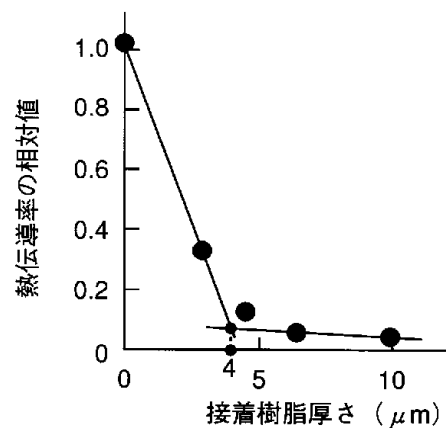
(57) 【要約】

【課題】電磁鋼板間の接着強度および電気絶縁性を確保しつつ、積層方向の熱伝導性能を改善した積層鉄心を提供する。

【解決手段】電磁鋼板を積層してなる鉄心において、電磁鋼板間に少なくとも有機物からなる接着層が存在し、有機物接着層の平均厚さが4 μm 以下であることを特徴とする。又は有機物は硬化反応前の流動性が必要とされる温度での粘度が1.0 Pa \cdot s以下とする。若しくは電磁鋼板の板厚が0.35 mm以下であることを特徴とする。

【選択図】 図1

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

表面に絶縁性皮膜が存在する電磁鋼板を積層してなる鉄心であって、電磁鋼板間に少なくとも接着性有機物からなる有機物層が存在し、該有機物層の平均厚さが $4\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする積層鉄心。

【請求項 2】

前記接着性有機物は、硬化反応前の流動性が必要とされる温度での粘度が $1.0\ \text{Pa}\cdot\text{s}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の積層鉄心。

【請求項 3】

積層鉄心の積層面に平行な方向のせん断強度が $300\ \text{kg}/\text{cm}^2$ 以上であることを特徴とする請求項 1 記載の積層鉄心。 10

【請求項 4】

積層鉄心の積層方向に平行な方向の熱伝導率が $2\ \text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以上であることを特徴とする請求項 1 記載の積層鉄心。

【請求項 5】

電磁鋼板の板厚が $0.35\ \text{mm}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の積層鉄心。

【請求項 6】

前記有機物層は無機物粒子を含むことを特徴とする請求項 1 記載の積層鉄心。

【請求項 7】

前記有機物層は真空含浸法により積層電磁鋼板間に注入されたものであることを特徴とする請求項 1 記載の積層鉄心。 20

【請求項 8】

表面に絶縁性皮膜が存在する電磁鋼板を積層してなる鉄心であって、電磁鋼板間に少なくとも接着性有機物からなる有機物層が存在し、該有機物層の平均厚さが $4\ \mu\text{m}$ 以下であり、該有機物の硬化反応前の流動性が必要とされる温度での粘度が $1.0\ \text{Pa}\cdot\text{s}$ 以下であり、かつ積層鉄心の積層面に平行な方向のせん断強度が $300\ \text{kg}/\text{cm}^2$ 以上、積層鉄心の積層方向に平行な方向の熱伝導率が $2\ \text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以上で、電磁鋼板の板厚が $0.35\ \text{mm}$ 以下であることを特徴とする積層鉄心。

【請求項 9】

電磁鋼板を積層してなる鉄心を固定子として有する回転電機であって、該固定子鉄心は請求項 1 記載の積層鉄心であることを特徴とする回転電機。 30

【請求項 10】

請求項 9 において、電磁鋼板が回転電機を構成するケース内に積層された状態で接着性樹脂が含浸されることを特徴とする回転電機。

【請求項 11】

請求項 9 において、電磁鋼板が回転電機を構成するケース内に積層されかつ巻線が施された状態で接着性樹脂が含浸されることを特徴とする回転電機。

【請求項 12】

電磁鋼板を積層してなる鉄心を有するトランスにおいて、該固定子鉄心が請求項 1 の積層鉄心であることを特徴とするトランス。 40

【請求項 13】

電磁鋼板を治具により積み重ねる工程と、
該積み重ねられた電磁鋼板を真空容器に入れ真空脱気する工程と、
該真空脱気中に前記真空容器に硬化反応前の流動性が必要とされる温度での粘度が $1.0\ \text{Pa}\cdot\text{s}$ 以下である樹脂を注入し、該樹脂を浸入、硬化させる工程と、
を有する積層鉄心の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電磁鋼板を積層してなる鉄心、それを用いる回転電機及びトランスに関する。 50

【 0 0 0 2 】

【 従来 の 技 術 】

回転電機やトランスは、その鉄心が電磁鋼板を積層した積層鉄心で構成されている。これまでは、かしめ、溶接、クランプといった方法で積層されていたが、用途や構造によってはこれらの積層手法を採用できない。まず、電磁鋼板の板厚が薄い場合、たとえば0.2 mm 以下となる場合や、6.5% ケイ素鋼板のように塑性変形が困難な電磁鋼板の場合にはかしめが困難である。また、周波数が高い場合や高電圧となる場合、かしめ、溶接、ボルト締めといった方法は電磁鋼板間を電氣的に短絡させ、鉄損が増加したり、あるいは誘導電流により装置自身を損なう恐れがある。そこで、特許第2574698号、特許第3141043号や特開平7-256206号公報、特開平7-308990号公報、特開平8-24779号公報に記載された技術のように接着樹脂で電磁鋼板を接着積層する方法が提案されている。

【 0 0 0 3 】

【 発 明 が 解 決 し よ う と す る 課 題 】

しかしながら回転電機等では、電磁鋼板を積層する接着強度だけでなく、積層鉄心の熱伝導性や電気絶縁性も重要な因子である。特に、小型化あるいは高出力化のためには冷却効率が良いことが重要となる。この観点で、特開平11-150895号に積層方向の熱伝導率を向上させた積層鉄心とその製造方法が提案されている。しかし、この方法では樹脂層の薄い鉄心を得ようとした場合、安定した熱伝導性能を得、かつ接着性を確保することは困難であると考えられる。また、特開平2001-250727号に記載されているような真空含浸法を採用した場合も適正な接着樹脂を選択しなければ樹脂が含浸されない事態が生じる。

【 0 0 0 4 】

以上、本発明は電磁鋼板間の接着強度および電気絶縁性を確保しつつ、積層方向の熱伝導性能を改善した積層鉄心を提供することを目的とする。

【 0 0 0 5 】

【 課 題 を 解 決 す る た め の 手 段 】

上記目的を解決するための手段を以下に示す。

【 0 0 0 6 】

(1) 表面に絶縁性皮膜が存在する電磁鋼板を積層してなる鉄心において、電磁鋼板間に少なくとも接着性有機物からなる有機物層が存在し、該有機物層の平均厚さが4 μ m 以下であることを特徴とする積層鉄心。

【 0 0 0 7 】

(2) 表面に絶縁性皮膜が存在する電磁鋼板を積層してなる鉄心において、電磁鋼板間に少なくとも接着性有機物からなる有機物層が存在し、該有機物は硬化反応前の流動性が必要とされる温度での粘度が1.0 Pa \cdot s 以下であることを特徴とする積層鉄心

(3) 表面に絶縁性皮膜が存在する電磁鋼板を積層してなる鉄心において、電磁鋼板間に少なくとも接着性有機物からなる有機物層が存在し、かつ積層鉄心の積層面に平行な方向のせん断強度が300 kg/cm² 以上であることを特徴とする積層鉄心。

【 0 0 0 8 】

(4) 表面に絶縁性皮膜が存在する電磁鋼板を積層してなる鉄心において、電磁鋼板間に少なくとも接着性有機物からなる有機物層が存在し、かつ積層鉄心の積層方向に平行な方向の熱伝導率が2 W/m \cdot K 以上であることを特徴とする積層鉄心。

【 0 0 0 9 】

(5) 表面に絶縁性皮膜が存在する電磁鋼板を積層してなる鉄心において、電磁鋼板間に少なくとも接着性有機物からなる有機物層が存在し、かつ電磁鋼板の板厚が0.35 mm 以下であることを特徴とする積層鉄心。

【 0 0 1 0 】

(6) 前記(1)から(5)に記載の積層鉄心で、電磁鋼板間に無機物粒子および有機物の混合物からなる接着層が存在することを特徴とする積層鉄心。

【0011】

(7) 前記(1)から(6)に記載の積層鉄心で、真空含浸法により積層電磁鋼板間に樹脂が注入されることを特徴とする積層鉄心。

【0012】

(8) 表面に絶縁性皮膜が存在する電磁鋼板を積層してなる鉄心において、電磁鋼板間に少なくとも接着性有機物からなる有機物層が存在し、該有機物層の平均厚さが $4\text{ }\mu\text{m}$ 以下、該有機物の硬化反応前の流動性が必要とされる温度での粘度が $1.0\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以下、かつ積層鉄心の積層面に平行な方向のせん断強度が $300\text{ kg}/\text{cm}^2$ 以上、積層鉄心の積層方向に平行な方向の熱伝導率が $2\text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 以上で、電磁鋼板の板厚が 0.35 mm 以下であることを特徴とする積層鉄心。

10

【0013】

(9) 少なくとも固定子鉄心が電磁鋼板を積層してなる鉄心である回転電機において、該固定子鉄心が前記(1)から(8)のいずれかからなることを特徴とする回転電機。

【0014】

(10) 前記(9)に記載の積層鉄心を有し、電磁鋼板が回転電機を構成するケース内に積層された状態で接着性樹脂が含浸されることを特徴とする回転電機。

【0015】

(11) 前記(9)に記載の積層鉄心を有し、電磁鋼板が回転電機を構成するケース内に積層されかつ巻線が施された状態で接着性樹脂が含浸されることを特徴とする回転電機。

【0016】

(12) 電磁鋼板を積層してなる鉄心を有するトランスにおいて、該固定子鉄心が前記(1)から(8)に記載の積層鉄心のいずれかからなることを特徴とするトランス。

20

【0017】

(13) 電磁鋼板を治具により積み重ねる工程と、該積み重ねられた電磁鋼板を真空容器に入れ真空脱気する工程と、該真空脱気中に前記真空容器に硬化反応前の流動性が必要とされる温度での粘度が $1.0\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以下である樹脂を注入し、該樹脂を浸入、硬化させる工程と、を有する積層鉄心の製造方法。

【0018】

接着層の有機物は、コアに必要とされる接着強度や耐熱性を満たすものであれば、エポキシ系樹脂、アクリル系樹脂、フェノール系樹脂などのいずれでもよい。特に、積層鉄心が高温に曝される場合には熱硬化性の樹脂を用いることが好ましい。有機物の粘度が小さいほど有機物の電磁鋼板への浸入状態が良好である。樹脂粘度が高い場合には、積層電磁鋼板間への樹脂の含浸が不十分となり接着面積の割合が小さくなる。そのため、接着強度や熱伝導率の低下をまねく。一方、あらかじめ表面に接着性樹脂を塗布した電磁鋼板を用いた場合、接着面積が大きくなると大きな荷重をかけても接着不良が発生し、接着強度がばらついたり接着強度の低下をまねく。また、樹脂厚さを薄くすることも接着強度低下の原因となる。したがって、高い接着強度と熱伝導率を確保し、かつ高い電磁鋼板占積率を達成するためには、含浸法が最適であり、硬化反応前で流動性が必要とされる温度での粘度が $1.0\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以下であることが好ましい。さらに、有機物の粘度が $0.5\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以下に達する樹脂が好ましい。

30

40

【0019】

電磁鋼板間の有機物単独層あるいは有機物と無機物粒子の混合層の厚さは、電磁鋼板の占積率やコアの熱伝導率の点からできるだけ薄い方がよい。特に、熱伝導率および接着強度の観点から接着樹脂の厚さは $4\text{ }\mu\text{m}$ 以下が好ましい。

【0020】

無機物粒子は SiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 、 TiO_2 、 BeO 、 CaO 、 MgAl_2O_4 の酸化物、 B_4C 、 SiC 、 TiC の炭化物、 BN の窒化物であり、単独あるいは混合して用いる。樹脂および無機物粒子の混合層の厚さを薄くするためには、無機物粒子の最大粒径を小さく抑える必要がある。ただし、真空含浸法を用いた場合、電磁鋼板間に入り得る粒径の無機物粒子のみが鋼板間に入り込む。また、樹脂に対する無機物粒子の

50

体積率が高いほど熱伝導率が大きくなるが、樹脂の粘性が高くなるので、無機物粒子の体積率を選択する必要がある。無機物粒子の体積率は、10から70%が好ましく、さらに20から50%が好ましい。

【0021】

電磁鋼板は、無方向性電磁鋼板や方向性電磁鋼板に限らず、電磁鋼板として使用できる薄板全般に適用することができる。本発明を用いるにあたり板厚は特に限定されないが、接着方法の効果を勘案すると、0.35mm以下での適用が好ましく、0.2mm以下がさらに好ましい。また、鉄心の鉄損を小さく押えるためには、絶縁皮膜が施された電磁鋼板を用いる必要がある。

【0022】

本発明は、回転機、小型発電機、タービン発電機などの回転電機、およびトランスに用いることができる。積層鉄心を用いる機器であれば、その大小を問わず、また電磁鋼板の重ね方や分割方式にかかわらず、適用することができる。特に、回転電機では、ケース内に電磁鋼板を積層し、そのまま真空含浸により有機物を注入することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】

以下に本発明に係る実施の形態を示す。

【0024】

（実施例1）

本実施例に係る積層鉄心を図6を用いて説明する。

【0025】

電磁鋼板として片面約1μmの絶縁皮膜が施されている板厚0.15mmの無方向性の電磁鋼板1を用いた。これを内径50mm、外径160mmの同心円環状に打抜き、打抜き時に発生するかえりを研削ローラーを通してできる限り除去した。この場合において表面の絶縁皮膜が除去されないように注意を払った。接着作業時における硬化前の温度、本実施例では50における粘度が0.2Pa・sである熱硬化性樹脂を用いた。

【0026】

環状試料200枚を治具に積み重ね、積厚を治具ボルトの締め付け具合により調整した。積層した環状鉄心2は、治具のまま、135、大気中で12時間予備乾燥した。予備乾燥後、真空容器に入れ真空脱気し、1Torrに到達してから1時間脱気を続けた。なおこのとき治具および鉄心はヒータにより50に加熱した。その後、50に保持された樹脂を真空容器内の治具および鉄心が入った容器に注入し、1時間保持した。このとき真空脱気は継続した。次に、大気を真空容器内に導入し、4気圧まで加圧し、1.5時間保持した。その後、真空容器内を大気圧にし、治具および鉄心を取り出し、210に保持した電気炉に入れ、治具温度が210に達してから4時間保持した。上記のプロセスで真空含浸および熱硬化を施し、環状鉄心2を作製した。上記で作製した環状鉄心2から外径50mmの円柱をワイヤカットにより切り出し、さらに積層した鋼板をはく離して積厚が12mmとなるよう調整した。

【0027】

このサンプルで積層方向の熱伝導率を定常法により測定した。樹脂厚さ割合0のときの熱伝導率は、電磁鋼板自身の面方向の熱伝導率とした。また、同一の鉄心から10×20mmの角柱のサンプルを切り出し、これを樹脂埋め、研磨し、光学顕微鏡で平均的な鋼板間隔を測定し、これから絶縁皮膜厚さを差し引き樹脂厚さを求めた。

【0028】

定常法により求められた熱伝導率の樹脂厚さ割合0の時に対する相対値と樹脂厚さ割合の関係を図1に示す。この図から明らかなように、積層方向の熱伝導率は面方向に比べ小さく、樹脂厚さが厚くなるに従い低下することがわかる。樹脂厚さが厚くなると急峻に熱伝導率が低下し、鋼板の面内熱伝導率の1/10以下となる。熱伝導率の急峻な変化を示す樹脂厚さの小さい領域の外挿線と小さな熱伝導率を示す樹脂厚さの大きい領域における外挿線の交点は、接着樹脂厚さが4μmの点であり、これより樹脂厚さが小さい領域とする

10

20

30

40

50

ことで高い熱伝導率を達成することができる。このことから、接着樹脂厚さは $4\text{ }\mu\text{m}$ 以下が好ましい。この時、電磁鋼板1の絶縁皮膜の厚さを片面 $1\text{ }\mu\text{m}$ とすれば、電磁鋼板間隔は $6\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることができる。

【0029】

以上、本実施例により電磁鋼板間の接着強度および電気絶縁性を確保しつつ、積層方向の熱伝導性能を改善した積層鉄心をえることができる。

【0030】

(実施例2)

実施例1と同様にして、片面約 $1\text{ }\mu\text{m}$ の絶縁皮膜が施されている板厚 0.15 mm の無方向性電磁鋼板を内径 50 mm 、外径 160 mm の同心円環状に打ち抜き、真空含浸法により積層鉄心を作製した。このとき接着樹脂厚さは積層を調整することで所定の厚さとした。また、真空含浸時の樹脂粘度は、樹脂温度により調整した。樹脂粘度の条件は、 0.5 、 1 、 $3\text{ Pa}\cdot\text{s}$ である。

【0031】

上記で作製した環状鉄心から $10\times 21\text{ mm}$ の角柱のサンプルを切り出し、これを積層厚さが 3 mm となるように調整し、せん断強度試験片とした。せん断強度試験は、樹脂埋め、研磨し、光学顕微鏡で平均的な鋼板間隔を測定し、これから絶縁皮膜厚さを差し引き樹脂厚さを求めた。作製した鉄心の樹脂厚さは、ほぼ 0.5 、 1 、 $4\text{ }\mu\text{m}$ であった。せん断強度は、JIS K7078に従って試験し求めた。支点間距離は 15 mm 、クロスヘッドの移動速度は 1 mm/min とした。この試験で得られたせん断強度の樹脂粘度 $0.5\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、樹脂厚さ $4\text{ }\mu\text{m}$ のせん断強度に対する比をせん断強度比として、樹脂粘度および樹脂厚さに対する変化を図2に示す。樹脂粘度が小さければ、樹脂の流動性がよく、真空含浸において電磁鋼板間に十分に浸入していると考えられ、高いせん断強度を維持している。一方、樹脂厚さが小さい場合や樹脂粘度が高い場合には、せん断強度が小さくなる。本実施例によれば、樹脂粘度が $1\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以下であれば電磁鋼板間隔が小さくても高いせん断強度を維持できる。すなわち、樹脂粘度は $1\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 以下が好ましい。

【0032】

(実施例3)

片面約 $1\text{ }\mu\text{m}$ の絶縁皮膜が施されている板厚 0.15 mm の無方向性電磁鋼板から内径 50 mm 、外径 100 、 150 、 200 、 250 、 300 mm の同心円環状鉄心と打抜いた。打ち抜き時に発生するかえりは研削ローラーを通してできる限り除去した。ただし、表面の絶縁皮膜が除去されないように注意を払った。それぞれの同心円環状鉄心を実施例1の真空含浸法と同様にして鉄心を作製した。この時の接着樹脂は実施例1と同一のものを使用し、接着樹脂厚さは $1\text{ }\mu\text{m}$ とした。一方、片面に約 $8\text{ }\mu\text{m}$ の接着性樹脂が塗装されている板厚 0.15 mm の無方向性電磁鋼板を用いても上記と同一の形状で同心円環状鉄心を作製した。鉄心接着の際には、 200 、 10 kg/cm^2 で加圧した。これらの鉄心の縦断面中心付近から $10\times 21\times 3\text{ mm}$ のせん断試験サンプルをワイヤカットで切り出した。 3 mm の厚さ方向に電磁鋼板1が積層されている。各鉄心においてそれぞれ10個のサンプルでせん断試験を実施して、その平均値をせん断強度とした。真空含浸サンプルおよび接着樹脂塗装サンプルそれぞれの外径 100 mm の鉄心のせん断強度を 1.0 として、それぞれのせん断強度の相対値を図3に示す。真空含浸鉄心は外径が大きくなってもせん断強度に大きな違いはないが、接着皮膜塗装鋼板を用いた鉄心では外径が大きくなるに従いせん断強度が低下する。真空含浸の場合、樹脂を含浸させる距離が長くても樹脂粘度が低く、ある程度の鋼板間隙を有していれば、樹脂が鋼板間に十分に浸透し接着性を確保できる。一方、接着皮膜塗装鋼板の場合には、治具によるプレスで樹脂同士を接触・接着させるが、このとき内外径差が大きいと荷重のかかり方の不均一性や表面の凹凸などにより樹脂同士が十分に接触することができず、接着不良を生じる部分が多くなると推察される。また、この図には示されていないが、せん断強度のばらつきも真空含浸の場合は3%以内と小さく、接着皮膜塗装の場合は10%以上であった。

【0033】

10

20

30

40

50

また、接着樹脂厚さを変えて試作した鉄心のせん断強度を図4に示す。ここで、真空含浸による鉄心は、片面 $1\mu\text{m}$ の絶縁皮膜が施された 0.15mm の無方向性電磁鋼板を用い、治具の締め付け圧を変えることにより樹脂厚さを調節した。樹脂は上記と同様のものを使用した。一方、接着皮膜塗装の場合は、予め塗装する樹脂の膜厚を調整することで樹脂厚さを調整した。円環鉄心の内径は 50mm 、外径は 100mm とした。真空含浸による鉄心は、樹脂厚さが大きくなると若干せん断強度が低下するが、いずれも $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の値を示した。一方、接着皮膜塗装鋼板鉄心の場合は、樹脂厚さが $6\mu\text{m}$ 以上の場合は $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度のせん断強度を示したが、 $4\mu\text{m}$ ではせん断強度が著しく低下した。これ以下の樹脂厚さの鉄心も作製可能であるが、ワイヤカットの段階で鋼板間にはく離を生じ、せん断試験サンプルを作製することができなかった。したがって、せん断強度の値を図4には示していない。 10

【0034】

以上の結果より、真空含浸では鋼板間のせん断強度が高く占積率も高い鉄心を得ることができ、かつ鉄心幅が広がってもその特性が大きく変化することはなかった。しかし、接着皮膜塗装鋼板を用いた場合は、鉄心幅が広がったりや樹脂厚さが薄かったりすると接着不良を発生しせん断強度が低下した。したがって、真空含浸は占積率および強度の高い鉄心を得るには最適な手法であり、かつ鉄心の大型化にも対応することができる。

【0035】

(実施例4)

本発明の有効性を電磁鋼板の板厚を変えて検証した。電磁鋼板の厚さは、 0.1 、 0.15 、 0.2 、 0.35 、 0.5mm の5種とし、いずれも片面 $1\mu\text{m}$ の絶縁皮膜を施している。これらを内径 50mm 、外径 100mm の同心円環状に打抜き、研削ローラを通してバリを削除した。これらを用いて実施例1と同一の真空含浸法により鉄心を作製した。このときの樹脂厚さは約 $2\mu\text{m}$ となるように治具を用いて積厚を調整した。一方、上記と同一の積厚に設定して、 $3.6\text{kJ}/\text{cm}$ の入熱でTIG溶接を外周面に6本施した。いずれも積厚は 50mm である。ここで、内周側の鉄心厚さと外周側の鉄心厚さの違いを図5に示す。この図より、真空含浸の場合は内径側、外径側に厚さの変化はなかった。一方、溶接の場合は、板厚が薄くなると内径側が大きく広がり、鉄心形状を維持するには押え治具が必要と考えられる。したがって、板厚が 0.35mm 以下では溶接ではなく真空含浸の方が好ましく、特に板厚が 0.2mm 以下であればさらに好ましい。 20 30

【0036】

(実施例5)

片面約 $1\mu\text{m}$ の絶縁皮膜が施された 0.15mm 厚さの無方向性電磁鋼板を外径 300mm 、内径 100mm 、コアバック内径 230mm 、24スロットの固定子形状に打ち抜いた。固定子の内径およびスロットを基準として、治具を用いて上下の電磁鋼板の位置を合わせ 240mm 積層した。これを樹脂厚さがほぼ $1\mu\text{m}$ となるように治具で固定した。治具での固定は鉄心外側および内側に設置されたボルトで行った。また、治具およびボルト、ナットの表面は離型剤を塗り、かつ治具接合部にはシリコンゴムを塗り接合部への樹脂の浸入を避けた。次に、治具のまま積層電磁鋼板を 140°C に加熱した恒温槽に入れ、大気中で約15時間予備乾燥した。その後、真空チャンバーの中に入れ、 1Torr 以下で3時間真空脱気した。その後、エポキシ樹脂、無水酸硬化剤、硬化促進剤を混合した樹脂を 50°C に昇温し、粘度 $0.5\text{Pa}\cdot\text{s}$ で樹脂を注入した。ここでの樹脂は、エポキシ樹脂に油化シェルエポキシ製L-2832、ダウケミカル製DER-332の混合エポキシ樹脂を、無水酸硬化剤に日立化成工業製MHAC-Pを、硬化促進剤に和光純薬工業製Mn(III)AAを使用した。注入後、2時間真空に保持した後、接着樹脂を4気圧でさらに4時間加圧含浸させた。取り出された積層鋼板は、治具ごと恒温槽に入れ、熱硬化させた。硬化温度は 210°C で、4時間保持した。その後、治具をはずし、余分な樹脂を削除した。このようにして作製した固定子鉄心に巻線を施し、固定子を完成させた。固定子鉄心の占積率は 98.2% 、せん断強度は $712\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。ここで、固定子鉄心の温度測定のため、スロット内に熱電対を設置した。上記固定子と2極表面 40 50

磁石回転子を、ハウジングおよびエンドブラケット内に設置し、表面磁石回転機とした。

【0037】

一方、0.15mm 厚さの電磁鋼板を上記固定子と同一の形状に打ち抜き、治具を用いて240mm積層し、占積率がほぼ98%となるよう固定して、固定子側面をYAGレーザーで溶接した。積厚240mmを1パスでの溶接は不具合の発生が懸念されたことから、1パス50mmのビードを段違いに5本連ねて積厚240mmを溶接した。5本一組のビードを外周面に6組置いた。溶接入熱条件は、3.2kJ/cmであり、ディフォーカス量が-1mmのアンダーフォーカスである。これも上記と同様に巻線を施し、熱電対を設置して、表面磁石回転機を構成した。

【0038】

上記2つの回転機を6000rpm、無負荷で回転させ、そのときの固定子の温度および鉄損を測定した。ここでの鉄損は、全損失から機械損および銅損を引いた値である。表1に回転時の固定子温度および樹脂接着固定子を1.0としたときの溶接固定子の鉄損の比を示す。

【0039】

【表1】

表 1

	樹脂接着積層固定子	溶接積層固定子
固定子温度	111℃	124℃
鉄損	1.00	1.42

【0040】

この結果から明らかなように、樹脂接着積層固定子は溶接積層固定子に比べ、最高到達温度が13度程度低下し、鉄損が約4割低下した。これは、樹脂接着積層による鉄損低減効果および熱伝導率向上の効果が出ているものと考えられる。

【0041】

(実施例6)

片面約2μmの絶縁皮膜が施されている0.2mmの無方向性電磁鋼板を外径170mm、内径80mm、スロット外径120mm、スロット数12で、かつキー溝を施した固定子形状に打ち抜いた。これをキーを設置したハウジング内に60mm積層し、治具で固定した。その後、130度の恒温槽で8時間予備乾燥し、真空チャンバーに入れた。真空が1Torr以下に達してから1時間保持し、樹脂を注入した。注入後さらに1時間保持した後、大気圧に戻しチャンバーから取り出した。これを230度の恒温槽に入れ、3時間保持した。その後、取り出して治具を取り外し、巻き線を施し固定子とした。巻き線は集中巻きである。回転子に8極の表面磁石回転子を採用し、回転機を構成した。電磁鋼板の占積率は97.9%であった。また、樹脂厚さは1.5μmであった。この回転機を3600rpmで合計で4000時間回転させたが不具合は発生しなかった。

【0042】

(実施例7)

片面約1μmの絶縁皮膜が施されている0.1mmの電磁鋼板を外径135mm、内径50mm、スロット外形90mm、スロット数12の固定子形状に打ち抜いた。これを治具を用いて、80mm積層し固定した。この治具ごと真空チャンバーに入れ、1Torr

以下の真空で2時間真空脱気した。その後、粘度 $0.3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ の樹脂を注入し、さらに1時間真空に保持した。その後、3気圧に加圧し1時間保持し、大気圧に戻しチャンバーから取り出した。取り出し後、 210°C の恒温槽に入れ、4時間熱硬化させた。これにより得られた固定子鉄心は、樹脂厚さ $1 \mu\text{m}$ 、せん断強度 420 kg/cm^2 、占積率 97.2% であった。また、熱伝導率は $2.3 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ であった。

【0043】

(実施例8)

片面約 $2 \mu\text{m}$ の絶縁皮膜を施した 0.35 mm の電磁鋼板を外径 380 mm 、内径 200 mm 、スロット外径 290 mm 、スロット数48の固定子をティースとコアバックを分割し、かつコアバックを周方向に16分割した形状に打ち抜いた。ティース、コアバックそれぞれのセグメントを専用の治具で固定し、これを真空含浸により樹脂を注入した。樹脂はエポキシ樹脂であるが、最大粒径 $3 \mu\text{m}$ の Al_2O_3 粒子を体積率で 0.25 となるように配合した。完成した各セグメントは、平均占積率が 98.0% 、樹脂厚さが $3 \mu\text{m}$ であり、熱伝導率が $3.1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ であった。また、断面観察の結果、鋼板間の樹脂には Al_2O_3 粒子が分散していた。このことから、鋼板間隙が小さくてもそれ以下の粒径の無機物粒子は樹脂とともに浸入可能であることが明らかとなった。また、そのようにして浸入した無機物粒子は積層鉄心の熱伝導率の向上に効果が認められた。

【0044】

以上の積層鉄心を採用することにより、電磁鋼板間の絶縁性を確保して渦電流損失の増加を防ぎ、かつ積層方向の熱伝導率を向上させることができるので積層鉄心の運転下での温度上昇を低く抑えることができる。また、その作製方法も簡便であり、特性の安定した積層鉄心を提供することができる。

【0045】

本発明の固定子を採用することにより、良好なかつ安定な特性を有す回転機、小型発電機、あるいはタービン発電機等を提供することができる。

【0046】

【発明の効果】

以上により電磁鋼板間の接着強度および電気絶縁性を確保しつつ、積層方向の熱伝導性能を改善した積層鉄心を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】熱伝導率相対値と樹脂厚さの関係図。

【図2】積層鉄心のせん断強度比と樹脂粘度の関係図。

【図3】積層鉄心のせん断強度比と鉄心外径の関係図。

【図4】積層鉄心のせん断強度と樹脂厚さの関係図。

【図5】真空含浸とTIG溶接による鉄心の内外径の積厚差と電磁鋼板板厚の関係図。

【図6】実施例1に係る積層鉄心を示す図。

【符号の説明】

1 ... 電磁鋼板、2 ... 積層した環状鉄心。

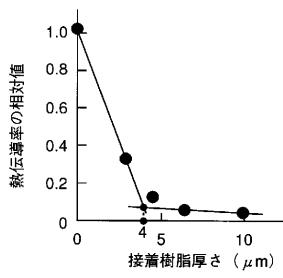
10

20

30

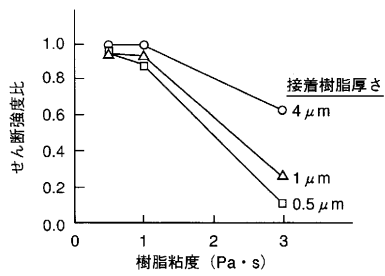
【図 1】

図 1



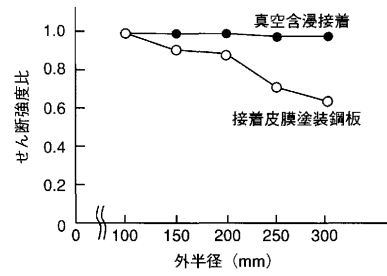
【図 2】

図 2



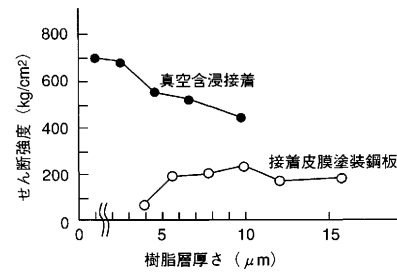
【図 3】

図 3



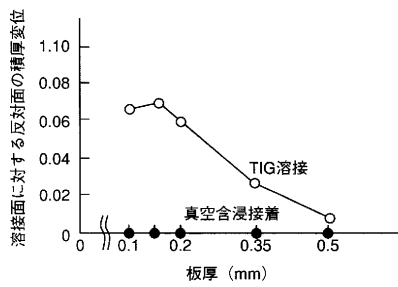
【図 4】

図 4



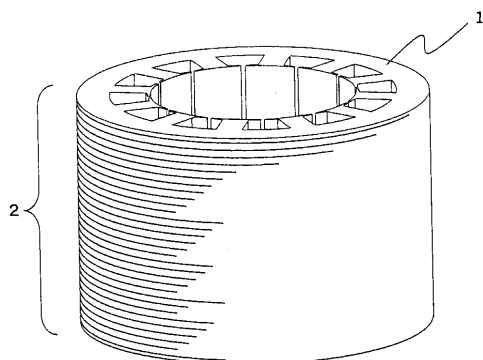
【図 5】

図 5



【図 6】

図 6



フロントページの続き

(72)発明者 井出 一正

茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号

株式会社日立製作所日立研究所内

F ターム(参考) 5H002 AA07 AA08 AB01 AC04 AC07