

明 細 書

発明の名称： 積層コア、積層コアの製造方法、および回転電機

技術分野

[0001] 本発明は、積層コア、積層コアの製造方法、および回転電機に関する。

本願は、2018年12月17日に、日本に出願された特願2018-235867号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 従来、回転電機に使用されるコアとして、複数の電磁鋼板が互いに積層された積層コアが知られている。複数の電磁鋼板は、溶接、接着、かしめなどの方法で接合される。

特許文献1には、打ち抜き加工後の電磁鋼板同士を、エポキシ樹脂やアクリル樹脂などで接着した積層コアが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2004-88970号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかし、特許文献1のような従来の技術では、打ち抜き加工後の電磁鋼板同士の接着強度が十分に得られにくい。

[0005] 本発明は、打ち抜き加工後の電磁鋼板同士が高い接着強度で接着された積層コア、その製造方法、および前記積層コアを備えた回転電機の提供を課題とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一実施形態は、以下の態様を有する。

[1] 互いに積層され、両面が絶縁被膜により被覆された複数の電磁鋼板と、
積層方向に隣り合う前記電磁鋼板同士の間配置され、これらの電磁鋼板

同士を接着する接着部と、を備え、

前記積層方向に隣り合う前記電磁鋼板同士の全ての組が、前記電磁鋼板同士の間の複数の前記接着部により接着され、

前記接着部が前記電磁鋼板同士の間の複数箇所に設けられ、

前記接着部が、アクリル樹脂およびエポキシ樹脂のいずれか一方または両方を含み、かつSP値が $7.8 \sim 10.7 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ である接着剤から形成されている、積層コア。

〔2〕前記接着剤が、エポキシ樹脂とフェノールノボラック樹脂とを含むエポキシ樹脂系接着剤である、〔1〕に記載の積層コア。

〔3〕前記エポキシ樹脂系接着剤が、エポキシ樹脂100質量部と、フェノールノボラック樹脂5～35質量部とからなる接着剤である、〔2〕に記載の積層コア。

〔4〕前記エポキシ樹脂系接着剤が、エポキシ樹脂100質量部と、フェノールノボラック樹脂5～35質量部と、エラストマー5～50質量部とからなる接着剤である、〔2〕に記載の積層コア。

〔5〕前記エポキシ樹脂系接着剤が、エポキシ樹脂100質量部と、フェノールノボラック樹脂5～35質量部と、SP値が $7.0 \sim 10.7 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ の溶剤5～10質量部とからなる接着剤である、〔2〕に記載の積層コア。

〔6〕前記エポキシ樹脂系接着剤が、さらにアクリル樹脂を含む、〔2〕に記載の積層コア。

〔7〕前記エポキシ樹脂系接着剤が、アクリル樹脂がグラフト重合されたアクリル変性エポキシ樹脂100質量部と、フェノールノボラック樹脂5～35質量部とからなる接着剤である、〔6〕に記載の積層コア。

〔8〕前記エポキシ樹脂系接着剤が、アクリル樹脂がグラフト重合されたアクリル変性エポキシ樹脂100質量部と、フェノールノボラック樹脂5～35質量部と、エラストマー5～50質量部とからなる接着剤である、〔6〕に記載の積層コア。

〔 9 〕 前記接着剤が、ガラス転移温度が $120 \sim 180^{\circ}\text{C}$ のエポキシ樹脂と、有機リン化合物とを含むエポキシ樹脂系接着剤である、〔 1 〕 に記載の積層コア。

〔 10 〕 前記接着剤が、エポキシ樹脂 100 質量部と、有機リン化合物 5 ～ 35 質量部とからなるエポキシ樹脂系接着剤である、〔 1 〕 に記載の積層コア。

〔 11 〕 前記接着剤が、エポキシ樹脂と、エポキシ樹脂硬化剤と、エラストマーとを含むエポキシ樹脂系接着剤であり、

前記接着部の常温での平均引張弾性率が $1500 \sim 5000 \text{ MPa}$ であり、 150°C での平均引張弾性率が $1000 \sim 3000 \text{ MPa}$ である、〔 1 〕 に記載の積層コア。

〔 12 〕 ステータ用接着積層コアである、〔 1 〕 ～ 〔 11 〕 のいずれかに記載の積層コア。

〔 13 〕 〔 1 〕 ～ 〔 12 〕 のいずれかに記載の積層コアを備える回転電機。

〔 14 〕 〔 1 〕 に記載の積層コアの製造方法であって、

前記電磁鋼板の表面に前記接着剤を塗布した後に別の電磁鋼板の上に重ねて圧着し、前記接着部を形成する操作を繰り返す、積層コアの製造方法。

発明の効果

〔 0007 〕 本発明によれば、打ち抜き加工後の電磁鋼板同士が高い接着強度で接着された積層コア、その製造方法、および前記積層コアを備えた回転電機を提供できる。

図面の簡単な説明

〔 0008 〕 〔 図 1 〕 本発明の一実施形態に係るステータ用接着積層コアを備えた回転電機の断面図である。

〔 図 2 〕 同ステータ用積層コアの側面図である。

〔 図 3 〕 図 2 の A - A 断面図であって、同ステータ用接着積層コアの接着部の配置パターン例を示す図である。

〔 図 4 〕 ステータ用接着積層コアの製造装置の概略構成を示す側面図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、図面を参照し、本発明の一実施形態に係るステータ用接着積層コアと、このステータ用接着積層コアを備えた回転電機とについて説明する。なお、本実施形態では、回転電機として電動機、具体的には交流電動機、より具体的には同期電動機、より一層具体的には永久磁石界磁型電動機を一例に挙げて説明する。この種の電動機は、例えば、電気自動車などに好適に採用される。

[0010] 図1に示すように、回転電機10は、ステータ20と、ロータ30と、ケース50と、回転軸60と、を備える。ステータ20およびロータ30は、ケース50内に收容される。ステータ20は、ケース50内に固定される。

本実施形態では、回転電機10として、ロータ30がステータ20の径方向内側に位置するインナーロータ型を採用している。しかしながら、回転電機10として、ロータ30がステータ20の外側に位置するアウターロータ型を採用してもよい。また、本実施形態では、回転電機10が、12極18スロットの三相交流モータである。しかしながら、極数、スロット数、相数などは、適宜変更することができる。

回転電機10は、例えば、各相に実効値10A、周波数100Hzの励磁電流を印加することにより、回転数1000rpmで回転することができる。

[0011] ステータ20は、ステータ用接着積層コア（以下、ステータコア）21と、図示しない巻線と、を備える。

ステータコア21は、環状のコアバック部22と、複数のティース部23と、を備える。以下では、ステータコア21（またはコアバック部22）の中心軸線O方向を軸方向と言い、ステータコア21（またはコアバック部22）の径方向（中心軸線Oに直交する方向）を径方向と言い、ステータコア21（またはコアバック部22）の周方向（中心軸線O回りに周回する方向）を周方向と言う。

[0012] コアバック部22は、ステータ20を軸方向から見た平面視において円環

状に形成されている。

複数のティース部23は、コアバック部22の内周から径方向内側に向けて（径方向に沿ってコアバック部22の中心軸線Oに向けて）突出する。複数のティース部23は、周方向に同等の角度間隔をあけて配置されている。本実施形態では、中心軸線Oを中心とする中心角20度おきに18個のティース部23が設けられている。複数のティース部23は、互いに同等の形状でかつ同等の大きさに形成されている。よって、複数のティース部23は、互いに同じ厚み寸法を有している。

前記巻線は、ティース部23に巻回されている。前記巻線は、集中巻きされていてよく、分布巻きされていてよい。

[0013] ロータ30は、ステータ20（ステータコア21）に対して径方向の内側に配置されている。ロータ30は、ロータコア31と、複数の永久磁石32と、を備える。

ロータコア31は、ステータ20と同軸に配置される環状（円環状）に形成されている。ロータコア31内には、前記回転軸60が配置されている。回転軸60は、ロータコア31に固定されている。

複数の永久磁石32は、ロータコア31に固定されている。本実施形態では、2つ1組の永久磁石32が1つの磁極を形成している。複数組の永久磁石32は、周方向に同等の角度間隔をあけて配置されている。本実施形態では、中心軸線Oを中心とする中心角30度おきに12組（全体では24個）の永久磁石32が設けられている。

[0014] 本実施形態では、永久磁石界磁型電動機として、埋込磁石型モータが採用されている。ロータコア31には、ロータコア31を軸方向に貫通する複数の貫通孔33が形成されている。複数の貫通孔33は、複数の永久磁石32の配置に対応して設けられている。各永久磁石32は、対応する貫通孔33内に配置された状態でロータコア31に固定されている。各永久磁石32のロータコア31への固定は、例えば永久磁石32の外面と貫通孔33の内面とを接着剤により接着することなどにより、実現できる。なお、永久磁石界

磁型電動機として、埋込磁石型モータに代えて表面磁石型モータを採用してもよい。

[0015] ステータコア21およびロータコア31は、いずれも積層コアである。例えばステータコア21は、図2に示すように、複数の電磁鋼板40が積層されることで形成されている。

なお、ステータコア21およびロータコア31それぞれの積厚（中心軸線Oに沿った全長）は、例えば50.0mmとされる。ステータコア21の外径は、例えば250.0mmとされる。ステータコア21の内径は、例えば165.0mmとされる。ロータコア31の外径は、例えば163.0mmとされる。ロータコア31の内径は、例えば30.0mmとされる。ただし、これらの値は一例であり、ステータコア21の積厚、外径や内径、およびロータコア31の積厚、外径や内径は、これらの値のみに限られない。ここで、ステータコア21の内径は、ステータコア21におけるティース部23の先端部を基準とする。すなわち、ステータコア21の内径は、全てのティース部23の先端部に内接する仮想円の直径である。

[0016] ステータコア21およびロータコア31を形成する各電磁鋼板40は、例えば、母材となる電磁鋼板を打ち抜き加工することなどにより形成される。電磁鋼板40としては、公知の電磁鋼板を用いることができる。電磁鋼板40の化学組成は特に限定されない。本実施形態では、電磁鋼板40として、無方向性電磁鋼板を採用している。無方向性電磁鋼板としては、例えば、JISC2552:2014の無方向性電鋼帯を採用することができる。

しかしながら、電磁鋼板40として、無方向性電磁鋼板に代えて方向性電磁鋼板を採用することも可能である。方向性電磁鋼板としては、例えば、JISC2553:2012の方向性電鋼帯を採用することができる。

[0017] 電磁鋼板の加工性や、ステータコアの鉄損を改善するため、電磁鋼板40の両面は、絶縁被膜で被覆されている。絶縁被膜を構成する物質としては、例えば、（１）無機化合物、（２）有機樹脂、（３）無機化合物と有機樹脂との混合物、などが採用できる。無機化合物としては、例えば、（１）重ク

ロム酸塩とホウ酸の複合物、(2)リン酸塩とシリカの複合物、などが挙げられる。有機樹脂としては、エポキシ樹脂、アクリル樹脂、アクリルスチレン樹脂、ポリエステル樹脂、シリコン樹脂、フッ素樹脂などが挙げられる。

[0018] 互いに積層される電磁鋼板40間での絶縁性能を確保するために、絶縁被膜の厚さ(電磁鋼板40片面あたりの厚さ)は0.1 μm 以上とすることが好ましい。

一方で絶縁被膜が厚くなるに連れて絶縁効果が飽和する。また、絶縁被膜が厚くなるに連れて占積率が低下し、ステータコアとしての性能が低下する。したがって、絶縁被膜は、絶縁性能が確保できる範囲で薄い方がよい。絶縁被膜の厚さ(電磁鋼板40片面あたりの厚さ)は、好ましくは0.1 μm 以上5 μm 以下、さらに好ましくは0.1 μm 以上2 μm 以下である。

[0019] 電磁鋼板40の板厚が薄くなるに連れて次第に鉄損の改善効果が飽和する。また、電磁鋼板40が薄くなるに連れて電磁鋼板40の製造コストは増す。そのため、鉄損の改善効果および製造コストを考慮すると電磁鋼板40の厚さは0.10 mm以上とすることが好ましい。

一方で電磁鋼板40が厚すぎると、電磁鋼板40のプレス打ち抜き作業が困難になる。そのため、電磁鋼板40のプレス打ち抜き作業を考慮すると、電磁鋼板40の厚さは0.65 mm以下とすることが好ましい。

また、電磁鋼板40が厚くなると鉄損が増大する。そのため、電磁鋼板40の鉄損特性を考慮すると、電磁鋼板40の厚さは0.35 mm以下とすることが好ましく、0.20 mmまたは0.25 mmとすることがより好ましい。

上記の点を考慮し、各電磁鋼板40の厚さは、例えば、0.10 mm以上0.65 mm以下、好ましくは0.10 mm以上0.35 mm以下、より好ましくは0.20 mmや0.25 mmである。なお、電磁鋼板40の厚さには、絶縁被膜の厚さも含まれる。

[0020] 図2に示すように、ステータコア21では、積層方向に隣り合う電磁鋼板40同士の全ての組の間に、電磁鋼板40同士を接着する複数の接着部41

が設けられている。積層方向に隣り合う電磁鋼板40同士の全ての組は、電磁鋼板40間の複数の接着部41によって接着されている。つまり、ステータコア21を形成する複数の電磁鋼板40は、接着部41を介して積層されている。積層方向に隣り合う電磁鋼板40同士は、他の手段（例えば、かしめ等）によっては固定されていない。

[0021] 接着部41は、積層方向に隣り合う電磁鋼板40同士を接着するものである。接着部41は、アクリル樹脂およびエポキシ樹脂のいずれか一方または両方を含み、かつSP値が $7.8 \sim 10.7 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ である接着剤（以下、接着剤（X））から形成された部分である。すなわち、接着部41は、分断されることなく硬化した接着剤（X）である。

なお、SP値は、ヒルデブランドにより定義された溶解度パラメータを意味する。接着剤（X）のSP値は、SP値が既知の種々の溶剤に対する、接着剤（X）を硬化させた硬化物の溶解性から測定される。より具体的には、実施例に記載の方法で測定される。

本明細書中において、数値範囲を示す「～」は、その前後に記載された数値を下限値及び上限値として含むことを意味する。

[0022] 打ち抜き加工後の複数の電磁鋼板を、通常用いられる接着剤による接着により積層して積層コアを得る場合、打ち抜き加工を行わない場合に比べて、電磁鋼板同士の接着強度が十分に得られにくい。これは、打ち抜き加工時に用いられた打ち抜き油が電磁鋼板の積層面に残り、積層時の電磁鋼板の積層面と接着剤との間に介在することで接着を阻害するためであると考えられる。

[0023] 打ち抜き油のSP値は、シクロヘキサン（SP値： $8.2 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ ）やトルエン（SP値： $8.9 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ ）に近いと考えられる。本発明では、接着剤（X）のSP値が $7.8 \sim 10.7 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ の範囲に制御されているため、打ち抜き油との相溶性に優れる。これにより、接着剤（X）は打ち抜き加工後の電磁鋼板の積層において優れた油面接着性を発現し、電磁鋼板同士が高い接着強度で接着される。そのた

め、機械強度が高く、低騒音および低振動のステータコア21が得られる。

また、接着剤(X)のSP値が $7.8 \sim 10.7 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ の範囲であれば、接着剤(X)のSP値と打ち抜き油のSP値との間に差があっても、低騒音かつ低振動の積層コアとなる。

[0024] 接着剤(X)のSP値は、油面接着性が向上する点から、 $8.0 \sim 10.0 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ が好ましく、 $8.2 \sim 8.9 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ がより好ましい。

接着剤(X)のSP値は、打ち抜き油の種類によって最適な範囲に設定することがさらに好ましい。例えば、打ち抜き油が鉱油の場合、接着剤(X)のSP値は $8.2 \sim 8.9 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ がさらに好ましい。打ち抜き油がイソパラフィンの場合、接着剤(X)のSP値は $7.8 \sim 8.5 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ がさらに好ましい。打ち抜き油がトルエンの場合、接着剤(X)のSP値は $8.5 \sim 9.3 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ がさらに好ましい。

[0025] 接着剤(X)のSP値を調整する方法としては、例えば、エポキシ樹脂系接着剤の場合、エポキシ樹脂にアクリル樹脂をグラフト重合させる方法を例示できる。エポキシ樹脂にアクリル樹脂をグラフト重合させることで、SP値が低下する傾向がある。また、この場合、アクリル樹脂の重合度が高いほど、SP値が低下する傾向がある。また、接着剤(X)に添加剤を配合することでSP値を調節することもできる。例えば、接着剤(X)がエポキシ樹脂系接着剤の場合、エポキシ樹脂(SP値： $10.9 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ 程度)よりもSP値が小さい、すなわち極性が低い添加剤を配合することで接着剤(X)のSP値を小さくできる。

[0026] 接着剤(X)のSP値を調節する添加剤としては、接着剤(X)の接着性や回転電機の性能に影響しないものであればよい。例えば、n-ペンタン(SP値： $7.0 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$)、n-ヘキサン(SP値： $7.3 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$)、ジエチルエーテル(SP値： $7.4 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$)、n-オクタン(SP値： $7.6 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$)、塩化ビニル(SP値： $7.8 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$)、シクロヘキサン、酢酸イソ

ブチル（SP値：8.3（cal/cm³）^{1/2}）、酢酸イソプロピル（SP値：8.4（cal/cm³）^{1/2}）、酢酸ブチル（SP値：8.5（cal/cm³）^{1/2}）、四塩化炭素（SP値：8.6（cal/cm³）^{1/2}）、メチルプロピルケトン（SP値：8.7（cal/cm³）^{1/2}）、キシレン（SP値：8.8（cal/cm³）^{1/2}）、トルエン、酢酸エチル（SP値：9.1（cal/cm³）^{1/2}）、ベンゼン（SP値：9.2（cal/cm³）^{1/2}）、メチルエチルケトン（SP値：9.3（cal/cm³）^{1/2}）、塩化メチレン（SP値：9.7（cal/cm³）^{1/2}）、アセトン（SP値：9.9（cal/cm³）^{1/2}）、二硫化炭素（SP値：10.0（cal/cm³）^{1/2}）、酢酸（10.1（cal/cm³）^{1/2}）、およびn-ヘキサノール（SP値：10.7（cal/cm³）^{1/2}）からなる群から選ばれるSP値が7.0～10.7（cal/cm³）^{1/2}の少なくとも1種の溶剤を例示できる。また、後述のSP値が小さい合成ゴムなどのエラストマーを配合して接着剤（X）のSP値を小さくすることもできる。接着剤（X）に配合する添加剤は、1種でもよく、2種以上でもよい。

[0027] 接着剤（X）としては、エポキシ樹脂を含むエポキシ樹脂系接着剤、アクリル樹脂を含むアクリル樹脂系接着剤を例示できる。なお、アクリル樹脂系接着剤は、エポキシ樹脂を含まない。耐熱性、接着性に優れる点から、エポキシ樹脂系接着剤が好ましい。

エポキシ樹脂系接着剤は、エポキシ樹脂と硬化剤を含む。耐熱性、速硬化性、油面接着性に優れる点から、エポキシ樹脂および硬化剤に加えて、アクリル樹脂をさらに含むエポキシ樹脂系接着剤が好ましい。エポキシ樹脂にアクリル樹脂をグラフト重合させたアクリル変性エポキシ樹脂を含むエポキシ樹脂系接着剤を用いてもよい。

[0028] エポキシ樹脂としては、特に限定されず、例えば、ビスフェノールA型エポキシ樹脂、ビスフェノールF型エポキシ樹脂、ビスフェノールAD型エポキシ樹脂、グリシジルアミン型エポキシ樹脂、脂環型エポキシ樹脂を例示できる。なかでも、低粘度で作業性に優れる点から、ビスフェノールF型エポ

キシ樹脂が好ましい。エポキシ樹脂系接着剤に含まれるエポキシ樹脂は、1種でもよく、2種以上でもよい。

- [0029] エポキシ樹脂のガラス転移温度 (T_g) は、 $80\sim150^{\circ}\text{C}$ が好ましく、 $100\sim150^{\circ}\text{C}$ がより好ましく、 $120\sim150^{\circ}\text{C}$ がさらに好ましい。エポキシ樹脂の T_g が前記範囲の下限値以上であれば、耐熱性に優れ、機械強度が高いステータコアが得られやすい。エポキシ樹脂の T_g が前記範囲の上限値以下であれば、鋼板との密着性が得られやすい。

なお、エポキシ樹脂の T_g は、JIS K 7121-1987 に準じ、示差走査熱量測定 (DSC) 法で測定した中間点ガラス転移温度である。

- [0030] エポキシ樹脂の数平均分子量 (M_n) は、 $1200\sim20000$ が好ましく、 $2000\sim18000$ がより好ましく、 $2500\sim16000$ がさらに好ましい。エポキシ樹脂の M_n が前記範囲の下限値以上であれば、接着強度を高めやすい。エポキシ樹脂の M_n が前記範囲の上限値以下であれば、エポキシ樹脂系接着剤が高粘度になることを抑制しやすい。

なお、エポキシ樹脂の M_n は、標準物質としてポリスチレンを用い、JIS K 7252-1:2008 に記載のサイズ排除クロマトグラフィー (SEC: Size-Exclusion Chromatography) により測定できる。

- [0031] 硬化剤としては、特に限定されず、一般に使用されるエポキシ樹脂硬化剤を使用できる。硬化剤は、低温または室温硬化型であってもよく、加熱硬化型であってもよい。硬化剤の具体例としては、例えば、脂肪族ポリアミン、芳香族ポリアミン、酸無水物、フェノールノボラック樹脂、有機リン化合物、ジシアンジアミド (DICY) を例示できる。エポキシ樹脂系接着剤に含まれる硬化剤は、1種でもよく、2種以上でもよい。

- [0032] 脂肪族ポリアミンとしては、例えば、トリエチレンテトラミン、ジエチレントリアミン (DTA)、ジエチルアミノプロピルアミン (DEAPA) を例示できる。

芳香族ポリアミンとしては、例えば、ジアミノジフェニルメタン (DDM

）、メタフェニレンジアミン（MPDA）、ジアミノジフェニルスルフォン（DDS）を例示できる。

酸無水物としては、例えば、フタル酸無水物、ヘキサヒドロフタル酸無水物、4-メチルヘキサヒドロフタル酸無水物を例示できる。

[0033] フェノールノボラック樹脂は、酸触媒を用いてフェノール類（フェノールなど）とアルデヒド類（ホルムアルデヒドなど）とを縮合反応させて得られるノボラック型のフェノール樹脂である。

[0034] 有機リン化合物は、特に限定されず、例えば、ヘキサメチルリン酸トリアミド、リン酸トリ（ジクロロプロピル）、リン酸トリ（クロロプロピル）、亜リン酸トリフェニル、リン酸トリメチル、フェニルホスホン酸、トリフェニルホスフィン、トリ-*n*-ブチルホスフィン、ジフェニルホスフィンを例示できる。

[0035] 硬化剤としては、耐熱性に優れる点から、加熱硬化型の硬化剤が好ましく、フェノールノボラック樹脂、芳香族ポリアミンがより好ましく、機械強度が高いステータコアが得られやすい点から、フェノールノボラック樹脂が特に好ましい。エポキシ樹脂硬化剤を2種以上用いる場合、例えば、フェノールノボラック樹脂を主成分とし、芳香族ポリアミンを配合する態様が挙げられる。

[0036] エポキシ樹脂系接着剤中の硬化剤の含有量は、硬化剤の種類に応じて適宜設定でき、例えばフェノールノボラック樹脂を用いる場合、エポキシ樹脂100質量部に対して、5～35質量部が好ましい。硬化剤として有機リン化合物を用いる場合、有機リン化合物の含有量は、エポキシ樹脂100質量部に対して、5～35質量部が好ましい。

[0037] エポキシ樹脂系接着剤には、硬化促進剤を配合してもよい。硬化促進剤としては、例えば、三級アミン、二級アミン、イミダゾールを例示できる。エポキシ樹脂系接着剤に含まれる硬化促進剤は、1種でもよく、2種以上でもよい。

[0038] アクリル樹脂としては、特に限定されない。アクリル樹脂に用いるモノマ

ーとしては、例えば、アクリル酸、メタクリル酸などの不飽和カルボン酸、メチル（メタ）アクリレート、エチル（メタ）アクリレート、*n*-ブチル（メタ）アクリレート、イソブチル（メタ）アクリレート、シクロヘキシル（メタ）アクリレート、2-エチルヘキシル（メタ）アクリレート、2-ヒドロキシエチル（メタ）アクリレート、ヒドロキシプロピル（メタ）アクリレートなどの（メタ）アクリレートを例示できる。なお、（メタ）アクリレートとは、アクリレートまたはメタクリレートを意味する。接着剤（X）に含まれるアクリル樹脂は、1種でもよく、2種以上でもよい。

接着剤にアクリル樹脂を用いる場合、硬化前の接着剤においては、アクリル樹脂を形成するモノマーとして含まれていてもよい。

[0039] アクリル樹脂の数平均分子量（ M_n ）は、5000～100000が好ましく、6000～80000がより好ましく、7000～60000がさらに好ましい。アクリル樹脂の M_n が前記範囲の下限值以上であれば、接着強度を高めやすい。アクリル樹脂の M_n が前記範囲の上限値以下であれば、接着剤（X）が高粘度になることを抑制しやすい。

なお、アクリル樹脂の M_n は、エポキシ樹脂の M_n と同様の方法で測定できる。

[0040] エポキシ樹脂系接着剤がアクリル樹脂を含む場合、アクリル樹脂の含有量は、特に制限されず、例えば、エポキシ樹脂とアクリル樹脂の合計量に対して、20～80質量%とすることができる。アクリル樹脂がグラフト重合されたアクリル変性エポキシ樹脂中のアクリル樹脂の含有量も同様であり、例えば、アクリル変性エポキシ樹脂の総質量に対して20～80質量%とすることができる。

[0041] エポキシ樹脂系接着剤は、エラストマーを含んでもよい。エラストマーを配合することで、接着部41の平均引張弾性率を特定の範囲に制御でき、粘性、流動特性の向上に寄与する。

[0042] エラストマーとしては、天然ゴム、合成ゴムが挙げられ、合成ゴムが好ましい。エポキシ樹脂系接着剤に含まれるエラストマーは、1種でもよく、2

種以上でもよい。

[0043] 合成ゴムとしては、例えば、ポリブタジエン系合成ゴム、ニトリル系合成ゴム、クロロプレン系合成ゴムを例示できる。

ポリブタジエン系合成ゴムとしては、例えば、イソプレンゴム（IR）、ブタジエンゴム（BR）、スチレンブタジエンゴム（SBR）、ポリイソブチレン（ブチルゴム、IIR）、エチレンプロピレンジエンゴム（EPDM）を例示できる。ニトリル系合成ゴムとしては、例えば、アクリロニトリルブタジエンゴム（NBR）、アクリルゴム（ACM）を例示できる。クロロプレン系合成ゴムとしては、クロロプレンゴム（CR）を例示できる。

[0044] EPDM（SP値：7.9～8.0（cal/cm³）^{1/2}）、SBR（SP値：8.1～8.7（cal/cm³）^{1/2}）、BR（SP値：8.1～8.6（cal/cm³）^{1/2}）、NBR（SP値：8.7～10.5（cal/cm³）^{1/2}）などのエポキシ樹脂よりもSP値が小さいエラストマーは、接着剤（X）のSP値を調節する目的で使用することもできる。このようなエラストマーを用いることで、油面接着性を改善しながら、平均引張弾性率も制御できる。また、エポキシ樹脂よりもSP値の低いエラストマーを接着剤（X）に配合することで、特に低振動かつ低騒音の積層コアとすることができる。エラストマーの配合によって低振動かつ低騒音となるメカニズムは、必ずしも明らかではないが、SP値の低いエラストマーによって電磁鋼板同士の接着強度及び振動吸収性能が高まることが要因であると考えられる。

[0045] 好ましいエポキシ樹脂系接着剤としては、エポキシ樹脂とフェノールノボラック樹脂とを含む接着剤、エポキシ樹脂とフェノールノボラック樹脂とアクリル樹脂とを含む接着剤、T_gが120～180℃のエポキシ樹脂と有機リン化合物とを含む接着剤、エポキシ樹脂とエポキシ樹脂硬化剤とエラストマーとを含む接着剤を例示できる。

[0046] より好ましいエポキシ樹脂系接着剤としては、以下の組成の接着剤（X1）～（X6）を例示できる。

接着剤（X1）：エポキシ樹脂100質量部と、フェノールノボラック樹

脂 5 ～ 35 質量部とからなる接着剤。

接着剤 (X2) : エポキシ樹脂 100 質量部と、有機リン化合物 5 ～ 35 質量部とからなる接着剤。

接着剤 (X3) : エポキシ樹脂 100 質量部と、フェノールノボラック樹脂 5 ～ 35 質量部と、エラストマー 5 ～ 50 質量部とからなる接着剤。

接着剤 (X4) : アクリル樹脂がグラフト重合されたアクリル変性エポキシ樹脂 100 質量部と、フェノールノボラック樹脂 5 ～ 35 質量部とからなる接着剤。

接着剤 (X5) : アクリル樹脂がグラフト重合されたアクリル変性エポキシ樹脂 100 質量部と、フェノールノボラック樹脂 5 ～ 35 質量部と、エラストマー 5 ～ 50 質量部とからなる接着剤。

接着剤 (X6) : エポキシ樹脂 100 質量部と、フェノールノボラック樹脂 5 ～ 35 質量部と、SP 値が $7.0 \sim 10.7 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ の溶剤 5 ～ 10 質量部とからなる接着剤。

これら接着剤 (X1) ～ (X6) においては、エポキシ樹脂、有機リン化合物、エラストマーのそれぞれの好ましい態様を適宜組み合わせることができる。

[0047] T_g が 120 ～ 180℃ のエポキシ樹脂とエポキシ樹脂硬化剤とエラストマーとを含むエポキシ樹脂系接着剤で接着部 41 を形成する場合、接着部 41 は、常温での平均引張弾性率が 1500 ～ 5000 MPa であり、150℃ での平均引張弾性率が 1000 ～ 3000 MPa であることが好ましい。この場合、T_g が 120 ～ 180℃ のエポキシ樹脂 100 質量部と、エポキシ樹脂硬化剤 5 ～ 35 質量部と、エラストマー 5 ～ 50 質量部とからなるエポキシ樹脂系接着剤で形成される接着部 41 がより好ましい。

[0048] 接着部 41 の常温での平均引張弾性率は、1500 ～ 5000 MPa が好ましく、1500 ～ 4000 MPa がより好ましい。常温での平均引張弾性率が前記範囲の下限值以上であれば、積層コアの鉄損特性に優れる。常温での平均引張弾性率が前記範囲の上限値以下であれば、積層コアの結合強度が

優れる。

なお、常温での平均引張弾性率は、測定用のサンプルを製作し、共振法により25℃で測定した値である。具体的には、サンプルは、2枚の電磁鋼板40間を、測定対象の接着剤により接着し、硬化させて接着部41を形成することにより、得られる。このサンプルについての平均引張弾性率を、JIS R 1602:1995に準拠して共振法で測定する。その後、サンプルの平均引張弾性率（測定値）から、電磁鋼板40自体の影響分を計算により除くことで、接着部41単体の平均引張弾性率が求められる。

このようにしてサンプルから求められた引張弾性率は、積層コア全体としての平均値に等しくなるので、この数値をもって平均引張弾性率とみなす。平均引張弾性率は、その積層方向に沿った積層位置や積層コアの中心軸線回りの周方向位置で殆ど変わらないよう、組成が設定されている。そのため、平均引張弾性率Eは、積層コアの上端位置にある、硬化後の接着部41を測定した数値をもってその値とすることもできる。

[0049] また、接着部41の150℃での平均引張弾性率は、1000～3000 MPaが好ましく、1000～2800 MPaがより好ましく、1000～2500がさらに好ましい。150℃での平均引張弾性率が前記範囲の下限値以上であれば、積層コアの結合強度に優れる。150℃での平均引張弾性率が前記範囲の上限値以下であれば、積層コアの鉄損特性が優れる。

なお、150℃での平均引張弾性率は、共振法により150℃で測定した値である。150℃の平均引張弾性率は、測定温度以外は常温での平均引張弾性率と同じ方法で測定される。

[0050] 接着部41の厚さは、安定して十分な接着強度を得るために、1 μm以上とすることが好ましい。

一方で接着部41の厚さが100 μmを超えると接着力が飽和する。また、接着部41が厚くなるに連れて占積率が低下し、ステータコアの鉄損などの磁気特性が低下する。したがって、接着部41の厚さは、1 μm以上100 μm以下とすることが好ましく、1 μm以上10 μm以下とすることがよ

り好ましい。

なお、上記において接着部41の厚さは、接着部41の平均厚みを意味する。

- [0051] 接着部41の平均厚みは、 $1.0\mu\text{m}$ 以上 $3.0\mu\text{m}$ 以下とすることがより好ましい。接着部41の平均厚みが $1.0\mu\text{m}$ 未満であると、前述したように十分な接着力を確保できない。そのため、接着部41の平均厚みの下限値は、 $1.0\mu\text{m}$ 、より好ましくは $1.2\mu\text{m}$ とされる。逆に、接着部41の平均厚みが $3.0\mu\text{m}$ を超えて厚くなると、熱硬化時の収縮による電磁鋼板40の歪み量が大幅に増えるなどの不具合を生じる。そのため、接着部41の平均厚みの上限値は、 $3.0\mu\text{m}$ 、より好ましくは $2.6\mu\text{m}$ とされる。

接着部41の平均厚みは、積層コア全体としての平均値である。接着部41の平均厚みはその積層方向に沿った積層位置や積層コアの中心軸線回りの周方向位置で殆ど変わらない。そのため、接着部41の平均厚みは、積層コアの上端位置において、円周方向10箇所以上で測定した数値の平均値をもってその値とすることができる。

- [0052] なお、接着部41の平均厚みは、例えば、接着剤の塗布量を変えて調整することができる。また、接着部41の平均引張弾性率は、例えば、接着時に加える加熱条件や加圧条件、硬化剤の種類を変更すること等により調整することができる。

- [0053] 接着部41は、積層方向に隣り合う電磁鋼板40同士の間において、複数箇所設けられている。つまり、電磁鋼板40において積層方向を向く面（第1面）には、図3に示すように、接着領域42と非接着領域43とが形成されている。接着領域42は、電磁鋼板40の第1面のうち接着部41が設けられた領域、すなわち電磁鋼板40の第1面のうち分断されことなく硬化した接着剤（X）が設けられている領域である。非接着領域43は、電磁鋼板40の第1面のうち接着部41が設けられていない領域、すなわち電磁鋼板40の第1面のうち分断されことなく硬化した接着剤（X）が設けら

れていない領域である。ステータコア21では、積層方向に隣り合う電磁鋼板40同士の間において、接着部41が、コアバック部22間に部分的に設けられ、かつティース部23間にも部分的に設けられていることが好ましい。

接着部41は、典型的には、積層方向に隣り合う電磁鋼板40同士の間の複数箇所に分散して配置されている。

[0054] 図3は、接着部41の配置パターンの一例である。この例において、接着部41は、円形をなす複数の点状に形成されている。より具体的に言うと、コアバック部22においては、その周方向に等角度間隔を置いて複数の接着部41が、平均直径が12mmの点状に形成されている。各ティース部23においては、径方向に沿って複数の接着部41が、平均直径が8mmの点状に形成されている。

ここで示した平均直径は一例である。コアバック部22における点状の接着部41の平均直径は、2～20mmとすることが好ましい。各ティース部23における点状の接着部41の平均直径は、2～15mmとすることが好ましい。また、図3の形成パターンは一例であり、電磁鋼板40同士の間に設けられる接着部41の数、形状および配置は必要に応じて適宜変更できる。

平均直径は、電磁鋼板40同士を剥離した接着部41の接着剤跡の直径を定規により測定することで求められる。接着剤跡の平面視形状が真円でない場合、その直径は平面視での接着剤跡の外接円（真円）の直径とする。

[0055] （積層コアの製造方法）

以下、図面を参照し、本発明の一実施形態に係るステータ用接着積層コアの製造方法について説明する。

ステータコア21は、接着剤（X）を電磁鋼板40の表面の複数箇所に塗布した後に、別の電磁鋼板の上に重ねて圧着し、接着部41を形成する操作を繰り返すことにより製造できる。

[0056] 以下に、図4に示す製造装置100を用いて、ステータコア21を製造す

る方法を説明する。

まず先に、製造装置１００について説明する。同製造装置１００では、コイルＣ（フープ）から電磁鋼板Ｐを矢印Ｆ方向に向かって送り出しつつ、各ステージに配置された金型により複数回の打ち抜きを行って電磁鋼板４０の形状に徐々に形成していき、２枚目以降の電磁鋼板４０の下面の所定の位置に接着剤（Ｘ）を塗布し、打ち抜いた電磁鋼板４０を順次積層して圧着する。

[0057] 図４に示すように、製造装置１００は、コイルＣに最も近い位置に一段目の打ち抜きステーション１１０と、この打ち抜きステーション１１０よりも電磁鋼板Ｐの搬送方向に沿った下流側に隣接配置された二段目の打ち抜きステーション１２０と、この打ち抜きステーション１２０よりもさらに下流側に隣接配置された接着剤塗布ステーション１３０と、を備えている。

[0058] 打ち抜きステーション１１０は、電磁鋼板Ｐの下方に配置された雌金型１１１と、電磁鋼板Ｐの上方に配置された雄金型１１２とを備える。

打ち抜きステーション１２０は、電磁鋼板Ｐの下方に配置された雌金型１２１と、電磁鋼板Ｐの上方に配置された雄金型１２２とを備える。

接着剤塗布ステーション１３０は、前述した接着部４１の配置パターンに応じて配置された複数本のインジェクターを備える塗布器１３１を備える。

[0059] 製造装置１００は、さらに、接着剤塗布ステーション１３０よりも下流位置に積層ステーション１４０を備える。この積層ステーション１４０は、加熱装置１４１と、外周打ち抜き雌金型１４２と、断熱部材１４３と、外周打ち抜き雄金型１４４と、スプリング１４５と、を備えている。

加熱装置１４１、外周打ち抜き雌金型１４２、断熱部材１４３は、電磁鋼板Ｐの下方に配置されている。

外周打ち抜き雄金型１４４およびスプリング１４５は、電磁鋼板Ｐの上方に配置されている。

[0060] <打ち抜き工程>

以上の構成を有する製造装置１００において、まずコイルＣより電磁鋼板

Pを図4の矢印F方向に順次送り出す。そして、この電磁鋼板Pに対し、まず打ち抜きステーション110による打ち抜き加工を行う。続いて、この電磁鋼板Pに対し、打ち抜きステーション120による打ち抜き加工を行う。これら打ち抜き加工により、電磁鋼板Pに、図3に示したコアバック部22と複数のティース部23を有する電磁鋼板40の形状を得る。ただし、この時点では完全には打ち抜かれていないので、矢印F方向に沿って次工程へと進む。

[0061] <塗布工程>

次工程の接着剤塗布ステーション130では、塗布器131の前記各インジェクターから接着剤(X)が供給され、電磁鋼板40の下面の複数箇所に接着剤(X)が点状に塗布される。

[0062] <積層工程>

次いで、電磁鋼板Pは積層ステーション140へと送り出され、外周打ち抜き雄金型144により打ち抜かれて精度良く、積層される。例えば、コアバック部の外周端部の複数箇所に切欠きを形成し、その切欠きに対して側面からスケールを押し当てることで、各電磁鋼板40のずれを防止でき、より高精度に積層できる。積層の際、電磁鋼板40はスプリング145により一定の加圧力を受ける。接着剤(X)が加熱硬化型である場合は、加熱装置141によって例えば150～160℃に加熱し、硬化を促進する。

[0063] 以上のような、打ち抜き工程、塗布工程、積層工程、を順次繰り返すことで、所定枚数の電磁鋼板40を、接着部41を介して積み重ねることができる。

以上の各工程により、ステータコア21が完成する。

[0064] なお、本発明の技術的範囲は前記実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

[0065] ステータコアの形状は、前記実施形態で示した形態に限定されるものではない。具体的には、ステータコアの外径および内径の寸法、積厚、スロット

数、ティース部の周方向と径方向の寸法比率、ティース部とコアバック部との径方向の寸法比率、などは所望の回転電機の特性に依じて任意に設計可能である。

[0066] 前記実施形態におけるロータでは、2つ1組の永久磁石32が1つの磁極を形成しているが、本発明はこれに限られない。例えば、1つの永久磁石32が1つの磁極を形成していてもよく、3つ以上の永久磁石32が1つの磁極を形成していてもよい。

[0067] 前記実施形態では、回転電機として、永久磁石界磁型電動機を一例に挙げて説明したが、回転電機の構造は、以下に例示するようにこれに限られず、さらには以下に例示しない種々の公知の構造も採用可能である。

前記実施形態では、回転電機として、永久磁石界磁型電動機を一例に挙げて説明したが、本発明はこれに限られない。例えば、回転電機がリラクタンス型電動機や電磁石界磁型電動機（巻線界磁型電動機）であってもよい。

前記実施形態では、交流電動機として、同期電動機を一例に挙げて説明したが、本発明はこれに限られない。例えば、回転電機が誘導電動機であってもよい。

前記実施形態では、電動機として、交流電動機を一例に挙げて説明したが、本発明はこれに限られない。例えば、回転電機が直流電動機であってもよい。

前記実施形態では、回転電機として、電動機を一例に挙げて説明したが、本発明はこれに限られない。例えば、回転電機が発電機であってもよい。

[0068] 前記実施形態では、本発明に係る積層コアをステータコアに適用した場合を例示したが、ロータコアに適用することも可能である。

前記積層コアを、回転電機に代えて変圧器に採用することも可能である。この場合、電磁鋼板として、無方向電磁鋼板を採用することに代えて、方向性電磁鋼板を採用することが好ましい。

[0069] その他、本発明の趣旨に逸脱しない範囲で、前記実施形態における構成要素を周知の構成要素に置き換えることは適宜可能であり、また、前記した変

形例を適宜組み合わせてもよい。

[0070] 以下、実施例によって本発明を具体的に説明するが、本発明は以下の記載によっては限定されない。

[0071] [S P 値]

接着剤のS P 値は、下記の方法により測定した。無方向性電磁鋼板の表面に接着剤を塗布し、120℃に加熱して硬化させた。得られた硬化物に対して、表1に示すS P 値が既知の種々の溶剤を擦り付け、硬化物に溶剤が溶解することによって硬化物が剥離したとき、その溶剤のS P 値を当該接着剤のS P 値とした。

接着剤のS P 値の測定においては、表1に示す各溶剤と、それらのうちの2種を適宜混合してS P 値を調整した混合溶剤を用意し、7.0～11.4の範囲の0.1刻みでS P 値を測定できるようにした。硬化物が複数の溶剤に溶解して剥離する場合には、それらの溶剤のうち最も容易に硬化物が剥離する溶剤のS P 値を接着剤のS P 値とした。

[0072] [表1]

溶剤	SP値 [(cal/cm ³) ^{1/2}]	溶剤	SP値 [(cal/cm ³) ^{1/2}]
n-ペンタン	7.0	キシレン	8.8
n-ヘキサン	7.3	トルエン	8.9
ジエチルエーテル	7.4	酢酸エチル	9.1
n-オクタン	7.6	ベンゼン	9.2
塩化ビニル	7.8	メチルエチルケトン	9.3
シクロヘキサン	8.2	塩化メチレン	9.7
酢酸イソブチル	8.3	アセトン	9.9
酢酸イソプロピル	8.4	二硫化炭素	10.0
酢酸ブチル	8.5	酢酸	10.1
四塩化炭素	8.6	n-ヘキサノール	10.7
メチルプロピルケトン	8.7	シクロヘキサノール	11.4

[0073] [引張弾性率]

常温での平均引張弾性率は、共振法により25℃で測定した。150℃での平均引張弾性率は、測定温度を150℃にする以外は、常温での平均引張弾性率と同様の方法で測定した。

[0074] [実施例 1]

エピクロルヒドリンとビスフェノール F とを重合して得られたビスフェノール F 型エポキシ樹脂 ($T_g : 130^\circ\text{C}$) 100 質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂 20 質量部とを混合して接着剤 (X-1) を調製した。得られた接着剤 (X-1) の SP 値は $8.1 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤 (X-1) を用いて後述のせん断引張試験片を作製し、油面接着性を評価した。また、接着剤 (X-1) を用いて作製した積層コアの振動及び騒音も評価した。

[0075] [実施例 2]

エピクロルヒドリンとビスフェノール F とを重合して得られたビスフェノール F 型エポキシ樹脂 ($T_g : 130^\circ\text{C}$) 100 質量部と、有機リン化合物としてヘキサメチルリン酸トリアミド 25 質量部とを混合して接着剤 (X-2) を調製した。得られた接着剤 (X-2) の SP 値は $8.5 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤 (X-1) の代わりに接着剤 (X-2) を用いる以外は、実施例 1 と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0076] [実施例 3]

エピクロルヒドリンとビスフェノール F とを重合して得られたビスフェノール F 型エポキシ樹脂 ($T_g : 130^\circ\text{C}$) 100 質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂 20 質量部と、エラストマーとして EPDM 5 質量部とを混合して接着剤 (X-3) を調製した。得られた接着剤 (X-3) の SP 値は $8.2 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤 (X-1) の代わりに接着剤 (X-3) を用いる以外は、実施例 1 と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。また、接着部の常温での平均引張弾性率は 3000 MPa であり、 150°C での平均引張弾性率は 2000 MPa であった。

[0077] [実施例 4]

メチルメタクリレートを60質量部とシクロヘキシルメタクリレートを40質量部とを混合して接着剤(X-4)を調製した。得られた接着剤(X-4)のSP値は $10.2 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤(X-1)の代わりに接着剤(X-4)を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0078] [実施例5]

エピクロルヒドリンとビスフェノールFとを重合して得られたビスフェノールF型エポキシ樹脂($T_g: 130^\circ\text{C}$)100質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂20質量部と、溶剤としてシクロヘキサン5質量部とを混合して接着剤(X-5)を調製した。得られた接着剤(X-5)のSP値は $8.0 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤(X-1)の代わりに接着剤(X-5)を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0079] [実施例6]

アクリル樹脂がグラフト重合されたアクリル変性エポキシ樹脂(アクリル樹脂の含有量: 30質量%)100質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂20質量部とを混合して接着剤(X-6)を調製した。得られた接着剤(X-6)のSP値は $7.8 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤(X-1)の代わりに接着剤(X-6)を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0080] [実施例7]

アクリル樹脂がグラフト重合されたアクリル変性エポキシ樹脂(アクリル樹脂の含有量: 30質量%)100質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂10質量部と、エラストマーとしてブタジエンゴム20質量部とを混合して接着剤(X-7)を調製した。得られた接着剤(X-7)のSP値は $9.1 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤(X-1)の代わりに接着剤(X-7)を用いる以外は、実施例1

と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0081] [実施例 8]

ビスフェノール A とエピクロルヒドリンとを重合して得られたビスフェノール A 型エポキシ樹脂 (T_g : 110°C) 100 質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂 20 質量部とを混合して接着剤 (X-8) を調製した。得られた接着剤 (X-8) の SP 値は $8.0 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤 (X-1) の代わりに接着剤 (X-8) を用いる以外は、実施例 1 と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0082] [実施例 9]

エピクロルヒドリンとビスフェノール F とを重合して得られたビスフェノール F 型エポキシ樹脂 (T_g : 130°C) 100 質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂 10 質量部とを混合して接着剤 (X-9) を調製した。得られた接着剤 (X-9) の SP 値は $9.5 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤 (X-1) の代わりに接着剤 (X-9) を用いる以外は、実施例 1 と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0083] [実施例 10]

エピクロルヒドリンとビスフェノール F とを重合して得られたビスフェノール F 型エポキシ樹脂 (T_g : 130°C) 100 質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂 30 質量部とを混合して接着剤 (X-10) を調製した。得られた接着剤 (X-10) の SP 値は $7.9 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤 (X-1) の代わりに接着剤 (X-10) を用いる以外は、実施例 1 と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0084] [実施例 11]

エピクロルヒドリンとビスフェノール F とを重合して得られたビスフェノール F 型エポキシ樹脂 (T_g : 130°C) 100 質量部と、有機リン化合物

としてヘキサメチルリン酸トリアミド10質量部とを混合して接着剤(X-11)を調製した。得られた接着剤(X-11)のSP値は $9.9 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤(X-1)の代わりに接着剤(X-11)を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0085] [実施例12]

エピクロルヒドリンとビスフェノールFとを重合して得られたビスフェノールF型エポキシ樹脂($T_g: 130^\circ\text{C}$)100質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂20質量部と、エラストマーとしてEPDM40質量部とを混合して接着剤(X-12)を調製した。得られた接着剤(X-12)のSP値は $7.9 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤(X-1)の代わりに接着剤(X-12)を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。また、接着部の常温での平均引張弾性率は1600MPaであり、150°Cでの平均引張弾性率は1100MPaであった。

[0086] [実施例13]

エピクロルヒドリンとビスフェノールFとを重合して得られたビスフェノールF型エポキシ樹脂($T_g: 130^\circ\text{C}$)100質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂20質量部と、溶剤としてシクロヘキサン30質量部とを混合して接着剤(X-13)を調製した。得られた接着剤(X-13)のSP値は $7.8 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤(X-1)の代わりに接着剤(X-13)を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0087] [実施例14]

アクリル樹脂がグラフト重合されたアクリル変性エポキシ樹脂(アクリル樹脂の含有量: 60質量%)100質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂10質量部とを混合して接着剤(X-14)を調製した。得られた接着剤(X-14)のSP値は $7.9 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$

であった。

接着剤(X-1)の代わりに接着剤(X-14)を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0088] [実施例15]

グリシジルアミン型エポキシ樹脂(T_g:160℃)100質量部と、有機リン化合物としてヘキサメチルリン酸トリアミド25質量部とを混合して接着剤(X-15)を調製した。得られた接着剤(X-15)のSP値は8.4(cal/cm³)^{1/2}であった。

接着剤(X-1)の代わりに接着剤(X-15)を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0089] [比較例1]

エピクロルヒドリンとビスフェノールFとを重合して得られたビスフェノールF型エポキシ樹脂(T_g:130℃)100質量部とエポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂3質量部とを混合して接着剤(Y-1)を調製した。得られた接着剤(Y-1)のSP値は10.8(cal/cm³)^{1/2}であった。

接着剤(X-1)の代わりに接着剤(Y-1)を用いて後述のせん断引張試験片を作製し、油面接着性を評価した。

[0090] [比較例2]

エピクロルヒドリンとビスフェノールFとを重合して得られたビスフェノールF型エポキシ樹脂(T_g:130℃)100質量部と有機リン化合物としてヘキサメチルリン酸トリアミド2質量部とを混合して接着剤とを混合して接着剤(Y-2)を調製した。得られた接着剤(Y-2)のSP値は10.9(cal/cm³)^{1/2}であった。

接着剤(X-1)の代わりに接着剤(Y-2)を用いて後述のせん断引張試験片を作製し、油面接着性を評価した。

[0091] [比較例3]

エピクロルヒドリンとビスフェノールFとを重合して得られたビスフェノ

ールF型エポキシ樹脂 ($T_g : 130^\circ\text{C}$) 100質量部、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂3質量部とエラストマーとしてEPDM 1質量部とを混合して接着剤 (Y-3) を調製した。得られた接着剤 (Y-3) のSP値は $10.8 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤 (X-1) の代わりに接着剤 (Y-3) を用いて後述のせん断引張試験片を作製し、油面接着性を評価した。また、接着部の常温での平均引張弾性率は 1200MPa であり、 150°C での平均引張弾性率は 800MPa であった。

[0092] [比較例4]

イソブチルメタクリレート80質量部とポリメチルメタクリレート20質量部とを混合して接着剤 (Y-4) を調製した。得られた接着剤 (Y-4) のSP値は $7.5 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤 (X-1) の代わりに接着剤 (Y-4) を用いて後述のせん断引張試験片を作製し、油面接着性を評価した。

[0093] [比較例5]

エピクロルヒドリンとビスフェノールFとを重合して得られたビスフェノールF型エポキシ樹脂 ($T_g : 130^\circ\text{C}$) 100質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂3質量部と、溶剤としてシクロヘキサノール5質量部とを混合して接着剤 (Y-5) を調製した。得られた接着剤 (Y-5) のSP値は $11.0 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤 (X-1) の代わりに接着剤 (Y-5) を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0094] [比較例6]

アクリル樹脂がグラフト重合されたアクリル変性エポキシ樹脂 (アクリル樹脂の含有量: 85質量%) 100質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂20質量部とを混合して接着剤 (Y-6) を調製した。得られた接着剤 (Y-6) のSP値は $7.0 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤（X-1）の代わりに接着剤（Y-6）を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0095] [比較例7]

アクリル樹脂がグラフト重合されたアクリル変性エポキシ樹脂（アクリル樹脂の含有量：75質量%）100質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂20質量部と、エラストマーとしてエチレンプロピレンジエンゴム（EPDM）60質量部とを混合して接着剤（Y-7）を調製した。得られた接着剤（Y-7）のSP値は $7.4 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤（X-1）の代わりに接着剤（Y-7）を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0096] [比較例8]

ビスフェノールAとエピクロルヒドリンとを重合して得られたビスフェノールA型エポキシ樹脂（ T_g ：105℃）100質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂3質量部とを混合して接着剤（Y-8）を調製した。得られた接着剤（Y-8）のSP値は $10.8 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤（X-1）の代わりに接着剤（Y-8）を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0097] [比較例9]

エピクロルヒドリンとビスフェノールFとを重合して得られたビスフェノールF型エポキシ樹脂（ T_g ：130℃）100質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂40質量部とを混合して接着剤（Y-9）を調製した。得られた接着剤（Y-9）のSP値は $7.5 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤（X-1）の代わりに接着剤（Y-9）を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0098] [比較例10]

エピクロルヒドリンとビスフェノールFとを重合して得られたビスフェノールF型エポキシ樹脂 ($T_g : 130^\circ\text{C}$) 100質量部と、有機リン化合物としてヘキサメチルリン酸トリアミド40質量部とを混合して接着剤 (Y-10) を調製した。得られた接着剤 (Y-10) のSP値は $7.7 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤 (X-1) の代わりに接着剤 (Y-10) を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0099] [比較例11]

エピクロルヒドリンとビスフェノールFとを重合して得られたビスフェノールF型エポキシ樹脂 ($T_g : 130^\circ\text{C}$) 100質量部と、エポキシ樹脂硬化剤としてフェノールノボラック樹脂20質量部と、エラストマーとしてEPDM60質量部とを混合して接着剤 (Y-11) を調製した。得られた接着剤 (Y-11) のSP値は $7.6 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ であった。

接着剤 (X-1) の代わりに接着剤 (Y-11) を用いる以外は、実施例1と同様に油面接着性、振動及び騒音を評価した。

[0100] [油面接着性の評価]

油面接着性は、JIS K6850:1999に準じてせん断引張試験片を作製し、接着強度を測定して、以下の評価基準で評価した。

Si: 3.0質量%、Al: 0.5質量%、Mn: 0.1質量%を含有する無方向性電磁鋼板用の組成を有する厚み0.3mmの鋼板から矩形状の試験用鋼板 (幅25mm×長さ100mm) を2枚切り出した。各々の試験用鋼板の片面全体に、打ち抜き油である鉍油 (SP値: $8.5 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$) を塗布量が $50\text{mg}/\text{m}^2$ となるように塗布した。1枚の試験用鋼板の油面における先端から10mmまでの部分に接着剤を塗布量が $1\text{g}/\text{m}^2$ となるように塗布し、先端から10mmまでの部分同士が接触するように、もう1枚の試験用鋼板を油面同士が向き合うように重ねた。それらを温度 100°C 、圧力 100Pa の条件で加熱圧着して、せん断引張試験片を得た。

引張試験環境は常温 (25°C) とした。試験速度は $3\text{mm}/\text{分}$ とした。結

果を表2に示す。

(評価基準)

A : 剥離強度が 250 kg f / cm^2 以上。

B : 剥離強度が 200 kg f / cm^2 以上 250 kg f / cm^2 未満。

C : 剥離強度が 150 kg f / cm^2 以上 200 kg f / cm^2 未満。

D : 剥離強度が 100 kg f / cm^2 以上 150 kg f / cm^2 未満。

E : 剥離強度が 70 kg f / cm^2 以上 100 kg f / cm^2 未満。

F : 剥離強度が 50 kg f / cm^2 以上 70 kg f / cm^2 未満。

G : 剥離強度が 10 kg f / cm^2 以上 50 kg f / cm^2 未満。

H : 剥離強度が 10 kg f / cm^2 未満。

[0101] [騒音振動評価]

(試験用ステータコアの作製)

Si : 3.0質量%、Al : 0.5質量%、Mn : 0.1質量%を含有する無方向性電磁鋼板用の組成を有するフープを作製した。地鉄の厚さは0.3mmとした。このフープにリン酸金属塩とアクリル樹脂エマルジョンを含有する絶縁被膜処理液を塗布し、 300°C で焼付け、所定量の絶縁被膜を施した。

このフープ（電磁鋼板）を、図4に示す構成の製造装置100を用いて、以下の手順により、外径300mm、内径240mmのリング状で、内径側に長さ30mm、幅15mmの長方形のティース部を18か所設けた単板コアに打ち抜き、順次積層してステータコアを作製した。

コイルCより前記フープを図4の矢印F方向に順次送り出した。そして、このフープに対し、まず打ち抜きステーション110による打ち抜き加工を行い、続いて、このフープに対し、打ち抜きステーション120による打ち抜き加工を行った。これら打ち抜き加工により、フープに、図3に示したコアバック部22と複数のティース部23を有する電磁鋼板40の形状を形成した（打ち抜き工程）。

続いて、接着剤塗布ステーション130で塗布器131により各例の接着

剤を、図3に示すように、フープのティース部23およびコアバック部22の下面（第1面）の所定箇所に点状に塗布した（塗布工程）。ティース部23における接着部の平均直径は5 mm、コアバック部22における接着部の平均直径は7 mmとした。

続いて、積層ステーション150へ送り出されたフープを外周打ち抜き雄金型154により単板コアに打ち抜き、加圧しながら積層した（積層工程）。また、このとき、加熱装置151により80℃に加熱して接着剤の硬化を促進した。

以上の打ち抜き工程、塗布工程、積層工程を順次繰り返して単板コア130枚を積層した試験用ステータコアを得た。

[0102] （打音テスト（騒音振動評価））

作製した試験用ステータコアのコアバック部の外周端部をインパクトハンマーによって半径方向に加振し、その加振源に対して軸方向に180°の方向におけるティース部の先端とコアバック部の中央部を測定点として、騒音振動のモーダル解析を行った。また、コアバック部の半径方向の中央部をインパクトハンマーによって軸方向に加振した場合についても、その加振源に対して軸方向に180°の方向におけるティース部の先端とコアバック部の中央部を測定点として、騒音振動のモーダル解析を行った。評価は以下の基準に従って行った。数値が小さいほど騒音および振動を抑制できることを意味する。

- 1：振動ピークが1つないし2つのみ検出される。
- 2：振動ピークが数個検出される。
- 3：加振方向によっては10個以上の振動ピークが検出される。
- 4：主ピークはあるが、10個以上の振動ピークが検出される。
- 5：主ピークが無く、10個以上の振動ピークが検出される。

[0103]

[表2]

	接着剤		油面接着性		騒音 振動 評価
	種類	SP値 [$(\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$]	剥離強度 [kgf/cm^2]	評価	
実施例1	X-1	8.1	220	B	2
実施例2	X-2	8.5	260	A	1
実施例3	X-3	8.2	250	A	1
実施例4	X-4	10.2	160	C	3
実施例5	X-5	8.0	200	B	2
実施例6	X-6	7.8	150	C	3
実施例7	X-7	9.1	240	B	2
実施例8	X-8	8.0	210	B	2
実施例9	X-9	9.5	220	B	2
実施例10	X-10	7.9	160	C	3
実施例11	X-11	9.9	210	B	2
実施例12	X-12	7.9	170	C	3
実施例13	X-13	7.8	160	C	3
実施例14	X-14	7.9	170	C	3
実施例15	X-15	8.4	270	A	1
比較例1	Y-1	10.8	140	D	4
比較例2	Y-2	10.9	130	D	4
比較例3	Y-3	10.8	140	D	4
比較例4	Y-4	7.5	65	F	5
比較例5	Y-5	11.0	90	E	5
比較例6	Y-6	7.0	5	H	5
比較例7	Y-7	7.4	20	G	5
比較例8	Y-8	10.8	140	D	4
比較例9	Y-9	7.5	60	F	5
比較例10	Y-10	7.7	45	G	5
比較例11	Y-11	7.6	35	G	5

産業上の利用可能性

[0104] 本発明によれば、積層コアにおける打ち抜き加工後の電磁鋼板同士の接着強度を向上させることができる。よって、産業上の利用可能性は大である。

符号の説明

[0105] 10…回転電機、20…ステータ、21…ステータ用接着積層コア、40…電磁鋼板、41…接着部。

請求の範囲

- [請求項1] 互いに積層され、両面が絶縁被膜により被覆された複数の電磁鋼板と、
- 積層方向に隣り合う前記電磁鋼板同士の間に配置され、これらの電磁鋼板同士を接着する接着部と、を備え、
- 前記積層方向に隣り合う前記電磁鋼板同士の全ての組が、前記電磁鋼板同士の間の複数の前記接着部により接着され、
- 前記接着部が前記電磁鋼板同士の間の複数箇所に設けられ、
- 前記接着部が、アクリル樹脂およびエポキシ樹脂のいずれか一方または両方を含み、かつSP値が $7.8 \sim 10.7 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ である接着剤から形成されている、積層コア。
- [請求項2] 前記接着剤が、エポキシ樹脂とフェノールノボラック樹脂とを含むエポキシ樹脂系接着剤である、請求項1に記載の積層コア。
- [請求項3] 前記エポキシ樹脂系接着剤が、エポキシ樹脂100質量部と、フェノールノボラック樹脂5～35質量部とからなる接着剤である、請求項2に記載の積層コア。
- [請求項4] 前記エポキシ樹脂系接着剤が、エポキシ樹脂100質量部と、フェノールノボラック樹脂5～35質量部と、エラストマー5～50質量部とからなる接着剤である、請求項2に記載の積層コア。
- [請求項5] 前記エポキシ樹脂系接着剤が、エポキシ樹脂100質量部と、フェノールノボラック樹脂5～35質量部と、SP値が $7.0 \sim 10.7 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$ の溶剤5～35質量部とからなる接着剤である、請求項2に記載の積層コア。
- [請求項6] 前記エポキシ樹脂系接着剤が、さらにアクリル樹脂を含む、請求項2に記載の積層コア。
- [請求項7] 前記エポキシ樹脂系接着剤が、アクリル樹脂がグラフト重合されたアクリル変性エポキシ樹脂100質量部と、フェノールノボラック樹脂5～35質量部とからなる接着剤である、請求項6に記載の積層コ

ア。

- [請求項8] 前記エポキシ樹脂系接着剤が、アクリル樹脂がグラフト重合されたアクリル変性エポキシ樹脂100質量部と、フェノールノボラック樹脂5～35質量部と、エラストマー5～50質量部とからなる接着剤である、請求項6に記載の積層コア。
- [請求項9] 前記接着剤が、ガラス転移温度が120～180℃のエポキシ樹脂と、有機リン化合物とを含むエポキシ樹脂系接着剤である、請求項1に記載の積層コア。
- [請求項10] 前記接着剤が、エポキシ樹脂100質量部と、有機リン化合物5～35質量部とからなるエポキシ樹脂系接着剤である、請求項1に記載の積層コア。
- [請求項11] 前記接着剤が、エポキシ樹脂と、エポキシ樹脂硬化剤と、エラストマーとを含むエポキシ樹脂系接着剤であり、
前記接着部の常温での平均引張弾性率が1500～5000MPaであり、150℃での平均引張弾性率が1000～3000MPaである、請求項1に記載の積層コア。
- [請求項12] ステータ用接着積層コアである、請求項1～11のいずれか一項に記載の積層コア。
- [請求項13] 請求項1～12のいずれか一項に記載の積層コアを備える回転電機。
- [請求項14] 請求項1に記載の積層コアの製造方法であって、
前記電磁鋼板の表面に前記接着剤を塗布した後に別の電磁鋼板の上に重ねて圧着し、前記接着部を形成する操作を繰り返す、積層コアの製造方法。