

明 細 書

発明の名称： 積層コアおよび回転電機

技術分野

[0001] 本発明は、積層コア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2018-235857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] 従来から、下記特許文献1に記載されているような積層コアが知られている。この積層コアでは、積層方向に隣り合う電磁鋼板が接着されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2011-023523号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 前記従来の積層コアには、磁気特性を向上させることについて改善の余地がある。

[0005] 本発明は、前述した事情に鑑みてなされたものであって、積層コアの磁気特性を向上させることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] (1) 本発明の一態様は、互いに積層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設けられ、前記電磁鋼板同士をそれぞれ接着する接着部と、を備え、前記電磁鋼板は、環状のコアバック部と、前記コアバック部から前記コアバック部の径方向に延びるとともに前記コアバック部の周方向に間隔をあけて配置された複数のティース部と、を有し、前記電磁鋼板の前記ティース部は、周方向に沿って延びる帯形状の接着部が設けられた接着領域を有する積層コアである。

[0007] 上述の構成によれば、電磁鋼板のティース部は、帯形状の接着部が設けら

れた接着領域を有している。帯形状の接着部は、一方向に沿って延びるため、同一範囲に点状の接着部を間欠的に設ける場合と比較して、接着部の接着面積を大きくして接着強度を高めることができる。

接着部に接触する電磁鋼板の領域には、接着剤の硬化収縮に起因する歪が生じ、当該領域において電磁鋼板の鉄損が上昇する。ここで、接着領域と接触して歪によって鉄損が上昇する電磁鋼板の領域を「劣化領域」と呼ぶ。上述の構成によれば、接着部は周方向に延びる帯形状であって、ティース部に設けられているため、劣化領域が、ティース部において周方向に延びる。ティース部に流れる磁束は、径方向に沿うため、劣化領域が周方向に延びることで、劣化領域を通過する磁束の経路長が短くなる。したがって、磁気回路における各磁束への磁気抵抗が小さくなり、積層コアの磁気特性の劣化を抑制することができる。

[0008] (2) 前記(1)に係る積層コアでは、前記接着領域は、前記ティース部の先端近傍より前記コアバック部側に形成されている、構成としてもよい。

[0009] 磁束は、ティース部の先端から周方向両側に拡散して延びる。このため、ティース部の先端近傍は、周方向両端部において磁束が集中しやすい。磁束が集中した領域に劣化領域が設けられると、鉄損の上昇が顕著となりやすい。このため、劣化領域がティース部の先端近傍に設けられると、鉄損が大きくなりやすい。上述の構成によれば、接着領域がティース部の先端近傍よりコアバック部側に位置するため、劣化領域を磁束密度の高い領域から離して配置することができ、鉄損の上昇を抑制できる。

[0010] (3) 前記(1)又は前記(2)に係る積層コアでは、前記接着領域は、前記ティース部の周方向中央部から前記ティース部の周方向端部側に向かうに従い径方向の幅寸法が大きくなる、構成としてもよい。

[0011] 磁束は、ティース部の先端から周方向両側に拡散して延びる。また、磁束は、最短距離を通るように流れる傾向がある。このため、ティース部の磁束密度は、周方向端部側に向かうに従って高くなる。周方向においてティース部の磁束密度のばらつきが大きくなると積層コアの磁気特性が低下する虞が

ある。上述の構成によれば、接着領域の径方向の幅寸法が、ティース部の中央部から周方向端部側に向かうに従って大きくなる。すなわち、劣化領域の径方向の長さがティース部の中央部から周方向端部側に向かうに従って長くなる。このため、ティース部は、周方向外側に向かうに従い磁気抵抗が大きくなり、周方向端部側において磁束が流れにくくなる。これにより、ティース部の磁束密度のばらつきを抑制し、ティース部内の磁束密度を一様に近づけることができ、積層コアの磁気特性を向上できる。

[0012] (4) 前記(1)又は前記(2)に係る積層コアでは、前記接着領域は、周方向に沿って円弧状に延びる、構成としてもよい。

[0013] 上述の構成によれば、接着部を周方向に沿って一様に塗布することができるため、製造工程を簡素化できる。

[0014] (5) 前記(1)～前記(4)に係る積層コアでは、前記接着部は、前記ティース部の全幅に亘って延びる、構成としてもよい。

[0015] 上述の構成によれば、接着部がティース部の全幅に亘って延びるため、ティース部同士の接着強度を確保しやすい。

[0016] (6) 前記(1)～前記(5)の何れか1つに記載の積層コアでは、前記接着部の平均厚みが $1.0\mu\text{m}$ ～ $3.0\mu\text{m}$ であってもよい。

[0017] (7) 前記(1)～前記(6)の何れか1つに記載の積層コアでは、前記接着部の平均引張弾性率 E が 1500MPa ～ 4500MPa であってもよい。

[0018] (8) 前記(1)～前記(7)の何れか1つに記載の積層コアでは、前記接着部が、エラストマー含有アクリル系接着剤からなるSGAを含む常温接着タイプのアクリル系接着剤であってもよい。

[0019] (9) 前記(1)～前記(8)の何れか1つに記載の積層コアでは、前記接着部の融点が 180°C 以上であってもよい。

[0020] (10) 本発明の一態様の回転電機は、前記(1)～前記(9)の何れか1つに記載の積層コアを備える、回転電機。

[0021] 上述の構成の回転電機によれば、磁気特性に優れた積層コアを有するため

、回転電機のエネルギー効率を高めることができる。

発明の効果

[0022] 本発明によれば、積層コアの磁気特性を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]本発明の一実施形態に係る回転電機の断面図である。

[図2]図1に示す回転電機が備えるステータの平面図である。

[図3]図1に示す回転電機が備えるステータの正面図である。

[図4]図2および図3に示すステータの電磁鋼板および接着領域の模式図である。

[図5]変形例1のステータの接着領域の模式図である。

[図6]変形例2のステータの接着領域の模式図である。

[図7]変形例3のステータの接着領域の模式図である。

[図8]変形例4のステータの接着領域の模式図である。

[図9]変形例5のステータの接着領域の模式図である。

[図10]モデルNo. 1～モデルNo. 4の鉄損のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図11]比較例としてのモデルNo. 4のステータコアの模式図である。

発明を実施するための形態

[0024] 以下、図面を参照し、本発明の一実施形態に係る回転電機を説明する。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。

[0025] 図1および図2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に收容される。ステータ20は、ケース50に固定される。

[0026] 本実施形態の回転電機10において、例えば、ステータ20の各相には、

実効値 10 A、周波数 100 Hz の励磁電流を印加され、これに伴い、ロータ 30 および回転軸 60 が回転数 1000 rpm で回転する。

[0027] 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、例えば極数やスロット数、相数などは適宜変更することができる。

[0028] ステータ 20 は、ステータコア（積層コア）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（コアバック部 22）の軸方向（ステータコア 21 の中心軸線 O 方向）を軸方向といい、ステータコア 21（コアバック部 22）の径方向（ステータコア 21 の中心軸線 O に直交する方向）を径方向といい、ステータコア 21（コアバック部 22）の周方向（ステータコア 21 の中心軸線 O 周りに周回する方向）を周方向という。

[0029] 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 から径方向の内側に（径方向に沿ってコアバック部 22 の中心軸線 O に向けて）延びる。複数のティース部 23 は、周方向に同等の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。

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

[0030] 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。

[0031] 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 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等により、実現することができる。なお、永久磁石界磁型電動機として、埋込磁石型に代えて表面磁石型モータを採用してもよい。

[0032] <積層コア>

図 3 に示すように、ステータコア 21 は、積層コアである。ステータコア 21 は、複数の電磁鋼板 40 が積層されることで形成されている。すなわち、ステータコア 21 は、積層方向に積層された複数の電磁鋼板 40 を備える。

[0033] なおステータコア 21 の積厚は、例えば 50.0 mm とされる。ステータコア 21 の外径は、例えば 250.0 mm とされる。ステータコア 21 の内径は、例えば 165.0 mm 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、外径や内径は、これらの値に限られない。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

先端部を基準としている。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。

- [0034] 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等により形成される。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、JIS C 2552 : 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、JIS C 2553 : 2012 の方向性電鋼帯を採用することができる。

- [0035] 電磁鋼板の加工性や、積層コアの鉄損を改善するため、電磁鋼板 40 の両面には、絶縁被膜が設けられている。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、などが適用できる。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、エポキシ系樹脂、アクリル系樹脂、アクリルスチレン系樹脂、ポリエステル系樹脂、シリコン系樹脂、フッ素系樹脂などが挙げられる。

- [0036] 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 $0.1 \mu\text{m}$ 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ステータコア 21 における絶縁被膜の占める割合が増加し、ステータコア 21 の磁気特性が低下する。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 $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $2 \mu\text{m}$ 以下である。

[0037] 電磁鋼板40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0.10mm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0.65mm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0.35mm以下とすることが好ましく、より好ましくは、0.20mm又は0.25mmである。

上記の点を考慮し、各電磁鋼板40の厚さは、例えば、0.10mm以上0.65mm以下、好ましくは、0.10mm以上0.35mm以下、より好ましくは0.20mmや0.25mm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。

[0038] 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によって接着されている。接着部41は、積層方向に隣り合う電磁鋼板40同士の間 に設けられ、分断されることなく硬化した接着剤である。接着剤には、例えば重合結合による熱硬化型の接着剤などが用いられる。接着剤の組成物としては、(1)アクリル系樹脂、(2)エポキシ系樹脂、(3)アクリル系樹脂およびエポキシ系樹脂を含んだ組成物などが適用可能である。このような接着剤としては、熱硬化型の接着剤の他、ラジカル重合型の接着剤なども使用可能であり、生産性の観点からは、常温硬化型の接着剤を使用することが望ましい。常温硬化型の接着剤は、20℃～30℃で硬化する。常温硬化型の接着剤としては、アクリル系接着剤が好ましい。代表的なアクリル系接着剤には、SGA（第二世代アクリル系接着剤。Second Generation Acrylic Adhesive）などがある。本発明の効果を損なわない範囲で、嫌気性接着剤、瞬間接着剤、エラストマー含有アクリ

ル系接着剤がいずれも使用可能である。なお、ここで言う接着剤は硬化前の状態を言い、接着剤が硬化した後は接着部41となる。

[0039] 接着部41の常温(20℃～30℃)における平均引張弾性率Eは、1500MPa～4500MPaの範囲内とされる。接着部41の平均引張弾性率Eは、1500MPa未満であると、積層コアの剛性が低下する不具合が生じる。そのため、接着部41の平均引張弾性率Eの下限値は、1500MPa、より好ましくは1800MPaとされる。逆に、接着部41の平均引張弾性率Eが4500MPaを超えると、電磁鋼板40の表面に形成された絶縁被膜が剥がれる不具合が生じる。そのため、接着部41の平均引張弾性率Eの上限値は、4500MPa、より好ましくは3650MPaとされる。

なお、平均引張弾性率Eは、共振法により測定される。具体的には、JIS R 1602:1995に準拠して引張弾性率を測定する。

より具体的には、まず、測定用のサンプル(不図示)を製作する。このサンプルは、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。この硬化は、接着剤が熱硬化型の場合には、実作業上の加熱加圧条件で加熱加圧することで行う。一方、接着剤が常温硬化型の場合には常温下で加圧することで行う。

そして、このサンプルについての引張弾性率を、共振法で測定する。共振法による引張弾性率の測定方法は、上述した通り、JIS R 1602:1995に準拠して行う。その後、サンプルの引張弾性率(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Eとみなす。平均引張弾性率E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。

[0040] モータは、駆動時に発熱する。このため、接着部41の融点が低いと、モータの発熱によって接着部41が溶融して接着領域42の形状が変化し所望の効果をを得ることができない。一般的に、ステータコア21に巻かれる巻線の表面には、絶縁性の被覆（エナメル）が設けられる。この被覆の耐熱温度は、例えば180℃程度である。このため、一般的なモータは、180℃以下となるように駆動される。すなわち、モータは、180℃程度まで昇温し得る。本実施形態において、接着部41の融点は、180℃以上であることが好ましい。さらに、局所的に高温となる部位があることを加味した安全率を考慮し、接着部41の融点は、200℃以上であることがさらに好ましい。

[0041] 接着方法としては、例えば、電磁鋼板40に接着剤を塗布した後、加熱および圧着のいずれかまたは両方により接着する方法が採用できる。なお加熱手段は、例えば高温槽や電気炉内での加熱、または直接通電する方法等、どのような手段でも良い。

[0042] 安定して十分な接着強度を得るために、接着部41の厚さは1μm以上とすることが好ましい。

一方で接着部41の厚さが100μm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、積層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1μm以上100μm以下、さらに好ましくは1μm以上10μm以下とすることが好ましい。

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。

[0043] 接着部41の平均厚みは、1.0μm以上3.0μm以下とすることがより好ましい。接着部41の平均厚みが1.0μm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、1.0μm、より好ましくは1.2μmとされる。逆に、接着部41の平均厚みが3.0μm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。

[0044] 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Eは、例えば、熱硬化型の接着剤の場合には、接着時に加える加熱加圧条件及び硬化剤種類の一方もしくは両方を変更すること等により調整することができる。

[0045] 次に、図4を基に、電磁鋼板40と接着部41および接着領域42との関係について説明する。

図4に示すように、積層方向に隣り合う電磁鋼板40同士は、互いに全面接着されていない。これらの電磁鋼板40同士は、互いに局所的に接着されている。接着部41は、電磁鋼板の複数のティース部23に設けられている。ティース部23は接着部41によって接着されている。すなわち、複数の電磁鋼板40は、接着部41によって互いに接着されている。

[0046] 電磁鋼板40において積層方向を向く面（以下、電磁鋼板40の第1面という）には、接着領域42と、非接着領域（ブランク領域）とが形成されている。接着領域42とは、電磁鋼板40の第1面のうち、接着部41が設けられた領域である。より具体的には、接着領域42とは、電磁鋼板40の第1面のうち、硬化した接着剤が設けられている領域である。非接着領域とは、電磁鋼板の第1面のうち、接着部41が設けられていない領域である。

[0047] 接着部41は、1つのティース部23に1つ設けられる。本実施形態によれば、接着部41は、複数のティース部23にそれぞれ設けられる。このため、複数の接着部41は、電磁鋼板40全体として、周方向に沿って離散的

に設けられている。これにより、電磁鋼板 40 同士をバランスよく固定することができる。

[0048] 接着部 41 は、周方向に沿って直線状に延びる帯状に形成されている。したがって、接着領域 42 も接着部 41 と同様に、周方向に沿って直線状に延びる帯状に形成されている。すなわち、接着領域 42 は、ティース部 23 が延びる方向に対して直交する方向に延びる。接着領域 42 の幅寸法は、接着領域 42 の全長に亘って一様である。また、接着領域 42 は、ティース部 23 の先端近傍に位置する。ここで、ティース部 23 の先端近傍とは、ティース部 23 の先端から、ティース部 23 の径方向の長さに沿ってティース部 23 の径方向の長さの $1/10$ に至るまでの範囲を言う。

なお、本明細書において、ティース部 23 が延びる方向（すなわち径方向）をティース部 23 の長さ方向と呼び、長さ方向と直交する方向をティース部 23 の幅方向と呼ぶ場合がある。

また、本明細書において、接着部 41 が延びる形状としての「帯形状」とは、一方向に延びる形状であって、幅がステータコア 21 の外径の 1.5% 以上であることを意味する。接着部 41 の幅がステータコア 21 の外径の 1.5% 以上であることで、電磁鋼板 40 同士の接着強度を十分に確保することができる。

[0049] なお、本実施形態において、接着領域 42 の幅寸法が接着領域 42 の全長に亘って一様である場合について説明した。しかしながら、接着領域 42 の幅寸法は、必ずしも一様でなくてもよい。一例として、接着領域 42 の幅方向両端部が、長さ方向に沿って曲がりくねって延びていてもよい。

[0050] 接着部 41 は、平面視において径方向と直交する方向を長手方向とする略矩形状である。本実施形態によれば、接着部 41 を一方向に沿って延びる形状とすることで、同一範囲に点状の接着部 41 を間欠的に設ける場合と比較して、接着部 41 の接着面積を大きくして接着強度を高めることができる。

[0051] 接着部 41 の幅寸法 d_1 を大きくすることで、製造工程において接着部 41 を容易に形成することができる。また、接着部 41 の幅寸法 d_1 を小さく

することで、接着剤の圧縮応力によって電磁鋼板40に局所的に大きな歪を生じさせることがなく、電磁鋼板40全体としての鉄損の劣化を抑制できる。

なお、接着部41の幅寸法d1とは、帯状に形成された接着部41の短手方向の寸法であって、本実施形態において、接着部41の径方向における寸法である。本実施形態において、接着領域42とは、電磁鋼板40の第1面において接着部41が設けられた領域であるため、接着領域42の幅寸法と、接着部41の幅寸法は同一である。

[0052] 接着部41は、ティース部23の全幅に亘って延びる。本実施形態によれば、接着部41がティース部23の全幅に亘って延びる帯状に形成されているため、ティース部23同士の接着強度を確保しやすい。

[0053] 本実施形態において、接着剤は硬化時に収縮する。このため、接着領域42に接触する電磁鋼板40の領域には、接着剤の硬化収縮に起因する歪が生じ、当該領域において電磁鋼板40の鉄損が上昇する。ここで、電磁鋼板40の第1面のうち、接着部41と接触して歪によって鉄損が上昇する領域を劣化領域29と呼ぶ。劣化領域29は、積層方向から見て接着領域42と重なる領域である。劣化領域29は、他の領域（非劣化領域）と比較して磁気抵抗が高い。

なお、本明細書において、鉄損の値が上昇することを「鉄損の劣化」と呼ぶ場合がある。

[0054] ステータ20の巻線（図示略）に電流が流れることで、電磁鋼板40に磁束Bが形成される。磁束Bは、ティース部23およびコアバック部22を通過する磁気回路を形成する。磁束Bは、ティース部23において径方向に沿って延びる。

[0055] 本実施形態によれば、接着領域42は、ティース部23において周方向に延びる帯形状に形成される。したがって、劣化領域29は、ティース部23において周方向に延びる帯状に形成される。上述したように、磁束Bは、ティース部23において径方向に沿って流れる。このため、周方向に延びる帯

状の接着領域 4 2 をティース部 2 3 に形成することで、劣化領域 2 9 を通過する磁束 B の経路長が短くなる。結果的に、磁気回路における磁束 B への磁気抵抗が小さくなり、かしめによって電磁鋼板同士を互いに固定した場合と比較して、ステータコア 2 1 の磁気特性を高めることができる。

[0056] 本実施形態において、ロータコア 3 1 は、ステータコア 2 1 と同様に、積層コアである。すなわち、ロータコア 3 1 は、厚さ方向に積層された複数の電磁鋼板を備える。本実施形態において、ロータコア 3 1 の積厚は、ステータコア 2 1 と等しく、例えば 50.0 mm とされる。ロータコア 3 1 の外径は、例えば 163.0 mm とされる。ロータコア 3 1 の内径は、例えば 30.0 mm とされる。ただし、これらの値は一例であり、ロータコア 3 1 の積厚、外径や内径はこれらの値に限られない。

[0057] 本実施形態では、ロータコア 3 1 を形成する複数の電磁鋼板は、かしめ C（ダボ、図 1 参照）によって互いに固定されている。しかしながら、ロータコア 3 1 を形成する複数の電磁鋼板 4 0 が、接着部によって互いに接着されていてもよい。

なお、ステータコア 2 1 やロータコア 3 1 などの積層コアは、いわゆる回し積みにより形成されていてもよい。

[0058] （変形例 1）

次に、上述の実施形態に採用可能な、変形例 1 の接着部 1 4 1 および接着領域 1 4 2 について図 5 を基に説明する。なお、上述の実施形態と同一態様の構成要素については、同一符号を付し、その説明を省略する。

[0059] 上述の実施形態と同様に、ティース部 2 3 は、周方向に沿って延びる帯状の接着部 1 4 1 が設けられた接着領域 1 4 2 を有する。本変形例の接着部 1 4 1 は、上述の実施形態と比較して、接着領域 1 4 2 がティース部 2 3 の基端近傍に配置される点が主に異なる。

[0060] 上述の実施形態と同様に、接着領域 1 4 2 は、周方向に沿って直線状に延びる帯状に形成されている。接着領域 1 4 2 の幅寸法は、接着領域 1 4 2 の全長に亘って一様である。電磁鋼板 4 0 には、接着領域 1 4 2 と接触して歪

によって鉄損が上昇する領域（劣化領域 1 2 9）が形成される。本変形例によれば、劣化領域 1 2 9 を通過する磁束 B の経路長が短くなるため、磁気回路における磁束 B への磁気抵抗が小さくなり、ステータコア 2 1 の磁気特性を高めることができる。

[0061] 磁束 B は、ティース部 2 3 の先端から周方向両側に拡散して延びる。このため、ティース部 2 3 の先端近傍は、周方向両端部において磁束 B が集中し磁束密度が高まりやすい。磁束密度が高い領域に劣化領域が設けられると、鉄損の上昇が顕著となりやすい。このため、劣化領域 1 2 9 がティース部 2 3 の先端近傍に設けられると、鉄損が大きくなりやすい。本変形例の接着領域 1 4 2 は、ティース部 2 3 の基端近傍に形成されている。すなわち、接着領域 1 4 2 は、ティース部 2 3 の先端近傍より前記コアバック部 2 2 側に形成されている。このため、劣化領域 1 2 9 を磁束密度の高い領域から離して配置することができ、鉄損の上昇を抑制できる。結果的に、磁気回路における磁束 B への磁気抵抗が小さくなり、ステータコア 2 1 の磁気特性を高めることができる。接着領域 1 4 2 は、ティース部 2 3 の全長に対し $1/2$ より基端側に配置されていれば上述の効果を得ることができ、さらにティース部 2 3 の全長に対し $1/3$ より基端側に配置されていれば、上述の効果をより顕著に得ることができる。

[0062] （変形例 2）

次に、上述の実施形態に採用可能な、変形例 2 の接着部 2 4 1 および接着領域 2 4 2 について図 6 を基に説明する。なお、上述の実施形態と同一態様の構成要素については、同一符号を付し、その説明を省略する。

[0063] 上述の実施形態と同様に、ティース部 2 3 は、周方向に沿って延びる帯状の接着部 2 4 1 が設けられた接着領域 2 4 2 を有する。本変形例の接着部 2 4 1 は、上述の実施形態と比較して、接着領域 2 4 2 がティース部 2 3 の長さ方向略中央に形成されている点が主に異なる。

[0064] 上述の実施形態と同様に、接着領域 2 4 2 は、周方向に沿って直線状に延びる帯状に形成されているため、劣化領域 2 2 9 を通過する磁束 B の経路長

が短くすることができる。結果的に、磁気回路における磁束Bへの磁気抵抗が小さくなり、ステータコア21の磁気特性を高めることができる。

なお、本変形例の接着領域242は、接着領域242の全長に亘って一様である。

[0065] また、本変形例の接着領域242は、変形例1の接着領域242と同様に、ティース部23の先端近傍より前記コアバック部22側に位置するため、鉄損の上昇を抑制できる。結果的に、磁気回路における磁束Bへの磁気抵抗が小さくなり、ステータコア21の磁気特性を高めることができる。

[0066] (変形例3)

次に、上述の実施形態に採用可能な、変形例3の接着部341および接着領域342について、図7を基に説明する。なお、上述の実施形態と同一態様の構成要素については、同一符号を付し、その説明を省略する。

[0067] 上述の実施形態と同様に、ティース部23は、周方向に沿って延びる帯状の接着部341が設けられた接着領域342を有する。本変形例の接着領域342は、変形例2の接着領域242の構成と類似する。本変形例の接着部341を有するステータコア21によれば、変形例2の接着部241を有するステータコア21と同様の効果を得ることができる。本変形例の接着領域342は、接着領域342の全長に亘って幅寸法が一様ではない点において、変形例2の接着領域242と異なる。

[0068] 本変形例の接着領域342の幅方向の両端部は、湾曲した形状を有する。接着領域342の幅方向の両端部は、ティース部23の周方向中央部からティース部23の周方向端部側に向かうに従い互いに離間する。このため、接着領域342は、ティース部23の周方向中央部からティース部23の周方向端部側に向かうに従い径方向の幅寸法が大きくなる。接着領域342は、ティース部23の周方向中央部において最も幅寸法が小さい。

[0069] 図4に示すように、磁束Bは、ティース部23の先端から周方向両側に拡散して延びる。また、磁束Bは、最短距離を通るように流れる傾向がある。このため、ティース部23の磁束密度は、周方向端部側に向かうに従って高

くなりやすい。周方向においてティース部23の磁束密度のばらつきが大きくなるとステータコア21の磁気特性が低下する虞がある。

[0070] 本変形例によれば、接着領域342の径方向の幅寸法が、ティース部23の中央部から周方向端部側に向かうに従って大きくなる。すなわち、劣化領域391の径方向の長さがティース部23の中央部から幅方向端部側に向かうに従って大きくなる。このため、ティース部23は、周方向端部側に向かうに従い磁気抵抗が大きくなり、周方向端部側において磁束Bが流れにくくなる。これにより、ティース部23の周方向における磁束密度のばらつきを抑えし、ティース部23内の磁束密度を一様に近づけることができる。結果的に、積層コアの磁気特性を向上できる。

[0071] (変形例4)

次に、上述の実施形態に採用可能な変形例4の接着部441および接着領域442について、図8を基に説明する。なお、上述の実施形態と同一態様の構成要素については、同一符号を付し、その説明を省略する。

[0072] 上述の実施形態と同様に、ティース部23には、周方向に沿って直線状に延びる帯状の接着部441が設けられた接着領域442が設けられる。また、本変形例の接着部441は、上述の実施形態と比較して、ティース部23に、延在方向に沿って並ぶ複数(3つ)の接着領域442が形成されている点が主に異なる。複数の接着領域442は、ティース部23の長さ方向の中央から基端側に並んで配置される。

[0073] 本変形例に示すように、上述の実施形態および各変形例において、接着領域441はティース部23毎に複数設けられていてもよい。この場合であっても、実施形態および変形例による効果を奏することができ、加えて、電磁鋼板40同士の接着強度を高めることができる。

[0074] なお、1つのティース部23に複数の接着領域442が複数設けられる場合において、接着領域442の幅寸法は、隣り合う接着領域442同士の間隔寸法より小さいことが好ましい。これにより、複数の接着領域442に起因する電磁鋼板の歪を抑えて電磁鋼板の鉄損の劣化(上昇)を抑えることが

できる。

[0075] (変形例5)

次に、上述の実施形態に採用可能な変形例5の接着部541および接着領域542について、図9を基に説明する。なお、上述の実施形態と同一態様の構成要素については、同一符号を付し、その説明を省略する。

[0076] 上述の実施形態と同様に、ティース部23には、周方向に沿って延びる帯状の接着部541が設けられた接着領域542が設けられる。本変形例の接着部541は、上述の実施形態と比較して、接着領域542が周方向に沿って円弧状に延びる点が主に異なる。本変形例の接着部541は、接着部541を周方向に沿って一様に塗布することができるため、製造工程を簡素化できる。

[0077] なお、本発明の技術的範囲は前記実施形態およびその変形例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。

[0078] 上述の実施形態およびその変形例のステータコアにおいて、複数の電磁鋼板は、ティース部に設けられた接着部において互いに固定されている。しかしながら、電磁鋼板同士は、ティース部に加えてコアバック部においても、互いに固定されていてもよい。この場合、コアバック部にかしめが設けられていてもよく、また、コアバック部に別途接着部が設けられていてもよい。さらに、電磁鋼板同士は、接着部による接着固定に加えて、互いに溶接固定されていてもよい。すなわち、本実施形態の効果は、コアバック部の固定方法によらず得ることができる。

[0079] 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성에応じて任意に設計可能である。

[0080] 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。

[0081] 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、更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、同期電動機として、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。

[0082] 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。

[0083] その他、本発明の趣旨に逸脱しない範囲で、前記実施形態およびその変形例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。

実施例

[0084] 接着部の圧縮応力に起因する電磁鋼板の鉄損の劣化の抑制を検証する検証試験を実施した。なお本検証試験は、ソフトウェアを用いたシミュレーションにより実施した。ソフトウェアとしては、JSOL株式会社製の有限要素法電磁場解析ソフトJ MAGを利用した。シミュレーションに用いるモデルとして、以下に説明するモデルNo. 1～モデルNo. 4のステータコア（

積層コア)を想定した。各モデルに用いる電磁鋼板は、板厚0.25mmおよび板厚0.20mmの薄板を打ち抜き加工することによって作製したものをを用いた。電磁鋼板の形状は、図2に示すものと同形状である。

[0085] モデルNo. 1～No. 3のステータコアと、モデルNo. 4のステータコアとは、電磁鋼板同士の固定の構成が異なる。モデルNo. 1～モデルNo. 3のステータコアにおいて、電磁鋼板同士の間には接着部が設けられ、電磁鋼板同士が互いに接着固定されている。一方で、モデルNo. 4のステータコアは、かしめによって電磁鋼板同士が互いに固定されている。

[0086] モデルNo. 1の接着領域は、図4に示す接着領域42に相当する。モデルNo. 1の接着領域は、複数のティース部に形成されており、それぞれの接着領域は、ティース部の先端近傍において周方向に沿って直線状に延びる帯状に形成されている。

[0087] モデルNo. 2の接着領域は、図5に示す接着領域142に相当する。モデルNo. 2の接着領域は、複数のティース部に形成されており、それぞれの接着領域は、ティース部の基端近傍において周方向に沿って直線状に延びる帯状に形成されている。

[0088] モデルNo. 3の接着領域は、図6に示す接着領域242に相当する。モデルNo. 3の接着領域は、複数のティース部に形成されておりそれぞれの接着領域は、ティース部の長さ方向中央において周方向に沿って直線状に延びる帯状に形成されている。

[0089] モデルNo. 4のステータコア1021を図11に示す。ステータコア1021は、上述の実施形態のステータコア21と同形状の電磁鋼板40を厚さ方向に積層して構成される。ステータコア1021は、上述の実施形態のステータコア21と比較して、電磁鋼板40同士がかしめ固定されている点異なる。すなわち、ステータコア1021の電磁鋼板40は、かしめ1042(ダボ)によって互いに固定されている。かしめ1042は、ティース部23に位置する。

[0090] 各モデルについて、電磁鋼板の鉄損をシミュレーションソフトにより計算

した計算結果を図10に示す。また、図10に示す計算結果の鉄損（縦軸）は、モデルNo. 4の鉄損を1.0として、他のモデルの鉄損を、モデルNo. 4の鉄損に対する比率として表した。

[0091] 図10に示すように、モデルNo. 1～モデルNo. 3のステータコアは、モデルNo. 4のステータコアと比較して、鉄損の値が小さいことが確認された。

[0092] モデルNo. 1のステータコアは、モデルNo. 2およびモデルNo. 3のステータコアと比較して鉄損が大きい。モデルNo. 1のステータコアでは、図4に示すように、接着領域がティース部の先端近傍に配置されるため、磁束密度の高い領域に劣化領域が設けられるため鉄損が上昇したと考えられる。一方で、モデルNo. 2およびモデルNo. 3のステータコアでは、図5および図6に示すように、劣化領域を磁束密度の高い領域から離して配置することができ、鉄損の上昇を抑制できたと考えられる。

産業上の利用可能性

[0093] 本発明によれば、磁気特性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

[0094] 10…回転電機、20…ステータ、21…ステータコア（積層コア）、22…コアバック部、23…ティース部、40…電磁鋼板、41, 141, 241, 341…接着部、42, 142, 242, 342…接着領域、d1…幅寸法、B…磁束

請求の範囲

- [請求項1] 互いに積層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設けられ、前記電磁鋼板同士をそれぞれ接着する接着部と、を備え、
前記電磁鋼板は、
環状のコアバック部と、
前記コアバック部から前記コアバック部の径方向に延びるとともに前記コアバック部の周方向に間隔をあけて配置された複数のティース部と、を有し、
前記電磁鋼板の前記ティース部は、周方向に沿って延びる帯形状の接着部が設けられた接着領域を有する、
積層コア。
- [請求項2] 前記接着領域は、前記ティース部の先端近傍より前記コアバック部側に形成されている、
請求項1に記載の積層コア。
- [請求項3] 前記接着領域は、前記ティース部の周方向中央部から前記ティース部の周方向端部側に向かうに従い径方向の幅寸法が大きくなる、
請求項1又は2に記載の積層コア。
- [請求項4] 前記接着領域は、周方向に沿って円弧状に延びる、
請求項1又は2に記載の積層コア。
- [請求項5] 前記接着部は、前記ティース部の全幅に亘って延びる、請求項1～4の何れか一項に記載の積層コア。
- [請求項6] 前記接着部の平均厚みが $1.0\mu\text{m} \sim 3.0\mu\text{m}$ である、
請求項1～5の何れか一項に記載の積層コア。
- [請求項7] 前記接着部の平均引張弾性率 E が $1500\text{MPa} \sim 4500\text{MPa}$ である、
請求項1～6の何れか一項に記載の積層コア。
- [請求項8] 前記接着部が、エラストマー含有アクリル系接着剤からなるSGA

を含む常温接着タイプのアクリル系接着剤である、

請求項 1 ～ 7 の何れか一項に記載の積層コア。

[請求項9] 前記接着部の融点が 180℃以上である、

請求項 1 ～ 8 の何れか一項に記載の積層コア。

[請求項10] 請求項 1 ～ 9 の何れか一項に記載の積層コアを備える、回転電機。