

明 細 書

発明の名称：ステータ用接着積層コアおよび回転電機

技術分野

[0001] 本発明は、ステータ用接着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、日本国に出願された特願2018-235864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。下記特許文献1には、回転子の内部に同軸配置された固定子を備えるダイレクトドライブモータが開示されている。そして、固定子側の電磁鋼板に絶縁コーティング及び接着コーティングが形成されている。絶縁コーティングは、0.80 μm より薄いと十分な絶縁能力が得られず、また、1.20 μm より厚いと励磁効率が良くないと記載されている。一方、接着コーティングは、1.80 μm より薄いと十分な接着能力が得られず、2.20 μm より厚いと励磁効率が良くないと記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2015-12756号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 接着剤を薄く塗って接着部を薄くすると、積層コアに占める電磁鋼板の割合が上がる。しかし、上記特許文献1にも記載の通り、接着部が薄過ぎると接着強度が下がる。そこで、接着強度を確保した上で柔らかめの接着剤を用いて柔らかめの接着部を形成することが考えられる。しかし、この場合、接着剤が硬化して収縮する際に付与する力によって絶縁被膜に応力集中が生じ、電磁鋼板から剥離しやすくなる。上記特許文献1に開示の技術は、このような課題を認識しておらず、当然、解決もできない。

[0005] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、絶縁被膜の剥離防止、及び、接着部が電磁鋼板に与える応力による磁気特性低下の抑制を両立でき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の提供を課題とする。

課題を解決するための手段

[0006] 前記課題を解決するために、本発明は以下の手段を採用している。

(1) 本発明の一態様は、表面にリン酸塩系の絶縁被膜を有してかつ同軸に重ね合わされた複数の電磁鋼板と、前記各電磁鋼板間に設けられた接着部と、を備えるステータ用接着積層コアであって、前記絶縁被膜の平均厚みが $0.3\mu\text{m}\sim 1.2\mu\text{m}$ であり、前記接着部の平均厚みが $1.0\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ であり、前記絶縁被膜の平均厚みを単位 μm で t_1 、前記接着部の平均厚みを単位 μm で t_2 とした場合に、下記の式1を満たす。

$$-4.3 \times t_1 + 3.6 \leq t_2 \leq -4.3 \times t_1 + 6.9 \cdots (\text{式1})$$

[0007] (2) 上記(1)に記載の態様において以下の構成を採用してもよい：前記平均厚み t_1 が $0.7\mu\text{m}\sim 0.9\mu\text{m}$ であり、前記平均厚み t_2 が $1.2\mu\text{m}\sim 2.6\mu\text{m}$ である。

[0008] (3) 上記(1)又は上記(2)に記載の態様において、以下の構成を採用してもよい：前記接着部の平均引張弾性率 E が $1500\text{MPa}\sim 4500\text{MPa}$ であり、前記平均引張弾性率 E (MPa)と前記絶縁被膜の平均厚み t_1 (μm)が、下記の式2を満たす。

$$-5000 \times t_1 + 4500 \leq E \leq -5000 \times t_1 + 9000 \cdots (\text{式2})$$

[0009] (4) 上記(3)の何れか1項に記載の態様において、以下の構成を採用してもよい：前記平均引張弾性率 E が、 $1800\text{MPa}\sim 3650\text{MPa}$ であり；前記平均厚み t_1 が $0.7\mu\text{m}\sim 0.9\mu\text{m}$ である。

[0010] (5) 上記(1)～(4)の何れか1項に記載の態様において、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を含む常温硬化型のアクリル系接着剤であってもよい。

[0011] (6) 上記(1)～(5)の何れか1項に記載の態様において、前記電磁鋼板の平均板厚が、0.15mm～0.35mmであってもよい。

[0012] (7) 本発明の一態様に係る回転電機は、上記(1)～(6)の何れか1項に記載のステータ用接着積層コアを備える。

発明の効果

[0013] 本発明の上記各態様によれば、絶縁被膜の剥離防止、及び、接着部が電磁鋼板に与える応力による磁気特性低下の抑制を両立でき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を提供できる。

図面の簡単な説明

[0014] [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における接着部の形成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実施例を製造するために用いた製造装置の側面図である。

[図5]同実施例における絶縁被膜の平均厚み t_1 と接着部の平均厚み t_2 との関係を示すグラフである。

[図6]同実施例における絶縁被膜の平均厚み t_1 と接着部の平均引張弾性率 E との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0015] 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。

[0016] 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内に収容される。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。

[0017] 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（又はコアバック部22）の中心軸線O方向を軸方向と言い、ステータコア21（又はコアバック部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（又はコアバック部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。

[0018] 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。

[0019] 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。

[0020] 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等により、実現できる。なお、永久磁石界磁型電動機として、埋込磁石型に代えて表面磁石型モータを採用してもよい。

[0021] 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が積層方向に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 30.0 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、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。

[0022] 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、以下に質量％単位で示すように、質量％で 2.5％～3.9％の Si を含有する。化学組成をこの範囲とすることにより、各電磁鋼板 40 の降伏強度を、380 MPa 以上 540 MPa 以下に設定することができる。

[0023] Si : 2.5％～3.9％
Al : 0.001％～3.0％
Mn : 0.05％～5.0％
残部 : Fe 及び不純物

[0024] 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、JISC 2552 : 2014 の無方向性電鋼帯を採用できる。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してもよい。この場合の方向性電磁鋼板としては、JISC 2553 : 2012 の方向性電鋼帯を採用できる。

[0025] ステータコア 21 (以下、単に「積層コア」と言う場合がある) の加工性や、積層コアの鉄損を改善するために、電磁鋼板 40 の両面は、リン酸塩系の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。

[0026] 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、絶縁被膜の平均厚み t_1 （電磁鋼板40片面あたりの平均厚み）の下限值としては、 $0.3\mu\text{m}$ 、より好ましくは $0.7\mu\text{m}$ とするのがよい。

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、積層コアにおいて電磁鋼板40の占める割合が低下し、積層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。絶縁被膜の平均厚み（電磁鋼板40片面あたりの厚さ）の上限値としては、 $1.2\mu\text{m}$ 、より好ましくは $0.9\mu\text{m}$ とするのがよい。

絶縁被膜の平均厚み t_1 は、積層コア全体としての平均値である。絶縁被膜の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ように作り込まれている。そのため、絶縁被膜の平均厚み t_1 は、積層コアの上端位置で測定した数値をもってその値とすることができる。

[0027] 電磁鋼板40の板厚が薄くなるに連れて、次第に、積層コアにおける電磁鋼板40の占める割合が低下する。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、積層コアにおいて電磁鋼板40が占める割合の低下および製造コストを考慮すると電磁鋼板40の平均板厚の下限値は、 0.15mm 、より好ましくは 0.18mm となる。

一方で電磁鋼板40が厚すぎると、製造コストは良好になるが渦電流損が増加してコア鉄損が劣化する。そのため、コア鉄損と製造コストを考慮すると、電磁鋼板40の平均板厚の上限値は、 0.35mm 、より好ましくは 0.30mm となる。

電磁鋼板40の平均板厚の上記範囲を満たすものとして、 0.20mm を例示できる。なお、電磁鋼板40の平均板厚には、絶縁被膜の厚さも含まれ

る。

[0028] ステータコア 21 を形成する複数の電磁鋼板 40 は、図 3 に示すように、複数の点状に配置された接着部 41 を介して積層されている。各接着部 41 それぞれは、分断されることなく硬化した接着剤である。接着部 41 の形成には、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。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。

[0029] 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。

[0030] 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、J I S R 1 6 0 2 : 1 9 9 5 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 4 0 自体の影響分を計算により除くことで、接着部 4 1 単体の引張弾性率が求められる。

[0031] 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 4 1 を測定した数値をもってその値とすることもできる。

[0032] 複数の電磁鋼板 4 0 間の接着方法としては、電磁鋼板 4 0 の下面（一方の面）に接着剤を点状に塗布した後に重ね合わせ、そして加熱および圧着のいずれか一方または両方を行って接着する方法が採用できる。なお、加熱する場合の手段は、例えば高温槽や電気炉内でステータコア 2 1 を加熱する手段、または、ステータコア 2 1 に直接通電して加熱する方法等、どのような手段でも良い。一方、常温硬化型の接着剤を用いる場合には、加熱を行わずに圧着のみにより接着する。

[0033] 図 3 に、接着部 4 1 の形成パターンの一例を示す。各接着部 4 1 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 2 2 においては、その周方向に等角度間隔を置いて平均直径が 1 2 m m の点状に形成されている。さらに、各ティース部 2 3 の先端位置にも、接着部 4 1 が平均直径で 8 m m 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り、2 m m ～ 2 0 m m の範囲内より適宜選定することができる。また、図 3 の形成パターンは一例であり、各接着部 4 1 の数及び配置は必要に応じて適宜変更できる。また、各接着部 4 1 の形状は、円形のみに限らず、必要に

応じて矩形やその他の多角形状であってもよい。

- [0034] 接着部41の平均厚み t_2 は、 $1.0\mu\text{m}$ 以上 $3.0\mu\text{m}$ 以下とする。接着部41の平均厚み t_2 が $1.0\mu\text{m}$ 未満であると、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 t_2 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 t_2 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 t_2 の上限値は、 $3.0\mu\text{m}$ 、より好ましくは $2.6\mu\text{m}$ 、最も好ましくは $1.8\mu\text{m}$ とされる。

接着部41の平均厚み t_2 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 t_2 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 t_2 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。

- [0035] そして、接着部41の平均厚み t_2 (μm) と、前記絶縁被膜の平均厚み t_1 (μm) は、下記の式1を満たす関係にある。

$$-4.3 \times t_1 + 3.6 \leq t_2 \leq -4.3 \times t_1 + 6.9 \cdots (\text{式1})$$

- [0036] さらに、接着部41の平均引張弾性率 E が $1500\text{MPa} \sim 4500\text{MPa}$ であり、前記平均引張弾性率 E (MPa) と絶縁被膜の平均厚み t_1 (μm) が、下記の式2を満たすことが好ましい。

$$-5000 \times t_1 + 4500 \leq E \leq -5000 \times t_1 + 9000 \cdots (\text{式2})$$

- [0037] まず、上記式1について言うと、接着部41の平均厚み t_2 が $-4.3 \times t_1 + 3.6$ よりも薄くなると、絶縁被膜との接合が低く接着強度を確保できず、ステータコア21の機械強度が保てない。一方、接着部41の平均厚み t_2 が $-4.3 \times t_1 + 6.9$ よりも厚くなると、接着部41が絶縁被膜に及ぼす応力により、絶縁被膜と電磁鋼板40との間の密着性が低下傾向になる。以上より、接着部41の平均厚み t_2 は式1の範囲内とされる。

[0038] 続いて上記式2について言うと、接着部41の平均引張弾性率 E が $-5000 \times t_1 + 4500$ よりも低いと、接着部41と絶縁被膜との接合が低くなって接着強度が保てなくなり、ステータコア21の機械強度が保てない可能性がある。一方、接着部41の平均引張弾性率 E が $-5000 \times t_1 + 9000$ よりも高いと、接着部41が絶縁被膜に及ぼす応力により、絶縁被膜と電磁鋼板40との間の密着性が低下する可能性がある。以上より、接着部41の平均引張弾性率 E は、式2の範囲内とすることが好ましい。

[0039] 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により調整できる。

[0040] また、前述の理由により、前記平均厚み t_1 (μm) 及び前記平均厚み t_2 (μm) としては、さらに下記の式3及び式4を満たすことが、より好ましい。

$$0.7 \leq t_1 \leq 0.9 \dots (\text{式3})$$

$$1.2 \leq t_2 \leq 2.6 \dots (\text{式4})$$

[0041] 本実施形態では、ロータコア31を形成する方の複数の電磁鋼板は、図1に示すかしめ42（ダボ）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31を形成する複数の電磁鋼板も、ステータコア21と同様に接着部により固定した積層構造を有してもよい。

また、ステータコア21やロータコア31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。

実施例

[0042] 図4に示す製造装置100を用い、各種製造条件を変えながら上記ステータコア21を製造した。

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く。そして、電磁鋼板40の下面に接着剤を塗布し、打ち抜いた電磁鋼板40を積層して昇温させながら加圧する。その結果、接着剤が硬化して接着部41を形成し、接着が完了する。

[0043] 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。

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、接着剤の塗布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。

[0044] 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。一方、外周打ち抜き雄金型144及びスプリング145は、電磁鋼板Pの上方に配置されている。なお、符号21は、ステータコアを示している。

[0045] 以上説明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。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供給される接着剤が点状に塗布される。

[0046] そして最後に、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。この積層の際、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。以上説明のような、打ち抜き工程、接着剤塗布工程、積層工程、を順次繰り返すことで、所定枚数の電磁鋼板40を積み重ねることができる。さらに、このようにして電磁鋼板40を積み重ねて形成された積層コアは、加熱装置141によって例えば温度200℃まで加熱される。この加熱により接着剤が硬化して接着部41が形成される。

以上の各工程により、ステータコア21が完成する。

[0047] 以上説明の製造装置100を用いて、表1A及び表1BのNo. 1～No. 29に示す各ステータコア21を製造した。各ステータコア21の製造に用いた電磁鋼板40の化学成分は、以下に統一した。なお、各成分値は全て質量%を示す。

Si : 3.1%

Al : 0.7%

Mn : 0.3%

残部 : Fe及び不純物

[0048]

[表1A]

No.	電磁鋼板	絶縁被膜	接着部				
	平均板厚 (mm)	平均厚み t1(μm)	使用接着剤	平均厚み t2(μm)	平均引張 弾性率 E(MPa)	式1(*a)を 満たすか 否か	式2(*b)を 満たすか 否か
1	0.20	0.3	エラストマー系	2.4	3600	満たす	満たす
2	0.20	0.3	エラストマー系	2.8	4200	満たす	満たす
3	0.20	0.5	エラストマー系	1.5	2300	満たす	満たす
4	0.20	0.5	エラストマー系	2.1	3200	満たす	満たす
5	0.20	0.5	エラストマー系	2.7	4100	満たす	満たす
6	0.20	0.7	エラストマー系	1.6	2400	満たす	満たす
7	0.20	0.7	エラストマー系	2.3	3500	満たす	満たす
8	0.20	0.8	エラストマー系	1.4	2100	満たす	満たす
9	0.20	0.8	エラストマー系	2.7	4100	満たす	満たす
10	0.20	0.9	エラストマー系	1.8	2700	満たす	満たす
11	0.20	0.9	エラストマー系	2.3	3500	満たす	満たす
12	0.20	1.0	エラストマー系	1.6	2400	満たす	満たす
13	0.20	1.0	エラストマー系	2.2	3300	満たす	満たす
14	0.20	1.2	エラストマー系	1.1	2000	満たす	満たす
15	0.20	1.2	エラストマー系	1.3	2000	満たす	満たす
16	0.20	<u>0.1</u>	エラストマー系	1.2	1800	満たさない	満たさない
17	0.20	<u>0.1</u>	エラストマー系	2.1	3200	満たさない	満たさない
18	0.20	0.3	エラストマー系	1.3	2000	満たさない	満たさない
19	0.20	0.3	エラストマー系	<u>3.4</u>	<u>5100</u>	満たす	満たす
20	0.20	0.4	エラストマー系	1.2	1800	満たさない	満たさない
21	0.20	0.6	エラストマー系	<u>3.6</u>	<u>5400</u>	満たす	満たす
22	0.20	0.8	エラストマー系	<u>0.5</u>	<u>800</u>	満たす	満たす
23	0.20	0.8	エラストマー系	<u>3.2</u>	<u>4800</u>	満たす	満たす
24	0.20	1.1	エラストマー系	<u>0.7</u>	<u>1100</u>	満たす	満たす
25	0.20	1.1	エラストマー系	2.6	3900	満たさない	満たさない
26	0.20	<u>1.5</u>	エラストマー系	<u>0.8</u>	<u>1200</u>	満たさない	満たさない
27	0.20	<u>1.4</u>	エラストマー系	2.8	4200	満たさない	満たさない
28	0.20	0.8	嫌気性接着剤	2.8	4200	満たす	満たす
29	0.20	1.1	エラストマー系	2.0	4200	満たす	満たさない

[0049]

[表1B]

No.	機械強度		絶縁被膜の剥がれ有無	磁気特性		発明例/比較例
	(MPa)	判断		W15/50	判断	
1	6	良好	無し	2.53	良好	発明例
2	8	良好	無し	2.56	良好	発明例
3	7	良好	無し	2.50	優良	発明例
4	6	良好	無し	2.56	良好	発明例
5	10	優良	無し	2.58	良好	発明例
6	10	優良	無し	2.49	優良	発明例
7	5	良好	無し	2.59	良好	発明例
8	9	優良	無し	2.50	優良	発明例
9	5	良好	無し	2.53	良好	発明例
10	9	優良	無し	2.51	優良	発明例
11	7	良好	無し	2.57	良好	発明例
12	6	良好	無し	2.50	優良	発明例
13	6	良好	無し	2.58	良好	発明例
14	7	良好	無し	2.59	優良	発明例
15	5	良好	無し	2.51	優良	発明例
16	6	良好	無し	<u>2.74</u>	不可	比較例
17	9	優良	無し	<u>2.79</u>	不可	比較例
18	<u>1</u>	不可	無し	2.63	良好	比較例
19	10	優良	有り	<u>2.87</u>	不可	比較例
20	<u>2</u>	不可	無し	2.58	良好	比較例
21	10	優良	有り	<u>2.74</u>	不可	比較例
22	<u>1</u>	不可	無し	2.58	良好	比較例
23	9	優良	有り	<u>2.81</u>	不可	比較例
24	<u>1</u>	不可	無し	2.57	良好	比較例
25	<u>2</u>	不可	無し	2.56	良好	比較例
26	7	良好	有り	2.57	良好	比較例
27	8	良好	有り	2.53	良好	比較例
28	6	良好	有り	<u>2.83</u>	不可	比較例
29	5	良好	無し	2.54	良好	発明例

[0050] 具体的に説明すると、上記化学成分を持つフープ（コイルC）を複数本、製作した。各フープの地鉄の板厚は0.20mmに統一した。そして、これらフープのそれぞれにリン酸金属塩及び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℃で焼き付けを行い、絶縁被膜を表裏両

面に形成した。その際、フープ毎に絶縁被膜の厚みを変えた。具体的には、表 1 A に示すように、絶縁被膜の平均厚み t_1 (μm) が片面で、 $0.1\mu\text{m}$, $0.3\mu\text{m}$, $0.4\mu\text{m}$, $0.5\mu\text{m}$, $0.6\mu\text{m}$, $0.7\mu\text{m}$, $0.8\mu\text{m}$, $0.9\mu\text{m}$, $1.0\mu\text{m}$, $1.1\mu\text{m}$, $1.2\mu\text{m}$, $1.4\mu\text{m}$, $1.5\mu\text{m}$ 、となるようにそれぞれ形成した。

[0051] そして、製造装置 100 にセットするフープを変えたり、電磁鋼板 40 に塗布する接着剤の種類や接着剤に添加した硬化剤、硬化促進剤の種類、塗膜厚みを変えたりすることで、表 1 A に示すように、絶縁被膜の平均厚み t_1 、接着剤種類、接着部 41 の平均厚み t_2 、平均引張弾性率 E 、の組み合わせが互いに異なる複数の積層コア（ステータコア 21）を製造した。

[0052] 具体的には、まず、各フープのうちの一つを、上記製造装置 100 にセットした。そして、このフープより図 4 の矢印 F 方向に沿って電磁鋼板 P を送り出しながら、外径 300 mm 及び内径 240 mm のリング状を有してかつ、内径側に長さ 30 mm で幅 15 mm の長方形のティース部 23 を 18 箇所設けた単板コア（電磁鋼板 40）に打ち抜いた。

続いて、打ち抜いた単板コアを順次送りながら、図 3 に示した各位置に接着剤を点状に塗布し、そして積層した上で、所定圧力で加圧しながら加熱して硬化させた。同様の作業を 130 枚の単板コアに対して繰り返し行うことにより、1 つの積層コア（ステータコア 21）を製造した。

同様の工程を、各組み合わせ条件を変えつつフープ毎に行うことにより、表 1 A 及び表 1 B の No. 1 ~ No. 29 に示す 29 種類の積層コアが製造された。

[0053] なお、接着剤としては、No. 1 ~ No. 27, No. 29 ではエラストマー系接着剤として第二世代アクリル系接着剤を用いた。一方、No. 28 では嫌気性接着剤として汎用嫌気性接着剤を用いた。

また、接着部 41 の平均厚み t_2 は、積層コア毎に塗布量を変えて調整した。また、接着部 41 の平均引張弾性率 E は、積層ステーション 140 での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

ことにより、積層コア毎に調整した。

[0054] 以上説明の方法により製造された各積層コアを、それらの軸線を含む断面において切断した。そして、絶縁被膜においてはその平均厚み t_1 (μm) を求めた。また、接着部 41 においては、その平均厚み t_2 (μm) と、硬化後の平均引張弾性率 E とを求めた。平均引張弾性率 E は、上述した方法で求めた。また、硬化後の各点状接着剤の外径は平均で 5 mm であった。

そして、平均厚み t_1 (μm)、平均厚み t_2 (μm)、平均引張弾性率 E (MPa) を、上述した式 1 及び式 2 に代入し、式 1、式 2 を満たすか否かを判定した。その結果を表 1 A に示す。

[0055] さらに、積層コアとしての剛性（機械強度）も評価した。機械強度の評価は、幅 20 mm、先端角 10° 、0.15 mm R の刃先を積層コアの積層部（互いに隣接する一对の電磁鋼板 40 間）に対し、荷重を増しながら押し付けていき、割れたときの荷重の大きさを評価した。この荷重は高いほど好ましく、4 MPa 以上であるものを良好または優良と判断した。表 1 B の積層コアの機械強度において、「優良」は高い機械強度が確保できていることを示し、「良好」は必要十分な機械強度が確保されていることを示し、「不可」は必要最低限の機械強度が足りていないことを示す。

さらに、絶縁被膜の剥がれ有無も評価した。表 1 B の絶縁被膜の剥がれ有無において、「無し」は全く剥がれが無い状態を示し、「有り」は所々に剥がれが生じている状態を示す。

さらに、積層コアとしての磁気特性も評価した。磁気特性を評価する際には、積層枚数を 20 枚とし、絶縁紙で積層コアをカバーしてから巻線を行い、周波数 50 Hz、磁束密度 1.5 テスラで、コア鉄損（表 1 B の W15 / 50）を測定した。ここで、磁気特性評価に際しての電磁鋼板 40 の積層枚数としては、130 枚の場合とほぼ同じ結果が得られるため、20 枚とした。

コア鉄損（表 1 B の W15 / 50）は低いほど好ましく、2.70 以下であるものを良好または優良と判断した。表 1 B の積層コアの磁気特性におい

て、「優良」は高い磁気特性が確保できていることを示し、「良好」は必要十分な磁気特性が確保されていることを示し、「不可」は必要最低限の磁気特性が足りていないことを示す。

[0056] また、表 1 A に示す、絶縁被膜の平均厚み t_1 と接着部 4 1 の平均厚み t_2 との関係を、図 5 に示す。同様に、表 1 A に示す、絶縁被膜の平均厚み t_1 と接着部 4 1 の平均引張弾性率 E との関係を、図 6 に示す。

[0057] 表 1 A 及び表 1 B に示すように、No. 16, 17 に示す比較例では、絶縁被膜の平均厚み t_1 が薄く、磁気特性が低下した。

また、No. 18 に示す比較例では、絶縁被膜の凹凸を埋めきれず、機械強度が低下した。

また、No. 19 に示す比較例では、接着部 4 1 の平均厚み t_2 が厚く、積層コアにおいて電磁鋼板 4 0 の占める割合が低下して磁気特性が低下した。

また、No. 20 に示す比較例では、絶縁被膜の凹凸を埋めきれず、機械強度が低下した。

また、No. 21 に示す比較例では、接着部 4 1 の平均厚み t_2 が厚く、積層コアにおいて電磁鋼板 4 0 の占める割合が低下して磁気特性が低下した。

また、No. 22 に示す比較例では、接着部 4 1 の平均厚み t_2 が薄く、接着強度が低下して機械強度が低下した。

また、No. 23 に示す比較例では、接着部 4 1 の平均厚み t_2 が厚く、積層コアにおいて電磁鋼板 4 0 の占める割合が低下して磁気特性が低下した。

また、No. 24 に示す比較例では、接着部 4 1 の平均厚み t_2 が薄く、接着強度が低下して機械強度が低下した。

また、No. 25 に示す比較例では、絶縁被膜の平均厚み t_1 が比較的厚く密着性が低下傾向にあるため、接着部 4 1 の平均厚み t_2 の上限値（平均引張弾性率 E の上限）が実質的に低下し、機械強度が低下した。

また、N o. 26 に示す比較例では、絶縁被膜の平均厚み t_1 が厚く、密着性が低下して被膜剥離した。

また、N o. 27 に示す比較例では、絶縁被膜の平均厚み t_1 が厚く、密着性が低下して被膜剥離した。

また、N o. 28 に示す比較例は、図5及び図6のそれぞれに示す領域内にあるものの、接着に用いた接着剤が嫌気性接着剤で海島構造を持たないため、硬化した接着部41が電磁鋼板40に歪みを生じさせた。この電磁鋼板40の歪みにより、磁気特性が低下した。

[0058] 一方、発明例であるN o. 1～15及び29においては、積層コアの剛性（機械強度）が高く、絶縁被膜の剥がれも無く、そして磁気特性（ $W_{15}/50$ ）も所望の性能を有することが確認された。

これら発明例のうち、特に、N o. 3, 6, 8, 10, 12, 14, 15では、接着部41の平均厚み t_2 が $1.8\mu\text{m}$ 以下であるため、その他発明例よりもさらに高い磁気特性が得られた。

さらに言うと、これらのうち、N o. 6, 8, 10では、絶縁被膜の平均厚み t_1 も $0.7\mu\text{m} \sim 0.9\mu\text{m}$ の範囲を満たしている。そのため、絶縁性能の確保と、積層コアとしての性能低下とにおいても最適化されており、全発明例のうちでも最も好ましい。

なお、本実施例では、熱硬化型の接着剤を塗布したが、常温硬化型の接着剤であっても、基本的な傾向に相違はない。

[0059] 以上、本発明の一実施形態及び実施例について説明した。ただし、本発明の技術的範囲は前記実施形態及び実施例のみ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。

例えば、ステータコア21の形状は、上記実施形態で示した形態のみに限定されるものではない。具体的には、ステータコア21の外径および内径の寸法、積厚、スロット数、ティース部23の周方向と径方向の寸法比率、ティース部23とコアバック部22との径方向の寸法比率等は、所望の回転電

機の特性に応じて任意に設計可能である。

前記実施形態におけるロータ 30 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、本発明はこの形態のみに限られない。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。

[0060] 上記実施形態では、回転電機 10 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 10 の構造は、以下に例示するようにこれのみに限られず、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。

上記実施形態では、回転電機 10 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、本発明はこれのみに限られない。例えば、回転電機 10 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。

上記実施形態では、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 10 が誘導電動機であってもよい。

上記実施形態では、回転電機 10 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 10 が直流電動機であってもよい。

上記実施形態では、回転電機 10 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 10 が発電機であってもよい。

[0061] 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。

産業上の利用可能性

[0062] 本発明によれば、絶縁被膜の剥離防止、及び、接着部が電磁鋼板に与える応力による磁気特性低下の抑制を両立でき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を提供できる。よって、産業

上の利用可能性は大である。

符号の説明

- [0063] 1 0 回転電機
 2 1 積層コア（ステータ用接着積層コア）
 4 0 電磁鋼板
 4 1 接着部

請求の範囲

- [請求項1] 表面にリン酸塩系の絶縁被膜を有してかつ同軸に重ね合わされた複数の電磁鋼板と、前記各電磁鋼板間に設けられた接着部と、を備えるステータ用接着積層コアであって、
- 前記絶縁被膜の平均厚みが $0.3\mu\text{m}\sim 1.2\mu\text{m}$ であり、
- 前記接着部の平均厚みが $1.0\mu\text{m}\sim 3.0\mu\text{m}$ であり、
- 前記絶縁被膜の平均厚みを単位 μm で t_1 、前記接着部の平均厚みを単位 μm で t_2 とした場合に、下記の式1を満たすことを特徴とするステータ用接着積層コア。
- $$-4.3\times t_1 + 3.6 \leq t_2 \leq -4.3\times t_1 + 6.9 \dots \text{(式1)}$$
- [請求項2] 前記平均厚み t_1 が $0.7\mu\text{m}\sim 0.9\mu\text{m}$ であり、
- 前記平均厚み t_2 が $1.2\mu\text{m}\sim 2.6\mu\text{m}$ である
- ことを特徴とする請求項1に記載のステータ用接着積層コア。
- [請求項3] 前記接着部の平均引張弾性率 E が $1500\text{MPa}\sim 4500\text{MPa}$ であり、
- 前記平均引張弾性率 E (MPa) と前記絶縁被膜の平均厚み t_1 (μm) が、下記の式2を満たす
- ことを特徴とする請求項1又は2に記載のステータ用接着積層コア。
- $$-5000\times t_1 + 4500 \leq E \leq -5000\times t_1 + 9000 \dots \text{(式2)}$$
- [請求項4] 前記平均引張弾性率 E が、 $1800\text{MPa}\sim 3650\text{MPa}$ であり、
- 、
- 前記平均厚み t_1 が $0.7\mu\text{m}\sim 0.9\mu\text{m}$ である
- ことを特徴とする請求項3の何れか1項に記載のステータ用接着積層コア。
- [請求項5] 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を含む常温硬化型のアクリル系接着剤であることを特徴とする請求項

1～4の何れか1項に記載のステータ用接着積層コア。

[請求項6] 前記電磁鋼板の平均板厚が、0.15mm～0.35mmであることを特徴とする請求項1～5の何れか1項に記載のステータ用接着積層コア。

[請求項7] 請求項1～6の何れか1項に記載のステータ用接着積層コアを備える回転電機。