

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2018-235865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では、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することが課題とされている。そして、この課題を解決するために、表面に絶縁性被膜が存在する電磁鋼板を積層してなる積層コアであって、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 μm 以下である構成を採用している。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 Pa $\cdot$ s以下とされている。また、前記有機物層は、真空含浸法により各電磁鋼板間に注入されている。

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] 電磁鋼板と接着性有機物（以下、接着部）は、熱膨張係数が互いに異なる。そのため、上記特許文献1のように各電磁鋼板同士を単純に接着し、そして接着部を硬化させるために加温した場合、接着部が熱収縮して電磁鋼板に圧縮応力や引張応力を加える。これら応力が電磁鋼板に加わることにより、積層コアとしての磁気特性が低下する虞がある。この磁気特性の低下は、電磁鋼板が薄く接着部が厚い場合ほど、顕著に表れ易い。

一方、常温硬化型の接着剤の場合も、硬化の際に収縮する。したがって、熱硬化型及び常温硬化型の何れにおいても、硬化時の収縮によって磁気特性の低下を招くおそれがある。

[0005] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、接着剤の硬化時収縮による磁気特性の低下を抑制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) 本発明の一態様に係るステータ用接着積層コアは、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各電磁鋼板同士の間複数の点状に配置され、前記各電磁鋼板同士を接着する接着部と、を備え、前記各電磁鋼板の化学成分が、質量%で2.5%～3.9%のSiを含有し、前記各接着部の平均引張弾性率が、2500MPa～5000MPaであり、前記各電磁鋼板の平均板厚を単位mmでt1、前記各接着部の平均厚みを単位μmでt2、前記各電磁鋼板の降伏強度の平均値を単位MPaでYP、とした場合に、下記の式1、式2、式3を満たす条件Aと、下記の式3、式4、式5を満たす条件Bと、のうちの少なくとも一方を満たす。

$$50 \times t1 - 12 \leq t2 \leq 50 \times t1 - 6 \dots (式1)$$

$$0.15 \leq t1 \leq 0.27 \dots (式2)$$

$$0.5 \leq t2 \leq 2.5 \dots (式3)$$

$$0.025 \times YP - 12 \leq t2 \leq 0.025 \times YP - 8 \dots (式4)$$

$$380 \leq YP \leq 540 \dots (式5)$$

ここで、前記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。これらのうち、前記絶縁被膜が、(1)無機化合物の場合、又は、(3)無機化合物及び有機樹脂の混合物である場合において、顕著に、接着剤の硬化時収縮による磁気特性の低下を抑制できる。

[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：前記条件Aのみを満たす、又は、前記条件A及び前記条件Bの双方を満たし；前記平均板厚 t_1 が $0.20\text{ mm} \sim 0.25\text{ mm}$ でかつ；前記平均厚み t_2 が $1.0\text{ }\mu\text{ m} \sim 2.0\text{ }\mu\text{ m}$ である。

(3) 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：前記条件Bのみを満たす、又は、前記条件A及び前記条件Bの双方を満たし；前記平均厚み t_2 が $1.0\text{ }\mu\text{ m} \sim 2.0\text{ }\mu\text{ m}$ でかつ；前記降伏強度の平均値 Y_P が $450\text{ MPa} \sim 500\text{ MPa}$ である。

(4) 上記(1)～(3)の何れか1項に記載の態様において、前記各接着部が、アクリル系及びエポキシ系の少なくとも一方の油面接着剤を油成分として含んでもよい。

(5) 上記(1)～(3)の何れか1項に記載の態様において、前記各接着部が、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。

(6) 本発明の一態様に係る回転電機は、上記(1)～(5)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

[0008] 本発明の上記各態様によれば、接着剤の硬化時収縮による磁気特性の低下を抑制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

[0009] [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]同実施例における電磁鋼板の平均板厚 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]同実施例における電磁鋼板の降伏強度の平均値 Y_P と接着部の平均厚み t_2 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

[0010] 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。

[0011] 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。

[0012] 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。

[0013] 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。

[0014] 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。

[0015] 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。

[0016] 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30.0mm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。

[0017] 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、2.5%~3.9%のSiを含有する。Si以外は特に限定するものではないが、本実施形態における良好な範囲を下記に明示する。化学組成をこの範囲とすることにより、各電磁鋼板40の降伏強度の平均値YPを、380MPa以上540MPa以下に設定することができる。

[0018] Si : 2.5%~3.9%
Al : 0.001%~3.0%

Mn : 0.05%~5.0%

残部 : Fe 及び不純物

[0019] 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、JISC2552:2014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、JISC2553:2012の方向性電鋼帯を採用できる。

[0020] 電磁鋼板40の加工性や、ステータコア21（以下、単に「積層コア」と言う場合がある）の鉄損を改善するために、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。これらのうち、前記絶縁被膜が、（1）無機化合物の場合、又は、（3）無機化合物及び有機樹脂の混合物である場合において、顕著に、各接着部の硬化時収縮による磁気特性の低下を抑制できる。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。

[0021] 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（電磁鋼板40片面あたりの平均厚み）の上限値としては、1.5 μm 、より好ましくは1.2 μm 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）の下限値としては、0.3 μm 、より好ましくは0.5 μm とするのがよい。絶縁被膜の平均厚みとしては、上記の上下限範囲内において、例えば0.8 μm を採用することができる。

[0022] 絶縁被膜の平均厚みは、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。なお、絶縁被膜が形成された電磁鋼板40に代わり、絶縁被膜が形成されていない電磁鋼板を用いてもよい。

[0023] 後述する接着部41の硬化時収縮が各電磁鋼板40の磁気特性に及ぼす影響など、その他要因も考慮し、各電磁鋼板40の平均厚み t_1 としては、0.15mm以上0.27mm以下を採用することが好ましいが、この範囲外においても本発明は有効である。

各電磁鋼板40の平均厚み t_1 が0.15mm未満まで薄くなると、接着部41が硬化する際の収縮による圧縮応力や引張応力が各電磁鋼板40に生じやすくなり、その結果として各電磁鋼板40の磁気特性が劣化する恐れがある。一方、各電磁鋼板40の平均厚み t_1 が0.27mmを超えると鉄損の絶対値が増大し、効果が得られにくくなる恐れがある。なお、電磁鋼板40の厚さには、絶縁被膜の厚さも含まれる。

各電磁鋼板40の平均厚み t_1 は、積層コア全体としての平均値である。各電磁鋼板40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、各電磁鋼板40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。

[0024] 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。接着部41を形成するための接着剤としては、(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油面接着剤を用いることができる。よって、接着部41としては、アクリル系及びエポキシ系

の少なくとも一方の油面接着剤を油成分として含む。

接着部41を形成するための接着剤としては、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。

[0025] 接着部41の常温（20℃～30℃）における平均引張弾性率は、2500MPa～5000MPaの範囲内とされる。接着部41の平均引張弾性率は、2500MPa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の平均引張弾性率の下限値は、2500MPa、より好ましくは3000MPaとされる。逆に、接着部41の平均引張弾性率5000MPaを超えると、電磁鋼板40に付与する応力歪が大きくなりコア磁性が劣化する不具合が生じる。そのため、接着部41の平均引張弾性率の上限値は、5000MPa、より好ましくは4500MPaとされる。各接着部41の平均引張弾性率は、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的一方もしくは両方を変更することにより調整できる。

なお、平均引張弾性率は、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。

[0026] 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。

[0027] 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、平均引張弾性率は、積層コアの上端位置にある、硬化後の接着部 4 1 をもってその値とすることもできる。

[0028] 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硬化させて接着部 4 1 を形成することで、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。

[0029] 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。

[0030] 接着部41の平均厚み t_2 は、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $2.5\mu\text{m}$ 以下となる。接着部41の平均厚み t_2 が $0.5\mu\text{m}$ 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、 $0.5\mu\text{m}$ 、より好ましくは $0.8\mu\text{m}$ とされる。逆に、接着部41の平均厚み t_2 が $2.5\mu\text{m}$ 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、 $2.5\mu\text{m}$ 、より好ましくは $2.0\mu\text{m}$ 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。

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。

[0031] さらに、このステータ用接着積層コアでは、各電磁鋼板40の平均板厚を単位 mm で t_1 、各接着部41の平均厚みを単位 μm で t_2 、各電磁鋼板40の降伏強度の平均値を単位 MPa で Y_P 、とした場合に、下記の式1、式2、式3を満たす条件Aと、下記の式3、式4、式5を満たす条件Bと、のうちの少なくとも一方を満たす。

[0032] $50 \times t_1 - 12 \leq t_2 \leq 50 \times t_1 - 6 \dots$ (式1)

$0.15 \leq t_1 \leq 0.27 \dots$ (式2)

$0.5 \leq t_2 \leq 2.5 \dots$ (式3)

$0.025 \times Y_P - 12 \leq t_2 \leq 0.025 \times Y_P - 8 \dots$ (式4)

$380 \leq Y_P \leq 540 \dots$ (式5)

[0033] 上記式1について言うと、接着部41の平均厚み t_2 が $50 \times t_1 - 12$ よりも薄くなると、鋼板同士の接着強度が低下する。一方、接着部41の平均厚み t_2 が $50 \times t_1 - 6$ よりも厚くなると、接着剤の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。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。

[0034] 続いて上記式 4 について言うと、接着部 4 1 の平均厚み t_2 が $0.025 \times YP - 12$ よりも薄くなると、ステータコア 2 1 の機械強度が保てない。一方、接着部 4 1 の平均厚み t_2 が $0.025 \times YP - 8$ よりも厚くなると、接着剤の硬化時の収縮により積層コアに付与される応力が大きくなりコア磁性が劣化する。以上より、接着部 4 1 の平均厚み t_2 は式 4 の範囲内とされる。

[0035] 以上の規定に加え、前記条件 A のみを満たす、又は、前記条件 A 及び前記条件 B の双方を満たす場合において、平均板厚 t_1 が $0.20\text{ mm} \sim 0.25\text{ mm}$ であつ、平均厚み t_2 が $1.0\text{ }\mu\text{ m} \sim 2.0\text{ }\mu\text{ m}$ であることが、より好ましい。

また、前記条件 B のみを満たす、又は、前記条件 A 及び前記条件 B の双方を満たす場合において、前記平均厚み t_2 が $1.0\text{ }\mu\text{ m} \sim 2.0\text{ }\mu\text{ m}$ であつ、前記降伏強度の平均値 YP が $450\text{ MPa} \sim 500\text{ MPa}$ であることが、より好ましい。

[0036] 本実施形態では、ロータコア 3 1 を形成する方の複数の電磁鋼板は、図 1 に示すかしめ 4 2 (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 3 1 を形成する複数の電磁鋼板も、ステータコア 2 1 と同様に接着剤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 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。

実施例

[0037] 図 4 に示す製造装置 1 0 0 を用い、各種製造条件を変えながら上記ステータコア 2 1 を製造した。

まず先に、製造装置 1 0 0 について説明する。同製造装置 1 0 0 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 4 0 の形状に徐々に形成していき、電磁鋼板 4 0 の下面に接着剤を塗布し、打ち抜

いた電磁鋼板 40 を積層して昇温しながら加圧接着して各接着部 41 を形成する。

[0038] 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。

[0039] 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。

[0040] 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。

[0041] 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。

[0042] 以上説明の製造装置１００を用いて、表１Ａ及び表１ＢのＮｏ．１～Ｎｏ．３１に示すステータコア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。また、各電磁鋼板４０の降伏強度の平均値ＹＰについても、表１Ａに示す。

Ｓｉ： ３．１％

Ａｌ： ０．７％

Ｍｎ： ０．３％

残部：Ｆｅ及び不純物

[0043]

[表1A]

No.	電磁鋼板		絶縁 皮膜	接着部						
	平均 板厚 t1(mm)	降伏 強度の 平均値 YP(MPa)	平均 厚み (μ m)	平均 厚み t2 (μ m)	平均 引張 弾性率 (MPa)	配置 パターン	式1(*a)を 満たすか 否か	式4(*b)を 満たすか 否か	条件Aを 満たすか 否か	条件Bを 満たすか 否か
1	0.15	380	0.8	2.4	4000	点状配置	満たさない	満たさない	満たさない	満たさない
2	0.15	380	0.8	0.8	4000	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
3	0.15	380	0.8	1.3	4000	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
4	0.15	380	0.8	1.1	5800	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
5	0.20	415	1.0	0.3	2000	点状配置	満たす	満たす	満たさない	満たさない
6	0.20	415	1.0	0.9	3800	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
7	0.20	415	1.0	1.4	3800	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
8	0.20	415	1.0	1.7	3800	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
9	0.20	415	1.0	2.9	3800	点状配置	満たす	満たす	満たさない	満たさない
10	0.20	415	1.0	1.0	5800	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
11	0.23	460	0.8	0.4	4000	点状配置	満たす	満たす	満たさない	満たさない
12	0.23	460	0.8	1.1	4000	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
13	0.23	460	0.8	1.9	4000	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
14	0.23	460	0.8	3.0	4000	点状配置	満たす	満たす	満たさない	満たさない
15	0.23	460	0.8	1.0	5800	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
16	0.25	500	0.8	0.4	3000	点状配置	満たさない	満たさない	満たさない	満たさない
17	0.25	500	0.8	1.4	3000	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
18	0.25	500	0.8	2.0	3000	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
19	0.25	500	0.8	2.4	3000	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
20	0.25	500	0.8	2.7	3000	点状配置	満たす	満たす	満たさない	満たさない
21	0.25	500	0.8	1.0	2100	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
22	0.27	530	0.9	0.7	4500	点状配置	満たさない	満たさない	満たさない	満たさない
23	0.27	530	0.9	1.8	4500	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
24	0.27	530	0.9	2.2	4500	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
25	0.27	530	0.9	3.4	4500	点状配置	満たす	満たす	満たさない	満たさない
26	0.27	530	0.9	1.4	2100	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たす
27	0.30	555	1.1	1.3	2700	点状配置	満たさない	満たさない	満たさない	満たさない
28	0.30	555	1.1	1.4	2700	点状配置	満たさない	満たさない	満たさない	満たさない
29	0.30	555	1.1	3.2	2700	点状配置	満たす	満たす	満たさない	満たさない
30	0.20	360	1.0	1.2	3800	点状配置	満たす	満たす	満たす	満たさない
31	0.30	475	1.1	2.0	2700	点状配置	満たす	満たす	満たさない	満たす

[0044]

[表1B]

No.	機械強度		磁気特性		発明例/比較例
	MPa	判断	W15/50	判断	
1	8	優良	<u>2.67</u>	不可	比較例
2	7	優良	2.33	優良	発明例
3	8	優良	2.39	良好	発明例
4	9	優良	<u>2.70</u>	不可	比較例
5	<u>1</u>	不可	2.32	優良	比較例
6	8	優良	2.33	優良	発明例
7	9	優良	2.32	優良	発明例
8	8	優良	2.36	優良	発明例
9	<u>1</u>	不可	<u>2.54</u>	不可	比較例
10	6	良好	<u>2.66</u>	不可	比較例
11	<u>1</u>	不可	2.32	優良	比較例
12	9	優良	2.31	優良	発明例
13	9	優良	2.29	優良	発明例
14	8	優良	<u>2.57</u>	不可	比較例
15	5	良好	<u>2.55</u>	不可	比較例
16	<u>1</u>	不可	2.38	良好	比較例
17	5	良好	2.37	良好	発明例
18	10	優良	2.38	良好	発明例
19	8	優良	2.39	良好	発明例
20	6	良好	<u>2.64</u>	不可	比較例
21	<u>3</u>	不可	2.40	良好	比較例
22	<u>2</u>	不可	2.39	良好	比較例
23	10	優良	2.40	良好	発明例
24	9	優良	2.41	良好	発明例
25	6	良好	<u>2.63</u>	不可	比較例
26	<u>1</u>	不可	<u>2.64</u>	不可	比較例
27	<u>3</u>	不可	2.41	良好	比較例
28	<u>3</u>	不可	2.42	良好	比較例
29	<u>2</u>	不可	2.41	良好	比較例
30	6	良好	2.46	良好	発明例
31	5	良好	2.44	良好	発明例

[0045] 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、作成した。各フープの地鉄の板厚は、0.15mm、0.20mm、0.23mm、0.25mm、0.27mm、0.30mm、の6種類とした。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、片面で0.8 μmの絶縁被膜を形成した。

各フープを上記製造装置100により外径300mm及び内径240mmのリング状を有してかつ、内径側に長さ30mmで幅15mm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）を打ち抜きにより形成した。

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、所定の圧力で加圧しながら加熱して硬化させて各接着部41を形成した。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、積層コア（ステータコア21）を製造した。

[0046] 以上説明の方法により製造された積層コアを、そ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とを求めた。平均引張弾性率は、上述した方法で求めた。また、各接着部41の外径は平均で5mmであった。単板コアの降伏強度の平均値 Y_P の求め方は、JIS Z 2241に準じた方法を用いた。

そして、平均厚み t_1 (mm)、平均厚み t_2 (μm)、降伏強度の平均値 Y_P (MPa)を、上述した式1及び式4に代入し、各式を満たすか否かを判定した。その結果も表1Aに示す。なお、平均厚み t_1 (mm)及び平均厚み t_2 (μm)の測定は、上述の規定通りとした。

[0047] さらに、積層コアとしての機械強度も評価した。機械強度の評価には、幅20mm、先端角10°、0.15mmRの刃先を積層コアの積層部（互いに隣接する一対の電磁鋼板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、4MPa以上であるものを良好または優良と判断した。表1B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、積層コアの磁気特性も評価した。磁気特性を評価する際には、電磁鋼板40の積層枚数を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50Hz、磁束密度1.5テスラで、コア鉄損（表1B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1BのW15/50）は低いほど好ましく、2.50以下であるものを良好または優良と判断した。表1Bの磁気特性において、「優良」は非常に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よりも低いことを示す。

[0048] また、表1Aに示す結果を、電磁鋼板40の平均板厚 t_1 と接着部41の平均厚み t_2 との関係として纏めたグラフを図5に示す。同様に、表1Aに示す結果を、電磁鋼板40の降伏強度の平均値 Y_P と接着部41の平均厚み t_2 との関係として纏めたグラフを図6に示す。

[0049] 表1A及び表1Bに示すように、No. 1に示す比較例では、式1及び式4が満たされないため、磁気特性が低下した。

また、No. 4に示す比較例では、接着部の単位強度が高過ぎたため、電磁鋼板に付与する応力が高過ぎて磁気特性が低下した。

また、No. 5に示す比較例では、接着部の平均厚み t_2 が薄すぎて十分な接着力を確保できなかった。

また、No. 9に示す比較例では、電磁鋼板の薄い平均板厚 t_1 に対して接着部の平均厚み t_2 が厚くなりすぎた。その結果、電磁鋼板に歪みが生じ、磁気特性が低くなった。

また、No. 10に示す比較例では、接着部の単位強度が高過ぎたため、電磁鋼板に付与する応力が高過ぎて磁気特性が低下した。

[0050] また、No. 11に示す比較例では、接着部の平均厚み t_2 が薄すぎて十

分な接着力を確保できなかった。

また、N o. 14 に示す比較例では、接着部の平均厚み t_2 が厚すぎて、積層コアにおいて電磁鋼板の占める割合が低下し、積層コアとしての磁気特性が低下した。

また、N o. 15 に示す比較例では、接着部の単位強度が高過ぎたため、電磁鋼板に付与する応力が高過ぎて磁気特性が低下した。

また、N o. 16 に示す比較例では、接着部の平均厚み t_2 が薄すぎて十分な接着力を確保できなかった。

[0051] また、N o. 20 に示す比較例では、接着部の平均厚み t_2 が厚すぎて、積層コアにおいて電磁鋼板の占める割合が低下し、積層コアとしての磁気性能が低下した。

また、N o. 21 に示す比較例では、接着部が柔らかすぎて機械強度が低下した。

また、N o. 22 に示す比較例では、式1及び式4が満たされないため、機械強度が低下した。

[0052] また、N o. 25 に示す比較例では、接着部の平均厚み t_2 が厚すぎて電磁鋼板に歪が生じ、磁気特性に影響を及ぼした。

また、N o. 26 に示す比較例では、接着部が柔らかすぎて電磁鋼板に歪が生じ、機械強度と磁気特性の双方が低下した。

また、N o. 27～29 に示す比較例では、電磁鋼板の平均板厚 t_1 が厚すぎるため、相対的に接着部の強度が低下し、積層コアとしての機械強度が低下した。

[0053] 一方、発明例であるN o. 2, 3, 6～8, 12, 13, 17～19, 23, 24, 30, 31においては、積層コアとしての機械強度及び磁気特性の両方において所望の性能を確保することが確認された。これら発明例のうち、N o. 2, 3, 6～8, 12, 13, 17～19, 23, 24は、条件A及び条件Bの双方を満たすため、条件A及び条件Bの一方のみを満たすN o. 30, 31よりもさらに好ましい結果が得られた。

[0054] 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、所望の回転電機機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。

[0055] 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。

[0056] 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

[0057] 本発明によれば、接着剤の硬化時収縮による磁気特性の低下を抑制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

[0058] 1 0 回転電機
 2 1 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] 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各電磁鋼板同士の間に複数の点状に配置され、前記各電磁鋼板同士を接着する接着部と、
- を備え、
- 前記各電磁鋼板の化学成分が、質量％で2.5％～3.9％のSiを含有し、
- 前記各接着部の平均引張弾性率が、2500MPa～5000MPaであり、
- 前記各電磁鋼板の平均板厚を単位mmでt1、前記各接着部の平均厚みを単位μmでt2、前記各電磁鋼板の降伏強度の平均値を単位MPaでYP、とした場合に、
- 下記の式1、式2、式3を満たす条件Aと、
- 下記の式3、式4、式5を満たす条件Bと、
- のうちの少なくとも一方を満たすことを特徴とするステータ用接着積層コア。
- $$50 \times t1 - 12 \leq t2 \leq 50 \times t1 - 6 \dots (\text{式1})$$
- $$0.15 \leq t1 \leq 0.27 \dots (\text{式2})$$
- $$0.5 \leq t2 \leq 2.5 \dots (\text{式3})$$
- $$0.025 \times YP - 12 \leq t2 \leq 0.025 \times YP - 8 \dots (\text{式4})$$
- $$380 \leq YP \leq 540 \dots (\text{式5})$$
- [請求項2] 前記条件Aのみを満たす、又は、前記条件A及び前記条件Bの双方を満たし、
- 前記平均板厚t1が0.20mm～0.25mmでかつ、
- 前記平均厚みt2が1.0μm～2.0μm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] 前記条件 B のみを満たす、又は、前記条件 A 及び前記条件 B の双方を満たし、
前記平均厚み t_2 が $1.0 \mu\text{m} \sim 2.0 \mu\text{m}$ であつ、
前記降伏強度の平均値 Y_P が $450 \text{MPa} \sim 500 \text{MPa}$ 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4] 前記各接着部が、アクリル系及びエポキシ系の少なくとも一方の油面接着剤を油成分として含む
ことを特徴とする請求項 1 ～ 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] 前記各接着部が、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 ～ 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6] 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を備えたことを特徴とする回転電機。