

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2018-235851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、接着およびかしめの両方法により接合されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2015-136228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、外形状の寸法精度を確保しつつ、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、外形状の寸法精度を確保しつつ、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] 前記課題を解決するために、本発明は以下の手段を提案している。

(1) 本発明の第一の態様は、互いに積層された複数の電磁鋼板を備える積層コアであって、前記複数の電磁鋼板のうち、積層方向に沿う第1側に位置する前記電磁鋼板、および積層方向に沿う第2側に位置する前記電磁鋼板は、いずれも互いにかしめられ接着されておらず、積層方向に沿う中央に位置する前記電磁鋼板は、互いに接着されかしめられていない積層コアである。

[0007] かしめによる接合は、接着による接合に比べて、寸法精度を高めることが

できる。ここで、複数の電磁鋼板のうち、積層方向に沿う第1側に位置する電磁鋼板、および積層方向に沿う第2側に位置する電磁鋼板が、いずれも互いにかしめられている。したがって、積層コアのうち、積層方向の第1側および第2側に位置する各部分（積層方向の中央に対して、積層方向の外側に位置する各部分）の形状の精度を高めることができる。これらの各部分は、積層コアの中央に位置する部分に対して、積層コアの外形状への影響が大きい。そのため、これらの各部分の形状の精度を高めることで、結果として、積層コアの外形状の精度を高めることができる。よって、積層コアの取り扱い性を確保することができる。例えば、積層コアに巻線を巻き回す場合であっても、精度良く巻き回すこと等ができる。

接着による接合は、かしめによる接合に比べて、電磁鋼板に生じる歪を抑えることができる。電磁鋼板に生じる歪は、電磁鋼板の鉄損および積層コアの磁気特性に影響を与えることから、小さいほうが好ましい。ここで、複数の電磁鋼板のうち、積層方向に沿う中央に位置する電磁鋼板が、互いに接着されている。したがって、これらの電磁鋼板が互いにかしめられている場合に比べて、歪の発生を抑えることができる。その結果、積層コアの磁気特性を向上させることができる。

[0008] (2) 前記(1)に記載の積層コアでは、前記中央に位置して互いに接着される前記電磁鋼板の枚数は、前記第1側に位置して互いにかしめられる前記電磁鋼板の枚数、および前記第2側に位置して互いにかしめられる前記電磁鋼板の枚数よりも多くてもよい。

[0009] 前記中央に位置して互いに接着される電磁鋼板の枚数（以下、N3という）が、前記第1側に位置して互いにかしめられる電磁鋼板の枚数（以下、N1という）、および前記第2側に位置して互いにかしめられる電磁鋼板の枚数（以下、N2という）よりも多い。よって、積層コア全体において、かしめにより接合される電磁鋼板の枚数の比率を低くすることができる。その結果、積層コアの磁気特性を一層向上させることができる。

[0010] (3) 前記(1)または前記(2)に記載の積層コアでは、前記第1側に位

置して互いにかしめられる前記電磁鋼板の枚数と、前記第2側に位置して互いにかしめられる前記電磁鋼板の枚数と、が等しくてもよい。

[0011] N1とN2とが等しい。したがって、積層コアにおいて、積層方向の第1側における寸法精度と第2側における寸法精度との間に相違が生じるのを抑えることができる。これにより、積層コアの取り扱い性をより確保することができる。

[0012] (4) 前記(1)から前記(3)のいずれか1つに記載の積層コアでは、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突出す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、を備えていてもよい。

[0013] 積層コアが、コアバック部とティース部を備えるステータコアである。そのため、例えば、周方向に隣り合うティース部間のスロットに巻線を通すときに、前述した取り扱い性が確保されているという作用効果が顕著に奏功される。すなわち、スロットの寸法精度が高められると、巻線を設計通りにティース部に巻き回し易くすることができる。これにより、スロットにおける巻線占積率を高めることができる。結果として、スロット内の電気装荷を高めることができる。

[0014] (5) 前記(1)から前記(4)のいずれか1つに記載の積層コアでは、前記接着部の平均厚みが $1.0\mu\text{m} \sim 3.0\mu\text{m}$ であってもよい。

[0015] (6) 前記(1)から前記(5)のいずれか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 $1500\text{MPa} \sim 4500\text{MPa}$ であってもよい。

[0016] (7) 前記(1)から前記(6)のいずれか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。

[0017] (8) 本発明の第二の態様は、前記(1)から前記(7)のいずれか1つに記載の積層コアを備える回転電機である。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、外形状の寸法精度を確保しつつ、磁気特性を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0019] [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側面図である。

[図4]図1に示す回転電機が備えるステータの電磁鋼板および接着部の平面図である。

[図5]図1に示す回転電機が備えるステータの電磁鋼板およびかしめの平面図である。

[図6]図5に示すV I - V I 断面矢視図である。

[図7]本発明の一実施形態の第1変形例に係るステータコアの断面図であって、図6に示す断面図に相当する図である。

[図8]本発明の一実施形態の第2変形例に係るステータコアの断面図であって、図6に示す断面図に相当する図である。

発明を実施するための形態

[0020] 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。

[0021] 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。

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。なおこの回転電機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。

[0022] ステータ20は、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（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。

[0023] 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。なお、複数のティース部23の形状、大きさは同等でなくてもよい。

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よく、分布巻きされていてよい。

[0024] 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。なお、複数組の永久磁石32の間隔は、同等でなくてもよい。

[0025] 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、埋込磁石型モータに代えて表面磁石型モータを採用してもよい。

[0026] 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。積層コアは、複数の電磁鋼板40が積層されることで形成されている。

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。

[0027] スターコア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、JISC 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、JISC 2553:2012の方向性電鋼帯を採用することができる。

[0028] 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。

[0029] 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、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。

[0030] 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または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。

[0031] ステータコア21を形成する複数の電磁鋼板40の一部は、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。

[0032] 接着部41の常温（20℃～30℃）における平均引張弾性率Eは、15

00MPa～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。

[0033] 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。

[0034] 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 $1\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。

一方で接着部41の厚さが $100\mu\text{m}$ 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、積層コアをモータにした時のトルク密度が低下する。したがって、接着部41の厚さは $1\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $1\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 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。

[0035] 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。

[0036] 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。

[0037] なお本実施形態では、ロータコア31を形成する複数の電磁鋼板40は、かしめC（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40が、接着部41によって互いに接着されているともよい。

なお、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るともよい。

[0038] ここで図3および図4に示すように、本実施形態のステータコア21では、積層方向に隣り合う電磁鋼板40同士の全ての組が、接着またはかしめのどちらかにより接合されている。本実施形態では、複数の電磁鋼板40のうち、積層方向に沿う第1側D1に位置するN1枚の電磁鋼板40（以下では、第1積層体76とも言う）、および積層方向に沿う第2側D2に位置するN2枚の電磁鋼板40（以下では、第2積層体77とも言う）は、いずれも互いにかしめられ接着されておらず、更にはかしめ以外の接合方法により接合されていない。複数の電磁鋼板40のうち、積層方向に沿う中央に位置するN3枚の電磁鋼板40（以下では、第3積層体78とも言う）は、互いに接着されかしめられておらず、更には接着以外の接合方法により接合されていない。

[0039] ステータコア21における積層方向の両端部のうち、第1側D1に位置する端部を第1端部21aとし、第2側D2に位置する端部を第2端部21bとする。第1端部21aは、前記N1枚の電磁鋼板40（第1積層体76）により形成されている。第2端部21bは、前記N2枚の電磁鋼板40（第2積層体77）により形成されている。なお本実施形態では、N1とN2とが等しい。ここで、N1とN2とが等しいことには、N1とN2とが完全に等しい場合だけでなく、N1とN2との間に微差がある場合（実質的に等しい場合）も含まれる。この微差は、ステータコア21の全体の枚数に対して、5%以内の枚数差をいう。

[0040] 図5に示すように、互いにかしめられている電磁鋼板40（N1枚、N2枚の各電磁鋼板40、第1積層体76および第2積層体77）には、かしめ

C 1、C 2が形成されている。かしめC 1、C 2は、コアバック部2 2に設けられた第1かしめC 1と、ティース部2 3に設けられた第2かしめC 2と、を含む。

[0041] 第1かしめC 1は、周方向に沿って同等の間隔をあけて複数配置されている。図示の例では、第1かしめC 1は、周方向に沿ってティース部2 3とずらされて配置されている。第1かしめC 1は、周方向に沿って隣り合うティース部2 3の中間に配置されている。第1かしめC 1は、径方向に沿ってコアバック部2 2の中央に配置されている。

第2かしめC 2は、全てのティース部2 3に設けられている。第2かしめC 2は、各ティース部2 3の周方向の中央に配置されている。第2かしめC 2は、各ティース部2 3に径方向に2つ並んで配置されている。

[0042] 図6に示すように、第1かしめC 1は、各電磁鋼板4 0に設けられた凸部C 1 1および凹部C 1 2を備えている。凸部C 1 1は、電磁鋼板4 0から積層方向に突出している。凹部C 1 2は、各電磁鋼板4 0において、凸部C 1 1の裏側に位置する部分に配置されている。凹部C 1 2は、電磁鋼板4 0の表面（第1面）に対して、積層方向に窪んでいる。凸部C 1 1および凹部C 1 2は、各電磁鋼板4 0を、例えばプレス加工することにより形成される。

ここで、前記N 1枚の電磁鋼板4 0（第1積層体7 6）および前記N 2枚の電磁鋼板4 0（第2積層体7 7）それぞれにおいて、積層方向に隣り合う2枚の電磁鋼板4 0の一方を第1の電磁鋼板4 0といい、他方を第2の電磁鋼板4 0という。第1かしめC 1は、第1の電磁鋼板4 0の凸部C 1 1が、第2の電磁鋼板4 0の凹部C 1 2に嵌め込まれることにより形成されている。凸部C 1 1が凹部C 1 2に嵌め込まれ、第1かしめC 1が形成されることにより、積層方向に隣り合う2枚の電磁鋼板4 0同士の相対的な変位が規制される。

[0043] 第2かしめC 2は、第1かしめC 1と同様の構成である。第2かしめC 2は、各電磁鋼板4 0に設けられた前記凸部C 1 1および前記凹部C 1 2を備えている。第2かしめC 2は、第1の電磁鋼板4 0の凸部C 1 1が、第2の

電磁鋼板 40 の凹部 C 1 2 に嵌め込まれることにより形成されている。凸部 C 1 1 が凹部 C 1 2 に嵌め込まれ、第 2 かしめ C 2 が形成されることにより、積層方向に隣り合う 2 枚の電磁鋼板 40 同士の相対的な変位が規制される。

[0044] なお、凸部 C 1 1 および凹部 C 1 2 の形状は特に限定されない。

また、凸部 C 1 1 が突出する向き、凹部 C 1 2 が窪む向きは、積層方向の第 1 側 D 1、第 2 側 D 2 のどちらであってもよい。

例えば、図 6 に示す本実施形態のステータコア 21 のように、前記 N 1 枚の電磁鋼板 40（第 1 積層体 76）および前記 N 2 枚の電磁鋼板 40（第 2 積層体 77）のどちらにおいても、凸部 C 1 1 が第 2 側 D 2 に突出し、凹部 C 1 2 が第 2 側 D 2 に窪んでいてもよい。この場合、前記 N 1 枚の電磁鋼板 40（第 1 積層体 76）および前記 N 2 枚の電磁鋼板 40（第 2 積層体 77）それぞれにおいて、最も第 2 側 D 2 に位置する電磁鋼板 40 には、凸部 C 1 1 および凹部 C 1 2 が形成されていてもよい。ただし図示の例では、前記最も第 2 側 D 2 に位置する電磁鋼板 40 に、凸部 C 1 1 および凹部 C 1 2 に代えて、貫通孔 C 1 3 が形成されている。この場合、貫通孔 C 1 3 が形成された電磁鋼板 40 に対して第 1 側 D 1 から隣り合う電磁鋼板 40 の凸部 C 1 1 が、前記貫通孔 C 1 3 内に嵌め込まれている。これにより、前記 N 1 枚の電磁鋼板 40（第 1 積層体 76）および前記 N 2 枚の電磁鋼板 40（第 2 積層体 77）それぞれにおいて、最も第 2 側 D 2 に位置する 2 枚の電磁鋼板 40 が、互いにかしめられる。

さらに例えば、図 7 に示す第 1 変形例のステータコア 21 A のように、前記 N 1 枚の電磁鋼板 40（第 1 積層体 76）では、凸部 C 1 1 が第 2 側 D 2 に突出し、凹部 C 1 2 が第 2 側 D 2 に窪んでいてもよい。その上で、前記 N 2 枚の電磁鋼板 40（第 2 積層体 77）では、凸部 C 1 1 が第 1 側 D 1 に突出し、凹部 C 1 2 が第 1 側 D 1 に窪んでいてもよい。図示の例では、前記 N 1 枚の電磁鋼板 40（第 1 積層体 76）において、前記最も第 2 側 D 2 に位置する電磁鋼板 40 に、凸部 C 1 1 および凹部 C 1 2 に代えて、貫通孔 C 1

3が形成されている。また、前記N2枚の電磁鋼板40（第2積層体77）において、前記最も第1側D1に位置する電磁鋼板40に、凸部C11および凹部C12に代えて、貫通孔C13が形成されている。

さらに例えば、図8に示す第2変形例のステータコア21Bのように、前記N1枚の電磁鋼板40（第1積層体76）では、凸部C11が第1側D1に突出し、凹部C12が第1側D1に窪んでいてもよい。その上で、前記N2枚の電磁鋼板40（第2積層体77）では、凸部C11が第2側D2に突出し、凹部C12が第2側D2に窪んでいてもよい。図示の例では、前記N1枚の電磁鋼板40（第1積層体76）において、前記最も第1側D1に位置する電磁鋼板40に、凸部C11および凹部C12に代えて、貫通孔C13が形成されている。また、前記N2枚の電磁鋼板40（第2積層体77）において、前記最も第2側D2に位置する電磁鋼板40に、凸部C11および凹部C12に代えて、貫通孔C13が形成されている。

また図示はしないが、前記N1枚の電磁鋼板40（第1積層体76）および前記N2枚の電磁鋼板40（第2積層体77）のどちらにおいても、凸部C11が第1側D1に突出し、凹部C12が第1側D1に窪んでいてもよい。

[0045] 図3に示すように、複数の電磁鋼板40のうち、積層方向に沿う中央に位置するN3枚の電磁鋼板40（第3積層体78）は、前記N1枚の電磁鋼板40（第1積層体76）、前記N2枚の電磁鋼板40（第2積層体77）によって、積層方向の両側から挟み込まれている。N3枚の電磁鋼板40（第3積層体78）は、ステータコア21の中央部21cを形成している。電磁鋼板40の全体の枚数をN0とすると、N0は、N1、N2およびN3の和として求められる。

[0046] 図4に示すように、接着部41によって接着された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。

[0047] 本実施形態では、積層方向に隣り合う電磁鋼板40同士は、電磁鋼板40

の周縁に沿って設けられた接着部 4 1 によって接着されている。具体的には、積層方向に隣り合う電磁鋼板 4 0 同士は、第 1 の接着部 4 1 a と、第 2 の接着部 4 1 b と、によって接着されている。第 1 の接着部 4 1 a は、電磁鋼板 4 0 を積層方向から見た平面視において、電磁鋼板 4 0 の外周縁に沿って設けられている。第 2 の接着部 4 1 b は、電磁鋼板 4 0 を積層方向から見た平面視において、電磁鋼板 4 0 の内周縁に沿って設けられている。なお、第 1、第 2 の接着部 4 1 a、4 1 b は、それぞれ平面視において帯状に形成されている。

[0048] ここで帯状とは、帯の幅が途中で変化する形状も含む。例えば、丸形状の点が分断されることなく一方向に連続する形状も、一方向に延びる帯状に含まれる。また、周縁に沿っていることには、周縁に対して完全に平行な場合だけでなく、周縁に対して例えば 5 度以内の傾斜を有している場合も含まれる。

[0049] 第 1 の接着部 4 1 a は、電磁鋼板 4 0 の外周縁に沿って配置されている。第 1 の接着部 4 1 a は、周方向の全周にわたって連続して延びている。第 1 の接着部 4 1 a は、この第 1 の接着部 4 1 a を積層方向から見た平面視において円環状に形成されている。

第 2 の接着部 4 1 b は、電磁鋼板 4 0 の内周縁に沿って配置されている。第 2 の接着部 4 1 b は、周方向の全周にわたって連続して延びている。

[0050] 第 2 の接着部 4 1 b は、複数のティース部分 4 4 と、複数のコアバック部分 4 5 と、を備えている。複数のティース部分 4 4 は、周方向に間隔をあけて設けられ、各ティース部 2 3 に配置されている。複数のコアバック部分 4 5 は、コアバック部 2 2 に配置され、周方向に隣り合うティース部分 4 4 同士を連結している。

ティース部分 4 4 は、一对の第 1 部分 4 4 a と、第 2 部分 4 4 b と、を備えている。第 1 部分 4 4 a は、周方向に間隔をあけて配置されている。第 1 部分 4 4 a は、径方向に沿って延びている。第 1 部分 4 4 a は、径方向に帯状に延びている。第 2 部分 4 4 b は、一对の第 1 部分 4 4 a 同士を周方向に

連結している。第2部分44bは、周方向に帯状に延びている。

[0051] 本実施形態では、電磁鋼板40同士の上に設けられた全ての接着部41の平面視形状は同一である。接着部41の平面視形状とは、接着部41が設けられた電磁鋼板40を積層方向から見た平面視における、接着部41の全体形状を意味する。電磁鋼板40同士の上に設けられた全ての接着部41の平面視形状が同一であることは、電磁鋼板40同士の上に設けられた全ての接着部41の平面視形状が完全に同一である場合だけを含むものではなく、実質的に同一の場合を含む。前記実質的に同一の場合は、電磁鋼板40同士の上に設けられた全ての接着部41の平面視形状が95%以上の部分で共通している場合である。

[0052] そして本実施形態では、接着部41による電磁鋼板40の接着面積率は、1%以上、40%以下である。図示の例では、前記接着面積率は、1%以上、20%以下であり、具体的には20%である。なお、接着部41による電磁鋼板40の接着面積率とは、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）の面積に対する、第1面のうちの接着部41が設けられた領域（接着領域42）の面積の割合である。接着部41が設けられた領域とは、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が設けられている領域（接着領域42）である。接着部41が設けられた領域の面積は、例えば、剥離後の電磁鋼板40の第1面を撮影し、その撮影結果を画像解析することによって求められる。

[0053] 本実施形態では、電磁鋼板40同士の上において、接着部41による電磁鋼板40の接着面積率が、1%以上、20%以下である。積層方向に隣り合う両電磁鋼板40において、その接着部41による電磁鋼板40の接着面積率は、いずれも1%以上、20%以下となっている。1つの電磁鋼板40に対して積層方向の両側に接着部41が設けられている場合、その電磁鋼板40の両面における前記接着面積率は、いずれも1%以上、20%以下となっている。

なお、電磁鋼板40を接着部41により接着することで、電磁鋼板40を

かしめる場合に比べて、接着面積（接合面積）を容易に確保することができる。

[0054] なお本実施形態では、互いにかしめられている電磁鋼板40（N1枚、N2枚の各電磁鋼板40、第1積層体76および第2積層体77）は、接着されていない。言い換えると、互いにかしめられている電磁鋼板40の間には、接着部41が設けられていない。

さらに本実施形態では、互いに接着されている電磁鋼板40（N3枚の電磁鋼板40）は、かしめられていない。言い換えると、互いに接着されている電磁鋼板40では、凸部C11および凹部C12（または貫通孔C13）が嵌め合わされていない。すなわち、互いに接着されている電磁鋼板40の相対的な変位の規制が、少なくとも凸部C11および凹部C12（または貫通孔C13）の嵌め合いによっては実現されていない。

[0055] なお本実施形態では、かしめC1、C2と接着部41とは、平面視において重複せず、互いに回避する位置に配置されている。かしめC1、C2と接着部41とは、平面視においてずらされて配置されている。平面視におけるかしめC1、C2の面積の合計は、接着部41の面積の合計よりも小さい。

[0056] ここで、かしめによって接合される第1側D1のN1枚の電磁鋼板40と、接着によって接合される中央のN3枚の電磁鋼板40と、の境界（以下、第1境界B1という）における接合方法は、かしめであってもよく、接着であってもよい。言い換えると、第1側D1に位置するN1枚の電磁鋼板40のうち、最も第2側D2に位置する電磁鋼板40と、中央に位置するN3枚の電磁鋼板40のうち、最も第1側D1に位置する電磁鋼板40と、は、互いにかしめによって接合されていてもよく、接着により接合されていてもよい。

[0057] また、かしめによって接合される第2側D2のN2枚の電磁鋼板40と、接着によって接合される中央のN3枚の電磁鋼板40と、の境界（以下、第2境界B2という）における接合方法は、かしめであってもよく、接着であってもよい。言い換えると、第2側D2に位置するN2枚の電磁鋼板40の

うち、最も第1側D1に位置する電磁鋼板40と、中央に位置するN3枚の電磁鋼板40のうち、最も第2側D2に位置する電磁鋼板40と、は、互いにかしめによって接合されていてもよく、接着により接合されていてもよい。

[0058] 図6に示すステータコア21および図7に示すステータコア21A、図8に示すステータコア21Bでは、第1境界B1および第2境界B2のいずれにおいても、互いに隣り合う電磁鋼板40が、接着により接合されている。

ここで、第1境界B1および第2境界B2それぞれにおいて互いに隣り合う電磁鋼板40のうちの一方を第3の電磁鋼板40とし、他方を第4の電磁鋼板40とする。第3の電磁鋼板40において、第4の電磁鋼板40を向く表面（第1面）には、凸部C11、凹部C12または貫通孔C13が形成されている。第4の電磁鋼板40において、第3の電磁鋼板40を向く表面（第1面）には、凸部C11、凹部C12および貫通孔C13のいずれもが形成されていない。第4の電磁鋼板40における前記表面は、実質的に平坦である。なお、ここで実質的に平坦であることには、例えば、電磁鋼板40の表面に製造上やむを得ず生じ得る凹凸形状が形成されている場合などが含まれる。

[0059] なお、第1境界B1および第2境界B2のいずれにおいても、基本的には電磁鋼板40が接合されている方が優位である。しかしながら、巻線による締結力を期待して、各境界B1、B2において電磁鋼板40が接合されていなくてもよい。

[0060] かしめによる接合は、接着による接合に比べて、寸法精度を高めることができる。ここで、複数の電磁鋼板40のうち、積層方向に沿う第1側D1に位置する電磁鋼板40（N1枚の電磁鋼板40、第1積層体76）、および積層方向に沿う第2側D2に位置する電磁鋼板40（N2枚の電磁鋼板40、第2積層体77）が、いずれも互いにかしめられている。したがって、ステータコア21のうち、積層方向の第1側D1および第2側D2に位置する各部分（積層方向の中央に対して、積層方向の外側に位置する各部分）の形

状の精度を高めることができる。これらの各部分は、ステータコア 21 の中央に位置する部分に対して、ステータコア 21 の外形状への影響が大きい。そのため、これらの各部分の形状の精度を高めることで、結果として、ステータコア 21 の外形状の精度を高めることができる。よって、ステータコア 21 の取り扱い性を確保することができる。例えば、ステータコア 21 に巻線を巻き回す場合であっても、精度良く巻き回すこと等ができる。

本実施形態では、周方向に隣り合うティース部 23 間のスロットに巻線を通すときに、前述した取り扱い性が確保されているという作用効果が顕著に奏功される。すなわち、スロットの寸法精度が高められると、巻線を設計通りにティース部 23 に巻き回し易くすることができる。これにより、スロットにおける巻線占積率を高めることができる。結果として、スロット内の電気装荷を高めることができる。

[0061] 接着による接合は、かしめによる接合に比べて、電磁鋼板 40 に生じる歪を抑えることができる。電磁鋼板 40 に生じる歪は、電磁鋼板 40 の鉄損およびステータコア 21 の磁気特性に影響を与えることから、小さいほうが好ましい。ここで、複数の電磁鋼板 40 のうち、積層方向に沿う中央に位置する電磁鋼板 40 (N 3 枚の電磁鋼板 40、第 3 積層体 78) が、互いに接着されている。したがって、これらの電磁鋼板 40 が互いにかしめられている場合に比べて、歪の発生を抑えることができる。その結果、ステータコア 21 の磁気特性を向上させることができる。

[0062] 図 3 に示すように、N 3 が、N 1 および N 2 よりも大きい。よって、ステータコア 21 全体において、かしめにより接合される電磁鋼板 40 の枚数の比率を低くすることができる。その結果、ステータコア 21 の磁気特性を一層向上させることができる。

N 1 と N 2 とが等しい。したがって、ステータコア 21 において、積層方向の第 1 側 D 1 における寸法精度と第 2 側 D 2 における寸法精度との間に相違が生じるのを抑えることができる。これにより、ステータコア 21 の取り扱い性をより確保することができる。

[0063] 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。

[0064] 前記実施形態では、かしめC 1、C 2と接着部4 1とは、平面視において重複せず、互いに回避する位置に配置されている。しかしながら、かしめC 1、C 2と接着部4 1とは、平面視において重複していてもよい。

[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2 3の周方向と径方向の寸法比率、ティース部2 3とコアバック部2 2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っ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3 2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3 2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3 2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、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。

[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。

[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] 次に、上記した作用効果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、J S O L 株式会社製の有限要素法電磁場解析ソフト J M A G を利用した。

検証試験として、第 1 の検証試験と、第 2 の検証試験と、を実施した。

[0071] (第 1 の検証試験)

第 1 の検証試験では、積層方向の両側の電磁鋼板がかしめられ、かつ、中央の電磁鋼板が接着されることに基づく作用効果について検証した。

この検証試験では、比較例 1、2 のステータ、実施例 1 のステータについてシミュレーションを実施した。

[0072] 比較例 1、2 のステータ、実施例 1 のステータのいずれについても共通して、上記図 1 から図 6 に示す実施形態に係るステータ 20 を基本構造とし、このステータ 20 に対して以下点を変更した。すなわち、電磁鋼板の板厚を 0.25 mm とし、積層コアの積厚を 50 mm とし、電磁鋼板の枚数を、200 枚とした。

[0073] その上で、比較例 1 のステータでは、200 枚の電磁鋼板を全層、かしめにより接合した。比較例 2 のステータでは、200 枚の電磁鋼板を全層、接着により接合した。実施例 1 のステータでは、200 枚の電磁鋼板のうち、積層方向の両側に位置する 30 枚ずつ（全枚数の 15% ずつ）をかしめにより接合し、積層方向の中央に位置する 140 枚（全枚数の 70%）を接着により接合した。

[0074] 比較例 1、2、実施例 1 のステータそれぞれについて、電磁鋼板 1 枚当た

りの鉄損と、ステータコアとしての寸法精度を確認した。鉄損は上記ソフトウェアを利用したシミュレーションにより算出した。寸法精度は、各例において5台のステータコアを製造した場合における狙い寸法からのずれの大きさを評価した。

[0075] 結果を以下の表1に示す。

[0076] [表1]

	比較例1	実施例1	比較例2
接合方法	全層かしめ	両側かしめ、中央接着	全層接着
鉄損 (w/kg)	27.4	25.0	24.0
寸法精度	優良	良好	不良

[0077] 以上から、実施例1では、比較例1に比べて、8.8% ($(27.4 - 25.0) / 27.4$) の鉄損の改善がみられた上に、寸法精度について良好な結果が得られた。

[0078] (第2の検証試験)

第2の検証試験では、かしめられる枚数、接着される枚数の相違に基づく効果の相違について検証した。

この検証試験では、実施例11～14のステータについてシミュレーションを実施した。

[0079] 実施例11～14のステータのいずれについても共通して、上記図1から図6に示す実施形態に係るステータ20を基本構造とし、このステータ20に対して以下点を変更した。すなわち、電磁鋼板の板厚を0.25mmとし、積層コアの積厚を50mmとし、電磁鋼板の枚数を、200枚とした。

[0080] その上で、各実施例11～14のステータを、以下のように設定した。

実施例11のステータでは、200枚の電磁鋼板のうち、積層方向の両側に位置する20枚ずつ（全枚数の10%ずつ）をかしめにより接合し、積層方向の中央に位置する160枚（全枚数の80%）を接着により接合した。

実施例12のステータでは、200枚の電磁鋼板のうち、積層方向の両側に位置する40枚ずつ（全枚数の20%ずつ）をかしめにより接合し、積層

方向の中央に位置する 120 枚（全枚数の 60%）を接着により接合した。

実施例 13 のステータでは、200 枚の電磁鋼板のうち、積層方向の両側に位置する 60 枚ずつ（全枚数の 30% ずつ）をかしめにより接合し、積層方向の中央に位置する 80 枚（全枚数の 40%）を接着により接合した。

実施例 14 のステータでは、200 枚の電磁鋼板のうち、積層方向の両側に位置する 80 枚ずつ（全枚数の 40% ずつ）をかしめにより接合し、積層方向の中央に位置する 40 枚（全枚数の 20%）を接着により接合した。

[0081] 結果を以下の表 2 に示す。

[0082] [表2]

	実施例11	実施例12	実施例13	実施例14
かしめの割合(片側)	10%	20%	30%	40%
接着の割合	80%	60%	40%	20%
鉄損 (w/kg)	24.7	25.4	26.0	26.7
寸法精度	可	良好	良好	良好

[0083] 以上から、実施例 14 から 11 に向かうに従い、鉄損が改善されることが確認された。例えば実施例 11 では、実施例 14 と比べて、 $7.5\% (= (26.7 - 24.7) / 26.7)$ の鉄損の改善がみられた。実施例 12 でも、実施例 14 と比べて、 $4.9\% (= (26.7 - 25.4) / 26.7)$ の鉄損の改善がみられた。

一方、実施例 12 ～ 14 では、寸法精度について良好な結果が得られた。

[0084] この結果から、積層方向の第 1 側に位置して互いにかしめられる電磁鋼板（第 1 積層体）の枚数 $N1$ と、積層方向の第 2 側に位置して互いにかしめられる電磁鋼板（第 2 積層体）の枚数 $N2$ と、電磁鋼板全体の枚数 $N0$ と、が以下の関係であることが好ましいことが確認された。すなわち、 $N1$ と $N2$ とが等しい（ $N1 = N2$ ）上で、 $N1$ および $N2$ それぞれの $N0$ に対する各比率（ $N1 / N0$ および $N2 / N0$ ）が、10% 以上 40% 以下であることが好ましいことが確認された。さらには、前記各比率が 20% 以上 40% 以下であることがより好ましいことが確認された。

産業上の利用可能性

[0085] 本発明によれば、外形状の寸法精度を確保しつつ、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

- [0086] 1 0 回転電機
2 1、2 1 A、2 1 B ステータコア（積層コア）
2 2 コアバック部
2 3 ティース部
4 0 電磁鋼板

請求の範囲

- [請求項1] 互いに積層された複数の電磁鋼板を備える積層コアであって、
前記複数の電磁鋼板のうち、積層方向に沿う第1側に位置する前記電磁鋼板、および積層方向に沿う第2側に位置する前記電磁鋼板は、いずれも互いにかしめられ接着されておらず、積層方向に沿う中央に位置する前記電磁鋼板は、互いに接着されかしめられていない積層コア。
- [請求項2] 前記中央に位置して互いに接着される前記電磁鋼板の枚数は、前記第1側に位置して互いにかしめられる前記電磁鋼板の枚数、および前記第2側に位置して互いにかしめられる前記電磁鋼板の枚数よりも多い請求項1に記載の積層コア。
- [請求項3] 前記第1側に位置して互いにかしめられる前記電磁鋼板の枚数と、前記第2側に位置して互いにかしめられる前記電磁鋼板の枚数と、が等しい請求項1または2に記載の積層コア。
- [請求項4] 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突出す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、を備えている請求項1から3のいずれか1項に記載の積層コア。
- [請求項5] 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から4のいずれか1項に記載の積層コア。
- [請求項6] 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から5のいずれか1項に記載の積層コア。
- [請求項7] 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から6のいずれか1項に記載の積層コア。
- [請求項8] 請求項1から7のいずれか1項に記載の積層コアを備える回転電機。