

明 細 書

発明の名称：

電磁鋼板用コーティング組成物、電磁鋼板、積層コア及び回転電機

技術分野

[0001] 本発明は、電磁鋼板用コーティング組成物、電磁鋼板、積層コア及び回転電機に関する。本願は、2020年6月17日に、日本に出願された特願2020-104234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] 回転電機に使用されるコア（鉄心）として、複数の電磁鋼板が互いに接合されて積層された積層コアが知られている。電磁鋼板同士の接合方法としては、かしめや溶接が知られている。しかし、かしめや溶接では、加工時の機械歪や熱歪によって電磁鋼板の磁気特性（コア鉄損）が劣化しやすい。

[0003] かしめ、溶接以外の接合方法としては、例えば、表面に接着能を有する絶縁被膜が形成された電磁鋼板を互いに接着させる方法が知られている（特許文献1）。前記絶縁被膜を用いた接着は機械歪や熱歪を与えないため、かしめや溶接に比べてコア鉄損に優れる。エポキシ樹脂は、体積変化が少なく、耐熱性や耐油性、耐薬品性に優れており、電磁鋼板同士を接着する接着剤として非常に優れている（特許文献2、3）。

[0004] 近年、モータ効率の更なる向上の要請を受け、より一層のコア鉄損の低減が求められている。コア鉄損の低減には、電磁鋼板の薄手化が有力である。しかし、鋼板は板厚の減少に伴ってヤング率が低下するため、鉄損劣化の原因となる応力歪を鋼板に付与しないことが求められる。また、電気自動車の駆動モータ等では、駆動初期は常温で駆動中には高温になるため、温度変化が激しい。そのため、コア鉄損を低減しつつ、駆動時に高温に曝された状態でも十分な接着強度を保持できる優れた耐熱性を兼ね備えていることが重要である。

[0005] 耐熱性に優れた樹脂は常温では硬く積層コアに大きな応力を付与しやすい。一方、常温付近で適切な硬さの樹脂は、高温では柔らかく耐熱性に劣る。エポキシ樹脂は、耐熱性に優れるが、硬く靱性が低いことから、接着時の硬化によって鋼板に応力歪が付与されるため、鋼板が薄くなると鉄損劣化の原因となる。また、靱性が低いと駆動時の振動衝撃によって接着が剥がれたりする恐れもある。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：日本国特開2017-011863号公報

特許文献2：日本国特開2000-173816号公報

特許文献3：国際公開第2004/070080号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明は、積層コアの磁気特性と、駆動時の高温状態でも電磁鋼板同士の接着強度を保持できる耐熱性とを両立できる電磁鋼板用コーティング組成物、それを用いた電磁鋼板、積層コア及び回転電機を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明は、以下の態様を有する。

[1] エポキシ樹脂と、潜在性エポキシ樹脂硬化剤と、熱可塑性エラストマーとを含有し、前記熱可塑性エラストマーの融点が100℃以上200℃以下であり、かつ曲げ弾性率が5MPa超100MPa以下であり、前記エポキシ樹脂と前記潜在性エポキシ樹脂硬化剤との合計100質量部に対して、前記熱可塑性エラストマーの含有量が10質量部以上40質量部未満である、電磁鋼板用コーティング組成物。

[2] 前記熱可塑性エラストマーが、オレフィン系エラストマー、ウレタン系エラストマー及びポリエステル系エラストマーから選ばれる1種以上であ

る、〔１〕に記載の電磁鋼板用コーティング組成物。

〔３〕母材鋼板の表面に、〔１〕又は〔２〕に記載の電磁鋼板用コーティング組成物が塗布されてなる絶縁被膜を有する、電磁鋼板。

〔４〕前記母材鋼板の平均板厚が０．３０ｍｍ以下である、〔３〕に記載の電磁鋼板。

〔５〕〔３〕又は〔４〕に記載の電磁鋼板が複数積層され、互いに接着されている、積層コア。

〔６〕〔５〕に記載の積層コアを備える回転電機。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、積層コアの磁気特性と、駆動時の高温状態でも電磁鋼板同士の接着強度を保持できる耐熱性とを両立できる電磁鋼板用コーティング組成物、それを用いた電磁鋼板、積層コア及び回転電機を提供できる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の第１実施形態に係る積層コアを備えた回転電機の断面図である。

[図2]同積層コアの側面図である。

[図3]図２のＡ－Ａ断面図である。

[図4]同積層コアを形成する素材の平面図である。

[図5]図４のＢ－Ｂ断面図である。

[図6]図５のＣ部の拡大図である。

[図7]同積層コアを製造するために用いられる製造装置の側面図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面を参照し、本発明の一実施形態に係る積層コアと、この積層コアを備えた回転電機と、この積層コアを形成する素材について説明する。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。

[0012] (回転電機 10)

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 及びロータ 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 10 A、周波数 100 Hz の励磁電流を印加することにより、回転数 1000 rpm で回転することができる。

[0013] 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。

[0014] 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もよく、分布巻きされていてもよい。

[0015] 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。

[0016] 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。

[0017] ステータコア 21 及びロータコア 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 及びロータコア 31 それぞれの積厚（中心軸線 O に沿った全長）は、例えば 50.0 mm 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、及びロータコア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。

[0018] ステータコア21及びロータコア31を形成する各電磁鋼板40は、例えば、図4から図6に示すような素材1を打ち抜き加工すること等により形成される。素材1は、電磁鋼板40の母材となる電磁鋼板である。素材1としては、例えば、帯状の鋼板や切り板などが挙げられる。

積層コアの説明の途中ではあるが、以下では、この素材1について説明する。なお本明細書において、電磁鋼板40の母材となる帯状の鋼板を素材1という場合がある。素材1を打ち抜き加工して積層コアに用いられる形状にした鋼板を電磁鋼板40という場合がある。

[0019] (素材1)

素材1は、例えば、図7に示すコイル1Aに巻き取られた状態で取り扱われる。本実施形態では、素材1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、JIS C 2552:2014の無方向性電磁鋼板を採用できる。しかしながら、素材1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、JIS C 2553:2019の方向性電磁鋼板を採用できる。また、JIS C 2558:2015の無方向性薄電磁鋼帯や方向性薄電磁鋼帯を採用できる。

[0020] 素材1の平均板厚 t_0 の上下限値は、素材1が電磁鋼板40として用いられる場合も考慮して、例えば以下のように設定される。

素材1が薄くなるに連れて素材1の製造コストは増す。そのため、製造コ

ストを考慮すると、素材1の平均板厚 t_0 の下限値は、0.10mm、好ましくは0.15mm、より好ましくは0.18mmとなる。

一方で素材1が厚すぎると、製造コストは良好になるが、素材1が電磁鋼板40として用いられた場合に、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、素材1の平均板厚 t_0 の上限値は、0.65mm、好ましくは0.35mm、より好ましくは0.30mmとなる。

素材1の平均板厚 t_0 の上記範囲を満たすものとして、0.20mmを例示できる。

[0021] なお、素材1の平均板厚 t_0 は、後述する母材鋼板2の厚さだけでなく、絶縁被膜3の厚さも含まれる。また、素材1の平均板厚 t_0 の測定方法は、例えば、以下の測定方法による。例えば、素材1がコイル1Aの形状に巻き取られている場合、素材1の少なくとも一部を平板形状にほどく。平板形状にほどかれた素材1において、素材1の長手方向の所定の位置（例えば、素材1の長手方向の端縁から、素材1の全長の10%分の長さ、離れた位置）を選定する。この選定した位置において、素材1を、その幅方向に沿って5つの領域に区分する。これらの5つの領域の境界となる4か所において、素材1の板厚を測定する。4か所の板厚の平均値を、素材1の平均板厚 t_0 とすることができる。

[0022] この素材1の平均板厚 t_0 についての上下限値は、電磁鋼板40としての平均板厚 t_0 の上下限値としても当然に採用可能である。なお、電磁鋼板40の平均板厚 t_0 の測定方法は、例えば、以下の測定方法による。例えば、積層コアの積厚を、周方向に同等の間隔をあけて4か所において（すなわち、中心軸線Oを中心とした90度おきに）測定する。測定した4か所の積厚それぞれを、積層されている電磁鋼板40の枚数で割って、1枚当たりの板厚を算出する。4か所の板厚の平均値を、電磁鋼板40の平均板厚 t_0 とすることができる。

[0023] 図5及び図6に示すように、素材1は、母材鋼板2と、絶縁被膜3と、を

備えている。素材1は、帯状の母材鋼板2の両面が絶縁被膜3によって被覆されてなる。本実施形態では、素材1の大部分が母材鋼板2によって形成され、母材鋼板2の表面に、母材鋼板2よりも薄い絶縁被膜3が積層されている。

[0024] 母材鋼板2の化学組成は、以下に質量%単位で示すように、質量%で2.5%～4.5%のSiを含有する。なお、化学組成をこの範囲とすることにより、素材1（電磁鋼板40）の降伏強度を、例えば、380MPa以上540MPa以下に設定することができる。

[0025] Si : 2.5%～4.5%
Al : 0.001%～3.0%
Mn : 0.05%～5.0%
残部 : Fe及び不純物

[0026] 素材1が電磁鋼板40として用いられるときに、絶縁被膜3は、積層方向に隣り合う電磁鋼板40間での絶縁性能を発揮する。また本実施形態では、絶縁被膜3は、接着能を備えていて、積層方向に隣り合う電磁鋼板40を接着する。絶縁被膜3は、単層構成であってもよく、複層構成であってもよい。より具体的には、例えば、絶縁被膜3は、絶縁性能と接着能とを兼ね備えた単層構成であってもよく、絶縁性能に優れる下地絶縁被膜と、接着能に優れる上地絶縁被膜とを含む複層構成であってもよい。ここで接着能を備えるとは、所定の温度条件下で所定値以上の接着強度を発現することをいう。

[0027] 本実施形態では、絶縁被膜3は、母材鋼板2の両面を全面にわたって隙間なく覆っている。しかしながら、前述の絶縁性能や接着能が確保される範囲において、絶縁被膜3の一部の層は、母材鋼板2の両面を隙間なく覆ってなくてもよい。言い換えると、絶縁被膜3の一部の層が、母材鋼板2の表面に間欠的に設けられていてもよい。ただし、絶縁性能を確保するには、母材鋼板2の両面は全面が露出しないように絶縁被膜3によって覆われている必要がある。具体的には、絶縁被膜3が絶縁性能に優れる下地絶縁被膜を有さず、絶縁性能と接着能を兼ね備えた単層構成である場合は、絶縁被膜3は母

材鋼板 2 の全面にわたって隙間なく形成されている必要がある。これに対し、絶縁被膜 3 が、絶縁性能に優れる下地絶縁被膜と、接着能に優れる上地絶縁被膜とを含む複層構成である場合、下地絶縁被膜と上地絶縁被膜の両方を母材鋼板 2 の全面にわたって隙間なく形成する他に、下地絶縁被膜を母材鋼板の全面にわたって隙間なく形成して、上地絶縁被膜を間欠的に設けても、絶縁性能と接着能の両立が可能である。

[0028] 下地絶縁被膜を形成するコーティング組成物としては、特に限定されず、例えば、クロム酸含有処理剤、リン酸塩含有処理等の一般的な処理剤を使用できる。

[0029] 接着能を備える絶縁被膜は、エポキシ樹脂と、潜在性エポキシ樹脂硬化剤と、熱可塑性エラストマーとを含有する電磁鋼板用コーティング組成物が塗布されてなる。

電磁鋼板用コーティング組成物からなる絶縁被膜は、積層コア製造時の加熱圧着前においては、未硬化状態又は半硬化状態（B ステージ）であり、加熱圧着時の加熱によって硬化反応が進行して接着能が発現する。電磁鋼板用コーティング組成物は、単層構成の絶縁被膜の形成に用いてもよく、下地絶縁被膜上に設ける上地絶縁被膜の形成に用いてもよい。

[0030] エポキシ樹脂としては、一般的なエポキシ樹脂が使用でき、具体的には、一分子中にエポキシ基を 2 個以上有するエポキシ樹脂であれば特に制限なく使用できる。このようなエポキシ樹脂としては、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、フェノールノボラック型エポキシ樹脂、クレゾールノボラック型エポキシ樹脂、脂環式エポキシ樹脂、グリシジルエステル型エポキシ樹脂、グリシジルアミン型エポキシ樹脂、ヒダントイン型エポキシ樹脂、イソシアヌレート型エポキシ樹脂、アクリル酸変性エポキシ樹脂（エポキシアクリレート）、リン含有エポキシ樹脂、及びこれらのハロゲン化物（臭素化エポキシ樹脂等）や水素添加物等が挙げられる。エポキシ樹脂としては、1 種を単独で使用してもよく、2 種以上を併用してもよい。

[0031] 電磁鋼板用コーティング組成物は、アクリル樹脂を含有してもよい。

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、メタクリル酸等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）アクリレート等の（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、アクリレート又はメタクリレートを意味する。アクリル樹脂としては、1種を単独で使用してもよく、2種以上を併用してもよい。

[0032] アクリル樹脂は、アクリルモノマー以外の他のモノマーに由来する構成単位を有していてもよい。他のモノマーとしては、例えば、エチレン、プロピレン、スチレン等が挙げられる。他のモノマーとしては、1種を単独で使用してもよく、2種以上を併用してもよい。

[0033] アクリル樹脂を用いる場合、エポキシ樹脂にアクリル樹脂をグラフトさせたアクリル変性エポキシ樹脂として用いてもよい。電磁鋼板用コーティング組成物においては、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。

[0034] 潜在性エポキシ樹脂硬化剤は、エポキシ樹脂を硬化させるものであって、所定の温度に加熱することによって硬化反応が開始するタイプの硬化剤である。潜在性エポキシ樹脂硬化剤としては、例えば、芳香族ポリアミン、酸無水物、フェノール系硬化剤、ジシアンジアミド、三フッ化ホウ素-アミン錯体、有機酸ヒドラジド等が挙げられる。

[0035] 芳香族ポリアミンとしては、例えば、メタフェニレンジアミン、ジアミノジフェニルメタン、ジアミノジフェニルエタン、ジアミノジフェニルスルホン等が挙げられる。

酸無水物としては、例えば、無水フタル酸、ヘキサヒドロフタル酸無水物、テトラヒドロフタル酸無水物、無水ピロメリット酸、パイロメリット酸無

水物等が挙げられ、なかでも融点が160℃以上の常温で固体のものが好適であり、無水トリメリット酸、無水ベンゾフェノンテトラカルボン酸が特に好適である。

フェノール系硬化剤としては、例えば、フェノールノボラック樹脂、クレゾールノボラック樹脂、ビスフェノールノボラック樹脂、トリアジン変性フェノールノボラック樹脂、フェノールレゾール樹脂等が挙げられる。

[0036] 硬化物の耐熱性の点から、潜在性エポキシ樹脂硬化剤としては、芳香族ポリアミン、フェノール系硬化剤、ジシアンジアミドが好ましく、フェノールレゾール樹脂、ジアミノジフェニルメタン、ジシアンジアミドがより好ましい。潜在性エポキシ樹脂硬化剤としては、1種を単独で使用してもよく、2種以上を併用してもよい。

[0037] 電磁鋼板用コーティング組成物中の潜在性エポキシ樹脂硬化剤の含有量の下限値は、エポキシ樹脂100質量部に対して、好ましくは1質量部、より好ましくは2質量部である。潜在性エポキシ樹脂硬化剤の含有量の上限値は、好ましくは20質量部、より好ましくは15質量部である。

[0038] 熱可塑性エラストマーは、ゴム弾性を保持する、ソフトセグメントとハードセグメントから構成される化合物であり、エポキシ樹脂中に微細分散可能なものが好適である。

[0039] 熱可塑性エラストマーの融点は、100℃以上200℃以下である。熱可塑性エラストマーの融点が前記下限値以上であれば、高温での接着強度が保持される。熱可塑性エラストマーの融点が前記上限値以下であれば、コア鉄損が良好である。

熱可塑性エラストマーの融点の下限値は、好ましくは90℃、より好ましくは110℃、さらに好ましくは130℃以上である。熱可塑性エラストマーの融点の上限値は、好ましくは180℃、より好ましくは160℃である。

なお、「融点」とは、示差走査熱量計（DSC）を用いて、JIS K 7121（1987）に従って10℃/分の昇温速度で測定した値である。

[0040] 熱可塑性エラストマーの曲げ弾性率は、5 MPa 超 100 MPa 以下である。熱可塑性エラストマーの曲げ弾性率が前記下限値を超えていれば、接着時の加圧によって端部からはみ出すことを抑制できる。熱可塑性エラストマーの曲げ弾性率が前記上限値以下であれば、コア鉄損が良好である。

熱可塑性エラストマーの曲げ弾性率の下限値は、好ましくは 6 MPa、より好ましくは 7 MPa である。熱可塑性エラストマーの曲げ弾性率の上限値は、好ましくは 80 MPa、より好ましくは 60 MPa である。

なお、曲げ弾性率は、JIS K 7171 (2008) に従って試験速度 10 mm/分 (試験片が 3.5 mm 以下の場合には、1 mm/分) の条件で測定される。

[0041] 熱可塑性エラストマーとしては、磁気特性と耐熱性を両立しやすい点から、オレフィン系エラストマー、ウレタン系エラストマー及びポリエステル系エラストマーから選ばれる 1 種以上が好ましい。熱可塑性エラストマーとしては、1 種を単独で使用してもよく、2 種以上を併用してもよい。

[0042] オレフィン系エラストマーとしては、例えば、ポリプロピレンにエチレン-プロピレン共重合体を化合もしくは混合したものが挙げられる。

[0043] ウレタン系エラストマーとしては、ジイソシアネートとジオールが反応したウレタン結合を有する化合物が挙げられる。ウレタン系エラストマーは、ジオールの炭素鎖の長さによって粘弾性特性を調整できる。

[0044] ジイソシアネートとしては、例えば、ヘキサメチレンジイソシアネート、ジシクロヘキシルメタンジイソシアネート、ジフェニルメタンジイソシアネート、トリレンジイソシアネート、両末端がイソシアネートタイプのウレタンプレポリマー等が挙げられる。

ジオールとしては、エチレングリコール、ジプロピレングリコール、テトラエチレングリコール、1,4-ブタンジオール、1,4-シクロヘキサンジオール、ジヒドロキシナフタレン、ビスフェノール A 等が挙げられる。

[0045] ポリエステル系エラストマーとしては、例えば、ポリエステル-ポリエーテル型共重合体 (ポリブチレンテレフタレートとテトラメチレンオキシドグ

リコールとの共重合体等)や、ポリエステルーポリエステル型共重合体(ポリブチレンテレフタレートとポリブチレンアジペートとの共重合体等)が挙げられる。

[0046] 電磁鋼板用コーティング組成物中の熱可塑性エラストマーの含有量は、エポキシ樹脂と潜在性エポキシ樹脂硬化剤との合計100質量部に対して、10質量部以上40質量部未満である。熱可塑性エラストマーの含有量が前記下限値以上であれば、コア鉄損が良好である。熱可塑性エラストマーの含有量が前記上限値以下であれば、高温での接着強度が保持される。

[0047] 一般に耐熱性の高いエポキシ樹脂接着剤は、高温での接着強度を担保すると常温付近ではヤング率が大き過ぎ、鋼板に応力を付与してコア鉄損を劣化させる。一方、常温付近で適度な強度を持つ樹脂組成では耐熱性が劣化する。本発明では、ソフトセグメントとハードセグメントを持ち、曲げ弾性率の大きい熱可塑性エラストマーをエポキシ樹脂で微細分散させる。これにより、常温付近での応力付与が抑制されてコア鉄損の劣化が抑制される。また、熱可塑性エラストマー同士は繋がっていないため、高温下ではエポキシ樹脂の流動が抑制され、接着強度が担保される。このような特定の熱可塑性エラストマーを特定量用いることで、常温付近でのコア鉄損と耐熱性が両立される。

[0048] 本発明では、このような電磁鋼板用コーティング組成物によって絶縁被膜を形成し、電磁鋼板への応力付与を低減できるため、鉄損低減に有効な薄手の電磁鋼板にも好適に適用できる。より具体的には、本発明の電磁鋼板用コーティング組成物は、平均板厚が0.30mm以下の母材鋼板の表面に絶縁被膜を形成するコーティング組成物として特に有効である。

[0049] 絶縁被膜3は、例えば電磁鋼板用コーティング組成物を溶媒に溶かした塗液を母材鋼板の表面に塗布して乾燥し、焼き付けることで形成できる。塗液に用いられる溶媒は、電磁鋼板用コーティング組成物を溶解可能であれば、特に限定されないが有機溶剤排出抑制の観点から水溶液とするのが好ましい。焼き付ける際の到達温度の下限値は、好ましくは120℃、より好ましく

は 150℃である。焼き付ける際の到達温度の上限値は、好ましくは250℃、より好ましくは230℃である。

焼き付け時間の下限値は、好ましくは5秒、より好ましくは8秒である。焼き付け時間の上限値は、好ましくは60秒、より好ましくは30秒である。

[0050] 絶縁被膜3の平均厚み t_1 の上下限値は、素材1が電磁鋼板40として用いられる場合も考慮して、例えば以下のように設定される。

素材1が電磁鋼板40として用いられる場合において、絶縁被膜3の平均厚み t_1 （電磁鋼板40（素材1）片面あたりの厚さ）は、互いに積層される電磁鋼板40間での絶縁性能及び接着能を確保できるように調整する。

単層構成の絶縁被膜3の場合、絶縁被膜3の平均厚み t_1 （電磁鋼板40（素材1）片面あたりの厚さ）は、例えば、1.5 μm 以上8.0 μm 以下とすることができる。

複層構成の絶縁被膜3の場合、下地絶縁被膜の平均厚みは、例えば、0.3 μm 以上2.5 μm 以下とすることができ、0.5 μm 以上1.5 μm 以下が好ましい。上地絶縁被膜の平均厚みは、例えば、1.5 μm 以上8.0 μm 以下とすることができる。

なお、素材1における絶縁被膜3の平均厚み t_1 の測定方法は、素材1の平均板厚 t_0 と同様の考え方で、複数箇所の絶縁被膜3の厚みを求め、それらの厚みの平均として求めることができる。

[0051] この素材1における絶縁被膜3の平均厚み t_1 についての上下限値は、電磁鋼板40における絶縁被膜3の平均厚み t_1 の上下限値としても当然に採用可能である。なお、電磁鋼板40における絶縁被膜3の平均厚み t_1 の測定方法は、例えば、以下の測定方法による。例えば、積層コアを形成する複数の電磁鋼板のうち、積層方向の最も外側に位置する電磁鋼板40（表面が積層方向に露出している電磁鋼板40）を選定する。選定した電磁鋼板40の表面において、径方向の所定の位置（例えば、電磁鋼板40における内周縁と外周縁との丁度中間（中央）の位置）を選定する。選定した位置におい

て、電磁鋼板 40 の絶縁被膜 3 の厚みを、周方向に同等の間隔をあけて 4 か所において（すなわち、中心軸線 O を中心とした 90 度おきに）測定する。測定した 4 か所の厚みの平均値を、絶縁被膜 3 の平均厚み t_1 とすることができる。

なお、このように絶縁被膜 3 の平均厚み t_1 を、積層方向の最も外側に位置する電磁鋼板 40 において測定した理由は、絶縁被膜 3 の厚みが、電磁鋼板 40 の積層方向に沿った積層位置で殆ど変わらないように、絶縁被膜 3 が作り込まれているからである。

[0052] 以上のような素材 1 を打ち抜き加工することで電磁鋼板 40 が製造され、電磁鋼板 40 によって積層コア（ステータコア 21 やロータコア 31）が製造される。

[0053] （積層コアの積層方法）

以下、積層コアの説明に戻る。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、絶縁被膜 3 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 は、絶縁被膜 3 によって全面にわたって接着されている。言い換えると、電磁鋼板 40 において積層方向を向く面（以下、第 1 面という）は、全面にわたって接着領域 41 a となっている。ただし、積層方向に隣り合う電磁鋼板 40 が、全面にわたって接着されていなくてもよい。言い換えると、電磁鋼板 40 の第 1 面において、接着領域 41 a と非接着領域（不図示）とが混在していてもよい。

[0054] 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 と同様に絶縁被膜 3 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。

[0055] （積層コアの製造方法）

前記ステータコア 21 は、例えば、図 7 に示す製造装置 100 を用いて製

造される。以下では、製造方法の説明にあたり、まず先に、積層コアの製造装置１００（以下、単に製造装置１００という）について説明する。

製造装置１００では、コイル１Ａ（フープ）から素材１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、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、積層方向に隣り合う電磁鋼板４０を絶縁被膜３によって接着させ（すなわち、絶縁被膜３のうちの接着領域４１ａに位置する部分に接着能を発揮させ）、接着が完了する。

[0056] 図７に示すように、製造装置１００は、複数段の打ち抜きステーション１１０を備えている。打ち抜きステーション１１０は、二段であってもよく、三段以上であってもよい。各段の打ち抜きステーション１１０は、素材１の下方に配置された雌金型１１１と、素材１の上方に配置された雄金型１１２とを備える。

[0057] 製造装置１００は、さらに、最も下流の打ち抜きステーション１１０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、素材１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、素材１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。

[0058] 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１Ａより素材１を図７の矢印Ｆ方向に順次送り出す。そして、この素材１に対し、複数段の打ち抜きステーション１１０による打ち抜き加工を順次行う。これら打ち抜き加工により、素材１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。

[0059] そして最後に、素材 1 は積層ステーション 140 へと送り出され、外周打ち抜き雌金型 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、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、隣り合う電磁鋼板 40 の絶縁被膜同士が接着される。

なお、加熱装置 141 は、外周打ち抜き雌金型 142 に配置されていなくてもよい。すなわち、外周打ち抜き雌金型 142 で積層された電磁鋼板 40 を接着させる前に、外周打ち抜き雌金型 142 外に取り出してもよい。この場合、外周打ち抜き雌金型 142 に断熱部材 143 がなくてもよい。さらにこの場合、積み重ねられた接着前の電磁鋼板 40 を、図示されない治具で積層方向の両側から挟んで保持した上で、搬送したり加熱したりしてもよい。

以上の各工程により、ステータコア 21 が完成する。

[0060] 以上説明したように、本発明では、エポキシ樹脂、潜在性エポキシ樹脂硬化剤及び特定の熱可塑性エラストマーを特定の比率で組み合わせた電磁鋼板用コーティング組成物によって電磁鋼板の表面に絶縁被膜を形成する。これにより、積層コアの優れた磁気特性（コア鉄損）と、駆動時の高温状態でも電磁鋼板同士の接着強度を保持できる優れた耐熱性とを両立できる。

[0061] 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。

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及び内径の寸法、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依じて任意に設計可能である。

[0062] 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。

[0063] 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。

[0064] 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。

[0065] 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。

実施例

[0066] 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。

[0067] [原料]

実施例で使用了原料を以下に示す。

(エポキシ樹脂)

E 1 : クレゾールノボラック型エポキシ樹脂

E 2 : フェノールノボラック型エポキシ樹脂

E 3 : ビスフェノール A 型エポキシ樹脂

[0068] (潜在性エポキシ樹脂硬化剤)

A 1 : フェノールレゾール樹脂

A 2 : ジシアンジアミド

A 3 : ジアミノジフェニルエタン

[0069] (熱可塑性エラストマー)

B 1 : オレフィン系エラストマー (融点 : 110℃、曲げ弾性率 : 10 MPa)

B 2 : ウレタン系エラストマー (融点 : 130℃、曲げ弾性率 : 40 MPa)

B 3 : ウレタン系エラストマー (融点 : 160℃、曲げ弾性率 : 60 MPa)

B 4 : ポリエステル系エラストマー (融点 : 1 8 0 °C、曲げ弾性率 : 8 0 MP a)

[0070] (熱可塑性エラストマー (比較対象))

C 1 : ポリエステル系エラストマー (融点 : 2 1 0 °C、曲げ弾性率 : 9 0 MP a)

C 2 : オレフィン系エラストマー (融点 : 9 0 °C、曲げ弾性率 : 6 0 MP a)

C 3 : ポリエステル系エラストマー (融点 : 1 8 0 °C、曲げ弾性率 : 1 5 0 MP a)

C 4 : オレフィン系エラストマー (融点 : 1 0 5 °C、曲げ弾性率 : 5 MP a)

C 5 : ポリアミド系エラストマー (融点 : 1 6 0 °C、曲げ弾性率 : 1 5 0 MP a)

C 6 : ポリエステル系エラストマー (融点 : 2 2 0 °C、曲げ弾性率 : 1 2 0 MP a)

C 7 : スチレン系エラストマー (融点 : 1 0 5 °C、曲げ弾性率 : 5 MP a)

C 8 : ウレタン系エラストマー (融点 : 1 3 0 °C、曲げ弾性率 : 8 0 MP a)

[0071] [磁気特性]

各例の電磁鋼帯から 5 5 m m × 5 5 m m サイズの矩形の電磁鋼板 (単板) を切り出し、鋼板温度 2 0 0 °C、圧力 1 0 MP a、加圧時間 1 時間の条件で電磁鋼板 2 枚を積層接着して積層コアを作製した。得られた積層コアについて、J I S C 2 5 5 6 に規定された単板磁気測定法により、圧延方向と圧延方向に対して直角方向の単板磁気特性を測定し、それらの値の平均値を磁気特性として求めた。なお、磁気特性 (磁性) としては、鉄損として「W 1 0 / 4 0 0 (W / k g)」を評価した。「W 1 0 / 4 0 0」は、周波数 4 0 0 H z、最大磁束密度 1 . 0 T のときの鉄損である。

[0072] [接着強度]

各例の電磁鋼帯から、幅30mm×長さ60mmの長方形の電磁鋼板（単板）を2枚切り出し、互いの幅30mm×長さ10mmの先端部分同士を重ね合わせ、鋼板温度200℃、圧力10MPa、加圧時間1時間で接着してサンプルを作製した。雰囲気温度を25℃もしくは150℃、引張速度を2mm/分として剪断引張強度を測定し、接着面積で除した数値を接着強度（MPa）とした。

[0073] [判定]

各例について、以下の基準で判定を行った。優良を合格とした。

優良：25℃の接着強度が5MPa超、150℃の接着強度が0.5MPa超、かつ磁気特性が12W/kg未満である。

可：25℃の接着強度が5MPa以下、又は150℃の接着強度が0.5MPa以下であるが、25℃の接着強度が3MPa以上、150℃の接着強度が0.2MPa以上、かつ磁気特性が12W/kg未満である。

不良：25℃の接着強度が3MPa以上、150℃の接着強度が0.2MPa以上、磁気特性が12W/kg未満のいずれか1つ以上を満たさない。

[0074] [実施例1]

母材鋼板として、質量%で、Si：3.0%、Mn：0.2%、Al：0.5%、残部がFe及び不純物からなる板厚0.25mm、幅100mmの無方向性電磁鋼板を用いた。

表1に示す各成分を混合して固形分濃度25質量%の電磁鋼板用コーティング組成物を含有する水溶液を調製した。溶解し難い場合には、5質量%以下でアルコールやセロソルブ類等の溶解助剤を添加した。得られた電磁鋼板用コーティング組成物を含む水溶液を母材鋼板の表面に塗布し、200℃で10秒間焼き付けて平均厚みが3μmの絶縁被膜を形成して電磁鋼帯を得た。

[0075] [実施例2～7、比較例1～11]

電磁鋼板用コーティング組成物の組成及び焼き付け条件を表1に示すと

りに変更した以外は、実施例 1 と同様にして電磁鋼帯を得た。

[0076] 各例の電磁鋼板用コーティング組成物の組成及び焼き付け条件を表 1 に示す。なお、表 1 における「比率 Q」は、エポキシ樹脂と潜在性エポキシ樹脂硬化剤の合計量を 100 部としたときの熱可塑性エラストマーの量である。

[0077] [表1]

	エポキシ樹脂		潜在性エポキシ樹脂硬化剤		熱可塑性エラストマー			焼き付け条件	
	種類	質量部	種類	質量部	種類	質量部	比率 Q	到達温度 [°C]	時間 [秒]
実施例1	E1	100	A1	3	B1	30	29.1	200	10
実施例2	E1		A1	3	B1	13	12.6	200	10
実施例3	E1		A1	3	B2	25	24.3	200	10
実施例4	E2		A3	2	B2	15	14.7	200	20
実施例5	E2		A3	2	B3	35	34.3	200	20
実施例6	E3		A2	14	B3	16	14.0	160	10
実施例7	E3		A2	14	B4	30	26.3	160	10
比較例1	E1		A1	1	B2	50	49.5	200	20
比較例2	E1		A1	4	B2	5	4.8	200	10
比較例3	E1		A1	4	G1	20	19.2	200	10
比較例4	E3		A2	14	G2	20	17.5	160	20
比較例5	E3		A2	14	G3	25	21.9	160	20
比較例6	E2		A3	1	C4	25	24.8	200	20
比較例7	E2		A2	4	G5	30	28.8	200	10
比較例8	E2		A2	4	G6	30	28.8	200	10
比較例9	E1		A1	3	G7	30	29.1	200	10
比較例10	E1		A1	3	G8	25	24.3	200	20
比較例11	E1		A1	3	—	—	—	200	10

[0078] 各例の磁気特性（磁性）及び接着強度の評価結果を表 2 に示す。

[0079] [表2]

	接着強度 [MPa]		磁性 [W/kg]	判定
	25℃	150℃	W10/400	
実施例1	12.0	3.0	10.7	優良
実施例2	10.0	3.0	10.9	優良
実施例3	12.0	1.0	11.3	優良
実施例4	6.0	3.0	11.1	優良
実施例5	8.0	1.0	11.7	優良
実施例6	12.0	3.0	11.6	優良
実施例7	11.0	3.0	11.4	優良
比較例1	6.0	0.4	11.3	可
比較例2	16.0	4.0	12.5	不良
比較例3	13.0	4.0	12.3	不良
比較例4	4.0	0.3	11.9	可
比較例5	13.0	3.0	12.1	不良
比較例6	4.0	0.3	11.1	可
比較例7	14.0	1.0	12.9	不良
比較例8	12.0	0.6	12.0	不良
比較例9	3.0	0.2	11.4	可
比較例10	6.4	0.3	11.1	可
比較例11	15.0	3.0	13.8	不良

[0080] 表2に示すように、エポキシ樹脂、潜在性エポキシ樹脂硬化剤及び特定の熱可塑性エラストマーを特定の比率で組み合わせた実施例1～7では、150℃でも十分な接着強度が確保され、耐熱性に優れるうえ、磁気特性にも優れていた。

一方、熱可塑性エラストマーの含有量、融点及び曲げ弾性率が本発明の範囲外の比較例1～10では、耐熱性と磁気特性が両立できなかった。熱可塑性エラストマーを配合していない比較例11では、磁気特性が劣っていた。

産業上の利用可能性

[0081] 本発明によれば、積層コアの耐熱性と磁気特性を両立できる。よって、産業上の利用可能性は大である。

符号の説明

[0082] 1…素材、2…母材鋼板、3…絶縁被膜、10…回転電機、20…ステー

タ、21…ステータコア、40…電磁鋼板。