

明 細 書

発明の名称：

電磁鋼板用コーティング組成物、接着用表面被覆電磁鋼板及び積層鉄心
技術分野

[0001] 本発明は、電磁鋼板用コーティング組成物、接着用表面被覆電磁鋼板及び積層鉄心に関する。本願は、2020年6月17日に、日本に出願された特願2020-104244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] 一般に、電磁鋼板を用いてモータやトランス等の積層鉄心を組み立てる場合、剪断加工あるいは打抜きにより単位鉄心とした後積層し、ボルト締め、カシメ、溶接あるいは接着により固着して積層コアとする。近年、モータの効率の更なる向上の要請があり、コア鉄損のより一層の低減が求められている。コア鉄損の低減には、電磁鋼板の厚さを薄くすることが有効である。しかし、電磁鋼板が薄い場合、カシメや溶接が難しいばかりか、積層端面が開きやすくなり、積層鉄心としての形状を維持しにくい。

[0003] こうした問題に対し、カシメや溶接で電磁鋼板を一体化することに代えて、表面に接着性の絶縁被膜を形成した電磁鋼板を熱圧着して積層コアを形成する技術が提案されている。例えば、特許文献1では、エポキシ樹脂と硬化剤と特定の平均半径を有するナノ粒子とを含む電磁鋼板用コーティング組成物が提案されている。特許文献2では、水溶性エポキシ樹脂と無機ナノ粒子と無機添加物とを含む電磁鋼板用コーティング組成物が提案されている。特許文献3では、エポキシ樹脂と硬化剤と充填剤とを含む熱硬化性焼付けエナメル層が平面の1つに設けられた電磁鋼板が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特表2008-518087号公報

特許文献2：日本国特表2016-540901号公報

特許文献3：日本国特表2018-518591号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1～3の技術では、絶縁被膜の結合強度、耐腐食性、電気絶縁性、電磁鋼板表面の品質、積層コアの形状の安定性を高めることが図られている。

しかしながら、積層コアを成形するときの生産性の向上については、何ら考慮されていない。

[0006] 本発明は、前述した事情に鑑みてなされたものであって、積層コアの生産性を向上できる電磁鋼板用コーティング組成物、接着用表面被覆電磁鋼板及び積層鉄心を目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 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] エポキシ樹脂と、高温硬化型架橋剤と、無機微粒子とを含有する電磁鋼板用コーティング組成物であって、

前記エポキシ樹脂の100質量部に対し、前記高温硬化型架橋剤が5～30質量部であり、

前記無機微粒子は、金属水酸化物、25℃で水と反応して金属水酸化物になる金属酸化物、及び水酸基を有する珪酸塩鉱物から選択される1種以上であり、

前記無機微粒子は、体積平均粒子径が0.05～2.0μmであり、

前記エポキシ樹脂の含有量は、前記電磁鋼板用コーティング組成物の総質量に対して、45質量%以上であり、

前記無機微粒子の含有量は、前記エポキシ樹脂100質量部に対して、1～100質量部である、電磁鋼板用コーティング組成物。

[2] 前記無機微粒子が、水酸化アルミニウム、水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、酸化カルシウム、酸化マグネシウム、タルク、マイカ及びカ

オリンから選択される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〕前記高温硬化型架橋剤が、芳香族アミン、フェノール系硬化剤及びジシアンジアミドから選択される１種以上である、〔１〕又は〔２〕に記載の電磁鋼板用コーティング組成物。

〔４〕〔１〕～〔３〕のいずれか一項に記載の電磁鋼板用コーティング組成物を塗布してなる絶縁被膜を表面に有する、接着用表面被覆電磁鋼板。

〔５〕〔４〕に記載の接着用表面被覆電磁鋼板を２枚以上積層してなる、積層鉄心。

発明の効果

〔０００８〕 本発明の電磁鋼板用コーティング組成物によれば、積層コアの生産性を向上できる。

図面の簡単な説明

〔０００９〕〔図１〕本発明の一実施形態に係る積層コアを備えた回転電機の断面図である。

〔図２〕図１に示す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〕図１に示す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〕図１に示す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。

〔図８〕処理時間と接着強度の相関を示すグラフの一例である。

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積層コア（積層鉄心）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、電気自動車等に

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、相数等は、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 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（接着用表面被覆電磁鋼板）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。

[0017] 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の母材となる鋼板（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等が挙げられる。

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。

[0018] 素材1は、例えば、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の無方向性電磁鋼帯を採用できる。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の方向性電磁鋼帯を採用できる。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。

[0019] 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とを考慮すると、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。

[0020] 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巻き出す。平板形状に巻き出された素材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。

[0021] 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。

[0022] 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。

[0023] 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。

[0024] Si : 2.5%~4.5%
Al : 0.001%~3.0%
Mn : 0.05%~5.0%
残部 : Fe及び不純物

[0025] 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、接着性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有することをいう。

[0026] 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が、母材鋼板2の両面を隙間なく覆っていなくてもよい。言い換えると、絶縁被膜3が、母材鋼板2の表面に間欠的に設けられていてもよい。例えば、絶縁被膜3が、絶縁性能に優れる下地絶縁被膜と、接着性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。

[0027] 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、リン酸塩含有処理剤等の一般的な処理剤を使用できる。

[0028] 接着能を備える絶縁被膜は、後述の電磁鋼板用コーティング組成物が母材鋼板上に塗布されてなる。接着能を備える絶縁被膜は、例えば、絶縁性能と接着能を兼ね備えた単層構成の絶縁被膜や、下地絶縁被膜上に設けられる上地絶縁被膜である。接着能を備える絶縁被膜は、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。

[0029] 本発明の電磁鋼板用コーティング組成物は、エポキシ樹脂と、高温硬化型架橋剤と、無機微粒子とを含有する。

[0030] エポキシ樹脂は、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可能である。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、トリフェニルメタン型エポキシ樹脂、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、グリシジリ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。これらのエポキシ樹脂は、1種を単独で用いてもよく、2種以上を併用してもよい。

[0031] エポキシ樹脂の含有量は、電磁鋼板用コーティング組成物の総質量に対して、45質量%以上である。エポキシ樹脂の含有量は、電磁鋼板用コーティング組成物の総質量に対して、45質量%～90質量%が好ましく、50～80質量%がより好ましく、50～70質量%がさらに好ましい。エポキシ樹脂の含有量が上記下限値以上であると、電磁鋼板40の接着強度をより高められる。エポキシ樹脂の含有量が上記上限値以下であると、電磁鋼板40の応力歪みをより緩和できる。

[0032] 高温硬化型架橋剤は、上記エポキシ樹脂を架橋することができればよい。
ここで、高温硬化型架橋剤とは、室温（例えば、20℃～30℃）では硬化反応が進行せず、硬化温度（反応温度）が100℃以上である架橋剤をいう。

エポキシ樹脂と高温硬化型架橋剤との混合物の硬化温度は、150℃以上が好ましい。一方、硬化温度の上限は特に限定されない。しかし、硬化温度が200℃より高い場合、塗装焼付けの際の硬化が不十分となるためコイル巻取りが不可能となり、積層コアの製造に支障をきたす場合がある。そのため、硬化温度は200℃以下が好ましい。

[0033] ここで、「硬化温度」は、剛体振り子型物性試験機で測定される粘弾性が、硬化に伴って低下する温度とする。硬化反応の進行に伴い架橋構造が発現すると、振り子の運動が制限され、振り子の振れ周期が急激に低下する。したがって、振り子の振れ周期の変化に基づいて硬化温度を決定することができる。

[0034] 高温硬化型架橋剤としては、例えば、芳香族アミン、フェノール系硬化剤、酸無水物系硬化剤、ジシアンジアミド、ブロックイソシアネート等が挙げられる。高温硬化型の架橋剤を適用することで、焼付け工程における樹脂の過度の硬化を抑制することができる。これにより、得られた接着用表面被覆電磁鋼板を積層して加熱加圧することによって積層コアを製造する際に、硬化反応をさらに進行させることができるため、高温時の接着強度をより高められる。

[0035] 芳香族アミンとしては、例えば、メタキシリレンジアミン、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スルホン等が挙げられる。

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、クレゾールナフトールホルムアルデヒド縮合体等が挙げられる。

酸無水物系硬化剤としては、例えば、無水フタル酸、ヘキサヒドロ無水フタル酸、メチルテトラヒドロ無水フタル酸、メチルヘキサヒドロ無水フタル酸、無水メチルナジック酸、無水クロレンジック酸、無水ピロメリット酸、ベンゾフェノンテトラカルボン酸無水物、エチレングリコールビス（アンヒドロトリメート）、メチルシクロヘキセンテトラカルボン酸無水物、無水トリメリット酸、ポリアゼライン酸無水物等が挙げられる。

ジシアンジアミドは、潜在性硬化剤としても知られる。潜在性硬化剤は、エポキシ樹脂と配合して、室温で安定に貯蔵でき、熱、光、圧力等により樹脂組成物を急速に硬化させる能力を有する。ジシアンジアミドは、融点 207～210℃の無色斜方状晶又は板状晶である。160～180℃でエポキシ樹脂と反応し、20～60分間で硬化する。

ジシアンジアミドは、硬化促進剤と併用することが好ましい。硬化促進剤としては、三級アミン、イミダゾール類、芳香族アミン等が挙げられる。

ブロックイソシアネートは、ポリイソシアネートのイソシアネート基をブロック剤でマスクし反応を抑制した化合物である。ポリイソシアネートの原料としては、例えば、ジフェニルメタンジイソシアネート（MDI）、ヘキサメチレンジイソシアネート（HDI）、トルエンジイソシアネート（TDI）、イソホロンジイソシアネート（IPDI）等が挙げられる。ブロック剤としては、例えば、アルコール類やフェノール類等が挙げられる。

積層コアの生産性をより高められる観点から、高温硬化型架橋剤としては、芳香族アミン、フェノール系硬化剤及びジシアンジアミドから選択される1種以上が好ましく、メタキシリレンジアミン、メタフェニレンジアミン、ジアミノジフェニルメタン、フェノールノボラック樹脂、クレゾールノボラック樹脂、フェノールレゾール樹脂及びジシアンジアミドから選択される1種以上がより好ましい。

高温硬化型架橋剤は、1種を単独で用いてもよく、2種以上を併用してもよい。

[0036] 高温硬化型架橋剤の含有量は、エポキシ樹脂100質量部に対して、5～

30質量部であり、10～30質量部が好ましく、15～25質量部がより好ましい。高温硬化型架橋剤の含有量が上記下限値以上であると、積層コアの生産性をより高められる。高温硬化型架橋剤の含有量が上記上限値以下であると、積層コアの接着強度をより高められる。

[0037] 無機微粒子は、金属水酸化物、25℃で水と反応して金属水酸化物になる金属酸化物、及び水酸基を有する珪酸塩鉱物から選択される1種以上である。本実施形態の無機微粒子は、水酸基を含有する。水酸基の存在は、高温硬化型架橋剤を活性化させ、エポキシ樹脂の架橋による硬化を効果的に促進する。その結果、本実施形態の無機微粒子を含有しない場合に比べて、電磁鋼板同士を接着する際の時間を短縮でき、積層コアの生産性を向上できる。

無機微粒子は、1種を単独で用いてもよく、2種以上を併用してもよい。

[0038] 金属水酸化物としては、例えば、水酸化アルミニウム、水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、水酸化マンガン、水酸化鉄(II)、水酸化亜鉛等が挙げられる。金属水酸化物の中で、水酸化アルミニウム、水酸化カルシウム、水酸化マグネシウムは、特に高温硬化型架橋剤を活性化させ、エポキシ樹脂の硬化促進効果が大きいため、好ましい。

金属水酸化物は、1種を単独で用いてもよく、2種以上を併用してもよい。

[0039] 25℃(室温)で水と反応して金属水酸化物になる金属酸化物としては、例えば、酸化カルシウム、酸化マグネシウム等が挙げられる。

25℃で水と反応して金属水酸化物になる金属酸化物は、1種を単独で用いてもよく、2種以上を併用してもよい。

[0040] 水酸基を有する珪酸塩鉱物としては、例えば、タルク(滑石)、マイカ(雲母)、カオリン(カオリナイト)、モンモリロナイト、クロライト、グローコナイト等が挙げられる。水酸基を有する珪酸塩鉱物の中で、タルク、マイカ、カオリンは、特に高温硬化型架橋剤を活性化させ、エポキシ樹脂の硬化促進効果が大きいため、好ましい。

水酸基を有する珪酸塩鉱物は、1種を単独で用いてもよく、2種以上を併

用してもよい。

[0041] 無機微粒子の含有量は、エポキシ樹脂100質量部に対して、1～100質量部であり、5～70質量部が好ましく、10～50質量部がより好ましい。無機微粒子の含有量が上記下限値以上であると、積層コアの生産性をより高められる。無機微粒子の含有量が上記上限値以下であると、積層コアの接着強度をより高められる。

[0042] 無機微粒子の体積平均粒子径は、0.05～2.0 μ mであり、0.05～1.5 μ mが好ましく、0.05～1.0 μ mがより好ましい。さらに好ましい無機微粒子の体積平均粒子径は、0.2 μ m未満である。無機微粒子の体積平均粒子径が上記上限値以下であると、無機微粒子の含有する水酸基をより均一に分散できる。体積平均粒子径が0.05 μ mよりも小さい無機微粒子を安価に入手することは難しい。

無機微粒子の体積平均粒子径は、ISO13320及びJIS Z 8825:2013に準拠したレーザ回折・散乱法によって得られる球相当径の分布曲線において、体積基準で、累積頻度50%に相当する粒径で定義した数値(d50)である。

[0043] 本実施形態の電磁鋼板用コーティング組成物は、エポキシ樹脂、高温硬化型架橋剤、無機微粒子以外の他の成分（以下、「任意成分」ともいう。）を含有してもよい。

任意成分としては、上述した高温硬化型架橋剤に該当しない硬化促進剤（硬化触媒）、消泡剤、界面活性剤等が挙げられる。

消泡剤としては、例えば、シリコンオイル等が挙げられる。

界面活性剤としては、例えば、アルキルポリグルコシド等が挙げられる。

[0044] 本実施形態の電磁鋼板用コーティング組成物は、シリコン樹脂を含有してもよい。シリコン樹脂を含有する場合、シリコン樹脂の含有量は、電磁鋼板用コーティング組成物の総質量に対して、40質量%以下であることが好ましい。なお、シリコン樹脂はシロキサン(Si-O-Si)結合を有する樹脂である。シリコン樹脂の含有量は、より好ましくは、30質量

%以下であり、さらに好ましくは20質量%以下であり、特に好ましくは10質量%以下である。シリコン樹脂は含有しなくてもよいので下限は0質量%である。

[0045] 本実施形態の電磁鋼板用コーティング組成物が任意成分を含む場合、任意成分の含有量は、エポキシ樹脂100質量部に対して、0.1～5質量部が好ましい。

[0046] 本実施形態の電磁鋼板用コーティング組成物を電磁鋼板に塗布した後、乾燥させて絶縁被膜3を得る。本実施形態の電磁鋼板用コーティング組成物を電磁鋼板に塗布する際は、焼き付けて塗布すること（焼付け工程）が好ましい。

焼付け工程における到達温度としては、例えば、120～220℃が好ましく、130～210℃がより好ましく、140～200℃がさらに好ましい。到達温度が上記下限値以上であると、電磁鋼板用コーティング組成物が電磁鋼板と十分に接着し、剥離が抑制される。到達温度が上記上限値以下であると、エポキシ樹脂の硬化を抑制でき、電磁鋼板用コーティング組成物の接着能を維持できる。

焼付け工程における焼付け時間としては、例えば、5～60秒間が好ましく、10～30秒間がより好ましく、10～20秒間がさらに好ましい。焼付け時間が上記下限値以上であると、電磁鋼板用コーティング組成物が電磁鋼板と十分に接着し、剥離が抑制される。焼付け時間が上記上限値以下であると、エポキシ樹脂の硬化を抑制でき、電磁鋼板用コーティング組成物の接着能を維持できる。

[0047] 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、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。

[0048] 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、 $1.5\mu\text{m}$ 以上 $8.0\mu\text{m}$ 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、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $2.0\mu\text{m}$ 以下とすることができ、 $0.3\mu\text{m}$ 以上 $1.5\mu\text{m}$ 以下が好ましい。上地絶縁被膜の平均厚みは、例えば、 $1.5\mu\text{m}$ 以上 $8.0\mu\text{m}$ 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。絶縁被膜3の厚みは、例えば、素材1を厚み方向に切断した断面を走査電子顕微鏡（SEM）で観察することにより求められる。

[0049] 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。

- [0050] 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 4 0 が製造され、電磁鋼板 4 0 によって積層コア（ステータコア 2 1 やロータコア 3 1）が製造される。
- [0051] 以下、積層コアの説明に戻る。ステータコア 2 1 を形成する複数の電磁鋼板 4 0 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。
- [0052] 積層方向に隣り合う電磁鋼板 4 0 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 4 0 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 4 1 a となっている。ただし、積層方向に隣り合う電磁鋼板 4 0 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 4 0 の第 1 面において、接着領域 4 1 a と非接着領域（不図示）とが混在していてもよい。
- [0053] 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 2 1 やロータコア 3 1 等の積層コアは、いわゆる回し積みにより形成されていてもよい。
- [0054] 前記ステータコア 2 1 は、例えば、図 7 に示す製造装置 1 0 0 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 1 0 0（以下、単に製造装置 1 0 0 という）について説明する。
- 製造装置 1 0 0 では、コイル 1 A（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 4 0 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 4 0 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 4 0 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 4 1 a に位置する部分に接着能を発揮させ）、接着が完了する。
- [0055] 図 7 に示すように、製造装置 1 0 0 は、複数段の打ち抜きステーション 1

１０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。

[0056] 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。

[0057] 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。

[0058] 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、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体は、加熱装置１４１によって例えば温度２００℃まで加熱される（加熱工程）。この加熱により、隣り合う電磁鋼板４０の絶縁被膜３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。

[0059] 加熱工程における加熱温度としては、例えば、120～220℃が好ましく、130～210℃がより好ましく、140～200℃がさらに好ましい。加熱温度が上記下限値以上であると、絶縁被膜 3 が十分に硬化し、積層コアの接着強度をより高められる。加熱温度が上記上限値以下であると、絶縁被膜 3 の劣化を抑制でき、電磁鋼板 40 の応力歪みをより緩和できる。

[0060] 絶縁被膜 3 を硬化させる際は、積層体を加圧することが好ましい。

積層体を加圧する際の圧力は、例えば、0.1～20MPa が好ましく、0.2～10MPa がより好ましく、0.5～5MPa がさらに好ましい。積層体を加圧する際の圧力が上記下限値以上であると、絶縁被膜 3 が十分に硬化し、積層コアの接着強度をより高められる。積層体を加圧する際の圧力が上記上限値以下であると、絶縁被膜 3 の劣化を抑制でき、電磁鋼板 40 の応力歪みをより緩和できる。

積層体を加熱及び加圧する際の処理時間は、例えば、5～12分間が好ましく、6～11分間がより好ましく、7～10分間がさらに好ましい。処理時間が上記下限値以上であると、絶縁被膜 3 が十分に硬化し、積層コアの接着強度をより高められる。処理時間が上記上限値以下であると、積層コアの生産性をより高められる。

なお、無機微粒子を含有しない場合は、処理時間が20分以上必要であるが、本実施形態では、電磁鋼板用コーティング組成物が無機微粒子を特定量含有するため、処理時間12分以内で、十分な接着強度を有する積層コアを製造できる。

[0061] 以上、本発明の一実施形態について説明した。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 の外径及び内径の寸法、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。

[0062] 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س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。

[0063] 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

[0064] 以下、実施例及び比較例により本発明をさらに具体的に説明するが、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

[0065] [実施例 1]

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厚さ : 0.25 mm、幅 : 100 mmの無方向性電磁鋼板を製造した。電磁鋼板用コーティング組成物として、以下に示すエポキシ樹脂組成物を用いた。絶縁被膜の厚みは、平均で3 μ mになるように、到達温度200℃で、10秒間、電磁鋼板用コーティング組成物を焼付けて塗布して電磁鋼板を得た。

<エポキシ樹脂組成物>

エポキシ樹脂（ビスフェノールA型エポキシ樹脂） : 100質量部。

高温硬化型架橋剤（ジシアングリアミド） : 20質量部。

無機微粒子（水酸化アルミニウム、体積平均粒子径0.5 μ m） : 30質量部。

[0066] <接着強度の測定>

剪断接着強度の測定には、30 mm×60 mmサイズの単板を切出し、30 mm×10 mm分をラップするように重ねあわせた。鋼板温度200℃、圧力2 MPaとし、処理時間それぞれ4分間、5分間、6分間、7分間、8分間で積層体（サンプル）を作製した。これらのサンプルを室温（25℃）まで冷却したのち、剪断接着強度を測定し、接着面積で除した数値を接着強度とした。

[0067] [比較例 1]

電磁鋼板用コーティング組成物として、無機微粒子を含有しないエポキシ樹脂組成物を用いた以外は、上記実施例1と同様にして電磁鋼板を得た。

得られた電磁鋼板から、30 mm×60 mmサイズの単板を切出し、30 mm×10 mm分をラップするように重ねあわせた。鋼板温度200℃、圧

力 2 MPa とし、処理時間をそれぞれ 12 分間、14 分間、16 分間、18 分間、20 分間、22 分間とした以外は、上記実施例 1 と同様にして、積層体（サンプル）を作製し、剪断接着強度を測定した。

[0068] 実施例 1 及び比較例 1 の接着強度の測定の結果を図 8 に示す。図 8 は、電磁鋼板用コーティング組成物の違いによる処理時間と接着強度の相関を表す。図 8 に示すように、本発明を適用した実施例 1 では、処理時間 5 分間で接着強度が 2 MPa 以上、処理時間 8 分間で接着強度が 10 MPa であった。

一方、無機微粒子を含有しないエポキシ樹脂組成物を用いた比較例 1 は、接着強度が 2 MPa 以上となるのに処理時間 14 分を要し、接着強度が 10 MPa となるのに処理時間 22 分を要した。

[0069] [実施例 2 ～ 28、比較例 2 ～ 8]

電磁鋼板用コーティング組成物として、表 1 ～ 2 に記載の無機微粒子、高温硬化型架橋剤及びエポキシ樹脂をエポキシ樹脂組成物として用いた以外は、上記実施例 1 と同様にして電磁鋼板を得た。得られた電磁鋼板から、30 mm × 60 mm サイズの単板を切出し、30 mm × 10 mm 分をラップするように重ねあわせた。処理時間を 8 分間とした以外は、上記実施例 1 と同様にして、積層体（サンプル）を作製し、剪断接着強度を測定した。結果を表 1 ～ 2 に示す。表 1 中、比較例 2 の無機微粒子の欄の「－」は、無機微粒子を含有しないことを意味する。表 1 および表 2 のエポキシ樹脂以外の樹脂の欄の「－」は、エポキシ樹脂以外の樹脂を含有しないことを意味する。

[0070]

[表1]

種類	無機微粒子		エポキシ樹脂	総質量に対する エポキシ樹脂の含有量 (質量%)	エポキシ以外の樹脂 (*)	高温硬化型架橋剤 /添加量(*)	8分後の 接着強度 (MPa)	
	添加量(*)	体積平均 粒子径(μm)						
水酸化 アルミニウム	無し	=	ビスフェノールA型	83	-	ジアンジアミド/20	0	比較例2
	0.5	0.05	ビスフェノールA型	83	-	ジアンジアミド/20	1	比較例3
	1	0.05	ビスフェノールA型	83	-	ジアンジアミド/20	6	実施例2
	5	0.05	ビスフェノールA型	80	-	ジアンジアミド/20	8	実施例3
	10	0.05	ビスフェノールA型	77	-	ジアンジアミド/20	10	実施例4
	30	0.5	ビスフェノールA型	67	-	ジアンジアミド/20	10	実施例5
	50	0.5	ビスフェノールA型	59	-	ジアンジアミド/20	10	実施例6
	70	0.5	ビスフェノールA型	53	-	ジアンジアミド/20	8	実施例7
	100	0.5	ビスフェノールA型	45	-	ジアンジアミド/20	6	実施例8
	150	0.5	ビスフェノールA型	37	-	ジアンジアミド/20	2	比較例4
	30	0.15	ビスフェノールA型	67	-	ジアンジアミド/20	15	実施例9
	10	0.05	ビスフェノールA型	87	-	ジアンジアミド/5	6	実施例10
	10	0.05	ビスフェノールA型	71	-	ジアンジアミド/30	6	実施例11
	10	0.05	ビスフェノールA型	61	シリコーン樹脂/35	ジアンジアミド/20	8	実施例12
	130	0.5	ビスフェノールA型	40	-	ジアンジアミド/20	2	比較例5
水酸化 マグネシウム	10	0.05	ビスフェノールA型	69	-	ジアンジアミド/35	2	比較例6
	10	0.05	ビスフェノールA型	88	-	ジアンジアミド/3	2	比較例7
	30	0.05	ビスフェノールA型	67	-	ジアンジアミド/20	10	実施例13
	30	0.2	ビスフェノールA型	67	-	ジアンジアミド/20	10	実施例14
	30	1.0	ビスフェノールA型	67	-	ジアンジアミド/20	10	実施例15
	30	1.5	ビスフェノールA型	67	-	ジアンジアミド/20	8	実施例16
	30	2.0	ビスフェノールA型	67	-	ジアンジアミド/20	6	実施例17
	30	2.5	ビスフェノールA型	67	-	ジアンジアミド/20	2	比較例8

下線は本発明の範囲外であることを示す
* エポキシ樹脂100質量部に対する質量部

[表2]

無機微粒子			エポキシ樹脂	総質量に対する エポキシ樹脂の 含有量 (質量%)	高温硬化型架橋剤 ／添加量(*)	8分後の 接着強度 (MPa)	
種類	添加量 (*)	体積平均 粒子径 (μm)					
水酸化マンガン	50	1.0	ビスフェノールA型	59	メタキシリレンジアミン／20	10	実施例18
水酸化鉄	50	1.0	ビスフェノールF型	59	無水フタル酸／20	10	実施例19
水酸化亜鉛	50	1.0	フェノールノボラック型	59	ジアンジアミド／20	10	実施例20
酸化カルシウム	50	0.5	アクリル変性エポキシ	59	メタキシリレンジアミン／20	10	実施例21
酸化マグネシウム	50	1.0	ビスフェノールA型	59	無水フタル酸／20	10	実施例22
タルク	30	1.0	ビスフェノールF型	67	ジアンジアミド／20	10	実施例23
マイカ	50	0.2	フェノールノボラック型	59	メタキシリレンジアミン／20	10	実施例24
カオリン	70	0.5	アクリル変性エポキシ	53	無水フタル酸／20	10	実施例25
モンモリナイト	50	1.0	ビスフェノールA型	59	ジアンジアミド／20	10	実施例26
グローコナイト	50	1.0	ビスフェノールF型	59	メタキシリレンジアミン／20	10	実施例27
水酸化アルミニウム	50	0.5	アクリル変性エポキシ	59	トリアジン変性フェノール ノボラック樹脂／20	10	実施例28

* エポキシ樹脂100質量部に対する質量部

[0072] 表1～2に示すように、本発明を適用した実施例2～28では、処理時間8分間で接着強度が6MPa以上であった。

一方、無機微粒子を含有しないエポキシ樹脂組成物を用いた比較例 2 は、処理時間 8 分間で接着強度が 0 MPa であった。無機微粒子の添加量が本発明の範囲外である比較例 3 は、処理時間 8 分間で接着強度が 1 MPa であった。無機微粒子の添加量が本発明の範囲外である比較例 4 は、処理時間 8 分間で接着強度が 2 MPa であった。エポキシ樹脂の含有量が本発明の範囲外である比較例 5 は、処理時間 8 分間で接着強度が 2 MPa であった。高温硬化型架橋剤の含有量が本発明の範囲外である比較例 6 は、処理時間 8 分間で接着強度が 2 MPa であった。高温硬化型架橋剤の含有量が本発明の範囲外である比較例 7 は、処理時間 8 分間で接着強度が 2 MPa であった。無機微粒子の体積平均粒子径が本発明の範囲外である比較例 8 は、処理時間 8 分間で接着強度が 2 MPa であった。

[0073] 以上の結果から、本発明の電磁鋼板用コーティング組成物によれば、積層コアを製造するのに要する処理時間を短縮でき、積層コアの生産性を向上できることが分かった。

加えて、本発明の電磁鋼板用コーティング組成物によれば、短い処理時間であっても、十分な接着強度を有する積層コアを製造できることが分かった。

符号の説明

- [0074]
- 10 回転電機
 - 20 ステータ
 - 21 ステータ用接着積層コア
 - 30 ロータ
 - 40 電磁鋼板
 - 50 ケース
 - 60 回転軸