

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2020-104233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、単位鉄心を積層し、ボルト締め、カシメ、溶接あるいは接着により固着することで積層コアが得られる。カシメや溶接といった固着方法では、積層コアに機械歪や熱歪を与えるため、コア鉄損が劣化する場合がある。

[0003] こうした問題に対し、例えば、特許文献1～3には、加熱及び加圧の双方又はいずれか一方により接着能を発揮する絶縁被膜（電磁鋼板用コーティング組成物）により接着する方法が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特開2000-173816号公報

特許文献2：国際公開第2004/070080号

特許文献3：日本国特開2017-11863号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 絶縁被膜で接着した積層コアは、機械歪や熱歪が付与されないため、コア鉄損に優れる。しかし、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。

[0006] 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、板厚の減少に伴い電磁鋼板のヤング率が低下するため、コア鉄損の劣化の原因となる応力歪を電磁鋼板に付与しないことが求められる。

加えて、電気自動車用モータのような用途では、高い耐熱性が求められ、電磁鋼板に応力歪を付与しない絶縁被膜は、一般に柔軟で、耐熱性に劣る。

[0007] 本発明は、前述した事情に鑑みてなされたものであって、電磁鋼板に付与される応力歪をより抑制でき、かつ、モータ発熱時にも接着強度を維持できる耐熱性を有す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] 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] 本発明の一態様に係る電磁鋼板用コーティング組成物は、エポキシ樹脂と、フェノール系硬化剤（A）と、芳香族アミン及びジシアンジアミドから選ばれる1種以上のアミン系硬化剤（B）と、を含有し、

前記フェノール系硬化剤（A）の含有量が、前記エポキシ樹脂100質量部に対して、1～40質量部であり、前記アミン系硬化剤（B）の含有量が、前記エポキシ樹脂100質量部に対して、0.5～5質量部である。

[2] 上記[1]に記載の電磁鋼板用コーティング組成物は、[前記フェノール系硬化剤（A）の含有量]／[前記アミン系硬化剤（B）の含有量]で表される質量比が1～20であってもよい。

[3] 本発明の一態様に係る接着用表面被覆電磁鋼板は、上記[1]又は[2]に記載の電磁鋼板用コーティング組成物を含む絶縁被膜を表面に有し、板厚が0.65mm以下である。

[4] 本発明の一態様に係る積層鉄心は、上記[3]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。

発明の効果

[0009] 本発明に係る上記態様によれば、電磁鋼板に付与される応力歪をより抑制でき、かつ、モータ発熱時にも接着強度を維持できる耐熱性を有する電磁鋼

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提供できる。

図面の簡単な説明

[0010] [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ための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。

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（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。

[0012] また、以下に「～」を挟んで記載する数値限定範囲には、下限値および上限値がその範囲に含まれる。「未満」または「超」と示す数値には、その値が数値範囲に含まれない。

[0013] 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ト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 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。

[0014] 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。

[0015] 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。

[0016] 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。

[0017] 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。

[0018] 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、50.0mm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、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。

[0019] 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（電磁鋼帯）や切り板等が挙げられる。

[0020] 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。

[0021] 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。

[0022] 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。

- [0023] 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 1 A 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。
- [0024] 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。
- [0025] 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。
- [0026] 母材鋼板 2 の化学組成は、以下に示すように、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、380 MPa 以上 540 MPa 以下に設定することができる。

[0027] Si : 2.5%~4.5%

Al : 0.001%~3.0%

Mn : 0.05%~5.0%

残部 : Fe 及び不純物

[0028] 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。なお、本実施形態における「絶縁被膜3の接着能」とは、絶縁被膜3を挟んで積層された複数の電磁鋼板40からなる積層体において、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が可能な能力を意味する。

[0029] 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、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。

- [0030] 下地絶縁被膜を構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。
- [0031] 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もしくは、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。
- [0032] 絶縁被膜3は、本実施形態の電磁鋼板用コーティング組成物を含む。電磁鋼板用コーティング組成物は、エポキシ樹脂と、エポキシ樹脂硬化剤とを含有する。
- [0033] 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。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。
- [0034] 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、例えば、30～90質量%が好ましく、40～80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の応力歪みをより抑制で

きる。

- [0035] エポキシ樹脂硬化剤は、室温（1～30℃）硬化タイプ、加熱硬化タイプ、その他（光硬化タイプ等）に分類できる。

接着コート（絶縁被膜）用のエポキシ樹脂硬化剤としては、加熱硬化タイプのものが使用可能である。加熱硬化タイプのエポキシ樹脂硬化剤としては、芳香族アミン、フェノール系硬化剤、酸無水物系硬化剤、ジシアンジアミド等が挙げられる。

- [0036] 本実施形態のエポキシ樹脂硬化剤は、フェノール系硬化剤（A）と、アミン系硬化剤（B）とを含有する。

- [0037] フェノール系硬化剤（A）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。

フェノール系硬化剤（A）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] フェノール系硬化剤（A）の含有量は、エポキシ樹脂100質量部に対して、1～40質量部である。フェノール系硬化剤（A）の含有量の下限値は、好ましくは、5質量部以上、より好ましくは、10質量部以上、さらにより好ましくは15質量部超である。また、フェノール系硬化剤（A）の含有量の上限値は、好ましくは、35質量部以下、より好ましくは、30質量部以下である。フェノール系硬化剤（A）の含有量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の耐熱性をより高められる。フェノール系硬化剤（A）の含有量が上記上限値以下であると、電磁鋼板40に付与される応力歪みをより抑制できる。

- [0039] アミン系硬化剤（B）は、芳香族アミン及びジシアンジアミドから選ばれる1種以上である。本実施形態において、エポキシ樹脂硬化剤としてアミン系硬化剤（B）を用いることで、電磁鋼板40に付与される応力歪みをより抑制でき、その結果、電磁鋼板40の磁気特性を大幅に向上できる。このよ

うな観点から、アミン系硬化剤（B）として、少なくとも芳香族アミンを用いることが好ましい。

[0040] 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。

[0041] 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。

ジシアンジアミドを適用する場合には、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。

アミン系硬化剤（B）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。

[0042] アミン系硬化剤（B）の含有量は、エポキシ樹脂100質量部に対して、0.5～5.0質量部である。アミン系硬化剤（B）の含有量の下限値は、好ましくは1.0質量部以上、より好ましくは、2.0質量部以上、さらに好ましくは2.5質量部以上である。また、また、アミン系硬化剤（B）の含有量の上限値は、好ましくは、4.5質量部以下、より好ましくは、4.0質量部以下である。アミン系硬化剤（B）の含有量が上記下限値以上であると、電磁鋼板40に付与される応力歪みをより抑制できる。アミン系硬化剤（B）の含有量が上記上限値以下であると、電磁鋼板40の接着強度をより高められる。

[0043] [フェノール系硬化剤（A）の含有量]／[アミン系硬化剤（B）の含有量]で表される質量比（以下、「A／B比」ともいう。）は、1.0～20.0が好ましい。A／B比は、より好ましくは、5.0以上、さらに好ましくは、10.0超、さらにより好ましくは、15.0超である。A／B比が上記数値範囲内であると、応力歪の抑制と耐熱性との両立をより良好に図れる。

[0044] 本実施形態のエポキシ樹脂硬化剤は、フェノール系硬化剤（A）、アミン系硬化剤（B）以外の他のエポキシ樹脂硬化剤（D）を含有してもよい。

[0045] 他のエポキシ樹脂硬化剤（D）としては、酸無水物系硬化剤、脂肪族ポリアミン、変性アミン、ポリアミドアミン、二級アミン、三級アミン、イミダゾール類、ポリメルカプタン類、ヒドラジド化合物等が挙げられる。

これらの他のエポキシ樹脂硬化剤（D）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。

[0046] 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。

[0047] 脂肪族ポリアミンとしては、例えば、ジエチレントリアミン、トリエチレントトラミン、ジプロピレンジアミン、ジエチルアミノプロピルアミン等が挙げられる。

[0048] ポリアミドアミンとしては、例えば、ジカルボン酸と脂肪族ポリアミンとの縮合により生成するポリアミド樹脂等が挙げられる。

[0049] ジカルボン酸としては、例えば、コハク酸、アジピン酸、ピメリン酸、アゼライン酸、セバシン酸、ドデカン二酸、ヘキサヒドロフタル酸等が挙げられる。

[0050] 変性アミンとしては、例えば、ポリアミンエポキシ樹脂アダクト（アミンアダクト）、ケチミン等が挙げられる。

[0051] 二級アミンとしては、例えば、ピペリジン等が挙げられる。

三級アミンとしては、例えば、N，N－ジメチルピペラジン、トリエチレンジアミン、ベンジルジメチルアミン、2－（ジメチルアミノメチル）フェノール、2，4，6－トリス（ジメチルアミノメチル）フェノール等が挙げられる。

- [0052] イミダゾール類としては、例えば、２－メチルイミダゾール、２－エチル－４－メチルイミダゾール、１－シアノエチル－２－ウンデシルイミダゾリウム・トリメリテート等が挙げられる。
- [0053] ポリメルカプタン類としては、例えば、液状ポリメルカプタン、ポリスルフィド樹脂等が挙げられる。
- [0054] ヒドラジド化合物としては、例えば、アジピン酸ジヒドラジド、イソフタル酸ジヒドラジド、セバシン酸ジヒドラジド、サリチル酸ヒドラジド等が挙げられる。
- [0055] 他のエポキシ樹脂硬化剤の含有量は、エポキシ樹脂１００質量部に対して、３質量部以下が好ましい。
- [0056] 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、エポキシ樹脂硬化剤以外の他の成分（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、上述したエポキシ樹脂硬化剤に該当しない硬化促進剤（硬化触媒）、乳化剤、消泡剤、レベリング剤、粘性調整剤、防腐剤等が挙げられる。
- 乳化剤としては、例えば、ノニオン系界面活性剤等が挙げられる。
- 消泡剤としては、例えば、シリコン系消泡剤等が挙げられる。
- レベリング剤としては、例えば、アクリルポリマー系レベリング剤やシリコン系レベリング剤等が挙げられる。
- 粘性調整剤としては、例えば、ベントナイトやヘクトライト等の粘土系シリケート等が挙げられる。
- 防腐剤としては、例えば、イソチアゾリノン誘導体系防腐剤等が挙げられる。
- [0057] 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、０．０１～５質量部が好ましい。
- [0058] 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が好ましい。

[0059] 焼き付ける際の到達温度としては、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。

[0060] 焼き付ける際の焼き付け時間としては、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。焼き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。焼き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。

[0061] 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てよい。

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。

[0062] 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。

[0063] 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。

[0064] 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。

[0065] 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。

[0066] 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。

[0067] 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。

[0068] 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 41a 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いくてもよい。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。

[0069] 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。

[0070] 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。

[0071] 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。

[0072] 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。

[0073] 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。

[0074] 以上の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。

[0075] 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。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（接着工程）。

[0076] 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。

[0077] 接着工程における加熱温度としては、例えば、120～250℃が好ましく、150～230℃がより好ましく、200～220℃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の熱劣化を抑制でき、積層コアの接着強度をより高められる。

- [0078] 接着工程における加熱時間としては、積層コアの大きさや加熱方法によって影響を受けるが、例えば、30～120分間が好ましく、45～100分間がより好ましく、60～80分間がさらに好ましい。加熱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。加熱時間が上記上限値以下であると、絶縁被膜3の熱劣化を抑制でき、積層コアの接着強度をより高められる。
- [0079] 絶縁被膜3同士を接着させる際は、積層体を加圧することによって接着させてもよい。
- [0080] 積層体を加圧する際の圧力は、例えば、2～50MPaが好ましく、3～30MPaがより好ましく、4～20MPa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が十分に密着し、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の端部からのはみ出しを抑制でき、積層コアの積み精度をより向上させることができる。
- [0081] 積層体を加圧する際の加圧時間は、例えば、3～120分間が好ましく、10～100分間がより好ましく、30～80分間がさらに好ましい。加圧時間が上記下限値以上であると、絶縁被膜3が十分に密着し、積層コアの接着強度をより高められる。加圧時間が上記上限値以下であると、絶縁被膜3の端部からのはみ出しを抑制でき、積層コアの積み精度をより向上させることができる。
- [0082] 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。
- [0083] 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。

[0084] 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。

[0085] 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。

[0086] 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

[0087] 以下、実施例及び比較例により本発明の一態様の効果をさらに具体的に説明するが、実施例での条件は、本発明の実施可能性および効果を確認するために採用した一条件例であり、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。本発明は、本発明の要旨を逸脱せず、本発明の目的を達成する限りに

において、種々の条件を採用し得るものである。

[0088] [実施例 1 ～ 9、比較例 1 ～ 11]

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、表 1 に示すエポキシ樹脂組成物を用いた。

[0089] 絶縁被膜の厚みが平均で 3 μ m になるように、表 1 の焼付け条件でエポキシ樹脂組成物を塗布した。具体的には、まず無方向性電磁鋼板から、55 mm $\times$ 55 mm サイズの単板を切出し、当該単板を、外径 300 mm、内径 240 mm のリング状に打抜いた。次いで、単板表面に、電磁鋼板用コーティング組成物を塗布し、その後、単板 2 枚を重ねて、加圧することで積層体を作製した。加圧条件は、鋼板温度 200 $^{\circ}$ C、圧力 10 MPa、加圧時間 1 時間とした。

[0090] <磁気特性の測定>

上記積層体を用いて、JIS C2556 : 2015 に基づき、単板試験機で磁気特性の測定を行った。なお、磁気特性（磁性）としては、鉄損として「W10 / 400 (W / kg)」を評価した。「W10 / 400」は、周波数 400 Hz、最大磁束密度 1.0 T のときの鉄損である。磁気特性の評価基準は、W10 / 400 が 12.0 W / kg 以下とし、W10 / 400 が 12.0 W / kg 以下の場合、磁気特性の劣化がない（表 2 において、「Good」表記）と評価した。

[0091] <接着強度の測定>

剪断接着強度の測定は、以下の方法で実施した。まず、無方向性電磁鋼板から 30 mm $\times$ 60 mm サイズの単板を 2 枚切出した。次いで、表面に、電磁鋼板用コーティング組成物を塗布し、塗布後の 2 枚の単板を、30 mm $\times$ 10 mm 分をラップするように重ねあわせ、加圧することで測定用のサンプルを作製した。加圧条件は、鋼板温度 200 $^{\circ}$ C、圧力 10 MPa、加圧時間 1 時間として。

得られたサンプルに対して、雰囲気温度を25℃と150℃のそれぞれ雰囲気下で引張試験機によって引張り、剥離するまでの最大荷重（N）を測定し、この最大荷重（N）を接着面積で除した数値をその温度の接着強度とした。

[0092] 表1中、電磁鋼板用コーティング組成物の各成分の種類は下記の通りである。

<エポキシ樹脂>

E1：ビスフェノールA型エポキシ樹脂。

E2：ビスフェノールF型エポキシ樹脂。

E3：トリフェニルメタン型エポキシ樹脂。

[0093] <フェノール系硬化剤（A）（硬化剤A）>

A1：フェノールレゾール樹脂。

A2：フェノールノボラック樹脂。

A3：クレゾールナフトールホルムアルデヒド縮合体。

<硬化剤Aの比較成分>

C1：トリエチレンテトラミン。

C2：メチルヘキサヒドロ無水フタル酸。

[0094] <アミン系硬化剤（B）（硬化剤B）>

B1：メタキシリレンジアミン。

B2：ジアミノジフェニルメタン。

B3：ジシアンジアミド。

<その他のエポキシ樹脂硬化剤（D）>

D1：アジピン酸ジヒドラジド

D2：アミンアダクト（融点100℃、平均数分子量1500）

[0095] <任意成分>

乳化剤：ノニオン系界面活性剤（ポリオキシエチレンアルキルエーテル）。

消泡剤：シリコーン系消泡剤（ポリジメチルシロキサン系コンパウンド型消泡剤）。

[0096] <判定>

上記磁気特性の測定、接着強度の測定の結果から、下記評価基準に基づいて、鉄損及び耐熱性を評価した。鉄損が小さいほど、電磁鋼板に付与する応力歪が抑制されていることを意味する。測定結果及び評価の判定を表2に示す。表において、発明範囲外の値には下線を付した。

[0097] <評価基準>

「G o o d」：150℃の接着強度が0.5MPa以上、かつ、鉄損が12.0W/kg以下。

「B a d」：150℃の接着強度が0.5MPa未満、又は、鉄損が12.0W/kg超。

[0098]

[表1]

サンプル		エポキシ樹脂組成物										焼付け条件			
		エポキシ樹脂		硬化剤A		硬化剤B		A/B		他のエポキシ樹脂硬化剤				任意成分	
										種類	質量部				
No.	種類	質量部	種類	質量部	種類	質量部	種類	質量部	種類	質量部	種類	質量部	到達温度 (℃)	時間 (秒)	
実施例1	E1	100	A1	19	B1	1.0	19.0			乳化剤	0.4	160	10		
実施例2	E1		A1	8	B2	2.5	3.2			乳化剤	1.0	160	10		
実施例3	E1		A1	30	B3	4.0	7.5			乳化剤	0.4	180	10		
実施例4	E2		A2	16	B2	4.0	4.0			乳化剤	1.0	160	20		
実施例5	E2		A2	38	B2	2.0	19.0			消泡剤	0.1	200	10		
実施例6	E3		A3	9.5	B3	0.8	11.9			乳化剤	1.0	140	20		
実施例7	E3		A3	4.5	B3	0.5	9.0			乳化剤	1.0	140	30		
実施例8	E3		A3	4	B3	0.5	8.0	D1	1.0	乳化剤	1.0	140	30		
実施例9	E1		A1	14	B2	1.0	14.0	D2	3.0	乳化剤	0.4	140	10		
比較例1	E1		A1	45	B1	1.0	45.0			乳化剤	2.0	180	20		
比較例2	E1		A1	0.5	B1	1.0	0.5			乳化剤	2.0	160	10		
比較例3	E1	A1	10	B1	5.5	1.8			乳化剤	0.4	160	10			
比較例4	E3	A2	10	B2	0.01	1000.0			乳化剤	2.0	140	20			
比較例5	E3	A2	18	B3	0.3	60.0			乳化剤	0.5	140	20			
比較例6	E2	A3	25	B3	7.0	3.6			消泡剤	0.1	200	10			
比較例7	E2	C1	10	=	=	-			消泡剤	0.1	200	10			
比較例8	E2	C2	10	=	=	-			消泡剤	1.0	200	10			
比較例9	E1	=	=	B1	4.0	-			乳化剤	1.0	160	20			
比較例10	E1	A1	16	=	=	-			乳化剤	1.0	160	20			
比較例11	E1	=	=	=	=	-			乳化剤	0.5	160	20			

[0099]

[表2]

サンプル No.	接着強度 (MPa)		磁性 (W/kg)	判定
	25°C	150°C	W10/400	
実施例1	15.0	3.0	10.8	Good
実施例2	8.0	1.0	11.3	Good
実施例3	12.0	2.0	11.2	Good
実施例4	7.0	1.0	11.4	Good
実施例5	11.0	2.0	11.9	Good
実施例6	6.0	1.0	12.0	Good
実施例7	6.0	1.0	11.6	Good
実施例8	5.5	1.5	11.3	Good
実施例9	10.0	1.5	11.5	Good
比較例1	14.0	1.0	13.3	Bad
比較例2	9.0	0.4	12.3	Bad
比較例3	13.0	0.9	12.4	Bad
比較例4	8.0	0.5	13.6	Bad
比較例5	6.0	3.0	13.7	Bad
比較例6	12.0	0.4	12.4	Bad
比較例7	14.0	1.0	13.6	Bad
比較例8	10.0	0.6	13.8	Bad
比較例9	8.0	0.2	11.3	Bad
比較例10	12.0	0.8	12.2	Bad
比較例11	3.0	0.2	11.7	Bad

[0100] 表2に示すように、本発明を適用した実施例1～9では、150°Cの接着強度が0.5MPa以上、かつ、鉄損が12.0W/kg以下であり、判定が「Good」であった。

[0101] 一方、フェノール系硬化剤(A)の含有量が本発明の範囲外である比較例1～2は、鉄損が12.0W/kg超であり、判定が「Bad」であった。アミン系硬化剤(B)の含有量が本発明の範囲外である比較例3～6は、鉄損が12.0W/kg超であり、判定が「Bad」であった。フェノール系硬化剤(A)に代えて、脂肪族ポリアミン又は酸無水物系硬化剤を用いた比較例7～8は、鉄損が12.0W/kg超であり、判定が「Bad」であった。フェノール系硬化剤(A)を含有しない比較例9、11は、150°Cの接着強度が0.5MPa未満であり、判定が「Bad」であった。アミン系

硬化剤（Ｂ）を含有しない比較例１０は、鉄損が１２．０Ｗ／ｋｇ超であり、判定が「Ｂａｄ」であった。

[0102] 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、電磁鋼板に付与される応力歪がより抑制され、かつ、モータ発熱時にも接着強度を維持できる耐熱性を有することが分かった。

符号の説明

- [0103]
- 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