

明 細 書

発明の名称：

接着被膜付き電磁鋼板及び積層コア、並びに、それらの製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、接着被膜付き電磁鋼板及び積層コア、並びに、それらの製造方法に関する。

本願は、2023年9月26日に、日本に出願された特願2023-163605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、回転電機等に使用されるコア（つまり鉄心）は、複数の電磁鋼板が互いに積層された「積層コア」が用いられている。複数の電磁鋼板は、溶接、カシメ、ボルト締め、接着等の方法により固定される。

しかし、溶接、カシメ、ボルト締めの方法による、複数の電磁鋼板の固定では、加工時に、機械的応力、熱的応力、層間短絡等が生じ易い。そのため、電磁鋼板の磁気特性が劣化し、積層コアの性能が十分に発揮され難い。

[0003] 一方、接着の方法による、複数の電磁鋼板の固定では、接着被膜付き電磁鋼板を使用し、加熱及び加圧により、接着被膜を硬化させて接着能を発現させて、複数の電磁鋼板を互いに接着させる。

接着被膜付き電磁鋼板を使用した複数の電磁鋼板の固定では、加工時に、機械的応力、熱的応力、層間短絡等が生じ難い。そのため、電磁鋼板の磁気特性が劣化し難く、積層コアの性能が十分に発揮され易い。

このような有利な点から、接着の方法による、複数の電磁鋼板の固定について、種々の技術が検討されている。

[0004] 例えば、特許文献1では、「表面に、加熱及び／又は加圧により接着能を発揮する絶縁皮膜を有する電磁鋼板であって、上記被膜が、ガラス転移点（ T_g ） 80°C ～ 150°C のエポキシ樹脂又はエポキシ樹脂変性体と、エポキシ樹脂硬化剤と、粒径 $0.01\mu\text{m}$ ～ $0.5\mu\text{m}$ の微粒子状重合体とが分散

した混合物であることを特徴とする接着用表面被覆電磁鋼板」が開示されている。

[0005] また、特許文献2では、「複数の電磁鋼板、および前記複数の電磁鋼板の間に位置する融着層を含み、前記融着層は、下記化学式1で表される繰り返し単位および下記化学式2で表される繰り返し単位を含むポリエチレンアクリレートを含み、前記ポリエチレンアクリレートは、下記化学式1で表される繰り返し単位を65～90重量%、下記化学式2で表される繰り返し単位を10～35重量%含むことを特徴とする電磁鋼板積層体」が開示されている。

[0006] また、特許文献3では、「積層用電磁鋼板であって、電磁鋼板と、前記電磁鋼板の少なくとも片面に設けられ、マルテンス硬さ(HM)が50以上、500未満である接着型絶縁被膜と、を備える積層用電磁鋼板」が開示されている。

[0007] また、特許文献4では、「エポキシ樹脂主成分と、少なくとも1つの硬化剤と、少なくとも1つの充填剤とを含む少なくとも1つの熱硬化性焼付けエナメル層がその平面の1つに設けられた電磁鋼帯または電磁鋼板であって、焼付けエナメル層の充填剤が、金属炭酸塩、金属硫酸塩、金属硫化物、金属ケイ酸塩、もしくは金属リン酸塩、またはこれらの複数からなる任意の混合物を含むことを特徴とする電磁鋼帯または電磁鋼板」が開示されている。

[0008] また、特許文献5では、「電磁鋼板の片面または両面に耐熱接着性絶縁被膜を有する絶縁被膜付き電磁鋼板であって、前記耐熱接着性絶縁被膜が、10質量%以上の、軟化点が20～200℃であるポリカーボネートウレタン樹脂と、前記ポリカーボネートウレタン樹脂100質量部に対して10～1000質量部のフェノール樹脂とを含有する、絶縁被膜付き電磁鋼板」が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：国際公開第2004/070080号

特許文献2：日本国特表2023-508140号公報

特許文献3：国際公開第2016/017132号

特許文献4：日本国特表2018-518591号公報

特許文献5：日本国特開2017-179233号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] しかし、特許文献1～5を含め、従来の技術では、接着被膜の接着強度を上げると、電磁鋼板の磁気特性が低下する現象が生じる。そのため、接着被膜の接着強度と電磁鋼板の磁気特性とは背反の関係にあり、両立させることは困難である。特に、常温及び高温での、接着被膜付き電磁鋼板の接着強度の確保が要求される。

[0011] そのため、接着被膜付き電磁鋼板では、常温及び高温での接着強度、並びに、磁気特性について、更なる改善が望まれている。

[0012] 本開示の課題は、常温及び高温での接着強度、並びに、磁気特性が共に優れた接着被膜付き電磁鋼板及びそれを用いた積層コア、並びに、それらの製造方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0013] 課題を解決するための具体的手段には、以下の態様が含まれる。

[1] 電磁鋼板と、

前記電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に設けられた接着被膜とを有し、

前記接着被膜は、

架橋性熱可塑性樹脂Aと、前記架橋性熱可塑性樹脂A以外の熱可塑性樹脂Bと、を含み、

常温での振動弾性率が130～200GPaであり、100℃での振動弾性率が100～200GPaである接着被膜付き電磁鋼板。

[2] 前記架橋性熱可塑性樹脂Aは、(メタ)アクリル系樹脂及びポリエステル樹脂の1種以上である上記[1]に記載の接着被膜付き電磁鋼板。

〔３〕前記熱可塑性樹脂Ｂに対する前記架橋性熱可塑性樹脂Ａの質量比が、 $97/3 \sim 70/30$ である上記〔１〕に記載の接着被膜付き電磁鋼板。

〔４〕前記接着被膜が硬化している上記〔１〕に記載の接着被膜付き電磁鋼板。

〔５〕上記〔１〕～〔４〕のいずれか１項に記載された接着被膜付き電磁鋼板が複数積層され、前記接着被膜の硬化膜により前記電磁鋼板が互いに接着されている積層コア。

〔６〕上記〔１〕～〔４〕のいずれか１項に記載の接着被膜付き電磁鋼板の製造方法であって、

電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に、前記架橋性熱可塑性樹脂Ａの粒子と、前記架橋性熱可塑性樹脂Ａ以外の前記熱可塑性樹脂Ｂと、を含み、前記熱可塑性樹脂Ｂに対する前記架橋性熱可塑性樹脂Ａの質量比が、 $97/3 \sim 70/30$ である塗工液を塗工して塗工膜を形成し、

前記塗工膜を乾燥させることで前記接着被膜を形成する接着被膜付き電磁鋼板の製造方法。

〔７〕上記〔５〕に記載の積層コアの製造方法であって、

前記接着被膜付き電磁鋼板を、互いの前記電磁鋼板の間に前記接着被膜を介在させて積層することで積層体とし、

前記積層体を加熱及び加圧することで、前記接着被膜を硬化させて前記硬化膜を形成する積層コアの製造方法。

発明の効果

〔００１４〕 本開示によれば、常温及び高温での接着強度、並びに、磁気特性が共に優れた接着被膜付き電磁鋼板及びそれを用いた積層コア、並びに、それらの製造方法が提供される。

図面の簡単な説明

〔００１５〕〔図１〕本開示の接着被膜付き電磁鋼板の一例を示す模式図である。

〔図２〕本開示の積層コアの一例を表す模式図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、本開示について説明する。

以下に記載する要件の説明は、本開示の代表的な実施態様に基づいてなされることがあるが、本開示はそのような実施態様に限定されるものではなく、本開示の目的の範囲内において、適宜、変更を加えて実施することができる。

[0017] 本開示において「～」を用いて示された数値範囲は、「～」の前後に記載される数値をそれぞれ下限値及び上限値として含む範囲を意味する。

本開示に段階的に記載されている数値範囲において、ある数値範囲で記載された上限値又は下限値は、他の段階的な記載の数値範囲の上限値又は下限値に置き換えてもよい。また、本開示に記載されている数値範囲において、ある数値範囲で記載された上限値又は下限値は、実施例に示されている値に置き換えてもよい。

[0018] 本開示において、2以上の好ましい態様の組み合わせは、より好ましい態様である。

[0019] 本開示において、「質量%」と「重量%」とは同義であり、「質量部」と「重量部」とは同義である。

[0020] [接着被膜付き電磁鋼板]

本開示の接着被膜付き電磁鋼板は、電磁鋼板と、電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に設けられた接着被膜と、を有する(図1参照)。

接着被膜は、架橋性熱可塑性樹脂Aと、前記架橋性熱可塑性樹脂A以外の熱可塑性樹脂Bと、を含む。

更に、接着被膜は、常温での振動弾性率が130～200GPaであり、100℃での振動弾性率が100～200GPaである。

ここで、図1中、10は接着被膜付き電磁鋼板、10Aは電磁鋼板、10B及び10Cは接着被膜を示す。

[0021] 本開示の接着被膜付き電磁鋼板は、上記構成により、常温及び高温での接着強度、並びに、磁気特性が共に優れる。

その理由は、次の通り推測される。接着被膜で電磁鋼板を接着して積層コ

アを作製すると、有機樹脂の体積収縮に伴う応力が電磁鋼板に付与される。この応力は電磁鋼板の鉄損を劣化させる。しかし、積層コアを組み込んだ電動機を駆動させることにより、電磁鋼板が発熱することで接着被膜を構成する有機樹脂が膨張、軟化し、電磁鋼板に付与された応力が軽減し鉄損が低減（改善）する。

ここで、電磁鋼板に付与される応力は有機樹脂のヤング率に比例する。温度上昇によりヤング率がより低下する有機樹脂の方が積層コアの磁気特性を向上させることができる。しかし、温度上昇によってヤング率が低下し過ぎると高温での接着強度が低下する。そのため、積層された鋼板同士の結合力が低下することで、振動や騒音が発生する場合がある。更に、酷い場合には鋼板同士の位置がずれて回転子（ローター）が固定子（ステータ）と接触する場合がある。

そこで、接着被膜に特定の有機樹脂を含ませ、常温及び100℃での振動弾性率を規定することで、適正な応力を積層コアに付与することができ、磁気特性、並びに、常温及び高温での接着強度を両立させることができる。

[0022] 以下、本開示の接着被膜付き電磁鋼板の詳細について説明する。

[0023] （電磁鋼板）

電磁鋼板は、接着被膜が形成される対象の鋼板であり、特に制限はない。

電磁鋼板は、無方向性電磁鋼板であってもよいし、方向性電磁鋼板であってもよい。

具体的には、電磁鋼板としては、例えば、JIS C 2552:2014の無方向性電磁鋼帯、JIS C 2553:2019の方向性電磁鋼帯、JIS C 2558:2021の無方向性薄電磁鋼帯又は方向性薄電磁鋼帯を所定の長さに切断したものを採用することができる。

[0024] （接着被膜）

接着被膜は、電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に設けられる（図1参照）。つまり、接着被膜は、例えば、電磁鋼板の片面又は両面の全面に設けられていてもよいし、電磁鋼板の片面又は両面に、千鳥配列（上下左右

へ交互にずらした配列)等の模様状に設けられていてもよい。

ただし、接着被膜は、電磁鋼板の片面の面積に対して、60%以上、80%以上又は100%で設けられていることが好ましい。

[0025] [振動弾性率]

接着被膜の、常温での振動弾性率は130~200GPaである。なお、本開示において常温とは25℃のことをいう。

常温での振動弾性率が130GPa未満であると、接着被膜の常温での接着強度が低下する。

常温での振動弾性率が200GPa超であると、接着被膜付き電磁鋼板の磁気特性が低下する。

よって、常温での振動弾性率は、上記範囲とする。常温での振動弾性率は、140GPa以上又は150GPa以上が好ましく、160GPa以上がより好ましい。また、常温での振動弾性率は、190GPa以下又は180GPa以下が好ましい。

[0026] 接着被膜の、100℃での振動弾性率は、100~200GPaである。

100℃での振動弾性率が100GPa未満であると、接着被膜の高温での接着強度が低下する。

100℃での振動弾性率が200GPa超であると、接着被膜付き電磁鋼板の磁気特性が低下する。

よって、100℃での振動弾性率は、上記範囲とする。100℃での振動弾性率は、100GPa超、110GPa以上又は120GPa以上が好ましく、140GPa以上がより好ましい。また、100℃での振動弾性率は、190GPa以下が好ましく、180GPa以下がより好ましい。

[0027] 常温及び100℃での振動弾性率は、架橋性熱可塑性樹脂A及び熱可塑性樹脂Bの、種類及び質量比により調整できる。

[0028] 常温及び100℃での振動弾性率は、自由共振法により測定する。具体的には、次の方法により測定する。

測定対象の接着被膜付き電磁鋼板から、60mm×10mmの単板試験片

を2枚切り出す。そして、2枚の単板試験片を、互いの接着被膜を対面させて重ね合わせて積層体を得る。積層体を、鋼板温度：250℃、圧力：3 MPa、加熱及び加圧時間：60分の条件で、加熱及び加圧した後、室温（25℃）まで冷却する。

冷却後の積層体から、できるだけ長くなるような大きさの長方形で、接着被膜で固着した2枚の試験片を採取する。

[0029] 採取した試験片に対して、室温（25℃）で、自由共振法測定装置を用いて、自由共振法にてヤング率を測定することで、常温の振動弾性率を得る。

自由共振法測定装置としては、例えば、日本テクノプラス株式会社製 J E 2 - R T 型を用いる。ヤング率の測定では、装置の篩の細線の上に試験片を置き、試験片の上下面に垂直な方向に発振器により駆動力を加える。試験片近傍に設置した検出器（マイクロフォン）によって振動を検出する。発振器の周波数を徐々に変化させ、これに応じて試験片が振動するように駆動力を加えながら検出器の出力を観察する。試験片の共振する周波数および寸法などからヤング率を算出する。

[0030] また、採取した試験片を100℃に加熱し、100℃の状態の試験片に対して、上述の方法によりヤング率を測定することで、100℃での振動弾性率を得る。

[0031] 上記測定方法では、2枚の単板試験片を、互いの接着被膜を対面させて重ね合わせた積層体を使用した。しかしながら、一方の単板試験片の接着被膜が形成されていない面と、他方の単板試験片の接着被膜が形成された面とを対面させて重ね合わせた積層体を使用してもよい。

[0032] [接着被膜の平均厚み]

接着被膜の平均厚みは、1.0～6.0 μmが好ましい。接着被膜の平均厚みは、1.5 μm以上又は2.0 μm以上がより好ましい。また、接着被膜の平均厚みは、4.0 μm以下又は3.0 μm以下がより好ましい。

本開示に係る接着被膜付き電磁鋼板では、接着被膜の平均厚みが1.0～6.0 μmと薄膜化した場合であっても、常温及び高温での接着強度、並び

に、磁気特性が共に優れる。

[0033] 接着被膜の平均厚みの測定方法は、次の通りである。

測定対象の接着被膜付き電磁鋼板を厚み方向に沿って切断し、切断面を観察面とする試験片を得る。

試験片の観察面を、走査型電子顕微鏡（SEM）により観察し、任意の3か所の接着被膜の厚みを測定する。そして、3か所の接着被膜の厚みを算術平均することで、接着被膜の平均厚みを得る。なお、接着被膜と電磁鋼板とは、輝度の違いにより容易に区別することができ、板厚方向中央に存在する層を電磁鋼板とみなし、板厚方向の表面及び裏側に存在する層を接着被膜とみなす。

[0034] [接着被膜の成分]

接着被膜は、架橋性熱可塑性樹脂Aと、架橋性熱可塑性樹脂A以外の熱可塑性樹脂Bと、を含む。

接着被膜は、加熱及び加圧により、少なくとも架橋性熱可塑性樹脂Aの架橋が進行して、硬化することで、接着能を発現する絶縁性の被膜である。

[0035] 一架橋性熱可塑性樹脂Aー

架橋性熱可塑性樹脂Aは、架橋性基を有する熱可塑性樹脂である。

架橋性熱可塑性樹脂Aは、非水溶性樹脂であることがよい。非水溶性樹脂とは、水に溶解しないか、又は水への溶解性が低い樹脂である。具体的には、非水溶性樹脂とは、25℃の水への溶解度が、水100g当たり1g以下の樹脂である。

架橋性熱可塑性樹脂Aは、熱可塑性樹脂Bをマトリクス樹脂とした接着被膜において、粒子の状態で分散されていることが好ましい。

なお、接着被膜は、架橋性熱可塑性樹脂Aを1種のみ含んでもよく、2種以上含んでもよい。

[0036] 架橋性熱可塑性樹脂Aにおいて、架橋性基は、架橋剤の不存在下でも架橋し得る性質の架橋性基（つまり、互いの架橋性基が反応して架橋する自己架橋性基）であってもよいし、架橋剤と反応して架橋し得る性質の架橋性基で

あってもよい。

なお、架橋性基は、加熱により架橋性を発現し得る基がよい。

[0037] 架橋性基としては、具体的には、N-メチロール基、N-ブチロール基、グリシジル基、アルコキシメチルアミド基、アルコキシシリル基、水酸基、フェノール性水酸基、カルボキシル基、チオール基、アミノ基等が挙げられる。

[0038] 架橋性熱可塑性樹脂Aは、ビニル系熱可塑性樹脂及び非ビニル系熱可塑性樹脂のいずれであってもよい。

非ビニル系熱可塑性樹脂としては、ポリエステル樹脂、ポリウレタン樹脂、ポリアミド樹脂、フェノキシ樹脂等の非ビニル系樹脂が挙げられる。

ビニル系熱可塑性樹脂としては、スチレン系単量体（例えばスチレン、パラクロロスチレン、 α -メチルスチレン等）、（メタ）アクリル酸系単量体（例えば（メタ）アクリル酸、（メタ）アクリル酸アルキルエステル等）、オレフィン系単量体（例えばエチレン、プロピレン、ブタジエン等）等の単量体の単独重合体、又はこれらの単量体を2種以上組み合わせた共重合体が挙げられる。

[0039] 「スチレン系単量体」とは、スチレン骨格（ベンゼンが有する6つの水素原子のうち1つの水素原子がビニル基に置換した構造）を有する単量体を示す。

「スチレン系樹脂」は、メスチレン系単量体に由来する構成単位の占める割合が全構成単位に対して50質量%以上である樹脂を示す。

「（メタ）アクリル酸系単量体」とは、（メタ）アクリロイル基を有する単量体を示す。

「（メタ）アクリル酸系単量体」は、（メタ）アクリル酸系単量体に由来する構成単位の占める割合が全構成単位に対して50質量%以上である樹脂を示す。

「（メタ）アクリル」は「アクリル」及び「メタクリル」の両方を包含する用語である。

「オレフィン系単量体」とは、少なくとも3個の炭素原子からなり、炭素－炭素二重結合を有するオレフィン骨格を有する単量体を示す。

「オレフィン系単量体」は、オレフィン系単量体に由来する構成単位の占める割合が全構成単位に対して50質量%以上である樹脂を示す。

[0040] これらの中でも、接着強度及び磁気特性の向上の観点から、架橋性熱可塑性樹脂Aとしては、(メタ)アクリル系樹脂及びポリエステル樹脂の1種以上であることが好ましい。

[0041] ー架橋性熱可塑性樹脂Aの含有量ー

架橋性熱可塑性樹脂Aの含有量は、接着被膜に対して、70～97質量%であることが好ましく、75～95質量%であることがより好ましく、80～93質量%であることがより一層好ましい。

[0042] ー熱可塑性樹脂Bー

熱可塑性樹脂Bは、架橋性熱可塑性樹脂A以外の熱可塑性樹脂である。

熱可塑性樹脂Bは、水溶性樹脂であることがよい。ここで、水溶性樹脂とは、25℃の水への溶解度が水100g当たり5g以上の樹脂である。

なお、接着被膜は、熱可塑性樹脂Bを1種のみ含んでいてもよく、2種以上含んでいてもよい。

[0043] 熱可塑性樹脂Bとしては、ビニル系熱可塑性樹脂及び非ビニル系熱可塑性樹脂のいずれであってもよい。

非ビニル系熱可塑性樹脂としては、架橋性熱可塑性樹脂Aで例示した非ビニル系樹脂等が挙げられる。

ビニル系熱可塑性樹脂としては、架橋性熱可塑性樹脂Aで例示したビニル系樹脂等が挙げられる。

これらの中でも、接着強度及び磁気特性の向上の観点から、熱可塑性樹脂Bとしては、(メタ)アクリル系樹脂及びポリエステル樹脂の1種以上であることが好ましい。

[0044] ここで、熱可塑性樹脂Bは、架橋性熱可塑性樹脂であってもよいし、非架橋性熱可塑性樹脂であってもよいが、磁気特性の向上の観点から、非架橋性

熱可塑性樹脂がよい。

非架橋性熱可塑性樹脂としては、架橋性熱可塑性樹脂 A で例示した樹脂の架橋性基を含まないものが挙げられる。

[0045] ー熱可塑性樹脂 B の含有量ー

熱可塑性樹脂 B は、接着被膜に、架橋性熱可塑性樹脂 A に対して所定量含ませることが好ましい。具体的には、熱可塑性樹脂 B に対する架橋性熱可塑性樹脂 A の質量比（架橋性熱可塑性樹脂 A の含有量／熱可塑性樹脂 B の含有量）は、 $97/3 \sim 70/30$ が好ましく、 $95/5 \sim 85/15$ がより好ましく、 $95/5 \sim 90/10$ がさらに好ましい。

熱可塑性樹脂 B に対する架橋性熱可塑性樹脂 A の質量比が $97/3 \sim 70/30$ であると、接着強度及び磁気特性が共により優れる。

[0046] ーその他の成分ー

接着被膜は、その効果を損なわない範囲において、必要に応じて、既述した成分以外の成分（所謂、その他の成分）を含んでいてもよい。

[0047] 特に、接着被膜は、架橋剤を含んでもよい。架橋剤は、接着強度及び磁気特性の両方に好ましい影響を及ぼすため、特に好ましい成分である。

架橋剤としては、熱硬化性樹脂が挙げられ、具体的には、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、アミノ樹脂（メラミン樹脂、グアナミン樹脂等）等の高分子架橋剤、並びに、イソシアネート化合物、ポリオール化合物、エポキシ化合物、フェノール化合物、アミノ化合物（メラミン化合物、グアナミン化合物等）等のモノマー又はオリゴマーからなる低分子架橋剤が挙げられる。

架橋剤の含有量は、接着被膜に対して $1 \sim 20$ 質量% が好ましく、 $1 \sim 10$ 質量% がより好ましい。

接着被膜は、架橋剤を 1 種のみ含んでいてもよく、2 種以上含んでいてもよい。

[0048] 接着被膜の成分は、GPC により重量平均分子量を測定し、更に FT-IR により官能基を分析することによって、特定する。

[0049] 接着被膜の成分の重量平均分子量は GPC (Gel Permeatio

n Chromatography) により測定する。GPCにより得られた分子量分布から、接着被膜の成分を特定する。

測定条件は以下の通りとする。

測定装置：高速GPC (HLC-8220GPC、東ソー (株) 製)

検出器：示差屈折率検出器 (RI) (HLC-8220に組込まれたもの、東ソー (株) 製)

カラム：TSK-gel GMHXL (東ソー (株) 製) を4本

カラム温度：40℃

溶離液：テトラヒドロフラン

試料溶液の注入量：100 μ L

流量：0.8 mL/分

- [0050] 接着被膜の成分の官能基はFT-IR (Fourier transform infrared spectrometer) により分析する。得られたスペクトルは、Kramers-Kronig解析により、通常の吸光度スペクトルに似た形に変換する。得られた吸光度スペクトルから、官能基を特定する。

測定条件は以下の通りとする。

測定装置：Spotlight 400 (Perkin Elmer製)

測定方法：正反射法 (バックグラウンド：金めっき)

分解能：2 cm^{-1}

スキャン：16回

- [0051] 接着被膜の成分として、例えば、架橋性熱可塑性樹脂Aとして、(メタ)アクリル系樹脂が含まれる場合、重量平均分子量は8万～30万となり、N-メチロール基、グリシジル基、カルボキシル基又はアミノ基が検出される。

架橋性熱可塑性樹脂Aとして、ポリエステル樹脂が含まれる場合、重量平均分子量は3万～12万となり、水酸基又はカルボキシル基が検出される。

熱可塑性樹脂Bとして水への溶解度が高い樹脂が含まれる場合、重量平均

分子量は1万～5万程度となり、カルボキシル基や水酸基といった官能基が検出される。

[0052] (接着被膜付き電磁鋼板の製造方法)

(接着被膜の形成方法)

接着被膜は、接着被膜形成用塗工液（以下「本開示の塗工液」とも称する）を電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に塗工し、塗工膜を乾燥することで形成する。

なお、本開示において、接着被膜形成用塗工液中の各成分の量は、接着被膜形成塗工液中に各成分に該当する物質が複数存在する場合には、特に断らない限り、接着被膜形成用塗工液中に存在する上記複数の物質の合計量を意味する。

[0053] 本開示の塗工液は、例えば、架橋性熱可塑性樹脂Aの粒子（以下「架橋性熱可塑性樹脂粒子A」とも称する）と、熱可塑性樹脂Bと、水を含む媒体とを含む。

本開示の塗工液において、架橋性熱可塑性樹脂粒子Aは、水を含む媒体中に分散した状態で存在している。

また、熱可塑性樹脂Bは、水を含む媒体中に溶解した状態で存在している。

塗工液は、熱可塑性樹脂Bに対する架橋性熱可塑性樹脂Aの質量比が97/3～70/30である。この質量比で架橋性熱可塑性樹脂A及び熱可塑性樹脂Bを含む塗工液を用いることで、上述した接着被膜を形成することができる。

[0054] ここで、水の種類は、特に限定されない。

水としては、例えば、不純物が少ないという観点から、蒸留水、脱イオン水（「イオン交換水」ともいう。）、及び純水が好ましい。

水の含有量は、塗工液の全質量に対して、35～50質量%であることが好ましく、40～45質量%であることがより好ましい。

[0055] 本開示の塗工液は、その効果を損なわない範囲において、必要に応じて、

既述した成分以外の成分（所謂、その他の成分）を含んでいてもよい。

[0056] その他の成分としては、例えば、水以外の水性媒体が挙げられる。

水以外の水性媒体としては、例えば、水混和性の有機溶剤が挙げられる。

水混和性の有機溶剤としては、例えば、メタノール、エタノール等の一価アルコール化合物；グリセリン、エチレングリコール、プロピレングリコール等の多価アルコール化合物；エチレングリコールモノエチルエーテル、プロピレングリコールモノブチルエーテル等のグリコール誘導体；などの有機溶剤が挙げられる。

また、その他の成分としては、例えば、連鎖防腐剤、濡れ剤、消泡剤等の各種添加剤が挙げられる。

[0057] 本開示の塗工液は、例えば、架橋性熱可塑性樹脂粒子Aを水に分散させた分散液と、熱可塑性樹脂Bの水溶液とを混合することにより得られる。

混合方法としては、例えば、攪拌により混合する方法が挙げられる。

攪拌には、一般的な攪拌器具又は攪拌装置を使用できる。

攪拌温度は、特に限定されないが、例えば、20℃～30℃であることが好ましい。

[0058] 本開示の塗工液による接着被膜の形成は、ロールコーター方式、スプレー方式等の周知の塗工方法により、塗工液を電磁鋼板の表面に塗工した後、塗工膜を乾燥する方法が挙げられる。

塗工液の固形分濃度は5～40質量％が好ましく、10～25質量％がより好ましい。

乾燥温度は100～200℃が好ましく、乾燥時間は10～90秒間が好ましい。

乾燥方式は、複写方式の加熱炉を利用した方式が好ましいが、熱風炉方式、その他の方式であってもよい。

[0059] （積層コア）

本開示の積層コアは、本開示の接着被膜付き電磁鋼板が複数積層され、接着被膜の硬化膜により電磁鋼板が互いに接着されている。

ここで、接着被膜の硬化膜とは、積層された接着被膜付き電磁鋼板が加熱及び加圧されることで、接着被膜中の架橋性熱可塑性樹脂Aの架橋が進行して、硬化し、接着能を発現した膜である。

接着被膜の硬化の有無は、以下の方法により判断することができる。

接着被膜付き電磁鋼板から、30mm×60mmサイズの単板試験片を2枚切出す。2枚の単板試験片における30mm×10mm分の端部を、互いの接着被膜を対面させて重ね合わせる。重ね合わせ体を、鋼板温度：25℃、加圧力：2MPa、加熱及び加圧時間：1分の条件で、加熱加圧し、接着強度測定用サンプルを得る。

鋼板温度が常温（25℃）の状態、引張せん断接着強さを測定する。接着強度測定用サンプルを、引張試験機に取り付け、引張速度50mm/分で、引張せん断接着強さを測定する。

得られた引張せん断接着強さの値を、2枚の単板試験片の接着面積で除した値を常温接着強度として求める。

常温接着強度が4.5MPa超であれば、常温において十分な接着強度を有していると判断することができ、接着被膜が硬化している、と判断することができる。

[0060] 具体的には、本開示の積層コアとしては、例えば、本開示の接着被膜付き電磁鋼板を打ち抜いて打ち抜き部材を作製し、打ち抜き部材を積層して加熱及び加圧することで一体化した積層コアが挙げられる。

[0061] 図2は、本開示の積層コアの一例を表す模式図である。図2に示すように、積層コア100（ステータ100）は、8枚の接着被膜付き電磁鋼板の打ち抜き部材11を円環状に連結し、円環状に連結した打ち抜き部材11を8層に積層して一体化した積層体13として形成されている。

接着被膜付き電磁鋼板の打ち抜き部材11は、接着被膜付き電磁鋼板に打ち抜き加工が施され、円弧上のヨーク部17と、ヨーク部17の内周面から径方向内側に向かって突出しているティース部15とを備えている。

なお、積層コア100は、図2に示す積層コア100を形成する打ち抜き

部材 11 の形状、個数、積層数などに限らず、目的に応じて設計すればよい。

[0062] (積層コアの製造方法)

本開示の積層コアは、例えば、次の方法により製造する。

まず、本開示の接着被膜付き電磁鋼板を、互いの電磁鋼板の間に接着被膜を介在させて積層する。

接着被膜付き電磁鋼板の積層体を加熱及び加圧し、接着被膜中の架橋性熱可塑性樹脂 A の架橋を進行させ、接着被膜を硬化させる。これにより、接着被膜の硬化膜が接着能を発現し、接着被膜の硬化膜により電磁鋼板が互いに接着される。

これらの操作により、本開示の積層コアが得られる。

なお、接着被膜付き電磁鋼板は、互いの電磁鋼板の接着被膜の硬化膜が対面して互いに接着されていてもよいし、一方の電磁鋼板の接着被膜の硬化膜と、他方の電磁鋼板の接着被膜が形成されていない面とが対面して互いに接着されていてもよい。

加熱温度は、200～300℃、加圧力は0.5～10MPa、加熱及び加圧時間は30～60分が好ましい。

[0063] (積層コアの用途)

本開示の積層コアは、回転電機等に使用されるコア（つまり鉄心）に利用できる。

実施例

[0064] 以下、本開示の塗工液を実施例により更に具体的に説明する。本開示はその主旨を越えない限り、以下の実施例に限定されるものではない。

[0065] [実施例 1～8、比較例 1～7]

1. 塗工液の製造

表 1 A 及び表 1 B に示す種類及び量（質量部）の、架橋性熱可塑性樹脂粒子 A の水分散液、熱可塑性樹脂 B の水溶液及び架橋剤を混合し、固形分濃度 40 質量%の塗工液を調製した。

ただし、塗工液における、架橋性熱可塑性樹脂粒子 A、熱可塑性樹脂 B 及び架橋剤の量（質量部）は、表 1 A 及び表 1 B の通りとした。表中の空欄部は、その欄に該当する材料を使用していないことを示す。また、表中の下線は本開示の範囲外であることを示す。

また、「固形分濃度」とは、塗工液に占める、架橋性熱可塑性樹脂粒子 A、熱可塑性樹脂 B の水溶液及び架橋剤の合計の質量割合を示す。

[0066] なお、実施例 1～4、8、比較例 3～4 では、架橋剤を含まない塗工液を得た。

比較例 1 では、熱可塑性樹脂 B を含まない塗工液を得た。

比較例 5 では、架橋性熱可塑性樹脂粒子 A 及び架橋剤を含まない塗工液を得た。

比較例 6 では、熱可塑性樹脂 B 及び架橋剤を含まない塗工液を得た。

比較例 7 では、架橋性熱可塑性樹脂粒子 A を含まない塗工液を得た。

[0067] 2. 接着被膜付き電磁鋼板の作製

まず、質量%で、Si : 3.0%、Mn : 0.2%、Al : 0.5%、残部が Fe 及び不純物からなり、厚さ : 0.25 mm、幅 : 100 mm の無方向性電磁鋼板を準備した。

次に、得られた塗工液を、電磁鋼板の片面全面に塗工した後、表 1 A 及び表 1 B に示す乾燥温度及び乾燥時間で加熱し、塗工膜を乾燥し、表 1 A 及び表 1 B に示す平均厚みの接着被膜を形成した。

このようにして、接着被膜付き電磁鋼板を得た。

[0068] [評価]

（振動弾性率）

各例の接着被膜付き電磁鋼板における、接着被膜の、常温（25℃）及び 100℃での振動弾性率を既述の方法に従って測定した。

[0069] （接着強度）

各例の接着被膜付き電磁鋼板から、30 mm×60 mm サイズの単板試験片を 2 枚切出した。2 枚の単板試験片における 30 mm×10 mm 分の端部

を、互いの接着被膜を対面させて重ね合わせた。重ね合わせ体を、鋼板温度：250℃、加圧力：2 MPa、加熱及び加圧時間：1分の条件で、加熱及び加圧し、接着強度測定用サンプルを得た。

[0070] 鋼板温度が常温（25℃）の状態、次の通り、引張せん断接着強さを測定した。接着強度測定用サンプルを、引張試験機に取り付け、引張速度50 mm／分で、引張せん断接着強さを測定した。

得られた引張せん断接着強さの値を、2枚の単板試験片の接着面積で除した値を常温接着強度として求めた。

[0071] また、150℃の雰囲気中に接着強度測定用サンプルを設置し、鋼板温度が150℃の状態、上記と同様の方法により、引張せん断接着強さを測定した。

得られた引張せん断接着強さの値を、2枚の単板試験片の接着面積で除した値を150℃接着強度として求めた。

[0072] 常温接着強度が4.5 MPa超であり、且つ、150℃接着強度が0.5 MPa超であった場合、常温及び高温での接着強度に優れると判断し、合格と判定した。一方、いずれか一方でも満足しなかった場合、常温及び高温での接着強度が劣ると判断し、不合格と判定した。

[0073] （磁気特性）

各例の接着被膜付き電磁鋼板から、55 mm×55 mmサイズの単板試験片を切り出した。そして、2枚の単板試験片を、互いの接着被膜を対面させて重ね合わせた。重ね合わせ体を、鋼板温度：250℃、加圧力：2 MPa、加熱及び加圧時間：1分の条件で、加熱及び加圧し、積層体サンプルを得た。

得られた積層サンプルにおける圧延方向と圧延直角方向の鉄損を、JISC 2556：2015で定めた単板磁気測定法で測定し、圧延方向と圧延直角方向の鉄損の平均値を求めた。

得られた鉄損の平均値が12.0 W／kg以下であった場合、優れた磁気特性を有すると判断し、合格と判定した。一方、得られた鉄損の平均値が1

2. 0 W / k g 超であった場合、優れた磁気特性を有しないと判断し、不合格と判定した。

[0074] (外観)

各例の接着被膜付き電磁鋼板から、5 mm 角の試験片を3つ切出し、試験片を得た。

各試験片の接着被膜表面を、走査型電子顕微鏡で倍率100倍にて3か所観察した。観察視野は、合計で9視野とした。

そして、下記評価基準で評価し、S及びAを合格とした。

S : 亀裂やヒビワレ、剥離等の被膜欠陥が全く見られなかった

A : 被膜欠陥のある面積率が10%以下

B : 被膜欠陥の面積率が10%超、30%未満

C : 被膜欠陥の面積率が30%以上

[0075] 表1に記載の使用材料の詳細は、以下に示す通りである。

<架橋性熱可塑性樹脂A>

架橋性アクリル樹脂(1) : 架橋性基 = N-メチロール基、重量平均分子量 = 18万

架橋性アクリル樹脂(2) : 架橋性基 = グリシジル基、重量平均分子量 = 15万

架橋性アクリル樹脂(3) : 架橋性基 = カルボキシル基、重量平均分子量 = 30万

架橋性アクリル樹脂(4) : 架橋性基 = アミノ基、重量平均分子量 = 8万

架橋性ポリエステル樹脂(5) : 架橋性基 = 水酸基、重量平均分子量 = 3万

架橋性ポリエステル樹脂(6) : 架橋性基 = カルボキシル基、重量平均分子量 = 12万

[0076] <熱可塑性樹脂B>

アクリル樹脂 : 重量平均分子量 = 5万

ポリエステル樹脂 : 重量平均分子量 = 16万

ポリウレタン樹脂 : 重量平均分子量 = 2万

フェノキシ樹脂：重量平均分子量＝１０万

[0077] <架橋剤>

エポキシ樹脂：ビスフェノールＡ型、重量平均分子量＝１０００～４０００

フェノール樹脂：ノボラック型、重量平均分子量＝３０００～５０００

アミノ樹脂：メチル化ベンゾグアナミン、重量平均分子量＝５０００～８０
００

[0078]

[表1A]

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5	実施例 6	実施例 7	実施例 8
振動弾性率 (GPa)	常温	163	166	162	158	155	163	165
	100℃	160	161	157	140	144	133	151
架橋性 熱可塑性 樹脂粒子 A	架橋性アクリル樹脂 (1)	80					70	92
	架橋性アクリル樹脂 (2)		90					
	架橋性アクリル樹脂 (3)			70				
	架橋性アクリル樹脂 (4)				70			
	架橋性ポリエステル樹脂 (5)					70		
	架橋性ポリエステル樹脂 (6)					70		
熱可塑性樹脂 B	アクリル樹脂	20		30				
	ポリエステル樹脂					20	20	8
	ポリウレタン樹脂				30			
	フェノキシ樹脂		10				25	
架橋剤	エポキシ樹脂					10	10	
	フェノール樹脂							
	アミノ樹脂						5	
A:Bの質量比	-	80:20	90:10	70:30	70:30	70:20	70:20	92:8
乾燥温度	℃	170	150	170	170	140	140	150
乾燥時間	秒	90	60	90	90	60	60	60
接着被膜の 平均厚み	μm	2.0	1.5	2.2	1.8	2.5	3.1	1.9

[0079]

[表1B]

	比較例 1	比較例 2	比較例 3	比較例 4	比較例 5	比較例 6	比較例 7
振動弾性率 (GPa)	100	230	212	120	230	204	215
	60	170	185	90	75	180	210
架橋性 熱可塑性 樹脂粒子 A	架橋性アクリル樹脂 (1)					100	
	架橋性アクリル樹脂 (2)	50	40				
	架橋性アクリル樹脂 (3)		5	10			
	架橋性アクリル樹脂 (4)			40			
	架橋性ポリエステル樹脂 (5)						
	架橋性ポリエステル樹脂 (6)						
熱可塑性樹脂 B	アクリル樹脂		25	90	100		20
	ポリエステル樹脂						
	ポリウレタン樹脂			5			
	フェノキシ樹脂			55			
架橋剤	エポキシ樹脂	40					75
	フェノール樹脂	10					5
	アミノ樹脂		55				
A:Bの質量比	-	45:25	10:90	40:55	-	-	-
乾燥温度	°C	150	170	170	150	170	150
乾燥時間	秒	60	60	90	60	90	75
接着被膜の 平均厚み	μm	2.0	2.2	3.1	1.4	2.1	3.1
							8.0

[0080]

[表2]

	外観	接着強度 (MPa)		鉄損 (W/kg)
		常温	150℃	W10/400
実施例1	A	10.0	3.5	10.5
実施例2	S	9.7	3.0	10.2
実施例3	A	12.3	4.4	10.9
実施例4	A	11.8	4.3	10.7
実施例5	A	13.2	4.5	10.8
実施例6	A	10.3	3.5	9.9
実施例7	A	14.3	3.1	10.6
実施例8	A	7.5	2.8	9.9
比較例1	A	<u>4.5</u>	1.4	10.2
比較例2	A	15.3	5.8	<u>12.6</u>
比較例3	B	12.6	4.3	<u>12.4</u>
比較例4	B	<u>4.2</u>	<u>0.3</u>	10.3
比較例5	B	13.5	1.1	<u>13.1</u>
比較例6	C	10.3	3.3	<u>12.9</u>
比較例7	A	14.5	4.6	<u>13.3</u>

[0081] 上記結果から、本実施例では、比較例に比べ、常温及び高温での接着強度、並びに、磁気特性に優れることが分かる。

産業上の利用可能性

[0082] 本開示によれば、常温及び高温での接着強度、並びに、磁気特性が共に優れた接着被膜付き電磁鋼板及びそれを用いた積層コア、並びに、それらの製造方法が提供される。

符号の説明

- [0083] 1 0 接着被膜付き電磁鋼板
 - 1 0 A 電磁鋼板
 - 1 0 B 接着被膜
 - 1 0 C 接着被膜
- 1 1 接着被膜付き電磁鋼板の打ち抜き部材
- 1 0 0 積層コア

請求の範囲

- [請求項1] 電磁鋼板と、
前記電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に設けられた接着被膜とを有し、
前記接着被膜は、
架橋性熱可塑性樹脂 A と、前記架橋性熱可塑性樹脂 A 以外の熱可塑性樹脂 B と、を含み、
常温での振動弾性率が $130 \sim 200 \text{ GPa}$ であり、 100°C での振動弾性率が $100 \sim 200 \text{ GPa}$ である接着被膜付き電磁鋼板。
- [請求項2] 前記架橋性熱可塑性樹脂 A は、(メタ)アクリル系樹脂及びポリエステル樹脂の 1 種以上である請求項 1 に記載の接着被膜付き電磁鋼板。
- [請求項3] 前記熱可塑性樹脂 B に対する前記架橋性熱可塑性樹脂 A の質量比が、 $97/3 \sim 70/30$ である請求項 1 に記載の接着被膜付き電磁鋼板。
- [請求項4] 前記接着被膜が硬化している請求項 1 に記載の接着被膜付き電磁鋼板。
- [請求項5] 請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載された接着被膜付き電磁鋼板が複数積層され、前記接着被膜の硬化膜により前記電磁鋼板が互いに接着されている積層コア。
- [請求項6] 請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の接着被膜付き電磁鋼板の製造方法であって、
電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に、前記架橋性熱可塑性樹脂 A の粒子と、前記架橋性熱可塑性樹脂 A 以外の前記熱可塑性樹脂 B と、を含み、前記熱可塑性樹脂 B に対する前記架橋性熱可塑性樹脂 A の質量比が、 $97/3 \sim 70/30$ である塗工液を塗工して塗工膜を形成し、
前記塗工膜を乾燥させることで前記接着被膜を形成する接着被膜付

き電磁鋼板の製造方法。

[請求項7]

請求項5に記載の積層コアの製造方法であって、

前記接着被膜付き電磁鋼板を、互いの前記電磁鋼板の間に前記接着被膜を介在させて積層することで積層体とし、

前記積層体を加熱及び加圧することで、前記接着被膜を硬化させて前記硬化膜を形成する積層コアの製造方法。