

## 明 細 書

発明の名称：

接着被膜付き電磁鋼板、及び積層コア、並びにこれらの製造方法

### 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、並びにこれらの製造方法に関する。

本開示は、2023年09月26日に、日本に出願された特願2023-163604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。

しかしながら、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被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℃～150℃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 $0.01\mu\text{m}\sim0.5\mu\text{m}$ 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、マルテンズ硬さ(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 $20\sim200^{\circ}\text{C}$ 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] しかしながら、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。すなわち、接着強度と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、常温から高温での、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、常温から高温での接着強度、及び磁気特性について、さらなる改善が望まれている。

[0012] 本開示の課題は、常温から高温での接着強度、及び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、並びにこ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>本開示の一態様に係る接着被膜付き電磁鋼板は、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であって、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、を含む接着被膜と、を有し、前記接着被膜の硬度が200～260MPaであり、前記接着被膜を200℃で5分間、加熱を行った後の、前記接着被膜の硬度が200～300MPaである。

<2><1>に記載の接着被膜付き電磁鋼板では、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よりなる群から選択される1種以上の樹脂であってもよい。

＜3＞本開示の別の態様に係る積層コアは、＜1＞又は＜2＞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。

＜4＞＜3＞に記載の積層コアは、占積率が96～98%であってもよい。

＜5＞本開示の別の態様に係る接着被膜付き電磁鋼板の製造方法は、電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に接着被膜形成用塗工液を塗工して塗装鋼板を得る塗工工程と、前記塗装鋼板を、100～200℃の乾燥温度まで6.0℃/秒以下の昇温速度で加熱し、前記乾燥温度～前記乾燥温度－10℃の温度域で10～90秒保持することで、乾燥させて、電磁鋼板の表面に接着被膜を形成する被膜形成工程と、を有する。

＜6＞＜5＞に記載の接着被膜付き電磁鋼板の製造方法は、前記塗工工程では、前記接着被膜形成用塗工液が、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97/3～70/30であってもよい。

＜7＞本開示の別の態様に係る積層コアの製造方法は、電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に接着被膜形成用塗工液を塗工して塗装鋼板を得る塗工工程と、前記塗装鋼板を、100～200℃の乾燥温度まで6.0℃/秒以下の昇温速度で加熱し、前記乾燥温度～前記乾燥温度－10℃の温度域で10～90秒保持することで、乾燥させて、電磁鋼板の表面に接着被膜を形成して、接着被膜付き電磁鋼板を得る被膜形成工程と、前記接着被膜付き電磁鋼板を打ち抜いて打ち抜き部材を得る打ち抜き工程と、前記打ち抜き部材を、複数枚積層して積層体を得る積層工程と、前記積層体を、200～300℃の温度域の加圧温度に加熱し、前記加圧温度～前記加圧温度－10℃の範囲で、0.5～10MPaの加圧力をかけたまま5～60分間保持する接着工程と、を有する。

### 発明の効果

[0014] 本開示の上記態様によれば、常温から高温での接着強度、及び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、並びにこれ

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、接着被膜形成用塗工液中の各成分の量は、接着被膜形成用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。

[0020] 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。

[0021] [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、接着被膜形成用塗工液に由来する、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。

そして、前記接着被膜における、硬度（被膜硬度）が 200～260 MPa であり、200℃で5分間、加熱を行った後の硬度（被膜硬度）が200～300 MPa 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。

[0022] 本開示の接着被膜付き電磁鋼板は、上記構成により、常温（25℃）から高温（150℃）での接着強度、及び磁気特性が共に優れる（積層コアとしての磁気特性にも優れる）。

その理由は、次の通り推測される。自己架橋性基を有する架橋性熱可塑性樹脂 A を適用することで分子鎖の剛性を向上させ、常温から高温での接着強度に優れる。また、熱可塑性樹脂 B を適用し、かつ上記の被膜の硬度範囲とすることで圧縮応力を緩和させ、磁気特性に優れる。

[0023] 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。

[0024] （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の無方向性電磁鋼板、JIS C 2553：2019の方向性電磁鋼板、JIS C 2558：2021の無方向性薄電磁鋼板又は方向性薄電磁鋼板を採用できる。

[0025] （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（面積率で）、60%以上、80%以上又は100%で設けられていることがよい。

[0026] 〔被膜硬度〕

－加熱前の被膜硬度－

接着被膜における、硬度（以下、「加熱前被膜硬度」とも称する）は200～260MPaである。

加熱前被膜硬度が200MPa未満であると、接着強度が低下する。加熱前被膜硬度が260MPaを超えであると、接着強度が過度に高く、接着被膜が硬くなり過ぎて、磁気特性が悪化する。

よって、加熱前被膜硬度は、上記範囲とする。加熱前被膜硬度は、200～250MPaが好ましく、210～240MPaがより好ましい。

[0027] －加熱後の被膜硬度－

接着被膜における、200℃で5分間、加熱した後の硬度（以下、「加熱後被膜硬度」とも称する）は、200～300MPaである。

加熱後被膜硬度が200MPa未満であると、接着強度が低下する。加熱後被膜硬度が300MPaを超えであると、接着強度が過度に高く、接着被膜が硬くなり過ぎて、磁気特性が悪化する。

よって、被膜硬度は、上記範囲とする。加熱後被膜硬度は、200～290MPaが好ましく、210～260MPaがより好ましい。

[0028] ここで、加熱前及び加熱後の被膜硬度は、架橋性熱可塑性樹脂A及び熱可塑性樹脂Bの、種類、及び量比により調整できる。

また、加熱前及び加熱後の被膜硬度は、後述する架橋剤の種類、量、及び被膜形成条件によっても調整できる。

[0029] －加熱前被膜硬度及び加熱後被膜硬度の測定方法－

加熱前被膜硬度及び加熱後被膜硬度は、微小硬度であり、その測定方法は、ISO 14577-1:2015に準じ、ナノインデンテーション試験により測定する。具体的には、次の通りである。

－－－加熱前被膜硬度－－－

測定対象の接着被膜付き電磁鋼板から、大きさ20mm×60mmの試験片を採取する。

試験片の接着被膜に対して、微小硬度測定装置（ナノインデントーター）により、下記測定条件で硬度を測定する。この操作を3つの試験片で実施し、得られた硬度の算術平均値を求める。得られた算術平均値を「加熱前被膜硬度」とする。

――被膜硬度の測定方法――

測定装置：HYSITRON製「TRIBOINDENTER」

圧子種：対稜角142.3°の三角錐バーコビッチ型ダイヤモンド圧子

試験荷重：0.25mN

荷重印加速度：0.10mN/sec

測定温度：25℃

測定点：25か所

[0030] ――加熱後被膜硬度――

測定対象の接着被膜付き電磁鋼板から、大きさ20mm×60mmの試験片を採取する。

試験片を、鋼板表面温度200℃、5分間の条件で加熱する。加熱後、試験片を室温（25℃）まで冷却する。そして、加熱前被膜硬度の測定と同様に、試験片の接着被膜に対してナノインデントーション試験を実施し、硬度の算術平均値を求める。得られた算術平均値を「加熱後の被膜硬度」とする。

[0031] [接着被膜の平均厚み]

接着被膜の平均厚みは、1.0～6.0μmが好ましく、1.5～4.0μmがより好ましく、2.0～3.0μmがより好ましい。

接着被膜の平均厚みが上記範囲となるように薄膜化しても、本開示の接着被膜付き電磁鋼板は、接着強度及び磁気特性が共に優れる。

[0032] 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し、接着被膜の平均厚みを求める。

[0033] [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。

つまり、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、硬化し、接着能を発現する絶縁性の被膜である。

[0034] ー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、耐熱性の確保という点で非水溶性樹脂であることがよい。ここで、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℃の水の溶解度が、水100g当たり5g未満（例えば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。

接着被膜は、架橋性熱可塑性樹脂A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。

[0035] 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。

架橋性基は、加熱により架橋性を発現し得る基がよい。

[0036] 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。

[0037] 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、 $\alpha$ -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、又はこれら単量体を2種以上組み合わせた共重合体が挙げられる。

[0038] ここで、「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。

そして、「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。

また、「（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。

そして、「（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。

また、「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。

そして、「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。

[0039] 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、ポリエステル樹脂が好ましい

。

[0040] 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質量%～97質量%であることが好ましく、75質量%～95質量%であることがより好ましく、80質量%～93質量%であることが更に好ましい。

[0041] 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、塗工性確保の点で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。

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。

[0042] 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、ポリエステル樹脂が好ましい。

[0043] 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、非架橋熱可塑性樹脂であってもよいが、接着強度及び磁気特性の向上の観点から、非架橋熱可塑性樹脂がよい。

非架橋熱可塑性樹脂としては、架橋性熱可塑性樹脂 A で例示した架橋性基を持たないビニル系熱可塑性樹脂、及び非ビニル系熱可塑性樹脂が挙げられる。

[0044] 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、 $97/3 \sim 70/30$ （ $A:B=97:3 \sim 70:30$ ）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。

[0045] —その他の成分—

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。

[0046] 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影響があるため、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）等の高分子架橋剤が挙げられる。

架橋剤としては、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も挙げられる。

架橋剤の含有量は、接着被膜に対して1～20質量％が好ましく、1～10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。

[0047] —成分分析—

接着被膜付き電磁鋼板や接着被膜付き電磁鋼板を積層して得られた積層コアにおける接着被膜は、赤外分光法や核磁気共鳴、ガスクロマトグラフィーにて含有成分を定性分析した上で、TOFMSによるフラグメントの重量分布を行うことで、成分比率を推定できる。

接着被膜付き電磁鋼板の分析用サンプルは、被膜部分を精密カッターで切

り出すことで採取可能である。また、積層コアとなっている場合には、積層コアから電磁鋼板を数枚剥離させてから、上記手法にて採取する。

[0048] (接着被膜付き電磁鋼板の製造方法)

本開示の接着被膜付き電磁鋼板は、製造方法に関わらず、上記の特徴を有していれば、その効果が発揮されるが、例えば、以下の工程を含む製造方法によって得られる。

(I) 電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に接着被膜形成用塗工液を塗工して塗装鋼板を得る塗工工程と、

(II) 前記塗装鋼板を、100～200℃の乾燥温度まで6.0℃/秒以下の昇温速度で加熱し、前記乾燥温度～前記乾燥温度－10℃の温度域で10～90秒保持することで、乾燥させて、電磁鋼板の表面に接着被膜を形成する被膜形成工程。

それぞれの工程について説明する。

[0049] 一塗工工程一

塗工工程では、電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に接着被膜形成用塗工液（以下「本開示の塗工液」とも称する）を塗工して塗装鋼板を得る。

[0050] 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。

この塗工液を塗工した後に乾燥させることで、架橋性熱可塑性樹脂Aと熱可塑性樹脂Bとを含む接着被膜が得られる。

本開示の塗工液では、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であることが好ましい。このように配合するこ

とで、形成される接着被膜においても、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となる。

[0051] 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質量%～50質量%であることが好ましく、40質量%～45質量%であることがより好ましい。

[0052] 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。

[0053] 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。

[0054] 本開示の塗工液は、例えば、架橋性熱可塑性樹脂粒子Aの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。

[0055] 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。

[0056] 一被膜形成工程一

被膜形成工程では、塗工液が塗工された電磁鋼板（塗装鋼板）を、 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ の乾燥温度（材料の最高到達温度）まで $6.0^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下の昇温速度で加熱し、乾燥温度 $\sim$ （乾燥温度 $-10^{\circ}\text{C}$ ）の温度域で $10 \sim 90$ 秒保持することで、乾燥させて、電磁鋼板の表面に接着被膜を形成する。

乾燥時間（材料温度が乾燥温度 $-10^{\circ}\text{C}$ ～乾燥温度までの温度に保持される時間）は $30 \sim 90$ 秒とするのが好ましい。昇温速度は $50^{\circ}\text{C}$ から乾燥温度になるまでの時間から計算する平均昇温速度である。

乾燥温度が $200^{\circ}\text{C}$ を超えると、樹脂が酸化することが懸念される。乾燥温度が $100^{\circ}\text{C}$ 未満、または乾燥時間が $10$ 秒未満であると、十分に乾燥しない。

乾燥時間が $90$ 秒超であると、生産性の面で劣位となる。

また、昇温速度が $6.0^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 超であると、好適に製膜せず接着強度不足となる。一般には、昇温速度を遅くすると、炉長を長くしたり、ラインスピードを下げたりする必要が生じ、設備制約や生産性の点で好ましくないと考えられている。しかしながら、本実施形態に係る接着被膜付き電磁鋼板の製造方法においては、昇温速度を遅くすることで上記の効果が得られるとの新たな知見に基づいて、あえて昇温速度を遅くしている。

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。

[0057] （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、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。

[0058] 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、加圧によって一体化して得られた積層コアが挙げられる。

本開示の積層コアは、占積率が96～98%であることが好ましい。

本開示の接着被膜付き電磁鋼板を用いて製造した場合、接着層を薄くしても高い接着強度が得られるので、上記範囲の占積率とすることができる。

[0059] 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。

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。

[0060] 本開示の積層コアは、例えば、以下の工程を含む製造方法によって製造する。

(I I I) 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得る打ち抜き工程と、

(I V) 前記打ち抜き部材を、複数枚積層して積層体を得る積層工程と、

(V) 前記積層体を、200～300℃の温度域の加圧温度に加熱し、前記加圧温度～前記加圧温度－10℃の範囲で、0.5～10MPaの加圧力をかけたまま5～60分間保持する接着工程。

それぞれの工程について説明する。

[0061] 一打ち抜き工程一

打ち抜き工程では、接着被膜付き電磁鋼板を打ち抜いて所定の形状を有する部材（打ち抜き部材）を得る。打ち抜き方法については限定されない。

[0062] 一積層工程一

積層工程では、打ち抜き部材を、互いの電磁鋼板の間に接着被膜を介在させて積層する。これにより積層体を得る。

## [0063] ー接着工程ー

接着工程では、積層体を、200～300℃の温度域の加圧温度(材料の最高到達温度)に加熱し、前記加圧温度～前記加圧温度－10℃の範囲で、0.5～10MPaの加圧力をかけたまま5～60分間保持する。これにより、接着被膜中の架橋性熱可塑性樹脂Aの架橋を進行させ、接着被膜を硬化する。その結果、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、積層コアが得られる。

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電磁鋼板が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非形成面とが対面して電磁鋼板が互いに接着されていてもよい。

加圧温度が、200℃未満では硬化不十分となり、300℃超では樹脂が酸化する。

加圧力が、0.5MPa未満では未接着部ができやすく、10MPa超では鋼板に歪みがかかる。

保持時間(材料温度が加圧温度－10℃～加圧温度に保持される時間)が5分未満では硬化不十分となり、60分超では生産性劣位となる。積層された枚数が多い場合などは、均一に加熱されるよう、好ましくは、保持時間は30分以上である。

## [0064] (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**

[0065] 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。

## [0066] [実施例1～8、比較例1～9]

## 1. 塗工液の製造

表1に示す種類及び量(部数(質量部数))の、架橋性熱可塑性樹脂Aの

粒子の水分散液、熱可塑性樹脂 B の水溶液、及び架橋剤を、混合し、固形分濃度が 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 A、熱可塑性樹脂 B、及び架橋剤の量（部数）は、表 1 の通りとした。

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 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。

[0067] 実施例 1～4、8、比較例 4、8 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 3、7、9 では、架橋性熱可塑性樹脂 A 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 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。

[0068] 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（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（6）：架橋性基＝カルボキシル基 重量平均分子量：12万

[0069] ＜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

[0070] <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：5000～8000

[0071] 表1中、架橋性熱可塑性樹脂A、熱可塑性樹脂B及び架橋剤の欄に記載の数値の単位は質量部を示し、架橋性熱可塑性樹脂A、熱可塑性樹脂B及び架橋剤の欄に記載の空欄部は、その欄に該当する材料を使用していないことを示す。

[0072]

[表1]

|                    | 実施例<br>1           | 実施例<br>2 | 実施例<br>3 | 実施例<br>4 | 実施例<br>5 | 実施例<br>6 | 実施例<br>7 | 実施例<br>8 | 比較例<br>1 | 比較例<br>2 | 比較例<br>3 | 比較例<br>4 | 比較例<br>5 | 比較例<br>6 | 比較例<br>7 | 比較例<br>8 | 比較例<br>9 |
|--------------------|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 架橋性<br>熱可塑性<br>樹脂A | 架橋性アクリル<br>樹脂(1)   | 80       |          |          |          |          | 70       |          |          |          |          |          |          | 100      |          |          |          |
|                    | 架橋性アクリル<br>樹脂(2)   |          | 90       |          |          |          |          | 97       | 50       | 40       |          |          |          |          |          | 10       |          |
|                    | 架橋性アクリル<br>樹脂(3)   |          |          | 70       |          |          |          |          |          | 5        |          |          |          |          |          |          |          |
|                    | 架橋性アクリル<br>樹脂(4)   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 40       |          |          |          |          |          |
|                    | 架橋性ポリエステル<br>樹脂(5) |          |          |          | 70       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|                    | 架橋性ポリエステル<br>樹脂(6) |          |          |          |          | 70       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| 架橋性<br>熱可塑性<br>樹脂B | アクリル樹脂             | 20       |          | 30       |          |          |          | 3        |          | 25       | 50       |          |          |          | 20       |          |          |
|                    | ポリエステル             |          |          |          | 20       | 20       |          |          |          |          |          |          | 100      |          |          |          |          |
|                    | ポリウレタン             |          |          |          | 30       |          |          |          |          |          |          | 5        |          |          |          | 90       |          |
|                    | フェノキシ樹脂            |          | 10       |          |          |          | 25       |          |          |          |          | 55       |          |          |          |          | 10       |
| 架橋剤                | エポキシ樹脂             |          |          |          | 10       | 10       |          |          | 40       |          | 50       |          |          |          | 75       |          | 90       |
|                    | フェノール樹脂            |          |          |          |          |          |          |          | 10       |          |          |          |          |          | 5        |          |          |
|                    | アミノ樹脂              |          |          |          |          |          | 5        |          |          | 55       |          |          |          |          |          |          |          |
| A:Bの質量比            | 80:20              | 90:10    | 70:30    | 70:30    | 70:20    | 70:20    | 70:25    | 97:3     | —        | 45:25    | —        | 40:55    | —        | —        | —        | 10:90    | —        |
| 乾燥温度               | 170                | 150      | 170      | 170      | 140      | 140      | 150      | 170      | 150      | 150      | 160      | 170      | 150      | 170      | 150      | 170      | 160      |
| 乾燥時間               | 90                 | 60       | 90       | 90       | 60       | 60       | 60       | 90       | 60       | 60       | 90       | 90       | 60       | 90       | 75       | 90       | 90       |
| 昇温速度               | 3.0                | 5.0      | 4.5      | 3.5      | 5.0      | 4.0      | 5.0      | 3.0      | 5.0      | 5.0      | 3.0      | 4.0      | 5.0      | 3.5      | 4.5      | 5.0      | 5.5      |
| 膜厚                 | 2.0                | 1.5      | 2.2      | 1.8      | 2.5      | 2.5      | 3.1      | 1.5      | 2.0      | 2.0      | 8.0      | 2.0      | 2.0      | 2.0      | 8.0      | 2.0      | 8.0      |

[0073] 2. 接着被膜付き電磁鋼板の作製

質量%で、Si : 3.0%、Mn : 0.2%、Al : 0.5%、残部がF

e 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準備した。

次に、1. で得られた塗工液を、電磁鋼板の片面全面に塗工した後、表1に示す乾燥温度及び乾燥時間、昇温速度で加熱して乾燥させ、表1に示す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。

[0074] [評価]

(被膜の硬度)

各例の接着被膜付き電磁鋼板における、接着被膜の、加熱前被膜硬度、200℃で5分間加熱した後の加熱後被膜硬度を、各々、既述の方法に従って測定した。

[0075] (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て積層体とした。積層体を、加圧温度：250℃、圧力：2 MPa、保持（加熱加圧）時間：5分の条件で、加熱加圧し、接着強度測定用積層体サンプルを得た。

[0076] 鋼板温度が常温（25℃）の状態、次の通り、剪断接着強度を測定した。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、剪断接着強度を測定した。

そして、得られた剪断接着強度の値を、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。

接着強度が、6.0 MPa以上であれば、十分な接着強度を有すると判断した。

[0077] また、別途、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、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て得られた積層体サンプルを、150℃の雰囲気中に設置し、鋼板温度が150℃の状態、常温の場合と同じ条件で、剪

断接着強度を測定した。

そして、得られた剪断接着強度の値を、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。

接着強度が、2.0MPa以上であれば、十分な接着強度を有すると判断した。

[0078] (磁気特性)

各例の接着被膜付き電磁鋼板から、55mm×55mm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、加圧温度：250℃、圧力：2MPa、保持（加熱加圧）時間：5分の条件で、加熱加圧し、積層体サンプルを得た。

得られた積層体サンプルにおける圧延方向と圧延直角方向の鉄損を、JIS 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W10／400の平均値を求めた。

鉄損が10.9W/Kg以下であれば、磁気特性に優れると判断した。

[0079] (外観)

各例の接着被膜付き電磁鋼板から、5mm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。観察は、合計9視野である。

そして、下記評価基準で評価し、A及びBを合格とした。

A : 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

B : 被膜欠陥のある面積率が10%以下

C : 被膜欠陥の面積率が10%超え30%未満

D : 被膜欠陥の面積率が30%以上

[0080]

[表2]

| No.  | 接着被膜       |            | 接着被膜付き<br>電磁鋼板 | 積層体  |            |      |                  |
|------|------------|------------|----------------|------|------------|------|------------------|
|      | 被膜硬度 [MPa] |            |                | 外 観  | 接着強度 [MPa] |      | 磁気特性<br>鉄損[W/kg] |
|      | 加熱前        | 加熱後        |                |      | 常温         | 150℃ |                  |
| 実施例1 | 240        | 260        | B              | 10.0 | 3.5        | 10.5 |                  |
| 実施例2 | 210        | 220        | A              | 9.7  | 3.0        | 10.2 |                  |
| 実施例3 | 250        | 270        | B              | 12.1 | 4.4        | 10.9 |                  |
| 実施例4 | 240        | 250        | B              | 11.8 | 4.3        | 10.7 |                  |
| 実施例5 | 250        | 280        | B              | 12.3 | 4.5        | 10.8 |                  |
| 実施例6 | 205        | 215        | B              | 10.3 | 3.5        | 9.9  |                  |
| 実施例7 | 260        | 290        | B              | 12.4 | 3.1        | 10.6 |                  |
| 実施例8 | 260        | 270        | B              | 9.8  | 2.0        | 10.9 |                  |
| 比較例1 | <u>180</u> | <u>185</u> | B              | 4.5  | 1.4        | 10.2 |                  |
| 比較例2 | <u>300</u> | <u>350</u> | B              | 15.3 | 5.8        | 12.6 |                  |
| 比較例3 | <u>280</u> | 300        | C              | 12.9 | 2.2        | 12.1 |                  |
| 比較例4 | <u>300</u> | <u>305</u> | C              | 13.5 | 4.2        | 13.1 |                  |
| 比較例5 | <u>170</u> | <u>180</u> | C              | 4.2  | 0.3        | 10.3 |                  |
| 比較例6 | <u>265</u> | <u>305</u> | D              | 10.3 | 3.3        | 12.9 |                  |
| 比較例7 | <u>270</u> | <u>320</u> | B              | 14.5 | 4.6        | 13.3 |                  |
| 比較例8 | <u>180</u> | 200        | B              | 6.5  | 1.3        | 10.3 |                  |
| 比較例9 | 260        | <u>310</u> | C              | 12.3 | 5.7        | 11.5 |                  |

[0081] 上記結果から、本実施例では、比較例に比べ、外観、常温から高温での接着強度、及び磁気特性が共に優れることがわかる。

産業上の利用可能性

[0082] 本開示によれば、常温から高温での接着強度、及び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、並びにこれらの製造方法が提供される。そのため産業上の利用可能性が高い。

符号の説明

[0083] 10 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であって、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、を含む接着被膜と、  
を有し、  
前記接着被膜の硬度が 200～260 MPa であり、  
前記接着被膜を 200℃で5分間、加熱を行った後の、前記接着被膜の硬度が 200～300 MPa 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よりなる群から選択される 1 種以上の樹脂である、  
請求項 1 に記載の接着被膜付き電磁鋼板。
- [請求項3] 請求項 1 又は 2 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4] 占積率が 96～98%である、請求項 3 に記載の積層コア。
- [請求項5] 電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に接着被膜形成用塗工液を塗工して塗装鋼板を得る塗工工程と、  
前記塗装鋼板を、100～200℃の乾燥温度まで 6.0℃/秒以下の昇温速度で加熱し、前記乾燥温度～前記乾燥温度－10℃の温度域で 10～90 秒保持することで、乾燥させて、電磁鋼板の表面に接着被膜を形成する被膜形成工程と、  
を有する、  
接着被膜付き電磁鋼板の製造方法。
- [請求項6] 前記塗工工程では、前記接着被膜形成用塗工液が、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 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97/3～70/30である、

請求項5に記載の接着被膜付き電磁鋼板の製造方法。

[請求項7]

電磁鋼板の片面又は両面の少なくとも一部に接着被膜形成用塗工液を塗工して塗装鋼板を得る塗工工程と、

前記塗装鋼板を、100～200℃の乾燥温度まで6.0℃/秒以下の昇温速度で加熱し、前記乾燥温度～前記乾燥温度－10℃の温度域で10～90秒保持することで、乾燥させて、電磁鋼板の表面に接着被膜を形成して、接着被膜付き電磁鋼板を得る被膜形成工程と、

前記接着被膜付き電磁鋼板を打ち抜いて打ち抜き部材を得る打ち抜き工程と、

前記打ち抜き部材を、複数枚積層して積層体を得る積層工程と、

前記積層体を、200～300℃の温度域の加圧温度に加熱し、前記加圧温度～前記加圧温度－10℃の範囲で、0.5～10MPaの加圧力をかけたまま5～60分間保持する接着工程と、  
を有する、積層コアの製造方法。