

明 細 書

発明の名称： 積層コアの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、積層コアの製造方法に関する。

本願は、2020年6月17日に、日本に出願された特願2020-104252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] モータ（回転電機）に用いられる積層コアは、打ち抜き加工によって電磁鋼板が所定の形状に打抜かれた後、金型ダイ内で積層されることで製造される。近年、モータの製品における鉄損低減のため、これらの製品には薄手化された電磁鋼板が使用されている。しかし、薄手化された電磁鋼板においては、従来の積層コアの製造方法では生じていなかった課題がある。例えば、打ち抜き回数が増加することが挙げられる。電磁鋼板の板厚を従来の半分に低減した場合には、打ち抜き回数が倍となるためである。従来と同等の生産性を確保するためには、打ち抜きスピードを速くする必要がある。電磁鋼板の板厚が薄くなることで、打ち抜き金型のクリアランスを狭くする必要があり、打ち抜きスピードを速くすることには、打ち抜き金型の寿命を確保する上で限界がある。

[0003] 特許文献1には、積層鉄心の製造方法が記載されている。特許文献1では、生産性の向上のため、2枚以上の電磁鋼板を張り合わせてから打ち抜き加工する技術が記載されている。しかし、特許文献1では、電磁鋼板同士の間形成した接着層を完全硬化または不完全硬化させるために加熱を行っているため、生産性を十分に向上できない。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特開2005-191033号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 本発明は上記実情に基づいてなされたものであり、生産性に優れた積層コアの製造方法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

[0006] 本発明の要旨は以下の通りである。

(1) 本発明の一態様に係る積層コアの製造方法は、絶縁被膜を備える電磁鋼帯を打ち抜き加工することでコア単板を得て、前記コア単板を積層することで積層コアを製造する方法であって、

前記打ち抜き加工直前に、ガイドローラーを用いて2枚以上の電磁鋼帯を加圧することで仮接着し、

前記仮接着後の前記2枚以上の前記電磁鋼帯を打ち抜き金型に挿入してから、前記打ち抜き加工を行うことで前記コア単板を得る。

(2) 上記(1)に記載の積層コアの製造方法は、前記仮接着時の前記2枚以上の前記電磁鋼帯の表面温度が15～50℃であってもよい。

(3) 上記(1)または(2)に記載の積層コアの製造方法は、前記ガイドローラーによる前記加圧時の加圧力が2.0～10.0MPaであってもよい。

(4) 上記(1)～(3)のいずれか一項に記載の積層コアの製造方法は、前記打ち抜き加工後に、前記コア単板を180～250℃に加熱することで本接着してもよい。

(5) 上記(1)～(4)のいずれか一項に記載の積層コアの製造方法は、前記絶縁被膜が接着能を有してもよい。

発明の効果

[0007] 本発明に係る上記態様によれば、生産性に優れた積層コアの製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]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。

[図8]本実施形態に係る積層コアの製造方法のフロー図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、図面を参照し、本発明の一実施形態に係る積層コアの製造方法について説明する。まず、本実施形態に係る積層コアの製造方法により製造される積層コアと、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とについて説明する。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。

[0010] (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およびロータ30は、ケース50内に收容される。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。

[0011] 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。

[0012] 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。

[0013] 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。

[0014] 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。

[0015] ステータコア21およびロータコア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、複数のコア単板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およびロータコア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、およびロータコア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。

[0016] ステータコア21およびロータコア31を形成する各コア単板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、コア単板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、コア単板40の母材となる帯状の鋼板を素材1、または電磁鋼帯1という場合がある。素材1または電磁鋼帯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コア単板40という場合がある。

[0017] (素材1)

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および方向性薄電磁鋼帯を採用できる。

[0018] 素材1の平均板厚 t_0 の上下限値は、素材1がコア単板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がコア単板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、コア鉄損および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。

[0019] 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だす。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。

[0020] この素材 1 の平均板厚 t_0 についての上下限値は、コア単板 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、コア単板 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、積層されているコア単板 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、コア単板 40 の平均板厚 t_0 とすることができる。

[0021] 図 5 および図 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 が形成されている。

[0022] 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（コア単板 40）の降伏強度を、例えば、380～540 MPa に設定することができる。

[0023] Si : 2.5%～4.5%
Al : 0.001%～3.0%
Mn : 0.05%～5.0%
残部 : Fe 及び不純物

- [0024] 素材1がコア単板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コア単板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コア単板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。
- [0025] 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。
- [0026] 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。
- [0027] 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。

[0028] 通常の絶縁皮膜は絶縁性能を備えるが、接着能を備えない。上述の通り本実施形態に係る絶縁皮膜は、接着能と絶縁性能とを備える点で、通常の絶縁被膜、および接着剤により形成された接着層とは大きく異なる。

[0029] また、接着能を備えない絶縁被膜を形成した母材鋼板2同士を接着する方法として、上記母材鋼板2同士を、接着性を示す熱硬化性樹脂からなる接着剤により接着する方法がある。この方法により接着され、製造されたコア単板40は、打ち抜き加工前に2枚あるいはそれ以上の母材鋼板2同士が接着しているためコア単板40自体は接着しているものの、2枚あるいはそれ以上が接着した状態のコア単板40同士は接着しない。そのため、これらコア単板40同士の表裏面のどちらか一方に別途接着剤を塗布する工程が必要となり、生産性に劣る。接着能と絶縁性能とを備える絶縁被膜に、さらに接着剤を使用した場合は占積率が低下するため、磁気特性に劣った積層コアとなる。

[0030] 電磁鋼板用コーティング組成物としては、特に限定されず、例えば、エポキシ樹脂と、エポキシ樹脂硬化剤と、を含有する組成物が挙げられる。すなわち、接着能を備える絶縁被膜としては、エポキシ樹脂と、エポキシ樹脂硬化剤と、を含有する膜が、一例として挙げられる。

[0031] 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。

[0032] 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。

[0033] 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。

[0034] 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。

[0035] エポキシ樹脂硬化剤としては、潜在性を持つ加熱硬化タイプのものが使用可能であり、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、有機酸ヒドラジッド等が挙げられる。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等が挙げられる。なかで

も、エポキシ樹脂硬化剤としては、フェノール系硬化剤が好ましく、フェノールレゾール樹脂がより好ましい。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。

[0036] 電磁鋼板用コーティング組成物中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、5～35質量部が好ましく、10～30質量部がより好ましい。

[0037] 電磁鋼板用コーティング組成物は、硬化促進剤（硬化触媒）、乳化剤、消泡剤等の添加剤が配合されていてもよい。添加剤としては、1種のみを使用してもよく、2種以上を併用してもよい。

[0038] 絶縁被膜3の平均厚み t_1 の上下限値は、素材1がコア単板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がコア単板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 （コア単板40（素材1）片面あたりの厚さ）は、互いに積層されるコア単板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。

[0039] 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 （コア単板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、 $0.3\mu\text{m}$ 以上 $1.2\mu\text{m}$ 以下とすることができ、 $0.7\mu\text{m}$ 以上 $0.9\mu\text{m}$ 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。

[0040] 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、コア単板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、コア単板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

数のコア単板 40 のうち、積層方向の最も外側に位置するコア単板 40（表面が積層方向に露出しているコア単板 40）を選定する。選定したコア単板 40 の表面において、径方向の所定の位置（例えば、コア単板 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、コア単板 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。

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コア単板 40 において測定する理由は、絶縁被膜 3 の厚みが、コア単板 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。

[0041] 以上のような素材 1 を打ち抜き加工することでコア単板 40 が製造され、コア単板 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。

[0042] （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 を形成する複数のコア単板 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。

[0043] 積層方向に隣り合うコア単板 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、コア単板 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となっている。ただし、積層方向に隣り合うコア単板 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、コア単板 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。

[0044] 本実施形態では、ロータコア 31 を形成する方の複数のコア単板は、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 を形成する複数のコア単板も、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 2 1 やロータコア 3 1 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。

[0045] (積層コアの製造方法)

以下、図 7 および 8 を参照しつつ、本発明の一実施形態に係る積層コアの製造方法について説明する。なお、図 7 は、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り、図 8 は、本実施形態に係る積層コアの製造方法のフロー図である。以下、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。

[0046] 製造装置 1 0 0 では、2 つのコイル 1 A (フープ) から素材 1 を搬送方向上流側 (図 7 の右側) に向かって送り出しつつ、ガイドローラー 2 A により 2 枚の素材 1 を仮接着する。次に、仮接着した 2 枚の素材 1 を更に搬送方向上流側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コア単板 4 0 の形状に徐々に形成していく。そして、打ち抜いたコア単板 4 0 を積層して、不図示の加熱装置に搬送し、昇温させながら加圧する。その結果、積層方向に隣り合うコア単板 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)、本接着が完了する。

[0047] 図 7 では、製造装置 1 0 0 は、2 つのコイル 1 A を備えているが、3 つ以上のコイル 1 A を備えていてもよい。

また、製造装置 1 0 0 は、複数段の打ち抜きステーション 1 1 0 を備える。打ち抜きステーション 1 1 0 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 1 1 0 は、素材 1 の下方に配置された雌金型 1 1 1 と、素材 1 の上方に配置された雄金型 1 1 2 とを備える。なお、複数段の打ち抜きステーション 1 1 0 を総称して、打ち抜き金型という場合がある。

[0048] 本実施形態に係る積層コアの製造方法は、絶縁被膜を備える電磁鋼帯を打ち抜き加工することでコア単板を得て、前記コア単板を積層することで積層

コアを製造する方法であって、前記打ち抜き加工直前に、ガイドローラーを用いて2枚以上の電磁鋼帯を加圧することで仮接着し、前記仮接着後の前記2枚以上の前記電磁鋼帯を打ち抜き金型に挿入してから、前記打ち抜き加工を行うことで前記コア単板を得る。

以下、詳細について説明する。

[0049] (加圧による仮接着)

まず、打ち抜き金型による打ち抜き加工直前に、2枚以上の素材1（電磁鋼帯）を、ガイドローラー2Aを用いた加圧により仮接着する。仮接着される素材1は、両面に絶縁被膜3を有する。この絶縁被膜3は、平均厚み t_1 が上述した範囲となるように形成されていることが好ましい。また、上述したように、この絶縁被膜3は、絶縁性能および接着能を備える。

なお、ガイドローラー2Aとは、素材1を打ち抜き金型に搬送するためのローラーであり、打ち抜き金型の搬送方向上流側（図7の左側）に配置される。また、打ち抜き加工直前とは、仮接着後、且つ打ち抜き加工前に何ら加工を行わないことを意味する。

[0050] 本実施形態において、仮接着とは、加熱することなく、加圧により打ち抜き加工前の2枚以上の素材1を接着することを意味する。仮接着後は、素材同士が仮止めの状態となる。仮接着された2枚以上の素材1は、打ち抜き加工後、後述する加熱により本接着される。

なお、本実施形態では、2枚以上の素材1同士を接着するときに、接着剤を使用しない。加圧による仮接着ではなく、接着剤により接着した場合には、占積率が低下するため、磁気特性に劣った積層コアとなる。そのため、接着剤を使用することは望ましくない。

[0051] 上述の通り、本実施形態では、仮接着時に2枚以上の素材1を加熱する必要はない。仮接着時に素材1を加熱するためには、加熱装置が必要となり、また素材1の加熱に時間を要するため、生産性が著しく低下する。仮接着時の2枚以上の素材1の表面温度は、常温とすればよく、例えば15～50℃とすればよい。素材1の表面温度は、赤外線放射温度計を用いて、仮接着時

の2枚以上の素材1の幅方向の中央部の温度をそれぞれ測定し、それらの平均値を算出することで得る。

[0052] 仮接着時のガイドローラー2Aによる加圧力は、2.0～10.0MPaとすることが好ましい。加圧力をこの範囲とすることで、2枚以上の素材1を確実に仮接着することができる。

[0053] 2枚以上の素材1が仮接着された状態であるか否かは、以下の方法により判断する。

所定のサイズの試験片を採取し、この試験片を引張試験(JIS K 6850:1999に準じたせん断引張試験)に供する。引張試験により得られた単位面積当たりの剥離強度が5N/cm²以上である場合を、2枚以上の素材1が仮接着された状態であると判断する。

[0054] (打ち抜き加工)

仮接着された2枚以上の素材1をガイドローラー2Aにより打ち抜き金型(図7の複数段の打ち抜きステーション110)に挿入し、所望の形状に徐々に打ち抜き加工する。所望の形状とは、例えば、ステータコア21またはロータコア31の形状を有するコア単板40の形状である。所望の形状に打抜かれたコア単板40は、打ち抜き金型のなかで最も下流方向に位置する雌金型111内に積層される。以上説明した、打ち抜き加工および積層を順次繰り返すことで、所定枚数のコア単板40を積み重ねる。

[0055] (本接着)

積層されたコア単板40を不図示の加熱装置へ搬送し、加熱装置によって例えば180～250℃の温度域まで加熱することで、本接着する。この加熱により、接着剤(絶縁被膜3)が硬化して接着領域41aが形成される。加熱装置へ搬送する際は、積層されたコア単板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、搬送すればよい。

以上説明した方法により、積層コアを製造することができる。

[0056] なお、本実施形態において、コア単板40が本接着された状態であるか否かは、仮接着の判断時と同様にせん断引張試験を行うことで判断する。剥離

強度が 250 N/cm^2 以上である場合を、コア単板40が本接着された状態であると判断する。

実施例

[0057] (実施例1)

本発明の態様として、表面に絶縁被膜を形成させ、所定のスリット幅に加工した板厚： 0.20 mm の無方向性電磁鋼帯のコイルを二つ準備した。無方向性電磁鋼帯としては、質量%で、 $\text{Si} : 3.3\%$ 、 $\text{Al} : 0.7\%$ 、 $\text{Mn} : 0.2\%$ を有し、残部が Fe 及び不純物であるものを使用した。絶縁被膜は、絶縁性能および接着能を備える単層の絶縁被膜とした。絶縁被膜の平均厚みは、コア単板片面あたり $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $8.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下であった。2枚の無方向性電磁鋼帯を、ガイドローラーを用いて加圧することで仮接着した。なお、ガイドローラーの加圧力は $2.0\sim 10.0\text{ MPa}$ であり、仮接着時の無方向性電磁鋼帯の表面温度は $15\sim 50^\circ\text{C}$ であった。仮接着後の2枚の無方向性電磁鋼帯を $\text{JIS K 6850} : 1999$ に準じたせん断引張試験に供したところ、得られた単位面積当たりの剥離強度は 5 N/cm^2 以上であった。

[0058] 次に、仮接着後の無方向性電磁鋼帯を打ち抜き金型に挿入し、仮接着状態のまま、所定のコア単板形状に打ち抜いた。この動作を同期して繰り返すことで、打ち抜き金型のなかで最も下流方向に位置する雌金型内にコア単板を積層した。積層したコア単板を加熱装置に搬送し、 $180\sim 250^\circ\text{C}$ に加熱することで本接着した。本接着後の無方向性電磁鋼板を $\text{JIS K 6850} : 1999$ に準じたせん断引張試験に供したところ、得られた単位面積当たりの剥離強度は 250 N/cm^2 以上であった。

上記無方向性電磁鋼帯には接着能を有する絶縁被膜が形成されていた。そのため、雌金型内に積層されたコア単板を加熱装置により加熱することで、本接着された積層コアが得られた。

[0059] (実施例2)

質量%で、 $\text{Si} : 3.3\%$ 、 $\text{Al} : 0.7\%$ 、 $\text{Mn} : 0.2\%$ を有し、残

部がFe及び不純物であり、表面に絶縁被膜を備える板厚：0.20mmの無方向性電磁鋼帯を用意した。絶縁被膜としては、下地絶縁被膜を形成するコーティング組成物として、クロム酸含有処理剤を使用し、この下地絶縁被膜上に設ける上地絶縁被膜として、絶縁性能および接着能を有する絶縁被膜を形成した。絶縁被膜の下地絶縁被膜の平均厚みは0.3μm以上1.2μm以下であり、上地絶縁被膜の平均厚みは1.5μm以上8.0μm以下であった。この無方向性電磁鋼帯を25mm×200mmに切断し、25mm×25mmの面積で重ね合わせ、表1に示す種々の加圧力で加圧した。その後、重ね合わせ部がせん断される方向へ、3mm/minの試験速度でJIS K 6850：1999に準じたせん断引張試験に供した。

[0060] [表1]

試験番号	加圧力 (MPa)	剥離強度 (N/cm ²)
1	0.5	—
2	1.5	3.1
3	2.1	5.1
4	3.2	7.5
5	5.5	8.1
6	9.5	8.5

[0061] 加圧力の小さい試験番号1および2では十分な剥離強度は得られず、仮接着状態を実現することはできなかった。これに対して、試験番号3～6では加圧力が適正範囲なため、剥離強度が適正範囲となり、良好な仮接着状態が実現された。

[0062] (実施例3)

所定のスリット幅に加工した板厚：0.20mmの無方向性電磁鋼帯のコイルを二つ準備した。無方向性電磁鋼帯としては、質量%で、Si：3.3%、Al：0.7%、Mn：0.2%を有し、残部がFe及び不純物であるものを使用した。

[0063] No. 7および9については、表面に絶縁被膜を形成した。この絶縁被膜は、絶縁性能および接着能を備える単層の絶縁被膜とした。絶縁被膜の平均

厚みは、コア単板片面あたり $1.5\ \mu\text{m}$ 以上 $8.0\ \mu\text{m}$ 以下であった。

Ｎｏ．８については、絶縁被膜を形成しなかった。

[0064] Ｎｏ．７について、２枚の無方向性電磁鋼帯を加熱した後、ガイドローラーを用いて加圧した。

Ｎｏ．８について、無方向性電磁鋼帯同士の間には接着剤を塗布してから、ガイドローラーを用いて加圧した。

Ｎｏ．９について、上記絶縁被膜を備える無方向性電磁鋼帯の間に接着剤を塗布してから、ガイドローラーを用いて加圧した。

[0065] なお、Ｎｏ．７～９について、ガイドローラーの加圧力は $2.0\sim 10.0\ \text{MPa}$ であった。Ｎｏ．７について、加圧時の無方向性電磁鋼帯の表面温度は 50°C 超であった。Ｎｏ．８および９について、接着剤として、接着性を示す熱硬化性樹脂を使用し、加圧時の無方向性電磁鋼帯の表面温度は $15\sim 50^\circ\text{C}$ とした。

[0066] 次に、加圧後の無方向性電磁鋼帯を打ち抜き金型に挿入し、所定のコア単板形状に打ち抜いた。この動作を同期して繰り返すことで、打ち抜き金型のなかで最も下流方向に位置する雌金型内にコア単板を積層した。積層したコア単板を加熱装置に搬送し、 $180\sim 250^\circ\text{C}$ に加熱することで接着した。

[0067] Ｎｏ．７については、加圧前に加熱を行ったため、打ち抜き加工前の無方向性電磁鋼帯は接着しているものの、打ち抜き後のコア単板同士は接着していなかった。このようなコア単板同士を接着するためには、接着剤による接着、カシメ、溶接、溶着等が必要となり、生産性に劣る。

[0068] Ｎｏ．８については、絶縁被膜を形成せずに接着剤により無方向性電磁鋼帯同士を接着したため、Ｎｏ．７と同様に、打ち抜き加工前の無方向性電磁鋼帯は接着しているものの、打ち抜き後のコア単板同士は接着していなかった。また、絶縁被膜が形成されていないことから絶縁性に劣り、磁気特性に劣った。

[0069] Ｎｏ．９については、絶縁皮膜の上に接着剤を塗布したため、接着剤を使用しない実施例１と比較して占積率が劣った。

- [0070] 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。
- [0071] 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。
- [0072] 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。
- [0073] 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。
- [0074] 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。
- [0075] 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。
- [0076] 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。
- [0077] 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。

よい。また、トランスに適用してもよい。

[0078] 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。

符号の説明

- [0079]
- | | |
|-------|---------|
| 1 | 素材、電磁鋼帯 |
| 1 A | コイル |
| 2 | 母材鋼板 |
| 3 | 絶縁被膜 |
| 1 0 | 回転電機 |
| 2 1 | ステータコア |
| 2 2 | コアバック部 |
| 2 3 | ティース部 |
| 3 0 | ロータ |
| 3 1 | ロータコア |
| 3 2 | 永久磁石 |
| 3 3 | 貫通孔 |
| 4 0 | コア単板 |
| 4 1 a | 接着領域 |
| 5 0 | ケース |