

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6626794号
(P6626794)

(45) 発行日 令和1年12月25日(2019.12.25)

(24) 登録日 令和1年12月6日(2019.12.6)

(51) Int. Cl. F I
H02K 1/27 (2006.01) H02K 1/27 501D
 H02K 1/27 501K

請求項の数 9 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2016-136216 (P2016-136216)	(73) 特許権者	509186579
(22) 出願日	平成28年7月8日(2016.7.8)		日立オートモティブシステムズ株式会社
(65) 公開番号	特開2018-7528 (P2018-7528A)		茨城県ひたちなか市高場2520番地
(43) 公開日	平成30年1月11日(2018.1.11)	(74) 代理人	100091096
審査請求日	平成30年7月4日(2018.7.4)		弁理士 平木 祐輔
		(74) 代理人	100105463
			弁理士 関谷 三男
		(74) 代理人	100102576
			弁理士 渡辺 敏章
		(72) 発明者	松延 豊
			茨城県ひたちなか市高場2520番地 日
			立オートモティブシステムズ株式会社内
		(72) 発明者	中山 健一
			茨城県ひたちなか市高場2520番地 日
			立オートモティブシステムズ株式会社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転電機の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の鋼板を積層し、複数の段部を有する磁石挿入孔を形成した回転子鉄心の該磁石挿入孔に、複数の永久磁石が前記複数の段部ごとに挿入された回転電機の製造方法であって、

前記複数の永久磁石の挿入方向の高さは、前記複数の段部の挿入方向の高さに対して、小さく設定されており、

前記複数の段部のうちの下段の段部に下段用の永久磁石を挿入する挿入工程と、
 前記下段の段部の上に、上段の段部を周方向にずらして前記複数の鋼板を積層させる積層工程と、

前記上段の段部に接着剤を注入して前記下段の段部に配置された前記下段用の永久磁石の少なくとも上端部の周囲に該接着剤を配置する注入工程と、

前記上段の段部に上段用の永久磁石を押し込んで前記上段用の永久磁石の挿入方向の先端面を前記下段の段部と前記上段の段部との間の段差面に当接させ、前記接着剤を前記下段用の永久磁石の外表面および該上段用の永久磁石の外表面に行き渡らせる充填工程と、を有することを特徴とする回転電機の製造方法。

【請求項2】

前記積層工程と前記注入工程と前記充填工程とを繰り返すことを特徴とする請求項1に記載の回転電機の製造方法。

【請求項3】

前記充填工程において、前記上段用の永久磁石を押し込む力を制御することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の回転電機の製造方法。

【請求項 4】

前記挿入工程において、前記複数の段部を有する複数の前記磁石挿入孔に一括して前記下段用の永久磁石を挿入し、

前記注入工程において、前記複数の段部を有する複数の前記磁石挿入孔に一括して前記接着剤を注入し、

前記充填工程において、複数の前記上段用の永久磁石を前記複数の段部を有する複数の前記磁石挿入孔に一括して押し込むことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の回転電機の製造方法。

10

【請求項 5】

前記注入工程において、前記接着剤の注入量は、前記充填工程の後に少なくとも前記上段用の永久磁石の押し込み方向における後端面が前記接着剤から露出する量に調整されることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の回転電機の製造方法。

【請求項 6】

前記注入工程において、最上段の前記段部に対する前記接着剤の注入量は、他の前記段部に対する前記接着剤の注入量よりも多いことを特徴とする請求項 5 に記載の回転電機の製造方法。

【請求項 7】

前記充填工程の終了後に、前記回転子鉄心を軸周りに回転させて前記接着剤を前記複数の段部を有する複数の永久磁石と前記回転子鉄心との間に行き渡らせる遠心充填工程を有することを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の回転電機の製造方法。

20

【請求項 8】

前記接着剤を硬化させる硬化工程を有することを特徴とする請求項 7 に記載の回転電機の製造方法。

【請求項 9】

前記遠心充填工程と前記硬化工程とを並行して行うことを特徴とする請求項 8 に記載の回転電機の製造方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から永久磁石式回転電機が知られている（下記特許文献 1 を参照）。永久磁石式回転電機は、固定子と、該固定子に空隙を介して対向配置された回転子とを有している。固定子は、固定子鉄心と、該固定子鉄心に装着された固定子巻線とを備えている。固定子鉄心は、環状のヨーク鉄心と、該ヨーク鉄心から径方向に突出した複数のティース鉄心から構成される。

40

【0003】

回転子は、回転子鉄心と、該回転子鉄心の内部に埋め込まれた複数の永久磁石とを備えている。回転子鉄心の内部であって、1 磁極分の永久磁石の周方向両側には、1 対の非磁性部が形成されている。この 1 対の非磁性部の固定子側にある固定子鉄心には、1 対の非磁性部の形成によって 1 対の磁路部が形成されている。

【0004】

回転子の中心軸に対するティース鉄心の周方向ピッチを s （度）とし、1 対の磁路部の最小径方向幅部分管の周方向幅が回転子の中心軸に対してなす開き角度を θ （度）としたときに、 $(n + Y) \times s$ （ n は 0 以上の整数）である。固定子巻線の巻線方法が分布巻きであるときは、 Y を 0.5 とする。固定子巻線の巻線方法が集中巻きであるとき

50

は、 $Y = 0.9 \sim 1.2$ とする（同文献、請求項1等を参照）。

【0005】

この永久磁石式回転電機によれば、永久磁石の周方向両側に非磁性部を形成したときに、誘導起電圧のピーク電圧を抑えることができるので、車両駆動に好適な永久磁石式回転電機を提供できる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2006-187189号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

前述のような回転電機が駆動されて回転子が高速で回転すると、回転子鉄心に埋め込まれた永久磁石と回転子鉄心との間に遠心力によって大きな応力が作用する。このような応力を緩和するためには、永久磁石と固定子鉄心との間に充填される接着剤によって永久磁石の外表面のより広い範囲を覆うことが求められる。

【0008】

本発明は、前記課題に鑑みてなされたものであり、回転子鉄心に埋め込まれる永久磁石の外表面のより広い範囲を接着剤によって覆うことができ、回転子鉄心の高速回転時に永久磁石に作用する応力を緩和することができる回転電機の製造方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0009】

前記目的を達成すべく、本発明は、複数の段部を有する回転子鉄心を備えた回転電機の製造方法であって、前記段部の磁石挿入孔に永久磁石を挿入する挿入工程と、下段の前記段部に上段の前記段部を周方向にずらして積層させる積層工程と、上段の前記段部の磁石挿入孔に接着剤を注入して下段の前記段部の前記磁石挿入孔に配置された下段の前記永久磁石の少なくとも上端部の周囲に該接着剤を配置する注入工程と、上段の前記段部の前記磁石挿入孔に上段の永久磁石を押し込んで前記接着剤を下段の前記永久磁石の外表面および上段の前記永久磁石の外表面に行き渡らせる充填工程と、を有することを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0010】

本発明の回転電機の製造方法によれば、回転子鉄心に埋め込まれる永久磁石の外表面のより広い範囲を接着剤によって覆うことができ、回転子鉄心の高速回転時に永久磁石に作用する応力を緩和することができる。さらに、挿入工程および積層工程の後に、注入工程および充填工程を行うことで、固化前の接着剤が回転子鉄心に接触する時間を短縮して回転子鉄心に対する接着剤の浸透を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】回転電機の一例を示す分解斜視図。

40

【図2】回転電機の固定子と回転子の一例を示す平面図。

【図3】本発明の一実施形態に係る回転電機の製造方法のフロー図。

【図4A】図3に示す挿入工程の説明図。

【図4B】図3に示す積層工程の説明図。

【図4C】図3に示す注入工程の説明図。

【図4D】図3に示す充填工程の説明図。

【図4E】図3に示す積層完了判定後の2回目の積層工程の説明図。

【図4F】図3に示す積層完了判定後の2回目の注入工程の説明図。

【図4G】図3に示す積層完了判定後の2回目の充填工程の説明図。

【図4H】図3に示す硬化工程および遠心充填工程の説明図。

50

【図5】回転電機を搭載する車両の概略構成図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、図面を参照して本発明の一実施形態に係る回転電機の製造方法を説明する。

【0013】

以下では、まず、本発明の製造方法によって製造される回転電機の一例について説明し、次に、本発明の一実施形態に係る回転電機の製造方法について詳細に説明する。

【0014】

(回転電機)

図1は、本発明に係る製造方法によって製造される回転電機100の一例を示す分解斜視図である。図2は、図1に示す回転電機100に使用される回転子20と固定子30の一例を示す平面図である。

【0015】

回転電機100は、たとえば、シャフト10と、該シャフト10に固定された回転子20と、該回転子20の周囲に配置された固定子30とを備えている。回転電機100は、たとえば、ハイブリッド自動車や電気自動車等の車両に搭載され、電力が供給されてシャフト10を回転させるモータとしての機能と、シャフト10の回転によって発電する発電機としての機能との双方を有し、車両の走行状態によって各機能を切り換えて使用することができる。

【0016】

シャフト10は、円筒状の回転子20の中心を回転子20の軸線L方向に貫通する棒状の部材であり、回転子20に固定され、回転子20の軸線Lを中心に回転子20と一体に回転する。回転子20は、磁性体からなる円筒状の回転子鉄心21と、回転子鉄心21の軸線L方向の両端部に固定された非磁性体からなるエンドリング22とを有している。

【0017】

回転子鉄心21は、たとえば、複数の電磁鋼板を軸線方向に積層することによって構成されている。回転子鉄心21を構成する電磁鋼板としては、たとえば厚さが0.05mmから1mm程度の電磁鋼板を打ち抜き加工またはエッチング加工によって所定の形状に加工したものをを用いることができる。

【0018】

回転子鉄心21は、周方向に等角度間隔に配置され軸線L方向に延びる複数の磁石挿入孔23と、この磁石挿入孔23に挿入された複数の永久磁石24とを備えている。磁石挿入孔23は、永久磁石24に対応する形状を有し、回転子鉄心21の周方向において、磁石挿入孔23の幅は永久磁石24の幅よりも大きくされ、磁石挿入孔23の両端部に磁気的空隙が形成されている。

【0019】

磁石挿入孔23と永久磁石24との間には、磁石挿入孔23に永久磁石24を固定するための接着剤が充填されている。接着剤は、永久磁石24の外表面を覆い、回転子鉄心21の回転時の遠心力によって永久磁石24と回転子鉄心21との間に作用する応力を緩和する。

【0020】

永久磁石24は、図示の例において、回転子20の軸線L方向において回転子鉄心21の一端から他端まで延びる細長い形状を有し、軸線L方向に垂直な断面の形状が概ね長方形である板状の形状を有している。なお、永久磁石24の形状は、特に限定されず、たとえば軸線L方向に垂直な断面の形状が扇形や円弧状であってもよい。永久磁石24としては、たとえばネオジム系、サマリウム系の焼結磁石やフェライト磁石、ネオジム系のボンド磁石などを用いることができる。

【0021】

永久磁石24は、回転子20の界磁極を形成する。永久磁石24は、図2に示す例において、1つの永久磁石24によって1つの磁極が形成されているが、図1に示す例のよう

10

20

30

40

50

に、各磁極を構成する永久磁石 2 4 は複数でもよい。1つの磁極を構成する永久磁石 2 4 を複数にすることで、各磁極の磁束密度を増加させ、磁石トルクを増大させることができる。

【 0 0 2 2 】

永久磁石 2 4 の磁化方向は回転子 2 0 の径方向を向き、界磁極ごとに磁化方向の向きが反転している。すなわち、永久磁石 2 4 は、回転子鉄心 2 1 の径方向に沿う磁化方向の向きを交互に反転させて回転子鉄心 2 1 の周方向に等角度間隔に配置されている。これにより、回転子鉄心 2 1 の周方向に隣接する 2 つの永久磁石 2 4 の回転子鉄心 2 1 の径方向外側の面は、一方が S 極で他方が N 極となっている。図 2 に示す例において、回転子 2 0 は、1 2 個の永久磁石 2 4 を備え、回転子鉄心 2 1 に 1 2 極の磁極が形成されている。

10

【 0 0 2 3 】

回転子鉄心 2 1 は、図 2 に示す例において、磁極を形成する永久磁石 2 4 の間に補助磁極が形成されている。ここで、回転子 2 0 の磁極の軸を、磁極がつくる磁束の方向で永久磁石の中心軸を d 軸とし、この d 軸と電気的および磁氣的に直交する永久磁石 2 4 の間の軸を q 軸に設定する。補助磁極は、コイル 4 0 が発生する q 軸の磁束の磁気抵抗が小さくなるように作用する。この補助磁極により、q 軸の磁束の磁気抵抗が d 軸の磁束の磁気抵抗に比べて非常に小さくなるため、大きなリラクタンストルクを発生させることができる。

【 0 0 2 4 】

回転子鉄心 2 1 は、たとえば、永久磁石 2 4 の位置が周方向に段階的にずらされた段スキューの構成を有している。すなわち、回転子鉄心 2 1 は、軸線 L 方向において多段に構成され、各段の永久磁石 2 4 の位置が所定のスキュー角で周方向に段階的にずらされている。回転子鉄心 2 1 のスキュー角は、たとえばコギングトルクを低減するために最適化される。

20

【 0 0 2 5 】

固定子 3 0 は、主に、円筒状の固定子鉄心 3 1 と、該固定子鉄心 3 1 に設けられた複数のスロット 3 2 と、該スロット 3 2 に配置された複数のコイル 4 0 と、スロット 3 2 内でコイル 4 0 の周囲に配置されたインシュレータと、を備えている。

【 0 0 2 6 】

固定子鉄心 3 1 は、たとえば、厚さが 0 . 0 5 mm から 1 mm 程度の電磁鋼板を打ち抜き加工またはエッチング加工によって、概ね円環状の所定の形状に加工し、この所定の形状に加工された電磁鋼板を積層することによって構成されている。固定子鉄心 3 1 は、中空円筒状の形状を有し、周方向に等角度間隔で設けられた複数のスロット 3 2 を有している。固定子鉄心 3 1 は、たとえば周方向に 7 2 箇所のスロット 3 2 を有することができる。

30

【 0 0 2 7 】

スロット 3 2 は、固定子鉄心 3 1 の内周面から固定子鉄心 3 1 の径方向に沿う放射状の溝状に設けられ、固定子鉄心 3 1 を軸線 L 方向に貫通し、軸線 L 方向に沿って内周面に固定子鉄心 3 1 の一方の端面 3 1 a から他方の端面 3 1 b まで連続する開口部 3 3 を有している。

40

【 0 0 2 8 】

固定子鉄心 3 1 は、スロット 3 2 の間に設けられた複数のティース 3 4 と、固定子鉄心 3 1 の外周部である環状のコアバック 3 5 とを有している。複数のティース 3 4 とコアバック 3 5 は一体に設けられ、複数のティース 3 4 は、コアバック 3 5 から固定子鉄心 3 1 の径方向に沿って固定子鉄心 3 1 の中心 C に向けて延びている。複数のティース 3 4 の固定子鉄心 3 1 の径方向内側、すなわち円筒状の固定子鉄心 3 1 の内側には、図 1 に示す回転子 2 0 が固定子鉄心 3 1 との間に微小な隙間を有して回転自在に支持されている。

【 0 0 2 9 】

コイル 4 0 は、たとえば、矩形の断面形状を有する平角線であり、外表面に絶縁被膜を有し、各々のスロット 3 2 内で固定子鉄心 3 1 の径方向に沿って一列に配置されている。

50

図示の例において、コイル 40 は、長方形の断面形状を有し、断面の長辺が固定子鉄心 31 の径方向に概ね平行にスロット 32 内に配置されている。本実施形態の回転電機 100 の固定子 30 では、たとえば 3 相のコイル 40 が 8 極 72 スロット 32 の分布巻きとされ、各相のコイル 40 はスター結線で接続されている。

【0030】

(回転電機の製造方法)

次に、本発明の一実施形態に係る回転電機の製造方法について詳細に説明する。図 3 は、本発明の一実施形態に係る回転電機の製造方法 S100 に含まれる各工程を示すフロー図である。

【0031】

本実施形態の回転電機の製造方法 S100 は、主に、挿入工程 S1 と、積層工程 S2 と、注入工程 S3 と、充填工程 S4 とを有している。また、本実施形態の回転電機の製造方法 S100 は、たとえば、挿入完了判定 S5、積層完了判定 S6、遠心充填工程 S7、硬化工程 S8、調整工程 S9、および着磁工程 S10 等を有することができる。以下、本実施形態の回転電機の製造方法 S100 の各工程について、図 4A から図 4H を参照しながら詳細に説明する。

【0032】

(挿入工程)

図 4A は、図 3 に示す挿入工程 S1 の説明図であり、図 1 および図 2 に示す回転子鉄心 21 の磁石挿入孔 23 の近傍の模式的な断面図である。挿入工程 S1 は、複数の段部 21a, 21b, 21c (図 4H 参照) によって構成される回転子鉄心 21 のひとつの段部 21a の磁石挿入孔 23 に永久磁石 24 を挿入する工程である。

【0033】

挿入工程 S1 では、まず、回転子鉄心 21 の軸線 L 方向の一端にエンドリング 22 を固定して、磁石挿入孔 23 の一端をエンドリング 22 によって閉塞する。次に、たとえば自動挿入機を用い、永久磁石 24 を把持して磁石挿入孔 23 に挿入する。これにより、図 4A に示すように、永久磁石 24 は、一端がエンドリング 22 によって閉鎖された段部 21a の磁石挿入孔 23 内に配置される。この状態で、永久磁石 24 の外周面と磁石挿入孔 23 の内周面との間には、間隙が形成されている。

【0034】

挿入工程 S1 は、複数の磁石挿入孔 23 に対して順次行うことができる。しかし、生産性向上の観点からは、挿入工程 S1 において、複数の永久磁石 24 を複数の磁石挿入孔 23 に一括して挿入することが好ましい。永久磁石 24 の一括挿入は、たとえば複数の永久磁石 24 を把持して磁石挿入孔 23 に一括挿入する自動挿入機を用いて行うことができる。挿入工程 S1 の終了後は、図 3 に示すように、積層工程 S2 が実施される。

【0035】

(積層工程)

図 4B は、図 3 に示す積層工程 S2 の説明図である。積層工程 S2 は、回転子鉄心 21 が軸線 L 方向において多段に構成される段スキューの構成を有する場合に、下段の段部 21a に上段の段部 21b を、回転子鉄心 21 の周方向に所定のスキュー角ずらして積層させる工程である。積層工程 S2 によって積層された上段の段部 21b の磁石挿入孔 23 の下部の開口は、永久磁石 24 が配置された下段の段部 21a の磁石挿入孔 23 の上部の開口に連通している。積層工程 S2 の終了後は、図 3 に示すように、注入工程 S3 が実施される。

【0036】

(注入工程)

図 4C は、図 3 に示す注入工程 S3 の説明図である。注入工程 S3 は、上段の段部 21b の磁石挿入孔 23 に接着剤 25 を注入して、下段の段部 21a の磁石挿入孔 23 に配置された下段の永久磁石 24 の少なくとも上端部の周囲に接着剤 25 を配置する工程である。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

注入工程 S 3 では、たとえばディスペンサによって、積層工程 S 2 によって積層された上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 の上部の開口から、上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 の底部に接着剤 2 5 を注入する。接着剤 2 5 としては、たとえばエポキシ系の接着剤を用いることができる。また、接着剤 2 5 の漏れを防止するために、粉体樹脂を混ぜ合わせた接着剤 2 5 を使用してもよい。

【 0 0 3 8 】

接着剤 2 5 の粘度は、回転子鉄心 2 1 を構成する電磁鋼板への浸透を抑制する観点から、たとえば $0.5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以上かつ $80 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下の範囲で、できるだけ高粘度のものを用いることができる。また、接着剤 2 5 の粘度は、永久磁石 2 4 としてフェライト磁石を用いる場合には、たとえば $15 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以上かつ $40 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下、永久磁石 2 4 としてネオジム磁石を用いる場合には、 $20 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以上かつ $45 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下であることが好ましい。すなわち、接着剤 2 5 の粘度は、 $15 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以上かつ $45 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 以下の範囲が好適である。

10

【 0 0 3 9 】

注入工程 S 3 において、接着剤 2 5 の注入量は、たとえば以下の観点から決定することができる。一つには、後述する充填工程 S 4 後に、接着剤 2 5 が磁石挿入孔 2 3 から溢れ出ることを防止することができる注入量という観点である。他には、後述する充填工程 S 4 後に、下段の段部 2 1 a に配置された永久磁石 2 4 の外表面と、上段の段部 2 1 b に配置された永久磁石 2 4 の外表面が、可能な限り広い範囲で覆われる注入量という観点である。

20

【 0 0 4 0 】

接着剤 2 5 の溢れを防止する観点からは、少なくとも上段の段部 2 1 b に配置される永久磁石 2 4 の押し込み方向における後端面 2 4 b が接着剤 2 5 から露出する量（図 4 D を参照）に調整されることが好ましい。永久磁石 2 4 の外表面のより広い範囲を覆う観点からは、接着剤 2 5 の注入量は、たとえば次のように決定することができる。下段の段部 2 1 a の磁石挿入孔 2 3 の容積から永久磁石 2 4 の体積を引いた体積に、上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 の下端から永久磁石 2 4 の上端までの容積から永久磁石 2 4 の体積を引いた体積を加えた体積を、接着剤 2 5 の注入量とすることができる。

【 0 0 4 1 】

なお、永久磁石 2 4 および磁石挿入孔 2 3 は、製造上の公差を有している。そのため、接着剤 2 5 の注入量は、公差の範囲で最小寸法の磁石挿入孔 2 3 に、公差の範囲で最大寸法の永久磁石 2 4 が挿入された場合を基準に調整されることが好ましい。これにより、接着剤 2 5 が磁石挿入孔 2 3 から溢れ出ることをより確実に防止することができ、接着剤 2 5 の使用量を最適化することができる。

30

【 0 0 4 2 】

注入工程 S 3 は、複数の磁石挿入孔 2 3 に対して順次行うことができる。しかし、生産性向上および接着剤 2 5 の浸透防止の観点からは、注入工程 S 3 において、複数の磁石挿入孔 2 3 に一括して接着剤 2 5 を注入することが好ましい。接着剤 2 5 の一括注入は、たとえば複数のノズルを備えたディスペンサによって行うことができる。注入工程 S 3 の終了後は、図 3 に示すように、充填工程 S 4 が実施される。

40

【 0 0 4 3 】

(充填工程)

図 4 D は、図 3 に示す充填工程 S 4 の説明図である。充填工程 S 4 は、上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 に上段の永久磁石 2 4 を押し込んで、接着剤 2 5 を下段の永久磁石 2 4 の外表面および上段の永久磁石 2 4 の外表面に行き渡らせる工程である。充填工程 S 4 では、まず、上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 に上段の永久磁石 2 4 が、たとえば自動挿入機によって挿入される。これにより、上段の永久磁石 2 4 は、下部が接着剤 2 5 に接触した状態で上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 内に配置される。

【 0 0 4 4 】

50

しかし、回転子鉄心 2 1 を構成する積層された電磁鋼板間への接着剤 2 5 の浸透を抑制可能な比較的高い粘度の接着剤 2 5 が使用される。そのため、上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 に上段の永久磁石 2 4 を挿入しただけでは、永久磁石 2 4 の周囲に接着剤 2 5 が十分に行き渡っていない。また、上段の永久磁石 2 4 の下端と下段の永久磁石 2 4 の上端との間には、比較的高い粘度の接着剤 2 5 が存在し、比較的大きな間隔が形成されている。

【 0 0 4 5 】

そのため、充填工程 S 4 では、図 4 D に示すように、上段の永久磁石 2 4 を上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 に押し込んで、接着剤 2 5 を上段の永久磁石 2 4 の外表面と下段の永久磁石 2 4 の外表面とに行き渡らせる。充填工程 S 4 は、たとえば永久磁石 2 4 を押し込む力と距離を制御可能なシャフト S を用いて行うことができる。

10

【 0 0 4 6 】

充填工程 S 4 では、接着剤 2 5 が注入された上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 に上段の永久磁石 2 4 を圧入することで、上段の永久磁石 2 4 の下端と下段の永久磁石 2 4 の上端との間で接着剤 2 5 が加圧される。これにより、上段および下段の段部 2 1 a , 2 1 b 磁石挿入孔 2 3 の側壁と、上段および下段の永久磁石 2 4 の側面との間の隙間に、接着剤 2 5 が充填され、上段および下段の永久磁石 2 4 の外表面のより広い範囲を接着剤 2 5 によって覆うことができる。

【 0 0 4 7 】

より具体的には、上段の永久磁石 2 4 の押し込み方向における前端面 2 4 a から押し込み方向における後端面 2 4 b の近傍まで、接着剤 2 5 が上段の永久磁石 2 4 の外表面に行き渡る。そして、上段の永久磁石 2 4 の外表面のうち後端面 2 4 b とその近傍の微小な領域を除く概ね全周が接着剤 2 5 によって覆われて、磁石挿入孔 2 3 に固定される。また、下段の永久磁石 2 4 の上端から下端まで、接着剤 2 5 が永久磁石 2 4 の外表面に行き渡る。そして、下段の永久磁石 2 4 の外表面のうち下端面とその近傍の微小な領域を除く概ね全周が接着剤 2 5 によって覆われて、磁石挿入孔 2 3 に固定される。これにより、接着剤 2 5 の無駄をなくして、接着剤 2 5 の使用量を最小限に留めることができる。

20

【 0 0 4 8 】

また、充填工程 S 4 において、永久磁石 2 4 を押し込む力を制御することで、永久磁石 2 4 の損傷を防止することができ、永久磁石 2 4 を適切な位置まで押し込むことができる。また、充填工程 S 4 において、永久磁石 2 4 を押し込む距離を制御することで、永久磁石 2 4 の損傷を防止することができ、永久磁石 2 4 を適切な位置まで押し込むことができる。

30

【 0 0 4 9 】

充填工程 S 4 は、複数の磁石挿入孔 2 3 に順次行うことができる。しかし、生産性向上および接着剤 2 5 の浸透防止の観点からは、充填工程 S 4 において、複数の永久磁石 2 4 を複数の磁石挿入孔 2 3 に一括して押し込むことが好ましい。永久磁石 2 4 の一括押し込みは、たとえば複数の永久磁石 2 4 を複数のシャフト S によって磁石挿入孔 2 3 に一括して圧入する自動圧入機を用いて行うことができる。

【 0 0 5 0 】

なお、挿入工程 S 1、積層工程 S 2、注入工程 S 3、および充填工程 S 4 は、図 1 に示す例のように、磁石挿入孔 2 3 に複数の永久磁石 2 4 が挿入される場合にも、図 2 に示す例のように、磁石挿入孔 2 3 に 1 つの永久磁石 2 4 が挿入される場合にも、同様に実施することができる。充填工程 S 4 の終了後は、たとえば、図 3 に示すように挿入完了判定 S 5 を実施することができる。

40

【 0 0 5 1 】

(挿入完了判定)

挿入完了判定 S 5 では、すべての磁石挿入孔 2 3 に永久磁石 2 4 が挿入されたか否かの判定を行う。たとえば、注入工程 S 3 および充填工程 S 4 を、個々の磁石挿入孔 2 3 に対して順次行う場合には、磁石挿入孔 2 3 の数と等しい回数の注入工程 S 3 および充填工程

50

S 4 が実施されたか否かを判定する。

【 0 0 5 2 】

判定の結果、各工程の実施回数が規定の回数に達していない場合（NO）には、図3に示すように、再度、注入工程S 3および充填工程S 4を実施する。一方、判定の結果、各工程の実施回数が規定の回数に達している場合（YES）には、積層完了判定S 6を実施する。なお、すべての磁石挿入孔2 3に対して一括して注入工程S 3および充填工程S 4を実施する場合には、挿入完了判定S 5を省略することができる。

【 0 0 5 3 】

（積層完了判定）

積層完了判定S 6では、回転子鉄心2 1を構成する複数の段部2 1 a , 2 1 b , 2 1 c（図4 Hを参照）の積層が完了したか否かの判定を行う。すなわち、回転子鉄心2 1が軸線L方向において多段に構成される段スキューの構成を有する場合に、回転子鉄心2 1を構成する段部2 1 a , 2 1 b , 2 1 cを積層させる積層工程S 2が完了したか否かを判定する。

10

【 0 0 5 4 】

判定の結果、積層工程S 2が未完了であれば（NO）、図3に示すように積層工程S 2を実施する。また、判定の結果、積層工程S 2が完了していれば（YES）、図3に示すように硬化工程S 8と遠心充填工程S 7、を実施する。なお、回転子鉄心2 1が多段の構成を有しない場合には、積層完了判定S 6および積層工程S 2を省略することができる。

【 0 0 5 5 】

（2回目の積層工程）

図4 Eは、図3に示す積層完了判定S 6の後の2回目の積層工程S 2の説明図である。2回目の積層工程S 2では、1回目の積層工程S 2と同様に、下段の段部2 1 bに上段の段部2 1 cを、回転子鉄心2 1の周方向に所定のスキュー角ずらして積層させる。積層工程S 2によって積層された上段の段部2 1 cの磁石挿入孔2 3の下部の開口は、永久磁石2 4が配置された下段の段部2 1 bの磁石挿入孔2 3の上部の開口に連通している。2回目の積層工程S 2の終了後は、図3に示すように、2回目の注入工程S 3が実施される。

20

【 0 0 5 6 】

（2回目の注入工程）

図4 Fは、図3に示す積層完了判定S 6の後の2回目の注入工程S 3の説明図である。2回目の注入工程S 3では、回転子鉄心2 1の下段の段部2 1 bに積層された上段の段部2 1 cの磁石挿入孔2 3に接着剤2 5を注入し、下段の段部2 1 bの磁石挿入孔2 3に配置された下段の永久磁石2 4の上端部の周囲に接着剤2 5を配置する。これにより、下段の段部2 1 bの磁石挿入孔2 3の上部と上段の段部2 1 cの磁石挿入孔2 3の底部とに接着剤2 5が配置される。

30

【 0 0 5 7 】

（2回目の充填工程）

図4 Gは、図3に示す積層完了判定S 6の後の2回目の充填工程の説明図である。2回目の充填工程S 4では、1回目の充填工程S 4と同様に、上段の段部2 1 bの接着剤2 5が注入された磁石挿入孔2 3に永久磁石2 4を挿入する。この段階では、1回目の充填工程S 4と同様に、下段の段部2 1 bの磁石挿入孔2 3に配置された永久磁石2 4の周囲、および、上段の段部2 1 cの磁石挿入孔2 3に配置された永久磁石2 4の周囲に接着剤2 5が十分に行き渡っていない。また、上段の永久磁石2 4の下端と下段の永久磁石2 4の上端との間には、比較的粘度の高い接着剤2 5が存在し、比較的大きな間隔が形成されている。

40

【 0 0 5 8 】

次に、1回目の充填工程S 4と同様に、永久磁石2 4を上段の段部2 1 cの磁石挿入孔2 3に押し込んで、接着剤2 5を上段と下段の永久磁石2 4の外表面に行き渡らせる。2回目の充填工程S 4の完了後は、図3に示すように、再度、挿入完了判定S 5および積層完了判定S 6を行い、所定の段数の段部2 1 cを積層させ（図4 Hを参照）、各段部2 1

50

c に注入工程 S 3 および充填工程 S 4 を実施する。

【 0 0 5 9 】

このように、本実施形態の回転電機の製造方法 S 1 0 0 では、積層工程 S 2 と注入工程 S 3 と充填工程 S 4 とを繰り返すことができる。これにより、所望の段数の段部 2 1 a , 2 1 b , 2 1 c を有する回転子鉄心 2 1 を製作することができる。なお、最上段の段部 2 1 c に対する接着剤 2 5 の注入量は、他の段部 2 1 a , 2 1 b に対する接着剤 2 5 の注入量よりも多くしてもよい。これにより、最上段の永久磁石 2 4 の外表面のより広い範囲を覆うことができるだけでなく、後述する遠心充填工程 S 7 によって、最下段の永久磁石 2 4 においても外表面のより広い範囲を覆うことが可能になる。

【 0 0 6 0 】

所定の回数の積層工程 S 2 が実施されて所定の段数の段部 2 1 a , 2 1 b , 2 1 c が積層され、各々の段部 2 1 a , 2 1 b , 2 1 c に注入工程 S 3 および充填工程 S 4 が実施され、積層完了判定 S 6 において所定の段数の段部 2 1 a , 2 1 b , 2 1 c が積層されたことが判定されると (Y E S)、図 3 に示すように、遠心充填工程 S 7 および硬化工程 S 8 が実施される。

【 0 0 6 1 】

(遠心充填工程および硬化工程)

図 4 H は、図 3 に示す硬化工程 S 8 および遠心充填工程 S 7 の説明図である。充填工程 S 4 の完了後、硬化工程 S 8 および遠心充填工程 S 7 の前に、複数の段部 2 1 a , 2 1 b , 2 1 c によって構成された回転子鉄心 2 1 にエンドリング 2 2 が接合され、最上段の段部 2 1 c の磁石挿入孔 2 3 の開口が閉鎖される。

【 0 0 6 2 】

遠心充填工程 S 7 は、充填工程 S 4 の終了後に、回転子鉄心 2 1 を軸周りに回転させて接着剤 2 5 を永久磁石 2 4 と回転子鉄心 2 1 との間に行き渡らせる工程である。硬化工程 S 8 は、たとえば熱硬化性樹脂からなる接着剤 2 5 を加熱したり、紫外線硬化性樹脂からなる接着剤 2 5 に紫外線を照射したりして、接着剤 2 5 を硬化させる工程である。

【 0 0 6 3 】

なお、硬化工程 S 8 は、遠心充填工程 S 7 の終了後に行ってもよいが、図 3 に示すように、遠心充填工程 S 7 と硬化工程 S 8 とを並行して行うことができる。これにより、接着剤 2 5 を永久磁石 2 4 と回転子鉄心 2 1 との間に行き渡らせながら硬化させることができ、アンバランス量を最小化することができる。また、2 つの工程を並行して行うことで、生産性を向上させることができる。遠心充填工程 S 7 および硬化工程 S 8 の終了後は、図 3 に示すように、調整工程 S 9 を実施する。

【 0 0 6 4 】

(調整工程)

調整工程 S 9 は、硬化工程 S 8 が終了した回転子 2 0 のバランス調整を行う工程である。具体的には、たとえば不図示のバランスウェイトを調整することで、回転子 2 0 のバランス調整を行うことができる。調整工程 S 9 の終了後は、図 3 に示すように着磁工程 S 1 0 を実施する。

【 0 0 6 5 】

(着磁工程)

着磁工程 S 1 0 は、永久磁石 2 4 の着磁を行う工程である。着磁工程 S 1 0 は、適宜の着磁装置によって行うことができる。なお、予め着磁した永久磁石 2 4 を用いる場合には、図 3 に示す着磁工程 S 1 0 を省略することができる。また、本実施形態の回転電機の製造方法 S 1 0 0 は、図 3 に示す各工程以外の工程については、公知の回転電機の製造方法と同様の工程を採用することができる。

【 0 0 6 6 】

以上説明したように、本実施形態の回転電機の製造方法 S 1 0 0 は、挿入工程 S 1 と、積層工程 S 2 と、注入工程 S 3 と、充填工程 S 4 とを有している。そのため、挿入工程 S 1 で、回転子鉄心 2 1 の最下段の段部 2 1 a の磁石挿入孔 2 3 に永久磁石 2 4 を配置し、

10

20

30

40

50

積層工程 S 2 で下段の段部 2 1 a の磁石挿入孔 2 3 の上部に上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 が配置される。

【 0 0 6 7 】

そして、注入工程 S 3 で、上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 の上方の開口から接着剤を注入し、下段の段部 2 1 a の磁石挿入孔 2 3 に挿入された永久磁石 2 4 の上端部の周囲に接着剤 2 5 を配置することができる。これにより、下段の段部 2 1 a の磁石挿入孔 2 3 の上方の開口に、回転子鉄心 2 1 の電磁鋼板間への浸透を抑制可能な比較的粘度の高い接着剤を注入した場合でも、上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 によって接着剤 2 5 の溢れを防止できる。

【 0 0 6 8 】

さらに、充填工程 S 4 で、永久磁石 2 4 を上段の段部 2 1 b の磁石挿入孔 2 3 に押し込んで、接着剤 2 5 を下段の段部 2 1 a の永久磁石 2 4 の外表面と、上段の段部 2 1 b の永久磁石 2 4 の外表面とに行き渡らせることができる。

【 0 0 6 9 】

したがって、本実施形態の回転電機の製造方法 S 1 0 0 によれば、回転子鉄心 2 1 に埋め込まれる永久磁石 2 4 の外表面のより広い範囲を接着剤 2 5 によって覆うことができ、回転子鉄心 2 1 の高速回転時に永久磁石 2 4 に作用する応力を緩和することができる。そのため、たとえば、ハイブリッド自動車や電気自動車等の車両に搭載される回転電機 1 0 0 の高速回転化および高出力化を可能にすることができる。

【 0 0 7 0 】

さらに、本実施形態の回転電機の製造方法 S 1 0 0 によれば、挿入工程 S 1 および積層工程 S 2 の後に、注入工程 S 3 および充填工程 S 4 を行うことで、固化前の接着剤 2 5 が回転子鉄心 2 1 に接触する時間を短縮することができる。これにより、回転子鉄心 2 1 を構成する電磁鋼板間への接着剤 2 5 の浸透を抑制することができる。

【 0 0 7 1 】

また、予め永久磁石 2 4 が挿入された下段の段部 2 1 a (2 1 b) の磁石挿入孔 2 3 に、上段の段部 2 1 b (2 1 c) の磁石挿入孔 2 3 を介して接着剤 2 5 を注入することで、接着剤 2 5 が溢れるのを防止することができる。したがって、上述のように比較的粘度の高い接着剤 2 5 を使用することができ、回転子鉄心 2 1 を構成する電磁鋼板間への接着剤 2 5 の浸透をより効果的に抑制することができる。

【 0 0 7 2 】

図 5 は、前述の実施形態に係る回転電機の製造方法 S 1 0 0 によって製造された回転電機 1 0 0 を搭載する四輪駆動を前提としたハイブリッド自動車のパワートレインの概略構成図である。

【 0 0 7 3 】

ハイブリッド自動車は、前輪側の主動力として、エンジン E N G と回転電機 1 0 0 を有する。前輪側の動力源である回転電機 1 0 0 は、エンジン E N G と変速機 T R の間に配置されている。エンジン E N G と回転電機 1 0 0 の動力は、変速機 T R により変速され、前輪側駆動輪 F W に動力を伝えられる。

【 0 0 7 4 】

後輪側の駆動力源である回転電機 1 0 0 は、前輪側の動力源である回転電機 1 0 0 と同様のものを用いることもできるし、他の一般的な構成の回転電機を用いることもできる。また、後輪の駆動においては、後輪側に配置された回転電機 1 0 0 と後輪側駆動輪 R W が機械的に接続され、回転電機 1 0 0 の動力が後輪側駆動輪 R W に伝達される。

【 0 0 7 5 】

回転電機 1 0 0 は、エンジン E N G の始動を行い、また、車両の走行状態に応じて、駆動力の発生と、車両減速時のエネルギーを電気エネルギーとして回収する発電力の発生を切り換える。回転電機 1 0 0 の駆動および発電動作は、車両の運転状況に合わせ、トルクおよび回転数が最適になるように電力変換装置 I N V により制御される。

【 0 0 7 6 】

10

20

30

40

50

回転電機 100 の駆動に必要な電力は、電力変換装置 I N V を介してバッテリー B A T から供給される。また、回転電機 100 が発電動作を行うときは、電力変換装置 I N V を介してバッテリー B A T に電気エネルギーが充電される。

【0077】

前述の本実施形態の回転電機の製造方法 S 100 によれば、このような車両に搭載される回転電機 100 において、渦電流を低減し、モータ効率を向上させ、高速回転化を可能にすることができる。なお、回転電機 100 は、四輪駆動式以外のハイブリッド方式の車両においても勿論適用可能である。

【0078】

以上、図面を用いて本発明の実施の形態を詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲における設計変更等があったとしても、それらは本発明に含まれるものである。

10

【0079】

たとえば、前述の実施形態に係る回転電機の製造方法においては、製造される回転機の固定子のコイルが波巻きの分布巻きである例について説明した。しかし、本発明に係る回転電機の製造方法は、回転子の製造方法に特徴を有するため、固定子の構成は特に限定されない。すなわち、固定子のコイルは、重ね巻方式や集中巻き方式でもよい。また、製造される回転電機が内転型である例について説明したが、外転型の回転電機を製造する場合にも、本発明に係る回転電機の製造方法を適用することができる。

【0080】

20

また、前述の実施形態に係る回転電機の製造方法によって製造される回転電機の適用例として、電気自動車やハイブリット電気自動車を例に挙げて説明した。しかし、前述の実施形態に係る回転電機の製造方法によって製造される回転電機は、オルタネータ、スタータジェネレータ（モータジェネレータ含む）、電動コンプレッサ用、電動ポンプ用等の自動車用補機モータは当然の事として、エレベータ用等の産業用、エアコン圧縮機等の家電用モータへの適用も可能である。

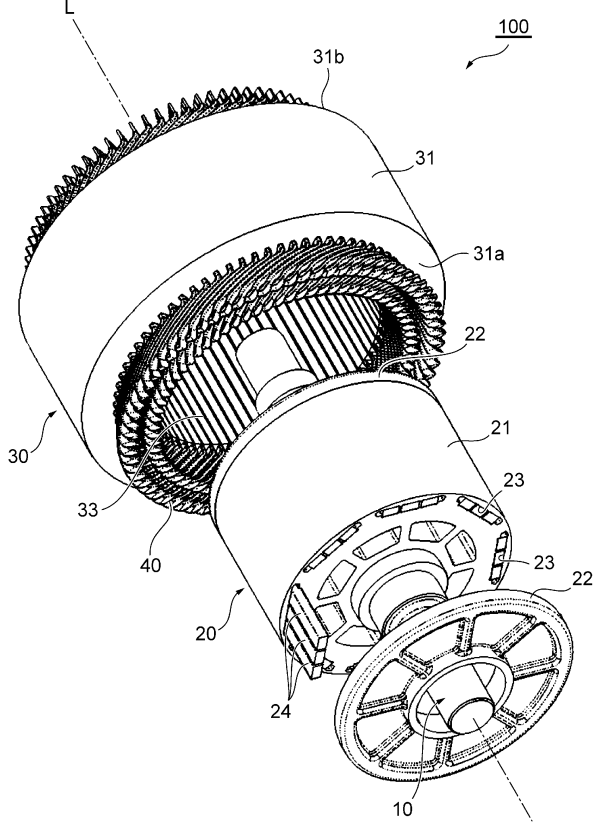
【符号の説明】

【0081】

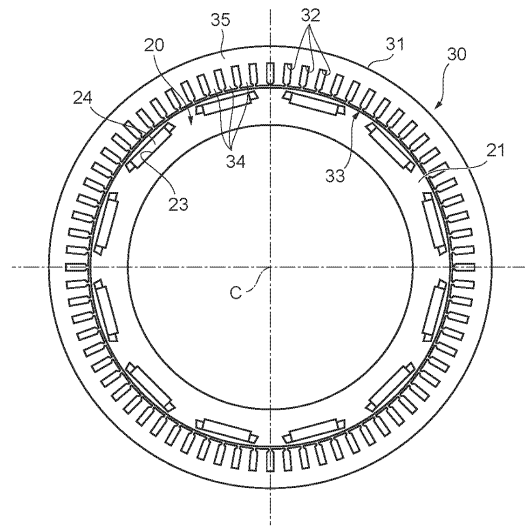
21 ... 回転子鉄心、21a ... 段部、21b ... 段部、21c ... 段部、22 ... エンドリング、23 ... 磁石挿入孔、24 ... 永久磁石、24b ... 後端面、25 ... 接着剤、25a ... 接着剤層、100 ... 回転電機、S1 ... 挿入工程、S2 ... 積層工程、S3 ... 注入工程、S4 ... 充填工程、S7 ... 遠心充填工程、S8 ... 硬化工程、S100 ... 回転電機の製造方法

30

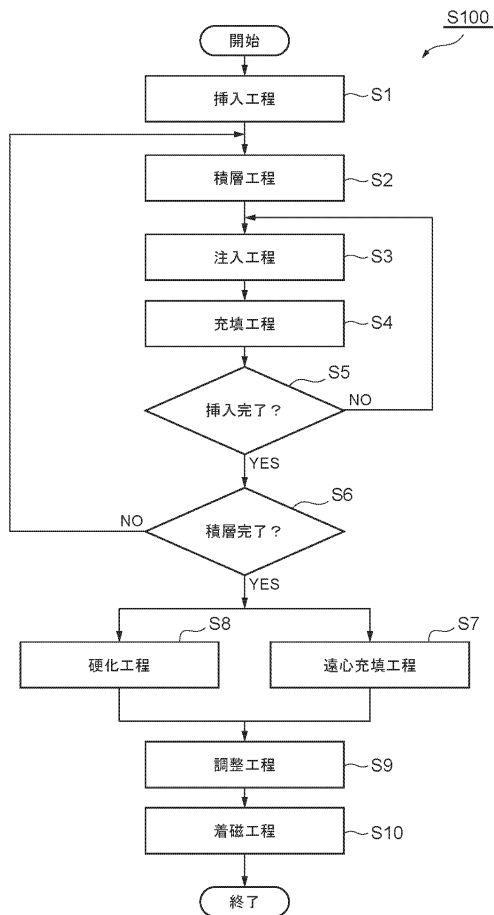
【図1】



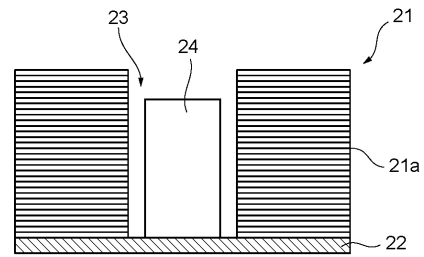
【図2】



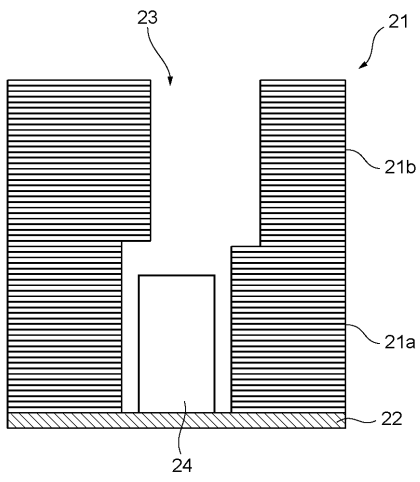
【図3】



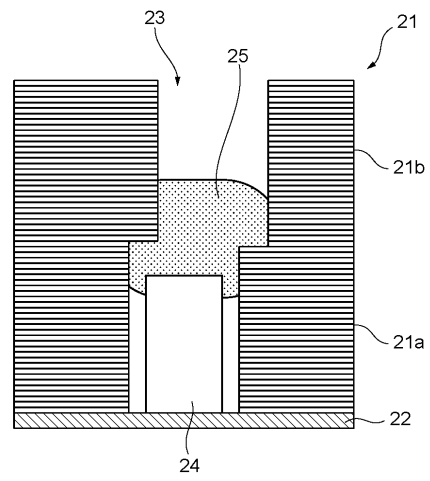
【図4 A】



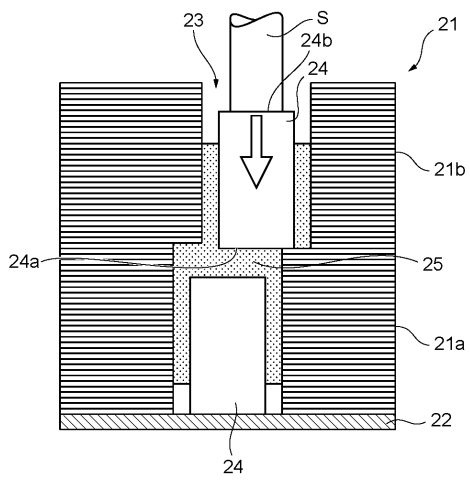
【図 4 B】



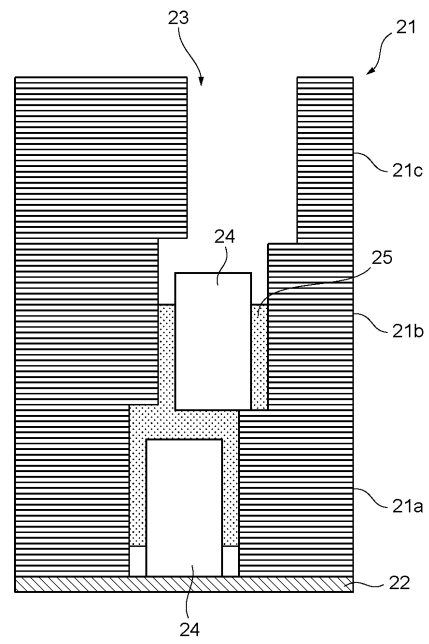
【図 4 C】



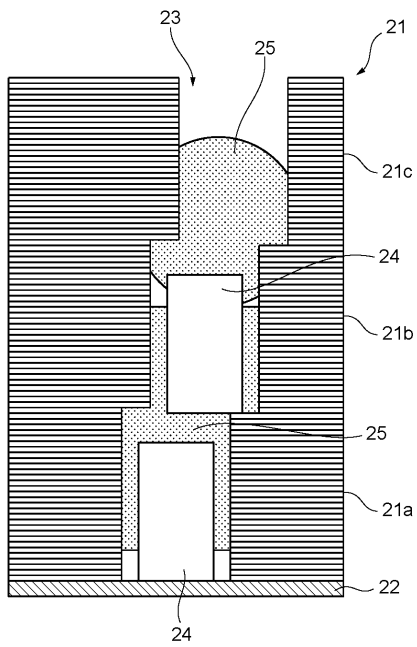
【図 4 D】



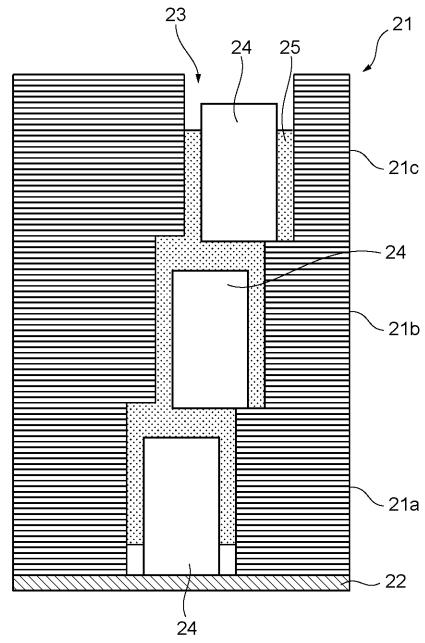
【図 4 E】



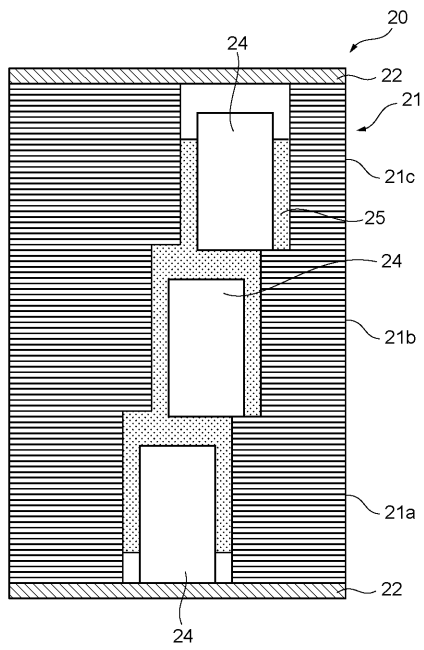
【図 4 F】



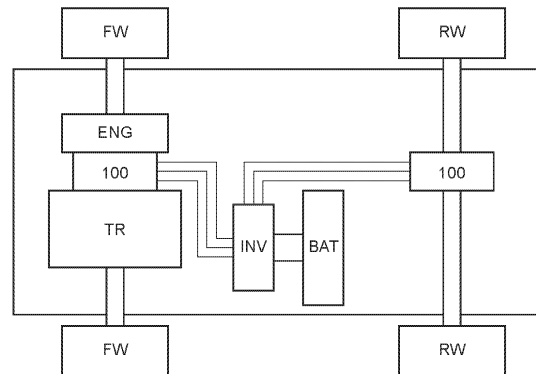
【図 4 G】



【図 4 H】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 北原 基男

茨城県ひたちなか市高場2520番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内

審査官 安池 一貴

(56)参考文献 特開平09-327140(JP,A)
特開2011-055641(JP,A)
特開2011-254619(JP,A)
特開2005-304247(JP,A)
特開2015-204693(JP,A)
特開2010-206853(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 1/27