

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7810974号
(P7810974)

(45)発行日 令和8年2月4日(2026. 2. 4)

(24)登録日 令和8年1月27日(2026. 1. 27)

(51)Int. Cl.

H O 2 K

1/2733

(2022. 01)

H O 2 K

15/035

(2025. 01)

H O 2 K

15/038

(2025. 01)

F I

H O 2 K

1/2733

H O 2 K

15/035

H O 2 K

15/038

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21)出願番号	特願2024-63020(P2024-63020)	(73)特許権者	713000630
(22)出願日	令和6年4月9日(2024. 4. 9)		マグネデザイン株式会社
(65)公開番号	特開2025-160046(P2025-160046A)		愛知県知多郡美浜町大字豊丘字北平井 2 番地 4
(43)公開日	令和7年10月22日(2025. 10. 22)	(72)発明者	本蔵 義信
審査請求日	令和7年6月5日(2025. 6. 5)		愛知県知多郡東浦町大字緒川字東仙台 3 3 番地の 1 0
早期審査対象出願		(72)発明者	本蔵 晋平
			愛知県知多郡東浦町大字緒川字東仙台 3 3 番地の 1 0
		審査官	中里 翔平
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ブラシレス S P Mモータおよびその回転子の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

固定子と回転子とからなるブラシレス S P Mモータにおいて、
前記回転子は、円筒状の回転子本体と前記回転子本体の外表面部に固定されたリング磁石と円筒状の中心軸に固定される回転軸とを備えてなり、
前記回転子本体は、磁氣的に動径方向に等方的な磁気特性を有する磁性材料で、外周部は波型またはローレット形状の凹凸、およびギザギザ状の 0 . 5 ～ 1 0 μ m の細かな凹凸を有し、その上に金属接着剤の樹脂層を有してなり、
前記リング磁石は、前記回転子本体の外周面に、円弧状に 1 0 ～ 2 5 M G O e 以上の最大エネルギー積を有する射出成形タイプの希土類異方性ボンド磁石からなり、前記磁性材料に外接して固定されており、かつ、N 極と S 極が交互に配置された 4 極以上の偶数個よりなる磁極を有し、
前記希土類異方性ボンド磁石の前記磁極は軸対称的に擬極異方性に着磁されて表面の磁束分布密度は正弦関数特性を有し、
前記回転子の形状・サイズは、外径の直径は 4 0 m m 以下で長さは 6 0 m m 以下からなり、
前記回転子と前記固定子の隙間は 0 . 3 m m 以下からなり、
前記回転子の回転数は、1 6 万 R P M 以上の回転速度で回転して、前記ブラシレス S P Mモータは 4 0 W ～ 1 0 0 0 W の出力を有することを特徴とするブラシレス S P Mモータ

【請求項 2】

固定子と回転子とからなるブラシレス S P M モータにおいて、
前記回転子は、円筒状の回転子本体と前記回転子本体の外表面部に固定されたリング磁石と円筒状の中心軸に固定される回転軸とを備えてなり、
前記回転子本体は、磁氣的に動径方向に等方的な磁気特性を有する磁性材料で、外周部に軸対称的に延伸する磁極数と同じ数の溝を有し、かつ前記溝の上部には波型またはローレット形状の凹凸、およびギザギザ状の $0.5 \sim 10 \mu\text{m}$ の細かな凹凸を有し、その上に金属接着剤の樹脂層を有してなり、
前記リング磁石は、前記回転子本体の外周面に、円弧状に $10 \sim 25 \text{ MGOe}$ 以上の最大エネルギー積を有する射出成形タイプの希土類異方性ボンド磁石からなり、前記磁性材料に外接して固定されており、かつ、N 極と S 極が交互に配置された 4 極以上の偶数個よりなる磁極を有し、
前記希土類異方性ボンド磁石の前記磁極は軸対称的に擬極異方性に着磁されて表面の磁束分布密度は正弦関数特性を有し、
前記回転子の形状・サイズは、外径の直径は 40 mm 以下で長さは 60 mm 以下からなり、
前記回転子と前記固定子の隙間は 0.3 mm 以下からなり、
前記回転子の回転数は、 16 万 RPM 以上の回転速度で回転して、前記ブラシレス S P M モータは $40 \text{ W} \sim 1000 \text{ W}$ の出力を有することを特徴とするブラシレス S P M モータ。

10

20

【請求項 3】

固定子と回転子とからなるブラシレス S P M モータの回転子の製造方法において、
(1) 磁氣的に動径方向に磁気特性を有する磁性材料の丸棒を準備し、
(2) 前記丸棒は、熱処理を施した後に機械加工またはプレス加工により円筒形状の部品とし、
(3) 前記円筒形状の部品の外周部に、軸対称的に延伸する磁極数と同じ数の溝を形成し、
(4) 前記溝が形成された前記円筒形状の部品の表面に、波型加工またはローレット加工を施し、
(5) 波型加工面またはローレット加工面の表面に、ショットブラスト加工により $0.5 \sim 10 \mu\text{m}$ のギザギザ状の細かな凹凸を形成し、
(6) 希土類異方性ボンド磁石の射出成形は、異方性着磁タイプの射出成形金型を準備し、金型温度および射出温度は $100 \sim 150^\circ\text{C}$ 、成形圧力は $50 \sim 150 \text{ MPa}$ 、射出速度は $50 \sim 150 \text{ cm}^3/\text{sec}$ とし、さらに形成されるリング磁石部に 1 T 以上の極異方性磁界を印可して、射出成形時に前記磁性材料を擬極異方的に配向させると同時に擬極異方的に飽和着磁し、
(7) 次いで、前記射出成形金型から取り出す、
ことを特徴とする回転子の製造方法。

30

【請求項 4】

請求項 3 において、(5) の次工程に、
(5-1) 前記細かな凹凸の上に、金属接着剤で樹脂層を形成する、
ことを特徴とする回転子の製造方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、リング状の希土類異方性ボンド磁石を回転子の外周部に固定した表面磁石同期機（以下、S P M モータという。）、その回転子および回転子の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

電動機（発電機を含めて単に「モータ」という。）には種々のタイプがある。最近では

50

、インバータ制御の発達と高磁気特性の希土類磁石の普及に伴い、省電力で高効率であり高トルクまたは高出力が望めるブラシレスモータが注目されている。

【0003】

ブラシレスモータは、永久磁石を回転子の表面に配設した表面磁石型モータ（SPM）と、永久磁石を回転子の内部に埋め込んだ埋込磁石型モータ（IPM）とに大別される。SPMモータは制御性に優れており、主に小型モータに使用されている。IPMは、大きな出力が得やすく、主に動力用途向けのパワーモータに使用されている。

【0004】

優れた制御性が要求されるロボット用小型モータは、スイスのMaxon社の製品が広く使用されているが、その50%以上の小型、軽量および高出力化及び低価格化が求められている。そのために、高速回転化による小型・軽量化・高出力が取り組まれ、最近6万RPM回転から10万RPM回転モータの開発に成功している。しかし、さらなる高速回転化の試みはNd焼結磁石の使用という大きな技術的壁に直面している。

10

【0005】

この問題を解決するために、特許文献1に、極異方性希土類ボンド磁石と永久磁石モータについて開示している。この発明によれば、希土類磁石粉末としてはNd-Fe-B系磁石粉末より配向磁場の良好なSm-Fe-N系磁石粉末を採用し、最大エネルギー積は3~14MGOeである。

その製造方法として、金型温度80℃で射出成形してリング状磁石を製造し、N極とS極と交互に配置された8極よりなる磁極を有し、各磁極は図6に示すように磁性材料を介さずに極異方性に着磁したものである。

20

しかし、特許文献1に開示された発明は、磁力が弱いうえに、12万RPM回転以上ではその遠心力のためにリング磁石は破損してしまうという欠点があった。

【0006】

特許文献2において、擬極異方性配向によって回転運動中の磁石と回転子表面の間に生じる応力集中を抑制し、かつ磁石と回転子表面との密着強度を高めることで上記リング破損問題を解消している。さらに、特許文献3では、特許文献2に記載の対策に加えて、磁石体を分割することでも上記リング破損問題を解消できることを開示している。

【0007】

しかし、特許文献2および特許文献3は、回転子は薄板形状のステンレス磁石円板を積層して製作しており、積層ステンレス磁石体は断面上において一軸異方性を有しており、動径方向に等方的でない。磁極を擬極異方性に着磁した場合、4つの磁極の磁化状態に非対称性が現れてコギングトルク問題が発生してくる。かつ、磁石体と回転子本体の表面の特定箇所に偏在的に応力が発生し、回転速度を16万RPM以上に増加した場合には、破損しやすくなるという問題があった。

30

【0008】

本発明は、上記Maxon社のNd焼結磁石の発熱問題や、特許文献1の発明の遠心力問題、特許文献2と特許文献3のコギングトルク問題を解決して、現行品の50%以上の小型・軽量化を実現した発明である。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2000-195714号公報

【特許文献2】特許第7426569号公報

【特許文献3】特許第7394428号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

広く普及しロボット用小型モータの標準品は、Maxon社のそれである。大きな力を得るために2極に着磁したNd焼結磁石を回転子に内に取り付け、それを6万RPM回転か

50

ら10万RPM回転使用して、小型・高出力モータを実現している（図8、図9）。これ以上、高速化を図り性能アップを図る取り組みは、Nd焼結磁石の発熱問題が生じて困難である。

【0011】

希土類ボンド磁石は、12万RPM回転以上の高速回転をしても発熱は生じないが、磁力が小さいので、単純にNd焼結磁石に置きかえて小型化することは困難である。

しかも、Nd焼結磁石を回転子に取り付ける際に、形状の不均一や重さバランス不良で機械的非対称や磁石が作る磁界分布に同軸度の不均一性が生じると、モータの回転中にコギングトルクや振動が生じやすくなる。

【0012】

しかも、高速回転は大きな遠心力が表面に貼り付けた磁石に働くことになるが、同軸度の不均一性が存在すると、特定の箇所に応力が集中し、その部分から剥離が始まり、そこを起点にリング磁石が疲労破壊することになる。単純に発熱しない希土類ボンド磁石に置き換えても、それだけでは高速回転モータの設計をすることはできない。

【0013】

発明者らは、小型のブラシモータにおいて、磁極を2極から4極に増やし、回転数を従来の3000回転RPMを6000RPMと倍増させて、75%の小型・軽量化に成功した実績を有する（図10）。

かつ、2極ラジアル配向したフェライト磁石から圧縮成形タイプの希土類リング磁石にして、それを擬極異方着磁して、発生する磁界分布を正弦波形にすることで、滑らかな回転を実現した。

この設計は、磁石エネルギーは1/2で、モータ重量を1/4にすることができおり、単位磁石エネルギー当たりで8倍の性能が実現できたことを意味していた。

【0014】

この経験は、Nd焼結磁石を希土類ボンド磁石に置き換えて、つまり性能の劣る磁石に置き換えて使用する磁石エネルギー量が小さくなったとしても、モータの構造設計により8倍の性能改善を引き出せば、モータの50%小形化・軽量化は十分可能であることを示唆している。

【0015】

本発明はこのような事情に鑑みて為されたものであり、磁石に射出成形タイプの希土類磁石を採用し、それを擬極異方性着磁することで、SPMモータの回転子の同軸度の向上を図り、かつ磁石の磁力の低下を2極の磁極数を4極に増やし、モータ回転数を12万RPM回転以上にすることで、50%の小型・軽量化が実現すること、および磁性材料を介した擬極異方性着磁によって遠心力問題が解決できるのではとの考えに立って開発したものである。

ここで、擬極異方性とは、リング磁石の磁極と磁性材料が一体となって異方性に飽和着磁され、リング磁石と回転子の磁性材料とが強く結合し、遠心力に対抗する力を生じさせる効果があると同時に回転子のリング磁石から発する磁界が正弦波形となっている（図6）。

【課題を解決するための手段】

【0016】

発明者らは、まず16万RPM回転以上の高速回転を可能にすることが重要と考えて、優れた同軸度を有する回転子を製作することを検討した。そのために、射出成形タイプの希土類異方性ボンド磁石に着目した。精度高く製作した円筒状の回転体部品を射出成形用の精密金型に取り付けて、その隙間に射出成形技術でボンド磁石を成形する。こうすることで、形状的かつ重量バランス的に極めて同軸度の高い回転子を製作することができることに思い至った。

【0017】

しかも磁気的には、回転子本体の磁性材料に動径方向に等方的に磁気特性を有する磁性材料を採用し、リング磁石の磁極をその材料を介した擬極異方性着磁し、かつ対称的にする

10

20

30

40

50

ことによって遠心力問題が解決することを見出した。これにより擬極異方性着磁された磁極の強さが対称的になり、表面の磁束密度分布は正弦関数となる。モータのコギングトルクを抑制し振動発生を抑制することができる。そのために、射出成形時に使用する擬極異方性金型を製作して磁場中射出成形を行なった。

等方的な磁気特性を有する磁性材料は、磁性材料の熱処理品や引き抜き加工品や冷間プレス品がある。熱処理品は全方向等方的であり、当然動径方向にも等方的である引抜加工品や冷間プレス品は、軸方向異方性を持つが動径方向は等方的である。

【0018】

次に磁極の数を2極から4極と増加させて、磁力の低下を補うことにした。さらに、回転子の磁石の外周面と固定子の電磁石の内周側面の隙間を、従来品であるMaxon社の1.5mm程度を0.3mm以下と小さくすることにした。これは回転子の優れた同軸度によって初めて可能になるものである。なお6極と増加させると更なる小型化が可能になる。

10

【0019】

以上、射出成形タイプの希土類異方性ボンド磁石の採用、磁極の極異方性化、磁極数の2極から4極以上に増加、回転子と固定子の間の隙間を0.3mm以下、さらに回転子の回転数を16万RPM回転以上と、これらの要因を組み合わせることで、広く普及しているMaxon社の小型モータの50%以上の小型化が可能になることを見いだした。

【0020】

設計・試作上の最大の問題は、大きな遠心力にリング磁石が耐えうるか、またリング磁石と回転子本体部品との密着強度が耐えうるかという問題である。同軸度のわずかなずれやモータの回転振動は磁石と回転子の接合面の特定の箇所に応力集中点を発生させ、そこを起点クラックが発生しリング磁石が破損に至るという問題である。一般的対策として、リング磁石の表面に非磁性の飛散防止カバーを設置して外から圧力を付加して遠心力による破損を防止する方策がとられている。これでは磁石と固定子間の隙間が大きくなって十分な小型化が実現できない。

20

【0021】

本発明は、磁石と回転子本体の磁性材料と間に働く接着剤の結合力に加えて、擬極異方性着磁することによる磁石と回転子本体の磁性材料と間に働く磁氣的結合力を強化して、遠心力によるリング磁石の飛散を防いだものである。

30

【0022】

そこで、先ず、回転子本体の外周部に軸対称的に延伸する磁極数と同じ数の溝を取り付けて射出成形磁石を取り付けることにした。射出成形磁石の凸部が回転子表面の凹部に食い込むことで回転中の磁石の周り止めとなる。両者の界面に働く応力は遠心力と回転力との合力で、回転力をこの周り止めで吸収することにより、界面に働く応力を低減する。

【0023】

次に、回転子本体の外周部は、波型やローレット形状の凹凸で接着表面積を増加させ、さらにギザギザ状の0.5～10μmの微細な凹凸をつけて、その上に金属接着剤で樹脂層を形成することによってリング磁石と回転子本体の外周部とを強固に固定することにした。

40

【0024】

さらに、磁極は磁石体と磁性材料とを一体的な擬極異方性着磁することで両者の間に働く大きな磁力を活用して、両者の結合力を強化した。これらの対策により、遠心力問題を回避できることを見出した。言い換えれば、リング磁石の表面に非磁性の飛散防止用ケースを設置することなく高速回転を可能にした。

【0025】

磁石と回転子との接合強度を改善することにより、特許文献2および特許文献3に開示されているモータに比べて、モータの回転数を12万RPM以上から16万RPM以上へと大きくして、モータ体格を外径20mm以下と長さ40mm以下、モータ出力20W～40Wを、外径40mm以下と長さ80mm以下、モータ出力100W～1000Wにする

50

ことができた。

【0026】

本発明とNd焼結磁石を使用しているこれまでのモータとを比較すると、一番の違いはNd焼結磁石タイプでは10万RPM回転が限界であるが、本発明は16万～24万RPM回転が可能で、50%小形軽量化の潜在力がある点である。

これは、焼結磁石には大きな鉄損（過電流損とヒステリシス損）が生じ、また発熱して磁石特性が劣化してしまう問題が生じていたが、ボンド磁石は各磁石粒子が絶縁体であるバインダ樹脂で絶縁された状態になっているため、生じる鉄損は非常に小さいためである。

【0027】

さらに、Nd焼結磁石に比べて希土類ボンド磁石は磁力が劣る問題については、回転数を16万RPM以上、磁極数を4極以上と増加する対策に加えて、固定子との間隔0.3mm以下として、磁極を擬異方性着磁するなどの磁気回路を工夫することによりこの問題を解消した。これら総合的対策の結果、モータ全体が50%以上の小型軽量化を実現できることを見出した。

【0028】

回転子の加工コストという点で比較すると、Nd焼結磁石を利用したこれまでの方式は、Nd焼結磁石を内包する収納場所を保有する回転子本体の加工、さらに焼結磁石を装着し接着する組立工程、および同軸度を調整する工程など非常に高価であった。

【0029】

本発明の回転子本体は丸棒からの切削加工またはプレス加工によって製造することができて安価であり、そこに射出成形タイプ希土類磁石を一体成形するだけで回転子が完成するという極めて単純な工程で、製造コストは1/5程度と大幅なコストダウンが可能になる。

【0030】

同時に、表面に薄く磁石を形成するだけなので、Nd磁石の使用量が、Maxson社のモータに比べて1/4程度に減少する。またNd焼結磁石は円筒上に機械加工する段階で加工くずが生じて希少で高価な希土類元素を無駄にする結果となっていた。射出成形タイプ磁石は、磁石粉末を利用するので歩留はほぼ100%と非常に優れており、Nd資源の浪費を回避することができる。

【0031】

本発明であるSPMモータは、上述した回転子とその外周に軸対称的に配設されたコイルとそのコイルの外周側で磁気回路を構成するヨークとを有する固定子とからなっている。電磁コイルは、適宜、ヨークはコイル内にあるティースを含む場合、ティースがない場合を選択することができる。

【0032】

SPMモータは、基本的に、回転子に設けた永久磁石により形成される磁極と固定子により回転子の外周囲に形成される回転磁界とで生じる吸引力および反発力に基づいて回転力（マグネットトルク）を生じる。SPMモータの回転速度は、励磁周波数で制御できる回転磁界の周波数で制御できるので、SPMモータは負荷荷重に左右されず、非常に制御性の優れたモータである。

【0033】

磁極の擬極異方性着磁の製造方法は、異方性着磁タイプの射出成形金型を製作する。射出成形条件は、金型温度および射出温度100～150℃、成形圧力50～150MPa、射出速度：50～150cm³/sとする。ここで配向磁場は、1T以上とする。さらにリング磁石部に1T以上の極異方性磁界を印可して、射出成形時に磁性材料を擬極異方的に配向させると同時に飽和着磁する。

【0034】

通常異方性ボンド磁石を飽和着磁するためには、3Tの磁界が必要であるが、射出成形温度が100℃以上あるので、磁石の保磁力は0.7T以下に減少し、1Tの磁界強さで磁石粉末を飽和着磁することができ、飽和着磁した磁石粉末を磁束線に沿って配向させるこ

10

20

30

40

50

とができる。しかも磁石粉末は飽和着磁されているので、温度が下がったとき、飽和状態は維持されており、飽和着磁された擬極異方性磁石が製造できる。つまり射出成形の着磁工程は省略できる。

【発明の効果】

【0035】

本発明により、汎用小型SPMモータに対して、50%の小型軽量化が実現できる。同時に回転子の製造コストを1/5程度に低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】本発明の第1実施例であるSPMモータの断面図である。

10

【図2】本発明の回転子に取り付けた軸方向から見た4極磁石の断面図である。

【図3】本発明の回転子の側面から見た断面図である。

【図4】本発明に使用する磁性材料よりなる凹部を有する回転子の断面図である。

【図5】一軸異方性のステンレス磁石の積層板回転子にて、(5a)一軸異方性を示し、(5b)N極とS極とで表面磁束密度が異なるため正弦波形でない波形を示す図である。

【図6】本発明の動径方向に等方的な磁気特性を有する磁性材料性の回転子にて、(6a)動径方向に等方性を示し、(6b)正弦波形である波形を示す図である。

【図7】既存SPMモータ製品と本発明の外観写真の比較である。

【図8】従来のリング状の極異方性ボンド磁石の磁界とNS極を示した平面図である。

【図9】Nd焼結タイプの回転子の軸方向から見た(a)磁石の断面図と(b)磁石の斜視図である。

20

【図10】Nd焼結タイプの回転子の側面から見た断面図である。

【図11】ブラシモータを75%小形軽量化した時の両モータの外観写真の比較である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0037】

ブラシレスSPMモータは、

前記回転子は、円筒状の回転子本体と前記回転子本体の外表面部に固定されたリング磁石と円筒状の中心軸に固定される回転軸とを備えてなり、

前記回転子本体は、磁氣的に動径方向に等方的な磁気特性を有する磁性材料で、外周部は波型またはローレット形状の凹凸、およびギザギザ状の0.5～10μmの細かな凹凸を有し、その上に金属接着剤の樹脂層を有してなり、

30

前記リング磁石は、前記回転子本体の外周面に、円弧状に10～25MGOe以上の最大エネルギー積を有する射出成形タイプの希土類異方性ボンド磁石からなり、前記磁性材料に外接して固定されており、かつ、N極とS極が交互に配置された4極以上の偶数個よりなる磁極を有し、

前記希土類異方性ボンド磁石の前記磁極は軸対称的に擬極異方性に着磁されて表面の磁束分布密度は正弦関数特性を有し、

前記回転子の形状・サイズは、外径の直径は40mm以下で長さは60mm以下からなり、

前記回転子と前記固定子の隙間は0.3mm以下からなり、

40

前記回転子の回転数は、16万RPM以上の回転速度で回転して、前記ブラシレスSPMモータは40W～1000Wの出力を有することを特徴とする。

【0038】

また、ブラシレスSPMモータは、

前記回転子は、円筒状の回転子本体と前記回転子本体の外表面部に固定されたリング磁石と円筒状の中心軸に固定される回転軸とを備えてなり、

前記回転子本体は、磁氣的に動径方向に等方的な磁気特性を有する磁性材料で、外周部に軸対称的に延伸する磁極数と同じ数の溝を有し、かつ前記溝の上部には波型またはローレット形状の凹凸、およびギザギザ状の0.5～10μmの細かな凹凸を有し、その上に金属接着剤の樹脂層を有してなり、

50

前記リング磁石は、前記回転子本体の外周面に、円弧状に10～25MGOe以上の最大エネルギー積を有する射出成形タイプの希土類異方性ボンド磁石からなり、前記磁性材料に外接して固定されており、かつ、N極とS極が交互に配置された4極以上の偶数個よりなる磁極を有し、

前記希土類異方性ボンド磁石の前記磁極は軸対称的に擬極異方性に着磁されて表面の磁束分布密度は正弦関数特性を有し、

前記回転子の形状・サイズは、外径の直径は40mm以下で長さは60mm以下からなり、

前記回転子と前記固定子の隙間は0.3mm以下からなり、

前記回転子の回転数は、16万RPM以上の回転速度で回転して、前記ブラシレスSPMモータは40W～1000Wの出力を有することを特徴とする。

10

【0039】

ブラシレスSPMモータの回転子の製造方法は、

(1) 磁氣的に動径方向に磁気特性を有する磁性材料の丸棒を準備し、

(2) 前記丸棒は、熱処理を施した後に機械加工またはプレス加工により円筒形状の部品とし、

(3) 前記円筒形状の部品の外周部に、軸対称的に延伸する磁極数と同じ数の溝を形成し、

(4) 前記溝が形成された前記円筒形状の部品の表面に、波型加工またはローレット加工を施し、

20

(5) 波型加工面またはローレット加工面の表面に、ショットブラスト加工により0.5～10μmのギザギザ状の細かな凹凸を形成し、

(6) 希土類異方性ボンド磁石の射出成形は、異方性着磁タイプの射出成形金型を準備し、金型温度および射出温度は100～150℃、成形圧力は50～150MPa、射出速度は50～150cm³/secとし、さらに形成されるリング磁石部に1T以上の極異方性磁界を印可して、射出成形時に前記磁性材料を擬極異方的に配向させると同時に擬極異方的に飽和着磁し、

(7) 次いで、前記射出成形金型から取り出す、ことを特徴とする。

【0040】

30

また、SPMモータの回転子の製造方法は、

(5)の次工程に、

(5-1) 前記細かな凹凸の上に、金属接着剤で樹脂層を形成する、

ことを特徴とする。

【0041】

以下に図1～図7を用いて詳細に説明する。

<ブラシレスSPMモータ>

ブラシレスSPMモータ1は、図1に示すように、回転子2と固定子3と回転軸4より構成される。

回転子2について以下に説明する。

40

【0042】

<回転子>

回転子2は、図2および図3に示すように、回転子本体21、希土類異方性ボンド磁石22(22N、22S)、回転軸23からなる。

【0043】

<回転子本体>

回転子本体21は、動径方向に等方的な磁気特性を有する磁性材料からなり、形状は、中心部に回転軸取り付け用の穴を有する円筒である。これにより4個以上の磁極を擬極異方性着磁した場合、すべての磁極が発する磁界分布を同じとすることができる。

【0044】

50

外周面には、図4に示すように、軸対称的に延伸する4個以上よりなる溝部（凹部）を有する。溝の数は磁極数と同数とする。回転子本体の外周部は、波型またはローレット形状の凹凸、およびギザギザ上の $0.5 \sim 10 \mu\text{m}$ の細かな凹凸とし、その上に金属接着剤で樹脂層を形成する。外周部のこれらの加工は、前記リング磁石と前記回転子本体の外周部とを強固に固定するためである。

【0045】

さらに、磁極は磁石体と磁性材料とを一体的な疑極異方性着磁することで両者の間に働く大きな磁力を活用して、両者の結合力を強化した。これらの対策により、遠心力問題を回避できることを見出した。言い換えれば、リング磁石の表面に非磁性の飛散防止用ケースを設置することなく高速回転を可能にした。

10

【0046】

回転子本体の製造については、磁性材料の丸棒から、熱処理後に機械加工またはプレス加工をして所定の円筒形状とする。つぎに円周面を研磨してから、極数と同じだけの溝加工をする。溝深さと幅は磁石厚みの $1/3$ 以下とする。表面に波型加工またはローレット加工を施してからショットブラスト加工をして $0.5 \sim 10 \mu\text{m}$ の細かなギザギザの凹凸を付ける。さらにその上に金属接着剤で樹脂層を形成する。これは、磁石と回転子表面の接合強度を高めるための表面処理である。

【0047】

回転子の半径は、回転子と固定子との空隙を 0.3 mm 以下にするために、加工誤差は $\pm 0.010 \text{ mm}$ 以下にすることが好ましい。

20

【0048】

<希土類異方性ボンド磁石>

射出成形タイプの希土類異方性ボンド磁石（磁気異方性希土類ボンド磁石）は、最大エネルギー積はできるだけ優れたものが好ましいが、 $10 \text{ MGOe} \sim 25 \text{ MGOe}$ を有しているものを採用することによって本発明は実現できる。

40 MGOe 以上の最大エネルギー積を有するNd焼結磁石と比べると磁力性能は大きく劣っているが、回転子の表面磁石の磁極数を少なくとも4極以上とし、それは交互にN極とS極に着磁されており、磁性材料を介して疑極異方性的に飽和着磁する

【0049】

しかもこれらの磁石は射出成形工程で成形され、寸法精度は極めて優れているうえに、本体の回転中心軸周りに対称に配置されており、固定子と回転子の間隙を 0.3 mm 以下に制御することができる。また磁石は疑極異方性に着磁されており、反磁界が小さく比較的大きな磁束を引き出すことができる。

30

【0050】

これによって、Nd焼結磁石よりは磁石単体の性能は劣るが、モータの磁気回路としては同等以上の磁束量を引き出すことができている。

【0051】

磁性材料が、ステンレス磁石の積層板のように断面において一軸異方性を有すると、疑極異方性着磁をした場合、図5に示すように、4つの極から発する磁界分布が異なって来る。本発明は図6に示すように、動径方向に等方的な磁性材料を使用するので、4つの極が発する磁界分布は同じとなる。これはモータのコギングを低減する上で重要である。

40

【0052】

<磁石の形状とサイズ>

磁石の具体的形状とサイズは、つまり、磁石の外周直径と厚みおよびその長さは、SPMモータの出力とモータサイズなどの基本仕様等に応じて、しかもその回転数と遠心力を考慮して適宜調整される。

モータ出力は $100 \text{ W} \sim 1000 \text{ W}$ までであるが、回転子は直径 $8 \text{ mm} \sim 32 \text{ mm}$ 、内径 $5 \text{ mm} \sim 20 \text{ mm}$ 、長さ $5 \text{ mm} \sim 20 \text{ mm}$ 、磁石使用量 $0.8 \text{ g} \sim 6 \text{ g}$ で実現できる。

【0053】

<磁石と回転子本体の接合強度>

50

遠心力に対する磁石と回転子本体の接合強度については、モータ出力や回転数を考慮して、接着剤の結合強度と擬極異方性着磁による磁気結合力の両方をより強化する必要がある。より大きな接着剤の結合力が必要な場合には、回転子本体の外周面をショットブラストにて粗度を $0.5\text{ }\mu\text{m}\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ とし、その上に金属接着剤を塗布して回転子の表面を樹脂で覆い、そこに射出成形磁石の樹脂とが樹脂同士で接合し、大きな接合強度を確保することができる。

【0054】

さらに、遠心力を考慮して接合強度を強化が必要な場合、回転子本体の外表面に波型加工やローレット加工を施すことによって、磁石との接合表面積を増加させて、接合強度を大きくすることが可能である。

【0055】

表面磁石の接合強度については、破損するか否かは、磁石の形状、重量や磁気特性の様な出来栄え、回転子の同軸度、接合強度などによって決まるので実際に20万回転の回転速度試験機を取り付けて評価し、リング磁石が破損しないことを確認した。

【0056】

<コスト>

コストについては、回転子本体の磁性材料で製作するコストと、回転軸を回転子本体の中心の穴に装着することと、さらに外周部に希土類ボンド磁石を射出工程で形成するコストからなっている。

コストがかかる複雑な構造の部品がないことと精密組立工程が不要、しかも着磁工程が省略できること、さらに高価な希土類使用量が4g以下と少ないことなどから、従来製品の回転子の製造コストの1/5以下の製作コストで製造できると考えられる。

【0057】

<モータ諸元>

出力100W～1000W、回転子の回転数は16万RPM以上、磁石の重量は4g以下、磁極数は4極以上、固定子側の電磁石の数は6極以上である。なお固定子側の電磁石のヨークは、ティース付きであってもなくてもよい。

【実施例】

【0058】

<第1実施例>

100W出力モータの例である。

ブラシレスSPMモータの回転子の本体は、磁性材料の丸棒素材から機械加工で略円筒状リング部品を製作した。

【0059】

射出成形タイプの異方性希土類ボンド磁石は、回転子本体の外周に円弧状に形成され、最大エネルギー積18MGOeのものを採用した。

希土類異方性ボンド磁石の射出成形の条件は、金型温度および射出温度は130℃、成形圧力は100MPa、射出速度は $90\text{ cm}^3/\text{sec}$ である。リング磁石部に1T以上の極異方性磁界を印加して、射出成型時に前記磁性材料を極異方的に配向させると同時に飽和着磁した。

【0060】

回転子の表面磁石の磁極数を4極とし、溝部を境目に交互にN極とS極に着磁し、かつ擬極異方性的に飽和着磁をした。しかもこれらの磁石は射出成形工程で成形され、寸法精度は極めて優れているうえに、本体の回転中心軸周りに対称に配置されており、固定子と回転子の間隙を0.2mmとした。

【0061】

磁石の具体的形状とサイズは、回転子は直径11mm、内径7mm、磁石の厚みは2mm、長さ7.5mm、磁石使用量1gとした。

【0062】

モータの回転数は20万RPM回転で、遠心力に対する磁石と回転子本体の接合強度につ

10

20

30

40

50

いては、モータ出力や回転数を考慮して、回転子本体の外周面をローレット加工してからショットブラストにて粗度を平均 $3\text{ }\mu\text{m}$ とし、その上に金属接着剤を塗布して回転子の表面を樹脂で覆い、そこに射出成形磁石の樹脂とが樹脂同士で接合し、大きな接合強度を確保することができるようにした。

【0063】

表面磁石の接合強度については、実際に20万回転の回転速度試験機を取り付けて評価した結果、実験に供した10個の回転子のすべてが20万回転で破損せずに合格した。

【0064】

コストについては、回転子本体の磁性材料から製作するコスト30円と、回転軸を回転子本体の中心の穴に装着するコスト40円、さらに外周部に希土類ボンド磁石を射出工程で形成するコスト80円、さらに高価な希土類使用量が1.1gで、50円で、合計200円と従来製品の回転子の推定製造コスト2000円に対しての1/10程度の製作コストで製造できると考えられる。

【0065】

本発明品のモータ諸元は、出力100W、モータサイズは直径18mm、長さは30mm、重量50g、回転子の回転数は20万RPM、磁石の重量は1g以下、磁極数は4極、固定子側の電磁石の数は6極である。なお固定子側の電磁石のヨークにはティースはない。

【0066】

Maxon社の100Wモータは、モータサイズは直径19mm、長さは30mm、重量は100g、回転子の回転数は6万RPM回転、磁石の重量は4.3g、磁極数は2極、固定子側の電磁石の数は3極である。発明品は、50%小形・軽量化を実現し、かつ大幅なコストダウンに成功していることが分かる。

【産業上の利用可能性】

【0067】

ロボット用小型モータの使用量は急激に増加しているが、同時に小型軽量化および低コスト化が求められている。本発明は従来品の50%小形化・軽量化を可能にし、製造コストも大幅に低減することができる発明で、今後各種ロボットに幅広い応用が期待される。

【符号の説明】

【0068】

1：ブラシレスSPMモータ

2：回転子

21：回転子本体

22：希土類異方性ボンド磁石（希土類ボンド磁石、磁石）

22N：希土類ボンド磁石のN極

22S：希土類ボンド磁石のS極

23：回転軸

24：溝部（凹部）

3：固定子

4：回転軸

5：一軸異方性のステンレス磁石製の回転子の磁界分布

51：一軸異方性

52：磁束の流れ

6：等方性磁性材料の磁界分布

61：等方性

7：特許文献1の磁石の極異方性の着磁パターン

8：Nd焼結磁石の回転子

81：ケース

82：焼結磁石

82N：焼結磁石のN極

10

20

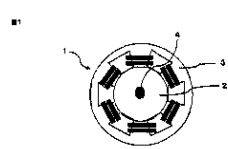
30

40

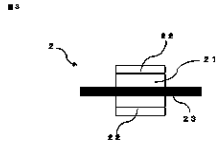
50

8 2 S：焼結磁石のS極
8 3：シャフト

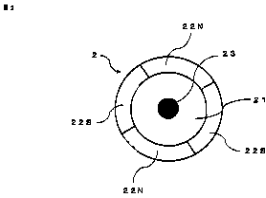
【図 1】



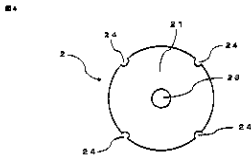
【図 3】



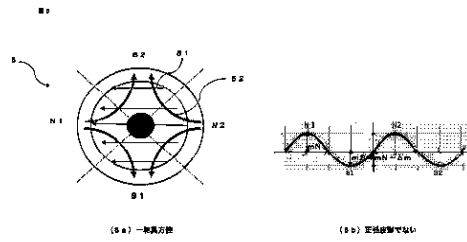
【図 2】



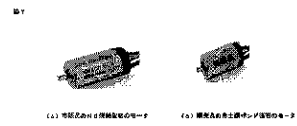
【図 4】



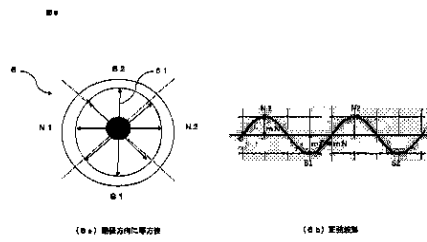
【図 5】



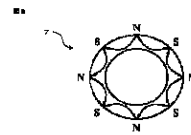
【図 7】



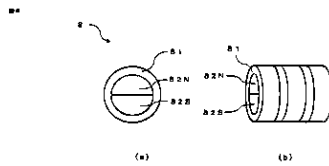
【図 6】



【図 8】



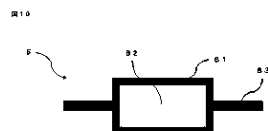
【図 9】



【図 1 1】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特許第7426569 (JP, B1)

特開2010-239818 (JP, A)

特表2020-513189 (JP, A)

特開2004-140957 (JP, A)

特開2011-030334 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 1/27- 1/2798

H02K 15/03-15/038

H02K 1/17