

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6706487号
(P6706487)

(45) 発行日 令和2年6月10日(2020.6.10)

(24) 登録日 令和2年5月20日(2020.5.20)

(51) Int. Cl.	F 1				
HO2K 1/27 (2006.01)	HO2K	1/27	5O1M		
HO2K 15/03 (2006.01)	HO2K	1/27	5O1Z		
HO1F 1/04 (2006.01)	HO2K	15/03	C		
HO1F 1/057 (2006.01)	HO1F	1/04			
HO1F 1/08 (2006.01)	HO1F	1/057	17O		
請求項の数 4 (全 20 頁) 最終頁に続く					

(21) 出願番号	特願2015-226577 (P2015-226577)	(73) 特許権者	000003964
(22) 出願日	平成27年11月19日(2015.11.19)		日東電工株式会社
(65) 公開番号	特開2017-99071 (P2017-99071A)		大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号
(43) 公開日	平成29年6月1日(2017.6.1)	(74) 代理人	100086771
審査請求日	平成30年9月21日(2018.9.21)		弁理士 西島 孝喜
		(74) 代理人	100088694
			弁理士 弟子丸 健
		(74) 代理人	100094569
			弁理士 田中 伸一郎
		(74) 代理人	100067013
			弁理士 大塚 文昭
		(74) 代理人	100109070
			弁理士 須田 洋之
		(74) 代理人	100109335
			弁理士 上杉 浩
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 希土類永久磁石をもった回転子を備える回転電機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

希土類永久磁石の複数個が、回転子コアの円形外面上に、所定角度の端面間隔で配置された回転子を備える回転電機であって、

前記希土類永久磁石の各々は、

第1の曲率半径を有する半径方向外側円弧状表面と、前記第1の曲率半径より小さい第2の曲率半径で前記外側円弧状表面と同心の円弧形状を有する半径方向内側円弧状表面と、前記円弧形状の円中心から延びる仮想半径線に沿った半径方向面である第1の端面及び第2の端面と、からなる形状の横断面を有し、該横断面に対して直角方向の軸方向長さを有する立体形状の、希土類物質を含む磁石材料粒子の一体焼結構造からなり、

前記外側及び内側円弧状表面の各々は、前記第1及び第2の端面のそれぞれを規定する2つの前記仮想半径線のなす角度範囲2 に対応する周方向長さを有し、

前記磁石材料は、その磁化容易軸が、

前記円中心と前記外側円弧状表面の周方向中心点とを結ぶ中心半径線上では、該中心半径線に沿って半径方向外向きに配向され、

前記第1及び第2の端面から角度範囲 までの領域として定義される端部領域を除く中央領域2 (1 -) においては、前記中心半径線から角度 の位置にある任意の半径線上の位置で、該任意の半径線に対して半径方向外向きの方向から前記中心半径線の方向に角度 だけ変位した方向に配向され、

前記端部領域では、前記角度 よりも5 ° 以上半径方向外向きに変位した方向に配向さ

れており、

前記は、 $0.1 < d < 0.6$ であり、

前記角度は、式 $\theta = (90^\circ - d) \cdot \frac{1}{n}$ で定められる角度であり、

d は $0^\circ < d < 5^\circ$ の範囲内の角度に定められる定数である

希土類磁石形成用焼結体に着磁したものであり、

前記端面間隔の前記所定角度は、前記 d の2倍の角度 $2d$ である

ことを特徴とする回転電機。

【請求項2】

請求項1に記載した回転電機であって、

前記希土類磁石形成用焼結体の前記端部領域における前記磁石材料の磁化容易軸の配向方向は、

式 $\theta = (1 - \frac{1}{n}) \cdot (90^\circ - d)$

で定められる方向であることを特徴とする回転電機。

【請求項3】

請求項1に記載した回転電機であって、

前記希土類磁石形成用焼結体の前記端部領域における前記磁石材料の磁化容易軸は、

式 $\theta = (1 - \frac{1}{n}) \cdot (90^\circ - d) - (\frac{1}{m} / (\frac{1}{n} - 1 + \frac{1}{m})) \cdot (90^\circ - d)$

で定められる方向に配向されており、前記 d は $0 < d < (1 - \frac{1}{n}) \cdot (90^\circ - d)$ の範囲内の定数であることを特徴とする回転電機。

【請求項4】

請求項1に記載した回転電機であって、

前記希土類磁石形成用焼結体の前記端部領域における前記磁石材料の磁化容易軸は、

式 $\theta = (90^\circ - d) \cdot \frac{1}{n} - m \cdot (\frac{1}{n} / (1 - \frac{1}{n} + \frac{1}{m}))^n$

で定められる方向に配向されており、 m は $0 < m < 1$ の範囲内の定数であり、 n は $1 < n < 2$ の範囲内の定数であり、 d は $0.2 < d < 0.9$ の範囲内の定数である

ことを特徴とする回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、希土類物質を含む磁石材料粒子の一体焼結構造からなる希土類磁石形成用焼結体、及び該希土類磁石形成用焼結体に着磁した希土類永久磁石に関する。本発明はまた、希土類磁石形成用焼結体に着磁した希土類永久磁石の複数個が、回転子コアの円形外面上に、所定の端面間隔で配置された回転子を備える電動機又は発電機のような回転電機に関する。特に、本発明は、表面磁石配列の回転子を有する回転電機に使用され、極異方性リング磁石を構成するのに適した希土類永久磁石、及びそのような希土類永久磁石を形成するための希土類磁石形成用焼結体に関する。

【背景技術】

【0002】

極異方性リング磁石は、該磁石を形成する磁石材料粒子の磁化方向が回転角とともに連続的に変化するように構成して、好ましくは正弦波形状の表面磁束分布を達成するようにした磁石であり、磁石材料粒子として希土類物質を含む合金材料粒子を使用した極異方性リング磁石が、例えば、特開2000-195714号公報（特許文献1）及び特開2000-269062号公報（特許文献2）に開示されている。特許文献1に開示された希土類磁石は、希土類磁石材料粒子が樹脂材料により結合されたボンド磁石であり、特許文献2に開示された磁石は焼結磁石である。

【0003】

この種の極異方性リング磁石において、コギングトルクを小さくすることが意図された磁石構造が、特開2004-207430号公報（特許文献3）に開示されている。この特許文献3の記載によれば、希土類物質を含む磁石材料であるNdFeB系材料を使用する磁石では、磁石材料粒子の磁化容易軸を配向させる配向工程及び磁石材料粒子を焼結す

10

20

30

40

50

る焼結工程において、配向ばらつきと熱膨張係数の異方性を生じ、その結果、焼結後の磁化容易軸の配向が分散される、という問題がある。特許文献3では、この問題に対処するため、磁石材料粒子の配向工程において、磁石材料粒子の磁化容易軸の配向方向がリング磁石の半径方向になる極位置に印加される磁界の強さを高くして、リング磁石の極位置と、これに隣接する極位置との間の角度のばらつきが10%以下であることを提唱している。

【0004】

特開2004-208341号公報(特許文献4)は、この種の極異方性リング磁石の代わりに、コギングトルクを低減させるために、複数の磁石片をリング状もしくは間隔をあけて回転子表面に配置させ、構成要素である磁石片の各々における、回転電機の固定子 10 に向けられる面を、回転子の周面の曲率より大きい曲率の弧状の横断面形状とし、該磁石片の厚みが周方向中央部から端部方向に向けて減少する構成とすることを提唱している。この特許文献4に記載された磁石は、弧状の表面が、ほぼ直線状に形成される固定子ティースの面に対向するように配置されるもので、回転子側の磁石と固定子側のティースとの間の間隙を不均等にし、磁石片の周方向両端部近傍における表面磁束を減少させることにより、コギングトルクの減少を図るものである。この構成は、固定子と回転子との間の間隙を大きくすることを必要とし、磁石効率が低下する、という欠点が予想される。

【0005】

国際公開WO2012/090841号(特許文献5)は、円弧状横断面を有する柱状の希土類焼結磁石を複数個、円柱状に配置した構造の磁石において、磁石材料粒子の磁化 20 容易軸の配向制御により極異方性の表面磁束分布を達成することを教示している。この特許文献5の教示は、各々の円弧状横断面の柱状磁石において、磁石材料粒子の磁化容易軸の配向を、円周方向の端面では該端面に対して垂直方向とし、半径方向外側の円弧状面の周方向中央部では半径方向とし、中間部では該端面における配向方向から該中央部における配向方向まで連続的な曲線に沿った方向とすることにより、複数個の柱状磁石を円柱状に配置した磁石において極異方性配向を実現するものである。特開2002-134314号公報(特許文献6)及び特開2005-044820号公報(特許文献7)にも、同様な配向制御をした円弧状断面の柱状磁石が開示されている。

【0006】

特許文献5及び6に記載されたような、複数個の円弧状横断面の柱状磁石を円柱状に配 30 置した構成では、柱状磁石の円周方向端面間に必然的に生じる端面間隙のために、該端面間隙位置において、表面磁束分布が正弦波形状から大きく外れることになり、その結果、コギングトルクの減少は十分には達成できない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2000-195714号公報

【特許文献2】特開2000-269062号公報

【特許文献3】特開2004-207430号公報

【特許文献4】特開2004-208341号公報

【特許文献5】国際公開WO2012/090841号

【特許文献6】特開2002-134314号公報

【特許文献7】特開2005-044820号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、特許文献5及び6に記載されたような、複数個の円弧状横断面の柱状磁石を円柱状に配置した構成において、柱状磁石の円周方向端面間に必然的に生じる端面間隙 40 のために、該端面間隙位置において、表面磁束分布が正弦波形状から大きく外れることになる、という問題に着目して、その問題を解決することができる円弧状断面柱状磁石を 50

提供することを主目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、回転電機の回転子の周面に、端面間隙を介して周方向に並んで配置されて、極異方リング磁石を形成する円弧状横断面の複数の柱状磁石において、個々の柱状磁石の周方向両端部における所定の領域での磁化方向を、所定の極異方配向から所定角度だけずらすことにより、周方向両端部の表面磁束の分布形状を正弦波に近づけるようにするものである。本発明は、このような正弦波形状の表面磁束分布を達成することができる希土類永久磁石を形成するための、希土類磁石形成用焼結体、及び該焼結体に着磁した希土類永久磁石を提供するものである。

10

【0010】

すなわち、本発明による希土類磁石形成用焼結体は、第1の曲率半径を有する半径方向外側円弧状表面と、該第1の曲率半径より小さい第2の曲率半径で該外側円弧状表面と同心の円弧形状を有する半径方向内側円弧状表面と、該円弧形状の円中心から延びる仮想半径線に沿った半径方向面である第1の端面及び第2の端面と、からなる形状の横断面を有し、該横断面に対して直角方向の軸方向長さを有する立体形状の、希土類物質を含む磁石材料粒子の一体焼結構造からなる。この焼結体構造において、外側及び内側円弧状表面の各々は、該第1及び第2の端面のそれぞれを規定する2つの仮想半径線のなす角度範囲2

に対応する周方向長さを有する。さらに、磁石材料は、その磁化容易軸が、上記の円中心と外側円弧状表面の周方向中心点とを結ぶ中心半径線上では、該中心半径線に沿って半径方向外向きに配向され、第1及び第2の端面から角度範囲 までの領域として定義される端部領域を除く中央領域 $2(1 -)$ においては、該中心半径線から角度 の位置にある任意の半径線上の位置で、該任意の半径線に対して半径方向外向きの方向から該中心半径線の方向に角度 だけ変位した方向に配向され、端部領域では、角度 よりも 5° 以上半径方向外向きに変位した方向に配向される。この場合、 は、 0.1 から 0.6 であり、角度 は、式 $= (90^\circ - d) \cdot /$ で定められる角度である。ここで、 d は $0^\circ < d \leq 5^\circ$ の範囲内の角度に定められる定数である。

20

【0011】

上記した希土類磁石形成用焼結体の一態様において、端部領域における前記磁石材料の磁化容易軸の配向方向は、 $= (1 -) \cdot (90^\circ - d)$ とすることができる。別の態様においては、端部領域における磁石材料の磁化容易軸は、式 $= (1 -) \cdot (90^\circ - d) - (/ (\cdot)) \cdot (- (1 -) \cdot)$ で定められる方向に配向される。ここで、 は $0 < (1 -) \cdot (90^\circ - d)$ の範囲内の定数である。

30

【0012】

さらに、本発明の他の態様による希土類磁石形成用焼結体は、端部領域における磁石材料の磁化容易軸が、

式 $= (90^\circ - d) \cdot / - m \cdot (/ - 1 +)^n$

で定められる方向に配向されており、ここで、 m は $0 < m$ の範囲内の定数であり、 n は $1 < n$ の範囲内の定数であり、 は 0.2 から 0.9 の範囲内の定数である。

40

【0013】

本発明はまた、上述した態様の構成を有する希土類磁石形成用焼結体に着磁した希土類永久磁石を提供する。さらに本発明は、回転子コアの円形外周面上に、上述の希土類永久磁石を複数個、周方向に並べて配置した回転子を備える回転電機を提供する。さらに、本発明は、希土類磁石形成用焼結体に着磁した希土類永久磁石の複数個が、回転子コアの円形外周面上に、角度 d の2倍の端面間隔で配置された回転子を備える回転電機を提供する。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、希土類磁石形成用焼結体の端部領域における磁石材料の磁化容易軸の

50

配向を、極異方配向からずらして上述のように配向させることにより、該焼結体に着磁して得られる磁石を端面間隔を介してリング状に配置した場合においても、該端面間隔の近傍における磁束分布を正弦波に近づけることができる。そのため、この磁石を使用する回転電機におけるコギングトルクを減少させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1(a)】極異方リング磁石を構成するセグメント磁石における磁化方向を示すセグメント磁石の横断面図である。

【図1(b)】図1(a)に示すセグメント磁石における磁化方向と周方向中心からの円筒座標との関係を示す図表である。

10

【図2】周方向に隣接する2つのセグメント磁石間に形成される間隙を示す拡大断面図である。

【図3(a)】複数の円弧状セグメント磁石を周方向に配列した極異方リング磁石において得られる、ほぼ正弦波形状の磁束分布を示す図表である。

【図3(b)】周方向に隣接する2つのセグメント磁石間の極間領域に形成される間隙の近傍における磁束分布を拡大して示す図表である。

【図4】本発明の一実施形態による極異方リング磁石を形成するためのセグメント磁石における磁化方向を示す図1(a)と同様なセグメント磁石の横断面図である。

【図5】図4に示す本発明の実施形態によるセグメント磁石における磁化方向と周方向中心からの円筒座標との関係を示す図表である。

20

【図6】本発明の他の実施形態によるセグメント磁石における磁化方向と周方向中心からの円筒座標との関係を示す図表である。

【図7】本発明のさらに別の実施形態によるセグメント磁石における磁化方向と周方向中心からの円筒座標との関係を示す図表である。

【図8】本発明の実施形態による永久磁石形成用焼結体の製造工程を示す概略図であり、(a)ないし(d)はグリーンシート形成までの各段階を示す。

【図9】本発明の第一の実施形態による磁石材料粒子の磁化容易軸配向処理を示す加工用シート片の断面図であり、(a)は磁場印加時のシート片の断面形状を示し、(b)は磁場印加後に変形処理を施された焼結処理用シート片の断面形状を示し、(c)は成形後の端部切断工程を示す。

30

【図10】(a)は本発明の第二の実施形態による磁石材料粒子の磁化容易軸配向処理を示す加工用シート片の断面図であり、(b)は本発明の第三の実施形態による磁石材料粒子の磁化容易軸配向処理を示す加工用シート片の断面図である。

【図11】仮焼処理における好ましい昇温速度を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0016】

図1(a)(b)に、6極の極異方リング磁石を構成するためのセグメント磁石1における磁化方向を示す。セグメント磁石1は、点Oに曲率中心を有する円弧形状であり、極異方リング磁石の1極分に相当する角度範囲 $2\theta_1$ にほぼ対応する角度範囲 $2\theta_1$ により定められる周長と所定の厚みとを有する。図示の1極分に相当するセグメント磁石1に対し、円周方向に隣接して次の1極分に相当するセグメント磁石2が配置される。隣接する2つのセグメント磁石1、2は、隣接する周方向の端面1a、2aが互いに向き合うように配列されるが、これら対向配置される2つの端面1a、2a間には、角度間隔 $2d$ の間隙gが形成される。

40

【0017】

図2に、端面1a、2a間の間隙gを拡大して示す。図2において、符号3は電動モータのような回転電機の回転子を、符号4は固定子をそれぞれ示しており、各セグメント磁石1、2は回転子3の周面上に配置される。このように、複数のセグメント磁石の配置においては、それぞれの間角度間隔 $2d$ の間隙gが不可避免的に形成されるようになるため、各セグメント磁石における1極分の角度範囲 $2\theta_1$ は、該セグメント磁石の周長を定める

50

角度範囲 2 に、各端における間隙 g の角度範囲 2 d の 1 / 2 を加えた値となり、 $2 = 2 + 2 d$ で表される。そして、セグメント磁石 1 の外周面における周方向中心点 A とセグメント磁石 1 の円弧の曲率中心である点 O とを結ぶ半径線を中心半径線 R c とし、該中心半径線 R c から各端の方向に角度 だけ変位した半径線 R c () 上に位置する、セグメント磁石の各点における磁化方向が該半径線 R c () となす角度を とするとき、極異方リング磁石においては、該磁石を形成するセグメント磁石 1 の磁化方向は、式

$$() = (/ 2) \cdot \dots (1)$$

で表されるものとなる。式 (1) において、「 」は、2 極分のセグメント磁石が形成する周期的磁束分布を一周期としたときの半周期分に相当する角度を表すもので、該一周期の角度表示を 360 ° として角度で表示する場合には、「 」は半周期の 180 ° を表すものとなる。したがって、式 (1) は、

$$() = (90 \text{ °} /) \cdot \dots (1)$$

と書くこともできる。ここで、磁化方向を表す角度 は、半径線 R c () に対し時計回りを正、反時計回りを負とし、角度 は中心半径線 R c からの角度で、反時計回りを正とする。角度 が 0 であることは、磁化方向が半径方向であることを表し、 / 2 又は 90 ° であることは、磁化方向が周方向であることを表す。式 (1) で表される角度、 の関係を、横軸に / を、縦軸に をとって図 1 (b) に示す。式 (1) 及び図 1 (b) から分かるように、角度 と角度 は、線形関係を有する。この磁化方向を「極異方向」と呼ぶ。

【 0 0 1 8 】

図 1 (a) において、セグメント磁石 1 に周方向に隣接するセグメント磁石 2 も、周方向の各位置 における磁化方向 は、式 (1) により定められるが、磁束ベクトルは、セグメント磁石 1 における磁束ベクトルとは逆極性になる。その結果、極異方性リング磁石により、図 3 (a) に示すような正弦波形状の一周期分の磁束分布が得られることになる。しかしながら、複数の円弧状セグメント磁石を周方向にリング状に配列して形成される極異方リング磁石においては、上述したように、隣接する 2 つのセグメント磁石 1、2 間に間隙 g が形成されるため、この間隙 g に対応する極間領域で、磁束分布が正弦波形状から大きく外れるようになる。

【 0 0 1 9 】

図 3 (b) は、図 2 に示すような、セグメント磁石の周方向端部における端面の角部が 4 分円形状の断面を有するモデル化された間隙の形状について計算により求めた、図 3 (a) に符号 B で示す極間領域における磁束分布を表す図表であり、横軸の目盛を拡張して示してある。図 3 (b) から分かるように、複数の円弧状セグメント磁石を周方向にリング状に配列して形成される極異方リング磁石では、極間領域に間隙 g が不可避免的に形成されるため、該間隙 g に対応する領域において、磁束分布が正弦波形状から大きく外れるようになる。

【 0 0 2 0 】

本発明においては、該極間領域における磁化方向を補正することにより、磁束分布のずれを大幅に軽減するか、或いは解消する。以下、本発明の実施形態を、図を参照して詳細に説明する。

〔 第一の実施形態 〕

【 0 0 2 1 】

図 4 に、6 極の極異方リング磁石を形成するための、本発明の第一の実施形態によるセグメント磁石 1 1 が示されている。このセグメント磁石 1 1 は、その基本的形状が、図 1 (a) に示すセグメント磁石 1 と同一で、点 O に曲率中心を有する円弧形状であり、6 極の極異方リング磁石における 1 極分に相当する角度範囲 2 の周長にわたって配置されるものである。セグメント磁石 1 1 は、周方向に隣接するセグメント磁石 1 2 との間に前述した角度 2 d に相当する間隙 g が形成されるため、図 1 (a) を参照して前述したように、セグメント磁石 1 1 の周長は、1 極分に相当する角度範囲 2 より角度範囲 2 d だけ小さい角度範囲 2 となる。

10

20

30

40

50

【0022】

本実施形態では、セグメント磁石11は、各端の端面11aから周方向内方に向かって角度範囲にわたる範囲が端部領域13とされており、残りの部分が中央領域14とされる。中央領域14においては、図1(a)に示すセグメント磁石1におけると同様に、磁化方向は、式(1)で表される「極異方配向」である。しかしながら、本実施形態では、極間領域における磁化方向を補正するために、端部領域13における磁化方向を、

$$\theta = (\alpha / 2) \cdot \cos^n [(\alpha / 2) - 1 + \beta] \dots (2)$$

又は、

$$\theta = (90^\circ / \alpha) \cdot \cos^n [(\alpha / 2) - 1 + \beta] \dots (2)$$

とする。式(2)において、右辺の第2項は修正項である。ここで、「 β 」は、端部領域13を定める半径線13aと間隙gの2等分半径線Rgとの間の角度範囲を「 β 」として表示した係数「 β 」である。図4において、 $[(90^\circ - d) / 90^\circ] = \cos \beta$ 、 $1 - \cos \beta = [(90^\circ - d) / 90^\circ] (1 - \cos \beta)$ であるから、式(2)は、下記のように表すことができる。

$$\theta = [(90^\circ - d) / 90^\circ] \cos^n [(\alpha / 2) - 1 + \beta] \dots (3)$$

【0023】

ここで、dは90°に比べて極めて小さい値であるので、上記の式(3)の右辺第2項における $[(90^\circ - d) / 90^\circ]^n$ を「1」にほぼ等しいとして取り扱うと、式(2)は下記のように表されることになる。

$$\theta = [(90^\circ - d) / 90^\circ] \cos^n [(\alpha / 2) - 1 + \beta] \dots (4)$$

【0024】

本実施形態では、式(4)において、mを $(\alpha / 2) - d$ すなわち $90^\circ - d$ とし、nを1とする。その結果、端部領域13における磁化方向 θ は、下記の式で表されるものとなる。

$$\theta = (1 - \cos \beta) (90^\circ - d) \dots (5)$$

【0025】

端部領域13における磁化方向が式(5)に基づいて定められる本実施形態によるセグメント磁石11における角度 θ 、 β の関係、横軸に β を、縦軸に θ をとって示すと図5のようになる。図5から分かるように、本実施形態のセグメント磁石11においては、端部領域13における磁化方向角度は、角度 β に関係なく一定である。

【0026】

このセグメント磁石11は、希土類物質を含む磁石材料粒子を焼結することによって製造される。製造の過程で、セグメント磁石の形状に成形された磁石材料粒子の成形体に外部磁界を印加して、該磁石材料粒子の磁化容易軸を、セグメント磁石における磁化方向に対応する方向に指向させ、焼結を行うことにより、本発明の実施形態である、磁石材料粒子の磁化容易軸が所定の方向に指向された、希土類磁石形成用焼結体を得られる。さらに、この希土類磁石形成用焼結体に外部磁界を印加することにより、上述した磁化方向を有する希土類永久磁石を得られる。このようにして形成された円弧形状の希土類永久磁石は、回転電機の回転子の周面にリング状に配置されてリング磁石を構成する。

[第二の実施形態]

【0027】

本実施形態は、上記式(4)において、mを $(\alpha / 2) - d + \gamma$ 、nを1とすること以外は、実施形態1と全く同じである。ここに、 γ は任意に定められる定数である。この場合、端部領域13における磁化方向 θ は、下記の式で表されるものとなる。

$$\theta = (1 - \cos \beta) (90^\circ - d) - [\gamma - (1 - \cos \beta)] (\alpha / 2) \dots (6)$$

【0028】

10

20

30

40

50

端部領域 13 における磁化方向が式 (6) に基づいて定められる本実施形態によるセグメント磁石 11 における角度 θ の関係は、横軸に θ を、縦軸に d をとって示すと図 6 のようになる。図 6 から分かるように、本実施形態のセグメント磁石 11 においては、端部領域 13 における磁化方向角度は、角度 d の絶対値の増加に反比例して直線的に減少する。

【0029】

なお、 d は $0 < d < (1 - \cos \theta) \cdot (90^\circ - d)$ の範囲内の定数であり、例えば、 10° ないし 70° の範囲に設定することができる。

[第三の実施形態]

【0030】

本実施形態は、上記式 (4) において、 $m > 1$ 、 $n > 1$ の任意に定められる定数とすること以外は、実施形態 1 及び実施形態 2 と全く同じである。この場合、端部領域 13 における磁化方向 θ は、下記の式で表されるものとなる。

$$\theta = (90^\circ - d) / m \left[\left(\frac{d}{\cos \theta} \right) - (1 - \cos \theta) \right]^n \cdots (7)$$

【0031】

端部領域 13 における磁化方向が式 (7) に基づいて定められる本実施形態によるセグメント磁石 11 における角度 θ の関係は、横軸に θ を、縦軸に d をとって示すと図 7 のようになる。図 7 から分かるように、本実施形態のセグメント磁石 11 においては、端部領域 13 における磁化方向角度は、角度 d に応じてべき乗則に基づき変化するものとなる。

【0032】

また、 d が式 (7) に基づいてべき乗則で変化する領域においても、極異方配向からのずれがほとんど無い領域がある。この領域では実質、極異方配向とみなす事ができ、中央領域 14 に含むことができる。極異方配向からずれた配向となる端部領域 13 を定義すると区別するために、式 (7) は下記の式のように表す。

$$\theta = (90^\circ - d) / m \left[\left(\frac{d}{\cos \theta} \right) - (1 - \cos \theta) \right]^n \cdots (8)$$

なお、 d は $0.2 < d < 0.9$ の範囲の定数であり、 n は 1 より大きい数であれば特に限定されず、例えば、2 ないし 10 の範囲に設定することができる。また、 m は 1 より大きい数であれば特に限定されず、例えば、100 ないし 5000 の範囲に設定することができる。

【実施例】

【0033】

実施形態 1、2 及び 3 に基づくセグメント磁石 11 を、回転子の週面にリング状に配置した回転電機について、セグメント磁石間の間隙 g を変えた場合の実施例 1 ないし 3、及び極数を変えた場合の実施例 4 ないし 7 について、セグメント磁石間隙部近傍における表面磁束歪み率を計算により求めた。その結果を表 1 に示す。表 1 から分かるように、実施形態 1 より実施形態 2、実施形態 2 より実施形態 3 の方が、高い歪み率減少効果を示しているが、いずれの実施形態も、従来技術に比べると、優れた歪み率減少効果を達成することができる。表 1 の結果から、本発明において、セグメント磁石間の間隙 g の角度値 $2d$ における d は、5 以下であることが必要で、より好ましくは 3 以下である。

10

20

30

40

【表 1】

表面磁束ひずみ率

実施例	極数	磁石間隙 g [mm]	従来技術	実施形態 1	実施形態 2	実施形態 3	間隙 g による理論配向角差 d
					改良案①	改良案②	[°]
1	6	1	8.68%	2.90%	1.45%	1.05%	1.4°
2	6	2	13.40%	5.65%	2.47%	1.42%	2.9°
3	6	3	16.91%	7.24%	2.39%	1.92%	4.3°
4	8	1	9.95%	2.69%	1.81%	1.09%	1.9°
5	10	1	10.99%	2.81%	1.97%	1.38%	2.4°
6	12	1	11.84%	2.99%	2.10%	1.60%	2.9°
7	14	1	12.46%	2.28%	2.26%	1.65%	3.3°

10

〔希土類磁石形成用焼結体の製造〕

【0034】

以下、本発明による希土類磁石形成用焼結体を製造する方法の実施例を説明する。

20

まず、図 4 及び図 5 に示す第一の実施形態による希土類磁石形成用焼結体 1 の製造方法について図 8 を参照して説明する。図 8 は、第一の実施形態に係る永久磁石形成用焼結体 1 の製造工程を示す概略図である。

【0035】

まず、所定分率の Nd - Fe - B 系合金からなる磁石材料のインゴットを鑄造法により製造する。代表的には、ネオジム磁石に使用される Nd - Fe - B 系合金は、Nd が 30 wt %、電解鉄であることが好ましい Fe が 67 wt %、B が 1.0 wt % の割合で含まれる組成を有する。次いで、このインゴットを、スタンプミル又はクラッシャー等の公知の手段を使用して 200 μm 程度の大きさに粗粉碎する。代替的には、インゴットを溶解し、ストリップキャスト法によりフレークを作製し、水素解砕法で粗粉化する。それによ

30

【0036】

次いで、粗粉碎磁石材料粒子 115 を、ピーズミル 116 による湿式法又はジェットミルを用いた乾式法等によって微粉碎する。例えば、ピーズミル 116 による湿式法を用いた微粉碎では、溶媒中で粗粉碎磁石粒子 115 を所定範囲の粒径（例えば 0.1 μm ないし 5.0 μm）に微粉碎し、溶媒中に磁石材料粒子を分散させる（図 8 (b) 参照）。その後、湿式粉碎後の溶媒に含まれる磁石粒子を真空乾燥などの手段によって乾燥させて、乾燥した磁石粒子を取り出す（図示せず）。ここで、粉碎に用いる溶媒の種類には特に制限はなく、イソプロピルアルコール、エタノール、メタノールなどのアルコール類、酢酸エチル等のエステル類、ペンタン、ヘキサンなどの低級炭化水素類、ベンゼン、トルエン、キシレンなど芳香族類、ケトン類、それらの混合物等の有機溶媒、又は、液化アルゴン等の無機溶媒を使用することができる。この場合において、溶媒中に酸素原子を含まない溶媒を用いることが好ましい。

40

【0037】

一方、ジェットミルによる乾式法を用いる微粉碎においては、粗粉碎した磁石材料粒子 115 を、(a) 酸素含有量が実質的に 0 % の窒素ガス、Ar ガス、He ガスなどの不活性ガスからなる雰囲気中、又は (b) 酸素含有量が 0.0001 ないし 0.5 % の窒素ガス、Ar ガス、He ガスなどの不活性ガスからなる雰囲気中で、ジェットミルにより微粉碎し、例えば 0.7 μm ないし 5.0 μm といった所定範囲の平均粒径を有する微粒子とする。ここで、酸素濃度が実質的に 0 % とは、酸素濃度が完全に 0 % である場合に限定さ

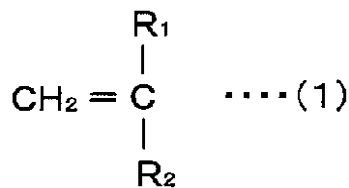
50

れず、微粉の表面にごく僅かに酸化被膜を形成する程度の量の酸素を含有しても良いことを意味する。

【0038】

次に、ビーズミル116等で微粉碎された磁石材料粒子を所望形状に成形する。この磁石材料粒子の成形のために、上述のように微粉碎された磁石材料粒子115とバインダーとを混合した混合物、すなわちコンパウンド117を準備する。バインダーとしては、樹脂材料を用いることが好ましく、バインダーに樹脂を用いる場合には、構造中に酸素原子を含まず、かつ解重合性のあるポリマーを用いるのが好ましい。また、後述のように磁石粒子とバインダーとの混合物117を、例えば台形形状のような所望形状に成形する際に生じた混合物の残余物を再利用できるようにするために、かつ、混合物を加熱して軟化した状態で磁場配向を行うことができるようにするために、熱可塑性樹脂を用いることが好ましい。具体的には、以下の一般式(1)に示されるモノマーから形成される1種又は2種以上の重合体又は共重合体からなるポリマーが好適に用いられる。

【化1】



(但し、R1及びR2は、水素原子、低級アルキル基、フェニル基又はビニル基を表す)

【0039】

上記条件に該当するポリマーとしては、例えばイソブチレンの重合体であるポリイソブチレン(PIB)、イソプレンの重合体であるポリイソプレン(イソプレンゴム、IR)、1,3-ブタジエンの重合体であるポリブタジエン(ブタジエンゴム、BR)、スチレンの重合体であるポリスチレン、スチレンとイソプレンの共重合体であるスチレン-イソブレンブロック共重合体(SIS)、イソブチレンとイソプレンの共重合体であるブチルゴム(IIR)、スチレンとブタジエンの共重合体であるスチレン-ブタジエンブロック共重合体(SBS)、スチレンとエチレン、ブタジエンの共重合体であるスチレン-エチレン-ブタジエン-スチレン共重合体(SEBS)、スチレンとエチレン、プロピレンの共重合体であるスチレン-エチレン-プロピレン-スチレン共重合体(SEPS)、エチレンとプロピレンの共重合体であるエチレン-プロピレン共重合体(EPM)、エチレン、プロピレンとともにジエンモノマーを共重合させたEPDM、エチレンの重合体であるポリエチレン、プロピレンの重合体であるポリプロピレン、2-メチル-1-ペンテンの重合体である2-メチル-1-ペンテン重合樹脂、2-メチル-1-ブテンの重合体である2-メチル-1-ブテン重合樹脂、-メチルスチレンの重合体である-メチルスチレン重合樹脂等がある。また、バインダーに用いる樹脂としては、酸素原子、窒素原子を含むモノマーの重合体又は共重合体(例えば、ポリブチルメタクリレートやポリメチルメタクリレート等)を少量含む構成としても良い。更に、上記一般式(1)に該当しないモノマーが一部共重合していても良い。その場合であっても、本発明の目的を達成することが可能である。

【0040】

なお、バインダーに用いる樹脂としては、磁場配向を適切に行う為に250以下で軟化する熱可塑性樹脂、より具体的にはガラス転移点又は流動開始温度が250以下の熱可塑性樹脂を用いることが望ましい。

【0041】

熱可塑性樹脂中に磁石材料粒子を分散させるために、分散剤を適量添加する事が望ましい。分散剤としては、アルコール、カルボン酸、ケトン、エーテル、エステル、アミン、イミン、イミド、アミド、シアン、リン系官能基、スルホン酸、二重結合や三重結合などの不飽和結合を有する化合物、液状飽和炭化水素化合物のうち、少なくともひとつを添加

10

20

30

40

50

することが望ましい。複数を混合して用いても良い。そして、後述するように、磁石材料粒子とバインダーとの混合物に対して磁場を印加して該磁石材料を磁場配向するにあたっては、混合物を加熱してバインダー成分が軟化した状態で磁場配向処理を行う。

【0042】

磁石材料粒子に混合されるバインダーとして上記条件を満たすバインダーを用いることによって、焼結後の希土類永久磁石形成用焼結体内に残存する炭素量及び酸素量を低減させることが可能となる。具体的には、焼結後に磁石形成用焼結体内に残存する炭素量を2000ppm以下、より好ましくは1000ppm以下とすることができる。また、焼結後に磁石形成用焼結体内に残存する酸素量を5000ppm以下、より好ましくは2000ppm以下とすることができる。

10

【0043】

バインダーの添加量は、スラリー又は加熱溶融した混合物すなわちコンパウンド117を成形する場合に、成形の結果として得られる成形体の厚み精度が向上するように、磁石材料粒子間の空隙を適切に充填できる量とする。例えば、磁石材料粒子とバインダーの合計量に対するバインダーの比率が、1wt%ないし40wt%、より好ましくは2wt%ないし30wt%、更に好ましくは3wt%ないし20wt%とする。

【0044】

以下の実施例では、混合物を一旦製品形状以外に成形した状態で磁場を印加して磁石材料粒子の配向を行い、その後に焼結処理を行うことによって、例えば図1に示す円弧形状のような、所望の製品形状とする。特に、以下の実施例では、磁石材料粒子とバインダーとからなる混合物すなわちコンパウンド117を、シート形状のグリーン成形体(以下、「グリーンシート」という)に一旦成形した後に、配向処理のための成形体形状とする。混合物を特にシート形状に成形する場合には、例えば磁石材料粒子とバインダーとの混合物であるコンパウンド117を加熱した後にシート形状に成形するホットメルト塗工によるか、又は、磁石材料粒子とバインダーと有機溶媒とを含むスラリーを基材上に塗工することによりシート状に成形するスラリー塗工等による成形を採用することができる。

20

【0045】

以下においては、特にホットメルト塗工を用いたグリーンシート成形について説明するが、本発明は、そのような特定の成形法に限定されるものではない。例えば、コンパウンド117を成形用型に入れ、室温~300に加熱しながら、0.1~100MPa加圧することで成形を行ってもよい。この場合、より具体的には、軟化する温度に加熱したコンパウンド117を、射出圧を加えて金型に押し込み充填して成形する方法が挙げられる。

30

【0046】

既に述べたように、ビーズミル116等で微粉碎された磁石材料粒子にバインダーを混合することにより、磁石材料粒子とバインダーとからなる粘土状の混合物すなわちコンパウンド117を作製する。ここで、バインダーとしては、上述したように樹脂、分散剤の混合物を用いることができる。例えば、樹脂としては、構造中に酸素原子を含まず、かつ解重合性のあるポリマーからなる熱可塑性樹脂を用いることが好ましく、一方、分散剤としては、アルコール、カルボン酸、ケトン、エーテル、エステル、アミン、イミン、イミド、アミド、シアン、リン系官能基、スルホン酸、二重結合や三重結合などの不飽和結合を有する化合物のうち、少なくともひとつを添加することが好ましい。また、バインダーの添加量は、上述したように添加後のコンパウンド117における磁石材料粒子とバインダーの合計量に対するバインダーの比率が、1wt%ないし40wt%、より好ましくは2wt%ないし30wt%、さらに好ましくは3wt%ないし20wt%となるようにする。

40

【0047】

ここで分散剤の添加量は磁石材料粒子の粒子径に応じて決定することが好ましく、磁石材料粒子の粒子径が小さい程、添加量を多くすることが推奨される。具体的な添加量としては、磁石材料粒子に対して0.1部ないし10部、より好ましくは0.3部ないし8部とする。添加量が少ない場合には分散効果が小さく、配向性が低下する恐れがある。また

50

、添加量が多い場合は、磁石材料粒子を汚染する恐れがある。磁石材料粒子に添加された分散剤は、磁石材料粒子の表面に付着し、磁石材料粒子を分散させ粘土状混合物を与えるとともに、後述の磁場配向処理において、磁石材料粒子の回動を補助するように作用する。その結果、磁場を印加した際に配向が容易に行われ、磁石粒子の磁化容易軸方向をほぼ同一方向に揃えること、すなわち、配向度を高くすることが可能になる。特に、磁石材料粒子にバインダーを混合する場合には、粒子表面にバインダーが存在するようになるため、磁場配向処理時の摩擦力が高くなり、そのために粒子の配向性が低下する恐れがあり、分散剤を添加することの効果が高まる。

【0048】

磁石材料粒子とバインダーとの混合は、窒素ガス、Arガス、Heガスなどの不活性ガスからなる雰囲気のもとで行うことが好ましい。磁石材料粒子とバインダーとの混合は、例えば磁石材料粒子とバインダーをそれぞれ攪拌機に投入し、攪拌機で攪拌することにより行う。この場合において、混練性を促進する為に加熱攪拌を行っても良い。さらに、磁石材料粒子とバインダーの混合も、窒素ガス、Arガス、Heガスなど不活性ガスからなる雰囲気で行うことが望ましい。また、特に磁石粒子を湿式法で粉碎した場合には、粉碎に用いた溶媒から磁石粒子を取り出すことなくバインダーを溶媒中に添加して混練し、その後溶媒を揮発させ、コンパウンド117を得るようにしても良い。

【0049】

続いて、コンパウンド117をシート状に成形することにより、前述したグリーンシートを作成する。ホットメルト塗工を採用する場合には、コンパウンド117を加熱することにより該コンパウンド117を溶融し、流動性を有する状態にした後、支持基材118上に塗工する。その後、放熱によりコンパウンド117を凝固させて、支持基材118上に長尺シート状のグリーンシート119を形成する。この場合、コンパウンド117を加熱溶融する際の温度は、用いるバインダーの種類や量によって異なるが、通常は50ないし300とする。但し、用いるバインダーの流動開始温度よりも高い温度とする必要がある。なお、スラリー塗工を用いる場合には、多量の溶媒中に磁石材料粒子とバインダー、及び、任意ではあるが、配向を助長する添加剤を分散させ、スラリーを支持基材118上に塗工する。その後、乾燥して溶媒を揮発させることにより、支持基材118上に長尺シート状のグリーンシート119を形成する。

【0050】

ここで、溶融したコンパウンド117の塗工方式は、スロットダイ方式又はカレンダーロール方式等の、層厚制御性に優れた方式を用いることが好ましい。特に、高い厚み精度を実現する為には、特に層厚制御性に優れた、すなわち、基材の表面に高精度の厚さの層を塗工できる方式であるダイ方式やコンマ塗工方式を用いることが望ましい。例えば、スロットダイ方式では、加熱して流動性を有する状態にしたコンパウンド117をギアポンプにより圧送してダイに注入し、ダイから吐出することにより塗工を行う。また、カレンダーロール方式では、加熱した2本のロールのニップ間隙に、コンパウンド117を制御した量で送り込み、ロールを回転させながら、支持基材118上に、ロールの熱で溶融したコンパウンド117を塗工する。支持基材118としては、例えばシリコン処理ポリエステルフィルムを用いることが好ましい。さらに、消泡剤を用いるか、加熱真空脱泡を行うことによって、塗工され展開されたコンパウンド117の層中に気泡が残らないよう、十分に脱泡処理することが好ましい。或いは、支持基材118上に塗工するのではなく、押出成型や射出成型によって溶融したコンパウンド117をシート状に成型しながら支持基材118上に押し出すことによって、支持基材118上にグリーンシート119を成形することもできる。

【0051】

図8に示す実施形態では、スロットダイ120を用いてコンパウンド117の塗工を行うようにしている。このスロットダイ方式によるグリーンシート119の形成工程では、塗工後のグリーンシート119のシート厚みを実測し、その実測値に基づいたフィードバック制御により、スロットダイ120と支持基材118との間のニップ間隙を調節するこ

10

20

30

40

50

とが望ましい。この場合において、スロットダイ120に供給する流動性コンパウンド117の量の変動を極力低下させ、例えば $\pm 0.1\%$ 以下の変動に抑え、さらに塗工速度の変動も極力低下させ、例えば $\pm 0.1\%$ 以下の変動に抑えることが望ましい。このような制御によって、グリーンシート119の厚み精度を向上させることが可能である。なお、形成されるグリーンシート119の厚み精度は、例えば1mmといった設計値に対して、 $\pm 10\%$ 以内、より好ましくは $\pm 3\%$ 以内、さらに好ましくは $\pm 1\%$ 以内とすることが望ましい。カレンダーロール方式では、カレンダー条件を同様に実測値に基づいてフィードバック制御することで、支持基材118に転写されるコンパウンド117の膜厚を制御することが可能である。

【0052】

グリーンシート119の厚みは、0.05mmないし20mmの範囲に設定することが望ましい。厚みを0.05mmより薄くすると、必要な磁石厚みを達成するために、多層積層しなければならなくなるので、生産性が低下することになる。

〔第一の実施形態による焼結体の製造〕

【0053】

次に、上述したホットメルト塗工によって支持基材118上に形成されたグリーンシート119から所望の磁石寸法に対応する寸法に切り出された加工用シート片123を作成する。本実施形態においては、加工用シート片123は、図9(a)に示すように、最終製品となる希土類永久磁石形成用焼結体1における中央領域に対応する円弧状領域123aと、該円弧状領域123aの両端に連続する直線状領域123b、123cを有する断面形状である。円弧状領域123aは、図9(a)にOで示す点に曲率中心を有する円弧形状であり、該円弧状領域123aの両端部に連続する直線状領域123b、123cのうち、曲率中心O周りに角度、すなわち、 $\times 90^\circ$ の範囲が図4に示すセグメント磁石の端部領域13に対応する端部領域となる。この加工用シート片123は、図の紙面に直角な方向の長さ寸法を有し、断面の寸法及び長さ寸法は、後述する焼結工程における寸法の縮小を見込んで、焼結工程後に所定の磁石寸法が得られるように定める。

【0054】

図9(a)に示す加工用シート片123には、曲率中心Oと円弧状領域123aの円周方向中心点Aとを結ぶ方向に平行な平行磁場121が印加される。この磁場印加により、加工用シート片123に含まれる磁石材料粒子の磁化容易軸が、図9(a)に矢印122で示すように、磁場の方向に、すなわち厚み方向に平行に配向される。具体的に述べると、加工用シート片123は、該加工用シート片123に対応する形状のキャビティを有する磁場印加用型内に收容され(図示せず)、加熱することにより加工用シート片123に含まれるバインダーを軟化させる。それによって、磁石材料粒子はバインダー内で回動できるようになり、その磁化容易軸を平行磁場121に沿った方向に配向させることができる。

【0055】

ここで、加工用シート片123を加熱するための温度及び時間は、用いるバインダーの種類及び量によって異なるが、例えば40ないし250で0.1ないし60分とする。いずれにしても、加工用シート片123内のバインダーを軟化させるためには、加熱温度は、用いられるバインダーのガラス転移点又は流動開始温度以上の温度とする必要がある。加工用シート片123を加熱するための手段としては、例えばホットプレートによる加熱、又はシリコンオイルのような熱媒体を熱源に用いる方式がある。磁場印加における磁場の強さは、5000[Oe]ないし15000[Oe]、好ましくは、10000[Oe]ないし12000[Oe]とすることができる。その結果、加工用シート片123に含まれる磁石材料結晶の磁化容易軸が、図9(a)に示すように、平行磁場121に沿った方向に、平行に配向される。この磁場印加工程では、複数個の加工用シート片123に対して同時に磁場を印加する構成とすることもできる。このためには、複数個のキャビティを有する型を使用するか、或いは、複数個の型を並べて、同時に平行磁場121を印加すればよい。加工用シート片123に磁場を印加する工程は、加熱工程と同時に行っても良いし、加

10

20

30

40

50

熱工程を行った後であって加工用シート片 1 2 3 のバインダーが凝固する前に行っても良い。

【 0 0 5 6 】

次に、図 9 (a) に示す磁場印加工程により磁石材料粒子の磁化容易軸が矢印 1 2 2 で示すように平行配向された加工用シート片 1 2 3 を、磁場印加用型から取り出し、図 9 (b) に示す円弧状キャビティ 1 2 4 を有する最終成形用型内に移して、焼結処理用シート片 1 2 5 に成形する。この成形により、加工用シート片 1 2 3 は、中央の円弧状領域 1 2 3 a と両端の直線状領域 1 2 3 b、1 2 3 c が、互いに連続する同一曲率半径の円弧形状になり、焼結用シート片 1 2 5 が形成される。この成形工程により形成される焼結処理用シート片 1 2 5 においては、中央の中心線 O - A に沿って位置する磁石材料粒子の磁化容易軸は、円弧の半径方向に配向された状態になり、中心線 O - A の両側の領域においては、変形の結果、図 9 (b) に示すように、磁化容易軸は、極異方配向になる。

10

【 0 0 5 7 】

このようにして磁石材料粒子の磁化容易軸が配向された配向後の焼結処理用シート片 1 2 5 は、図 9 (c) に示すように、両端部が、上述した角度 に相当する部分を残して切り落とされて、焼結用シート片 1 2 5 a となる。この焼結用シート片 1 2 5 a に対して、大気圧、或いは、大気圧より高い圧力又は低い圧力 (例えば、1 . 0 P a 又は 1 . 0 M P a) に調節した非酸化性雰囲気において、バインダー分解温度で数時間ないし数十時間 (例えば 5 時間) 保持することにより仮焼処理を行う。この処理では、水素雰囲気又は水素と不活性ガスの混合ガス雰囲気を用いることが推奨される。水素雰囲気のもとで仮焼処理を行う場合には、仮焼中の水素の供給量は、例えば 5 L / m i n とする。仮焼処理を行うことによって、バインダーに含まれる有機化合物を、解重合反応、その他の反応によりモノマーに分解し、飛散させて除去することが可能となる。すなわち、焼結処理用シート片 1 2 5 a に残存する炭素の量を低減させる処理である脱カーボン処理が行われることとなる。また、仮焼処理は、焼結処理用シート片 1 2 5 a 内に残存する炭素の量が 2 0 0 0 p p m 以下、より好ましくは 1 0 0 0 p p m 以下とする条件で行うことが望ましい。それによって、その後の焼結処理で焼結処理用シート片 1 2 5 a の全体を緻密に焼結させることが可能となり、残留磁束密度及び保磁力の低下を抑制することが可能になる。なお、上述した仮焼処理を行う際の加圧条件を大気圧より高い圧力とする場合には、圧力は 1 5 M P a 以下とすることが望ましい。ここで、加圧条件は、大気圧より高い圧力、より具体的には 0 . 2 M P a 以上とすれば、特に残存炭素量軽減の効果が期待できる。

20

30

【 0 0 5 8 】

バインダー分解温度は、バインダー分解生成物および分解残渣の分析結果に基づき決定することができる。具体的には、バインダーの分解生成物を補集し、モノマー以外の分解生成物が生成せず、かつ残渣の分析においても残留するバインダー成分の副反応による生成物が検出されない温度範囲を選択することが推奨される。バインダーの種類により異なるが、2 0 0 ないし 9 0 0 、より好ましくは 4 0 0 ないし 5 0 0 、例えば 4 5 0 とすればよい。

【 0 0 5 9 】

上述の仮焼処理においては、一般的な希土類磁石の焼結処理と比較して、昇温速度を小さくすることが好ましい。具体的には、昇温速度を 2 / m i n 以下、例えば 1 . 5 / m i n とすることにより、好ましい結果を得ることができる。従って、仮焼処理を行う場合には、図 1 1 に示すように 2 / m i n 以下の所定の昇温速度で昇温し、予め設定された設定温度 (バインダー分解温度) に到達した後に、該設定温度で数時間ないし数十時間保持することにより仮焼処理を行う。このように、仮焼処理において昇温速度を小さくすることによって、焼結処理用シート片 1 2 5 a 内の炭素が急激に除去されることがなく、段階的に除去されるようになるので、十分なレベルまで残量炭素を減少させて、焼結後の永久磁石形成用焼結体の密度を高めることが可能となる。すなわち、残留炭素量を減少させることにより、永久磁石中の空隙を減少させることができる。上述のように、昇温速度を 2 / m i n 以下とすれば、焼結後の永久磁石形成用焼結体の密度を 9 8 % 以上 (7 .

40

50

40 g / cm³以上)とすることができ、着磁後の磁石において高い磁石特性を達成することが期待できる。

【0060】

続いて、仮焼処理によって仮焼された焼結処理用シート片125を焼結する焼結処理が行われる。焼結処理としては、真空中での無加圧焼結法を採用することもできるが、本実施形態では、焼結処理用シート片125aを長さ方向に一軸加圧した状態で焼結する一軸加圧焼結法を採用することが好ましい。この方法では、図9(b)に符号「124」で示すものと同じ形状のキャビティを有する焼結用型(図示せず)内に焼結処理用シート片125aを装填し、型を閉じて、長さ方向に加圧しながら焼結を行う。この加圧焼結技術としては、例えば、ホットプレス焼結、熱間静水圧加圧(HIP)焼結、超高压合成焼結、ガス加圧焼結、放電プラズマ(SPS)焼結等、公知の技術のいずれを採用してもよい。特に、一軸方向に加圧可能であって、通電焼結により焼結が遂行されるSPS焼結を用いることが好ましい。

10

【0061】

なお、SPS焼結で焼結を行う場合には、加圧圧力を、例えば0.01MPaないし100MPaとし、数Pa以下の真空雰囲気中で900~1100℃まで5~30分の昇温速度で温度上昇させ、その後、加圧方向の収縮が実質ゼロになるまで保持することが好ましい。次いで冷却し、再び300℃ないし1000℃に昇温して2時間、その温度に保持する熱処理を行う。このような焼結処理の結果、焼結処理用シート片125aにより、本発明の希土類永久磁石形成用焼結体1が製造される。このように、焼結処理用シート片125aを長さ方向に加圧した状態で焼結する一軸加圧焼結法によれば、焼結処理用シート片125a内の磁石材料粒子に与えられた磁化容易軸の配向が変化することを抑制することができる。

20

【0062】

この希土類永久磁石形成用焼結体1は、図2に示すロータコア3の周面に、未着磁の状態に配置される。その後、このように配置された希土類永久磁石形成用焼結体1に対して、その中に含まれる磁石材料粒子の磁化容易軸すなわちC軸に沿って着磁を行う。具体的に述べると、ロータコア3の周面に配置された複数の希土類永久磁石形成用焼結体1に対して、ロータコア3の周方向に沿って、N極とS極とが交互に配置されるように着磁を行う。その結果、永久磁石1を製造することが可能となる。尚、希土類永久磁石形成用焼結体1の着磁には、例えば着磁コイル、着磁ヨーク、コンデンサー式着磁電源装置等の公知の手段のいずれを用いてもよい。また、希土類永久磁石形成用焼結体1は、ロータコア3の周面に配置する前に着磁を行って、希土類永久磁石とし、この着磁された磁石をロータコア3の周面に配置するようにしてもよい。その後で、ロータに対してステータ4及び回転軸等のモータ構成部材を組み付けることにより、所望の電動モータ、例えばSPMモータが製造される。

30

【0063】

以上詳細に説明したように、本実施形態に係る希土類永久磁石形成用焼結体1の製造方法においては、磁石材料を磁石材料の微細粒子に粉碎し、粉碎された磁石材料粒子とバインダーとを混合することにより、コンパウンド117を生成する。そして、生成したコンパウンド117をシート状に成形してグリーンシート119を作製する。その後で、成形したグリーンシート119所定寸法のシート片を切り出し、所望形状に成形して加工用シート片123を形成し、この加工用シート片123に対して厚み方向に平行磁場を印加することにより、磁石材料粒子の磁化容易軸を平行磁場のもとで配向させ、配向処理後の加工用シート片123を所定の形状に変形させることによって製品形状に成形して焼結処理用シート片125とする。その後、非加圧状態で、又は長さ方向の1軸加圧状態で焼結することにより希土類永久磁石形成用焼結体1を製造する。

40

【0064】

また、上記に説明した実施形態の方法では、磁石材料粒子とバインダーとを混合した混合物であるコンパウンドを成形することによって、減磁対策が望まれる端部領域の表面に

50

向けて磁化容易軸が適切に集束するように配向させることが可能となるため、着磁後において適切に磁束を集中させることが可能となり、耐減磁性を確保するとともに磁束密度のバラつきも防止できる。さらに、バインダーとの混合物を成形するので、圧粉成形等を用いる場合と比較して、配向後に磁石粒子が回動することも無く、配向度を向上させることが可能となる。磁石材料粒子とバインダーとの混合物に対して磁場を印加して配向を行う方法によれば、磁場形成のための電流を通す巻き線の巻き数を適宜増やすことができるため、磁場配向を行う際の磁場強度を大きく確保することができ、かつ静磁場で長時間の磁場印加を施すことができるので、バラつきの少ない高い配向度を実現することが可能となる。そして、配向後に配向方向を補正するにすれば、高配向でバラつきの少ない配向を確保することが可能となる。

10

【0065】

このように、バラつきの少ない高配向度が実現できるということは、焼結による収縮のバラつきの低減に繋がる。したがって、焼結後の製品形状の均一性を確保することができる。その結果、焼結後の外形加工に対する負担が軽減され、量産の安定性が大きく向上することが期待できる。また、磁場配向する工程では、磁石粒子とバインダーとの混合物に対して磁場を印加するとともに、磁場の印加された混合物を成形体へと変形することによって磁化容易軸の方向を操作して、磁場配向を行うので、一旦磁場配向された混合物を変形することによって、配向方向を補正し、端部領域における磁化容易軸を適切に配向させることが可能となる。その結果、端部領域における磁束のずれを軽減することができ、焼結体1に着磁することより形成された永久磁石が配置された回転電機では、コギングトルクを抑制することが可能になる。

20

〔第二の実施形態による焼結体の製造〕

【0066】

この実施形態では、図10(a)に示すように、加工用シート片123の中央領域123aは、第一の実施形態におけると同様に円弧形状に形成されるが、両端部の領域123b、123cは、直線形状ではなく、中央領域123aとは逆方向に湾曲する円弧形状に形成される。その他は、第一の実施形態におけると同様の方法を用いることができる。

〔第三の実施形態による焼結体の製造〕

【0067】

この実施形態では、図10(b)に示すように、加工用シート片123の中央領域123aは、第一の実施形態におけると同様に円弧形状に形成されるが、両端部の領域123b、123cは、直線形状ではなく、式(7)によって規定される、角度 θ に応じてべき乗則に基づき変化する湾曲形状に対応する形状に形成される。具体的な方法としては、式(7)で表される関数を数値積分し、その値に近似した形状を定めればよい。その他は、第一の実施形態におけると同様の方法を用いることができる。

30

【0068】

以上述べたように、本発明によれば、希土類磁石形成用焼結体の端部領域における磁石材料の磁化容易軸の配向を、極異方配向からずらして配向させることにより、該焼結体に着磁して得られる磁石を端面間隔を介してリング状に配置した場合においても、該端面間隔の近傍における磁束分布を正弦波に近づけることができる。そのため、この磁石を使用する回転電機におけるコギングトルクを減少させることができる。

40

【符号の説明】

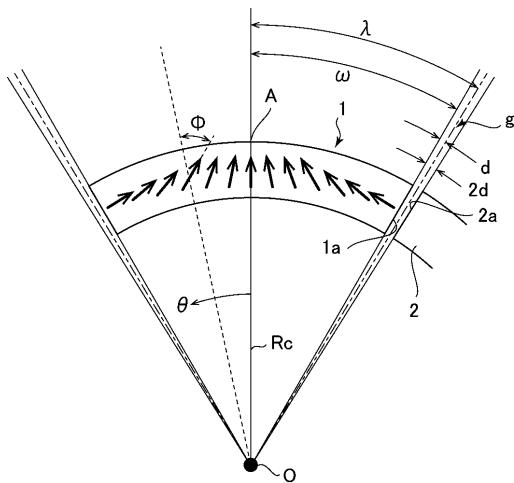
【0069】

- 1、11、2・・・セグメント磁石
- 1a、2a・・・端面
- 3・・・回転子
- 4・・・固定子
- 13・・・端部領域
- 14・・・中央領域
- 117・・・混合物、コンパウンド

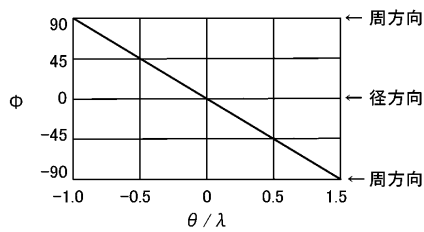
50

- 1 1 8 . . . 支持基材
- 1 1 9 . . . グリーンシート
- 1 2 0 . . . スロットダイ
- 1 2 3 . . . 加工用シート片
- 1 2 5 . . . 焼結処理用シート片
- A . . . 周方向中心点
- C . . . 磁化容易軸
- O . . . 曲率中心
- . . . 傾斜角
- d . . . 間隙 g の角度範囲の $1 / 2$
- g . . . 間隙

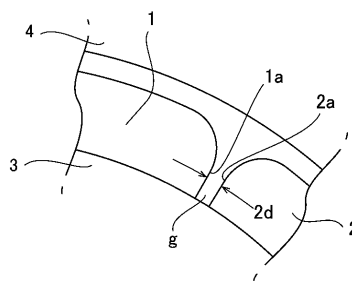
【図 1 (a)】



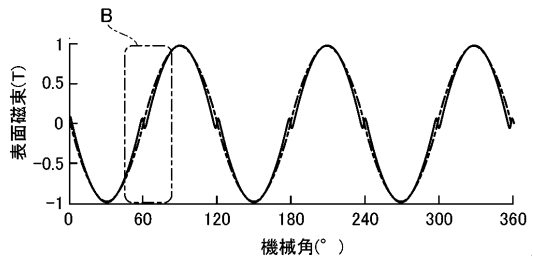
【図 1 (b)】



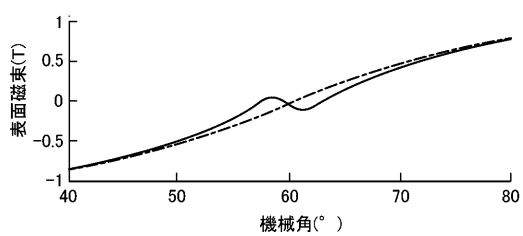
【図 2】



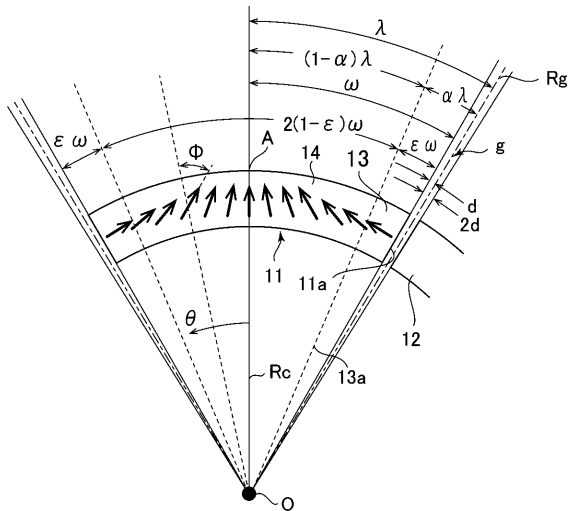
【図 3 (a)】



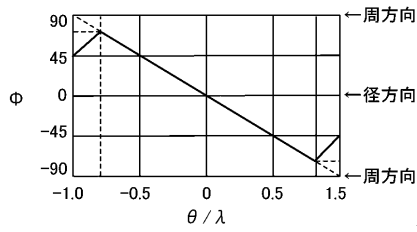
【図 3 (b)】



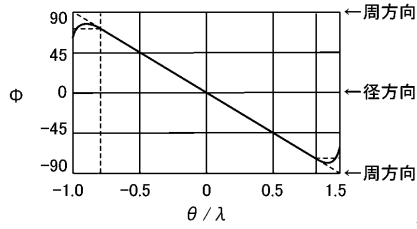
【図4】



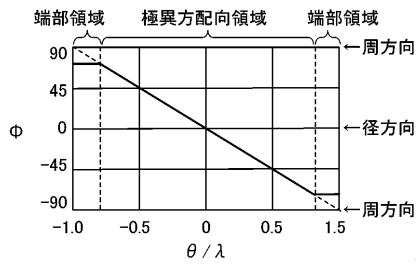
【図6】



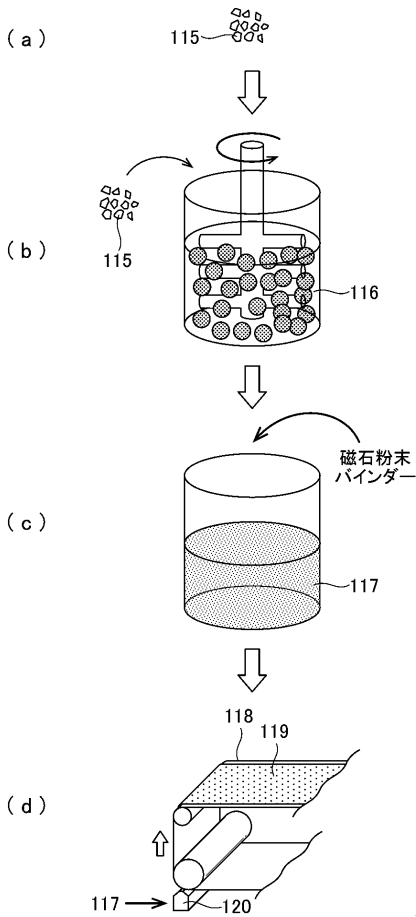
【図7】



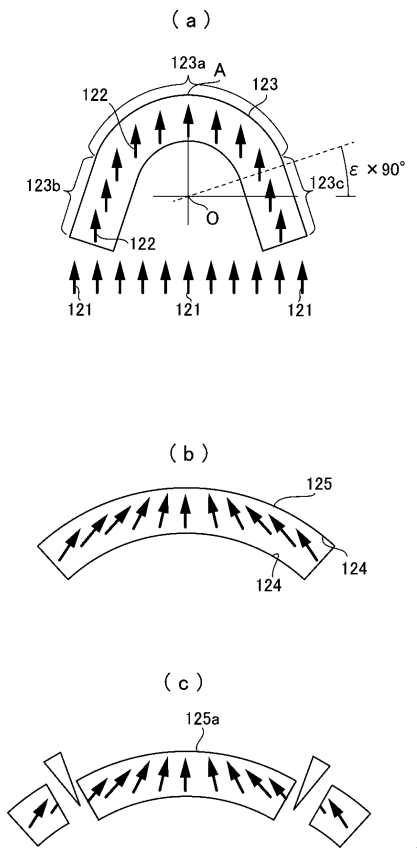
【図5】



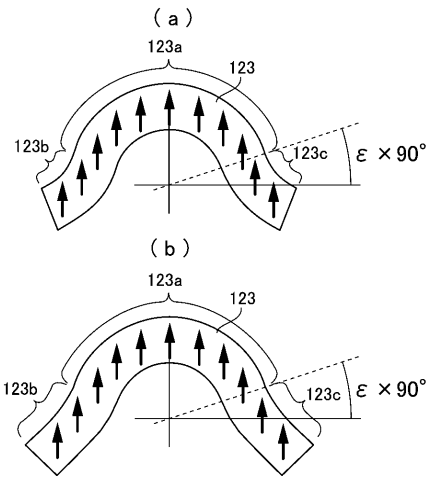
【図8】



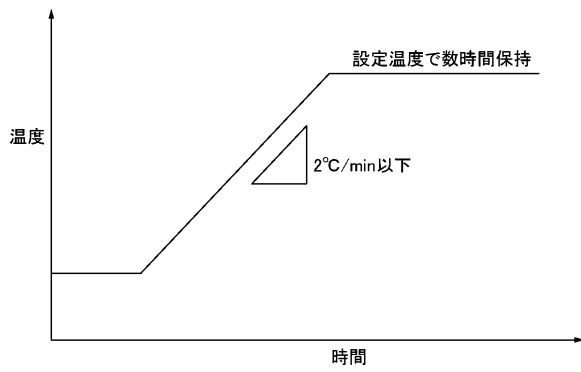
【図9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
H 0 1 F	7/02	(2006.01)	H 0 1 F	1/08	
H 0 1 F	13/00	(2006.01)	H 0 1 F	7/02	Z
			H 0 1 F	13/00	3 0 0

(74)代理人 100120525

弁理士 近藤 直樹

(72)発明者 藤原 誠

大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号 日東電工株式会社内

(72)発明者 藤川 憲一

大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号 日東電工株式会社内

(72)発明者 齊藤 正一朗

大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号 日東電工株式会社内

審査官 安池 一貴

(56)参考文献 特開2015-153790(JP,A)

特開2005-044820(JP,A)

独国特許出願公開第03913276(DE,A1)

国際公開第2013/175730(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 2 K 1 / 2 7

H 0 2 K 1 5 / 0 3

H 0 1 F 1 / 0 4

H 0 1 F 1 / 0 5 7

H 0 1 F 1 / 0 8

H 0 1 F 7 / 0 2

H 0 1 F 1 3 / 0 0