

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2024-53164
(P2024-53164A)

(43)公開日 令和6年4月15日(2024.4.15)

(51)国際特許分類
H 0 2 K 15/03 (2006.01)

F I
H 0 2 K 15/03

テーマコード (参考)
5 H 6 2 2

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全18頁)

(21)出願番号	特願2022-159241(P2022-159241)	(71)出願人	000000011 株式会社アイシン
(22)出願日	令和4年10月3日(2022.10.3)		愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地
		(74)代理人	110000660 Knowledge Partners 弁理士法人
		(72)発明者	河合 高人 愛知県刈谷市朝日町二丁目1番地 株式 会社アイシン内
		Fターム (参考)	5H622 AA03 CA02 CA06 CB01 DD04 PP03 PP20 QA03 QA10

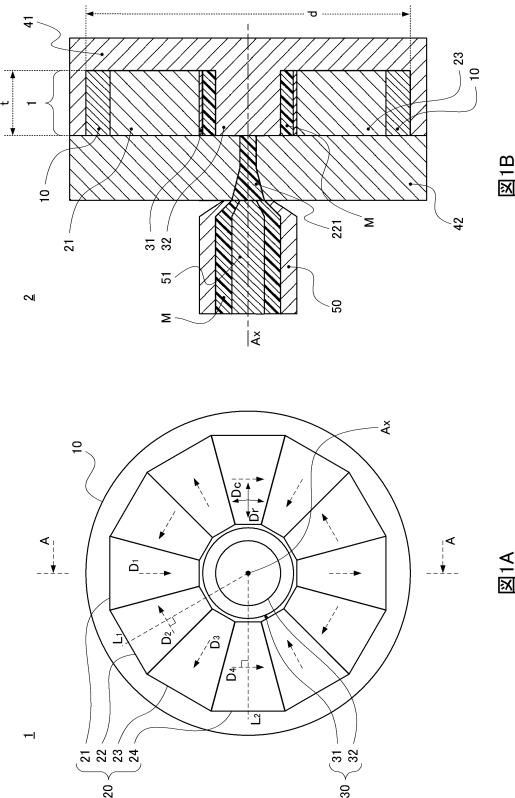
(54)【発明の名称】 ボンド磁石の製造装置および製造方法

(57)【要約】

【課題】簡易な構成により、ボンド磁石に強い磁場を作用させることが可能な技術の提供

【解決手段】円環状の保持部材と、前記保持部材の径方向内側において周方向に並び、円環状に配置された複数の永久磁石と、複数の前記永久磁石の径方向内側に存在し、ボンド磁石の材料が充填される空間を形成する収容部と、を備えるボンド磁石の製造装置であって、複数の前記永久磁石は、第1永久磁石、第2永久磁石、第3永久磁石、第4永久磁石が周方向に隣り合って1周にわたって並んでおり、前記第1永久磁石の磁化の方向は、複数の前記永久磁石の径方向内側を向いており、前記第2永久磁石および前記第4永久磁石の磁化の方向は、前記第1永久磁石を向いており、前記第3永久磁石の磁化の方向は、複数の前記永久磁石の径方向外側を向いている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

円環状の保持部材と、
前記保持部材の径方向内側において周方向に並び、円環状に配置された複数の永久磁石と、

複数の前記永久磁石の径方向内側に存在し、ボンド磁石の材料が充填される空間を形成する収容部と、を備えるボンド磁石の製造装置であって、

複数の前記永久磁石は、

第 1 永久磁石と、前記第 1 永久磁石と周方向に隣り合う第 2 永久磁石と、前記第 2 永久磁石と周方向に隣り合う第 3 永久磁石と、前記第 3 永久磁石と周方向に隣り合う第 4 永久磁石と、によって形成される組を含み、複数の前記組が周方向に隣り合って 1 周にわたって並んでおり、

前記第 1 永久磁石の磁化の方向は、複数の前記永久磁石の径方向内側を向いており、

前記第 2 永久磁石および前記第 4 永久磁石の磁化の方向は、前記第 1 永久磁石を向いており、

前記第 3 永久磁石の磁化の方向は、複数の前記永久磁石の径方向外側を向いている、ボンド磁石の製造装置。

【請求項 2】

前記第 2 永久磁石および前記第 4 永久磁石の固有保磁力は、前記第 1 永久磁石および前記第 3 永久磁石の固有保磁力以上である、
請求項 1 に記載のボンド磁石の製造装置。

【請求項 3】

前記第 1 永久磁石および前記第 3 永久磁石のそれぞれの周方向中央における磁化の方向は、複数の前記永久磁石によって形成される円環の中心を通る径方向に平行であり、

前記第 2 永久磁石および前記第 4 永久磁石のそれぞれの磁化の方向は、前記第 2 永久磁石および前記第 4 永久磁石のそれぞれを複数の前記永久磁石によって形成される円環の周方向に 2 等分する径方向の直線に対して垂直である、

請求項 1 に記載のボンド磁石の製造装置。

【請求項 4】

複数の前記永久磁石は互いに隣接し、隣接する前記永久磁石の一方における磁化の方向を示す単位ベクトルを隣接する前記永久磁石の境界を軸にして反転させた反転後のベクトルと、隣接する前記永久磁石の他方における磁化の方向を示す単位ベクトルと、の内積が 0 以下である、

請求項 1 または請求項 2 に記載のボンド磁石の製造装置。

【請求項 5】

前記第 1 永久磁石と前記第 3 永久磁石との合計個数が P 個である場合、複数の前記永久磁石の 1 周において磁化の方向が $(P - 2) \times 720^\circ$ 回転する、

請求項 1 ～請求項 3 のいずれか一項に記載のボンド磁石の製造装置。

【請求項 6】

請求項 1 ～請求項 3 のいずれか一項に記載のボンド磁石の製造装置を用いたボンド磁石の製造方法であって、

前記収容部に前記材料を充填する充填工程と、

前記収容部に充填された前記材料を磁化し、かつ、硬化させる形成工程と、

前記収容部から前記材料を取り出す取出工程と、

を含むボンド磁石の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ボンド磁石の製造装置および製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、金型を用いて磁石粉末、バインダ樹脂等の材料を射出成形することにより、ボンド磁石を製造する技術が知られている。このような製造方法において異方性ボンド磁石を製造する際には、界磁装置によって金型内の材料に磁場を作用させる。特許文献1には、磁性基材を収容する収容体の外周面側において、磁性基材への径方向の磁場を誘導するヨークと永久磁石とを周方向に並べる構成が開示されている。また、特許文献2には、ボンド磁石の磁極中心に対向して配置される強磁性材からなる配向磁性体と配向磁性体を挟んで対称的に配置される対構成の永久磁石とを周方向に並べる構成が開示されている。なお、特許文献2においては、永久磁石によって配向磁性体を構成すると、配向磁場の影響が強すぎて所望の特性の磁石を製造できないとされている（特許文献2、0018段落）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2020-156203号公報

【特許文献2】特開2018-148041号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来技術においては、永久磁石によって誘起される磁場がヨークまたは配向磁性体を介してボンド磁石の材料に作用し、ヨークや配向磁性体による磁場が直接的に作用する位置にボンド磁石の磁極が形成される。ヨークや配向磁性体は、透磁率が低い物質であるものの、従来技術においては、永久磁石によって誘起された磁場がヨークや配向磁性体を介してボンド磁石に作用している。従って、ボンド磁石に強い磁場を作用させることは困難であった。ボンド磁石は、成形の際に印加される磁場によって磁気異方性が与えられるが、磁場が弱いと磁性粉の配向が不十分となり、磁気特性が失われる場合や、所望の磁気特性が得られない場合がある。

20

【0005】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたもので、簡易な構成により、ボンド磁石に強い磁場を作用させることが可能な技術の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

30

【0006】

上記の目的を達成するため、ボンド磁石の製造装置は、円環状の保持部材と、前記保持部材の径方向内側において周方向に並び、円環状に配置された複数の永久磁石と、複数の前記永久磁石の径方向内側に存在し、ボンド磁石の材料が充填される空間を形成する収容部と、を備えるボンド磁石の製造装置であって、複数の前記永久磁石は、第1永久磁石と、前記第1永久磁石と周方向に隣り合う第2永久磁石と、前記第2永久磁石と周方向に隣り合う第3永久磁石と、前記第3永久磁石と周方向に隣り合う第4永久磁石と、によって形成される組を含み、複数の前記組が周方向に隣り合って1周にわたって並んでおり、前記第1永久磁石の磁化の方向は、複数の前記永久磁石の径方向内側を向いており、前記第2永久磁石および前記第4永久磁石の磁化の方向は、前記第1永久磁石を向いており、前記第3永久磁石の磁化の方向は、複数の前記永久磁石の径方向外側を向いている。

40

【0007】

すなわち、ボンド磁石の製造装置においては、ボンド磁石の材料が充填される収容部の径方向外側に複数の永久磁石が並べられて界磁装置を構成しており、ボンド磁石の磁極に対応する位置には、第1永久磁石および第3永久磁石が配置されている。このため、ボンド磁石の磁極部分を通る磁力線は、永久磁石から直接的に延びる磁力線である。このため、永久磁石の磁場をボンド磁石の材料に直接的に作用させた状態でボンド磁石の磁極を形成することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0008】

50

【図 1】図 1 A はボンド磁石の製造装置を示す図であり、図 1 B はボンド磁石の製造装置を含む射出成形装置を示す図である。

【図 2】ボンド磁石の製造方法のフローチャート。

【図 3】ボンド磁石の製造装置の拡大図である。

【図 4】磁力線のシミュレート結果を示す図である。

【図 5】図 5 A は隣接する永久磁石の磁化の方向、図 5 B は磁化の方向の反転、図 5 C は磁化の方向を示す単位ベクトルの内積、図 5 D は境界面に作用する力を示す図である。

【図 6】図 6 A、図 6 B は境界面に作用する力を説明するための図である。

【図 7】図 7 A は永久磁石の固有保磁力と成形領域の磁束密度との関係を示す図、図 7 B は永久磁石の構成の変形例を示す図である。

10

【図 8】図 8 A、図 8 B は永久磁石の構成の変形例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

ここでは、下記の順序に従って本発明の実施の形態について説明する。

(1) ボンド磁石の製造装置の構成：

(2) ボンド磁石の製造方法：

(3-1) ボンド磁石の特性：

(3-2) 永久磁石の組み付け性：

(3-2) 永久磁石の固有保磁力：

(4) 他の実施形態：

20

【0010】

(1) ボンド磁石の製造装置の構成：

図 1 A は発明の一実施形態に係るボンド磁石の製造装置 1 を示す図であり、図 1 B はボンド磁石の製造装置を含む射出成形装置 2 を示す断面図である。図 1 B は、図 1 A の A-A 断面に相当する位置で射出成形装置を切断した断面図である。

【0011】

ボンド磁石の製造装置 1 は、保持部材 10 と複数の永久磁石 20 と収容部 30 とを備えている。ボンド磁石の製造装置 1 は円柱状の外形の装置であり、図 1 B においては、ボンド磁石の製造装置 1 の厚さ t 、直径 d が示されている。

【0012】

保持部材 10 は、軸 Ax を中心とした円環状の部材である。図 1 A において軸 Ax は図面に垂直な方向であり、図 1 B において軸 Ax は図面の左右方向に延びている。本明細書においては、軸 Ax に平行な方向を軸 Ax 方向と呼ぶ。また、軸 Ax を中心とした円の周に沿った方向を周方向、当該円の半径に平行な方向を径方向と呼ぶ。図 1 A においては、ある一つの永久磁石 20 に重ねて周方向 Dc および径方向 Dr を示している。さらに、ここでは、ある部材からみて径方向 Dr において軸 Ax に近い方向を径方向内側、軸 Ax と反対方向の方向を径方向外側と呼ぶ。

30

【0013】

図 1 A のように、軸 Ax 方向にボンド磁石の製造装置 1 を見た場合、保持部材 10 の外周は軸 Ax を中心とする円形であり、保持部材 10 の内周は軸 Ax を中心とする多角形（図 1 A の例では 12 角形）である。保持部材 10 の軸 Ax 方向に沿った厚さは図 1 B に示す厚さ t であり、軸 Ax 方向に形状の変化はない。本実施形態において、保持部材 10 は、軟磁性体で構成される。

40

【0014】

保持部材 10 の径方向内側には、複数の永久磁石 20 が配置される。複数の永久磁石 20 は、軸 Ax 方向にボンド磁石の製造装置 1 を見た場合、等脚台形である。また、軸 Ax 方向における各永久磁石 20 の厚さは図 1 B に示す厚さ t であり、軸 Ax 方向に形状の変化はない。本実施形態において、複数の永久磁石 20 の形状は互いに同一である。各永久磁石 20 は、等脚台形の大きい方の底辺を径方向外側に向け、等脚台形の脚に相当する辺で互いに隣接するように並べられ、軸 Ax 周りに一周する。

50

【0015】

すなわち、永久磁石20の等脚台形の大きい方の底辺は、保持部材10の内周面に形成される多角形の一辺と同一の長さであり、当該大きい方の底辺と保持部材10の内周面とが接する状態で、複数の永久磁石20が周方向に並べられる。この結果、永久磁石20は、軸Axを中心に周方向に隣接した状態で軸Ax周りに一周し、円環状に並べられた状態となる。

【0016】

本実施形態において、複数の永久磁石20は、焼結磁石である。本実施形態において各永久磁石は、各永久磁石20より大きい焼結磁石のブロックがワイヤーカットによって切り出されることによって得られる。本実施形態において、複数の永久磁石20の形状は全

10

【0017】

第1永久磁石21は、周方向において第2永久磁石22および第4永久磁石24に隣接する。第1永久磁石21における磁化の方向は、当該第1永久磁石21の等脚台形の底辺に垂直な方向であり、かつ、等脚台形の大きい底辺から小さい底辺に向けた方向である。図1Aにおいては、複数の永久磁石20のそれぞれに破線の矢印を重ねることによって磁化の方向が示してある。第1永久磁石21が保持部材10の径方向内側に配置されると、磁化の方向は、複数の永久磁石20の径方向内側を向いた状態になる（例えば、図1Aに破線の矢印で示す方向D₁）。すなわち、第1永久磁石21の周方向の中央における磁化の方向は、円環の中心である軸Axを通る径方向に平行であり、かつ、軸Ax側を向いている。

20

【0018】

第2永久磁石22は、周方向において第1永久磁石21および第3永久磁石23に隣接する。第2永久磁石22における磁化の方向は、当該第2永久磁石22の等脚台形の底辺に平行な方向であり、かつ、等脚台形の大きい底辺を下に配置して小さい底辺を上

30

【0019】

第3永久磁石23は、周方向において第2永久磁石22および第4永久磁石24に隣接する。第3永久磁石23における磁化の方向は、当該第3永久磁石23の等脚台形の底辺に垂直な方向であり、かつ、等脚台形の小さい底辺から大きい底辺に向けた方向である。第3永久磁石23が保持部材10の径方向内側に配置されると、磁化の方向は、複数の永久磁石20の径方向外側を向いた状態になる（例えば、図1Aに破線の矢印で示す方向D₃）。すなわち、第3永久磁石23の周方向の中央における磁化の方向は、円環の中心である軸Axを通る径方向に平行であり、かつ、軸Axの反対側を向いている。

【0020】

第4永久磁石24は、周方向において第1永久磁石21および第3永久磁石23に隣接する。第4永久磁石24における磁化の方向は、当該第4永久磁石24の等脚台形の底辺に平行な方向であり、かつ、等脚台形の大きい底辺を下に配置して小さい底辺を上

40

50

久磁石 2 4 における磁化の方向は、第 4 永久磁石 2 4 に隣接する第 1 永久磁石 2 1 を向いていると言うこともできる。

【0021】

本実施形態において、複数の永久磁石 2 0 のそれぞれにおける等脚台形の脚は、径方向に平行である。また、本実施形態において、複数の永久磁石 2 0 は、周方向に等間隔に配置され、軸 A x を中心とした角度において 1 個あたり 30° の範囲を占める。この結果、本実施形態において複数の永久磁石 2 0 は、合計で 12 個、周方向に並べられる。図 1 A に示す例において、第 1 永久磁石 2 1、第 2 永久磁石 2 2、第 3 永久磁石 2 3 および第 4 永久磁石 2 4 は、周方向にこの順序で並べられる。また、第 1 永久磁石 2 1、第 2 永久磁石 2 2、第 3 永久磁石 2 3 および第 4 永久磁石 2 4 を一つの組と捉えた場合、複数の組が周方向に隣接し、1 周にわたって複数組並んだ状態となっている。図 1 A においては、第 1 永久磁石 2 1 ~ 第 4 永久磁石 2 4 の一組について符号を付して示している。

10

【0022】

以上の構成においては、第 1 永久磁石 2 1 と第 3 永久磁石 2 3 との合計個数が 6 個である。そして、これらの永久磁石を含む複数の永久磁石 2 0 の 1 周において磁化の方向が $(6 - 2) \times 720^\circ$ 回転する構成となる。例えば、図 1 A において磁化の方向 D_1 が記入された第 1 永久磁石 2 1 を基準に回転方向を考えると、反時計回りの方向に隣接する第 2 永久磁石 2 2 の磁化の方向 D_2 は、第 1 永久磁石 2 1 の磁化の方向 D_1 から時計回りに 240° 回転した方向である。同様に、第 2 永久磁石 2 2 に対して反時計回りの方向に隣接する第 3 永久磁石 2 3 の磁化の方向 D_3 は、第 2 永久磁石 2 2 の磁化の方向 D_2 から時計回りに 240° 回転した方向である。

20

【0023】

このように、本実施形態においては、複数の永久磁石 2 0 の位置が反時計回りの方向に一つ隣に変化すると、磁化の方向が時計回りに 240° 回転する。本実施形態において、複数の永久磁石 2 0 は 12 個存在するため、1 周で $12 \times 240^\circ$ 回転する。複数の永久磁石 2 0 の個数が変化すると、1 個の永久磁石が周方向に占める角度（図 1 A においては 30° ）が変わり、磁化の方向の回転角も変わる。そして、これらの各種の場合について、第 1 永久磁石と第 3 永久磁石との合計個数が P 個である場合、複数の永久磁石の 1 周において磁化の方向が $(P - 2) \times 720^\circ$ 回転するように磁化の方向を決定すれば、図 1 A のように、周方向に均等に配置された複数の永久磁石 2 0 を構成することができる。

30

【0024】

複数の永久磁石 2 0 の径方向内側には、ボンド磁石の材料が充填される空間を形成する収容部 3 0 が存在する。本実施形態において、収容部 3 0 は、仕切部材 3 1 と円柱部 3 2 とを含んでいる。仕切部材 3 1 は、複数の永久磁石 2 0 の径方向内側に配置された薄い部材である。仕切部材 3 1 の外周は多角形であり、複数の永久磁石 2 0 の等脚台形の小さい方の底辺と、多角形の一辺とが同じ長さである。この構成により、仕切部材 3 1 の外周面と、複数の永久磁石 2 0 の内周面と、が接する状態となっている。仕切部材 3 1 の内周面は円形であり、仕切部材 3 1 の径方向内側には円柱状の空間が形成されている。仕切部材 3 1 は、例えば、非磁性体、軟磁性体等によって構成される。

【0025】

円柱部 3 2 は、仕切部材 3 1 の径方向内側に配置されており、軸 A x を中心とする円柱の形状である。円柱部 3 2 は、例えば、非磁性体、軟磁性体等によって構成される。円柱部 3 2 の外径は、仕切部材 3 1 の内径より小さく、円柱部 3 2 の外周面と仕切部材 3 1 の内周面との間に、ボンド磁石の材料を充填する空間が形成されている。ボンド磁石は、射出成形装置 2 によって成形され、射出成形の際に複数の永久磁石 2 0 によって磁化される。このため、ボンド磁石の材料は、射出成形可能であり、かつ、射出成形の際に磁化可能であれば良い。ボンド磁石の材料としては、例えば、磁石粉末と、バインダ樹脂と、を含む材料が挙げられる。むろん、強化剤、可塑剤、潤滑剤等の添加剤が含まれていても良い。磁石粉末は、ボンド磁石の仕様等に応じて選定されて良く、例えば、希土類磁石粉末、フェライト磁石粉末等が挙げられる。バインダ樹脂もボンド磁石の仕様等に応じて選定さ

40

50

れてよく、例えば、ポリアミド樹脂やポリフェニレンサルファイド樹脂等が挙げられる。

【0026】

射出成形装置2は、ボンド磁石の製造装置1を用いて射出成形を行うための装置である。射出成形装置2は、ボンド磁石の製造装置1を収容する第1金型41および第2金型42を備えている。第1金型41は、ボンド磁石の製造装置1を収容するための空洞が形成された金型であり、保持部材10の外周面と接する内周面を有する空洞が形成されている。ボンド磁石の製造装置1は当該空洞に収容される。但し、本実施形態において、円柱部32は、第1金型41の一部でもある。すなわち、第1金型41にはボンド磁石の製造装置1を収容する空洞が形成されているが、その中央は円柱状に突出している。そして、第1金型41内に、ボンド磁石の製造装置1を収容した場合に、仕切部材31の径方向内側に円柱状の突出が位置し、円柱部32となるように設計されている。第1金型41は、非磁性体等によって構成される。円柱部32は、第1金型41と別の部材であっても良いし一体の部材であっても良い。

10

【0027】

第2金型42は、第1金型41内にボンド磁石の製造装置1が収容された状態で、第1金型41と組み合わせられ、ボンド磁石の製造装置1が外部に露出しないように蓋をする部材である。第2金型42には、仕切部材31と円柱部32との間の空洞に繋がる供給路221が形成されている。供給路221は、軸Axを含む位置に形成されている。また、供給路221は、軸Axに垂直な断面が円形であり、断面の半径が一定の部分と半径が徐々に変化する部分とを有する貫通穴である。断面の半径が徐々に変化する部分においては、第1金型41側から離れるにつれて半径が徐々に大きくなる。第2金型42は、非磁性体等によって構成される。

20

【0028】

第2金型42の、供給路221の開口部に対応する位置には、シリンダ50が接続される。シリンダ50は、略筒状の部材であり、第2金型42に接続される先端部分においては、径が徐々に小さくなる。シリンダ50内には、ロッド51が軸Ax方向に進退可能、回転可能に設けられる。ロッド51の外径はシリンダ50の内径より小さく、ロッド51とシリンダ50との間には、ボンド磁石の材料Mが充填される空間が存在する。

【0029】

ロッド51は、回転および移動可能であり、ロッド51とシリンダ50との間に空間に存在する、溶融した材料を供給路221側に移動させることができる。なお、図1Bに示す射出成形装置2においては、材料を蓄積する蓄積部、蓄積部からシリンダ50への材料の供給路、射出のための材料の通路や射出成形後に第1金型41と第2金型42とを分離するための機構、収容部30から射出成形後のボンド磁石を取り出すための押出ピンなど、公知の構成の一部が省略または簡略化されて示されている。以上のような射出成形装置2の構成は一例であり、射出成形装置2においてボンド磁石の製造装置1を除く部分は、公知の種々の構成が採用されてよい。

30

【0030】

(2) ボンド磁石の製造方法：

次に、ボンド磁石の製造装置1を備えた射出成形装置2によってボンド磁石を製造する製造方法を説明する。図2は、ボンド磁石の製造方法を示すフローチャートである。ボンド磁石を製造する際、まず、ユーザは、ボンド磁石の材料を用意し、射出成形装置2が備える蓄積部に材料を蓄積させる。

40

【0031】

材料が蓄積された状態で、ユーザは、充填工程を実行する(ステップS100)。充填工程において、ユーザは、図示しないヒータを動作させ、第1金型41、第2金型42を加熱する。加熱を行う際の温度としては、種々の条件を設定可能であり、例えば、ボンド磁石の材料Mが約300℃、第1金型41および第2金型42が約130℃になるように温度調節される。加熱時間等は、ボンド磁石の材料等に応じて適宜調整される。なお、これらの温度において、ボンド磁石の製造装置1における複数の永久磁石20は約140℃

50

～170℃になることが想定されている。むろん、温度等の条件は一例であり、他の温度等であっても良い。

【0032】

いずれにしても、ボンド磁石の材料Mが目標温度になると、ユーザは、射出成形装置2のロッドを動作させ、シリンダ50の内部に存在する溶融した材料Mを、シリンダ50内から、供給路221に向けて移動させる。この結果、材料Mは、供給路221を経てボンド磁石の製造装置1の収容部30に供給される。すなわち、溶融した材料Mは、仕切部材31の内周面と円柱部32の外周面との間の空間に充填される。

【0033】

次に、ユーザは、形成工程を実行する（ステップS110）。すなわち、ユーザは、ボンド磁石の材料M、第1金型41および第2金型42が予め設定した温度になるように温度調節する。また、ユーザは、予め設定した温度である状態を予め設定された時間保持させて、ボンド磁石の材料Mを硬化させる。温度および時間は、種々の値であって良く、形成工程の過程で変化しても良いし、所定の温度勾配となるように温度を変化させても良い。

【0034】

形成工程によって材料Mが硬化したら、ユーザは、取出工程を実行する（ステップS120）。すなわち、ユーザは、図示しない機構を操作して第1金型41と第2金型42とを分離させる。さらに、ユーザは、図示しない押出ピンを動作させ、ボンド磁石の製造装置1からボンド磁石を取り出す。以上の構成によれば、複数の永久磁石20によって磁化されたボンド磁石を製造することができる。

【0035】

（3-1）ボンド磁石の特性：

以上のような射出成形装置2によってボンド磁石の射出成形を行うと、複数の永久磁石20によって収容部30に誘起される磁場中でボンド磁石の材料が硬化していく。このため、磁場中の磁力線に沿って磁石粉末の磁化容易軸が整列し、異方性磁石となる。すなわち、第1永久磁石21に対応した位置がS極、第3永久磁石23に対応した位置がN極になるように、磁化容易軸が配向する。図3は、図1Aの一部を拡大した図であり、複数の永久磁石20によって誘起される磁極を模式的に示している。

【0036】

図3においては、第1永久磁石21～第4永久磁石24によって誘起される磁場の磁力線を一点鎖線によって模式的に示している。当該磁場を示す一点鎖線は、誘起される磁場を定性的に説明するためのものであり、実際に誘起される磁場に正確に一致するとは限らない。本実施形態において、第1永久磁石21～第4永久磁石24によって誘起される磁場の磁束密度は、複数の永久磁石20の径方向内側（例えば、図3に示す部分Zb）において大きい。一方、複数の永久磁石20の径方向外側に存在する保持部材10の内部（例えば、図3に示す部分Zp）に形成される磁場の磁束密度は、径方向内側の部分と比較して小さい。

【0037】

このように、複数の永久磁石20の径方向内側と径方向外側とにおいて、複数の永久磁石20によって誘起される磁場の磁束密度に差が生じる主な理由は、第1永久磁石21～第4永久磁石24の磁化の方向が工夫されている点にある。具体的には、第1永久磁石21の磁化の方向は径方向内側を向いており、第3永久磁石23の磁化の方向は径方向外側を向いている。従って、第1永久磁石21の径方向内側に形成される磁力線は、図3において、例えば、一点鎖線Ldで示されるように、第2永久磁石22の内部、第1永久磁石21の内部、第1永久磁石の外部、ボンド磁石の成形領域B、第3永久磁石23の内部、第2永久磁石22の内部を通るように一周する。

【0038】

このような一点鎖線Ldで示す磁力線において、第2永久磁石22の径方向内側では、磁力線が方向Abを向くが、第2永久磁石22の磁化の方向Amは、当該磁力線の方向A

10

20

30

40

50

bと逆向きである。従って、第2永久磁石22は、ボンド磁石の成形領域Bにおける磁力線が第2永久磁石22の内部に進入しないようにブロックし、複数の永久磁石20の径方向内側の空間において、磁束密度が大きくなるように寄与する。すなわち、本実施形態によれば、第2永久磁石22が存在しない場合と比較して、複数の永久磁石20の径方向内側に誘起される磁場の磁束密度を大きくすることができる。

【0039】

なお、第3永久磁石23の磁化の方向は、複数の永久磁石20の径方向外側を向いているため、第3永久磁石23の径方向外側において、磁場が第3永久磁石23の外部、すなわち、保持部材10の内部に誘起され得る。保持部材10の内部に誘起される磁場が小さくならずループするためには、保持部材10は、透磁率が小さい軟磁性体であることが好ましい。また、磁場が第3永久磁石23の外部に誘起されるとしても、誘起される磁場の方向は、第2永久磁石22の磁化の方向と類似しているため、磁力線は、第2永久磁石22の内部を通過し得る。

【0040】

図4は、複数の永久磁石20によって形成される磁場の磁力線を示すシミュレート結果である。当該シミュレートは、電磁解析ソフトウェアであるJ M A G - D e s i g n e rを用いて実施された。シミュレートにおいて第1永久磁石21および第3永久磁石23は、残留磁束密度 B_r が13.9 kG、固有保磁力 H_{c_j} が18 kOeの永久磁石が想定されている。第2永久磁石22および第4永久磁石24は、残留磁束密度 B_r が11.3 kG、固有保磁力 H_{c_j} が35 kOeの永久磁石が想定されている。保持部材10としては、S10Cの材料パラメータが想定され、ボンド磁石の成形領域Bは空洞であることが想定されている。なお、図4においては、ボンド磁石の成形領域Bに形成される磁場の磁束密度を着色し、同一の磁束密度の部分を同一の色で示している。シミュレートによれば、概ね、ボンド磁石の成形領域Bの径方向外側であるほど磁束密度が大きく、径方向内側であるほど磁束密度が小さくなる結果であった。

【0041】

図4に示された磁力線によれば、第2永久磁石22の径方向内側において、第2永久磁石22の外部には、多くの磁力線が存在するが、第2永久磁石22の内部（例えば、図4において白線で囲んだ部分）においては、第1永久磁石21から延びて第3永久磁石23に到達する磁力線がほとんど存在しない。このため、第2永久磁石22が、ボンド磁石の成形領域Bにおける磁力線の第2永久磁石22の内部への進入をブロックし、この結果、複数の永久磁石20の径方向内側の空間において磁場の磁束密度が小さくなることを防止していることが確認できる。図3および図4においては、主に第2永久磁石22を用いて説明したが、第4永久磁石24においても、第2永久磁石22と同様の原理により、第4永久磁石24の径方向内側において第4永久磁石24の内部に対する磁場の進入を防止する。この結果、第4永久磁石24が存在しない場合と比較して、第4永久磁石24の径方向内側において、第4永久磁石24の外部に誘起される磁場の磁束密度を大きくすることができる。

【0042】

以上のように、本実施形態においては、第2永久磁石22および第4永久磁石24が存在することにより、存在しない場合（第1永久磁石21と第3永久磁石23とが隣り合う場合）と比較して、複数の永久磁石20の径方向内側で径方向外側よりも磁束密度が大きくなる。この結果、射出成形装置2によって成形されるボンド磁石の磁気性能を容易に向上させることが可能である。例えば、磁化容易軸が磁力線の接線方向に一致している状態の残留磁束密度を100%とした場合、製造されたボンド磁石における残留磁束密度は100%以下になり、100%に近いほどボンド磁石の磁気性能が高くなる。ここで、磁化容易軸が磁力線の接線方向に一致している比率を配向率とする。配向率は、ボンド磁石の成形領域Bに誘起される磁場の磁束密度が大きいほど高くなるため、本実施形態によれば、ボンド磁石の配向率を容易に向上させることが可能である。

【0043】

さらに、本実施形態においては、ボンド磁石の成形領域 B に対して、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 が対面し、これらの永久磁石の直下に N 極や S 極の磁極が形成される。従って、上述の従来技術のように、ヨークや永久磁石以外の配向磁性体がボンド磁石の成形領域 B に対面する構成と比較して、永久磁石の磁場を直接的に磁極部分に作用させることができる。本実施形態においては、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 とボンド磁石の成形領域 B との間に仕切部材 3 1 が存在するが、仕切部材 3 1 は非常に薄いため、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 の磁場が直接的に磁極部分に作用していると思えることができる。この構成によれば、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 の磁場を、ボンド磁石の成形領域 B に直接的に作用させることが可能であり、ボンド磁石の磁気性能を容易に向上させることが可能である。

10

【0044】

さらに、ボンド磁石においては、ボンド磁石の外周面の表面磁束密度が周方向において正弦波に近い変化をすることが好ましい。例えば、ボンド磁石をモータに用いた場合に、周方向における表面磁束密度の変化が正弦波に近いほど、コギングトルクが小さくなることが知られている。本実施形態の発明者は、複数の永久磁石 2 0 として、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 を用いた場合と、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 を用いず、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 を隣接させた場合とのそれぞれについて、表面磁束密度を測定した。この結果、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 を用いた場合、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 を用いない場合よりも、表面磁束密度の周方向の変化がより正弦波に近いことが確認された。従って、本実施形態によれば、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 を用いない場合と比較して、よりコギングトルクが小さくなるようなボンド磁石を製造することが可能である。

20

【0045】

(3-2) 永久磁石の組み付け性：

永久磁石同士を隣接させる際、永久磁石の磁化の方向により、永久磁石同士に斥力が発生する場合、引力が発生する場合、斥力も引力も発生しない中立の場合がある。本実施形態にかかるボンド磁石の製造装置 1 において、複数の永久磁石 2 0 は、永久磁石が互いに隣接しながら周方向の 1 周にわたり配置される。従って、永久磁石同士に斥力が発生しないように磁化の方向を調整しなければ、複数の永久磁石 2 0 を隣接させてボンド磁石の製造装置 1 を構成することが困難になってしまう。

30

【0046】

そこで、本実施形態においては、隣接する永久磁石同士に斥力が発生しないように、磁化の向きが決定される。まず、磁化の方向が一方向であるバルク状の永久磁石の平面同士を隣接させた際に、境界において斥力が発生するか否かを判定する方法を説明する。図 5 A は、永久磁石 M_1 、 M_2 を隣接させた場合の境界 L b を模式的に示している。図 5 A の境界の左右に示された破線のベクトル V_1 、 V_2 は、永久磁石 M_1 、 M_2 における磁化の方向を示す単位ベクトルである。

【0047】

図 5 A のように磁化された永久磁石 M_1 、 M_2 について、境界に作用する力を判定するためには、隣接する永久磁石 M_1 、 M_2 の一方における磁化の方向を示す単位ベクトルを、隣接する永久磁石の境界を軸にして反転させる。図 5 B は、図 5 A に示す例において単位ベクトルを反転させた場合の例を示している。すなわち、永久磁石 M_1 の磁化の方向を示す単位ベクトル V_1 が境界 L b を軸に反転されると、図 5 B に示す単位ベクトル V_3 になる。

40

【0048】

そして、隣接する永久磁石の一方における単位ベクトルが反転された場合において、反転後のベクトルと、隣接する永久磁石の他方における単位ベクトルと、の内積が 0 以下である場合には、隣接する永久磁石の間に斥力は発生しない。図 5 C は、図 5 B に示される、単位ベクトル V_3 と、永久磁石 M_2 の単位ベクトル V_2 と、の始点を一致させて示した図である。図 5 C に示す例において、始点が一致した単位ベクトル V_2 、 V_3 が形成する角

50

度のうち、小さい方の角 α は鈍角であるため、両単位ベクトル V_2 、 V_3 の内積は0以下である。従って、図5Aに示す例において、永久磁石 M_1 、 M_2 の境界に斥力は作用しない。このため、隣接する永久磁石の磁化の方向と、境界の向きとの関係が、図5Aに示すような関係である場合、永久磁石 M_1 、 M_2 に斥力は作用せず、容易に組み合わせることができる。

【0049】

図5Dは、単位ベクトルの交差角と、隣接する永久磁石間に作用する力と、の関係を示明するための説明図である。図5Dにおいては、反転後の単位ベクトルの例を単位ベクトル V_{31} 、 V_{32} 、 V_{33} として一点鎖線の矢印によって示し、反転先の永久磁石の単位ベクトルの例を単位ベクトル V_{21} として示している。これらの単位ベクトルにおいては、始点が一致するように表記されている。反転先の単位ベクトル V_{21} に対して、反転後の単位ベクトルが直交する場合、例えば、単位ベクトル V_{31} 、 V_{33} のような場合、内積が0であり、永久磁石間に斥力および引力が作用せず、中立である。

10

【0050】

一方、反転先の単位ベクトル V_{21} と、反転後の単位ベクトルとの始点を一致させた場合に形成される角度のうち、小さい方の角度が鋭角（ 0° 以上、 90° より小）である場合、内積は0より大きく、永久磁石間に斥力が作用する。さらに、反転先の単位ベクトル V_{21} と、反転後の単位ベクトルとの始点を一致させた場合に形成される角度のうち、小さい方の角度が鈍角（ 90° 以上、 180° 以下）である場合、内積は0以上であり、永久磁石間に引力が作用する。ボンド磁石の製造装置1を製造する際に複数の永久磁石20を隣接させて組み付けることが容易であり、かつ、製造後に分離しないようにするためには、複数の永久磁石20の境界において、斥力が作用しないように各永久磁石の磁化の方向を決定すれば良い。

20

【0051】

本実施形態において、複数の永久磁石20を構成する第1永久磁石21～第4永久磁石24は、全て同一の形状であり、合計12個存在する。このため、図6Aに示すように、永久磁石一つ当たり、周方向に 30° 分の領域を占める。なお、図6Aは、図1Aから第1永久磁石21、第2永久磁石22および円柱部32を抜き出し、拡大して示す図である。本実施形態において、第1永久磁石21および第3永久磁石23のそれぞれの磁化の方向は、径方向に平行であり、図6Aに示す例であれば、径方向に平行な直線 L_2 と第1永久磁石21の磁化の方向 D_1 とは平行である。

30

【0052】

第2永久磁石22および第4永久磁石24のそれぞれの磁化の方向は、第2永久磁石22および第4永久磁石24のそれぞれを周方向に2等分する径方向の直線に対して垂直である。図6Aに示す例であれば、第2永久磁石22を周方向に2等分する径方向の直線 L_1 に対して第2永久磁石22の磁化の方向 D_2 は垂直である。このような構成において、例えば、第2永久磁石22または第4永久磁石24の磁化の方向を、第1永久磁石21または第3永久磁石23に向けて反転させると、反転前後の単位ベクトルは互いに直交する。

【0053】

例えば、図6Aに示す例において、第2永久磁石22の磁化の方向 D_2 を、第1永久磁石21と第2永久磁石22との境界 L_3 を軸に反転させると、その方向は方向 D_i となる。このため、第1永久磁石21と第2永久磁石22との境界に力は作用せず中立である。本実施形態にかかる第1永久磁石21～第4永久磁石24の磁化の方向の関係は、全て同様の関係にあり、第1永久磁石21～第4永久磁石24の境界に力は作用せず中立である。従って、ボンド磁石の製造装置1を製造する際に複数の永久磁石20を隣接させて組み付けることが容易であり、かつ、製造後に分離しないようにすることが可能である。

40

【0054】

第1永久磁石21～第4永久磁石24の磁化の方向は、より自由に調整されても良い。例えば、第1永久磁石21～第4永久磁石24の少なくとも一つの形状を他の永久磁石の

50

形状と異なる形状にした場合には、磁化の方向が本実施形態と異なる方向を向いているように構成することができる。図 6 B は、図 1 A に示す構成から第 1 永久磁石 2 1 ~ 第 4 永久磁石 2 4 の大きさを変化させた構成を示す図である。図 6 B に示す構成においては、図 1 A に示す第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 の周方向の大きさを大きくして、第 2 永久磁石 2 2 0 および第 4 永久磁石 2 4 0 とした。また、図 1 A に示す第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 の周方向の大きさを小さくして第 1 永久磁石 2 1 0 および第 3 永久磁石 2 3 0 とした。図 6 B においては、複数の永久磁石 2 0 を構成する第 1 永久磁石 2 1 0 ~ 第 4 永久磁石 2 4 0 の一部と、円柱部 3 2 とを抜き出して示している。図 6 B に示す構成において、第 1 永久磁石 2 1 0 ~ 第 4 永久磁石 2 4 0 は周方向に一周しており、図示されていない保持部材 1 0 等の構成は図 1 A と同様である。

10

【 0 0 5 5 】

図 6 B に示す例において、第 2 永久磁石 2 2 0 および第 4 永久磁石 2 4 0 のそれぞれの磁化の方向は、第 2 永久磁石 2 2 0 および第 4 永久磁石 2 4 0 のそれぞれを周方向に 2 等分する径方向の直線に対して垂直である。例えば、図 6 B において、第 2 永久磁石 2 2 0 を周方向に 2 等分する径方向の直線 L_1 に対して第 2 永久磁石 2 2 0 の磁化の方向 D_2 は垂直である。図 6 B においては、第 2 永久磁石 2 2 0 の磁化の方向 D_2 を、境界 L_3 を軸にして反転させた場合の方向を方向 D_{i1} として示している。また、第 2 永久磁石 2 2 0 の磁化の方向 D_2 を、境界 L_4 を軸にして反転させた場合の方向を方向 D_{i2} として示している。

20

【 0 0 5 6 】

磁化の方向 D_1 と反転後の方向 D_{i1} を示す単位ベクトルの始点を一致させて形成される角度のうち、小さい方の角度は 90° より大きく、磁化の方向 D_3 と反転後の方向 D_{i2} を示す単位ベクトルの始点を一致させて形成される角度のうち、小さい方の角度は 90° より大きい。従って、両者とも単位ベクトルの内積は 0 より小さく、境界に引力が作用する。このため、図 6 B に示す例においても、第 1 永久磁石 2 1 0 ~ 第 4 永久磁石 2 4 0 を容易に組み付けることが可能である。

【 0 0 5 7 】

さらに、図 6 B に示す構成において、磁化の方向 D_1 と反転後の方向 D_{i1} との交差角および磁化の方向 D_3 と反転後の方向 D_{i2} との交差角は直角ではなく、 90° より大きい。従って、磁化の方向に自由度がある。図 6 B においては、磁化の方向 D_1 、 D_3 に直交する線分を破線 L_{p1} 、 L_{p2} によって示している。当該破線 L_{p1} 、 L_{p2} と、反転後の方向 D_{i1} 、 D_{i2} と、は一致しておらず、ギャップ G_p が生じている。従って、少なくとも当該ギャップ G_p の角度分であれば、磁化の方向 D_2 を回転させても、第 2 永久磁石 2 2 0 と、第 1 永久磁石 2 1 0 または第 3 永久磁石 2 3 0 との間に作用する力が中立または引力となるようにすることができる。以上のように、複数の永久磁石 2 0 の形状を互いに異なる形状とすることによって磁化の方向に自由度を与え、当該自由度の範囲内で磁化の方向を調整すれば、永久磁石の境界に作用する力が斥力にならないようにすることができる。このため、この範囲で、複数の永久磁石 2 0 の形状や、磁化の方向が調整されて良い。

30

【 0 0 5 8 】

(3 - 2) 永久磁石の固有保磁力 :

複数の永久磁石 2 0 の仕様、例えば、残留磁束密度 B_r や固有保磁力 H_{cj} は限定されず、種々の組合せから選択されてよいし、種々の目的で仕様が決定されて良い。例えば、永久磁石の減磁による影響を抑制し、長期にわたってボンド磁石の製造装置 1 によって製造されるボンド磁石の磁気特性を維持することを目的として永久磁石の仕様を選択されてもよい。

【 0 0 5 9 】

より具体的には、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 の固有保磁力が、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 の固有保磁力以上になるように、永久磁石の仕様を選択してもよい。図 3 に示す例において、ボンド磁石の成形領域 B 内で第 2 永久磁石 2 2 の径

40

50

方向内側に存在する部分 Z b における磁場の向きは、主として方向 A b と同一の方向を向き、第 2 永久磁石 2 2 の磁化の方向 A m に対してほぼ正反対の向きである。

【 0 0 6 0 】

従って、第 2 永久磁石 2 2 は、部分 Z b における磁場により、減磁されやすい。当該状況は、第 4 永久磁石 2 4 でも同様である。一方、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 の周囲、特に、ボンド磁石の成形領域 B に、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 の磁化の方向と正反対の向きの磁場は存在しない。従って、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 は、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 と比較して減磁されにくい。

【 0 0 6 1 】

第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 が減磁すると、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 の径方向内側において、磁力線が永久磁石 2 0 の内部に進入しやすくなる。そして、磁力線が第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 の内部に進入すると、進入していない場合と比較して、ボンド磁石の成形領域 B 内の磁束密度が低下する。そこで、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 の固有保磁力が、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 の固有保磁力以上になるように、永久磁石 2 0 の仕様を選択する構成を採用可能である。この構成によれば、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 において、減磁による影響を受けにくくすることができる。すなわち、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 の固有保磁力が大きくなるように永久磁石 2 0 の仕様が選択されている場合、そうでない場合と比較して、ボンド磁石の成形領域 B 内の磁束密度が大きくなる。また、ボンド磁石の成形領域 B 内の磁束密度が大きい状態を長期にわたって維持することができる。

10

20

【 0 0 6 2 】

図 7 A は、永久磁石の残留磁束密度 B r を固定し、固有保磁力 H c j を変化させた場合に、ボンド磁石の成形領域 B に誘起される磁場の磁束密度の変化を示している。磁束密度は、図 4 に示すシミュレートと同様のソフトウェアを用いて実施された。また、シミュレートにおいて、複数の永久磁石 2 0 の残留磁束密度 B r は 1 2 k G に固定された。保持部材 1 0 としては、S 1 0 C が想定され、ボンド磁石の成形領域 B は空洞であることが想定されている。そして、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 の固有保磁力を固定し、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 の固有保磁力を調整対象とした場合のシミュレート結果が、正方形のマーカーによってプロットされている。第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 の固有保磁力を調整対象とし、第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 の固有保磁力を固定した場合のシミュレート結果が、円形のマーカーによってプロットされている。また、図 7 A において、黒いマーカーは、成形領域 B 内の磁束密度の最大値を示し、白抜きのマーカーは、成形領域 B 内の磁束密度の最小値を示している。

30

【 0 0 6 3 】

調整対象の永久磁石の固有保磁力は、1 2 . 5 k O e ~ 3 5 . 0 k O e の範囲で、図 7 A にプロットされた値のように変化させた。調整対象ではない永久磁石の固有保磁力は 3 5 . 0 k O e に固定された。第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 の固有保磁力を調整対象とした場合、図 7 A に正方形のマーカーで示されるように、固有保磁力の増大とともに、成形領域 B 内の磁束密度が増大する。すなわち、減磁されやすい位置に配置される第 2 永久磁石 2 2 および第 4 永久磁石 2 4 においては、固有保磁力を増加させるほど、成形領域 B 内の磁束密度が増大する。

40

【 0 0 6 4 】

一方、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 の固有保磁力を調整対象とした場合、図 7 A に円形のマーカーで示されるように、固有保磁力を変化させても、成形領域 B 内の磁束密度に大きな変化はない。すなわち、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 は減磁されにくい位置に配置されるため、固有保磁力を変化させても成形領域 B 内の磁束密度は有意に変化しない。

【 0 0 6 5 】

以上のことから、第 1 永久磁石 2 1 および第 3 永久磁石 2 3 の固有保磁力は過度に大き

50

くなくともよいが、第2永久磁石22および第4永久磁石24の固有保磁力はできるだけ大きい方が好ましい。このため、第2永久磁石22および第4永久磁石24の固有保磁力が、第1永久磁石21および第3永久磁石23の固有保磁力以上になるように、永久磁石の仕様が設定されていれば、減磁による影響を抑制することが可能である。また、この構成であれば、第2永久磁石22および第4永久磁石24の固有保磁力が、第1永久磁石21および第3永久磁石23の固有保磁力より小さい場合と比較して、ボンド磁石の成形領域Bの磁束密度を大きくすることが可能である。

【0066】

さらに、固有保磁力 H_cj と残留磁束密度 B_r とは、トレードオフの関係になることが多い。従って、固有保磁力 H_cj が大きい永久磁石を選択すると、残留磁束密度 B_r が小さくなる。第1永久磁石21および第3永久磁石23は、ボンド磁石の磁極に対応した位置に存在するため、第1永久磁石21および第3永久磁石23は、固有保磁力が大きいものよりも、残留磁束密度 B_r が大きいものの方が好ましい。本実施形態において、第1永久磁石21および第3永久磁石23における固有保磁力は過度に大きくなくて良いため、残留磁束密度 B_r が大きいものを選択しやすくなる。

【0067】

(4) 他の実施形態：

以上の実施形態は、本発明を実施するための一例であり、他にも種々の実施形態を採用可能である。例えば、図1Aに示す実施形態において複数の永久磁石20同士の境界は、径方向に平行であるが、少なくとも一部の永久磁石において、境界の向きは径方向に平行でなくとも良い。図7Bは、境界同士が平行になる構成を示している。すなわち、図7Bに示す例においては、軸Axに平行な方向から見た場合の第1永久磁石211および第3永久磁石231の形状が長方形である。むろん、このような例に限定されず、径方向外側に向けて永久磁石20の幅が狭くなるような構成であっても良い。

【0068】

さらに、複数の永久磁石20は曲面を有していても良い。図8Aは、図1Aに示す第1永久磁石21～第4永久磁石24の内周面および外周面を曲面とした第1永久磁石212～第4永久磁石242によってボンド磁石の製造装置を構成した例である。すなわち、第1永久磁石212～第4永久磁石242が周方向に隣接することによって形成される内周面および外周面は、軸Axに平行な方向から見た場合に円形である。むろん、内周面と、外周面と、の一方が曲面であり、他方が平面であっても良い。

【0069】

さらに、複数の永久磁石20は、隣り合っていれば良く、永久磁石同士が隣接していない構成であっても良い。図8Bは、軸Axに平行な方向から見た場合の形状が長方形である永久磁石によって第1永久磁石213～第4永久磁石243が構成されている例を示す図である。図8Bに示す構成においては、第1永久磁石213～第4永久磁石243の間に、軟磁性体または非磁性体の部材213a～243aが存在する。部材213a～243aは、三角柱の形状であり、軸Axに平行な方向から見た場合の形状が三角形である。このように、複数の永久磁石20同士の境界が接していなくても、収容部30内でボンド磁石を製造することが可能である。

【0070】

なお、図8Bのように永久磁石20同士の境界が接していない構成においては、永久磁石20に隣接する部材に形成される磁化の方向と、境界面との関係によって境界に作用する力が引力または中立になるようにすれば良い。例えば、第1永久磁石213～第4永久磁石243と、部材213a～243aと、を隣接させた場合に部材213a～243aに誘起される磁化の方向を示す単位ベクトルが特定され、境界を軸にして当該単位ベクトルが反転される。そして、当該反転後の単位ベクトルと、反転先の永久磁石の磁化の方向を示す単位ベクトルと、の内積が0以下になるように永久磁石の磁化の方向が調整されていれば良い。

【0071】

10

20

30

40

50

円環状の保持部材は、複数の永久磁石を保持することができればよい。すなわち、円環状の保持部材の径方向内側に複数の永久磁石が並べられることで、ボンド磁石の製造の際に、複数の永久磁石が移動せず、金型内に保持される構成であれば良い。また、保持部材の形状は、円環状であり、少なくとも保持部材の径方向内側で複数の永久磁石を円環状に配置させることができればよい。従って、保持部材の径方向内側の面や径方向外側の面の形状は限定されず、上述の実施形態のように、内周面が多角形、外周面が円形である構成以外にも種々の構成を採用可能である。例えば、内周面が円形、外周面が多角形であっても良いし、内周面および外周面がともに円形であっても良いし、ともに多角形であっても良い。

【0072】

複数の永久磁石は、保持部材の径方向内側において周方向に並び、円環状に配置される。すなわち、複数の永久磁石は、保持部材の径方向内側で1周にわたって連続的に、または離散的に並ぶことで円環を形成していれば良い。保持部材の径方向内側は保持部材が形成する円環の径方向内側であり、複数の永久磁石が保持部材に保持されるためには、保持部材の内周面に対して複数の永久磁石が接した状態であるか、または、他の部材を介して複数の永久磁石が間接的に接した状態であることが好ましい。

【0073】

複数の永久磁石が形成する円環は、複数の永久磁石が周方向に並んで1周し、複数の永久磁石の径方向内側に永久磁石が存在しないことで形成される形状であれば良い。従って、複数の永久磁石の径方向内側に形成される面と径方向外側に形成される面の形状は限定されない。例えば、径方向内側の面、径方向外側の面のそれぞれは、円形であっても良いし、多角形であっても良い。

【0074】

収容部は、複数の永久磁石の径方向内側に存在し、ボンド磁石の材料が充填される空間を形成すればよい。すなわち、複数の永久磁石が形成する円環の径方向内側に、ボンド磁石の材料が充填され、ボンド磁石の成形の過程でボンド磁石が磁化されるように構成されていれば良い。収容部は、複数の永久磁石の径方向内側に形成されるため、複数の永久磁石の内周面に沿った形状となるが、この限りにおいて、形状は限定されない。例えば、ボンド磁石の材料を充填するための空間の径方向の厚さは限定されず、製造対象のボンド磁石の仕様に応じて種々の形状であっても良い。また、収容部の中央の円柱部分が可換である構成等によって収容部の形状が可変であっても良い。

【0075】

複数の永久磁石は、第1永久磁石、第2永久磁石、第3永久磁石および第4永久磁石によって形成される組によって構成され、当該組は、円の周方向に隣り合い、1周にわたって複数組並んでいる。すなわち、第1永久磁石、第2永久磁石、第3永久磁石および第4永久磁石によって形成される組が1組以上、整数個存在することによって複数の永久磁石が構成される。また、当該組が互いに隣り合って1周にわたって存在するため、複数の永久磁石においては、第1永久磁石、第2永久磁石、第3永久磁石および第4永久磁石の順番で周方向に並んでいる。この結果、ボンド磁石においては、第1永久磁石と第3永久磁石とによってボンド磁石に誘起されるS極およびN極の組が整数個（1以上）形成される。

【0076】

第1永久磁石は、磁化の方向が複数の永久磁石の径方向内側を向いていればよい。上述の実施形態においては、第1永久磁石の周方向中央における磁化の方向を延長した直線が円環の中心を通る構成であったが、この構成に限定されない。すなわち、磁化の方向は、複数の永久磁石の径方向内側を向いており、第1永久磁石に対応した位置においてボンド磁石の極が形成されれば良く、この限りにおいて、磁化の方向の延長線は円環の中心を通らない構成であっても良い。径方向は、円環の中心を通らない方向であっても良い。なお、永久磁石は円環状に1周するため、第1永久磁石は第2永久磁石と第4永久磁石と隣り合う。

10

20

30

40

50

【0077】

第2永久磁石は、第1永久磁石と隣り合い、磁化の方向が第1永久磁石の方向を向いていればよい。この状態は、第2永久磁石が第3永久磁石と隣り合い、磁化の方向が第3永久磁石を指す方向と反対方向を向いている状態でもある。すなわち、第2永久磁石は、第1永久磁石および第3永久磁石によってボンド磁石側に形成される磁力線と逆の方向を向いていることにより、ボンド磁石側に形成される磁力線が第2永久磁石側に侵入することがブロックされれば良い。第2永久磁石の磁化の方向も、周方向において第2永久磁石を2等分する径方向の直線（周方向の中央を通る径方向を向いた直線）に対して垂直な方向と一致していても良いし、一致していなくても良い。いずれにしても、第2永久磁石の磁化の方向は、第2永久磁石と隣り合う第1永久磁石および第3永久磁石と反発しない（引き合うまたは中立）ような向きであることが好ましい。なお、永久磁石は円環状に1周するため、第2永久磁石は第1永久磁石と第3永久磁石と隣り合う。

10

【0078】

第3永久磁石は、第2永久磁石と隣り合い、磁化の方向が複数の永久磁石の径方向外側を向いていればよい。上述の実施形態においては、第3永久磁石の周方向中央における磁化の方向を延長した直線が円環の中心を通る構成であったが、この構成に限定されない。すなわち、磁化の方向は、複数の永久磁石の径方向外側を向いており、第3永久磁石に対応した位置においてボンド磁石の極が形成されれば良く、この限りにおいて、磁化の方向の延長線は円環の中心を通らない構成であっても良い。なお、永久磁石は円環状に1周するため、第3永久磁石は第2永久磁石と第4永久磁石と隣り合う。

20

【0079】

第4永久磁石は、第1永久磁石と隣り合い、磁化の方向が第1永久磁石を向いていれば良い。この状態は、第4永久磁石が第3永久磁石と隣り合い、磁化の方向が第3永久磁石を指す方向と反対方向を向いている状態でもある。すなわち、第4永久磁石は、第1永久磁石および第3永久磁石によってボンド磁石側に形成される磁力線と逆の方向を向いていることにより、ボンド磁石側に形成される磁力線が第4永久磁石側に侵入することがブロックされれば良い。第4永久磁石の磁化の方向も、周方向において第4永久磁石を2等分する径方向の直線（周方向の中央を通る径方向を向いた直線）に対して垂直な方向と一致していても良いし、一致していなくても良い。いずれにしても、第4永久磁石の磁化の方向は、第4永久磁石と隣り合う第1永久磁石および第3永久磁石と反発しない（引き合うまたは中立）ような向きであることが好ましい。なお、永久磁石は円環状に1周するため、第4永久磁石は第1永久磁石と第3永久磁石と隣り合う。

30

【符号の説明】

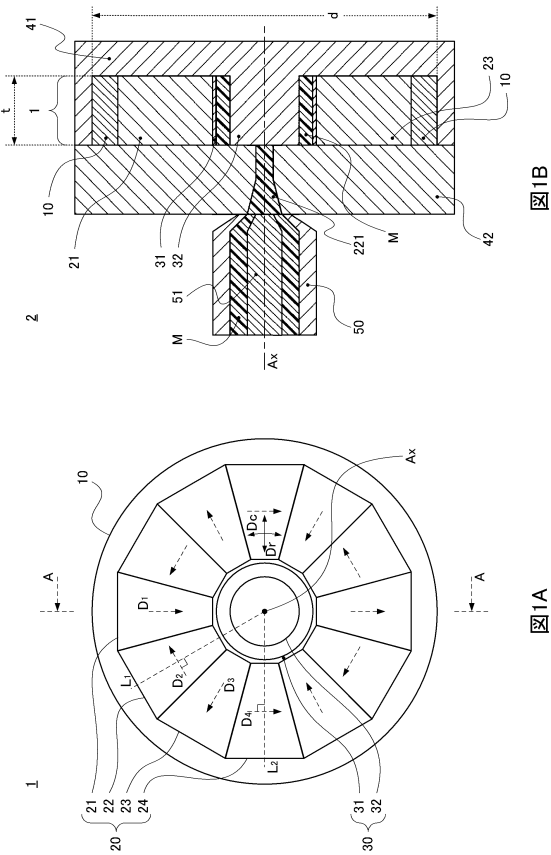
【0080】

1…製造装置、2…射出成形装置、10…保持部材、20…永久磁石、21…第1永久磁石、22…第2永久磁石、23…第3永久磁石、24…第4永久磁石、30…収容部、31…仕切部材、32…円柱部、41…第1金型、42…第2金型、50…シリンダ、51…ロッド

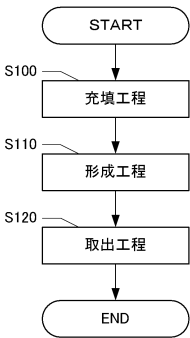
40

50

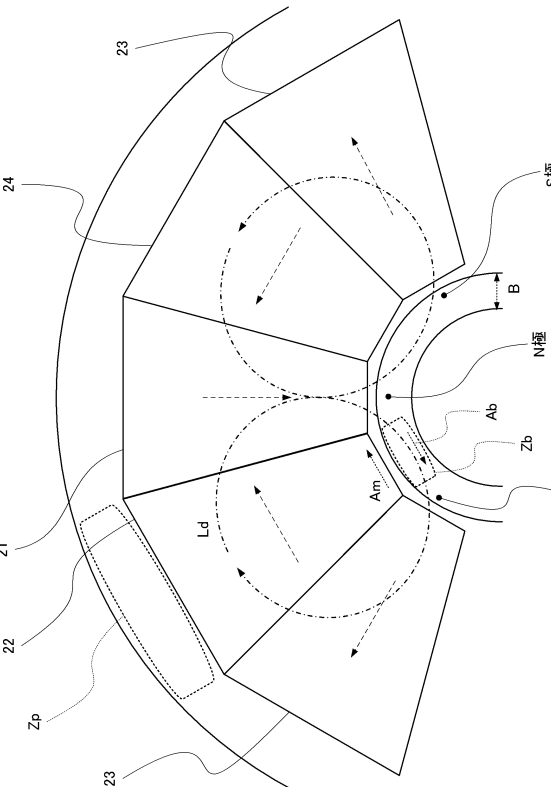
【図面】
【図 1】



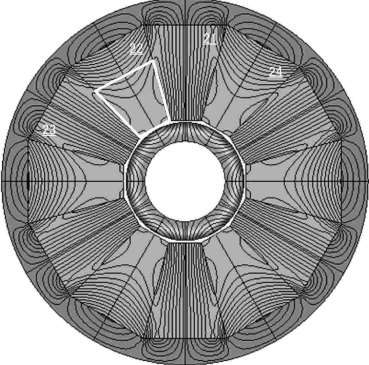
【図 2】



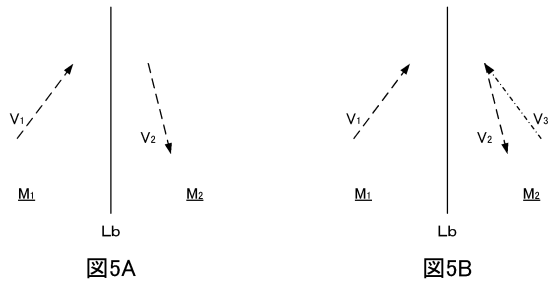
【図 3】



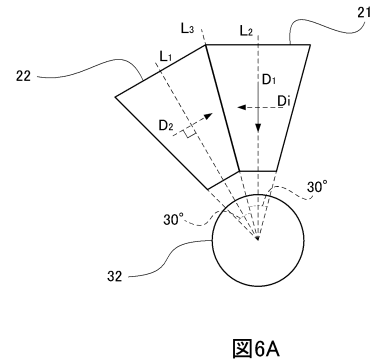
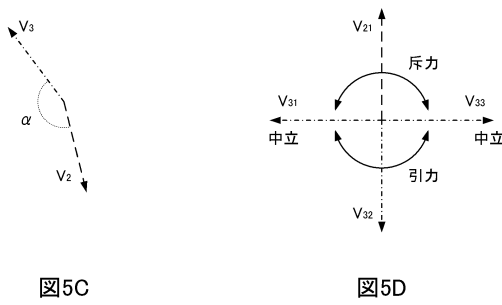
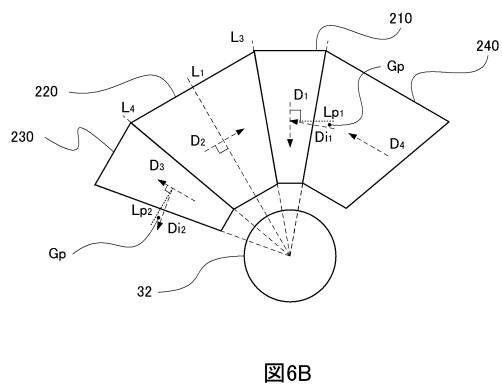
【図 4】



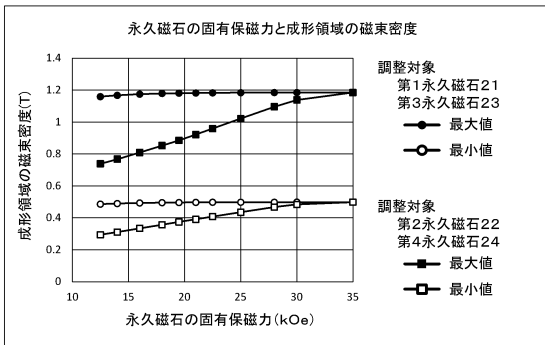
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

