

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6488967号
(P6488967)

(45) 発行日 平成31年3月27日(2019.3.27)

(24) 登録日 平成31年3月8日(2019.3.8)

(51) Int. Cl.			F I		
B 3 0 B	11/00	(2006.01)	B 3 0 B	11/00	F
B 2 2 F	3/035	(2006.01)	B 2 2 F	3/035	C
B 2 2 F	3/00	(2006.01)	B 2 2 F	3/00	D
B 2 2 F	3/02	(2006.01)	B 2 2 F	3/02	R
H 0 1 F	41/02	(2006.01)	B 3 0 B	11/00	A

請求項の数 10 (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2015-193520 (P2015-193520)	(73) 特許権者	000005083
(22) 出願日	平成27年9月30日(2015.9.30)		日立金属株式会社
(65) 公開番号	特開2017-64752 (P2017-64752A)		東京都港区港南一丁目2番70号
(43) 公開日	平成29年4月6日(2017.4.6)	(74) 代理人	100101683
審査請求日	平成30年3月2日(2018.3.2)		弁理士 奥田 誠司
		(74) 代理人	100155000
			弁理士 喜多 修市
		(74) 代理人	100180529
			弁理士 梶谷 美道
		(72) 発明者	三次 敏夫
			兵庫県養父市大藪1062番地 株式会社
			NEOMAX近畿内
		(72) 発明者	原田 務
			兵庫県養父市大藪1062番地 株式会社
			NEOMAX近畿内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 粉末充填装置およびそれを用いた希土類焼結磁石の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

フィーダボックスと、支持フレームと、可動フレームと、前記支持フレームに固定され第1方向に延びるガイド棒と、前記可動フレームを前記ガイド棒に沿って直線状に往復運動させる駆動装置とを有し、

前記フィーダボックスは、上側開口部と、前記上側開口部よりも小さい下側開口部と、前記上側開口部から前記下側開口部に至る側壁とを有し、前記ガイド棒に沿って可動となるように支持されており、

前記可動フレームは、前記フィーダボックスを間に介して対向するように配置された2本の作用棒を有し、

前記可動フレームが前記往復運動をさせられたとき、前記2本の作用棒が交互に前記フィーダボックスに当たり、前記フィーダボックスを往復運動させるように構成されている、粉末充填装置。

【請求項2】

前記下側開口部は、長方形を有し、前記第1方向の長さが、前記第1方向に直交する第2方向の長さよりも大きい、請求項1に記載の粉末充填装置。

【請求項3】

前記ガイド棒に固定され、前記上側開口部と前記下側開口部との間の空間に前記第1方向に配列された複数のピンをさらに有する、請求項1または2に記載の粉末充填装置。

【請求項4】

10

20

前記駆動装置は、前記支持フレームに固定された揺動モーターを有する、請求項 1 から 3 のいずれかに記載の粉末充填装置。

【請求項 5】

前記フィーダボックスの前記下側開口部に対するシャッターをさらに有する、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の粉末充填装置。

【請求項 6】

前記フィーダボックスは底板をさらに有し、前記底板はフッ素樹脂で形成されている、請求項 1 から 5 のいずれかに記載の粉末充填装置。

【請求項 7】

希土類磁石用の磁性粉末を用意する工程と、
 請求項 1 から 6 のいずれかに記載の粉末充填装置の前記フィーダボックスに、所定量の前記磁性粉末を供給する工程と、
 成形装置のキャビティ上に、前記磁性粉末が供給された前記フィーダボックスの前記下側開口部が位置するように、前記粉末充填装置を配置する工程と、
 前記粉末充填装置の前記可動フレームを往復運動させることによって、前記フィーダボックスを往復運動させ、前記磁性粉末を前記キャビティに充填する工程と、
 前記キャビティ内の前記磁性粉末を一軸プレスすることによって成形体を作製する工程と、
 前記成形体を焼結することによって焼結体を得る工程と

10

を包含する、希土類焼結磁石の製造方法。

20

【請求項 8】

前記往復運動は、1 分間に 300 回以上 1200 回以下行われる、請求項 7 に記載の希土類焼結磁石の製造方法。

【請求項 9】

前記成形体を作製する工程は、前記第 1 方向に配向磁界を印加する工程を包含する、請求項 7 または 8 に記載の希土類焼結磁石の製造方法。

【請求項 10】

前記焼結体を前記第 1 方向に対応する方向に沿った複数の焼結体片に切断する工程を包含する、請求項 7 から 9 のいずれかに記載の希土類焼結磁石の製造方法。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、粉末成形装置（以下、「成形装置」という。）のキャビティに粉末を充填する装置に関し、特に、希土類焼結磁石の製造に用いられる粉末充填装置に関する。

【背景技術】

【0002】

永久磁石（以下、単に「磁石」という。）は、種々の形状の磁石片として用いられる。希土類磁石は、優れた磁気特性を有しており、広く利用されている。希土類焼結磁石として、希土類・コバルト系磁石と希土類・鉄・ボロン系磁石の 2 種類が各分野で広く用いられている。希土類・鉄・ボロン系磁石は、 $Nd_2Fe_{14}B$ 型化合物を主相として含み、 Fe の一部は他の遷移金属元素（以下、「 T 」と表記する。）で置換され得る。また、 Nd の一部または全部は、他の軽希土類元素（以下、「 RL 」と表記することがある。）または、軽希土類元素および重希土類元素（以下、「 RH 」と表記することがある。）で置換されてもよい。希土類元素は「 R 」と表記する。 Nd 以外の RL は、例えば、 Pr であり、 RH は、例えば Dy または Tb である。さらに、 B の一部は C （炭素）に置き換えられ得る。以下、 $Nd_2Fe_{14}B$ 型化合物を主相とする希土類焼結磁石を「 $R-T-B$ 系焼結磁石」ということにする。なお、 $R-T-B$ 系焼結磁石は、上記の元素に加え、微量添加元素を含み得る。

40

【0003】

$R-T-B$ 系焼結磁石の磁石片は、例えば、以下の方法で製造される。なお、本明細書

50

において、着磁していない状態のものも磁石という。

【0004】

所望の組成を有するR-T-B系合金の粉末を用意する。以下、焼結磁石用の合金粉末を「磁性粉末」という。磁性粉末を磁界中プレス成形によって、所望の形状の成形体を得、成形体を焼結することによって焼結体を得る。必要に応じて、焼結体は、追加の熱処理を施される。熱処理の前または後に、機械加工を受けて、所望の大きさおよび形状の磁石片となる。その後、磁石片は機械加工で発生し磁石表面に付着した研削加工粉や研削液を除去するために洗浄される。

【0005】

R-T-B系焼結磁石の磁石片の製造効率や材料の歩留りを向上させるために、最終的な磁石片の形状(「ネットシェイプ」ということがある。)に近い形状を有する成形体を作製する試みがなされている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2000-248301号公報

【特許文献2】特開2002-160096号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

20

しかしながら、例えば、近年需要が高まっている自動車の動力源用のモーターや産業機器用モーターに使用される焼結磁石片は、小型で長尺な形状(例えば、長さ30mm×幅10mm×厚さ5mm)を有しており、このような形状に対してネットシェイプに近い成形体を作製することは困難である。

【0008】

これは後に図面を参照して詳しく説明するように、例えば特許文献1や2に記載されている従来の充填方法では、磁性粉末を成形装置のキャビティに均一に充填することが困難であることによる。希土類焼結磁石用の磁性粉末は、流動性が低いので、種々の充填方法が検討されてはいるが、上述のような形状に対してネットシェイプに近い成形体を作製する技術はまだ実用化されていない。

30

【0009】

そこで、従来は、最終的な磁石片よりも大きな成形体を作製し、大きな成形体を焼結し、得られた焼結体を切断していた。例えば、小型で長尺の磁石を作製する際には、長尺方向の長さがネットシェイプに近い成形体を作製し、幅方向および厚さ方向については成形体または焼結体を切断することによって、ネットシェイプの磁石片を得ていた。この様に長尺の直方体の磁石片の3つの方向の寸法の内、2つの方向の寸法については成形体または焼結体を切断していたので、歩留りやスループットが低下していた。

【0010】

本発明は上記の問題を解決するためになされたものであり、小型で薄型の焼結磁石片を従来よりも効率良く製造することを可能にする、粉末充填装置およびそれを用いた希土類焼結磁石の製造方法を提供することを主な目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の実施形態による粉末充填装置は、フィーダボックスと、支持フレームと、可動フレームと、前記支持フレームに固定され第1方向に延びるガイド棒と、前記可動フレームを前記ガイド棒に沿って直線状に往復運動させる駆動装置とを有し、前記フィーダボックスは、上側開口部と、前記上側開口部よりも小さい下側開口部と、前記上側開口部から前記下側開口部に至る側壁とを有し、前記ガイド棒に沿って可動となるように支持されており、前記可動フレームは、前記フィーダボックスを間に介して対向するように配置された2本の作用棒を有し、前記可動フレームが前記往復運動をさせられたとき、前記2本の

50

作用棒が交互に前記フィーダボックスに当たり、前記フィーダボックスを往復運動させるように構成されている。

【0012】

ある実施形態において、前記下側開口部は、長方形を有し、前記第1方向の長さが、前記第1方向に直交する第2方向の長さよりも大きい。

【0013】

ある実施形態において、前記ガイド棒に固定され、前記上側開口部と前記下側開口部との間の空間に前記第1方向に配列された複数のピンをさらに有する。前記複数のピンの内、中央のピンは両端のピンよりも長い。

【0014】

ある実施形態において、前記駆動装置は、前記支持フレームに固定された揺動モーターを有する。

【0015】

ある実施形態において、前記粉末充填装置は、前記フィーダボックスの前記下側開口部に対するシャッターをさらに有する。

【0016】

ある実施形態において、前記フィーダボックスは底板をさらに有し、前記底板はフッ素樹脂で形成されている。

【0017】

本発明の実施形態による希土類焼結磁石の製造方法は、希土類磁石用の磁性粉末を用意する工程と、上記のいずれかの粉末充填装置の前記フィーダボックスに、所定量の前記磁性粉末を供給する工程と、成形装置のキャビティ上に、前記磁性粉末が供給された前記フィーダボックスの前記下側開口部が位置するように、前記粉末充填装置を配置する工程と、前記粉末充填装置の前記可動フレームを往復運動させることによって、前記フィーダボックスを往復運動させ、前記磁性粉末を前記キャビティに充填する工程と、前記キャビティ内の前記磁性粉末を一軸プレスすることによって成形体を作製する工程と、前記成形体を焼結することによって焼結体を得る工程とを包含する。

【0018】

ある実施形態において、前記往復運動は、1分間に300回以上1200回以下行われる。

【0019】

ある実施形態において、前記成形体を作製する工程は、前記第1方向に配向磁界を印加する工程を包含する。

【0020】

ある実施形態において、前記焼結体を前記第1方向に対応する方向に沿った複数の焼結体片に切断する工程を包含する。ある実施形態において、この切断工程は成形体および焼結体に対する唯一の切断工程である。

【発明の効果】

【0021】

本発明の実施形態の粉末充填装置およびそれを用いた希土類焼結磁石の製造方法によると、小型で薄型の焼結磁石片を従来よりも効率良く製造することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】(a)～(d)は、本発明の実施形態による希土類焼結磁石の製造プロセスを説明するための模式図である。

【図2】(a)～(c)は、本発明の実施形態による希土類焼結磁石の製造方法に用いられる成形装置100の模式図であり、(a)は(c)のA-A'線に沿った断面図であり、(b)は(c)のB-B'線に沿った断面図であり、(c)は、上パンチ12Uを除いた状態の上面図である。

【図3】本発明の実施形態による粉末充填装置200の模式的な平面図である。

10

20

30

40

50

【図4】(a)および(b)は、粉末充填装置200の模式的な断面図であり、(a)は図3中の4A-4A'線に沿った断面図であり、(b)は、図3中の4B-4B'線に沿った断面図である。

【図5】(a)および(b)は、粉末充填装置200における可動フレーム80の往復運動を説明するための模式的な平面図であり、(a)はフィーダボックス60が図中の上方に移動した状態を示し、(b)はフィーダボックス60が図中の下方に移動した状態を示す。

【図6】(a)~(c)は、成形装置100が有する3つのキャビティ10に参考例の粉末充填装置を用いて充填した磁性粉末の様子を示す光学像である。

【図7】参考例の粉末充填装置を用いて作製した成形体を焼結することによって得られた焼結体におけるひびを示す光学像である。

【図8】(a)~(c)は、成形装置100が有する3つのキャビティ10に実施形態の粉末充填装置200を用いて充填した磁性粉末の様子を示す光学像である。

【図9】(a)~(e)は、従来の希土類焼結磁石の製造プロセスを説明するための模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、図面を参照して、本発明の実施形態による粉末充填装置およびそれを用いた希土類焼結磁石の製造方法を説明する。

【0024】

まず、図9(a)~(e)を参照して、従来の希土類焼結磁石の製造プロセスを説明する。ここで、最終的に製造する希土類焼結磁石片4P(図9(e)参照)は、例えば、長さL、幅W、厚さTが $L \geq 2W \geq T$ の関係にあり、かつ、Wが5mm以下である。本発明の実施形態によると、このような小型で長尺の磁石片4Pを従来よりも効率良く製造することができる。

【0025】

図9(a)に示す様に、R-Fe-B系焼結磁石用の磁性粉末を用いて、成形体1Pを作製する。成形体1Pの寸法の内、長さ L_{p1} は、磁石片4Pの長さLに近い。成形体を焼結すると体積が収縮するので、焼結体4Pの長さがLとなるように、成形体1Pの長さ L_{p1} が決められる。成形体1Pの幅 W_{p1} 、厚さ T_{p1} は、焼結後に複数の焼結体4Pが取れるように、切断しろ(切断によって粉(加工くず)となる体積)を考慮して決められる。なお、成形体1Pをプレス成形によって作製する際、例えば、矢印Mで示す方向(厚さ T_{p1} 方向)に配向磁界を印加する。プレス方向は長さ L_{p1} 方向であり、成形体1Pは、いわゆる直角成形法で作製される。

【0026】

成形体1Pを焼結することによって、図9(b)に示す焼結体2Pが得られる。焼結体2Pの長さ L_{p2} 、幅 W_{p2} 、厚さ T_{p2} は、焼結に伴う収縮により、成形体1Pの長さ L_{p1} 、幅 W_{p1} 、厚さ T_{p1} よりもそれぞれ小さい。なお、成形体1Pの長さ L_{p1} は、焼結体2Pの長さがネットシェイプの長さLとなるように設定されている。なお、本明細書において、ネットシェイプの寸法というとき、必ずしも正確に寸法が一致する必要はなく、研磨などの加工を受けて最終的なネットシェイプの寸法となるものも含む。ただし、磁石片を複数の部分に切断されるように大きなものは含まない。

【0027】

次に、図9(c)に示す様に、焼結体2Pを厚さ方向に沿って切断することによって、幅がネットシェイプの幅Wの焼結体3Pが得られる。切断は、例えば、ワイヤソー装置や外周刃を用いて行われる。

【0028】

続いて、図9(d)に示す様に、焼結体3Pを幅方向に沿って切断することによって、厚さがネットシェイプの厚さTとなり、ネットシェイプの焼結体(磁石片)4Pが得られる。

10

20

30

40

50

【0029】

図9(c)および(d)を参照して説明した2回の切断によって、焼結体2Pおよび3Pの一部は粉(加工くず)となる。また、希土類焼結体は切断し難い材料であり、切断に要する時間が比較的長く、また、欠けなどの不良も発生しやすい。したがって、切断工程は、スループットおよび歩留りを低下させる。

【0030】

磁石片4Pは、図9(e)に示す様に、ネットシェイプに近い寸法(長さL、幅W、厚さT)を有している。しかしながら、磁石片4Pの側面4Paおよび4Pbは、切断によって形成された面であり、ソーマーク(研削痕)が付いている場合がある。磁石片4Pへ表面処理(例えば、めっき、化成処理または塗装)の工程を行う場合は、ソーマークが塗装不良の一因となり得るので、側面4Paおよび4Pbに対して、研磨や面取りなどの機械加工を受ける場合がある。切断工程後の機械加工工程もスループットおよび歩留りを低下させる要因となる。

10

【0031】

これに対し、本発明の実施形態による焼結磁石の製造方法においては、図1(a)に示す薄い板状の成形体1Eを作製するので、焼結体を切断する回数を低減することができる。したがって、小型で薄型の焼結磁石片3Eを従来よりも効率良く製造することができる。

【0032】

図1(a)~(d)を参照して、実施形態による焼結磁石の製造プロセスを説明する。ここで、最終的に製造する磁石片3E(図1(d)参照)は、図9(e)に示した磁石片4Pと同様に、例えば、長さL、幅Wおよび厚さTが $L \geq 2W \geq T$ の関係を満足し、かつ、Wが5mm以下である。

20

【0033】

本発明の実施形態による焼結磁石のプロセスにおいては、後述する粉末充填装置を用いて、図1(a)に示す薄い板状の成形体1Eを作製する。成形体1Eの寸法の内、長さL1は、磁石片3Eの長さLに近く、幅W1は磁石片3Eの幅Wに近い。成形体1Eの長さL1および幅W1は、焼結による体積収縮を見込んで、焼結体3Eの長さがL、幅がWとなるように決められている。成形体1Eの厚さT1は、焼結後に複数の焼結体3Eが取れるように、切断しろ(切断によって粉(加工くず)となる体積)を考慮して決められる。なお、成形体1Eをプレス成形によって作製する際、例えば、矢印Mで示す方向(厚さT1方向)に配向磁界を印加する。

30

【0034】

成形体1Eを焼結することによって、図1(b)に示す焼結体2Eが得られる。焼結体2Eの長さLおよび幅Wは、焼結体3Eのネットシェイプの寸法である。焼結体2Eの厚さT2は、焼結に伴う収縮により、成形体1Eの厚さT1よりも小さく、複数の焼結体3Eが取れるように、切断しろを考慮して決められる。

【0035】

次に、図1(c)に示す様に、焼結体2Eを幅方向に沿って切断することによって、厚さがネットシェイプの厚さTとなり、ネットシェイプの焼結体(磁石片)3Eが得られる。

40

【0036】

磁石片3Eは、図1(d)に示す様に、ネットシェイプに近い寸法(長さL、幅W、厚さT)を有している。また、磁石片3Eの側面3Eaおよび3Ebの内、切断によって形成された面は側面3Ebだけである。

【0037】

図9を参照して説明した従来の製造プロセスと図1を参照して説明した実施形態による製造プロセスとを比較すると分かるように、実施形態による製造プロセスによると、焼結体を切断する回数が1回に低減されている。また、その結果、磁石片3Eの側面3Ebだけが切断によって形成された面であるので、ソーマークに起因する機械加工工程も低減さ

50

れる。

【0038】

このように、本発明の実施形態によると、磁石片3Eを従来よりも効率良く製造することができる。

【0039】

上述の実施形態による希土類焼結磁石の製造方法におけるプレス成形工程は、例えば、図2に示す成形装置100を用いて行うことができる。成形装置100に磁性粉末を供給する、本発明の実施形態による粉末充填装置については後に詳述する。

【0040】

図2(a)から(c)に示すように成形装置100は、キャビティ10を形成する貫通孔22aを有するダイス22と、キャビティ10内に充填された磁性粉末をプレスするための上パンチ12Uおよび下パンチ12Lとを備える。ダイス22の貫通孔22aは、長さT1および幅W1の開口を有する。キャビティ10の深さは、下パンチ12Lの位置によって調整される。成形装置100は一軸成形装置であり、例えば、油圧プレスや電動成形機である。

【0041】

成形装置100は、図1(a)に示した成形体1Eを同時に3個作製することができる。もちろん、成形装置100は、3個以上(例えば4個)成形体を作製するようにしてもよいし、3個以下(例えば2個)でもよい。図2(c)に示す様に、T1方向に延びる3つのキャビティ10が平行に配置されている。キャビティ10内の磁性粉末には、磁界発生装置32によって配向磁界(例えば、0.8Tから4.0T)が印加される。

【0042】

プレス圧やプレス時間は、所定の密度の成形体を得られるように、予備的な検討によって、適宜設定される。成形体の密度は、例えば、真密度が約 7.5 g/cm^3 のR-T-B系焼結磁石を製造する場合、 4.0 g/cm^3 (真密度の約53%)になり得る。

【0043】

ダイス22、下パンチ12Lおよび上パンチ12Uは、超硬合金(例えば、WC-Ni系超硬合金)で形成されている。また、下パンチ12Lおよび上パンチ12Uの加圧面は、鏡面加工された面であることが好ましい。下パンチ12Lおよび上パンチ12Uの加圧面が鏡面であれば、配向磁界を印加しながら成形する場合には、磁性粉末の粒子の配向が加圧面との摩擦によって乱されることを抑制することができる。特に、直角成形法において効果が顕著である。

【0044】

上述のようにして、所定の密度の成形体を得られた後で、下パンチ12Lと上パンチ12Uによって成形体を押えた状態で、成形体の全体が貫通孔22aの最上端より上に位置するまで、ダイス22を上パンチ12Uおよび下パンチ12Lに対して相対的に降下させる。このとき、成形体の割れや成形体の一部が剥離するのを防止するために、上パンチ12Uで成形体を押えたまま、あるいは上パンチ12Uを少し上昇させ、除圧しその圧力を保持させた状態で、ダイス22を降下させ成形体を抜き出す。

【0045】

この後、成形体を焼結することによって焼結体を得られ、必要に応じて、追加の熱処理を施す。これらの工程は公知の方法で行われる。例えば、焼結は、アルゴン雰囲気のもと、1050で2時間の熱処理によって行われる。このようにして、焼結体2Eが得られる。焼結体2Eは、図1(c)を参照して上述したように、複数の磁石片3Eに切断される。その後、必要に応じて、研磨や面取りなどの機械加工を受け、表面処理が施され、着磁され、磁石片となる。着磁は、例えば、モーターの製造工場で行われてもよい。

【0046】

従来、磁性粉末のキャビティへの充填は、例えば、特許文献2に記載の摺り切り法で行われていた。すなわち、キャビティ10に対する下パンチ12Lの加圧面(上面)の相対位置を調整し、キャビティ10の容積を規定し、磁性粉末の表面(上面)がダイス22の

10

20

30

40

50

表面と面一となるように磁性粉末を充填していた。しかしながら、特許文献2に記載の粉末充填装置の様に、粉末容器に衝突部材を衝突させるだけでは、ここで例示する薄い板状のキャビティ10に均一に磁性粉末を充填することは困難であった。また、摺り切り法によると、キャビティ10に充填される磁性粉末の量を正確に制御することが困難で、成形体間の質量のばらつきが大きかった。

【0047】

そこで本実施形態の製造方法のプレス成形工程では、予め定量した磁性粉末を粉末充填装置に供給し、供給された磁性粉末を高い精度(例えば1g以下)で確実にキャビティ10内に充填する。粉末充填装置の内壁に付着するなどして、キャビティ10内に充填されない磁性粉末の量は一定するので、その分だけ多く粉末充填装置に供給すればよい。このように、定量した磁性粉末を確実にキャビティ10内に充填することによって成形体間の質量のばらつきを低減することができる。

10

【0048】

図3~図5を参照して、本発明の実施形態による粉末充填装置200を説明する。例示する粉末充填装置200は、薄い板状の成形体を作製するためのキャビティに、定量された磁性粉末を充填するために好適に用いられるが、もちろん他の用途に用いることもできる。

【0049】

図3に粉末充填装置200の模式的な平面図を示し、図4(a)および(b)に粉末充填装置200の模式的な断面図を示す。図4(a)は、図3中の4A-4A'線に沿った断面図であり、図4(b)は、図3中の4B-4B'線に沿った断面図である。

20

【0050】

図3に示す様に、粉末充填装置200は、フィーダボックス60と、支持フレーム70と、可動フレーム80と、揺動モーター90とを有している。粉末充填装置200のフィーダボックス60、支持フレーム70および可動フレーム80は例えばステンレス鋼やアルミニウムで形成されている。

【0051】

フィーダボックス60は、図2に示したダイス22の3つのキャビティ10に対応する3つのフィーダボックス部60pが一体化された構造を有している。各フィーダボックス部60pは、磁性粉末が供給される上側開口部62と、キャビティ10に向けて磁性粉末を排出する下側開口部64とを有している。上側開口部62は、下側開口部64よりも大きく、上側開口部62から下側開口部64に至る側面は、少なくとも2つの傾斜した側壁(T1方向及び/又はW1方向と平行な側壁が傾斜している)で構成されている。上側開口部62の大きさや傾斜した側壁の角度は、キャビティの数や大きさ、成形装置の大きさ等によって適宜設定されるが、例えば、下側開口部64の2倍から10倍程度であることが好ましく、側壁に沿って磁性粉末が下側開口部64までスムーズに導かれる角度(例えば、1度から5度)を成すように設定されている。図4(a)および(b)に示す様に、下側開口部64は、キャビティ10の開口部と同じ大きさを有している(T1×W1)。但し、下側開口部64は、必ずしもキャビティ10と同じ大きさを有している必要はなく、後述するようにフィーダボックス60は往復運動を行うため、その分下側開口部64を小さくしてもよい。

30

40

【0052】

図3および図4に示す様に、フィーダボックス60は、支持フレーム70に固定されているガイド棒72に沿って、T1方向(長方形のキャビティの長手方向)に可動となるように支持されている。すなわち、ガイド棒72は支持フレーム70に固定され、T1方向(第1方向)に延びている。また、ガイド棒72は、図4(a)に示す様に、フィーダボックス部60pの側壁を貫くように、ガイド棒72が配置されている。すなわち、フィーダボックス部60pのT1方向の側壁には、孔60aが設けられており、その孔60aにガイド棒72が挿入されている。ガイド棒72は、例えば、支持フレーム70にねじで固定される。

50

【0053】

支持フレーム70には、揺動モーター90が固定されている。揺動モーター90のヘッド部92は、可動フレーム80に固定されている。揺動モーター90のヘッド部92は、図3中の上下方向に直線状に往復運動を行う。したがって、可動フレーム80は、揺動モーター90のヘッド部92とともに、図3中の上下方向に直線状に往復運動を行う。可動フレーム80を直線状に往復運動させることができれば、揺動モーター90に代えて他の駆動装置を用いてもよい。往復運動の速度および可動範囲は可変であることが好ましい。

【0054】

ここで、可動フレーム80は、フィーダボックス60を間に介して対向するように配置された2本の作用棒84aおよび84bを有している。作用棒84aおよび84bは、それぞれ連結部83aおよび連結部83bを介して可動フレーム80に固定されている。

10

【0055】

下側開口部64がキャビティ10と一致するように配置したとき、作用棒84aおよび作用棒84bは、フィーダボックス60の外壁との間に間隙(例えば、1~2mm)を有するように構成されている。揺動モーター90によって可動フレーム80が直線状に往復運動をさせられた際、作用棒84aおよび84bは、フィーダボックス60の外壁に交互に衝突する。そして、作用棒84aおよび84bはフィーダボックス60をガイド棒72に沿って往復運動させる。例えば、ヘッド部92の往復運動の速度は、例えば、1分間に700回である。ヘッド部92の往復運動の可動範囲は、例えば、10mmに設定される。可動フレーム80の往復運動については図5を参照して後述する。

20

【0056】

ガイド棒72にはピン74が例えばねじで固定されている。ここでは4つのピン74がキャビティ10の開口部の長手方向の長さT1にわたって概ね等間隔で配置されている。ピン74はガイド棒72を介して支持フレーム70に固定されているので、可動フレーム80やフィーダボックス60がT1方向に往復運動をしても、ピン74は動かない。したがって、ピン74は、フィーダボックス60に対して、すなわち、フィーダボックス60内に供給された磁性粉末に対して、相対的にT1方向に往復運動することになる。そのことによって、フィーダボックス60内の磁性粉末は攪拌され、下側開口部64からキャビティ10内に均一に落下し、充填される。ピン74は、例えば、ステンレス鋼で形成されている。

30

【0057】

ここで、ピン74は、図4(a)に模式的に示すように、中央の2本は、両端の2本よりも長いことが好ましい。このようにピン74を配置することによって、磁性粉末がキャビティ10内のT1方向の端に偏って充填されるのを抑制することができる。

【0058】

フィーダボックス60に定量された磁性粉末を供給する場所は、成形装置100から離れているので、粉末充填装置200を成形装置100のダイス22上の所定の位置に配置するまでの間、磁性粉末が落ちないように、粉末充填装置200は、例えば、図4(a)および(b)に示す様に、下側開口部に対するシャッター94をさらに有することが好ましい。シャッター94の開閉は、エアーシリンダやアクチュエータ等の公知の装置を用いればよく、例えば、特開2006-15540や特開2004-130333に記載されているシャッターの開閉機構を採用することができる。

40

【0059】

フィーダボックス60は、成形装置100のダイス22上を往復運動させられる。ダイス22の上面とフィーダボックス60の底面との摩擦抵抗を低減するために、フィーダボックス60は、低摩擦係数の材料で形成された底板96をさらに有することが好ましい。低摩擦係数の材料としては、フッ素樹脂(例えば、PTFE)が好ましい。PTFEで形成された底板96は、ダイス22の上面と底板96の下面との間に磁性粉末が入り込まないようにダイス22の上面に隙間なく接触した状態で優れた摺動性を有する。底板96の厚さは、例えば2mm以上10mm以下である。

50

【 0 0 6 0 】

図3および図5を参照して、本発明の実施形態による粉末充填装置200による充填動作を説明する。図5(a)および(b)は、粉末充填装置200における可動フレーム80の往復運動を説明するための模式的な平面図であり、図5(a)はフィーダボックス60が図中の上方に移動した状態を示し、図5(b)はフィーダボックス60が図中の下方に移動した状態を示す。

【 0 0 6 1 】

図3に示したようにダイス22上に粉末充填装置200がセットされる。このとき、例えば、下側開口部64がキャビティ10の開口部と一致するように、粉末充填装置200がセットされる。

【 0 0 6 2 】

揺動モーター90のスイッチを投入すると、揺動モーター90のヘッド部92は、T1方向(図の上下方向)に直線状に往復運動を行う。図5(a)に示す様に、ヘッド部92が図の上方へ移動すると、ヘッド部92と固定された可動フレーム80も上方に移動し、作用棒84bがフィーダボックス60の外壁に衝突する。ヘッド部92は可動範囲の上限までさらに上方に移動し、作用棒84bがフィーダボックス60を上方に移動させる。

【 0 0 6 3 】

次に、図5(b)に示す様に、ヘッド部92が図の下方へ移動すると、ヘッド部92と固定された可動フレーム80も下方に移動し、作用棒84aがフィーダボックス60の外壁に衝突する。ヘッド部92は可動範囲の下限までさらに下方に移動し、作用棒84aがフィーダボックス60を下方に移動させる。

【 0 0 6 4 】

このように、作用棒84aおよび84bはフィーダボックス60をガイド棒72に沿って往復運動させる。作用棒84aおよび84bがフィーダボックス60の外壁に衝突するときの衝撃力がフィーダボックス60を振動させ、例えばフィーダボックスの側壁に付着していた磁性粉末を振り落す。また、ガイド棒72に固定されているピン74は動かないので、フィーダボックス60内の磁性粉末に対して、上下方向に直線状に往復運動をすることになる。それによって、フィーダボックス内の磁性粉末を攪拌し、磁性粉末の凝集を防止し、均一に分布させる。また、図4(a)を参照して説明した様に、4本のピン74の内、中央に両端よりも長いピン74を配置することによって、磁性粉末がキャビティ10内のT1方向の端に偏って充填されるのを抑制することができる。

【 0 0 6 5 】

揺動モーター90のヘッド部92は、例えば、1分間に700回往復運動をする。その間に、フィーダボックス60内の磁性粉末は上述のように振動や、攪拌作用を受けながら、自重でキャビティ内に均一に充填される。ヘッド部92の往復運動の速度および可動範囲は、フィーダボックス60の大きさにも依存するが、例えば、速度は、1分間に300回以上1200回以下であり、可動範囲(T1方向)は、 $T1 \times 0.85 \text{ mm} \sim T1 \times 1.3 \text{ mm}$ の範囲に設定されることが好ましい。これは、可動範囲が狭すぎるとキャビティ内に十分に磁性粉末が供給されない恐れがあり、逆に可動範囲が広すぎるとフィーダボックス内に磁性粉末が残り、高い精度で磁性粉末をキャビティ内に供給できない恐れがあるからである。

【 0 0 6 6 】

なお、図3および図5の実施形態では、フィーダボックス60の往復運動する方向と平行な方向に配向磁界を印加しているが、直角な方向に配向磁界を印加しても良い。

【 0 0 6 7 】

次に、実験例を示して、本発明の実施形態による粉末充填装置200を説明する。

【 0 0 6 8 】

磁性粉末として、R-T-B系焼結磁石用の磁性粉末を用意した。R-T-B系焼結磁石の組成は、R-T-(M)-Bで表され、RはYを含む希土類元素でNdを必ず含み、TはFeまたはFeとCoおよび/またはNiとの混合物、Mは添加元素(例えば、Al

10

20

30

40

50

、Ti、Cu、V、Cr、Ni、Ga、Zr、Nb、Mo、In、Sn、Hf、Ta、Wの少なくとも1種)、Bはボロンまたはボロンと炭素との混合物である。

【0069】

R-Fe-B系焼結磁石用の磁性粉末は公知の方法で作製される(例えば、特公平6-6728号公報(特開昭63-33505号公報)参照)。特公平6-6728号公報の開示内容の全てを参考のために本明細書に援用する。

【0070】

ここでは、以下の様にして、磁性粉末を準備した。

【0071】

Nd 23.0質量%、Pr 6.5質量%、Dy 3.0質量%、Al 0.1質量%、Co 2.0質量%、Ga 0.08質量%、Cu 0.1質量%、B 0.98質量%、残部Feの組成になるように組成調整を行い、ストリップキャスト法により厚み0.2mmから0.3mmの合金薄片を作製した。

【0072】

次に、この合金薄片を容器に充填し、水素処理装置内に收容した。そして、水素処理装置内を圧力50kPaの水素ガスで満たすことにより、合金薄片に水素吸蔵させた後、放出させた。このような水素処理を行うことにより、合金薄片を脆化し、大きさ約0.15mmから2mmの粗粉碎粉末を作製した。

【0073】

上記の水素処理により作製した粗粉碎粉末に対し粉碎助剤として0.05質量%のステアリン酸亜鉛を添加し混合した後、ジェットミル装置による粉碎工程を行うことにより、メディアン径(D50)が4μmの微粉末を作製した。

【0074】

上記の微粉末を258g±1gを秤量し、各成形体を作製した。

【0075】

キャビティ10の大きさは、T1=75mm、W1=12mmとした。なお、得られる成形体のL1は、70mmであった。

【0076】

実験に用いた粉末充填装置200の具体的な構成は以下のとおりである。

フィーダボックス60	上側開口部	76mm×64mm	
	下側開口部	76mm×8mm	
	高さ(深さ)	120mm	
	内壁の傾斜角	T1方向0度、W1方向3度	
ピン74	中央部2本	105mm	
	両端2本	95mm	
	ピンの間隔	11mm	
ヘッド92の往復運動	速度	720回/分	
	可動範囲	10mm	

【0077】

比較のために、参考例の粉末充填装置を用意した。

【0078】

参考例の粉末充填装置は、上述した粉末充填装置200においてフィーダボックス60を往復運動させる機構(可動フレーム80および駆動装置90など)に代えて、フィーダボックスの上下両側の外壁に1つずつエアバイブレーター(ネッター社製)を配置した。なお、ピン(粉末充填装置200におけるピン74)は有しない。エアバイブレーターの振動の回数は、800回/分とした。

【0079】

また、プレス条件および焼結条件は以下のとおりである。

一軸プレス	圧力	0.4ton/cm ²	加圧時間	8秒
配向磁界		1T(テスラ)		

10

20

30

40

50

焼結 温度：1080 6時間

【0080】

図6(a)～(c)および図7(a)および(b)を参照して、参考例の粉末充填装置を用いた場合の結果を説明する。

【0081】

図6(a)～(c)は、成形装置100が有する3つのキャビティ10に参考例の粉末充填装置を用いて充填した磁性粉末の様子を示す光学像である。図6(a)～(c)は、それぞれ3つのキャビティに充填後、プレスすることなく、ダイス22を降下させることによって得られた磁性粉末の塊の光学像である。各光学像の横方向がT1方向である。図6(b)が中央のキャビティ、図6(a)および(c)が両側のキャビティにそれぞれ対応する。

10

【0082】

図6(a)～(c)から明らかなように、T1方向における磁性粉末の充填のされ方が3つのキャビティで異なっている。たとえば、磁性粉末の塊の上端の形状が3つのキャビティで異なっている。図6(a)の磁性粉末の塊の上端は、明らかに右が高い。

【0083】

また、磁性粉末の塊における密度のばらつきも大きい。光学像において、色が濃い箇所は密度が高く、色が薄い箇所は密度が低い。図6(a)～(c)のそれぞれにおいて密度にばらつきがあることがわかる。また、図6(a)～(c)における密度のばらつき方も異なる。

20

【0084】

このように不均一な充填状態の磁性粉末を一軸プレスすると、成形体にひびが生じたり、あるいは、座屈が起こったりする。例えば、図6(a)のように、上端の右側が明らかに高い磁性粉末の塊をプレスする際、キャビティ内の右側の磁性粉末に適切な圧力が掛かる条件を選択すると、左側の磁性粉末に掛かる圧力が不足することになる。これは、希土類焼結磁石用の磁性粉末の流動性が低く、パンチの加圧面を鏡面にしていても、磁性粉末が容易に移動しないからである。そうすると、得られる焼結体は、図7(a)および(b)に光学像を示す様に、圧力が不足した左側にひびが生じることになる。図7(a)においてマルで囲った部分(焼結体の左側)がひびが生じている部分であり、それを拡大したものが図7(b)である。また、成形体においてひびが確認されない場合でも、焼結後にひびが確認されることもある。なお、キャビティ内の左側の磁性粉末に適切な圧力が掛かる条件を選択すると、右側の磁性粉末に過大な圧力が掛かることになり、成形体の右側で座屈が起こる。

30

【0085】

これに対し、実施形態の粉末充填装置200を用いると、3つのキャビティに均一に磁性粉末を充填することができた。

【0086】

図8(a)～(c)は、成形装置100が有する3つのキャビティ10に実施形態の粉末充填装置200を用いて充填した磁性粉末の様子を示す光学像である。図8(a)～(c)は、それぞれ3つのキャビティに充填後、プレスすることなく、ダイス22を降下させることによって得られた磁性粉末の塊の光学像である。光学像の横方向がT1方向である。図8(b)が中央のキャビティ、図8(a)および(c)が両側のキャビティにそれぞれ対応する。

40

【0087】

図8(a)～(c)から明らかなように、T1方向における磁性粉末の充填のされ方が3つのキャビティともほぼ同じである。すなわち、磁性粉末の塊の上端の形状は、いずれも、中央部でやや高く、両端部がやや低い、対称性の高い形状を有している。また、各光学像の濃淡が小さいことから、磁性粉末の塊における密度のばらつきも小さいことがわかる。

【0088】

50

この粉末充填装置 200 を用いて作製した成形体にはひびや座屈は発生せず、また、焼結後にもひびの発生は見られなかった。

【0089】

このように、本発明の実施形態による粉末充填装置を用いることによって、薄い板状の成形体を量産することが可能となる。その結果、図 1 を参照して説明した製造プロセスを採用することが可能となり、焼結体を切断する回数を 1 回に低減することができる。また、その結果、切断工程後の機械加工工程も低減される。したがって、本発明の実施形態による希土類焼結磁石の製造方法によると、小型で長尺の磁石片を従来よりも効率良く製造することができる。

【0090】

もちろん、本発明の実施形態による粉末充填装置は、上記の形状の成形体の製造に限られず、他の形状の成形体の作製に用いることもできる。本発明の実施形態による粉末充填装置は、定量された磁性粉末を高い精度でキャピティ内に充填することができるので、従来の摺切り法よりも、成形体の質量のばらつきを抑制することができる。

【産業上の利用可能性】

【0091】

本発明は、希土類焼結磁石の製造、特に、小型で長尺の磁石片の製造に好適に用いられる。

【符号の説明】

【0092】

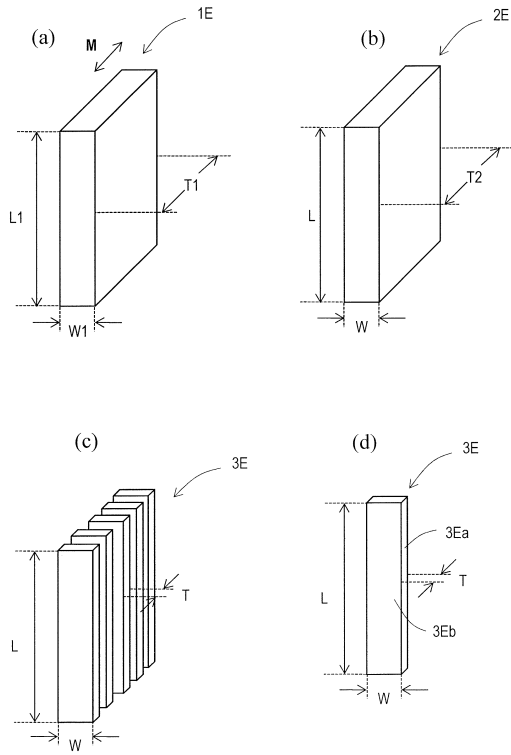
10	キャピティ	
12U	上パンチ	
12L	下パンチ	
22	ダイス	
22a	貫通孔	
32	磁界発生装置	
60	フィーダボックス	
62	上側開口部	
64	下側開口部	
70	支持フレーム	30
72	ガイド棒	
74	ピン	
80	可動フレーム	
84a、84b	作用棒	
90	揺動モーター（駆動装置）	
92	ヘッド部	
100	成形装置	
200	粉末充填装置	

10

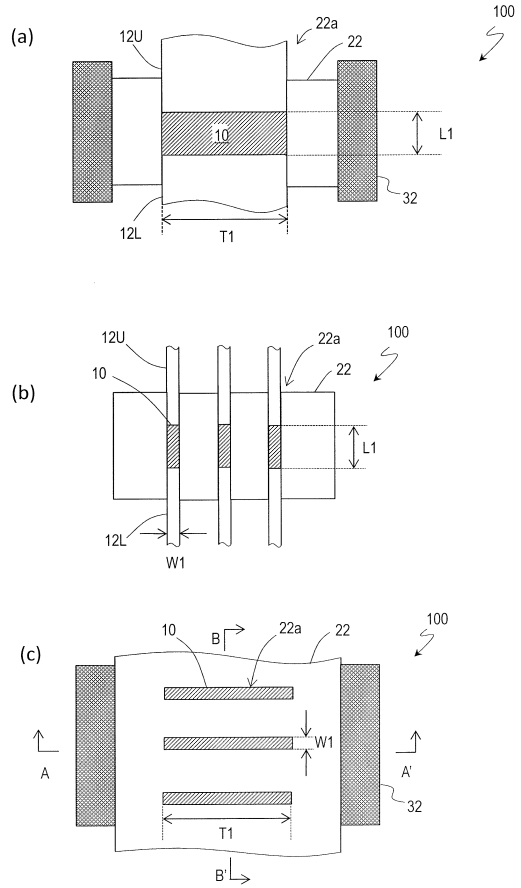
20

30

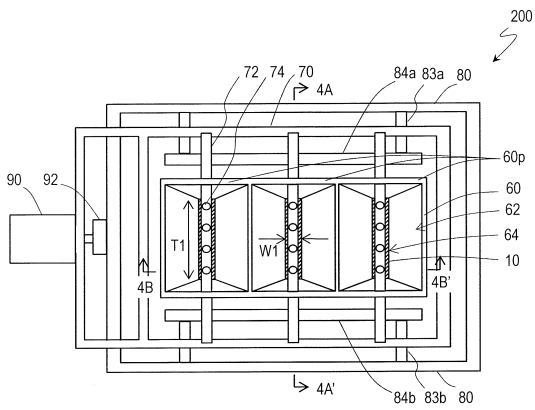
【図 1】



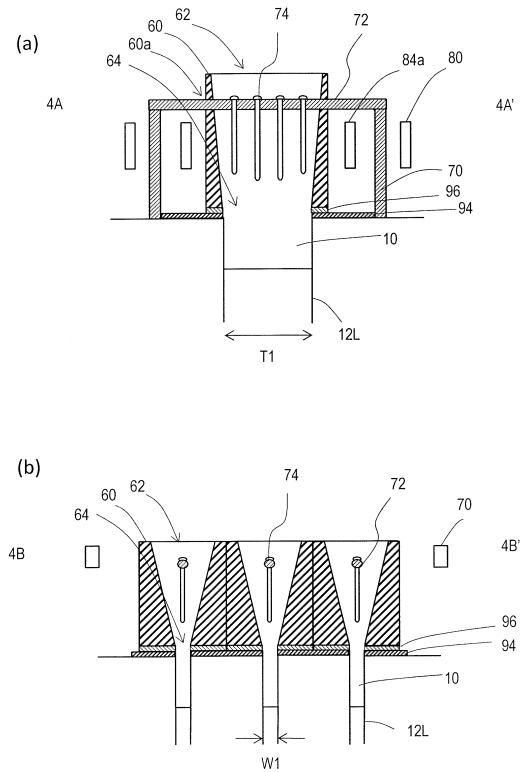
【図 2】



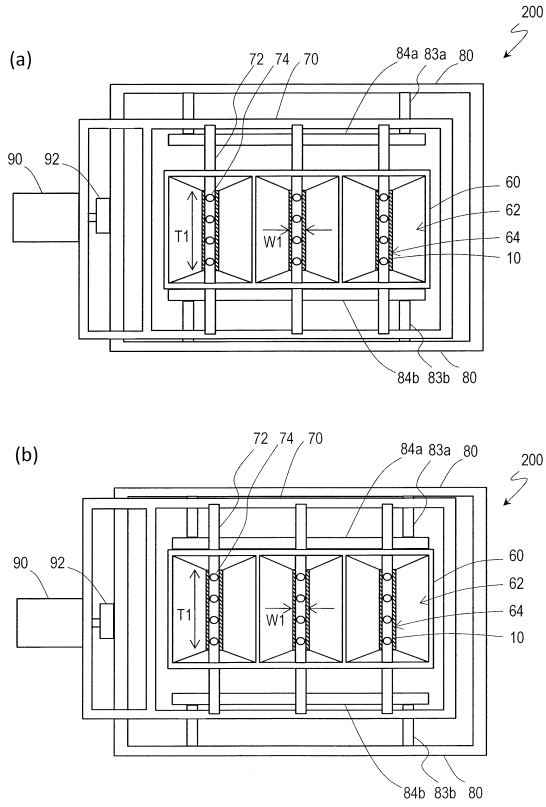
【図 3】



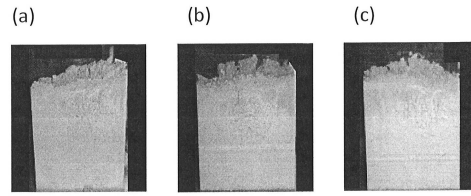
【図 4】



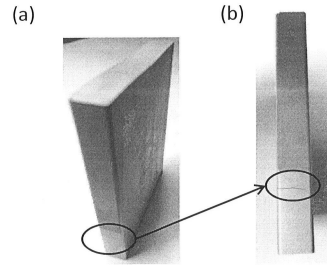
【 図 5 】



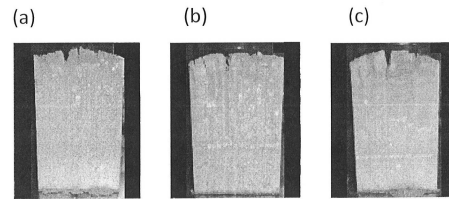
【 図 6 】



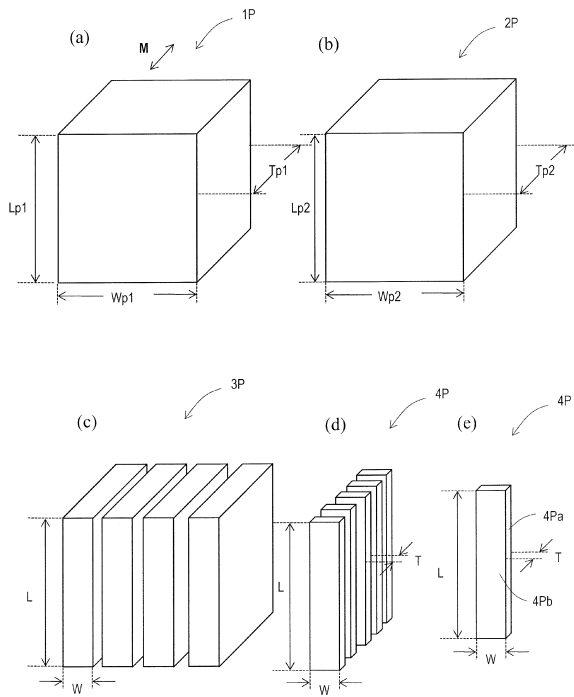
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 F 41/02 G

(72)発明者 岩崎 忠弘
兵庫県養父市大藪1062番地 株式会社NEOMAX近畿内

審査官 豊島 唯

(56)参考文献 特開2002-160096(JP,A)
特開2011-045929(JP,A)
国際公開第2013/162007(WO,A1)
実公昭61-40740(JP,Y2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B 3 0 B 1 1 / 0 0
B 2 2 F 3 / 0 0 - 3 / 0 2 5
B 6 5 D 8 8 / 2 6
H 0 1 F 4 1 / 0 2