

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6477143号
(P6477143)

(45) 発行日 平成31年3月6日(2019.3.6)

(24) 登録日 平成31年2月15日(2019.2.15)

(51) Int. Cl.		F I	
B 2 2 F	3/035	(2006.01)	B 2 2 F 3/035 D
B 2 2 F	3/00	(2006.01)	B 2 2 F 3/00 F
H O 1 F	41/02	(2006.01)	B 2 2 F 3/035 F
B 3 O B	11/02	(2006.01)	H O 1 F 41/02 G
B 2 2 F	1/00	(2006.01)	B 3 O B 11/02 F

請求項の数 7 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2015-68348 (P2015-68348)	(73) 特許権者	000005083 日立金属株式会社 東京都港区港南一丁目2番70号
(22) 出願日	平成27年3月30日(2015.3.30)	(74) 代理人	100101683 弁理士 奥田 誠司
(65) 公開番号	特開2016-188402 (P2016-188402A)	(74) 代理人	100155000 弁理士 喜多 修市
(43) 公開日	平成28年11月4日(2016.11.4)	(74) 代理人	100180529 弁理士 梶谷 美道
審査請求日	平成29年9月21日(2017.9.21)	(72) 発明者	原田 務 兵庫県養父市大藪1062 株式会社NE OMAX近畿内
		審査官	藤長 千香子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プレス装置および磁石の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

長さ a、幅 b および厚さ c を有し、前記幅 b および前記厚さ c が円柱の底面の円の直径に対応し、前記長さ a が前記幅 b および前記厚さ c よりも大きい円柱状の成形体を形成するためのキャビティを形成する貫通孔を有するダイスと、前記キャビティ内に充填された磁性粉末をプレスするための上パンチおよび下パンチと、前記キャビティ内の前記磁性粉末に配向磁界を印加するための磁界発生装置であって、前記配向磁界が、プレス方向と直交し、かつ、前記長さ a の方向に平行に印加されるように配置されている磁界発生装置とを備えるプレス装置であって、

前記ダイスの貫通孔は、前記成形部の前記長さ a および前記幅 b にそれぞれが対応する長さ L_d および幅 W_d ($L_d > W_d$) を有する成形部と、前記成形部の上側に形成されたテーパ部とを有し、

前記テーパ部の最上端の長さ L は、 L_d よりも $2 \times L_s$ だけ大きく、前記テーパ部の最上端の幅 W は、 W_d と等しいかまたは W_d よりも $2 \times W_s$ だけ大きく、

前記テーパ部の最上端の幅方向の一方の端辺と前記成形部の幅方向の一方の端辺との長さ方向における差を L_{s1} 、前記テーパ部の最上端の幅方向の他方の端辺と前記成形部の幅方向の他方の端辺との長さ方向における差を L_{s2} 、前記テーパ部の最上端の長さ方向の一方の端辺と前記成形部の長さ方向の一方の端辺との幅方向における差を W_{s1} 、前記テーパ部の最上端の長さ方向の一方の端辺と前記成形部の長さ方向の他方の端辺との幅方向における差を W_{s2} とすると、 $L_{s1} + L_{s2} = 2 \times L_s$ 、 $W_{s1} + W_{s2} =$

10

20

$2 \times W_s$ であって、 $L_{s1} + L_{s2}$ は $W_{s1} + W_{s2}$ より大きく、 L_s は 0.075 mm 以上 0.15 mm 以下であり、 W_s は 0 以上 0.025 mm 以下である、プレス装置。

【請求項 2】

$L_s / L_d > W_s / W_d$ を満足する、請求項 1 に記載のプレス装置。

【請求項 3】

前記上パンチおよび前記下パンチの加圧面は、鏡面加工された面である、請求項 1 または 2 に記載のプレス装置。

【請求項 4】

磁性粉末を用意する工程 (a) と、

請求項 1 から 3 のいずれかに記載のプレス装置の前記キャビティ内に前記磁性粉末を充填する工程 (b) と、

前記上パンチの下端が前記貫通孔の前記成形部に位置するまで前記上パンチを下降させ、前記下パンチおよび前記上パンチによって、前記キャビティ内に充填された前記磁性粉末を加圧し、予め決められた所定の密度を有する成形体を作製する工程 (c) と、

前記工程 (c) の後で、前記下パンチと前記上パンチによって前記成形体を押えた状態で、前記成形体の全体が前記貫通孔の最上端より上に位置するまで、前記ダイスを前記上パンチおよび前記下パンチに対して相対的に降下させる工程 (d) とを包含する、磁石の製造方法。

【請求項 5】

前記工程 (b) は、前記磁性粉末の上面がほぼ平坦となるように前記キャビティ内に前記磁性粉末を充填する工程である、請求項 4 に記載の磁石の製造方法。

【請求項 6】

前記工程 (c) は、前記キャビティ内に充填された前記磁性粉末に、前記長さ L_d に平行な配向磁界を印加した状態で行われる、請求項 4 または 5 に記載の磁石の製造方法。

【請求項 7】

前記磁性粉末は、希土類磁石用磁性粉末である、請求項 4 から 6 のいずれかに記載の磁石の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、粉末プレス装置（以下、「プレス装置」という。）および磁石の製造方法に関し、特に、希土類焼結磁石の製造に用いられる装置および希土類焼結磁石の製造方法に関する。

【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。なかでも希土類・鉄・ボロン系磁石（以下、「R - Fe - B 系磁石」と称する。）は、種々の磁石の中で最も高い最大磁気エネルギー積を示し、価格も比較的安いため、各種電子機器へ積極的に採用されている。

【0003】

R - Fe - 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 - Fe - B 系合金の粉末を用意する。合金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。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

R - F e - 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に近い形状を有する成形体を形成する試みがなされている。

【 0 0 0 6 】

成形体の形状は様々あり、平板形状、ブロック形状、弓形形状、円柱形状、かまぼこ形状等がある。

【 0 0 0 7 】

成形体の形状によっては、プレス装置のダイスのキャビティから成形体を抜出すときに亀裂が発生する場合がある。その中でも特に、円柱形状の中心軸に平行に配向磁界を印加するため、成形方向に直交する方向が配向磁界の印加方向となるように磁界発生装置を配置したプレス装置において、円柱形状の成形体は、ダイスのキャビティから抜出すときに亀裂が発生しやすい。

10

【 0 0 0 8 】

特許文献1には、給粉ケースおよび給粉ケース案内棒を改良し、ダイス上に半円柱形状となるように粉末を供給することによって、粉末の密度分布の均一性を高め、円柱形状に近い成形体を得ることが可能な粉末成型プレス装置が開示されている。なお、特許文献1に記載の粉末成型プレス装置は、一般的な粉末冶金用のもので、希土類磁石用磁性粉末を成形した例は記載されていない。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

20

【 0 0 0 9 】

【 特許文献1 】 特開昭59 - 166601号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 0 】

特許文献1に記載の粉末成型装置では、半円柱形状となるように粉末を供給するために、給粉ケースを半円柱形状の中心軸に沿って摺動させる。そのため、磁性粉末の円柱形状の成形体を作製する際に、円柱形状の中心軸に平行に配向磁界を印加するように磁界発生装置を配置することができない。

【 0 0 1 1 】

30

また、磁性粉末（特に、希土類磁石用磁性粉末）は、特許文献1に記載の超硬合金粉末よりも流動性が低いので、上記の給粉ケースや給粉案内棒を用いても、半円柱形状となるように粉末を均一に供給することは容易でない。

【 0 0 1 2 】

したがって、特許文献1に記載の粉末成型装置を用いて、磁性粉末の円柱形状の成形体を作製しようとしても、亀裂をなくすことはできない。さらに、円柱形状の中心軸に平行に磁界配向した円柱形状の成形体を作製することができない。

【 0 0 1 3 】

本発明の目的は、従来と同様の給粉装置を用いても、磁性粉末の円柱形状などの棒状の成形体の成形における亀裂の発生を抑制することが可能なプレス装置およびそのようなプレス装置を用いた磁石の製造方法を提供することにある。

40

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 4 】

本発明の実施形態によるプレス装置は、キャビティを形成する貫通孔を有するダイスと、前記キャビティ内に充填された磁性粉末をプレスするための上パンチおよび下パンチとを備えるプレス装置であって、前記ダイスの貫通孔は、長さ L_d および幅 W_d ($L_d > W_d$)を有する成形部と、前記成形部の上側に形成されたテーパ部とを有し、前記テーパ部の最上端の長さ L_s は、 L_d よりも $2 \times L_s$ だけ大きく、前記テーパ部の最上端の幅 W は、 W_d と等しいかまたは W_d よりも $2 \times W_s$ だけ大きく、前記テーパ部の最上端の幅方向の一方の端辺と前記成形部の幅方向の一方の端辺との長さ方向における差を L_{s1}

50

、前記テーパ部の最上端の幅方向の他方の端辺と前記成形部の幅方向の他方の端辺との長さ方向における差を $Ls2$ 、前記テーパ部の最上端の長さ方向の一方の端辺と前記成形部の長さ方向の一方の端辺との幅方向における差を $Ws1$ 、前記テーパ部の最上端の長さ方向の他方の端辺と前記成形部の長さ方向の他方の端辺との幅方向における差を $Ws2$ とすると、 $Ls1 + Ls2 = 2 \times Ls$ であって、 $Ls1 + Ls2$ は $Ws1 + Ws2$ より大きい。なお、「 \times 」は乗算を表す。得られた成形体を焼結することによって焼結体、例えば、焼結磁石が得られる。

【0015】

ある実施形態において、 Ls は 0.075 mm 以上 0.15 mm 以下であり、 Ws は 0 以上 0.025 mm 以下である。

10

【0016】

ある実施形態において、 $Ls / Ld > Ws / Wd$ を満足する。

【0017】

ある実施形態において、前記キャビティ内の前記磁性粉末に配向磁界を印加するための磁界発生装置を有し、前記磁界発生装置は、前記配向磁界が前記長さ方向に平行に印加されるように配置されている。

【0018】

ある実施形態において、前記上パンチおよび前記下パンチの少なくとも一方の加圧面は、曲面を含む。

【0019】

ある実施形態において、前記上パンチおよび前記下パンチの両方の加圧面は、凹曲面を含む。

20

【0020】

ある実施形態において、前記上パンチおよび前記下パンチの加圧面は、鏡面加工された面である。

【0021】

本発明の実施形態による磁石の製造方法は、磁性粉末を用意する工程(a)と、上記のいずれかに記載のプレス装置の前記キャビティ内に前記磁性粉末を充填する工程(b)と、前記上パンチの下端が前記貫通孔の前記成形部に位置するまで前記上パンチを下降させ、前記下パンチおよび前記上パンチによって、前記キャビティ内に充填された前記磁性粉末を加圧し、予め決められた所定の密度を有する成形体を作製する工程(c)と、前記工程(c)の後で、前記下パンチと前記上パンチによって前記成形体を押えた状態で、前記成形体の全体が前記貫通孔の最上端より上に位置するまで、前記ダイスを前記上パンチおよび前記下パンチに対して相対的に降下させる工程(d)とを包含する。

30

【0022】

ある実施形態において、前記工程(b)は、前記磁性粉末の上面(表面)がほぼ平坦となるように前記キャビティ内に前記磁性粉末を充填する工程である。

【0023】

ある実施形態において、前記工程(c)は、前記キャビティ内に充填された前記磁性粉末に、前記長さ Ld に平行な配向磁界を印加した状態で行われる。

40

【0024】

ある実施形態において、前記磁性粉末は、希土類磁石用磁性粉末である。

【発明の効果】

【0025】

本発明によると、従来と同様の給粉装置を用いても、円柱形状などの棒状の成形体の成形における亀裂の発生を抑制することが可能なプレス装置およびそのようなプレス装置を用いた磁石の製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】(a)~(c)は、本発明の実施形態によるプレス装置100の模式図であり、

50

(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2】略円柱状の成形体10Gを成形したときの亀裂の発生の様子を示す図である。

【図3】ダイスの抜き量と変位量との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下に、図面を参照して、本発明の実施形態によるプレス装置およびそれを用いた磁石の製造方法を説明する。以下では、希土類焼結磁石、特に、R-Fe-B系焼結磁石の製造に用いられるプレス装置および希土類焼結磁石の製造方法を説明するが、本発明による実施形態はこれに限らない。

【0028】

ここで、R-Fe-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、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。

【0029】

図1(a)から(c)に示すように本発明による実施形態のプレス装置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Ldおよび幅Wd(Ld>Wd)を有する成形部と、成形部の上側に形成されたテーパ部22tL、22tWとを有する。プレス装置100は一軸プレス装置であり、例えば、油圧プレスである。

【0030】

貫通孔22aの成形部における長さLdおよび幅Wdは一定(深さに対して変化しない)であり、キャビティ10の長さLdおよび幅Wdを規定する。テーパ部22tL、22tWの長さおよび幅は、深さに依存して変化し、貫通孔22aの最上端に近いほど大きい。テーパ部22tLの最上端の長さLは、Ldよりも2×Lsだけ大きく、テーパ部22tWの最上端の幅Wは、Wdと等しいかまたはWdよりも2×Wsだけ大きく、テーパ部22tLの最上端の幅方向の一方の端辺と成形部の幅方向の一方の端辺との長さ方向における差をLs1、テーパ部22tLの最上端の幅方向の他方の端辺と成形部の幅方向の他方の端辺との長さ方向における差をLs2、テーパ部22tWの最上端の長さ方向の一方端辺と前記成形部の長さ方向の一方の端辺との幅方向における差をWs1、前記テーパ部22tWの最上端の長さ方向の他方の端辺と前記成形部の長さ方向の他方の端辺との幅方向における差をWs2とすると、Ls1+Ls2=2×Lsであって、Ls1およびLs2はそれぞれ独立にWsより大きい。

【0031】

ここで、Lsを長さ方向抜き量といい、Wsを幅方向抜き量という。以下の説明では、簡単のために、図1(a)および(b)に示すように、典型的な例として、LsおよびWsともに、両側で等しい場合を例示する。本発明の実施形態によるプレス装置100において、長さ方向抜き量Lsおよび幅方向抜き量Wsは、両側で等しい必要はない。すなわち、一方の端辺における長さ方向抜き量をLs1とし、他方の端辺における長さ方向抜き量をLs2とすると、Ls1=Ls2である必要は無く、Ls1≠Ls2であってもよい。このとき、上記の2×LsはLs1+Ls2に対応する。同様に、一方の端辺における幅方向抜き量をWs1とし、他方の端辺における幅抜き量をWs2とすると、Ws1=Ws2である必要は無い。Ws1≠Ws2のとき、上記の2×WsはWs1+Ws2に対応する。Ls1≠Ls2かつWs1≠Ws2のときも、Ls1+Ls2>Ws1+Ws2という関係を満足していればよく、必ずしも、Ls1およびLs2はそれぞれ独立にWs1、Ws2より大きい必要はない。

【0032】

10

20

30

40

50

後に実験例を示して説明するように、本発明の実施形態によるプレス装置100を用いると、図2のR - Fe - B系焼結磁石用の成形体、特に、円柱形状などの棒状の成形体を亀裂なく、成形、抜出することができる。棒状の成形体とは、成形体の長さ(棒の長さ)をa(図2ではLg)、幅をb(図2ではWg)、厚さc(図2ではTg)とすると、 $a > b$ 、 c の関係を満足する形状を有する成形体をいう。プレス装置100は、 $a > 2b$ 、 $2c$ の細長い棒状の成形体であっても成形することができる。円柱形状の場合、幅 b = 厚さ c であり、 b および c は、円柱の底面の円の直径に等しい。図1に示す様に、プレス装置100を用いると、棒状の成形体を、長さ方向に直交する方向にプレスすることによって成形することができる。このような方向にプレスできると、以下の様に、プレス方向に直交する方向に磁界印加する磁界中成形法(直交磁界成形法)によって、棒状の成形体の長さ方向に磁界配向した成形体を作製することができる。例えば、円柱形状の成形体の中心軸に平行に(長さ方向に)磁界配向した成形体を作製することができる。

10

【0033】

プレス装置100は、図1に示す様に、キャビティ10内の磁性粉末に配向磁界を印加するための磁界発生装置32を有し得る。磁界発生装置32は、配向磁界が長さ方向に平行に印加されるように配置される。このプレス装置100を用いると、直交磁界成形法によって、円柱状のキャビティ10の長さ方向に磁界配向した成形体を作製することができる。直交磁界成形法では、成形の際に磁性粒子の配向状態を乱さないで、プレス方向に平行な方向に磁界印加する磁界中成形法(平行磁界成形法)と比較して、最終的に得られる磁石の磁気特性は高くなる。配向磁界は、静磁界でもよいし、パルス磁界でもよく、これらを組み合わせて用いてもよい。希土類焼結磁石用の磁性粉末の成形体をプレス成形する場合、配向磁界の強度は、0.8 T以上4.0 T以下であることが好ましい。

20

【0034】

プレス装置100を用いるR - Fe - B系焼結磁石の製造方法を説明する。

【0035】

まず、R - Fe - B系焼結磁石用の磁性粉末を用意する。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。

【0036】

磁性粉末として以下の粉末を準備した。

30

【0037】

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0.2 mmから0.3 mmの合金薄片を作製した。

【0038】

次に、この合金薄片を容器に充填し、水素処理装置内に収容した。そして、水素処理装置内を圧力50 kPaの水素ガスで満たすことにより、室温で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0.15 mmから2 mmの不定形粉末を作製した。

40

【0039】

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4 μmの微粉末を作製した。

【0040】

次に、プレス装置100のキャビティ10内に磁性粉末を充填する。ダイス22の貫通孔22a内に下パンチ12Lを挿入し、下パンチ12Lの加圧面(上面)を所定の位置に固定する。ダイス22を移動させてもよいし、下パンチ12Lを移動させてもよい。下パンチ12Lの加圧面の位置は、磁性粉末を充填するために必要なキャビティ10の容積で

50

規定される。下パンチ12Lの加圧面と貫通孔22aの内面で画定されたキャビティ10内に磁性粉末を充填する。磁性粉末の充填工程は、例えば、摺り切り法を用いて実行できる（例えば特開2000-248301号公報参照）。摺り切り法を用いると、磁性粉末の表面（上面）がダイス22の表面と面一となるように磁性粉末を充填することができる。したがって、磁性粉末を定量的に充填することができる。

【0041】

また、摺り切り法を用いると、ダイス表面において、摺り切り方向と磁界発生装置の磁界印加方向とを90°向きが変わるよう粉末充填装置と磁界発生装置とをプレス装置に設置でき、円柱形状の成形体の中心軸に平行に（長さ方向に）磁界配向した成形体を作製することができる。

10

【0042】

続いて、ダイス22の貫通孔22aの成形部において、下パンチ12Lおよび上パンチ12Uによって、キャビティ10内に充填された磁性粉末を加圧する。すなわち、上パンチ12Uの下端が貫通孔22aの成形部に位置するまで上パンチ12Uを下降させ、下パンチ12Lおよび上パンチ12Uによって、キャビティ10内に充填された磁性粉末を加圧し、予め決められた所定の密度を有する成形体を作製する。加圧時、磁界発生装置より例えば0.8Tから4.0Tの磁界が発生し、キャビティ10内の磁性粉末を加圧方向に直交する方向に磁界配向させている。この圧縮工程では、上パンチ12Uを下降させ磁性粉末を圧縮し所定の密度となる位置で上パンチ12Uの下降を停止する。このとき成形体の側面がテーパ形状とならないように、上パンチ12Uの下端が成形部Ld、Wdに位置しテーパ部22tL、22tWに差し掛からないよう上パンチ12Uの下降を停止する。この停止位置は、磁性粉末を充填した後、ダイス22を上昇させ、磁性粉末をキャビティ10内で相対的に下降させる、いわゆるアンダーフィル動作によって容易に調整できる。言い換えると、停止位置は磁性粉末を充填した後のダイス22の上昇量で調整できる。

20

【0043】

成形体の所定の密度としては、例えば、真密度が約7.5g/cm³のR-Fe-B系焼結磁石を製造するための成形体の密度は4.0g/cm³（真密度の約53%）よりも大きいことが好ましく、4.3g/cm³（真密度の約57%）以上であることがさらに好ましい。成形体の密度が4g/cm³以下であると、成形体のハンドリング（移送等）の際に欠けや割れが発生することが多くなり、製造効率の低下を招く。所定の密度の成形体を得るためのプレス圧やプレス時間は、予備的な検討によって、適宜設定される。

30

【0044】

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、直交磁界成形法において効果が顕著である。

【0045】

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。

40

【0046】

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。円柱状の焼結体は、例えば、複数の円

50

盤状の焼結体片に切断される。必要に応じて、表面処理が施され、着磁され、磁石片となる。

【0047】

しかしながら、実験例を挙げて説明するように、長さ方向抜き量 L_s と幅方向抜き量 W_s とが等しいダイスを用いて、円柱状の成形体（長さ a 、幅 b 、厚さ c が、 $a > b$ 、 c の関係性を有する）を成形すると、高い頻度で亀裂が発生した。

【0048】

ここで、図1および図2を参照して、プレス装置100と同様の構造を有し、長さとの差が上記の条件（ L_{s1} 、 $L_{s2} > W_s$ ）を満足しないプレス装置を用いて、円柱状の成形体10Gを形成したときに、亀裂が発生する原因を説明する。

10

【0049】

図2に示す様に、円柱状の成形体10Gは、円柱の外周面上にフリンジ部10Gfを有している。フリンジ部10Gfの幅 W_f は、上パンチ12Uと下パンチ12Lとが衝突するのを防止するために設けられる。したがって、フリンジ部10Gfの幅 W_f は、給粉量の精度と上パンチ12Uおよび下パンチ12Lの停止位置によって決まるクリアランス部の精度に依存し、0.5mm以上3.0mm以下に設定される。好ましくは0.5mm以上2.0mm未満に設定される。

【0050】

上パンチ12Uおよび下パンチ12Lの加圧面（図1（a）、（b）においてキャビティ10にある粉末と接する側の面）は、クリアランス部（図1（b）参照）を除いて、半径が $W_d/2$ の円弧が、図1（b）において紙面に垂直な方向に延びた曲面である。したがって、図1に示した上パンチ12Uが降下し、キャビティ10に充填された磁性粉末を圧縮し成形体を得られると、半径が $W_d/2$ の底面を有する円柱の外周面に沿うようにフリンジ部10Gfをわずかに削るだけで、目的とする円柱状の成形体を得ることができる。したがって、図2に示す円柱状の成形体10Gを得られると、目的とする成形体（または焼結体）を得るための材料の歩留りを高くできる。

20

【0051】

しかしながら、図2に示す円柱状の成形体10Gを、長さ方向の差 L_s （ $= L_{s1} = L_{s2}$ ）と幅方向の差 W_s （ $= W_{s1} = W_{s2}$ ）とが等しいダイスを用いて成形すると、高い頻度で亀裂10crが発生した。

30

【0052】

また、長さ方向の差 L_s および幅方向の差 W_s のいずれもないダイスを用いて成形しても、高い頻度で亀裂10crが発生した。

【0053】

亀裂10crは、図2に示すように、円柱状の成形体10Gのフリンジ部10Gfの下部から水平に幅方向に発生する。亀裂10crの発生の原因は以下の様に考えられる。

【0054】

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、ダイス22の貫通孔22aから出た時に、成形体10Gの曲面部分、他の部分に比べて幅方向に変位しづらく、フリンジ部10Gfに加わる引張応力が他の部分と比べて大きくなる。このときにフリンジ部10Gfに加わる引張応力による成形体の変位量が成形体強度を超える程度の大きさだったため、亀裂10crが発生したと考えられる。この亀裂は特に下パンチ12Lの加圧面に接触している部分で発生しやすい。

40

【0055】

そこで、発明者による上記の考察に基づいて、幅方向の変位量を抑制する方法を検討した。図1に示したプレス装置100において、キャビティ10の長さ L_d を82.00mm、幅 W_d を28.00mmとし、テーパ部12の高さ h を20.00mmとし、長さ方向の差 L_s （ $= L_{s1} = L_{s2}$ ）および幅方向の差 W_s （ $= W_{s1} = W_{s2}$ ）が異なる9種類のダイス22を用いて成形体10Gを作製した（試料No.1～No.9）。なお、試料No.9については、幅方向の抜き量はゼロとした。成形は上述したプロセスで行

50

った。成形条件は、フリンジ部10Gfの幅Wfが0.5mm以上2.0mm未満になるようにクリアランス部を調整し、成形体の長さTgが28.00mm±0.03mm、成形体の密度4.30g±0.03gとした。また、配向磁界は、キャビティ10の長さ方向に1.3T印加した。

【0056】

得られた試料No.1～No.9の成形体10Gについて、それぞれの長さLgおよび幅Wgを測定し、Lg-Ldを長さ方向変位量とし、Wg-Wdを幅方向変位量とし、得られた結果を下記の表1に示す。表1には、長さ方向の差Lsおよび幅方向の差Wsをそれぞれキャビティ10の長さLdおよび幅Wdで規格化し、百分率で表した値(Ls/LdおよびWs/Wd)を括弧内に示している。なお、試料数は各50個で、表1の数値は

10

【0057】

【表1】

試料	長さ方向 抜き量 Ls(mm) (Ls/Ld)	長さ方向 スプリングバック量 (mm)	幅方向 抜き量 Ws(mm) (Ws/Wd)	幅方向 スプリングバック量 (mm)	亀裂の有無
No.1	0.025 (0.030%)	0.43	0.025 (0.089%)	0.21	有り
No.2	0.050 (0.061%)	0.56		0.14	有り
No.3	0.075 (0.091%)	0.60		0.10	無し
No.4	0.100 (0.122%)	0.72		0.10	無し
No.5	0.125 (0.152%)	0.78		0.09	無し
No.6	0.150 (0.184%)	0.91		0.08	無し
No.7	0.175 (0.213%)	0.95		0.07	無し
No.8	0.200 (0.243%)	1.05		0.09	無し
No.9	0.125 (0.152%)	0.82	0.00 (0.00%)	0.10	無し

20

30

40

【0058】

図3からあきらかなように、幅方向の差Wsを一定(0.025mm)とし、長さ方向の差LsをWsと等しい0.025mmから増加させると、長さ方向変位量はほぼ単調に増加するのに対し、幅方向変位量はほぼ単調に減少する。このように、円柱状の成形体の長さ方向の抜き量を増加させることによって、幅方向の変位量を小さくできることが分かった。

【0059】

図3からわかるように、長さ方向の差Lsが、0.075mm以上、Ls/Ldが0.091%以上のとき、幅方向変位量が0.10mm以下となり、成形体に亀裂は発生しなかった。これは、試料No.9の幅方向の差Wsがゼロの場合でも確認された。ここで、

50

成形体の長さ方向にできた線状の割れであって、目視できる大きさを亀裂として判断している。

【0060】

なお、長さ方向の差を0.050mmとした試料No.2の幅方向変位量は0.14mmで、長さ方向の差が幅方向の差と等しい0.025mmの試料No.1の幅方向変位量0.21mmよりも30%以上低減されているものの、亀裂の発生を完全に防止することはできなかった。しかしながら、亀裂の発生頻度は低下しており、長さ方向抜き量を幅方向抜き量よりも大きくすることによって、長さ方向変位量を大きくすることで幅方向変位量を低減させ、亀裂の発生を抑制する効果は得られている。

【0061】

幅方向の亀裂の発生を抑制する条件は、長さ方向の差 L_s および幅方向の差 W_s をそれぞれキャピティ10の長さ L_d および幅 W_d で規格化した値(百分率表記)で規定することもできる。

【0062】

表1の長さ方向の差および幅方向の差の括弧内に示した L_s/L_d および W_s/W_d を見ると、亀裂が発生しなかった試料No.3~No.9はいずれも $L_s/L_d > W_s/W_d$ を満足していることがわかる。すなわち、ここで例示したような、亀裂が発生しやすい成形体を作製する場合であっても、 $L_s/L_d > W_s/W_d$ を満足すれば、亀裂の発生を防止できると言える。

【0063】

なお、長さ方向の変位量が大きくなると、落ち粉の量が増える傾向にあった。ここで、落ち粉とは圧縮工程での磁性粉末の吹きこぼれのことであり、成形体のバリの原因ともなる。特に、長さ方向の差が大きい試料No.7およびNo.8は落ち粉の量が多かった。したがって、亀裂の発生がなく、落ち粉の量が少ない、試料No.3~No.6の成形に用いたダイスが最も好ましいと言える。このことから、長さ方向の差 L_s が0.075mm以上、または、 L_s/L_d が0.091%以上で、長さ方向の差 L_s が0.175mm未満、または、 L_s/L_d が0.21%未満であることが好ましいと言える。また、 L_s/L_d および W_s/W_d で言うと、 $(L_s/L_d)/(W_s/W_d)$ が、1.0(0.091/0.089)超で、2.1(0.184/0.089)以下であることが好ましいと言える。

【0064】

次に、種々の大きさの円柱状の成形体について、亀裂が発生しないことが確認されたダイスのパラメータを表2に示す。ここでは、テーパ部の高さ h も16mm~53mmの範囲で異なるものを作製した。

【0065】

10

20

30

【表 2】

試料	Wd(mm)	Ws(mm)/h(mm) (Ws/Wd)	Ld(mm)	Ls(mm)/h(mm) (Ls/Ld)
No.10	6.40	0.025/16 (0.39%)	47.62	0.085/16 (0.18%)
No.11	7.75	0.025/18 (0.32%)	51.90	0.110/18 (0.21%)
No.12	8.11	0.025/17 (0.31%)	58.11	0.100/17 (0.17%)
No.13	9.14	0.025/20 (0.27%)	60.81	0.100/20 (0.16%)
No.14	9.83	0.025/20 (0.25%)	59.60	0.120/20 (0.20%)
No.15	11.09	0.025/22 (0.23%)	60.81	0.125/22 (0.21%)
No.16	11.09	0.025/22 (0.23%)	68.73	0.150/22 (0.22%)
No.17	12.34	0.025/24 (0.20%)	60.81	0.100/24 (0.16%)
No.18	13.49	0.025/26 (0.19%)	75.68	0.140/26 (0.18%)
No.19	14.63	0.025/28 (0.17%)	67.57	0.125/28 (0.18%)
No.20	15.11	0.025/29 (0.17%)	66.67	0.125/29 (0.19%)
No.21	17.71	0.015/33 (0.08%)	72.97	0.125/33 (0.17%)
No.22	18.29	0.015/33 (0.08%)	67.57	0.125/33 (0.18%)
No.23	27.77	0.00 (0.00%)	68.97	0.150/53 (0.22%)
No.24	30.06	0.00 (0.00%)	81.08	0.150/53 (0.19%)

【 0 0 6 6 】

試料 No. 10 ~ No. 24 の全てにおいて、 $L_s > W_s$ の条件を満足している。また、試料 No. 10 ~ No. 24 における長さ方向の差 L_s の最小値は、0.085 mm であり、0.075 mm 以上という条件を満足している。 W_s は 0 mm 以上 0.025 mm 以下である。 L_s / L_d の最小値は、0.16% であり、0.091% 以上という条件を満足している。また、試料 No. 10 ~ No. 24 における長さ方向抜き量 L_s の最大値は、0.150 mm で、0.175 mm 以下という条件を満足している。 L_s / L_d の最

10

20

30

40

50

大値は、0.22%である。表2の中で、 $L_s / L_d > W_s / W_d$ を満足するものは、試料No. 19～24で、 W_d が比較的大きい成形体である。表1の結果と併せて、 W_d が14mmを超える円柱形状の成形体を作製する場合には、 $L_s / L_d > W_s / W_d$ を満足することが好ましいと言える。

【0067】

このように、本発明の実施形態によるプレス装置100を用いると、亀裂の発生を抑制して、ほぼ目的とする円柱形状を有する成形体10Gを成形することができる。また、成形体10Gの円柱形状の中心軸に平行に配向磁界を印加することも可能であり、このときにも亀裂の発生を抑制できる。

【0068】

もちろん、本発明の実施形態によるプレス装置およびそれを用いた磁石の製造方法は、円柱形状の成形体を作製する場合に限定されない。円柱形状の棒状の成形体以外に五角柱形状以上の多角柱形状の棒状の成形体を亀裂なく、効率良く成形することができる。

【0069】

また、断面がかまぼこ形状または弓形状の棒状の成形体でもフリンジ部を有し、フリンジ部の幅が0.5mm以上2.0mm未満と狭い場合、フリンジ部に引張応力が集中し、フリンジ部に亀裂が発生することがある。本発明を適用することで亀裂なく、効率よく成形することができる。

【0070】

本発明の実施形態によるプレス装置は、例示した希土類磁石用磁性粉末の成形だけでなく、特許文献1に記載の超硬合金粉末などを用いた場合にも、円柱形状の成形体を亀裂なく作製することができる。

【産業上の利用可能性】

【0071】

本発明は、例えば、希土類焼結磁石などの磁石の製造に広く用いられ得る。

【符号の説明】

【0072】

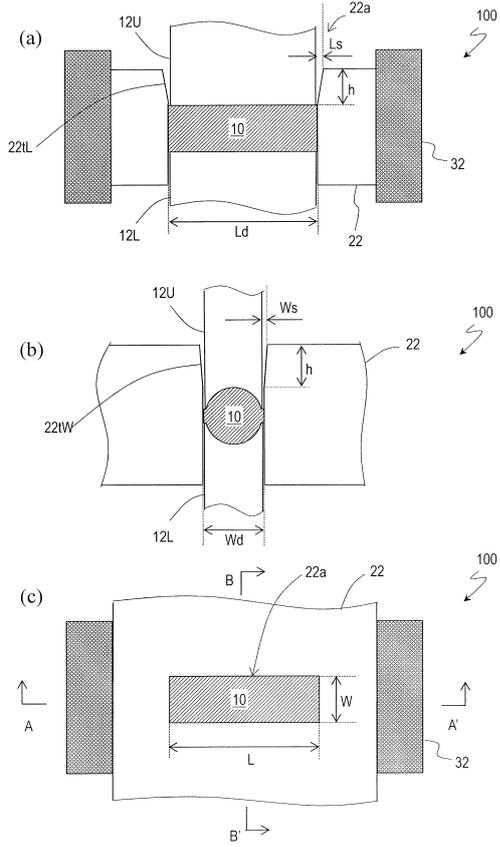
- 10 キャピティ
- 12U 上パンチ
- 12L 下パンチ
- 22 ダイス
- 22a 貫通孔
- 22tL、22tW テーパ部
- 32 磁界発生装置

10

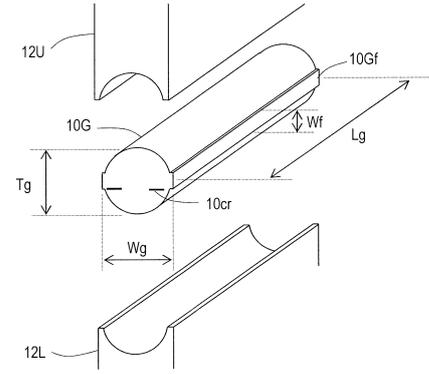
20

30

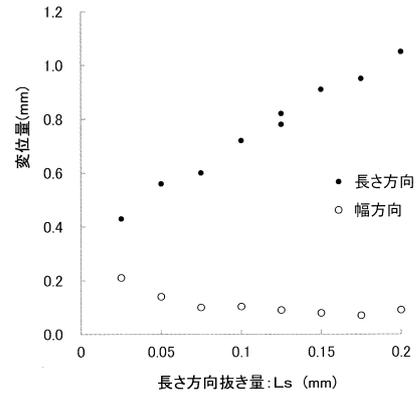
【図1】



【図2】



【図3】



 フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
C 2 2 C 38/00	(2006.01)	B 2 2 F	1/00	Y
		C 2 2 C	38/00	3 0 3 D

(56)参考文献 特開2005-240060(JP,A)
 特開昭53-018066(JP,A)
 特開2007-254813(JP,A)
 特開昭52-102885(JP,A)
 特開2006-097090(JP,A)
 特開2006-207002(JP,A)
 特開2000-197997(JP,A)
 特開2001-300790(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 2 2 F 1 / 0 0 - 8 / 0 0
 C 2 2 C 1 / 0 4 - 1 / 0 5
 C 2 2 C 3 3 / 0 2
 H 0 1 F 4 1 / 0 0 - 4 1 / 0 4
 H 0 1 F 4 1 / 0 8、H 0 1 F 4 1 / 1 0