

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6508878号
(P6508878)

(45) 発行日 令和1年5月8日 (2019. 5. 8)

(24) 登録日 平成31年4月12日 (2019. 4. 12)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 F 1/24 (2006. 01)	H O 1 F 1/24
H O 1 F 27/255 (2006. 01)	H O 1 F 27/255
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 N
C 2 2 C 33/02 (2006. 01)	C 2 2 C 33/02 1 O 1

請求項の数 9 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2014-53771 (P2014-53771)	(73) 特許権者	000134257
(22) 出願日	平成26年3月17日 (2014. 3. 17)		株式会社トーキン
(65) 公開番号	特開2015-175047 (P2015-175047A)		宮城県仙台市太白区郡山6丁目7番1号
(43) 公開日	平成27年10月5日 (2015. 10. 5)	(74) 代理人	100117341
審査請求日	平成29年3月1日 (2017. 3. 1)		弁理士 山崎 拓哉
		(72) 発明者	茶谷 健一
			宮城県仙台市太白区郡山6丁目7番1号
			NECトーキン株式会社内
		(72) 発明者	池田 賢司
			宮城県仙台市太白区郡山6丁目7番1号
			NECトーキン株式会社内
		(72) 発明者	津田 利則
			宮城県仙台市太白区郡山6丁目7番1号
			NECトーキン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 軟磁性成型体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

扁平形状を有する軟磁性金属粉末をバインダ成分によって結着させた軟磁性成型体であって、

60体積%以上の前記軟磁性金属粉末と、10体積%以上かつ30体積%以下の開細孔とを含んでおり、

前記開細孔は、互いに繋がっており、前記軟磁性成型体の外部に開口しており、

前記バインダ成分は、無機酸化物を主成分としており、

前記軟磁性成型体は、1以上の粉末集合体を含んでおり、

前記粉末集合体は、複数の前記軟磁性金属粉末を含んでおり、

前記粉末集合体に含まれる前記軟磁性金属粉末の上面又は下面は、部分的に平面状に広がった前記バインダ成分によって、同じ前記粉末集合体に含まれる他の前記軟磁性金属粉末の下面又は上面と結着しており、

前記バインダ成分は、部分的に粒子状に集まって、前記粉末集合体に含まれる前記軟磁性金属粉末を、同じ前記粉末集合体に含まれない前記軟磁性金属粉末と、間隔をあけて結着されている

軟磁性成型体。

【請求項 2】

請求項1記載の軟磁性成型体であって、

前記軟磁性成型体に貫通孔を形成した場合、前記軟磁性成型体は、前記貫通孔よりも大

きな径を有する貫通部の挿入を許容するとともに、挿入された前記貫通部を前記貫通孔の内壁の弾性力のみによって保持可能である

軟磁性成型体。

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 記載の軟磁性成型体であって、

前記軟磁性金属粉末のうち互いに上下に隣接する 2 以上の前記軟磁性金属粉末は、第 1 軟磁性金属粉末として粉末集合体を構成しており、

前記軟磁性成型体は、1 以上の前記粉末集合体を含んでおり、

上下に隣接した 2 つの前記第 1 軟磁性金属粉末は、上下に隣接した前記第 1 軟磁性金属粉末の夫々の厚さよりも小さな距離をあけて、前記バインダ成分によって互いに平行に延びるように結着されている

10

軟磁性成型体。

【請求項 4】

請求項 3 記載の軟磁性成型体であって、

前記粉末集合体は、他の前記粉末集合体、又は前記粉末集合体のいずれにも含まれない前記軟磁性金属粉末である第 2 軟磁性金属粉末と、互いの間に前記開細孔を形成しつつ結着されている

軟磁性成型体。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の軟磁性成型体であって、

表面の少なくとも一部は、樹脂又はガラス質によって覆われている

軟磁性成型体。

20

【請求項 6】

請求項 5 記載の軟磁性成型体であって、

前記開細孔の少なくとも一部は、樹脂又はガラス質によって埋められている

軟磁性成型体。

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の軟磁性成型体であって、

前記開細孔の少なくとも一部に無機質を含む溶液を含侵させて熱処理を施すことにより、前記開細孔の少なくとも一部が、前記無機質を含む溶液を含侵させる前に前記軟磁性成型体に含まれていた前記無機酸化物とは別の無機酸化物によって埋められている

30

軟磁性成型体。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 7 のいずれかに記載の軟磁性成型体からなる

磁芯。

【請求項 9】

請求項 1 乃至請求項 7 のいずれかに記載の軟磁性成型体からなる

磁性シート。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、扁平形状を有する軟磁性金属粉末をバインダ成分によって結着させた軟磁性成型体に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、このタイプの軟磁性成型体からなる磁芯が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2013 - 243330 号公報

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1に開示された磁芯（即ち、軟磁性成型体）は、適度に変形可能であり使用し易い。このような軟磁性成型体については、その優れた特性をさらに向上させ、より広範囲な用途に使用したいという要望がある。

【0005】

そこで、本発明は、この要望に応えることができる軟磁性成型体を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

【0006】

本発明によれば、第1の軟磁性成型体として、
扁平形状を有する軟磁性金属粉末をバインダ成分によって結着させた軟磁性成型体であって、

60体積%以上の前記軟磁性金属粉末と、10体積%以上かつ30体積%以下の開細孔とを含んでおり、

前記バインダ成分は、無機酸化物を主成分としている
軟磁性成型体を得られる。

【0007】

また、本発明によれば、第2の軟磁性成型体として、第1の軟磁性成型体であって、
前記軟磁性成型体は、1以上の粉末集合体を含んでおり、
前記粉末集合体は、複数の前記軟磁性金属粉末を含んでおり、
前記粉末集合体に含まれる前記軟磁性金属粉末の上面又は下面は、部分的に平面状に広がった前記バインダ成分によって、同じ前記粉末集合体に含まれる他の前記軟磁性金属粉末の下面又は上面と結着されている
軟磁性成型体を得られる。

20

【0008】

また、本発明によれば、第3の軟磁性成型体として、第2の軟磁性成型体であって、
前記バインダ成分は、部分的に粒子状に集まって、前記粉末集合体に含まれる前記軟磁性金属粉末を、同じ前記粉末集合体に含まれない前記軟磁性金属粉末と、間隔をあけて結着している
軟磁性成型体を得られる。

30

【0009】

また、本発明によれば、第4の軟磁性成型体として、第1の軟磁性成型体であって、
前記軟磁性金属粉末のうち互いに上下に隣接する2以上の前記軟磁性金属粉末は、第1軟磁性金属粉末として粉末集合体を構成しており、
前記軟磁性成型体は、1以上の前記粉末集合体を含んでおり、
上下に隣接した2つの前記第1軟磁性金属粉末は、上下に隣接した前記第1軟磁性金属粉末の夫々の厚さよりも小さな距離をあけて、前記バインダ成分によって互いに平行に延びるように結着されている
軟磁性成型体を得られる。

40

【0010】

また、本発明によれば、第5の軟磁性成型体として、第2の軟磁性成型体であって、
前記粉末集合体は、他の前記粉末集合体、又は前記粉末集合体のいずれにも含まれない前記軟磁性金属粉末である第2軟磁性金属粉末と、互いの間に前記開細孔を形成しつつ結着されている
軟磁性成型体を得られる。

【0011】

また、本発明によれば、第6の軟磁性成型体として、第1乃至第5のいずれかの軟磁性成型体であって、

50

表面の少なくとも一部は、樹脂又はガラス質によって覆われている
軟磁性成型体を得られる。

【 0 0 1 2 】

また、本発明によれば、第 7 の軟磁性成型体として、第 6 の軟磁性成型体であって、
前記開細孔の少なくとも一部は、樹脂又はガラス質によって埋められている
軟磁性成型体を得られる。

【 0 0 1 3 】

また、本発明によれば、第 8 の軟磁性成型体として、第 1 乃至第 5 のいずれかの軟磁性
成型体であって、

前記開細孔の少なくとも一部に無機質を含む溶液を含侵させて熱処理を施すことにより
、前記開細孔の少なくとも一部が、前記無機質を含む溶液を含侵させる前に前記軟磁性成
型体に含まれていた前記無機酸化物とは別の無機酸化物によって埋められている
軟磁性成型体を得られる。

【 0 0 1 4 】

また、本発明によれば、第 1 の磁芯として、第 1 乃至第 8 のいずれかの軟磁性成型体か
らなる
磁芯を得られる。

【 0 0 1 5 】

また、本発明によれば、第 1 の磁性シートとして、第 1 乃至第 8 のいずれかの軟磁性成
型体からなる
磁性シートを得られる。

【発明の効果】

【 0 0 1 6 】

本発明による軟磁性成型体は、バインダ成分によって結着させた 6 0 体積 % 以上の軟磁
性金属粉末と、 1 0 体積 % 以上かつ 3 0 体積 % 以下の開細孔を含んでいる。この構造から
理解されるように、本発明による軟磁性成型体内部の空孔の殆どが、軟磁性成型体の外部
と繋がった開細孔である。このため、本発明による軟磁性成型体は、従来の軟磁性成型体
よりも更に破損し難く且つ加工し易い。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 7 】

【図 1】本発明の実施の形態による軟磁性成型体を模式的に示す斜視図である。ここで、
軟磁性成型体の断面の一部（ 1 点鎖線で囲んだ部分）を部分的に拡大して模式的に描画し
ている。

【図 2】図 1 の軟磁性成型体を作製するためのスラリーの一部を模式的に示す断面図であ
る。

【図 3】本実施の形態による軟磁性成型体の断面の一部を示す画像である。

【図 4】図 3 の軟磁性成型体を示す他の画像である。画像中の白色の部分はバインダ成分
（無機酸化物）である。

【図 5】本実施の形態による軟磁性成型体からなる磁芯を示す斜視図である。ここで、磁
芯の貫通孔のうち隠れた部分を破線で描画している。

【図 6】図 5 の磁芯を使用したインダクタを示す斜視図である。ここで、インダクタのコ
イルのうち隠れた部分を破線で描画している。

【図 7】図 6 のインダクタのコイルを示す斜視図である。ここで、コイルの貫通部と接続
部との間の境界線（想像線）を 1 点鎖線で描画している。

【図 8】図 8（ A ）は、図 6 の磁芯の貫通孔とコイルの貫通部とを、貫通部が貫通孔に挿
入される前の状態で、部分的に拡大して示す斜視図である。図 8（ B ）は、図 6 の磁芯の
貫通孔とコイルの貫通部とを部分的に拡大して示す側面断面図である。

【図 9】図 9（ A ）は、図 6 の磁芯の貫通孔とコイルの貫通部とを部分的に拡大して示す
平面断面図である。図 9（ B ）は、図 9（ A ）の貫通孔及び貫通部の変形例を示す平面断
面図である。図 9（ C ）は、図 9（ A ）の貫通孔及び貫通部の別の変形例を示す平面断面

10

20

30

40

50

図である。

【図 10】図 6 のインダクタの変形例を示す側面図である。ここで、インダクタのコイル及びスペーサのうち隠れた部分を破線で描画している。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以降の説明において、「上」「下」等の位置を示す用語は、絶対的な位置を示すものではなく、図面における相対的な位置を示すに過ぎない。

【0019】

図 1 を参照すると、本発明の実施の形態による軟磁性成型体 10 は、厚さ方向（上下方向）に薄い平板形状を有している。軟磁性成型体 10 は、例えば 2 mm 程度の厚さ（上下方向におけるサイズ）を有している。本実施の形態による軟磁性成型体 10 は、上下方向と直交する水平面（所定面）において矩形形状を有している。但し、本発明は、これに限られない。軟磁性成型体は、様々な形状に形成することができる。例えば、軟磁性成型体は、0.4 mm 程度の厚さの薄いシート状に形成することができる。

【0020】

図 1 及び図 3 を参照すると、軟磁性成型体 10 は、扁平形状を有する軟磁性金属粉末（軟磁性金属材料）110 を結着体（バインダ成分）130 によって結着させたものである。軟磁性成型体 10 は、60 体積%以上の軟磁性金属粉末 110 と、4 体積%以上かつ 30 体積%以下のバインダ成分 130 と、10 体積%以上かつ 30 体積%以下の開細孔（空孔）150 と、僅かな体積%の閉細孔（空孔）160 とを含んでいる。バインダ成分 130 は、無機酸化物を主成分としている。例えば、バインダ成分 130 は、酸化ケイ素を主成分としている。

【0021】

図 1 及び図 3 に示されるように、軟磁性成型体 10 は、1 以上の粉末集合体 100 を含んでいる。粉末集合体 100 の夫々は、複数の軟磁性金属粉末 110 を含んでいる。本実施の形態によれば、軟磁性金属粉末 110 は、いずれかの粉末集合体 100 に含まれる第 1 軟磁性金属粉末 110 F と、粉末集合体 100 のいずれにも含まれない第 2 軟磁性金属粉末 110 S とに分類できる。但し、軟磁性成型体 10 は、第 2 軟磁性金属粉末 110 S を含んでいなくてもよい。また、軟磁性成型体 10 は、粉末集合体 100 を 1 つのみ含んでいてもよい。

【0022】

以上の説明から理解されるように、第 1 軟磁性金属粉末 110 F と第 2 軟磁性金属粉末 110 S とは、同一の軟磁性金属材料から作製されており、同様の形状及び特性を有している。換言すれば、第 1 軟磁性金属粉末 110 F 及び第 2 軟磁性金属粉末 110 S のいずれも、軟磁性金属粉末 110 である。軟磁性金属粉末 110 は、水平面に沿って配向されている。詳しくは、軟磁性金属粉末 110 の夫々は、少し曲がりつつ概ね水平面上を延びる上面 112 及び下面 114 を有している。

【0023】

図 1 及び図 4 を参照すると、バインダ成分 130 は、後述するように、無機質を含むバインダ 184（図 2 参照）を熱硬化することで形成されている。詳しくは、熱硬化の際、バインダ 184（バインダ成分 130）は、無機酸化物を主成分とするバインダ成分 130 に変化しつつ、軟磁性金属粉末 110 の上面 112 又は下面 114 に沿って部分的に平面状に広がって第 1 結着体 130 F が形成されている（図 4 参照）。また、このとき、バインダ 184（バインダ成分 130）は、部分的に粒子状に集まって第 2 結着体 130 S が形成されている（図 4 参照）。換言すれば、第 1 結着体 130 F は、概ね平面状に広がっており、第 2 結着体 130 S は、概ね粒子状に集まっている。

【0024】

以上の説明から理解されるように、第 1 結着体 130 F と第 2 結着体 130 S とは、同一のバインダ 184（図 2 参照）から作製されており、同様の特性を有している。換言すれば、第 1 結着体 130 F 及び第 2 結着体 130 S のいずれも、バインダ成分 130 であ

る。

【0025】

粉末集合体100に含まれる第1軟磁性金属粉末110Fの上面112又は下面114は、第1結着体130Fによって、同じ粉末集合体100に含まれる他の第1軟磁性金属粉末110Fの下面114又は上面112と結着されている。第1結着体130Fは、第1軟磁性金属粉末110Fに比べて薄い。このため、同じ粉末集合体100に含まれる第1軟磁性金属粉末110Fは、互いに密接している。換言すれば、粉末集合体100は、第1結着体130Fによって上下に連結され、軟磁性成型体10内部に高密度に集まった軟磁性金属粉末110の集合である。

【0026】

詳しくは、軟磁性金属粉末110のうち互いに上下に隣接する2以上の軟磁性金属粉末110は、第1軟磁性金属粉末110Fとして粉末集合体100を構成している。上下に隣接した2つの第1軟磁性金属粉末110Fは、上下に隣接した第1軟磁性金属粉末110Fの夫々の厚さよりも小さな距離をあけて、第1結着体130Fによって互いに平行に延びるように結着されている。軟磁性成型体10は、このように形成された粉末集合体100から構成されているため、60体積%以上の軟磁性金属粉末110を含むことができる。

【0027】

粉末集合体100は、他の粉末集合体100又は第2軟磁性金属粉末110Sと、互いの間に開細孔150（即ち、比較的大きな空間）を形成しつつ、第2結着体130Sによって結着されている。換言すれば、第2結着体130Sは、粉末集合体100に含まれる第1軟磁性金属粉末110Fを、同じ粉末集合体100に含まれない軟磁性金属粉末110と、間隔をあけて結着している。これにより、粉末集合体100と他の粉末集合体100の間や、粉末集合体100と第2軟磁性金属粉末110Sの間には、開細孔150が形成されている。

【0028】

更に、第1軟磁性金属粉末110Fは、上下方向と直交する方向において互いにずれつつ、上下方向に積み重なっている。このため、粉末集合体100に含まれる第1軟磁性金属粉末110Fの間にも、開細孔150が形成されている。

【0029】

開細孔150は、互いに繋がっており、軟磁性成型体10の外部に開口している（図示せず）。一方、閉細孔160は、軟磁性成型体10の内部に閉じた小さな空間である。本実施の形態による軟磁性成型体10は、閉細孔160を殆ど含まない一方、大きな体積の開細孔150を含んでいる。換言すれば、本実施の形態によれば、軟磁性成型体10内部の空孔（空間）の殆どは開細孔150である。

【0030】

軟磁性成型体10は、上述の構成要素及び構造に起因して下記のような特性を有している。

【0031】

上述したように、本実施の形態による軟磁性成型体10は、60体積%以上の軟磁性金属粉末110を含んでいる。このため、軟磁性成型体10の磁気特性が向上し、軟磁性成型体10は、0.5T以上の高い飽和磁束密度と、フェライト相当の高い透磁率を有する。本実施の形態による軟磁性成型体10は磁気飽和し難いため、例えば磁芯として使用した場合、磁芯を小型化可能である。

【0032】

本実施の形態によれば、軟磁性成型体10の1MHzの周波数における比透磁率の実数成分を50以上にできる。更に、1MHzの周波数における比透磁率の実数成分を100以上にできる。詳しくは、初透磁率範囲における比透磁率の実数成分が、1MHz以上の所定の周波数（XMHz）において磁気共鳴により極大値（Y）となる。この所定の周波数（XMHz）及び極大値（Y）は、 $X \times Y \geq 300$ の条件式を満たす。このため、渦電

10

20

30

40

50

流損失の増大、コアロスの増大、及びノイズ吸収性能の低下を防止することができる。軟磁性成型体 10 の比透磁率をより高めるためには、軟磁性金属粉末 110 は、軟磁性成型体 10 中に 70 体積%以上含まれていることが更に好ましい。

【0033】

前述したように、軟磁性金属粉末 110 の夫々は、水平面と平行になるように配向されている。即ち、軟磁性成型体 10 の磁化容易軸は、水平面と平行な方向に延びている。このため、水平面と平行な方向における反磁界係数が小さくなり、比透磁率を更に高めることができる。水平面と平行な方向における比透磁率をより高めるためには、軟磁性金属粉末 110 の平均アスペクト比は、10 以上であることが好ましい。

【0034】

軟磁性金属粉末 110 は、必要な磁気特性を得るために、Fe 系合金からなることが好ましい。更に、軟磁性金属粉末 110 は、Fe-Si 系合金からなることが好ましい。更に、軟磁性金属粉末 110 は、Fe-Si-Al 系合金（センダスト）又は Fe-Si-Cr 系合金からなることが好ましい。

【0035】

軟磁性金属粉末 110 が Si 及び Al を含んでいる場合、軟磁性金属粉末 110 における Si の比率は、3 重量%以上かつ 18 重量%以下であることが好ましく、Al の比率は、1 重量%以上かつ 12 重量%以下であることが好ましい。軟磁性成型体 10 が上述の組成を有する場合、軟磁性成型体 10 の結晶磁気異方性定数及び磁歪定数が低下し、磁気特性が向上する。

【0036】

前述したように、軟磁性金属粉末 110 は、扁平形状を有しており、且つ、水平面と平行な方向において互いにずれつつ上下方向に積み重なっている。このため、仮にクラックが発生したとしてもクラックの進行を防止することができる。即ち、破断が上下方向に進まない。本実施の形態によれば、例えば 2.0 mm 程度の厚さを有し、且つ、セラミック材料であるフェライトと比較して高い靱性（強度）を有する軟磁性成型体 10 が得られる。軟磁性成型体 10 は、フェライトと異なり、押圧力を受けても破損し難く且つ磁気特性が劣化し難い。

【0037】

前述したように、軟磁性金属粉末 110 は無機物であるバインダ成分 130 によって結着されている。このため、軟磁性成型体 10 は、260 程度の高温によるリフローにも耐えることができる。また、軟磁性金属粉末 110 は絶縁性のバインダ成分 130 によって結着されている。このため、軟磁性成型体 10 は、優れた周波数特性と、10 k・cm 以上の高い電気抵抗率を有する。即ち、本実施の形態による軟磁性成型体 10 は、良好な絶縁性を有している。また、軟磁性金属粉末 110 が所定量の Si 及び Al を含んでいる場合、軟磁性成型体 10 を作製する際に、軟磁性金属粉末 110 の表面に Si 及び Al を含む不動態膜が形成され、軟磁性成型体 10 の電気抵抗率が更に大きくなる。

【0038】

軟磁性成型体 10 を使用して作製した磁芯は、フェライト磁芯と同等のインダクタンス及び電気抵抗率を有すると共に、フェライト磁芯よりも優れた直流重畳特性を有する。但し、軟磁性金属粉末 110 の充填率が 85 体積%を超えると、電気抵抗率が顕著に低下し、インダクタ内部で大きな渦電流損失が生じる。従って、軟磁性成型体 10 を使用して磁芯を作製する場合、軟磁性成型体 10 に含まれる軟磁性金属粉末 110 は、85 体積%以下とする必要がある。

【0039】

更に、本実施の形態による軟磁性成型体 10 は、従来は最高とされているフェライトよりも高い熱伝導率を有する。纏めると、本実施の形態によれば、優れた磁気特性、高い強度、良好な絶縁性及び高い熱伝導率を両立させることができる。

【0040】

本実施の形態によれば、開細孔 150 は、バインダ成分 130 によって結着された粉末

10

20

30

40

50

集合体 1 0 0 及び軟磁性金属粉末 1 1 0 の間を、軟磁性成型体 1 0 全体に亘って広がっている。このため、軟磁性成型体 1 0 は、弾性を有している。詳しくは、本実施の形態による軟磁性成型体 1 0 の I S O 7 6 1 9 - t y p e D によるゴム硬度は、9 2 以上かつ 9 6 以下である。即ち、軟磁性成型体 1 0 は、高い強度を有しながら弾性変形可能である。

【 0 0 4 1 】

特に、本実施の形態による軟磁性成型体 1 0 は、内部に含まれる開細孔 1 5 0 と、扁平形状の軟磁性金属粉末 1 1 0 自身の弾性に起因して、所定の厚さまで容易に圧縮されるだけでなく、圧縮された状態から容易に回復するという上下方向における弾性を有している。

【 0 0 4 2 】

10

開細孔率が 1 0 体積 % 以上である場合、軟磁性成型体 1 0 は上述の弾性を有し、軟磁性成型体 1 0 を様々に加工することが容易になる。開細孔率が 3 0 体積 % 以下である場合、軟磁性成型体 1 0 は、十分な軟磁性金属粉末 1 1 0 を含むことができる。従って、軟磁性成型体 1 0 は、本実施の形態のように、1 0 体積 % 以上かつ 3 0 体積 % 以下の開細孔 1 5 0 を含んでいることが望ましい。換言すれば、軟磁性成型体 1 0 に含まれる開細孔 1 5 0 の体積比率（開細孔率）は、1 0 体積 % 以上かつ 3 0 体積 % 以下であることが望ましい。

【 0 0 4 3 】

軟磁性成型体 1 0 は弾性体であるため、以下のようにヤング率を測定することができる。まず、幅（ w ）、厚さ（ t ）を有する平板状の軟磁性成型体 1 0 を用意する。次に、軟磁性成型体 1 0 の 2 つの被支持部を下方から支持する。このとき、被支持部は、軟磁性成型体 1 0 の長手方向において距離（ L ）だけ離れている。次に、被支持部の間に位置する被押圧部を上方から荷重（ P ）によって押圧する。荷重（ P ）によって生じたひずみ（ ϵ ）を測定する。よく知られているように、上述の幅（ w ）、厚さ（ t ）、距離（ L ）、荷重（ P ）及びひずみ（ ϵ ）からヤング率を計算することができる。本実施の形態によれば、ヤング率が 1 0 G P a 以上かつ 9 0 G p a 以下である軟磁性成型体 1 0 を得ることができる。また、主として軟磁性成型体 1 0 の開細孔率を調整することにより、ヤング率が 2 0 G P a 以上かつ 5 0 G p a 以下である軟磁性成型体 1 0 を得ることができる。

20

【 0 0 4 4 】

軟磁性成型体 1 0 に含まれるバインダ成分 1 3 0 の体積比率の好ましい範囲は、バインダ成分 1 3 0 の密度に依存する。また、バインダ成分 1 3 0 の密度は、バインダ成分 1 3 0 に含まれる開細孔 1 6 0 の量によって変化する。本実施の形態によれば、バインダ成分 1 3 0 の密度は、1 . 3 g / c c 以上かつ 2 . 2 g / c c 以下である。この場合、軟磁性成型体 1 0 は、4 体積 % 以上かつ 3 0 体積 % 以下のバインダ成分 1 3 0 を含んでいることが望ましい。換言すれば、軟磁性成型体 1 0 に含まれるバインダ成分 1 3 0 の体積比率は、4 体積 % 以上かつ 3 0 体積 % 以下であることが望ましい。バインダ成分 1 3 0 の体積比率が 4 体積 % よりも小さい場合、軟磁性成型体 1 0 は、十分な強度を有しない。バインダ成分 1 3 0 の体積比率が 3 0 体積 % よりも大きい場合、軟磁性金属粉末 1 1 0 の体積比率を 6 0 体積 % 以上とし、開細孔率を 1 0 体積 % 以上とすることができない。

30

【 0 0 4 5 】

軟磁性成型体 1 0 の表面全体又は表面の一部は、樹脂又はガラス質によって覆うことができる。樹脂としては、例えば、アクリル系樹脂やポリオフィン系樹脂等の絶縁樹脂を使用すればよい。これにより、軟磁性成型体 1 0 の絶縁性や強度を高めることができる。また、前述したように、開細孔 1 5 0 は、互いに繋がっており、軟磁性成型体 1 0 の外部に開口している（図示せず）。この開口（図示せず）を經由して軟磁性成型体 1 0 に樹脂又はガラス質を含侵させることができる。即ち、開細孔 1 5 0 の少なくとも一部を、樹脂又はガラス質によって埋めることができる。これにより、軟磁性成型体 1 0 の絶縁性や強度を更に高めることができる。

40

【 0 0 4 6 】

開細孔 1 5 0 は、バインダ成分 1 3 0 とは別の無機酸化物によって埋めることもできる。例えば、開細孔 1 5 0 の少なくとも一部に無機質（例えば、シリコンレジン）を含む

50

溶液を含浸させて熱処理を施すと、溶液に含まれていた無機質が酸化して無機酸化物になる。このため、開細孔 150 の一部または全体が、バインダ成分 130 とは別の無機酸化物によって埋められる。この場合も、軟磁性成型体 10 の絶縁性や強度を更に高めることができる。

【0047】

開細孔 150 の大部分又は全体を樹脂、ガラス質又は無機酸化物で埋めた場合、軟磁性成型体 10 は、弾性を失う恐れがある。軟磁性成型体 10 の弾性を利用した加工が必要な場合、軟磁性成型体 10 に当該加工を施した後で、開細孔 150 全体を埋めてもよい。

【0048】

以下、図 1 及び図 2 を参照しつつ、軟磁性成型体 10 の製造方法の一例について説明する。

10

【0049】

まず、扁平形状の軟磁性金属粉末 110 を作製する。軟磁性金属粉末 110 は、例えば、Fe 系合金からなる粒子状の軟磁性金属粉末（材料粉末）を、ボールミルを使用して扁平化することで作製できる。

【0050】

次に、溶媒、増粘剤及び熱硬化性バインダ（バインダ 184）からなる混合物を作製する。溶媒及び増粘剤としては、例えばエタノール及びポリアクリル酸エステルが夫々使用できる。バインダ 184 としては、例えばメチルフェニル系シリコンレジンが使用できる。混合物を作製する際、溶媒、増粘剤及びバインダ 184 を十分に混合し、均質な混合物を作製する。より具体的には、例えば、混合物を直径 150 mm、液面深さ 150 mm の容器に投入する。容器中の混合物を、例えば差し渡し長さ 100 mm の回転羽根によって、比較的速い（例えば、毎分 250 回転の）回転速度で、比較的長時間（例えば、5 時間）攪拌することで、均質な混合物を作製することができる。

20

【0051】

次に、十分に混合した混合物に、扁平形状の軟磁性金属粉末 110 を投入する。軟磁性金属粉末 110 を含む混合物は、軟磁性金属粉末 110 が一様に分布しないように混合する。より具体的には、例えば混合物を攪拌する際の回転速度を毎分 100 回転程度と遅くしたり、混合時間を 1 時間程度と短くしたりすることで、軟磁性金属粉末 110 が部分的に密集した凝集体 182 が形成されたスラリー 180 が作製できる。凝集体 182 は、これと異なる方法で形成することもできる。例えば、溶解度パラメーターが互いに大きく異なる溶媒及び増粘剤を使用することで、凝集体 182 を形成することができる。

30

【0052】

次に、スラリー 180 を基板上に塗布する。塗布したスラリー 180 を加熱して溶媒を揮発させることで軟磁性成型体 10 の材料である予備成型体を作製する。予備成型体は、フェライトと異なり脆性材料から形成されていないため、加圧成型可能である。

【0053】

次に、予備成型体を加圧により圧縮して加圧後の成型体を作製する。軟磁性金属粉末 110 の凝集体 182 は、加圧によって押しつぶされ、軟磁性金属粉末 110 は概ね水平面上に配向される。加圧後の成型体を高温（例えば、600）で熱処理すると、軟磁性成型体 10（図 1 参照）が得られる。一般的に、予備成型体を加圧により圧縮する際、構造歪みが生じ、これにより比透磁率が低下するおそれがある。但し、本実施の形態によれば、上述の高温での熱処理によって比透磁率が高い値に回復する。

40

【0054】

上述の高温での熱処理によって、バインダ 184 の有機成分が分解して失われる。このため、バインダ 184 は加熱減量し、バインダ成分 130 が形成される。より具体的には、メチルフェニル系シリコンレジンの固形分は、酸化ケイ素を主成分とするガラス質からなるバインダ成分 130 となり、軟磁性金属粉末 110 を結着する。詳しくは、凝集体 182（図 2 参照）の軟磁性金属粉末 110 は、第 1 結着体 130 F によって互いに高密度に結着されて粉末集合体 100 を形成し、粉末集合体 100 は、第 2 結着体 130 S に

50

よって互いに間隔をあけて結着される（図 1 参照）。また、バインダ 184 によって充填されていた部位に、開細孔 150 及び閉細孔 160 が形成される。以上の説明から理解されるように、スラリー 180 を作製する際のバインダ 184 の量や、予備成型体を加圧により圧縮する際の圧力を調整することで、所望の開細孔率を得ることができる。

【0055】

一般的には、上述の高温での熱処理において、成型体の部位によって温度が異なるため、部位によって熱膨張の大きさが異なる。また、部位によってバインダ 184 が収縮する大きさやバインダ 184 が分解する速度が異なる。このため、加圧後の成型体の厚さが大きい場合、大きな内部応力が発生してクラックや剥離が生じるおそれがある。更に、上述の高温での熱処理において、成型体の内部には、バインダ 184 の分解に伴ってガスが生じる。加圧後の成型体の厚さが大きい場合、成型体の奥部に生じるガスが、外部に放散されにくい。このため、成型体内部でガスの圧力が高まって、クラックや剥離が生じるおそれがある。

10

【0056】

一方、本実施の形態によれば、従来と異なり、バインダ 184 を混合物内に均質に混合する一方、軟磁性金属粉末 110 は、バインダ 184 内に均質に混合せず凝集体 182 が形成される程度の分散状態にある。換言すれば、バインダ 184 がスラリー 180 中に均質に分布しており、且つ、軟磁性金属粉末 110 が部分的に密集した凝集体 182 が形成されている。即ち、バインダ 184 は、軟磁性金属粉末 110 によって邪魔されることなく均質に分布している。

20

【0057】

このため、高温での熱処理において、バインダ 184 は、スラリー 180 全体に亘って概ね一様に分解し収縮する。即ち、スラリー 180 全体に亘って開細孔 150 が形成され、成型体内部に生じたガスは、スムーズに外部に放散される。この結果、本実施の形態によれば、高温での熱処理における昇温速度が速い場合でも、加圧後の成型体が厚い場合でも、クラックや剥離が生じ難い。より具体的には、加圧後の成型体の厚さが 2 mm 以下であれば、上述の高温での熱処理においても、クラックや剥離が殆ど生じない。換言すれば、加圧後の成型体の厚さは、2 mm 以下であることが望ましい。加圧後の成型体の厚さは、0.7 mm 以下であることが更に望ましい。

【0058】

本実施の形態によれば、スラリー 180 全体に亘って開細孔 150 が形成されるため、高温での熱処理を大気中で行う場合、酸素が加圧後の成型体の中心部まで到達する。このため、軟磁性成型体 10 内部の残炭による電気抵抗率の低下を軽減できる。

30

【0059】

以上のように作製された軟磁性成型体 10 は、フェライトのような脆性材料でないため、押込、打込、圧入、強圧入などの、簡易かつ精度や信頼性が高い接合工法を用いて磁芯を作製できる。例えば、磁芯の孔に他の部材を圧入する場合、磁芯の孔の周辺が弾性変形する。このため、圧入によって生じた応力が磁芯全体に及んで磁芯全体が変形破壊することを防止できる。以上の説明から理解されるように、本実施の形態による軟磁性成型体 10 を使用することで、インダクタの設計自由度が格段に高まり、小型で信頼性の高いインダクタの作製が可能となる。

40

【0060】

更に、本発明は、磁芯やインダクタ以外の磁性部品にも適用可能である。例えば、本発明による軟磁性成型体 10 を使用して、アンテナを支持する磁性シートやノイズを抑制するための磁性シートを作製できる。

【0061】

以下、本実施の形態による軟磁性成型体 10 を使用して作製した磁芯及びインダクタについて説明する。

【0062】

図 5 に示されるように、本実施の形態による磁芯 200 は、上下方向と直交する平板形

50

状を有する軟磁性成型体 10 から作製されている。軟磁性成型体 10 の平板形状の厚さは、2 mm 以下である。磁芯 200 は、上下方向における上面 202 と下面 204 とを有している。磁芯 200 には、複数の貫通孔 210 が形成されている。貫通孔 210 の夫々は、円柱形状を有するようにして、磁芯 200 を上下方向に貫通している。貫通孔 210 には、内壁 212 が形成されている。

【0063】

図 6 及び図 7 に示されるように、本実施の形態によるインダクタ 20 は、磁芯 200 と、金属からなるコイル 400 とを備えている。コイル 400 は、複数のビア導体 410 と、複数の第 1 連結部（連結導体）420 と、複数の第 2 連結部（連結導体）430 とを有している。ビア導体 410 の夫々は、貫通部 412 を有している。また、ビア導体 410 10 のうちの 2 つは、他のビア導体 410 よりも長く延びており、貫通部 412 に加えて接続部 414 を有している。貫通部 412、第 1 連結部 420 及び第 2 連結部 430 は、磁芯 200 の一部を巻回するようにして、互いに接続されている。2 つのビア導体 410 の接続部 414 は、回路基板（図示せず）の信号線（図示せず）等と夫々接続可能である。

【0064】

詳しくは、ビア導体 410 は、貫通孔 210 に夫々挿入され、貫通孔 210 を夫々貫通している。これにより、本実施の形態によれば、夫々 5 つの貫通部 412 からなる 2 列の貫通部グループが形成されている。第 1 連結部 420 は、一方の貫通部グループの貫通部 412 の上端と、他方の貫通部グループの貫通部 412 の上端とを連結している。第 2 連結部 430 は、一方の貫通部グループの貫通部 412 の下端と、他方の貫通部グループの貫通部 412 の下端とを連結している。第 1 連結部 420 及び第 2 連結部 430 は、抵抗溶接、超音波溶接等の様々な方法によって貫通部 412 に強固に固定し、これによって磁芯 200 に取り付けることができる。

【0065】

コイル 400 は、絶縁被覆を有さない金属（例えば、銅）から形成されている。本実施の形態による磁芯 200 は良好な絶縁性を有するため、金属製のコイル 400 と直接的に接触できる。但し、コイル 400 は、絶縁被覆を有していてもよい。

【0066】

図 8（A）及び図 8（B）に示されるように、本実施の形態による貫通部 412 は、貫通孔 210 と同様な円柱形状を有している。但し、貫通部 412 の直径 R_c は、貫通孔 210 の直径 R_h よりも少し大きい。本実施の形態による磁芯 200 は弾性を有しているため、直径 R_c が直径 R_h よりも大きい場合でも、貫通部 412 を貫通孔 210 に挿入することができる。また、貫通部 412 が直径 R_h と殆ど同一の直径 R_c を有する場合、貫通部 412 を貫通孔 210 に挿入した後に押しつぶすように押圧して貫通部 412 の直径を大きくすることができる。内壁 212 の周辺の部位（圧入部）は、適度に圧縮変形する。このため、圧入部で生じた応力が磁芯 200 全体に及び、磁芯 200 が変形破壊することが防止される。

【0067】

図 6 及び図 8（B）を参照すると、貫通孔 210 に挿入された貫通部 412 は、貫通孔 210 の内壁 212 を弾性変形させるようにして、貫通孔 210 を貫通している。弾性変形した内壁 212 は、コイル 400 の貫通部 412 に押圧力（弾性力）を加えている。このため、コイル 400 は、内壁 212 が貫通部 412 に（即ち、コイル 400 に）加える押圧力によって磁芯 200 に保持されている。

【0068】

以上の説明から理解されるように、本実施の形態による磁芯 200 は、貫通孔 210 よりも大きな径を有する貫通部 412 の挿入を許容するとともに、挿入された貫通部 412 を確実に保持可能な程度の適度の弾性を有している。このため、貫通孔 210 に挿入された貫通部 412 は、接着剤を使用することなく、引き抜き耐力を有している。即ち、磁芯 200 は、コイル 400 を内壁 212 の弾性力（押圧力）のみによって保持することができる。

【 0 0 6 9 】

また、内壁 2 1 2 の弾性力が多少小さい場合であっても、コイル 4 0 0 を貫通孔 2 1 0 によって一時的に保持した後、貫通部 4 1 2 と貫通孔 2 1 0 との間を接着剤で固定することで、コイル 4 0 0 を確実に保持することができる。即ち、本実施の形態によれば、コイル 4 0 0 は、貫通孔 2 1 0 のみによって保持可能である。

【 0 0 7 0 】

図 9 (A) に示されるように、本実施の形態による貫通部 4 1 2 及び貫通孔 2 1 0 の夫々は、円形の断面を有している。このため、貫通孔 2 1 0 に挿入された貫通部 4 1 2 は、内壁 2 1 2 の全面によってしっかりと保持される。但し、貫通部 4 1 2 及び貫通孔 2 1 0 の夫々は、貫通部 4 1 2 が内壁 2 1 2 の 2 点以上で保持される限り、円形以外の断面を有していてもよい。例えば、図 9 (B) に示されるように、貫通部 4 1 2 が円形の断面を有する一方、貫通孔 2 1 0 が矩形の断面を有していてもよい。また、図 9 (C) に示されるように、貫通部 4 1 2 が矩形の断面を有する一方、貫通孔 2 1 0 が円形の断面を有していてもよい。但し、貫通部 4 1 2 を、より確実に保持するためには、貫通部 4 1 2 及び貫通孔 2 1 0 を本実施の形態のように構成することが好ましい。

【 0 0 7 1 】

図 6 を参照すると、コイル 4 0 0 の接続部 4 1 4 が回路基板 (図示せず) に固定されて使用される際、回路基板に搭載された様々な電子部品 (図示せず) 及びインダクタ 2 0 は熱を生じる。本実施の形態によれば、回路基板に生じた熱は、コイル 4 0 0 の接続部 4 1 4 を経由して、磁芯 2 0 0 の下面 2 0 4 に伝わる。磁芯 2 0 0 は、高い熱伝導率を有しているため、下面 2 0 4 が受けた熱は、インダクタ 2 0 に生じた熱と共に効果的に上面 2 0 2 に伝わり、インダクタ 2 0 の外部に放熱される。即ち、本実施の形態によれば、一般的に大きな熱を生じるインダクタ 2 0 自身を放熱用の部材として使用することができる。

【 0 0 7 2 】

図 6 及び図 1 0 から理解されるように、インダクタ 2 0 A 及び磁芯 2 0 0 A は、インダクタ 2 0 及び磁芯 2 0 0 の変形例である。即ち、インダクタ 2 0 A 及び磁芯 2 0 0 A は、インダクタ 2 0 及び磁芯 2 0 0 と同様の構造及び機能を有している。以下、インダクタ 2 0 A 及び磁芯 2 0 0 A について、インダクタ 2 0 及び磁芯 2 0 0 との相違点を中心に説明する。

【 0 0 7 3 】

図 1 0 に示されるように、本実施の形態によるインダクタ 2 0 A は、磁芯 2 0 0 A と、コイル 4 0 0 と、スペーサ 5 0 0 とを備えている。磁芯 2 0 0 A は、磁芯 2 0 0 と同様に、軟磁性成型体 1 0 を加工したものである。

【 0 0 7 4 】

インダクタ 2 0 (図 6 参照) と同様に、第 1 連結部 4 2 0 は、磁芯 2 0 0 A の上面 2 0 2 に取り付けられており、第 2 連結部 4 3 0 は、磁芯 2 0 0 A の下面 2 0 4 に取り付けられている。第 1 連結部 4 2 0 及び第 2 連結部 4 3 0 を磁芯 2 0 0 A に取り付けると、磁芯 2 0 0 A は上下方向において全体的に圧縮される。このため、第 1 連結部 4 2 0 及び第 2 連結部 4 3 0 を磁芯 2 0 0 A に取り付け後の磁芯 2 0 0 A の厚さ (t_1) は、第 1 連結部 4 2 0 及び第 2 連結部 4 3 0 を磁芯 2 0 0 A に取り付け前の磁芯 2 0 0 A の厚さ (t_0) に比べて、2 . 5 % 以上かつ 5 . 0 % 以下減少する。一方、コイル 4 0 0 を磁芯 2 0 0 A から外すと、磁芯 2 0 0 A の厚さ (t_1) は、厚さ (t_0) に近づくように回復する。即ち、磁芯 2 0 0 A の減少した厚さ (厚さ (t_0) の 2 . 5 % ~ 5 . 0 % 程度) が概ね元に戻る。

【 0 0 7 5 】

第 1 連結部 4 2 0 及び第 2 連結部 4 3 0 が磁芯 2 0 0 A を挟み込むと、上面 2 0 2 及び下面 2 0 4 は、磁芯 2 0 0 A の上下方向における反発力によって、第 1 連結部 4 2 0 及び第 2 連結部 4 3 0 に夫々押し付けられる。このため、コイル 4 0 0 の貫通部 4 1 2 と貫通孔 2 1 0 の内壁 2 1 2 との間に隙間がある場合でも、第 1 連結部 4 2 0 及び第 2 連結部 4 3 0 を保持し、固定することができる。

【 0 0 7 6 】

軟磁性成型体 1 0 から作製された磁芯 2 0 0 A は、コイル 4 0 0 だけでなく、様々な部材を強固に保持できる。磁芯 2 0 0 A のこのような加工性は、釘打ち可能な木材の加工性に類似しており、磁芯 2 0 0 A を加工するための工程が飛躍的に簡易になり、加工の信頼性が向上する。

【 0 0 7 7 】

例えば、磁芯 2 0 0 A には、保持孔 2 2 0 が形成されている。また、スペーサ 5 0 0 は、本体部 5 1 0 と、被保持部 5 2 0 とを有している。水平面において、本体部 5 1 0 は保持孔 2 2 0 よりもかなり大きく、被保持部 5 2 0 は保持孔 2 2 0 よりも少し大きい。このように構成された被保持部 5 2 0 は、貫通部 4 1 2 と同様に、保持孔 2 2 0 に圧入して固定することができる。被保持部 5 2 0 を保持孔 2 2 0 に圧入すると、本体部 5 1 0 の下面が磁芯 2 0 0 A の上面 2 0 2 と接触する。本体部 5 1 0 は、水平面において大きなサイズを有しているため、被保持部 5 2 0 を圧入する際に生じた屑の脱落が防止される。

10

【 0 0 7 8 】

図 6 及び図 1 0 を参照すると、本発明によるインダクタ及び磁芯は、様々に変形することができる。例えば、貫通部 4 1 2 の水平面におけるサイズは、貫通孔 2 1 0 の水平面におけるサイズよりも小さくてもよい。即ち、貫通部 4 1 2 を貫通孔 2 1 0 に圧入するのではなく、貫通孔 2 1 0 の内部を通過させてもよい。この場合、貫通部 4 1 2 は、例えば接着剤によって貫通孔 2 1 0 に固定すればよい。また、第 1 連結部 4 2 0 及び第 2 連結部 4 3 0 の夫々は、圧力によって貫通部 4 1 2 に接合してもよいし、半田付けによって接合してもよい。また、磁芯のうち、第 1 連結部 4 2 0 及び第 2 連結部 4 3 0 の夫々と接触する部位に、第 1 連結部 4 2 0 及び第 2 連結部 4 3 0 の夫々に対応する凹部を形成してもよい。これにより、第 1 連結部 4 2 0 及び第 2 連結部 4 3 0 の夫々は、磁芯によって、より確実に保持される。

20

【 0 0 7 9 】

更に、磁芯は、夫々が磁芯として機能する複数の磁芯部品を備えていてもよい。より具体的には、複数の磁芯部品（例えば、磁芯 2 0 0 ）を、接着材を介して積層し、これにより 1 つの磁芯を作製してもよい。前述のように、本実施の形態による磁芯は、クラックが生じにくい構造を有しているため、積層した磁芯部品（磁芯 2 0 0 ）を圧着する際にクラックが生じることを抑制できる。即ち、クラックを抑制しつつ、2 mm を超える厚さを有する積層磁芯を得ることができる。このとき、積層する磁芯 2 0 0 の夫々の厚さは、2 mm 以下であればよい。但し、磁芯 2 0 0 の夫々の厚さは 0 . 5 mm 以下であることが好ましい。

30

【 実施例 】

【 0 0 8 0 】

以下、本発明に係る軟磁性成型体について、具体的な例によって更に詳細に説明する。まず、本発明による軟磁性成型体の製法について説明する。

【 0 0 8 1 】

（扁平形状の粉末 P A の作製）

軟磁性成型体の軟磁性を担う材料として、軟磁性金属粉末を使用した。より具体的には、Fe - Si - Cr 系合金の水アトマイズ粉末を用いた。粉末は、3 . 5 重量 % の Si と、2 重量 % の Cr とを含んでいた。また、粉末は、3 3 μ m の平均粒径（D 5 0 ）を有していた。ボールミルを用いて、粉末を扁平化した。詳しくは、粉末に 8 時間の鍛造加工を施した後、窒素雰囲気中で 8 0 0 、3 時間の熱処理を加え、これにより扁平形状の Fe - Si - Cr 粉末（以下、「粉末 P A 」という。）を得た。

40

【 0 0 8 2 】

（第 1 の混合方法による第 1 のスラリーの作製）

粉末 P A 、溶媒、増粘剤及び熱硬化性バインダ成分を第 1 の混合方法（即ち、従来の混合方法）によって混合して第 1 のスラリーを作製した。具体的には、粉末 P A 、溶媒、増粘剤及び熱硬化性バインダ成分からなる混合物を、直径 1 5 0 mm 、液面深さ 1 5 0 mm

50

の容器に投入した。容器内の混合物を、差し渡し長さ100mmの回転羽根によって、毎分250回転の回転速度で、5時間混合した。溶媒としては、エタノールを使用した。増粘剤としては、ポリアクリル酸エステルを使用した。熱硬化性バインダ成分としては、メチルフェニル系シリコンレジンを使用した。ポリアクリル酸エステルの添加量は、粉末PAに対して3重量%であり、メチルフェニル系シリコンレジンの固形分の添加量は、粉末PAに対して4重量%だった。

【0083】

(第1の予備成型体の作製)

ダイスロット法によりPET(ポリエチレンテレフタレート)フィルム上に第1のスラリーを塗布した。その後、60℃で1時間乾燥して溶媒を除去し、これにより第1の予備成型体を作製した。

10

【0084】

(第1の平板の作製)

第1の予備成型体を、抜型を用いてカットし、これにより横30mm、縦30mmの正方形の複数枚のシートを得た。所定枚数のシートを積層して金型に入れた。金型中のシートに、150℃の温度下において、2MPaの成型圧力で1時間の加圧成型を施して、加圧成型後の成型体を得た。このとき、シートの積層枚数(所定枚数)を変えることで、様々な厚さを有する9種類の成型体を10枚ずつ作製した。例えば、1mmの厚さを有する成型体は、30枚程度のシートから作製された。成型体に、大気中で550℃、2時間の熱処理を加え、これにより様々な厚さを有する9種類の第1の平板を10枚ずつ作製した。この熱処理により、増粘剤は、ほぼ完全に熱分解し、第1の平板中に残らなかった。また、この熱処理により、メチルフェニル系シリコンレジンの固形分は、酸化ケイ素を主成分とするガラス質からなるバインダ成分(熱処理後のバインダ成分)となり、加熱減量した。メチルフェニル系シリコンレジンの固形分の加熱減量は、例えば大気中で550℃、1時間の熱処理を加えた場合、20重量%だった。

20

【0085】

(第2の混合方法による第2のスラリーの作製)

粉末PA、溶媒、増粘剤及び熱硬化性バインダ成分を第2の混合方法(即ち、本発明の混合方法)によって混合して第2のスラリーを作製した。具体的には、溶媒、増粘剤及び熱硬化性バインダ成分からなる混合物を、直径150mm、液面深さ150mmの容器に投入した。容器内の混合物を、差し渡し長さ100mmの回転羽根によって、毎分250回転の回転速度で、5時間混合した。次に、粉末PAを容器に投入した。次に、粉末PAを含む容器内の混合物を、上述の回転羽根によって、毎分100回転の回転速度で、1時間混合した。溶媒、増粘剤及び熱硬化性バインダ成分は、第1のスラリーと夫々同じだった。具体的には、溶媒としては、エタノールを使用した。増粘剤としては、ポリアクリル酸エステルを使用した。熱硬化性バインダ成分としては、メチルフェニル系シリコンレジンを使用した。ポリアクリル酸エステルの添加量は、粉末PAに対して3重量%であり、メチルフェニル系シリコンレジンの固形分の添加量は、粉末PAに対して4重量%だった。

30

【0086】

(第2の予備成型体の作製)

ダイスロット法によりPET(ポリエチレンテレフタレート)フィルム上に第2のスラリーを塗布した。その後、60℃で1時間乾燥して溶媒を除去し、これにより第2の予備成型体を作製した。

40

【0087】

(第2の平板の作製)

第2の予備成型体を使用して、様々な厚さを有する9種類の第2の平板を10枚ずつ作製した。第2の平板の作成方法は、第1の予備成型体ではなく第2の予備成型体を使用したことを除き、第1の平板の作成方法と同一だった。従って、第2の平板を作製する際の熱処理により、増粘剤は、ほぼ完全に熱分解し、第2の平板中に残らなかった。また、こ

50

の熱処理により、メチルフェニル系シリコンレジンの固形分は、酸化ケイ素を主成分とするガラス質からなるバインダ成分（熱処理後のバインダ成分）となり、加熱減量した。

【 0 0 8 8 】

（第 1 及び第 2 の平板の開細孔率の測定）

第 1 及び第 2 の平板の夫々の体積を、定容積膨張法によって測定した。測定には、島津製作所のアキュピックIIを使用した。定容積膨張法により測定した平板の体積は、平板内に存在する開細孔の体積を含んでいない。第 1 及び第 2 の平板の夫々の体積を、アルキメデス法によっても測定した。具体的には、第 1 及び第 2 の平板に、微量の界面活性剤を添加した純水を含浸させた。次に、純水を含浸させた第 1 及び第 2 の平板を純水に浸漬した際の浮力を測定した。測定した浮力から平板の体積を計算した。アルキメデス法により測定した第 1 及び第 2 の平板の体積は、第 1 及び第 2 の平板内に存在する開細孔の体積を含んでいる。第 1 及び第 2 の平板の開細孔率を、以下の式 1 によって計算した。

式 1：開細孔率（％）＝（ 1 - 定容積膨張法による測定体積 / アルキメデス法による測定体積 ） × 1 0 0

【 0 0 8 9 】

（第 1 及び第 2 の平板の内部剥離発生率の測定）

第 1 及び第 2 の平板の熱処理前の厚みと、熱処理後の厚みを比較した。熱処理後の厚みが熱処理前の厚みに比べて 3 % 以上増大している場合に、熱処理中に平板内部で内部剥離が発生したと判定した。各種の 1 0 枚の平板に対する内部剥離が発生した平板の枚数を内部剥離発生率とした。

【 0 0 9 0 】

上述のように測定した開細孔率及び内部剥離発生率を表 1 に示す。

【 0 0 9 1 】

【表 1】

平板の区分	平板の厚さ (mm)	開細孔率 (体積%)	内部剥離発生率 (N枚／10枚)
第 1 の平板 (比較例の平板)	0.4	24 ± 1 %	0 / 10
	0.6		
	0.8		
	1.0		
	1.2		1 / 10
	1.4		1 / 10
	1.6		2 / 10
	1.8		4 / 10
	2.0		5 / 10
第 2 の平板 (実施例の平板)	0.4	26 ± 1 %	0 / 10
	0.6		
	0.8		
	1.0		
	1.2		
	1.4		
	1.6		
	1.8		
	2.0		

【 0 0 9 2 】

表 1 に示されるように、第 2 の平板は、第 1 の平板に比べて開細孔率が大きく、加工性が向上している。更に、第 2 の平板は、厚さが大きい場合であっても、クラックや剥離が防止されており内部剥離発生率が低い。このような優れた特性は、平板の材料であるスラリーを、本発明による第 2 の混合方法（本発明の混合方法）によって作製することで得ら

れている。即ち、本発明によれば、スラリーを作製する際に、扁平形状の粉末 P A の凝集体が生じるようにスラリーを混合することで、より加工し易く、より破損し難く、且つより厚い平板を得ることができる。

【 0 0 9 3 】

以下、軟磁性成型体に含まれる開細孔について、具体的な例によって更に詳細に説明する。

【 0 0 9 4 】

(扁平形状の粉末 P B の作製)

軟磁性成型体の軟磁性を担う材料として、軟磁性金属粉末を使用した。より具体的には、Fe - Si - Al 系合金 (センダスト) のガスアトマイズ粉末を用いた。粉末は、55 μ m の平均粒径 (D 5 0) を有していた。ボールミルを用いて粉末に 8 時間の鍛造加工を施し、扁平形状のセンダスト粉末 (以下、「粉末 P B」という。) を得た。

【 0 0 9 5 】

(第 3 の混合方法による第 3 のスラリーの作製)

粉末 P B、溶媒、増粘剤及び熱硬化性バインダ成分を、第 2 の混合方法 (本発明の混合方法) と同様な第 3 の混合方法によって混合して第 3 のスラリーを作製した。具体的には、溶媒、増粘剤及び熱硬化性バインダ成分からなる混合物を、直径 1 5 0 mm、液面深さ 1 5 0 mm の容器に投入した。容器内の混合物を、差し渡し長さ 1 0 0 mm の回転羽根によって、毎分 2 5 0 回転の回転速度で、5 時間混合した。次に、粉末 P B を容器に投入した。次に、粉末 P B を含む容器内の混合物を、上述の回転羽根によって、毎分 1 0 0 回転の回転速度で、1 時間混合した。溶媒としては、エタノールを使用した。増粘剤としては、ポリアクリル酸エステルを使用した。熱硬化性バインダ成分としては、メチルフェニル系シリコーンレジンを使用した。このとき、メチルフェニル系シリコーンレジン of 固形分の添加量として、粉末 P B に対して 2 重量 % から 1 6 重量 % の間の 1 1 種類の値を使用した。

【 0 0 9 6 】

(第 3 の予備成型体の作製)

ダイスロット法により P E T (ポリエチレンテレフタレート) フィルム上に第 3 のスラリーを塗布した。その後、6 0 で 1 時間乾燥して溶媒を除去し、これによりメチルフェニル系シリコーンレジン of 添加量が異なる 1 1 種類の第 3 の予備成型体を作製した。

【 0 0 9 7 】

(第 3 の平板の作製)

第 3 の予備成型体を使用して、1 1 種類の第 3 の平板を 1 5 枚ずつ作製した。具体的には、第 3 の予備成型体を、抜型を用いてカットし、これにより横 1 0 mm、縦 1 0 mm の正方形の複数枚のシートを得た。メチルフェニル系シリコーンレジン of 添加量が同じである所定枚数のシートを積層して金型に入れた。金型中のシートに、1 5 0 の温度下において、2 M P a の成型圧力で 1 時間の加圧成型を施して、加圧成型後の成型体を得た。このとき、メチルフェニル系シリコーンレジン of 添加量が異なる 1 1 種類の成型体を作製した。また、成型体は、1 種類につき 1 5 枚作製した。成型体に、窒素雰囲気中で 6 0 0 、1 時間の熱処理を加え、これによりメチルフェニル系シリコーンレジン of 添加量が異なる 1 1 種類 \times 1 5 枚の第 3 の平板を作製した。第 3 の平板の夫々の厚さは、1 . 8 mm だった。この熱処理により、増粘剤は、ほぼ完全に熱分解し、第 3 の平板中に残らなかった。また、この熱処理により、メチルフェニル系シリコーンレジン of 固形分は、酸化ケイ素を主成分とするガラス質からなるバインダ成分 (熱処理後のバインダ成分) となり、加熱減量した。メチルフェニル系シリコーンレジン of 固形分の加熱減量は、例えば大気中で 6 0 0 、1 時間の熱処理を加えた場合、2 0 重量 % だった。

【 0 0 9 8 】

(第 3 の平板の開細孔率等の測定)

第 3 の平板の夫々の体積を、第 1 及び第 2 の平板の測定と同様に、定容積膨張法によって測定した。測定には、島津製作所のアキュピック II を使用した。第 3 の平板の夫々の体

積を、第 1 及び第 2 の平板の測定と同様に、アルキメデス法によっても測定した。第 3 の平板の開細孔率を、前述の式 1 によって計算した。更に、粉末 P B のみの真密度を 6.9 g/cm^3 と仮定して、粉末 P B (金属成分) の体積充填率を計算した。

【 0 0 9 9 】

(第 3 の平板の内部剥離発生率等の測定)

第 3 の平板の熱処理前の厚みと、熱処理後の厚みを比較した。熱処理後の厚みが熱処理前の厚みに比べて 3 % 以上増大している場合に、熱処理中に第 3 の平板内部で内部剥離が発生したと判定した。各種の 1 5 枚の第 3 の平板に対する内部剥離が発生した第 3 の平板の枚数を内部剥離発生率とした。次に、内部剥離が発生しなかった第 3 の平板を、上下面が水平に延びるようにしつつ 7 5 0 mm の高さに保持した。第 3 の平板を、鋼板の上に落下させ、破壊発生率を測定した。このとき、第 3 の平板が落下により割れて複数の個片に分離した場合に、破壊したものとした。一方、例えば第 3 の平板が落下の衝撃によって部分的に変形したとしても、割れなかった場合、破壊したものとしなかった。

【 0 1 0 0 】

上述のように測定した結果を表 2 に示す。

【 0 1 0 1 】

【表 2】

メチルフェニル系シリコーンレジン の添加量 (重量%)	金属成分の 体積充填率 (体積%)	開細孔率 (体積%)	内部剥離発生率 (N 枚 / 1 5 枚)	落下試験での 破壊発生率 (N 枚 / 1 5 枚)
2	5 8	3 5	0 / 1 5	3 / 1 5
2. 5	6 3	3 1		0 / 1 5
3	7 1	2 3		
4	7 0	2 2. 5		
5	6 8. 5	2 0		
6	6 4	1 6		
8	6 1	1 2. 5		
1 0	5 7	1 1. 5		
1 2	5 5	9		
1 4	5 4	7. 5	1 / 1 5	0 / 1 4
1 6	5 1	6	4 / 1 5	0 / 1 1

【 0 1 0 2 】

表 2 に示されるように、開細孔率が 7. 5 体積 % 以下の場合には、熱処理時に内部剥離が発生した。開細孔率が 7. 5 体積 % 以下の場合、平板の内部に、開細孔が十分に含まれておらず、熱処理時に発生する熱分解ガスの外部放出経路が維持されないため、剥離が発生したと考えられる。また、開細孔率が 3 5 体積 % の場合には、第 3 の平板の強度が不十分であり、落下試験による破壊が発生した。一方、開細孔率が 9 体積 % 以上かつ 3 1 体積 % 以下の場合には、良好な結果が得られた。

【 0 1 0 3 】

以上、本発明の実施例について説明したが、増粘剤や熱硬化性バインダ成分等の有機結合材は、上述した実施例に限定されない。具体的な有機結合材は、軟磁性金属粉末に応じて適宜選択すればよい。また、有機結合材の添加量も、軟磁性金属粉末に応じて適宜調整すればよい。例えば、熱硬化性バインダ成分の添加量を、軟磁性金属粉末の表面積に比例して調整することで、上述の実施例と同様の好適な結果を得ることができる。

【符号の説明】

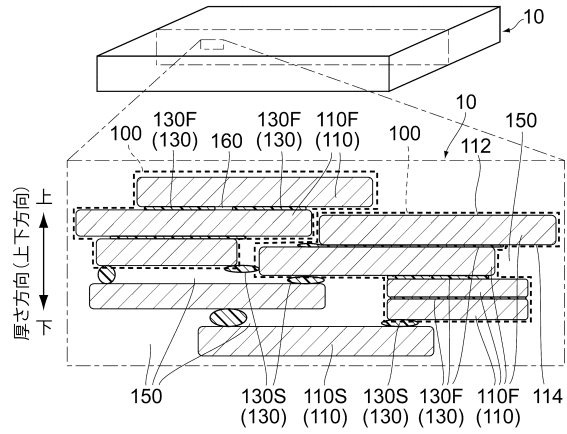
【 0 1 0 4 】

1 0 軟磁性成型体

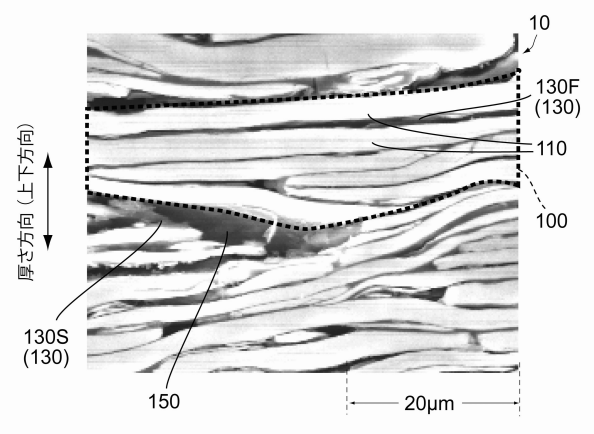
1 0 0 粉末集合体

1 1 0	軟磁性金属粉末（軟磁性金属材料）	
1 1 0 F	第 1 軟磁性金属粉末	
1 1 0 S	第 2 軟磁性金属粉末	
1 1 2	上面	
1 1 4	下面	
1 3 0	結着体（バインダ成分）	
1 3 0 F	第 1 結着体	
1 3 0 S	第 2 結着体	
1 5 0	開細孔（空孔）	
1 6 0	閉細孔（空孔）	10
1 8 0	スラリー	
1 8 2	凝集体	
1 8 4	バインダ	
2 0 , 2 0 A	インダクタ	
2 0 0 , 2 0 0 A	磁芯	
2 0 2	上面	
2 0 4	下面	
2 1 0	貫通孔	
2 1 2	内壁	
2 2 0	保持孔	20
4 0 0	コイル	
4 1 0	ビア導体	
4 1 2	貫通部	
4 1 4	接続部	
4 2 0	第 1 連結部（連結導体）	
4 3 0	第 2 連結部（連結導体）	
5 0 0	スペーサ	
5 1 0	本体部	
5 2 0	被保持部	

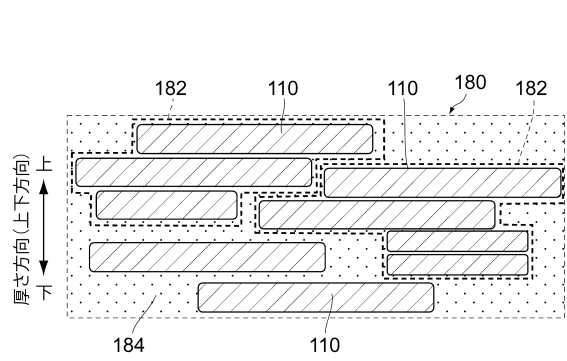
【図 1】



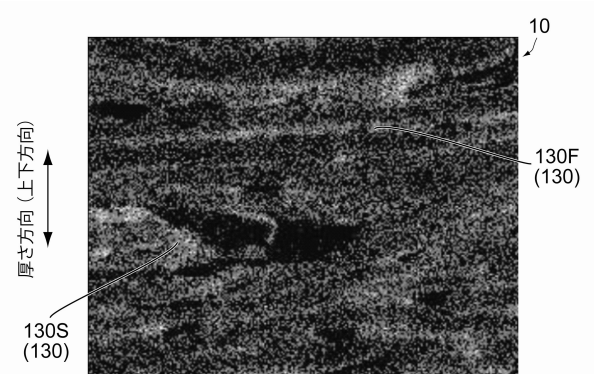
【図 3】



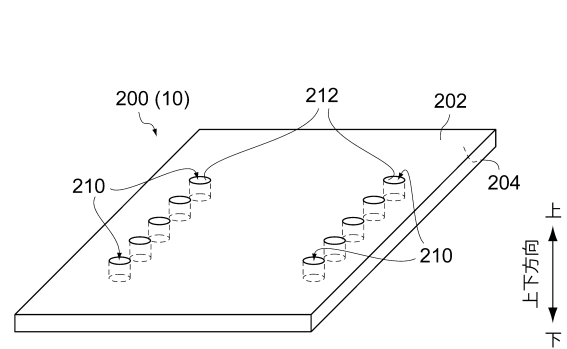
【図 2】



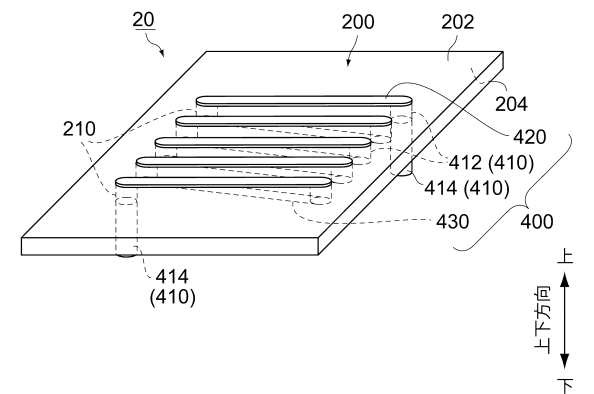
【図 4】



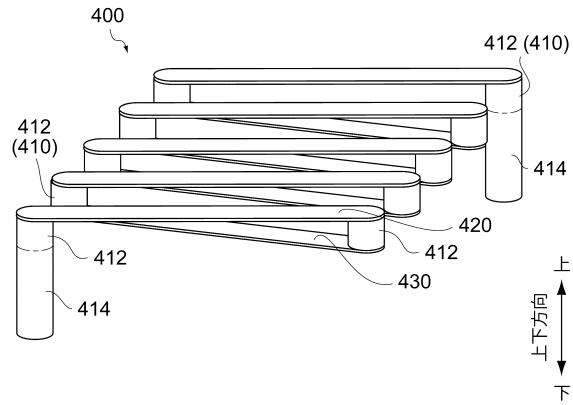
【図 5】



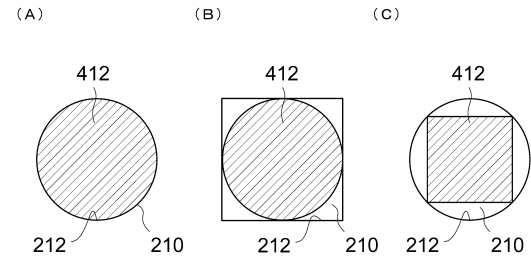
【図 6】



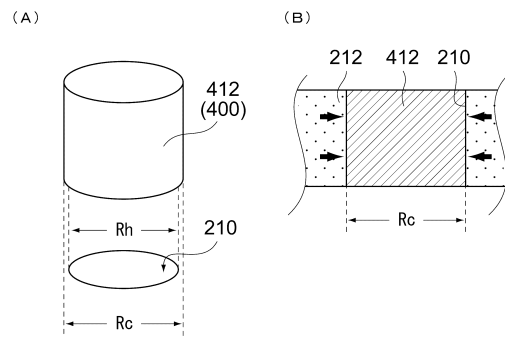
【図 7】



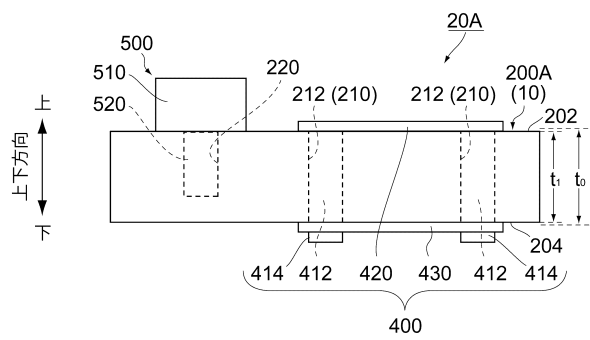
【図 9】



【図 8】



【図 10】



フロントページの続き

審査官 池田 安希子

(56)参考文献 特開 2 0 1 3 - 2 4 3 3 3 0 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 0 3 0 9 2 5 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 0 8 4 7 0 1 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 F	1 / 2 4
B 2 2 F	3 / 0 0
B 2 2 F	3 / 0 2
C 2 2 C	3 3 / 0 2
H 0 1 F	2 7 / 2 5 5