

(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 1
HO 1 F 1/24 (2006.01)	HO 1 F 1/24
HO 1 F 27/255 (2006.01)	HO 1 F 27/255
B 22 F 3/00 (2006.01)	B 22 F 3/00 D
B 22 F 3/02 (2006.01)	B 22 F 3/02 N
C 22 C 33/02 (2006.01)	C 22 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)  
 (22) 出願日 平成26年3月17日 (2014.3.17)  
 (65) 公開番号 特開2015-175047 (P2015-175047A)  
 (43) 公開日 平成27年10月5日 (2015.10.5)  
 審査請求日 平成29年3月1日 (2017.3.1)

(73) 特許権者 000134257  
 株式会社トーキン  
 宮城県仙台市太白区郡山6丁目7番1号  
 (74) 代理人 100117341  
 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つて、

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是、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つて、

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

10

20

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  
 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。

【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  
 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】

【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

10

20

30

40

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つて、

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  
軟磁性成型体が得られる。

**【0007】**

20

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つて、

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是、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  
軟磁性成型体が得られる。

**【0008】**

30

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つて、

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

軟磁性成型体が得られる。

**【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つて、

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  
軟磁性成型体が得られる。

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つて、

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

軟磁性成型体が得られる。

**【0011】**

50

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つて、

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  
軟磁性成型体が得られる。

【0012】

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  
軟磁性成型体が得られる。

【0013】

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  
軟磁性成型体が得られる。

【0014】

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

磁芯が得られる。

【0015】

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

磁性シートが得られる。

【発明の効果】

【0016】

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60体積%以上の軟磁  
性金属粉末と、10体積%以上かつ30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】

【0017】

【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2mm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、0.4mm程度の厚さの薄いシート状に形成することができる。

10

**【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。

20

**【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110F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110S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110S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。

30

**【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110Fと第2軟磁性金属粉末110S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110F及び第2軟磁性金属粉末110S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130F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130Sが形成されている（図4参照）。換言すれば、第1結着体130Fは、概ね平面状に広がっており、第2結着体130Sは、概ね粒子状に集まっている。

40

**【0024】**

以上の説明から理解されるように、第1結着体130Fと第2結着体130S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130F及び第2結着体130Sのいずれも、バインダ成分130であ

50

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つた軟磁性金属粉末110の集合である。

**【0026】**

10

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】**

20

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】**

30

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】**

40

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、 $X \times Y = 300$ の条件式を満たす。このため、渦電

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2.0mm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韧性(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によって接着されている。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によって接着されている。このため、軟磁性成型体10は、優れた周波数特性と、10kHz以上で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畠特性を有する。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によって接着された粉末

10

20

30

40

50

集合体 100 及び軟磁性金属粉末 110 の間を、軟磁性成型体 10 全体に亘って広がっている。このため、軟磁性成型体 10 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 10 の ISO 7619 - type D によるゴム硬度は、92 以上かつ 96 以下である。即ち、軟磁性成型体 10 は、高い強度を有しながら弾性変形可能である。

#### 【0041】

特に、本実施の形態による軟磁性成型体 10 は、内部に含まれる開細孔 150 と、扁平形状の軟磁性金属粉末 110 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。

#### 【0042】

開細孔率が 10 体積 % 以上である場合、軟磁性成型体 10 は上述の弾性を有し、軟磁性成型体 10 を様々に加工することが容易になる。開細孔率が 30 体積 % 以下である場合、軟磁性成型体 10 は、十分な軟磁性金属粉末 110 を含むことができる。従って、軟磁性成型体 10 は、本実施の形態のように、10 体積 % 以上かつ 30 体積 % 以下の開細孔 150 を含んでいることが望ましい。換言すれば、軟磁性成型体 10 に含まれる開細孔 150 の体積比率（開細孔率）は、10 体積 % 以上かつ 30 体積 % 以下であることが望ましい。

#### 【0043】

軟磁性成型体 10 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 10 を用意する。次に、軟磁性成型体 10 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 10 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 ( ) 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 ( ) 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 10 GPa 以上かつ 90 GPa 以下である軟磁性成型体 10 を得ることができる。また、主として軟磁性成型体 10 の開細孔率を調整することにより、ヤング率が 20 GPa 以上かつ 50 GPa 以下である軟磁性成型体 10 を得ることができる。

#### 【0044】

軟磁性成型体 10 に含まれるバインダ成分 130 の体積比率の好ましい範囲は、バインダ成分 130 の密度に依存する。また、バインダ成分 130 の密度は、バインダ成分 130 に含まれる閉細孔 160 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 130 の密度は、1.3 g / cc 以上かつ 2.2 g / cc 以下である。この場合、軟磁性成型体 10 は、4 体積 % 以上かつ 30 体積 % 以下のバインダ成分 130 を含んでいることが望ましい。換言すれば、軟磁性成型体 10 に含まれるバインダ成分 130 の体積比率は、4 体積 % 以上かつ 30 体積 % 以下であることが望ましい。バインダ成分 130 の体積比率が 4 体積 % よりも小さい場合、軟磁性成型体 10 は、十分な強度を有しない。バインダ成分 130 の体積比率が 30 体積 % よりも大きい場合、軟磁性金属粉末 110 の体積比率を 60 体積 % 以上とし、開細孔率を 10 体積 % 以上とすることはできない。

#### 【0045】

軟磁性成型体 10 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 10 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 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）。この開口（図示せず）を経由して軟磁性成型体 10 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 150 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 10 の絶縁性や強度を更に高めることができる。

#### 【0046】

開細孔 150 は、バインダ成分 130 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 150 の少なくとも一部に無機質（例えば、シリコーンレジン）を含む

10

20

30

40

50

溶液を含侵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ー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ー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 130F 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 130S 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。

#### 【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。

#### 【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2mm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、2mm以下であることが望ましい。加圧後の成型体の厚さは、0.7mm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。

#### 【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。

#### 【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

10

20

30

40

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、2mm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、複数のピア導体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。ピア導体410の夫々は、貫通部412を有している。また、ピア導体410のうちの2つは、他のピア導体410よりも長く伸びてあり、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つのピア導体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、ピア導体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Rcは、貫通孔210の直径Rh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Rcが直径Rh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Rhと殆ど同一の直径Rc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。

**【0069】**

また、内壁212の弾性力が多少小さい場合であっても、コイル400を貫通孔210によって一時的に保持した後、貫通部412と貫通孔210との間を接着剤で固定することで、コイル400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400は、貫通孔210のみによって保持可能である。

**【0070】**

図9(A)に示されるように、本実施の形態による貫通部412及び貫通孔210の夫々は、円形の断面を有している。このため、貫通孔210に挿入された貫通部412は、内壁212の全面によってしっかりと保持される。但し、貫通部412及び貫通孔210の夫々は、貫通部412が内壁212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412が円形の断面を有する一方、貫通孔210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412が矩形の断面を有する一方、貫通孔210が円形の断面を有していてもよい。但し、貫通部412を、より確実に保持するためには、貫通部412及び貫通孔210を本実施の形態のように構成することが好ましい。

10

**【0071】**

図6を参照すると、コイル400の接続部414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20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400の接続部414を経由して、磁芯200の下面204に伝わる。磁芯200は、高い熱伝導率を有しているため、下面204が受けた熱は、インダクタ20に生じた熱と共に効果的に上面202に伝わり、インダクタ20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20自身を放熱用の部材として使用することができる。

20

**【0072】**

図6及び図10から理解されるように、インダクタ20A及び磁芯200Aは、インダクタ20及び磁芯200の変形例である。即ち、インダクタ20A及び磁芯200Aは、インダクタ20及び磁芯200と同様の構造及び機能を有している。以下、インダクタ20A及び磁芯200Aについて、インダクタ20及び磁芯200との相違点を中心に説明する。

**【0073】**

30

図10に示されるように、本実施の形態によるインダクタ20Aは、磁芯200Aと、コイル400と、スペーサ500とを備えている。磁芯200Aは、磁芯200と同様に、軟磁性成型体10を加工したものである。

**【0074】**

インダクタ20(図6参照)と同様に、第1連結部420は、磁芯200Aの上面202に取り付けられており、第2連結部430は、磁芯200Aの下面204に取り付けられている。第1連結部420及び第2連結部430を磁芯200Aに取り付けると、磁芯200A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420及び第2連結部430を磁芯200Aに取り付けた後の磁芯200Aの厚さ( $t_1$ )は、第1連結部420及び第2連結部430を磁芯200Aに取り付ける前の磁芯200A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400を磁芯200Aから外すと、磁芯200Aの厚さ( $t_1$ )は、厚さ( $t_0$ )に近づくよう回復する。即ち、磁芯200A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。

40

**【0075】**

第1連結部420及び第2連結部430が磁芯200Aを挟み込むと、上面202及び下面204は、磁芯200Aの上下方向における反発力によって、第1連結部420及び第2連結部430に夫々押し付けられる。このため、コイル400の貫通部412と貫通孔210の内壁212との間に隙間がある場合でも、第1連結部420及び第2連結部430を保持し、固定することができる。

50

## 【0076】

軟磁性成型体10から作製された磁芯200Aは、コイル400だけでなく、様々な部材を強固に保持できる。磁芯200A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200A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。

## 【0077】

例えば、磁芯200Aには、保持孔220が形成されている。また、スペーサ500は、本体部510と、被保持部520とを有している。水平面において、本体部510は保持孔220よりもかなり大きく、被保持部520は保持孔220よりも少し大きい。このように構成された被保持部520は、貫通部412と同様に、保持孔220に圧入して固定することができる。被保持部520を保持孔220に圧入すると、本体部510の下面が磁芯200Aの上面202と接触する。本体部510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520を圧入する際に生じた屑の脱落が防止される。

10

## 【0078】

図6及び図10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412の水平面におけるサイズは、貫通孔210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412を貫通孔210に圧入するのではなく、貫通孔210の内部を通過させてもよい。この場合、貫通部412は、例えば接着剤によって貫通孔210に固定すればよい。また、第1連結部420及び第2連結部430の夫々は、圧力によって貫通部412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420及び第2連結部430の夫々と接触する部位に、第1連結部420及び第2連結部430の夫々と対応する凹部を形成してもよい。これにより、第1連結部420及び第2連結部430の夫々は、磁芯によって、より確実に保持される。

20

## 【0079】

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200）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200）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、2mm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200の夫々の厚さは、2mm以下であればよい。但し、磁芯200の夫々の厚さは0.5mm以下であることが好ましい。

30

## 【実施例】

## 【0080】

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。

## 【0081】

## (扁平形状の粉末PA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、33μmの平均粒径(D50)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800°C、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PA」という。）を得た。

40

## 【0082】

## (第1の混合方法による第1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PA、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

50

の容器に投入した。容器内の混合物を、差し渡し長さ 100 mm 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ー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ー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 30 mm、縦 30 mm 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、2 MPa 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、1 mm 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。20 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ー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ー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。

#### 【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 150 mm 、液面深さ 150 mm の容器に投入した。容器内の混合物を、差し渡し長さ 100 mm 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ー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ー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などを除き、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ー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。

#### 【0088】

##### （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) × 100

#### 【0089】

##### （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10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。

#### 【0090】

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。

#### 【0091】

##### 【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		

#### 【0092】

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

10

20

30

40

50

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PA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。

#### 【0093】

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。

#### 【0094】

##### (扁平形状の粉末PB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 10  
μmの平均粒径(D50)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PB」という。)を得た。

#### 【0095】

##### (第3の混合方法による第3のスラリーの作製)

粉末PB、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PBを容器に投入した。次に、粉末PB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の固形分の添加量として、粉末PBに対して2重量%から16重量%の間の11種類の値を使用した。

#### 【0096】

##### (第3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3のスラリーを塗布した。その後、60 20 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の添加量が異なる11種類の第3の予備成型体を作製した。

#### 【0097】

##### (第3の平板の作製)

第3の予備成型体を使用して、11種類の第3の平板を15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10mm、縦10mm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の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、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、メチルフェニル系シリコーンレジンの添加量が異なる11種類の成型体を作製した。また、成型体は、1種類につき15枚作製した。成型体に、窒素雰囲気中で600 40 、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の添加量が異なる11種類×15枚の第3の平板を作製した。第3の平板の夫々の厚さは、1.8mm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ーンレジンの固形分の加熱減量は、例えば大気中で600 、1時間の熱処理を加えた場合、20重量%だった。

#### 【0098】

##### (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、定容積膨張法によつて測定した。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

10

20

30

40

50

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PBのみの真密度を6.9 g/cm<sup>3</sup>と仮定して、粉末PB(金属成分)の体積充填率を計算した。

#### 【0099】

(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15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750mm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。

10

#### 【0100】

上述のように測定した結果を表2に示す。

#### 【0101】

#### 【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/15枚)	落下試験での破壊発生率(N枚/15枚)
2	58	35	0/15	3/15
2.5	63	31		0/15
3	71	23		
4	70	22.5		
5	68.5	20		
6	64	16		
8	61	12.5		
10	57	11.5		
12	55	9		
14	54	7.5	1/15	0/14
16	51	6	4/15	0/11

20

30

40

#### 【0102】

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35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31体積%以下の場合には、良好な結果が得られた。

#### 【0103】

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】

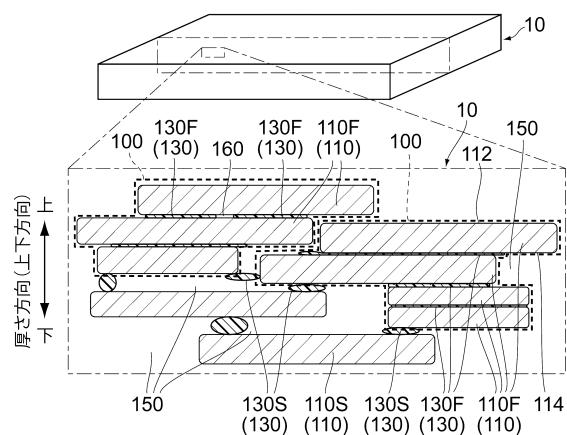
#### 【0104】

10	軟磁性成型体
100	粉末集合体

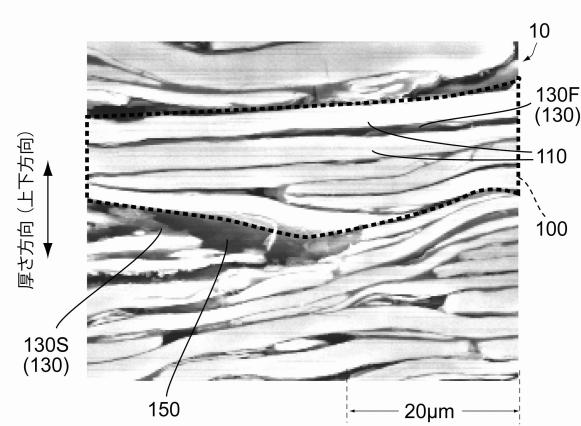
50

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	ピア導体	
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	

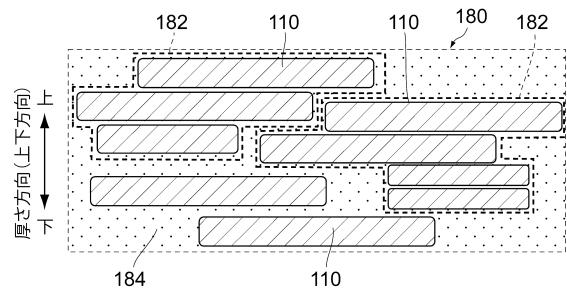
【図1】



【図3】



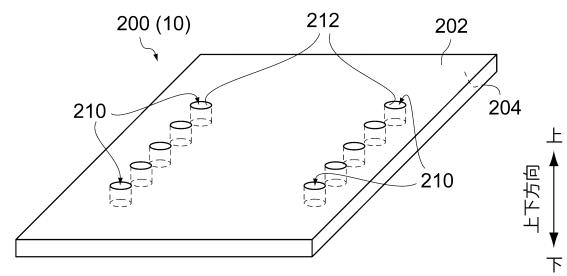
【図2】



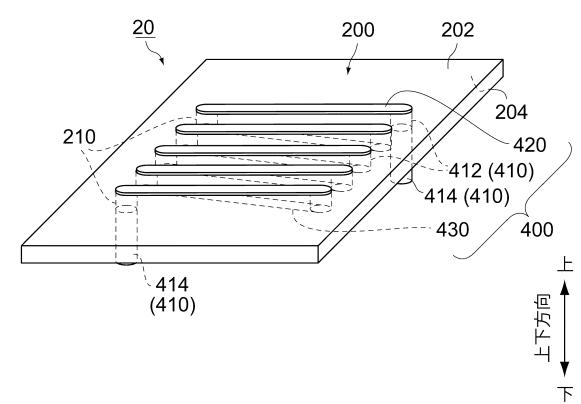
【図4】



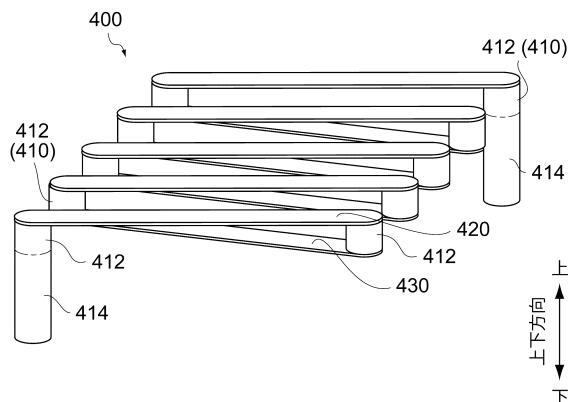
【図5】



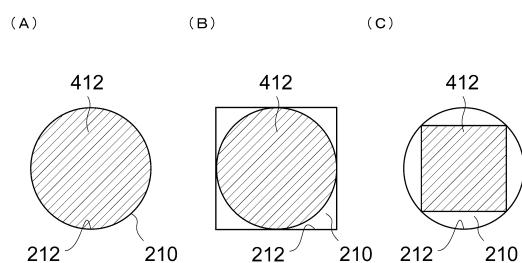
【図6】



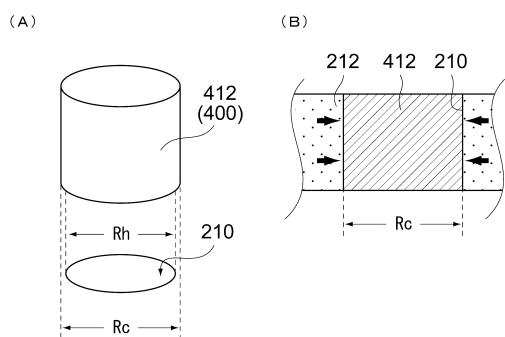
【図7】



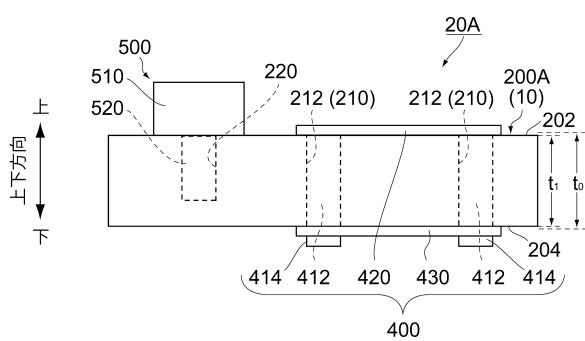
【図9】



【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2013-243330(JP,A)  
特開2000-030925(JP,A)  
特開2013-084701(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 01 F	1 / 24
B 22 F	3 / 00
B 22 F	3 / 02
C 22 C	33 / 02
H 01 F	27 / 255