

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6748647号
(P6748647)

(45) 発行日 令和2年9月2日(2020.9.2)

(24) 登録日 令和2年8月12日(2020.8.12)

(51) Int. Cl.	F 1	
HO 1 F 1/24 (2006.01)	HO 1 F 1/24	
B 2 2 F 1/02 (2006.01)	B 2 2 F 1/02	E
B 2 2 F 3/00 (2006.01)	B 2 2 F 3/00	B
B 2 2 F 1/00 (2006.01)	B 2 2 F 1/00	Y
HO 1 F 27/255 (2006.01)	B 2 2 F 1/00	U
請求項の数 11 (全 26 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2017-530794 (P2017-530794)	(73) 特許権者	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(86) (22) 出願日	平成28年7月15日(2016.7.15)	(73) 特許権者	593016411 住友電気焼結合金株式会社 岡山県高梁市成羽町成羽2901番地
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/071093	(74) 代理人	100100147 弁理士 山野 宏
(87) 国際公開番号	W02017/018264	(72) 発明者	齋藤 達哉 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
(87) 国際公開日	平成29年2月2日(2017.2.2)	(72) 発明者	上野 友之 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
審査請求日	平成31年1月21日(2019.1.21)		
(31) 優先権主張番号	特願2015-148160 (P2015-148160)		
(32) 優先日	平成27年7月27日(2015.7.27)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧粉磁心、電磁部品、及び圧粉磁心の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

鉄基材料から構成される複数の軟磁性粒子と、
リン酸塩を主成分として前記軟磁性粒子の表面を被覆する被覆層を有する絶縁層と、
前記絶縁層とは分離した状態で、互いに隣り合う三つ以上の前記軟磁性粒子に囲まれて
存在し、前記絶縁層の構成材料を含む絶縁片とを備え、
前記被覆層は、リンを10原子%以上15原子%以下、鉄を22原子%以上40原子%
以下含むリン酸鉄を主成分とし、
前記絶縁片は、リンを10原子%以上15原子%以下、鉄を20原子%以上37原子%
以下含むリン酸鉄を主成分とし、
前記絶縁片の鉄の含有量は、前記被覆層の鉄の含有量よりも少なく、
前記絶縁片の存在割合が5%以上90%以下である、
圧粉磁心。

【請求項2】

前記被覆層の平均厚さが、30nm以上120nm以下である請求項1に記載の圧粉磁
心。

【請求項3】

前記絶縁層は、前記被覆層の外側に形成される外側層を備え、
前記外側層は、Si、Mg、Ti、及びAlから選択される1種の元素と、Oとを主成
分とする請求項1又は請求項2に記載の圧粉磁心。

【請求項 4】

前記外側層の平均厚さが、10 nm以上100 nm以下である請求項3に記載の圧粉磁心。

【請求項 5】

前記軟磁性粒子の材質は、純鉄である請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の圧粉磁心。

【請求項 6】

前記圧粉磁心の内部の電気抵抗率が、 $5 \times 10^{-1} \cdot \text{cm}$ 以上である請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の圧粉磁心。

【請求項 7】

巻線を巻回してなるコイルと、前記コイルが配置される磁心とを備える電磁部品であって、

前記磁心の少なくとも一部は、請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の圧粉磁心である電磁部品。

【請求項 8】

鉄基材料から構成される軟磁性粒子の外周にリン酸塩を主成分とする被覆層を有する絶縁層が被覆された被覆軟磁性粒子を複数備える被覆軟磁性粉末を準備する準備工程と、

前記被覆軟磁性粉末を熱処理して前記絶縁層の一部が結晶化した熱処理被覆粉末を作製する粉末熱処理工程と、

前記熱処理被覆粉末を圧縮成形して成形体を作製する成形工程と、

前記成形体を熱処理して前記成形工程で前記軟磁性粒子に導入された歪を除去する成形体熱処理工程とを備え、

前記粉末熱処理工程は、熱処理温度を350 超700 未満とし、

前記熱処理被覆粉末の前記被覆層は、リンを10原子%以上15原子%以下、鉄を20原子%以上37原子%以下含むリン酸鉄を主成分とし、

前記成形工程では、熱処理被覆粉末における軟磁性粒子の表面が絶縁層から露出しない程度に絶縁層の表面の一部を剥離させて絶縁層から分離して形成される絶縁片を潤滑剤として利用しつつ行う、

圧粉磁心の製造方法。

【請求項 9】

前記熱処理被覆粉末のビッカース硬さが、120 HV以下である請求項8に記載の圧粉磁心の製造方法。

【請求項 10】

前記成形工程は、前記熱処理被覆粉末を80 以上150 以下に加熱した状態で行う請求項8又は請求項9に記載の圧粉磁心の製造方法。

【請求項 11】

前記成形体熱処理工程は、体積割合における酸素濃度が0 ppm超10000 ppm以下の雰囲気下、熱処理温度を350 以上900 以下とし、処理時間を10分以上60分以下とする請求項8から請求項10のいずれか1項に記載の圧粉磁心の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧粉磁心、電磁部品、及び圧粉磁心の製造方法に関する。

本出願は、2015年7月27日付の日本国出願の特願2015-148160に基づく優先権を主張し、前記日本国出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

【背景技術】

【0002】

スイッチング電源やDC/DCコンバータなどのエネルギーを変換する回路に備える部品として、巻線を巻回してなるコイルと、このコイルが配置され、閉磁路を形成する磁心とを備える電磁部品がある。

10

20

30

40

50

【0003】

上記磁心には、軟磁性材料からなる粉末を用いて製造される圧粉磁心を利用するものがある。その圧粉磁心の製造は、例えば以下の準備工程 被覆工程 混合工程 加圧工程 熱処理工程を経て行われる（特許文献1）。

準備工程：軟磁性粒子を準備する。

被覆工程：軟磁性粒子の表面に絶縁層を被覆する。

混合工程：絶縁層が被覆された複数の軟磁性粒子からなる被覆軟磁性粉末と、成形用樹脂粉末（潤滑剤）とを混合して混合粉末を形成する。

加圧工程：混合粉末を加圧して成形体を作製する。

熱処理工程：成形体を熱処理して加圧工程で軟磁性粒子に導入された歪を除去する。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2012-107330号公報

【発明の概要】

【0005】

本開示の圧粉磁心は、

鉄基材料から構成される複数の軟磁性粒子と、

リン酸塩を主成分として前記軟磁性粒子の表面を被覆する被覆層を有する絶縁層と、

前記絶縁層とは分離した状態で、互いに隣り合う三つ以上の前記軟磁性粒子に囲まれて存在し、前記絶縁層の構成材料を含む絶縁片とを備える。

20

【0006】

本開示の電磁部品は、

巻線を巻回してなるコイルと、前記コイルが配置される磁心とを備える電磁部品であって、

前記磁心の少なくとも一部は、本開示の圧粉磁心である。

【0007】

本開示の圧粉磁心の製造方法は、

鉄基材料から構成される軟磁性粒子の外周にリン酸塩を主成分とする被覆層を有する絶縁層が被覆された被覆軟磁性粒子を複数備える被覆軟磁性粉末を準備する準備工程と、

30

前記被覆軟磁性粉末を熱処理して前記絶縁層の一部が結晶化した熱処理被覆粉末を作製する粉末熱処理工程と、

前記熱処理被覆粉末を圧縮成形して成形体を作製する成形工程と、

前記成形体を熱処理して前記成形工程で前記軟磁性粒子に導入された歪を除去する成形体熱処理工程とを備える。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施形態に係る圧粉磁心の内部組織を示す模式図である。

【図2】実施形態に係る圧粉磁心を用いたチョークコイルの平面図である。

【発明を実施するための形態】

40

【0009】

[本開示が解決しようとする課題]

更なる高密度で低損失な圧粉磁心が望まれている。従来の圧粉磁心の製造方法では、圧粉磁心のある程度の低損失化は達成できるものの、圧粉磁心の高密度化には限度がある。そこで、圧粉磁心の高密度化を達成するべく、例えば、上記混合粉末を加熱した状態で上記加圧工程を行えば、軟磁性粒子の変形性を高められ高密度化に寄与すると考えられるが、渦電流損が増加して損失が大きくなる虞がある。

【0010】

そこで、高密度で低損失な圧粉磁心を提供することを目的の一つとする。

【0011】

50

また、上記圧粉磁心を備える電磁部品を提供することを目的の一つとする。

【0012】

更に、高密度で低損失な圧粉磁心が得られる圧粉磁心の製造方法を提供することを目的の一つとする。

【0013】

[本開示の効果]

本開示の圧粉磁心は、高密度で低損失である。

【0014】

本開示の電磁部品は、磁気特性に優れる。

【0015】

本開示の圧粉磁心の製造方法は、高密度で低損失な圧粉磁心を製造できる。

【0016】

《本発明の実施形態の説明》

本発明者らは、高密度と低損失とを兼備した圧粉磁心を製造するべく、製造方法を鋭意検討した。その結果、後述する試験例に示すように、軟磁性粒子の外周を絶縁層で被覆した被覆軟磁性粒子に対し、圧縮成形する前に特定の熱処理を施すことで、高密度と低損失とを兼備した圧粉磁心を製造できるとの知見を得た。特に、高密度化が難しかった室温での成形であっても、また低損失化が難しかった加熱した状態での成形であっても高密度と低損失とを兼備した圧粉磁心を製造できるとの知見を得た。本発明は、これらの知見に基づくものである。最初に本発明の実施態様を列記して説明する。

【0017】

(1) 本発明の一態様に係る圧粉磁心は、鉄基材料から構成される複数の軟磁性粒子と、リン酸塩を主成分として前記軟磁性粒子の表面を被覆する被覆層を有する絶縁層と、前記絶縁層とは分離した状態で、互いに隣り合う三つ以上の前記軟磁性粒子に囲まれて存在し、前記絶縁層の構成材料を含む絶縁片とを備える。

【0018】

上記の構成によれば、高密度で低損失である。この圧粉磁心は被覆軟磁性粒子に熱処理を施した熱処理被覆粉末を用いて製造される。そのため、被覆軟磁性粒子の歪が除去されて粒子が柔らかくなり、成形時に変形させ易くて高密度化し易い。絶縁層の構成材料を含み、互いに隣り合う三つ以上の軟磁性粒子で囲まれて配置される絶縁片は、熱処理被覆粉末を圧縮成形した際、絶縁層から軟磁性粒子の表面が露出しない程度に絶縁層の表面の一部が剥離して絶縁層から分離すると共に移動したものと考えられる。この絶縁片は、成形時、熱処理被覆粉末の粒子同士の潤滑剤として機能し、剥離していない絶縁層に対する圧力を緩和する。軟磁性粒子は絶縁層から露出しない上に、剥離していない絶縁層の破壊を抑制することができるので、粒子同士の絶縁性は高められる。

【0019】

(2) 上記圧粉磁心の一形態として、前記絶縁片は、鉄を20原子%以上37原子%以下含むリン酸鉄を主成分とすることが挙げられる。

【0020】

上記の構成によれば、鉄の含有量が上記範囲を満たす絶縁片を備えることで、高密度で低損失な圧粉磁心とし易い。

【0021】

(3) 上記圧粉磁心の一形態として、前記被覆層の平均厚さが、30nm以上120nm以下であることが挙げられる。

【0022】

被覆層の厚さを30nm以上とすれば、軟磁性粒子間の絶縁性を高め易い。被覆層の厚さを120nm以下とすれば、密度の高い圧粉磁心とし易い。

【0023】

(4) 上記圧粉磁心の一形態として、前記絶縁層は、前記被覆層の外側に形成される外

10

20

30

40

50

側層を備え、前記外側層は、Si、Mg、Ti、及びAlから選択される1種の元素と、Oとを主成分とすることが挙げられる。

【0024】

上記の構成によれば、高密度化と低損失化とを両立し易い。外側層は、上述した被覆層と同様、圧縮成形時に剥離して絶縁層から分離した絶縁片を構成する。この外側層を備えることで、被覆層のみを備える場合に比較して、圧縮成形時の被覆層の剥離が少なく、軟磁性粒子が露出するほど被覆層が剥離することが実質的にないため、軟磁性粒子同士の絶縁性を高め易い。従って、より高い圧力での成形で高密度化した場合でも軟磁性粒子同士の絶縁性が保たれ、より高密度でより低損失な圧粉磁心とし易い。また、外側層がSi、Mg、Ti、及びAlから選択される1種の元素とOとを主成分とすることで、剥離して

10

【0025】

(5) 前記絶縁層が前記外側層を備える上記圧粉磁心の一形態として、前記外側層の平均厚さが、10nm以上100nm以下であることが挙げられる。

【0026】

外側層の厚さを10nm以上とすれば、軟磁性粒子間の絶縁性を向上し易い。外側層の厚さを100nm以下とすれば、圧粉磁心を高密度化し易い。

【0027】

(6) 上記圧粉磁心の一形態として、前記軟磁性粒子の材質は、純鉄であることが挙げられる。

20

【0028】

上記の構成によれば、純鉄は鉄合金に比較して透磁率及び磁束密度などの点で優れているため、磁気特性に優れた圧粉磁心とし易い。

【0029】

(7) 上記圧粉磁心の一形態として、前記被覆層は、鉄を22原子%以上40原子%以下含むリン酸鉄を主成分とすることが挙げられる。

【0030】

上記の構成によれば、鉄の含有量が上記範囲を満たす被覆層を備えることで、高密度で低損失な圧粉磁心とし易い。

【0031】

(8) 上記圧粉磁心の一形態として、前記圧粉磁心の内部の電気抵抗率が、 $5 \times 10^{-1} \cdot \text{cm}$ 以上であることが挙げられる。

30

【0032】

電気抵抗率を $5 \times 10^{-1} \cdot \text{cm}$ 以上とすれば、渦電流損を低減でき、磁気特性に優れた電磁部品を構築し易い。

【0033】

(9) 本発明の一態様に係る電磁部品は、巻線を巻回してなるコイルと、前記コイルが配置される磁心とを備える電磁部品であって、

前記磁心の少なくとも一部は、上記(1)から(8)のいずれか1つに記載の圧粉磁心である。

40

【0034】

上記の構成によれば、上述の高密度で高抵抗な圧粉磁心を備えるため磁気特性に優れる。

【0035】

(10) 本発明の一態様に係る圧粉磁心の製造方法は、鉄基材料から構成される軟磁性粒子の外周にリン酸塩を主成分とする被覆層を有する絶縁層が被覆された被覆軟磁性粒子を複数備える被覆軟磁性粉末を準備する準備工程と、前記被覆軟磁性粉末を熱処理して前記絶縁層の一部が結晶化した熱処理被覆粉末を作製する粉末熱処理工程と、

50

前記熱処理被覆粉末を圧縮成形して成形体を作製する成形工程と、
前記成形体を熱処理して前記成形工程で前記軟磁性粒子に導入された歪を除去する成形体熱処理工程とを備える。

【0036】

上記の構成によれば、高密度でかつ低損失な圧粉磁心を製造できる。

【0037】

上記材質の被覆層を備える被覆軟磁性粒子を準備して、粉末熱処理工程により熱処理することで、軟磁性粒子の歪を除去して柔らかくすることができる。そのため、成形工程で軟磁性粒子を変形させ易く、高密度な成形体を作製し易い。

【0038】

粉末熱処理工程での熱処理により絶縁層の一部を結晶化させることで、絶縁層が脆くなるため、軟磁性粒子の軟化と相まって成形工程時の圧縮により絶縁層の表層部分の一部を剥離させて絶縁層から分離した絶縁片を形成し易い。即ち、絶縁層の結晶化を一部とすることの技術的意義は、高密度でかつ低損失な圧粉磁心を製造するために、軟磁性粒子の表面が絶縁層から実質的に露出することなく、絶縁層から分離した絶縁片を形成することにある。このように軟磁性粒子は絶縁層から露出せず、絶縁片が潤滑剤として機能することで、成形時、剥離していない絶縁層に対する圧力を緩和して粒子同士の絶縁性を保てるので、低損失な成形体を作製し易い。絶縁片は、成形工程で互いに隣り合う三つ以上の軟磁性粒子で囲まれる領域に移動し、成形体熱処理工程後、上記領域に留まる。

【0039】

(11) 上記圧粉磁心の製造方法の一形態として、前記粉末熱処理工程は、熱処理温度を350 超700 未満とすることが挙げられる。

【0040】

熱処理温度を350 超とすれば、軟磁性粒子の歪を除去できる上に、絶縁層を部分的に結晶化できる。そのため、後述の成形工程で高密度な成形体を作製し易く、圧粉磁心を高密度化し易い。熱処理温度を700 未満とすれば、絶縁層の全てが結晶化することを抑制できて、後述の成形工程で軟磁性粒子の表面が絶縁層から露出するほど絶縁層が剥離することを抑制できる。そのため、低損失な圧粉磁心を製造し易い。

【0041】

(12) 上記圧粉磁心の製造方法の一形態として、前記熱処理被覆粉末の前記絶縁層は、鉄を20原子%以上37原子%以下含むリン酸鉄を主成分とすることが挙げられる。

【0042】

上記の構成によれば、その後の成形工程で、軟磁性粒子の表面が絶縁層から露出することなく、絶縁層の表層部分の一部を剥離させて絶縁層から分離した絶縁片を形成し易い。

【0043】

(13) 上記圧粉磁心の製造方法の一形態として、前記熱処理被覆粉末のビッカース硬さが、120HV以下であることが挙げられる。

【0044】

上記の構成によれば、熱処理被覆粉末が柔らかく、成形工程で高密度な成形体を作製し易い。そのため、高密度な圧粉磁心を製造し易い。

【0045】

(14) 上記圧粉磁心の製造方法の一形態として、前記成形工程は、前記熱処理被覆粉末を80 以上150 以下に加熱した状態で行うことが挙げられる。

【0046】

成形温度を80 以上とすれば、熱処理被覆粉末を変形させ易くなり、高密度な成形体を作製し易い。成形温度を150 以下とすれば、熱処理被覆粉末の過度の変形を抑制し易い。そのため、その変形に伴う絶縁層の損傷を抑制できて、渦電流損の増加を抑制し易い。

【0047】

10

20

30

40

50

(15) 上記圧粉磁心の製造方法の一形態として、前記成形体熱処理工程は、体積割合における酸素濃度が0 ppm超10000 ppm以下の雰囲気下、熱処理温度を350以上900以下とし、処理時間を10分以上60分以下とすることが挙げられる。

【0048】

上記の構成によれば、圧粉磁心を構成する軟磁性粒子の歪を十分に除去できるため、ヒステリシス損を低減できて低損失な圧粉磁心を製造し易い。

【0049】

《本発明の実施形態の詳細》

本発明の実施形態の詳細を説明する。まず、実施形態に係る圧粉磁心について説明し、その後、その圧粉磁心の製造方法、その圧粉磁心を備える電磁部品の順に説明する。なお、本発明は、これらの例示に限定されるものではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【0050】

[圧粉磁心]

図1を参照して実施形態に係る圧粉磁心1を説明する。圧粉磁心1は複数の軟磁性粒子2と、隣り合う軟磁性粒子2の間に介在される絶縁層3とを備える。この圧粉磁心1の特徴の一つは、絶縁層3が特定の材質を主成分として軟磁性粒子2の表面を被覆する被覆層31を有する点と、互いに隣り合う三つ以上の軟磁性粒子2に囲まれて配置される特定の絶縁片4を備える点とにある。詳しくは後述する製造方法で説明するが、絶縁片4が互いに隣り合う三つ以上の軟磁性粒子2に囲まれて配置される圧粉磁心1は、高密度で低鉄損を実現している。図1に示す圧粉磁心1の形状は例示であり、圧粉磁心1の内部組織は、説明の便宜上、誇張して示している。

【0051】

[軟磁性粒子]

(組成)

軟磁性粒子2の材質は、鉄基材料であり、例えば、純鉄(純度99質量%以上、残部が不可避的不純物)や、Fe-Si-Al系合金、Fe-Si系合金、Fe-Al系合金などの鉄合金が挙げられる。特に、透磁率及び磁束密度などの点からみれば、軟磁性粒子の材質は純鉄が好ましい。

【0052】

(粒径)

軟磁性粒子2の平均粒径は、50 μm以上400 μm以下が好ましい。平均粒径が50 μm以上であれば、高密度な圧粉磁心とし易い。平均粒径が400 μm以下であれば、軟磁性粒子2自体の渦電流損を小さくし易いため、低損失な圧粉磁心1とし易い。軟磁性粒子2の平均粒径は、50 μm以上150 μm以下がより好ましく、50 μm以上70 μm以下が特に好ましい。軟磁性粒子2の平均粒径の測定は、SEM(走査型電子顕微鏡)で断面の画像を取得し、市販の画像解析ソフトを用いて解析することで行える。その際、円相当径を粒子の粒径とする。円相当径とは、軟磁性粒子2の輪郭を特定し、その輪郭で囲まれる面積Sと同一の面積を有する円の径とする。つまり、円相当径 = $2 \times \{ \text{上記輪郭内の面積} S / \pi \}^{1/2}$ で表される。圧粉磁心1を構成する軟磁性粒子2の平均粒径は、圧粉磁心1の原料粉末を構成する軟磁性粒子の平均粒径と実質的に同一である。

【0053】

[絶縁層]

圧粉磁心1を構成する絶縁層3は、軟磁性粒子2間の絶縁性を高める。絶縁層3の組織は、実質的に全て結晶化している。絶縁層3の組織分析は、X線回折(ピーク強度の測定)、或いはTEM(透過型電子顕微鏡)観察により行える。

【0054】

(被覆層)

絶縁層3は、軟磁性粒子2の表面(外周面)を覆うように形成される被覆層31を有する。被覆層31は、軟磁性粒子2同士の間介在されて、軟磁性粒子2同士の絶縁性を高

10

20

30

40

50

める。

【0055】

材質

被覆層31の材質は、リン酸塩を主成分とするリン酸化合物が挙げられる。リン酸塩としては、具体的にはリン酸鉄が挙げられる。この被覆層31の組成は、リンの含有量が10原子%以上15原子%以下、鉄の含有量が22原子%以上40原子%以下、残部が酸素及び不可避的不純物であることが好ましい。そうすれば、高密度で低損失な圧粉磁心とし易い。被覆層31は、後述する圧縮成形時に表面の一部が剥離して絶縁層3から分離した絶縁片4を構成し、その絶縁片4が潤滑剤として機能するからである。また、軟磁性粒子2が露出するほど被覆層31が剥離することが実質的にないため、軟磁性粒子2同士の絶縁性を保ち易いからである。被覆層31における鉄の含有量は、更には37原子%以下とすることができ、特に35原子%以下とすることができる。被覆層31における鉄の含有量は、24原子%以上とすることができる。被覆層31の組成分析は、TEMのEDX(エネルギー分散型X線分光法)分析により行える。ここでは、圧粉磁心1の断面において10箇所以上の分析を行ない、その平均を被覆層31の組成とする。

10

【0056】

厚さ

被覆層31の厚さは、30nm以上120nm以下が好ましい。被覆層31の厚さを30nm以上とすれば、軟磁性粒子2間の絶縁性を高め易い。被覆層31の厚さを120nm以下とすれば、密度の高い圧粉磁心1とし易い。被覆層31の厚さは、35nm以上100nm以下がより好ましく、40nm以上70nm以下が特に好ましい。被覆層31の厚さの測定は、圧粉磁心1の断面をTEMで観察し、その観察像を画像解析することで行える。その際、視野数を20視野以上、倍率を50000倍以上300000倍以下として、各視野の厚さの平均から全視野の厚さの平均を求め、その全視野の厚さの平均を被覆層31の厚さとする。但し、被覆層31の欠けている(剥がれている)箇所の厚さは測定範囲から除く。圧粉磁心1を構成する被覆層31の厚さは、圧粉磁心1の原料粉末を構成する被覆軟磁性粒子の被覆層の厚さと実質的に同一である。

20

【0057】

(外側層)

圧粉磁心1を構成する絶縁層3は、被覆層31の外側に形成される外側層32を備えていることが好ましい。外側層32は、被覆層31同士の間介在される。

30

【0058】

材質

外側層32の材質は、Si、Mg、Ti、及びAlから選択される1種の元素と、Oとを主成分とすることが好ましい。具体的には、Si及びOを主成分とする珪酸化合物、Mg及びOを主成分とするマグネシウム酸化物、Ti及びOを主成分とするチタン酸化物、Al及びOを主成分とするアルミニウム酸化物の中から選択される一種の化合物を主成分とすることが好ましい。そうすれば、高密度化と低損失化とを両立し易い。外側層32は、上述した被覆層31と同様、後述する圧縮成形時に剥離して絶縁層3から分離した絶縁片4を構成し、その絶縁片4が潤滑剤として機能する。また、被覆層31のみを備える場合に比較して、圧縮成形時の被覆層31の剥離が少なく、軟磁性粒子2が露出するほど被覆層31が剥離することが実質的にないため、軟磁性粒子2同士の絶縁性を保ち易い。珪酸化合物としては、珪酸カリウム(K_2SiO_3)、珪酸ナトリウム(Na_2SiO_3 :水ガラス、珪酸ソーダとも呼ばれる)、珪酸リチウム(Li_2SiO_3)、珪酸マグネシウム($MgSiO_3$)等が挙げられる。マグネシウム酸化物としては、MgOが挙げられる。チタン酸化物としては、 TiO_2 が挙げられる。アルミニウム酸化物としては、 Al_2O_3 が挙げられる。外側層32の材質の分析は、上述した被覆層31の組成の分析方法と同様にして行える。

40

【0059】

厚さ

50

外側層32の厚さは、10nm以上100nm以下が好ましい。外側層32の厚さを100nm以上とすれば、軟磁性粒子2間の絶縁性を向上し易い。外側層32の厚さを100nm以下とすれば、圧粉磁心1を高密度化し易い。外側層32の厚さは、20nm以上90nm以下がより好ましく、30nm以上80nm以下が特に好ましい。外側層32の厚さの測定は、上述した被覆層31の厚さの測定方法と同様にして行える。圧粉磁心1を構成する外側層32の厚さは、圧粉磁心1の原料粉末を構成する被覆軟磁性粒子の外側層の厚さと実質的に同一である。

【0060】

絶縁層3（外側層32を備える場合は被覆層31及び外側層32の合計）の厚さは、被覆層31及び外側層32がそれぞれの厚さの範囲を満たした上で、40nm以上220nm以下が挙げられる。

10

【0061】

[絶縁片]

圧粉磁心1を構成する絶縁片4は、互いに隣り合う三つ以上の軟磁性粒子2で囲まれて配置されている。絶縁片4の配置領域は、互いに隣接する三つの軟磁性粒子2で囲まれる三重点部、或いは、互いに隣接する四つの軟磁性粒子2で囲まれる領域などに配されることが多い。各領域における絶縁片4の数は、複数であることが多い。但し、いずれかの領域に絶縁片4が単数で存在したり、全く存在しない場合もあり得る。

【0062】

（存在形態）

絶縁片4の存在形態は、絶縁層3とは分離して存在している。この分離して存在とは、絶縁層3とは間隔を空けて非接触で存在している場合と、絶縁層3と接触して存在する場合を含む。但し、絶縁層3と接触して存在する場合であっても、絶縁片4は、絶縁層3とは不連続で（一連に形成されておらず）独立して存在している。詳しくは後述する製造方法で説明するが、この絶縁片4は、製造過程で絶縁層3から剥離した部分であり、元々は絶縁層3の一部である。

20

【0063】

（材質）

絶縁片4の材質は、絶縁層3を構成する材質と実質的に同じである。絶縁片4は、製造過程で絶縁層3の一部が剥離したものであるからである。即ち、絶縁層3が被覆層31のみで構成される場合、絶縁片4の材質は実質的にリン酸塩で構成される。また、絶縁層3が被覆層31と外側層32とを有する場合、絶縁片4の材質は、（1）実質的にリン酸塩のみ、（2）リン酸塩と珪酸化合物などの酸化物との両方を含む、（3）実質的に珪酸化合物などの酸化物のみ、のいずれかで構成される。リン酸塩と珪酸化合物などの酸化物との両方を含む場合、絶縁片4は、リン酸塩と珪酸化合物などの酸化物との接合片で構成される。絶縁片4の材質の分析は、上述した被覆層31の組成の分析方法と同様にして行える。

30

【0064】

絶縁片4の鉄の含有量は、絶縁層3の鉄の含有量よりも少ない。詳しくは後述の製造方法で説明する。具体的には、絶縁片4の鉄の含有量は、「（絶縁層3の鉄の含有量）-（絶縁片4の鉄の含有量）4.5原子%」を満たすことが好ましい。そうすれば、高密度で低損失な圧粉磁心とし易い。

40

【0065】

絶縁片4の組成は、リンの含有量が10原子%以上15原子%以下、鉄の含有量が20原子%以上37原子%以下、残部が酸素及び不可避的不純物であることが好ましい。そうすれば、高密度で低損失な圧粉磁心とし易い。絶縁片4における鉄の含有量は、更に22原子%以上35原子%以下とすることができ、特に24原子%以上30原子%以下とすることができる。絶縁片4の組成分析は、上述した被覆層31の組成の分析方法と同様にして行える。

【0066】

50

(サイズ)

絶縁片4のサイズは、例えば、 $0.3\ \mu\text{m}$ 以上 $5.0\ \mu\text{m}$ 以下を満たすことが好ましい。絶縁片4のサイズとは、SEMによる圧粉磁心1の断面の観察像において、短冊状に見えるものの長手方向の長さとする。このサイズは、互いに隣り合う三つ以上の軟磁性粒子2で囲まれる領域のうち絶縁片4の存在する領域を100箇所以上観察し、その中に存在する短冊状の絶縁片4における上記長さの平均とする。絶縁片4のサイズが $0.3\ \mu\text{m}$ 以上であれば、高密度な圧粉磁心1とし易い。絶縁片4が、圧縮成形時に軟磁性粒子2同士の潤滑剤として機能して、剥離していない絶縁層3に対する圧力を緩和し易いからである。絶縁片4のサイズが $5.0\ \mu\text{m}$ 以下であれば、低損失な圧粉磁心1とし易い。圧縮成形時の絶縁層3の剥離が少なく、軟磁性粒子2が露出するほど絶縁層3が剥離することが実質的にないため、軟磁性粒子2同士の絶縁性を保ち易いからである。絶縁片4のサイズは、更に $0.4\ \mu\text{m}$ 以上 $4.5\ \mu\text{m}$ 以下が好ましく、特に $0.5\ \mu\text{m}$ 以上 $4.0\ \mu\text{m}$ 以下が好ましい。

10

【0067】

(存在割合)

絶縁片4の存在割合は、例えば、5%以上90%以下が好ましい。この存在割合は、互いに隣り合う三つ以上の軟磁性粒子2で囲まれる領域を100箇所以上観察し、その観察した領域のうち絶縁片の存在する領域の割合とする。絶縁片が1つでもあった場合、絶縁片が存在する領域としてカウントする。この存在割合が5%以上であれば、圧縮成形時に潤滑剤として機能し易いため、高密度な圧粉磁心1とし易い。この存在割合が90%以下

20

【0068】

(組織)

絶縁片4の組織は、上述の絶縁層3と同様、実質的に全て結晶化している。絶縁片4の組織分析は、絶縁層3と同様の分析方法により行える。

【0069】

[密度]

圧粉磁心1の密度は、例えば、 $7.5\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以上が挙げられる。この密度は、 $7.55\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以上が好ましく、 $7.6\ \text{g}/\text{cm}^3$ 以上が更に好ましい。この密度は、アルキメデス法を用いて圧粉磁心1の体積を測定し、測定した体積で圧粉磁心1の質量を除する(質量/体積)ことで求められる。

30

【0070】

[特性]

(電気抵抗率)

圧粉磁心1の内部の電気抵抗率は、 $5 \times 10^{-1} \cdot \text{cm}$ 以上が挙げられる。上記電気抵抗率を $5 \times 10^{-1} \cdot \text{cm}$ 以上とすれば、渦電流損を低減でき、磁気特性に優れる電磁部品を構築し易い。上記電気抵抗率は、 $1 \times 10^0 \cdot \text{cm}$ 以上が好ましく、 $1 \times 10^1 \cdot \text{cm}$ 以上が特に好ましい。上記電気抵抗率は高いほど渦電流損を低減できて好ましいためその上限値は特に限定されないが、上記電気抵抗率の上限値は、例えば、 $1 \times 10^7 \cdot \text{cm}$ 以下程度とすることができる。上記電気抵抗率の測定は、圧粉磁心1の断面を四探針法で測定することで行える。

40

【0071】

(磁気特性)

圧粉磁心1は、低損失である。例えば、鉄損 $W_{1/10k}$ は、 $200\ \text{kW}/\text{m}^3$ 以下が挙げられる。鉄損 $W_{1/10k}$ は、励起磁束密度 B_m を $0.1\ \text{T}$ 、測定周波数を $10\ \text{kHz}$ とし、常温(20 ± 15)において測定した値である。この鉄損 $W_{1/10k}$ は、 $150\ \text{kW}/\text{m}^3$ 以下が好ましく、 $125\ \text{kW}/\text{m}^3$ 以下が更に好ましく、 $120\ \text{kW}/\text{m}^3$ 以下が特に好ましい。また、渦電流損は、 $30.0\ \text{kW}/\text{m}^3$ 以下、更には 30.0

50

kW/m^3 未満が挙げられる。渦電流損は、 27.5 kW/m^3 以下が好ましく、 25.0 kW/m^3 以下が特に好ましい。

【0072】

[用途]

圧粉磁心1は、各種の電磁部品（例えば、リアクトル、トランス、モータ、チョークコイル、アンテナ、燃料インジェクタ、点火コイルなど）の磁心やその素材に好適に利用できる。

【0073】

[圧粉磁心の作用効果]

上述した圧粉磁心1によれば、高密度で低損失である。

10

【0074】

[圧粉磁心の製造方法]

圧粉磁心の製造は、被覆軟磁性粉末を準備する準備工程と、熱処理被覆粉末を作製する粉末熱処理工程と、成形体を作製する成形工程と、成形体熱処理工程とを備える圧粉磁心の製造方法により製造できる。粉末熱処理工程後、成形工程前に、熱処理被覆粉末と潤滑剤とを混合する混合工程を備えていてもよい。この圧粉磁心の製造方法の主たる特徴とするところは、粉末熱処理工程を備える点にある。以下、各工程の詳細を順に説明する。

【0075】

[準備工程]

準備工程では、上述した材質及び粒径の軟磁性粒子と、その外周に形成され、上述と同様の材質及び厚さの絶縁層とを備える被覆軟磁性粒子を複数備える被覆軟磁性粉末を準備する。被覆軟磁性粉末の準備は、例えば、複数の軟磁性粒子を準備し、それら軟磁性粒子の外周に絶縁層を形成することで行える。

20

【0076】

軟磁性粒子の準備は、ガスアトマイズ法や水アトマイズ法などのアトマイズ法で製造することで行ってもよいし、市販の軟磁性粒子を購入するなどして行ってもよい。

【0077】

絶縁層の軟磁性粒子の外周への形成は、被覆層と外側層のいずれも、例えば、化成処理により行うことが挙げられる。それにより、軟磁性粒子の外周に実質的に全て非晶質である絶縁層を形成する。即ち、絶縁層が外側層を備える場合は被覆層と外側層の両方とも実質的に全て非晶質である。この絶縁層（外側層を備える場合は被覆層と外側層の両方）の組織は、後述の粉末熱処理工程を経て一部が結晶化し、更に成形体熱処理工程を経て残り（全て）が結晶化する。

30

【0078】

リン酸鉄を主成分とする被覆層を軟磁性粒子の外周に形成する場合、その組成は、例えば、リンの含有量を10原子%以上15原子%以下、鉄の含有量を15原子%以上20原子%以下、残部を酸素及び不可避免的不純物とすることが好ましい。この被覆層に含まれる鉄の含有量は、粉末熱処理工程及び成形体熱処理の各工程を経る度に増加し、被覆層に含まれる酸素の含有量は減少する。熱処理により軟磁性粒子の鉄成分が絶縁層（被覆層）に拡散すると共に、絶縁層に含まれる酸素が絶縁層から離脱するからである。そのため、被覆層の鉄の含有量が上記の範囲であれば、粉末熱処理工程及び成形体熱処理工程を経ることで、所定の量の鉄を含む被覆層を備える上述の圧粉磁心を製造できる。被覆層における鉄の含有量は、更に16原子%以上19原子%以下とすることができ、特に17原子%以上19原子%以下とすることができる。

40

【0079】

[粉末熱処理工程]

粉末熱処理工程では、被覆軟磁性粉末を熱処理して絶縁層の一部が結晶化した熱処理被覆粉末を作製する。絶縁層が外側層を備える場合、被覆層と外側層のそれぞれの一部が結晶化する。この熱処理により、絶縁層の一部（主に結晶化した箇所（表層部分））が脆くなり、絶縁層の表層部分が後述の成形工程で剥離して絶縁層から分離した絶縁片となり易

50

い。

【0080】

熱処理被覆粉末における絶縁層の被覆層がリン酸鉄を主成分とする場合、その組成は、例えば、リンの含有量が10原子%以上15原子%以下、鉄の含有量が20原子%以上37原子%以下、残部が酸素及び不可避免的不純物であることが好ましい。この被覆層に含まれる鉄の含有量は、後述する成形体熱処理工程を経て増加する。そのため、被覆層の鉄の含有量が上記範囲であれば、成形体熱処理工程を経ることで、上述の圧粉磁心を製造し易い。但し、成形工程で被覆層から剥離した絶縁片は、成形体熱処理工程の熱処理によって軟磁性粒子における鉄成分の拡散の影響は受け難いため、絶縁片における鉄の含有量は、この熱処理被覆粉末の被覆層における鉄の含有量が実質的に維持され易い。そのため、絶縁片における鉄の含有量は、成形体熱処理工程を経て増加した被覆層における鉄の含有量よりも少なくなり易い。被覆層における鉄の含有量は、更には22原子%以上35原子%以下とすることができ、特に24原子%以上30原子%以下とすることができる。

10

【0081】

熱処理被覆粉末のビッカース硬さは、120HV以下が好ましい。熱処理被覆粉末のビッカース硬さが120HV以下であれば、熱処理被覆粉末が柔らかいため、後述の成形工程で高密度な成形体を作製し易く、ひいては高密度な圧粉磁心を製造し易い。ビッカース硬さは、115HV以下がより好ましい。このビッカース硬さは、低すぎると成形工程で軟磁性粒子が過度に変形して、絶縁層がその変形能に耐えられず損傷したりする虞がある。このビッカース硬さは、80HV超が好ましく、85HV以上がより好ましい。ビッカース硬さは、樹脂で熱処理被覆粉末を埋設した後、熱処理被覆粉末を構成する軟磁性粒子が露出されるように樹脂を研磨し、露出した軟磁性粒子に対して測定(n=10の平均)した値とする。

20

【0082】

(温度)

熱処理温度は、350 超700 未満が好ましい。熱処理温度を350 超とすることで、軟磁性粒子の歪を除去できる上に、絶縁層を部分的に結晶化させる。そのため、後述の成形工程で高密度な成形体を作製し易い。熱処理温度を700 未満とすることで、絶縁層の結晶化をその一部とすることができ、その全てが結晶化することを抑制できる。そのため、絶縁層の電気抵抗率が低下することを抑制したり、後述の成形工程で軟磁性粒子の表面が絶縁層から露出するほど絶縁層が剥離することを抑制したりできる。従って、低損失な圧粉磁心を製造し易い。熱処理温度は、400 以上650 以下がより好ましく、450 以上600 以下が特に好ましい。

30

【0083】

(時間)

熱処理時間は、熱処理温度にもよるが、例えば、15分以上が好ましい。そうすれば、絶縁層の一部を結晶化し易い。熱処理時間の上限は、絶縁層の全てが結晶化しない時間、例えば120分以下程度が挙げられる。

【0084】

(雰囲気)

熱処理雰囲気は、窒素などの不活性ガス雰囲気、又は減圧雰囲気(例えば、標準の大気圧よりも圧力が低い真空雰囲気)とすることが挙げられる。

40

【0085】

[混合工程]

被覆軟磁性粉末と潤滑剤とを混合して混合材料を作製する混合工程を備えることができる。潤滑剤は、金属石鹸、脂肪酸アミド、高級脂肪酸アミド、無機物、及び脂肪酸金属塩などが挙げられる。金属石鹸は、例えば、ステアリン酸亜鉛、ステアリン酸リチウムなどが挙げられる。脂肪酸アミドは、例えば、ステアリン酸アミドなどが挙げられる。高級脂肪酸アミドは、例えば、エチレンビスステアリン酸アミドなどが挙げられる。無機物は、窒化硼素やグラファイトなどが挙げられる。脂肪酸金属塩は、脂肪酸と金属とからなる。

50

脂肪酸は、カプリル酸、ペラルゴン酸、カプリン酸、ウンデカン酸、ラウリン酸、トリデカン酸、ミリスチン酸、ペンタデカン酸、パルミチン酸、マルガリン酸、ステアリン酸、ノナデカン酸、アラキン酸、ヘンエイコサン酸、ベヘン酸、トリコサン酸、リグノセリン酸、ペンタコサン酸、セロチン酸、ヘプタコタン酸、及びモンタン酸などが挙げられる。上記金属は、Mg, Ca, Zn, Al, Ba, Li, Sr, Cd, Pb, Na, 及びKなどが挙げられる。潤滑剤を添加することで、成形時の潤滑性を更に高められる。潤滑剤の添加量は、熱処理被覆粉末と潤滑剤との合計を100質量%とするとき、0.005質量%以上0.6質量%以下が好ましい。この範囲を満たすことで、潤滑剤の添加による潤滑性の向上効果が十分に得られ易く、かつ成形体における金属成分の割合の低下を抑制できる。潤滑剤は、粉末状でも液状でもよい。この潤滑剤は、成形体熱処理工程で実質的に焼失する。

10

【0086】

〔成形工程〕

成形工程では、混合材料（熱処理被覆粉末）を圧縮成形して成形体を作製する。成形体の作製は、混合材料を所定の形状が得られる成形用金型に充填し、金型内の混合材料を加圧することで行える。成形体の形状は、電磁部品の磁心の形状に応じて選択すれば良い。

【0087】

この成形工程により、熱処理被覆粉末における軟磁性粒子の表面が絶縁層から露出しない程度に絶縁層の表面の一部が剥離し、絶縁層から分離した絶縁片が形成される。絶縁片の形成は、主に絶縁層の結晶化した箇所（表層部分）から剥離することで行われる。絶縁層が被覆層のみで構成されている場合、絶縁片は、被覆層の構成材料で構成され、被覆層と外側層とで構成されている場合、被覆層の構成材料、被覆層と外側層の両方の構成材料、及び外側層の構成材料の少なくとも一つで構成される。この絶縁片は、熱処理被覆粉末の粒子同士に圧縮されて互いに隣り合う三つ以上の軟磁性粒子で囲まれる領域に移動する。このとき、絶縁片は、熱処理被覆粉末の粒子同士の潤滑剤として機能する。

20

【0088】

（圧力）

成形圧力は、500MPa以上が好ましい。成形圧力を500MPa以上とすることで、高密度な成形体を作製し易い。成形圧力は、800MPa以上がより好ましく950MPa以上が特に好ましい。成形圧力の上限は、例えば2500MPa以下が好ましい。そうすれば、絶縁層の損傷を抑制できたり、成形用金型の寿命を大きく損ねない。成形圧力は、2000MPa以下がより好ましく、1700MPa以下が特に好ましい。

30

【0089】

（温度）

成形温度は、室温（常温）以上とすることが挙げられる。成形温度とは、成形用金型の温度を言う。圧縮成形時に絶縁層から剥離した絶縁片が形成されて潤滑性を高められるため、成形温度が常温であっても、高密度な成形体を作製し易い。成形温度は、更には80以上が好ましい。成形温度を80以上とすれば、より一層高密度な成形体を作製し易い。成形温度の上限は、150以下が好ましい。成形温度を150以下とすれば、渦電流損の増加を抑制し易い。成形温度は、100以上130以下が特に好ましい。

40

【0090】

成形用金型の複合材料との接触箇所には、潤滑剤を塗布してもよい。その場合、粉末との摩擦を低減すると共に、高密度な成形体を作製し易い。この潤滑剤の材質としては、上述の潤滑剤と同じ材質が挙げられる。

【0091】

〔成形体熱処理工程〕

成形体熱処理工程では、成形体を熱処理して成形工程で軟磁性粒子に導入された歪を除去する。この熱処理により、絶縁層及び絶縁片はいずれも実質的に全て結晶化する。絶縁層が外側層を備える場合、被覆層と外側層のそれぞれの残部（全て）が結晶化する。絶縁片は、互いに隣り合う三つ以上の軟磁性粒子で囲まれる領域に留まり、絶縁層と非接触で

50

存在したり、絶縁層と接触して存在したりする。

【0092】

熱処理雰囲気は、体積割合における酸素濃度を0ppm超10000ppm以下とすることが挙げられ、更には100ppm以上5000ppm以下、特に、200ppm以上1000ppm以下が挙げられる。熱処理温度は、350以上900以下が好ましい。この熱処理温度は、600以上がより好ましく、更には625以上、特に650以上が好ましい。この熱処理温度は、750以下がより好ましく、特に700以下が好ましい。熱処理時間は、10分以上60分以下が好ましく、10分以上30分以下がより好ましく、10分以上15分以下が特に好ましい。この条件で成形体を熱処理することで、軟磁性粒子の歪を十分に除去でき、ヒステリシス損を低減できて低損失な圧粉磁心を製造し易い。

10

【0093】

〔用途〕

圧粉磁心の製造方法は、上述の圧粉磁心1の製造に好適に利用できる。

【0094】

〔圧粉磁心の製造方法の作用効果〕

上述の圧粉磁心の製造方法によれば、粉末熱処理工程を備えることで、以下の(1)～(5)により高密度で低損失の圧粉磁心を製造できる。

【0095】

(1)軟磁性粒子の歪を除去して柔らかくすることができる。そのため、成形工程で磁性粒子を変形させ易く、高密度な成形体を作製し易い。

20

【0096】

(2)リン酸鉄の被覆層の一部を結晶化させることで脆くなるため、成形工程で軟磁性粒子が変形した際に絶縁層の表層部分の一部を剥離させて絶縁層から分離した絶縁片を形成できる。絶縁片は、成形工程で潤滑剤として機能するため、被覆軟磁性粒子に熱処理を施していない従来の粒子を用いる場合に比較して、剥離していない絶縁層に対する圧力を緩和することができる。そのため、軟磁性粒子は絶縁層から実質的に露出しない上に、剥離していない絶縁層の破壊を抑制することができるので、粒子同士の絶縁性は高められる。従って、軟磁性粒子同士の絶縁性を高められるので、低損失な成形体を作製し易い。

【0097】

(3)絶縁層がリン酸鉄の被覆層と珪酸化合物の外側層とを有する場合には、リン酸鉄の絶縁片に加えて珪酸化合物の絶縁片を形成できるため、より一層の潤滑機能を得られて、剥離していない絶縁層に対する圧力をより緩和することができる。

30

【0098】

(4)被覆軟磁性粒子における軟磁性粒子表層近傍が酸化されて、渦電流損を低減できるため、低損失な圧粉磁心を作製し易い。

【0099】

(5)上述した粉末熱処理工程に伴う軟磁性粒子の軟化と絶縁片の形成とにより、成形温度を一般的に低損失化し易いが高密度化し難い室温としても高密度化でき、成形温度を一般的に高密度化し易いが低渦電流損化し難い高温としても低渦電流損化できる。従って、成形温度が常温でも高温でも、高密度で低損失な圧粉磁心を製造し易い。

40

【0100】

〔電磁部品〕

電磁部品は、巻線を巻回してなるコイルと、コイルが配置される磁心とを備える。この磁心の少なくとも一部は、上述の圧粉磁心や上述の製造方法により得られた圧粉磁心である。

【0101】

巻線は、導体の外周に絶縁層を備えるものが挙げられる。導体は、銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金などの導電性材料から構成される線材が挙げられる。絶縁層の構成材料は、エナメルや、テトラフルオロエチレン-ヘキサフルオロプロピレン共重合体

50

(F E P) 樹脂、ポリテトラフルオロエチレン (P T F E) 樹脂、シリコンゴムなどが挙げられる。公知の巻線を利用できる。

【 0 1 0 2 】

磁心の形態は、代表的には、柱状体や環状体が挙げられる。複数の上記圧粉磁心を組み合わせることで、種々の大きさの柱状の磁心や環状の磁心を構築できる。磁心の全てを上記圧粉磁心で形成することもできるし、磁心の一部のみを上記圧粉磁心で形成することもできる。後者の場合、電磁積層鋼板や、軟磁性粉末を樹脂中に分散させた複合材料（成形硬化体）など別の材質の磁心部材を組み合わせてもよい。これら圧粉磁心や磁心部材よりも低透磁率、特に非磁性材料からなるギャップ材やエアギャップを有する磁心とすることもできる。

10

【 0 1 0 3 】

この電磁部品の一例を図 2 に示す。図 2 のコイル部品 1 0 0 は、環状の磁性コア 1 0 （磁心）と、その磁性コア 1 0 の外周に巻線 2 0 w を巻回して形成したコイル 2 0 とを備えるチョークコイルである。この環状の磁性コア 1 0 は、上記圧粉磁心からなる。その他、電磁部品としては、高周波チョークコイル、高周波同調用コイル、バーアンテナコイル、電源用チョークコイル、電源トランス、スイッチング電源用トランス、リアクトル等が挙げられる。

【 0 1 0 4 】

[用途]

この電磁部品は、リアクトル、トランス、モータ、チョークコイル、アンテナ、燃料インジェクタ、点火コイルなどに好適に利用できる。

20

【 0 1 0 5 】

《 試験例 1 》

圧粉磁心の試料を作製し、各試料の密度、電気抵抗率、及び磁気特性を評価した。

【 0 1 0 6 】

[試料 No . 1 - 1 ~ 1 - 5]

圧粉磁心の試料 No . 1 - 1 ~ 試料 No . 1 - 5 は、上述の圧粉磁心の製造方法と同様に、準備工程 粉末熱処理工程 混合工程 成形工程 成形体熱処理工程の手順で作製した。

【 0 1 0 7 】

[準備工程]

軟磁性粒子の外周に絶縁層を被覆して被覆軟磁性粉末を作製した。軟磁性粉末は、純度 9 9 質量%以上で残部が不可避的不純物の純鉄粉を準備した。軟磁性粒子の平均粒径は、5 3 μm であった。この平均粒径は、市販のレーザ回折・散乱式粒子径・粒度分布測定装置により質量基準の粒度分布をとり、その粒度分布の小径側から累積が 5 0 %となる粒径値とした。

30

【 0 1 0 8 】

次に、軟磁性粉末の粒子の外周に、ボンデ処理によりリン酸鉄から構成される被覆層を形成した。続いて、被覆層の外周に、化成処理により Si - O （珪酸化合物）を主成分とする外側層を形成した。被覆層の厚さは、1 0 2 nmであり、外側層の厚さは 3 1 nmであった。被覆層及び外側層の厚さの測定は、圧粉磁心の断面を T E M で観察し、その観察像を画像解析することで行える。その際、視野数を 2 0 視野、倍率を 5 0 0 0 0 倍以上 3 0 0 0 0 0 倍以下として、各視野の厚さの平均から全視野の厚さの平均を求め、その全視野の厚さの平均を被覆層及び外側層の厚さとした。但し、被覆層及び外側層の剥がれている箇所の厚さは測定範囲から除いた。

40

【 0 1 0 9 】

[粉末熱処理工程]

被覆軟磁性粉末に対し熱処理を施して熱処理被覆粉末を作製した。熱処理は、窒素雰囲気下、温度を表 1 に示す温度とし、時間を 1 5 分間として行った。

【 0 1 1 0 】

50

(ピッカース硬さ測定)

粉末熱処理工程後、試料No. 1-1～試料No. 1-5のうち、試料No. 1-1, 1-2, 1-5の熱処理被覆粉末における軟磁性粒子のピッカース硬さを測定した。その結果を表2に示す。このピッカース硬さは、樹脂で熱処理被覆粉末を埋設した後、熱処理被覆粉末を構成する軟磁性粒子が露出されるように樹脂を研磨し、露出した軟磁性粒子に対して測定(n=10の平均)した値とした。粉末のピッカース硬さの測定は、後述する試料No. 1-101, 105でも同様にして行った。その結果も併せて表2に示す。

【0111】

表2に示すように、ピッカース硬さは、粉末熱処理温度が高いほど小さく(柔らかく)なっている。

10

【0112】

(絶縁層及び絶縁片の組成分析)

試料No. 1-1, 1-2, 1-5の熱処理被覆粉末における絶縁層の組成を分析した。その結果を表2に示す。この組成分析は、成形体の断面をTEMのEDXで測定することで行える。分析箇所は10箇所以上とし、その平均を被覆層の組成とする。組成分析は、成形体熱処理工程後の試料No. 1-1, 1-2, 1-5の圧粉磁心の絶縁層及び絶縁片に対しても同様にして行った。これら粉末及び圧粉磁心における絶縁層の組成分析は、後述する試料No. 1-101, 105でも同様にして行った。それらの結果も併せて表2に示す。絶縁片については、鉄の含有量のみを示している。

【0113】

20

表2に示すように、絶縁層のリン(P)の含有量は、粉末熱処理の有無や温度に関わらず、殆ど変わらない。また、絶縁層のリン(P)の含有量は、成形体熱処理後も成形体熱処理前に対して殆ど変化がない。粉末熱処理温度が高いほど、絶縁層の鉄(Fe)の含有量は多く、酸素(O)の含有量は少ない。このことから、粉末熱処理すると、軟磁性粒子の鉄の拡散により絶縁層の鉄の含有量が増加すると共に、酸素が絶縁層から離脱すると考えられる。また、絶縁層の鉄(Fe)の含有量は、成形体熱処理後には成形体熱処理前に対して増加し、酸素(O)の含有量は減少している。このことから、軟磁性粒子の鉄の拡散及び酸素の絶縁層からの離脱は、成形体熱処理でも生じることが分かる。一方で、絶縁片の鉄(Fe)の含有量は、熱処理被覆粉末における絶縁層の鉄の含有量と殆ど変わらない。絶縁片は、成形体熱処理工程時には軟磁性粒子と分離しているため、軟磁性粒子の鉄の拡散による影響を殆ど受けないからだと考えられる。これらP, Fe, Oの合計が100原子%に満たないもの(試料No. 1-101以外)の残部は不可避的不純物である。

30

【0114】

[混合工程]

試料No. 1-1～試料No. 1-5の熱処理被覆粉末と、潤滑剤としてエチレンビスステアリン酸アミド(EBS)とを混合して混合材料を作製した。潤滑剤の含有量は、0.05質量%とした。この潤滑剤の含有量は、熱処理被覆粉末と潤滑剤との合計を100質量%とするときの値である。

【0115】

[成形工程]

40

混合材料を成形用金型に充填し、圧縮成形してリング状で外径34mm、内径20mm、厚さ5mmの成形体を作成した。その金型の混合材料との接触箇所には、脂肪酸系の潤滑剤を塗布した。圧縮成形は、大気雰囲気下、100℃に金型を加熱した状態で、成形圧力を1373MPa(14ton/cm²)として行った。

【0116】

[成形体熱処理工程]

成形体に対して熱処理を施して圧粉磁心を作製した。熱処理は、窒素雰囲気下、昇温速度を5℃/分として650℃まで昇温し、その温度を15分間保持することで行った。

【0117】

(絶縁片のサイズ、及び存在割合の測定)

50

成形体熱処理工程後、試料No. 1-1, 1-2, 1-5の圧粉磁心における絶縁片のサイズ、及び存在割合を測定した。その結果を表2に示す。これら圧粉磁心における絶縁片のサイズなどの分析は、後述する試料No. 1-101, 105でも同様に行なった。それらの結果も併せて表2に示す。

【0118】

サイズ

絶縁片のサイズ(μm)は、SEMによる圧粉磁心の断面の観察像において、短冊状に見えるものの長手方向の長さを測定して求めた。ここでは、視野数を50視野、倍率を5000倍として、互いに隣り合う三つ以上の軟磁性粒子で囲まれる領域のうち絶縁片の存在する領域を100箇所以上観察し、その中に存在する短冊状の絶縁片の長手方向の長さの平均とする。

10

【0119】

存在割合

絶縁片の存在割合(%)は、SEMによる圧粉磁心の断面の観察像から求めた。ここでは、視野数を50視野、倍率を5000倍として、互いに隣り合う三つ以上の軟磁性粒子で囲まれる領域を100箇所以上観察し、その観察した領域のうち絶縁片の存在する領域の割合とした。

【0120】

表2に示すように、試料No. 1-1, 1-2, 1-5は、絶縁片の長さが、 $0.3\mu\text{m}$ 以上 $5.0\mu\text{m}$ 以下であり、存在割合が5%以上90%以下であった。そして、粉末熱処理すると、圧縮成形時に剥離して絶縁層から分離した絶縁片が形成され易く、粉末熱処理温度が高いほど、絶縁片の長さが長く、存在割合が多くなること分かる。

20

【0121】

〔試料No. 1-6, 1-7〕

試料No. 1-6, 1-7は、成形工程において、金型の温度をそれぞれ130、室温とした点を除き、試料No. 1-1と同様にして作製した。

【0122】

〔試料No. 1-8~1-10〕

試料No. 1-8~1-10は、以下の点を除き、試料No. 1-1と同様にして作製した。

30

試料No. 1-8：混合工程において、潤滑剤の材質をステアリン酸リチウム(Li-st)とし、その含有量を0.02質量%とした点と、成形工程において、金型の温度を130とした点

試料No. 1-9：混合工程において、潤滑剤の材質をステアリン酸亜鉛(Zn-st)とし、その含有量0.02質量%とした点と、成形工程において、金型の温度を130とした点

試料No. 1-10：混合工程において、潤滑剤の材質をステアリン酸アミド(SA)とし、その含有量を0.05質量%とした点と、成形工程において、金型の温度を80とした点

【0123】

〔試料No. 1-11〕

試料No. 1-11は、外側層を形成せず絶縁層を被覆層のみとした点と、粉末熱処理工程での熱処理温度を400とした点と、成形体熱処理工程での熱処理温度を425とした点を除き、試料No. 1-1と同様にして作製した。

40

【0124】

〔試料No. 1-12~1-14〕

試料No. 1-12~1-14は、それぞれMg-O(マグネシウム酸化物)、Al-O(アルミニウム酸化物)、Ti-O(チタン酸化物)を主成分とする外側層を形成した点を除き、試料No. 1-1と同様にして作製した。これらの外側層は、ミキサなどを用いて軟磁性粒子を攪拌、又は回転する容器内で軟磁性粒子を転動させながら、各金属酸

50

化物の水和物を含む溶液をスプレーなどで噴霧して混合し、乾燥させることで形成した。

【0125】

〔試料No. 1-101〕

試料No. 1-101は、粉末熱処理工程を行わない点を除き、試料No. 1-1と同様にして作製した。

【0126】

〔試料No. 1-102、1-103〕

試料No. 1-102、1-103は、成形工程において、金型の温度をそれぞれ80、室温とした点を除き、試料No. 1-101と同様にして作製した。即ち、試料No. 1-102、1-103は、粉末熱処理工程を行っていない。

10

【0127】

〔試料No. 1-104、1-105〕

試料No. 1-104、1-105は、粉末熱処理工程での熱処理温度をそれぞれ350、700とした点を除き、試料No. 1-1と同様にして作製した。

【0128】

〔試料No. 1-106〕

試料No. 1-106は、潤滑剤の材質をステアリン酸アミド(SA)とし、その含有量を0.05質量%とした点と、成形工程において、金型の温度を80とした点を除き、試料No. 1-101と同様にして作製した。即ち、試料No. 1-106は、粉末熱処理工程を行っていない。

20

【0129】

〔試料No. 1-107〕

試料No. 1-107は、外側層を形成せず絶縁層を被覆層のみとした点と、成形体熱処理工程での熱処理温度を425とした点を除き、試料No. 1-101と同様にして作製した。即ち、試料No. 1-107は、粉末熱処理工程を行っていない。

【0130】

〔試料No. 1-108~1-110〕

試料No. 1-108~1-110は、それぞれMg-O(マグネシウム酸化物)、Al-O(アルミニウム酸化物)、Ti-O(チタン酸化物)を主成分とする外側層を形成した点を除き、試料No. 1-101と同様にして作製した。外側層の形成は、それぞれ試料No. 1-12~1-14と同じである。

30

【0131】

【表 1】

試料 No.	準備工程		粉末熱処理 工程	混合工程		成形 工程	成形体熱処理 工程
	被覆軟磁性粒子 絶縁層		温度 (°C)	潤滑剤		温度 (°C)	温度 (°C)
	被覆層	外側層		材質	含有量 (質量%)		
1-1	リン酸鉄	Si-O	500	EBS	0.05	100	650
1-2	リン酸鉄	Si-O	400	EBS	0.05	100	650
1-3	リン酸鉄	Si-O	450	EBS	0.05	100	650
1-4	リン酸鉄	Si-O	600	EBS	0.05	100	650
1-5	リン酸鉄	Si-O	650	EBS	0.05	100	650
1-6	リン酸鉄	Si-O	500	EBS	0.05	130	650
1-7	リン酸鉄	Si-O	500	EBS	0.05	室温	650
1-8	リン酸鉄	Si-O	500	Li-st	0.02	130	650
1-9	リン酸鉄	Si-O	500	Zn-st	0.02	130	650
1-10	リン酸鉄	Si-O	500	SA	0.05	80	650
1-11	リン酸鉄	-	400	EBS	0.05	100	425
1-12	リン酸鉄	Mg-O	500	EBS	0.05	100	650
1-13	リン酸鉄	Al-O	500	EBS	0.05	100	650
1-14	リン酸鉄	Ti-O	500	EBS	0.05	100	650
1-101	リン酸鉄	Si-O	-	EBS	0.05	100	650
1-102	リン酸鉄	Si-O	-	EBS	0.05	80	650
1-103	リン酸鉄	Si-O	-	EBS	0.05	室温	650
1-104	リン酸鉄	Si-O	350	EBS	0.05	100	650
1-105	リン酸鉄	Si-O	700	EBS	0.05	100	650
1-106	リン酸鉄	Si-O	-	SA	0.05	80	650
1-107	リン酸鉄	-	-	EBS	0.05	100	425
1-108	リン酸鉄	Mg-O	-	EBS	0.05	100	650
1-109	リン酸鉄	Al-O	-	EBS	0.05	100	650
1-110	リン酸鉄	Ti-O	-	EBS	0.05	100	650

10

20

【 0 1 3 2 】

【表 2】

試料 No.	粉末 熱処理 工程		ビッカース 硬さ (HV)	熱処理被覆粉末			成形体 熱処理 工程	圧粉磁心					
	温度 (°C)	P (原子%)		Fe (原子%)	O (原子%)	絶縁層			絶縁片				
						P (原子%)		Fe (原子%)	O (原子%)	Fe (原子%)	長さ (μm)	存在割合 (%)	
1-1	500	11.0	28.0	60.1	11.2	32.4	56.3	28.2	2.4	63			
1-2	400	12.8	24.6	61.5	12.4	27.8	58.4	25.3	0.7	12			
1-5	650	11.2	34.2	54.0	10.9	37.6	50.9	34.7	4.3	82			
1-101	-	13.0	18.6	68.4	12.8	23.6	63.6	19.0	0.1	2			
1-105	700	13.6	39.8	46.1	12.4	47.0	40.5	40.2	7.2	96			

10

20

30

40

【0133】

〔密度〕

各試料の密度 (g/cm^3) を測定した。その結果を表 3 に示す。密度の測定は、アルキメデス法を用いて行った。

【0134】

〔電気抵抗率〕

各試料の電気抵抗率 ($\cdot\text{cm}$) を測定した。その結果を表 3 に示す。電気抵抗率の測定は、各試料の断面をとり、低抵抗率計ロレスタ GP (株式会社三菱化学アナリテック製 MCP-T610 型) を用いてその断面を直流四探針法で測定することで行った。

50

【 0 1 3 5 】

〔 磁気特性 〕

各試料の磁気特性を、次に示す手順で測定した。リング状の各試料に銅線を巻回して、一次巻きコイル：300ターン、二次巻きコイル：20ターンを備える測定用部材を作製した。測定用部材及びAC-BHカーブトレーサ（理研電子株式会社製 BHU-60）を用いて、励起磁束密度B_mを0.1T、測定周波数を10kHzとしたときの鉄損（ヒステリシス損+渦電流損）を求めた。鉄損の結果をヒステリシス損及び渦電流損と併せて表3に示す。

【 0 1 3 6 】

【 表 3 】

10

試料 No.	圧粉磁心				
	密度 (g/cm ³)	電気抵抗率 (Ω·cm)	鉄損 (kW/m ³)	ヒステリシス損 (kW/m ³)	渦電流損 (kW/m ³)
1-1	7.588	2.1×10 ¹	118.2	95.9	22.3
1-2	7.557	3.6×10 ¹	122.1	96.6	25.5
1-3	7.571	3.5×10 ¹	119.3	96.1	23.2
1-4	7.610	1.1×10 ¹	118.5	95.1	23.4
1-5	7.642	1.3×10 ⁰	121.6	92.1	29.5
1-6	7.599	2.2×10 ¹	119.7	94.9	24.8
1-7	7.522	3.2×10 ¹	123.5	97.9	25.6
1-8	7.605	7.5×10 ¹	115.0	92.5	22.5
1-9	7.624	3.1×10 ¹	114.3	91.0	23.3
1-10	7.568	6.7×10 ⁰	118.8	95.8	23.0
1-11	7.683	4.4×10 ⁰	188.2	163	25.2
1-12	7.578	2.8×10 ¹	119.1	96.5	22.6
1-13	7.567	6.8×10 ¹	120.3	96.8	23.5
1-14	7.581	1.7×10 ¹	118.5	96.4	22.1
1-101	7.532	2.7×10 ⁻¹	153.2	97.3	55.9
1-102	7.498	4.6×10 ⁻¹	128.7	98.7	30.0
1-103	7.412	3.2×10 ³	131.5	103.9	27.6
1-104	7.536	4.1×10 ⁻¹	134.3	97.5	36.8
1-105	7.671	0.8×10 ⁻²	681.2	94.2	587.0
1-106	7.517	0.6×10 ⁻²	351.1	98.7	252.4
1-107	7.644	8.9×10 ⁻⁴	727.7	169.8	557.9
1-108	7.523	3.5×10 ⁻¹	132.0	98.4	33.6
1-109	7.528	4.1×10 ⁻¹	129.9	98.8	31.1
1-110	7.531	3.2×10 ⁻¹	133.2	98.5	34.7

20

30

【 0 1 3 7 】

表3に示すように、試料No. 1-1~1-14は、密度が7.5g/cm³以上であり、渦電流損が30kW/m³以下であり、高密度と低損失とを兼備している。一方、試料No. 1-101~1-110は、密度が7.5g/cm³以上と、渦電流損が30kW/m³以下のいずれか一方しか満たしていない。

40

【 0 1 3 8 】

試料No. 1-1~1-5は、高密度と低損失とを兼ね備えており、試料No. 1-101、1-102に比較して、高密度で低損失である。試料No. 1-1~1-5の方が高密度な結果となったのは、被覆軟磁性粉末の歪が粉末熱処理工程により除去されたことで、被覆軟磁性粉末が軟化したからだと考えられる。試料No. 1-1~1-5の方が低損失な結果となったのは、特に渦電流損を低減できたからである。これは、被覆軟磁性粉

50

末に対する熱処理により、熱処理前には結晶構造が非晶質であった絶縁層（リン酸鉄）の一部が結晶化して絶縁層が脆くなることで、その後の成形工程で絶縁層の破壊が抑制されたからだと考えられる。この試料No. 1-1~1-5と試料No. 1-101、1-102との比較から、被覆軟磁性粉末を熱処理すれば、金型を高温に加熱した状態で圧縮成形しても渦電流損を低減できることがわかる。

【0139】

試料No. 1-1~1-5, 1-104, 1-105の比較から、粉末熱処理温度が高くなるほど高密度及び低ヒステリシス損となっていることが分かる。これは、軟磁性粉末の歪除去とそれに伴う軟化が進行していることに起因している。また、試料No. 1-1~1-5、1-104, 1-105のうち、粉末熱処理温度を400以上650以下とした試料No. 1-1~1-5は、渦電流損を低減でき、中でも粉末熱処理温度を450以上600以下とした試料No. 1-1, 1-3, 1-4は、特に渦電流損を低減できた。粉末熱処理温度を350とした試料No. 1-104は、絶縁片による剥離していない絶縁層に対する圧力の緩和効果を十分に得られなかったと考えられる。そのため、試料No. 1-104は、圧縮成形により、絶縁層の破壊を抑制できず、軟磁性粒子が絶縁層から露出し、粒子同士が接触したと考えられる。一方、粉末熱処理温度を700とした試料No. 1-105は、絶縁層全体が完全に結晶化したことで、(1)その電気抵抗率が著しく低下して粒子間が電氣的に導通してしまった、(2)圧縮成形時に軟磁性粒子の表面が露出するほどその表面から絶縁層が剥離したため、軟磁性粒子間の絶縁性を高められなかった、と考えられる。

【0140】

試料No. 1-6は、試料No. 1-1よりも高密度であるが高損失である。試料No. 1-6の方が高密度になったのは、成形温度が高いため、熱処理被覆粉末の降伏応力が低下し、変形し易くなったためだと考えられる。試料No. 1-6は、試料No. 1-1に比較して、ヒステリシス損を低減できたが、渦電流損が高くなった。ヒステリシス損を低減できたことと、渦電流損が高くなったことは、いずれも成形温度が高いことに起因していると考えられる。成形温度が高いことで、軟磁性粒子の歪を低減できてヒステリシス損を低減できた。一方、軟磁性粒子が変形し易くなり、絶縁膜が受ける衝撃増加に伴い絶縁層の破壊箇所が増加したため渦電流損が高くなったと考えられる。

【0141】

試料No. 1-8、1-9は、試料No. 1-1、1-6よりも高密度で低損失である。試料No. 1-8、1-9の方が高密度になったのは、試料No. 1-6と同じ理由に加えて、潤滑剤の材質が異なるから、及びその含有量が少ないからだと考えられる。試料No. 1-8、1-9の方が低損失なのは、特にヒステリシス損を低減できたからである。試料No. 1-8、1-9の方が潤滑剤の含有量が少ない上に成形温度が高いにも関わらず、鉄損を低減できたのは、それぞれ以下の理由によると考えられる。試料No. 1-8は、ステアリン酸リチウムの融点がエチレンビスステアリン酸アミドよりも高く、試料No. 1-1、1-6よりも絶縁層の破壊が抑制されたからだと考えられる。試料No. 1-9は、ステアリン酸亜鉛の動的摩擦力がエチレンビスステアリン酸アミドよりも小さいからだと考えられる。

【0142】

試料No. 1-7は、試料No. 1-103に比較して、高密度で低損失である。試料No. 1-7の方が高密度で低損失なのは、上述の試料No. 1-1と同様の理由だと考えられる。試料No. 1-7と試料No. 1-103との比較から、成形温度を一般的に高密度化し難い室温としても、粉末熱処理により高密度化できることが分かる。このように、成形温度に関わらず、粉末熱処理により得られる効果は同様であることがわかる。

【0143】

試料No. 1-10は、試料No. 1-102、1-106に比較して、高密度で低損失である。試料No. 1-10の方が高密度で低損失なのは、上述の試料No. 1-1と同様の理由だと考えられる。添加する潤滑剤によって、適切な成形温度は異なるが、粉末

熱処理により得られる効果は同様であることがわかる。

【0144】

試料No. 1-11は、試料No. 1-107に比較して、高密度で低損失である。試料No. 1-11の方が高密度で低損失なのは、上述の試料No. 1-1と同様の理由だと考えられる。

【0145】

試料No. 1-12～1-14は、試料No. 1-1と同等程度に高密度で低損失であり、試料No. 1-108～1-110に比較して、高密度で低損失である。試料No. 1-12～1-14が試料No. 1-108～1-110よりも高密度で低損失なのは、試料No. 1-1と同様の理由が考えられる。このように、外側層をSi-O、Mg-O、Al-O、及びTi-Oのいずれを主成分としても、高密度で低損失な圧粉磁心とすることができる。

10

【0146】

これらの結果から、被覆軟磁性粉末を熱処理することで、絶縁層が部分的に結晶化して脆くなり、絶縁層が適度に剥がれ易いが、軟磁性粒子が露出するほど絶縁層ごと剥がれるようなことが略ないことがわかった。そのため、高密度化が難しかった室温での成形であっても、また低損失化が難しかった加熱した状態での成形であっても、絶縁層の破壊を抑制できて高密度の圧粉磁心が得られるだけでなく、渦電流損の増大を抑制できて低鉄損な圧粉磁心が得られることがわかった。

【0147】

[断面観察]

試料No. 1-1と試料No. 1-101のそれぞれにおいて、三つ以上の軟磁性粒子で囲まれる領域をTEMで観察した。ここでは観察数を20視野以上とした。その結果、試料No. 1-1は、いずれの領域にも絶縁片を観察することができた(例えば図1参照)。一方、試料No. 1-101は、いずれの領域にも絶縁片は確認できなかった。

20

【0148】

[組成及び組織分析]

試料No. 1-1の絶縁片の組成分析を試験例1の絶縁層の組成分析と同様の方法により行ったところ、絶縁層の構成材料と同じ材質で構成されていることがわかった。また、この絶縁片の組織分析をTEM観察により行ったところ、結晶化していることがわかった。

30

【0149】

以上のことから、被覆軟磁性粉末を熱処理した熱処理被覆粉末を用いれば、高密度と低損失とを兼ね備える圧粉磁心を製造でき、その高密度と低損失とを兼ね備える圧粉磁心は、三つ以上の軟磁性粒子で囲まれる領域に絶縁片が存在する、換言すれば、上記領域に絶縁片が存在する圧粉磁心は高密度と低損失とを兼ね備えることがわかった。

【0150】

《試験例2》

試験例2では、圧粉磁心の試料No. 2-1～試料No. 2-11を作製し、各試料の密度、及び磁気特性を評価した。その結果を表4に示す。試料No. 2-1は、試験例1の試料No. 1-1と同じである。試料No. 2-2～試料No. 2-11は、絶縁層(被覆層と外側層)の厚さを異なる厚さとした点を除き、試料No. 1-1と同様にして作製した。

40

【0151】

【表 4】

試料 No.	圧粉磁心					
	絶縁層 厚さ(nm)		密度 (g/cm ³)	鉄損 (kW/m ³)	ヒステリシス損 (kW/m ³)	渦電流損 (kW/m ³)
	被覆層	外側層				
2-1	102	31	7.588	118.2	95.9	22.3
2-2	14	33	7.651	132.1	91.1	41
2-3	35	32	7.632	121.8	92.7	29.1
2-4	63	33	7.611	118.9	93.2	25.7
2-5	118	30	7.524	120.3	98.1	22.2
2-6	142	32	7.471	126.7	104.2	22.5
2-7	103	4	7.628	143.8	93.4	50.4
2-8	97	12	7.606	122.1	93.9	28.2
2-9	99	64	7.545	119.4	97.6	21.8
2-10	104	94	7.504	120.4	98.8	21.6
2-11	93	113	7.477	126.1	103.6	22.5

10

【 0 1 5 2 】

表 4 に示すように、被覆層の厚さが 30 nm 以上 120 nm 以下で、外側層の厚さが 10 nm 以上 100 nm 以下の試料 No. 2-1、2-3 ~ 2-5、2-8 ~ 2-10 はいずれも、密度が 7.5 g/cm³ 以上であり、渦電流損が 30 kW/m³ 以下であり、高密度と低損失とを兼備している。一方、外側層の厚さが 10 nm 以上 100 nm 以下であるが、被覆層の厚さが 14 nm の試料 No. 2-2 は、渦電流損（鉄損）が大きく、被覆層の厚さが 142 nm の試料 No. 2-6 は、密度が低い。他方、被覆層の厚さが 30 nm 以上 120 nm 以下であるが、外側層の厚さが 4 nm の試料 No. 2-7 は、渦電流損（鉄損）が大きく、外側層の厚さが 113 nm の試料 No. 2-11 は、密度が低い。このことから、絶縁層の厚さが過度に薄いと、粒子間の絶縁性を高められず、渦電流損が増大し、絶縁層の厚さが過度に厚いと、粒子同士の間が広くなることに加えて、粉末が変形し難くなることで密度が高められないと考えられる。

20

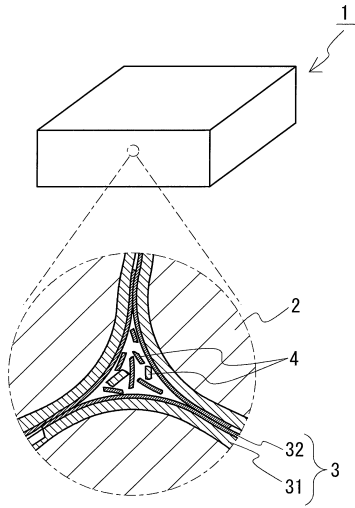
【符号の説明】

【 0 1 5 3 】

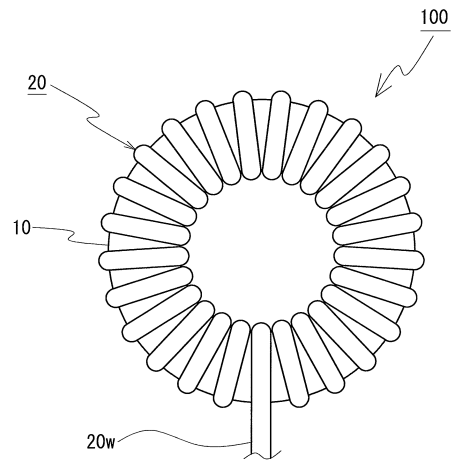
- 1 圧粉磁心
- 2 軟磁性粒子
- 3 絶縁層
 - 3 1 被覆層
 - 3 2 外側層
- 4 絶縁片
- 1 0 0 コイル部品
 - 1 0 磁性コア
 - 2 0 コイル
 - 2 0 w 巻線

30

【図 1】



【図 2】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 F 41/02 (2006.01) H 0 1 F 27/255
H 0 1 F 41/02 D

(72)発明者 渡 辺 麻子
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内
(72)発明者 鶴田 聖
兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

審査官 佐久 聖子

(56)参考文献 特開2006-128663(JP,A)
特開2007-012994(JP,A)
特開2002-313620(JP,A)
特開2009-228107(JP,A)
特開2014-019929(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、3 3 / 0 2、
H 0 1 F 1 / 1 2 - 1 / 3 7 5、 1 / 4 4、
2 7 / 2 4 - 2 7 / 2 6、4 1 / 0 0 - 4 1 / 0 4、
4 1 / 0 8 - 4 1 / 1 0