

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6571146号
(P6571146)

(45) 発行日 令和1年9月4日 (2019. 9. 4)

(24) 登録日 令和1年8月16日 (2019. 8. 16)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 F 1/24 (2006. 01)	HO 1 F 1/24
HO 1 F 41/02 (2006. 01)	HO 1 F 41/02 D
HO 1 F 27/24 (2006. 01)	HO 1 F 27/24 K
HO 1 F 27/255 (2006. 01)	HO 1 F 27/255
HO 1 F 37/00 (2006. 01)	HO 1 F 37/00 M
請求項の数 6 (全 18 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願2017-181827 (P2017-181827)	(73) 特許権者 390005223 株式会社タムラ製作所 東京都練馬区東大泉 1 丁目 1 9 番 4 3 号
(22) 出願日 平成29年9月21日 (2017. 9. 21)	
(65) 公開番号 特開2019-57654 (P2019-57654A)	(74) 代理人 100081961 弁理士 木内 光春
(43) 公開日 平成31年4月11日 (2019. 4. 11)	(74) 代理人 100112564 弁理士 大熊 考一
審査請求日 平成30年9月4日 (2018. 9. 4)	(74) 代理人 100163500 弁理士 片桐 貞典
前置審査	(74) 代理人 230115598 弁護士 木内 加奈子
	(72) 発明者 大島 泰雄 埼玉県坂戸市千代田 5 丁目 5 番 3 0 号 株 式会社タムラ製作所坂戸事業所内
	最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 軟磁性材料、軟磁性材料を用いた圧粉磁心、圧粉磁心を用いたリアクトル、及び圧粉磁心の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

周囲を絶縁層で被覆した軟磁性粉末と、
前記軟磁性粉末に対して添加される潤滑剤と、
を備え、
前記潤滑剤は、前記軟磁性粉末に対して 0. 5 w t % のステアリン酸カルシウムを含み

、
前記絶縁層は、
前記軟磁性粉末の周囲に均一に分布する絶縁粉末層と、
前記絶縁粉末層の外側を被覆するシリコンオリゴマー層と、
前記シリコンオリゴマー層の外側を被覆するシリコンレジン層と、
を含み、
前記絶縁粉末層の一部または全てがトリポリリン酸アルミ粉末であり、
前記トリポリリン酸アルミ粉末の添加量は、前記軟磁性粉末に対して 1. 0 ~ 1. 5 w t % であること、
を特徴とする軟磁性材料。

【請求項 2】

前記潤滑剤の添加量は、前記軟磁性粉末に対して 0. 5 w t % であり、
前記潤滑剤のうち前記ステアリン酸カルシウムの割合が 1 0 0 % であることを特徴とする請求項 1 に記載の軟磁性材料。

【請求項 3】

前記シリコンオリゴマー層は、メチル系またはメチルフェニル系のシリコンオリゴマーを固化したものであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の軟磁性材料。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の軟磁性材料を使用した圧粉磁心であって、酸化カルシウムが含有されていることを特徴とする圧粉磁心。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の圧粉磁心にコイルが巻回されたリアクトル。

【請求項 6】

軟磁性粉末の周囲に前記軟磁性粉末に対して 1.0 ～ 1.5 wt % のトリポリリン酸アルミ粉末を均一に分散させることにより、絶縁粉末層を形成する絶縁粉末層形成工程と、前記絶縁粉末が均一に分散した軟磁性粉末にシリコンオリゴマーを混合し、乾燥させ、シリコンオリゴマー層を形成するシリコンオリゴマー層形成工程と、前記シリコンオリゴマー層が形成された前記軟磁性粉末にシリコンレジンを混合し、乾燥させ、シリコンレジン層を形成するシリコンレジン層形成工程と、前記シリコンレジン層が形成された前記軟磁性粉末にステアリン酸カルシウムを 0.5 wt % 混合する潤滑剤混合工程と、前記各工程を経た前記軟磁性粉末を、加圧成形処理して成形体を作製する成形工程と、を有する圧粉磁心の製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、軟磁性材料、軟磁性材料を用いた圧粉磁心、圧粉磁心を用いたリアクトル、及び圧粉磁心の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

モーター、インバーター、コンバーターへの電力供給システムの一部として、リアクトルが利用されている。このリアクトルのコアとして、圧粉磁心が使用される。圧粉磁心は、金属粉末とこれを覆う絶縁皮膜とから構成された粉末を加圧成形することにより形成される。

30

【0003】

圧粉磁心は、エネルギー交換効率の向上や低発熱などの要求から、小さな印加磁界で大きな磁束密度を得ることが出来る磁気特性と、磁束密度変化におけるエネルギー損失が小さいという磁気特性が求められる。磁束密度に関する磁気特性とは、具体的には透磁率 (μ) である。エネルギー損失に関する磁気特性とは、具体的には鉄損 (P_{cv}) である。鉄損 (P_{cv}) は、ヒステリシス損失 (P_h) と、渦電流損失 (P_e) の和で表される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

40

【特許文献 1】特開 2008-305823 号公報

【特許文献 2】特開 2010-001561 号公報

【特許文献 3】特開 2012-129217 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

軟磁性粉末を用いた圧粉磁心は、上記の通り磁束密度の向上が求められており、そのためには、圧粉磁心を高密度にする必要がある。そのため、高い圧力で圧粉成形されるが、その際に多くの歪みが軟磁性粉末の粒子内に発生する。この歪みにより圧粉磁心の保磁力が高まり、ヒステリシス損失が増加してしまう。ヒステリシス損失は、圧粉磁心全体とし

50

ての損失の増加、飽和磁束密度の低下及び、直流重畳特性の悪化につながる。そこで、圧粉成形に軟磁性粉末の粒子内に発生する歪みの低減を目的として、軟磁性粉末に潤滑剤を添加しておき、圧粉成形する方法が採用されている。また、圧粉磁心は経年劣化により、透磁率の悪化や、ヒステリシス損失の悪化による鉄損（P c v）の低下が起こることが知られている。

【0006】

本発明者は、鋭意検討の結果、潤滑剤としてステアリン酸カルシウムを使用することで、
高い圧力での圧粉成形時の軟磁性粉末内の歪みの発生を抑制しつつも、経年劣化による透磁率や、ヒステリシス損失の悪化を抑制することが可能であるとの知見を得た。本発明の
目的は、潤滑剤としてステアリン酸カルシウムを使用することで、高い圧力で圧粉成形しても軟磁性粉末の粒子内に歪の発生を抑制しつつ、経年劣化による圧粉磁心の磁気特性の悪化を低減した軟磁性材料、軟磁性材料を用いた圧粉磁心、圧粉磁心を用いたリアクトル、及び圧粉磁心の製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の目的を達成するため、本発明の軟磁性材料は、周囲を絶縁層で被覆した軟磁性粉末と、前記軟磁性粉末に対して添加される潤滑剤と、を備え、前記潤滑剤は、前記軟磁性粉末に対して0.5 wt %のステアリン酸カルシウムを含み、前記絶縁層は、前記軟磁性粉末の周囲に均一に分布する絶縁粉末層と、前記絶縁粉末層の外側を被覆するシリコーンオリゴマー層と、前記シリコーンオリゴマー層の外側を被覆するシリコーンレジン層と、を含み、前記絶縁粉末層の一部または全てがトリポリリン酸アルミ粉末であり、前記トリポリリン酸アルミ粉末の添加量は、前記軟磁性粉末に対して1.0～1.5 wt %であること、を特徴とする。

【0008】

前記潤滑剤の添加量は、前記軟磁性粉末に対して0.5 wt %であり、前記潤滑剤のうち前記ステアリン酸カルシウムの割合を100%としても良い。

【0010】

前記シリコーンオリゴマー層は、メチル系またはメチルフェニル系のシリコーンオリゴマーを固化したものであっても良い。

【0016】

また、前記軟磁性材料を使用した圧粉磁心や、当該圧粉磁心にコイルが巻回されたリアクトルや、当該圧粉磁心の製造方法も本発明の一態様である。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、潤滑剤としてステアリン酸カルシウムを使用することにより、高い圧力で圧粉成形しても軟磁性粉末の粒子内に歪みの発生を抑制することが可能となる。これにより、ヒステリシス損失を低減し、飽和磁束密度を上げることができる。その結果、低損失で直流重畳特性に優れた圧粉磁心とその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の一実施形態に係る圧粉磁心の製造方法を示すフローチャートである。

【図2】第1の特性比較におけるステアリン酸カルシウムの添加量と透磁率の相関を示すグラフである。

【図3】第1の特性比較におけるステアリン酸カルシウムの添加量と鉄損の相関を示すグラフである。

【図4】第1の特性比較におけるステアリン酸カルシウムの添加量と密度の相関を示すグラフである。

【図5】第1の特性比較におけるステアリン酸カルシウムの添加量と圧環強度の相関を示すグラフである。

【図6】第2の特性比較におけるトリポリリン酸アルミの添加量と透磁率の相関を示すグラフである。

【図7】第2の特性比較におけるトリポリリン酸アルミの添加量と鉄損の相関を示すグラフである。

【図8】第2の特性比較におけるトリポリリン酸アルミの添加量と密度の相関を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

[1. 実施形態]

[1-1. 構成]

本実施形態の軟磁性粉末材料は、圧粉磁心の材料である。軟磁性粉末材料には、周囲を絶縁層で被覆した軟磁性粉末と、軟磁性粉末に対して添加される潤滑剤と、が含まれる。潤滑剤としては、軟磁性粉末に対して0.1~0.5wt%のステアリン酸カルシウムを使用する。本実施形態では、潤滑剤を添加した軟磁性粉末材料を、所定の形状に加圧成形処理して成形体を作製する。成形体の形状は、例えば、トロイダル状、I型、U型、θ型、E型、EER型など、種々の形状とすることができる。所定の形状に整えた成形体を熱処理することで圧粉磁心が成型される。なお、絶縁層は、絶縁粉末層、シリコンオリゴマー層及び、シリコンレジン層の中から要求される性能に合わせて任意に選択することが可能である。本実施形態では、説明のために絶縁層が、絶縁粉末層、シリコンオリゴマー層、及びシリコンレジン層の3層からなるものとして説明する。

【0020】

(1) 軟磁性粉末

【0021】

本実施形態で使用する軟磁性粉末は、鉄を主成分とする軟磁性粉末であって、パーマロイ(Fe-Ni合金)、Si含有鉄合金(Fe-Si合金)、センダスト合金(Fe-Si-Al合金)、純鉄粉、などを用いる。鉄合金は、その他にCoやAl、Cr、Mnを含んでもよい。パーマロイ(Fe-Ni合金)を用いる場合、Feに対するNiの比率は50:50や25:75が好ましいが、他の比率であってもよい。例えば、Fe-80Ni、Fe-36Niでもよい。FeとNiの他にSi、Cr、Mo、Cu、Nb、Ta等を含んでもよい。Fe-Si合金粉末は、例えば、Fe-3.5%Si合金粉末、Fe-6.5%Si合金粉末が挙げられるが、Feに対するSiの比率は、3.5%や6.5%以外であってもよい。純鉄粉は、Feを99%以上含むものである。軟磁性粉末は1種類でなく、2種類以上の混合粉でもよい。

【0022】

軟磁性粉末の平均粒子径(D50)は20μm~150μmが好ましい。なお、本明細書において「平均粒子径」とは、特に断りがない限り、D50、すなわちメジアン径を指すものとする。軟磁性粉末の製造方法は問わない。粉碎法により作製されたものでも、アトマイズ法により作製されたものでもよい。アトマイズ法は、水アトマイズ法、ガスアトマイズ法、水ガスアトマイズ法のいずれでもよい。水アトマイズ法は、現状、もっとも入手性が良く低コストである。水アトマイズ法を使用した場合は、その粒子形状がいびつであるので、それを加圧成形した粉末成形体の機械的強度を向上させやすい。

【0023】

軟磁性粉末は、球形であることが好ましい。第1の磁性粉末の円形度は、0.90以上であることが好ましい。円形度を高くすることで、軟磁性粉末同士の隙間が少なくなり、密度及び透磁率の向上を図ることができるからである。

【0024】

軟磁性粉末の製造方法は、任意の方法を採用することができる。例えば、ガスアトマイズ法や水アトマイズ法あるいは水ガスアトマイズ法で製造されたものを使用することで粒

10

20

30

40

50

子の平均円形度を、0.90以上とする。また、各種アトマイズ法のみで平均円形度が0.90以上の粉末を形成できない場合には、さらに粒子の平均円形度をあげる加工を施しても良い。例えば、ガスアトマイズ法による軟磁性粉末はほぼ球状の粒子である。したがって、ガスアトマイズ法により形成した粉末は、加工せずそのまま使用することが可能である。一方、水アトマイズ法で製造された軟磁性粉末は、その表面に凹凸が形成された非球状の粒子である。この場合には、ボールミル、メカニカルアロイング、ジェットミル、アトライター又は表面改質装置を用いて表面の凹凸を均すことで、粒子の平均円形度を上昇させることができる。

【0025】

(2) 絶縁層

絶縁層は、軟磁性粉末の周囲に形成される絶縁性能を有する層である。本実施形態では、絶縁層として、複数の種類の層を形成する。本実施形態では、内側より絶縁粉末層、絶縁被膜層の順に軟磁性粉末の周囲を覆う。また、絶縁被膜層は、軟磁性粉末の表面に設けられたケイ素(Si)を含む第1の絶縁被膜層と、第1の層の表面に設けられたケイ素(Si)を含む第2の絶縁被膜層とを備える。

【0026】

(2-1. 絶縁粉末層)

絶縁粉末層は、軟磁性粉末の表面に絶縁粉末を均一に付着させた層である。絶縁粉末としては、縮合リン酸金属塩粉末や無機絶縁粉末を使用する。絶縁粉末は、1種類でなく、2種類以上混合しても良い。

【0027】

(縮合リン酸金属塩)

軟磁性粉末に混合する絶縁粉末である縮合リン酸金属塩粉末としては、縮合リン酸アルミ粉末が適している。その中でも第一リン酸アルミを加熱して脱水反応させたトリポリリン酸アルミ粉末やメタリン酸アルミニウム粉末又はこれらを混合した粉末が適している。トリポリリン酸アルミは、常温で白色微粉末であり、粉末は水に難溶性である。トリポリリン酸アルミは、板状の結晶が重なり合った層状化合物である。トリポリリン酸アルミニウムの具体例として、トリポリリン酸二水素アルミニウムが挙げられる。トリポリリン酸アルミの平均粒子径が1.5 μm ~6.0 μm であるとさらに好ましい。トリポリリン酸アルミは防錆効果があり、軟磁性粉末に対して添加した場合、軟磁性粉末の表面の酸化を防止する作用がある。粉末表面が酸化すると軟磁性粉末間の距離が増大する。軟磁性粉末間の距離の増加は、透磁率の悪化につながる。また、軟磁性粉末表面が酸化すると、軟磁性粉末内の結晶構造に歪みが生じる。結晶構造の歪みは、圧粉磁心におけるヒステリシス損失の悪化につながる。トリポリリン酸アルミを軟磁性粉末の表面に均一に分布させることにより、圧粉磁心の透磁率の悪化やヒステリシス損失の悪化を防止することが可能となる。

【0028】

(無機絶縁粉末)

軟磁性粉末に混合する無機絶縁粉末としては、融点が1000℃以上の無機絶縁粉末であるアルミナ粉末、マグネシア粉末、シリカ粉末、チタニア粉末、ジルコニア粉末の少なくとも1種類以上であることが好ましい。融点が1000℃以上の無機絶縁粉末を使用するのは、後述の成形時に加わった圧力による歪みをとる目的で行う熱処理工程で加えられる熱により、無機絶縁粉末が焼結し圧粉磁心の材料として使用できなくなることを防止するためである。

【0029】

無機絶縁粉末の比表面積は65~130 m^2/g (粒子径にすれば7~200 nm) が好ましく、より好ましくは100~130 m^2/g (粒子径で7~50 nm) である。無機絶縁粉末の比表面積が大きいほうが、粒子径が小さくなる。粒子径が小さいほうが、軟磁性粉末間に無機絶縁粉末が隙間なく入り込み、密度の高い絶縁被膜が形成され、圧粉磁心成形時の歪が緩和される。一方、無機絶縁粉末の比表面積が大きすぎると、粒子径が小

10

20

30

40

50

さくなりすぎて製造が困難となる。

【0030】

無機絶縁粉末の添加量は、軟磁性粉末に対して0.25～2.0wt%とする。これより少なれば絶縁性能が十分に発揮できず、高い熱処理温度では渦電流損失が著しく増加する場合がある。一方、これより多いと絶縁性能は発揮できるが、成形密度が低くなり、渦電流損失以外の磁気特性が低下するという問題点が生じる場合がある。これらの問題が生じない場合は、無機絶縁粉末層は必ずしも必要ではない。

【0031】

(2-2. 絶縁被膜層)

絶縁粉末層を形成した軟磁性粉末は、2種類の絶縁被膜層で覆われる。すなわち、軟磁性粉末を中心として、絶縁粉末層を形成した軟磁性粉末の外側に第1層目の第1の絶縁被膜層が形成され、第1層目の第1の絶縁被膜層の外側に第2層目の第2の絶縁被膜層が形成される。第1の絶縁被膜層は、シリコンオリゴマーが熱処理工程により重合反応して形成されたシリカ(Si)層である。第2の絶縁被膜層は、シリコンレジン在所定量添加し、大気雰囲気中、所定の温度で乾燥させたシリカ(Si)層である。軟磁性粉末の周囲に絶縁粉末を付着させた場合、第1の層には絶縁粉末が含まれる。この場合、第1の絶縁被膜層は、第2の層と比べてSiの密度が小さくなる傾向がある。第1の絶縁被膜層と第2の絶縁被膜層は、例えばSiの密度の違いにより識別可能である。第1の層には無機絶縁粉末が含まれるが、第2の層には、無機絶縁粉末が含まれないか、含まれても微量であるためである。

【0032】

(シリコンオリゴマー)

シリコンオリゴマーは、主骨格がシロキサン結合であり、機械的結合力が強い。また、Si原子を1個有するモノマーであるシランカップリング剤に対して、低分子で、二量体、三量体である分子量1000程度のシリコンオリゴマーを用いたほうが、その構造上、膜厚を厚くできると考えられる。すなわち、シリコンオリゴマー層を絶縁被膜の中間層として形成することにより、絶縁被膜全体として機械的結合力を強く、膜厚を厚くすることができる。

【0033】

具体的には、シリコンオリゴマーは、アルコキシシリル基を有する。アルコキシシリル基は、メトキシ系、エトキシ系、メトキシ/エトキシ系のものが含まれる。アルコキシシリル基を有するシリコンオリゴマーであれば、反応性官能基を有さないメチル系、メチルフェニル系のものや、アルコキシシリル基及び反応性官能基を有するエポキシ系、エポキシメチル系、メルカプト系、メルカプトメチル系、アクリルメチル系、メタクリルメチル系、ビニルフェニル系のもの等を用いることができる。特に、メチル系またはメチルフェニル系のシリコンオリゴマーを用いることで厚く硬い絶縁層を形成することができる。

【0034】

シリコンオリゴマーに対するアルコキシシリル基の含有量は、20wt%～45wt%であることが好ましい。アルコキシシリル基の含有量が20wt%より少ないと、密度が低下し、直流重畳特性が悪化するとともにヒステリシス損失が増加する。また、アルコキシシリル基の含有量が45wt%より多いと、密度が低下して、ヒステリシス損失が増加する。より好ましくは、アルコキシシリル基の含有量は、28wt%～40wt%である。この範囲であれば、含有量が20wt%～45wt%の範囲の中でも、ヒステリシス損失が少なく、かつ、密度が高いため、好適である。また、密度が高いため、透磁率が高く、直流重畳特性が良好である。

【0035】

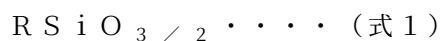
シリコンオリゴマーは、その構造内に下記の(式1)で表されるT単位(3官能性)を含むシリコンオリゴマーである。シリコンオリゴマー層を形成するシリコンオリゴマーは、モノマー、すなわち、下記の(式2)で表されるM単位(1官能性)を含まな

いことが好ましい。シリコンオリゴマー層を形成する際の乾燥時にM単位部分が揮発して揮発した部分が粗になり、高温高湿に曝した場合に、磁気特性が悪化するからである。すなわち、シリコンオリゴマーにM単位が含まれる場合には、シリコンオリゴマー層を形成した際にM単位部分が粗になり、その部分が外気に触れやすくなる。この状態で高温高湿の環境下で曝すと、粗になった隙間部分に外気が入り込み、その部分で錆などが発生し、特性悪化の原因となる。例えば、リアクトルのサンプルを、85℃、95%の高温高湿の環境下で100時間放置した場合、M単位が含まれるシリコンオリゴマーでシリコンオリゴマー層を形成した場合の従来例では、その放置前よりも、透磁率が10%低下し、ヒステリシス損失が30%増加する。これに対し、同じ条件でシリコンオリゴマー層をT単位のみで構成されM単位を含まないシリコンオリゴマーで形成した場合では、その放置前よりも、透磁率が3%低下するに留まり、また、ヒステリシス損失が5%増加する程度に留まる。

10

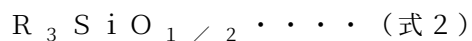
【0036】

(式1)



(Rは、有機置換基である。)

(式2)



(Rは、有機置換基である。)

【0037】

20

シリコンオリゴマー層を形成するためのM単位を含まないシリコンオリゴマーとしては、T単位のみからなるシリコンオリゴマーや、T単位を含むシリコンオリゴマーの他に、下記の(式3)で表されるD単位(2官能性)又は(式4)で表されるQ単位(4官能性)を含むシリコンオリゴマーであっても良い。これらのシリコンオリゴマーであっても、高温高湿下で長時間曝しても、透磁率、ヒステリシス損失の劣化を少なくすることができる。

(式3)



(Rは、有機置換基である。)

(式4)



30

【0038】

シリコンオリゴマーの分子量は、100~4000であることが好ましい。分子量が100より小さい場合、熱処理工程において熱分解により破壊または消失されやすく、軟磁性粉末間が絶縁破壊されやすい。一方、分子量が4000より大きい場合、膜厚が厚くなりすぎて、磁気特性が低下してしまう。

【0039】

シリコンオリゴマーの添加量は、軟磁性粉末に対して、0.15wt%~3.5wt%であることが好ましい。添加量が1.0wt%より少ないと直流重畳特性が悪化する。添加量が2.0wt%より多いと密度が低下することにより、初透磁率が低下するとともにヒステリシス損失が増加する。

40

【0040】

シリコンオリゴマー層の乾燥温度は、25℃~350℃が好ましく、軟磁性粉末がFe-Ni合金粉末である場合には200℃~350℃がより好ましい。軟磁性粉末がFe-Si合金粉末又は純鉄粉である場合には、25℃~350℃がより好ましい。乾燥温度が25℃未満であると膜の形成が不完全となり、渦電流損失が高くなる。一方、乾燥温度350℃より大きいと粉末が酸化することによりヒステリシス損失が高くなり、成形体の密度及び透磁率が低下する。乾燥時間は、数時間程度であり、例えば、1時間~2時間程度とする。

【0041】

50

なお、無機絶縁粉末付着工程を設けない場合、シリコンオリゴマー層形成工程は、軟磁性粉末に対して、シリコンオリゴマーを所定量添加して、大気雰囲気中、所定の温度で乾燥を行うものである。シリコンオリゴマー層形成工程により、軟磁性粉末の表面にシリコンオリゴマー層を形成する。

【0042】

(シリコンレジン)

シリコンレジンとはシロキサン結合 ($\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$) を主骨格に持つ樹脂である。シリコンレジンを用いることで可撓性に優れた被膜を形成することができる。シリコンレジンには、メチル系、メチルフェニル系、プロピルフェニル系、エポキシ樹脂変性系、アルキッド樹脂変性系、ポリエステル樹脂変性系、ゴム系等を用いることができる。この中

10

でも特に、メチルフェニル系のシリコンレジンを用いた場合、加熱減量が少なく、耐熱性に優れたシリコンレジン層を形成することができる。

シリコンレジンの添加量は、軟磁性粉末に対して、0.5～1.5wt%であることが好ましい。添加量が0.5wt%より少ないと絶縁被膜として機能せず、渦電流損失が増加することにより磁気特性が低下する。添加量が1.5wt%より多いとコアが膨張することにより成形体の密度が低下し、透磁率が低下する。シリコンオリゴマーに対するシリコンレジンの添加量を適宜調整することで、強固で絶縁性能の高い絶縁被膜を形成することができ、特にシリコンオリゴマーに対するシリコンレジンの重量比が1:0.8～1:3の場合に、強度と絶縁性能が優れている。

20

【0043】

シリコンレジン層の乾燥温度は、100℃～400℃が好ましく、軟磁性粉末がFe-Ni合金粉末である場合には200℃～300℃がより好ましい。軟磁性粉末がFe-Si合金粉末である場合は100℃～400℃がより好ましい。軟磁性粉末が純鉄粉である場合には100℃～300℃がより好ましい。乾燥温度が100℃より小さいと膜の形成が不完全となり、渦電流損失が高くなる。一方、乾燥温度400℃より大きいと粉末が酸化することによりヒステリシス損失が高くなり、成形体の密度及び透磁率が低下する。乾燥時間は、2時間程度である。

【0044】

(3) 潤滑剤

潤滑剤として、ステアリン酸カルシウムを使用する。軟磁性粉末に対して潤滑剤を添加することにより、軟磁性粉末同士の滑りを良くすることができるので、混合時の密度を向上させ成形密度を高くすることができる。さらに、成形時の上パンチの抜き圧低減、金型と粉末の接触によるコア壁面の縦筋の発生を防止することが可能である。また、後述する焼鈍行程を経ることで、潤滑剤に含まれるステアリン酸カルシウムは酸化カルシウムとなりコア内に残留する。コア内の酸化カルシウムは、酸化カルシウムが持つ吸湿作用により、コアにおける錆びの発生を防止し、錆によるコアの特性悪化を防止する。

30

【0045】

潤滑剤の添加量は、軟磁性粉末に対して、0.1wt%～0.5wt%程度が好ましく、一般的には、0.5wt%程度である。これよりも少なければ、十分な効果を得ることができず、これより多いと、密度低下による最大磁束密度の低下、ヒステリシス損失の増加により磁気特性が低下する問題が発生する。

40

【0046】

また、潤滑剤としてステアリン酸カルシウムに加えて他のワックスを混合して使用しても良い。他のワックスとしては、ステアリン酸及びその金属塩ならびにエチレンビスステアラマイドなどのワックスが挙げられる。例えば、エチレンビスステアラマイド、ステアリン酸リチウム、ステアリン酸アルミなどである。ステアリン酸カルシウムに加えて他のワックスを混合して使用する場合の添加量は、それぞれを混合した潤滑剤が、軟磁性粉末に対して、0.1wt%～0.5wt%程度が好ましい。

【0047】

【0048】

50

〔1－2．圧粉磁心の製造方法〕

本実施形態の圧粉磁心の製造方法は、次のような各工程を有する。この工程を図1のフローチャートに示す。

(1) 軟磁性粉末に対して、絶縁粉末を混合して粉末を付着させる絶縁粉末付着工程（ステップ1）。

(2) 表面に絶縁粉末が付着した軟磁性粉末に対し、シリコンオリゴマーを混合してシリコンオリゴマー層を形成するシリコンオリゴマー層形成工程（ステップ2）。

(3) シリコンオリゴマー層が形成された軟磁性粉末に対し、シリコンレジンを混合してシリコンレジン層を形成するシリコンレジン層形成工程（ステップ3）。

(4) 前記工程を経た前記軟磁性粉末に対して、ステアリン酸カルシウムを混合する潤滑剤混合ステップ（ステップ4）

(5) 前記工程を経た前記軟磁性粉末を、加圧成形処理して成形体を作製する成形工程（ステップ5）。

(6) 成形工程を経た成形体を600℃以上で熱処理する熱処理工程（ステップ6）。

以下、各工程を具体的に説明する。

【0049】

(1) 絶縁粉末付着工程

絶縁粉末付着工程では、軟磁性粉末と、絶縁粉末とを混合する。混合は、混合機（W型、V型）、ポットミル等を使用して行い、この時、粉末に内部歪みが入らないように混合する。以上により、軟磁性粉末の表面に絶縁粉末層を付着することができる。軟磁性粉末の表面にトリポリリン酸アルミ粉末を付着することにより、軟磁性粉末に発生する錆を防止することができる。一方、軟磁性粉末の表面に無機絶縁粉末を付着することにより、軟磁性粉末の間を絶縁することができ、熱処理温度を上げることが可能になる。

【0050】

絶縁粉末の付着の態様としては、軟磁性粉末の表面に点状に分散して付着している場合、軟磁性粉末の表面に塊状に分散して付着している場合、軟磁性粉末の全表面若しくは表面の一部を覆うように無機絶縁粉末の層を形成しながら付着している場合などが含まれる。また、軟磁性粉末の表面に付着するだけでなく、軟磁性粉末の外側に形成されたシリコンオリゴマー層と混合し、シリコンオリゴマー層の中に分散している場合も含まれる。なお、混合機による攪拌時間などの条件によっては、シリコンオリゴマー層の中に分散しないこともある。

【0051】

(2) シリコンオリゴマー層形成工程

シリコンオリゴマー層形成工程では、軟磁性粉末に対して、シリコンオリゴマーを所定量添加して、大気雰囲気中、所定の温度で乾燥を行う。シリコンオリゴマー層形成工程により、軟磁性粉末の外側にシリコンオリゴマー層が形成される。

【0052】

絶縁粉末付着工程を設けない場合、シリコンオリゴマー層形成工程は、軟磁性粉末に対して、シリコンオリゴマーを所定量添加して、大気雰囲気中、所定の温度で乾燥を行う。シリコンオリゴマー層形成工程により、軟磁性粉末の表面にシリコンオリゴマー層を形成する。

【0053】

(3) シリコンレジン層形成工程

シリコンレジン層形成工程では、シリコンオリゴマー層が形成された軟磁性粉末に対して、シリコンレジンを所定量添加し、大気雰囲気中、所定の温度で乾燥させる。シリコンレジン層形成工程により、シリコンオリゴマー層の外側にシリコンレジン層が形成される。

【0054】

このような混合工程により、磁性粉末と樹脂との混合物である造粒粉を得ることができる。

【0055】

(4) 潤滑剤混合工程

潤滑剤混合工程では、シリコーンレジン層を形成した軟磁性粉末に対して、所定量のステアリン酸カルシウムを添加する。混合方法としては、混合は、混合機（W型、V型）、ポットミル等を使用して行う。ステアリン酸カルシウムに加えて他の潤滑剤を使用する場合には、この工程において混合することができる。他の潤滑剤を混合するタイミングは、ステアリン酸カルシウムの投入前、ステアリン酸カルシウムの投入時、ステアリン酸カルシウムの投入後から選択可能である。また、予め、ステアリン酸カルシウムと他の潤滑剤を混合しておき、混合した潤滑剤を、シリコーンレジン層を形成した軟磁性粉末に対して、添加しても良い。

10

【0056】

(5) 成形工程

成形工程では、潤滑剤と混合した表面に絶縁被膜が形成された軟磁性粉末を加圧成形することにより、成形体を形成する。成形時の圧力は $10 \sim 20 \text{ t o n} / \text{cm}^2$ であり、平均で $15 \text{ t o n} / \text{cm}^2$ 程度が好ましい。

【0057】

(5) 熱処理工程

熱処理工程では、成形工程を経た成形体に対して、 N_2 ガス中や $\text{N}_2 + \text{H}_2$ ガス非酸化性雰囲気中にて、 600°C 以上且つ軟磁性粉末に被覆した絶縁被膜が破壊される温度（例えば、 850°C とする）以下で、熱処理処理を行うことで圧粉磁心が作製される。絶縁被膜が破壊される温度以下で熱処理処理を行うのは、成形工程での歪みを開放すると共に、熱処理処理時の熱により軟磁性粉末の周囲に被覆した絶縁被膜が破れることを防止するためである。一方、熱処理温度を上げ過ぎると、この軟磁性粉末に被覆した絶縁被膜が破れることにより、絶縁性能の劣化から渦電流損失が大きく増加してしまう。それにより、磁気特性が低下するという問題が発生する。

20

【実施例】

【0058】

本発明の実施例を、表1、2および図1～図8を参照して、以下に説明する。

【0059】

(1) 測定項目

測定項目は、透磁率、鉄損、及び密度である。透磁率の測定及び鉄損の算出には、作製された各圧粉磁心に1次巻線（20ターン）を施し、リアクトルを作製した。また、作製したリアクトルの透磁率及び鉄損を下記の条件で算出した。

30

【0060】

<密度>

コアの密度は、見かけ密度である。すなわち、各コアのサンプルの外径、内径、及び高さを測り、これらの値からサンプルの体積（ cm^3 ）を、 $\pi \times (\text{外径}^2 - \text{内径}^2) \times \text{高さ}$ に基づき算出した。そして、サンプルの質量を測定し、測定した質量を算出した体積で除してコアの密度を算出した。

【0061】

<透磁率及び鉄損>

透磁率及び鉄損の測定条件は、2次巻線（3ターン）を施し、周波数 100 kHz 、最大磁束密度 $B_m = 100 \text{ mT}$ とした。透磁率は、鉄損 P_{cv} 測定時に最大磁束密度 B_m を設定したときの振幅透磁率とした。鉄損については、磁気計測機器であるBHアナライザ（岩通計測株式会社：SY-8232）を用いて算出した。この算出は、鉄損の周波数曲線を次の(1)～(3)式で最小2乗法により、ヒステリシス損係数、渦電流損失係数を算出することで行った。

40

【0062】

$$P_{cv} = K_h \times f + K_e \times f^2 \cdots (1)$$

$$P_h = K_h \times f \cdots (2)$$

50

$$P_e = K_e \times f^2 \cdots (3)$$

P_{cv} : 鉄損

K_h : ヒステリシス損係数

K_e : 渦電流損係数

f : 周波数

P_h : ヒステリシス損失

P_e : 渦電流損失

【0063】

(2) 第1の特性比較：絶縁粉末が無機絶縁粉末の場合における特性比較

本特性比較では、無機絶縁粉末を被覆した軟磁性粉末と潤滑剤を使用した複合軟磁性材を使用した圧粉磁心のサンプルを作製し、その特性の比較を行った。サンプルとなる圧粉磁心において、潤滑剤の量は軟磁性粉末に対して0.5wt%とした。潤滑剤内のステアリン酸カルシウムと、エチレンビスステアライドとの比率を変化させることで、複数のサンプルを作製し、ステアリン酸カルシウムの量に応じて実施例1～6及び比較例1とした。これらの作製方法と、その結果について下記に順に示す。

10

【0064】

平均粒子径27 μ mのFe_{6.5}Si粉末に対して、絶縁微粉末として比表面積100m²/gのアルミナ粉末（平均粒子径7nm程度）を0.25wt%混合した。そして、絶縁処理として、上記混合物に対し、0.4wt%のシリコンオリゴマーを混合し、200℃で1時間の加熱乾燥を行った。さらに、0.8wt%のシリコン樹脂を混合し、150℃で2時間の加熱乾燥を行い、造粒粉を作成した。

20

【0065】

次に、造粒粉に対して、0.5wt%の潤滑剤を混合した。潤滑剤として、ステアリン酸カルシウムとエチレンビスステアライドを添加するが、潤滑剤内のステアリン酸カルシウムの割合は、比較例1が0%であり、実施例1～6が20～100%とした。

【0066】

潤滑剤を混合した造粒粉を室温にて15ton/cm²の圧力で加圧成型し、外径16.5mm、内径11.0mm、高さ5.0mmのリング状の成型体を作製し、窒素雰囲気中にて850℃で保持時間2時間で熱処理を行い、圧粉磁心を作製した。

【0067】

これらのサンプルに対して、上記「測定項目」で示したように、リアクトルを作製し、透磁率、鉄損の算出、密度及び圧環強度の測定を行った。その後、各サンプルに対して、500時間の高温高湿（85℃ 85%）試験を行い、再度透磁率、鉄損の算出を行った。

30

【0068】

表1は、実施例1～6及び比較例1におけるステアリン酸カルシウムの割合、500時間の高温高湿試験を経た透磁率 μ 及び鉄損の変化率 P_{cv} (%)と、密度、圧環強度を示す。表1における透磁率の変化の率は、試験開始時の透磁率(μ_0)と500時間経過後の透磁率(μ_1)とし、以下の式により算出した。

$$(\mu_1 - \mu_0) \div \mu_0 \times 100 = \text{透磁率の変化率 } \mu (\%)$$

40

また、鉄損 P_{cv} の変化の率は、試験開始時の鉄損(P_{cv0})と500時間経過後の鉄損(P_{cv1})とし、以下の式により算出した。

$$(P_{cv1} - P_{cv0}) \div P_{cv0} \times 100 = \text{鉄損の変化率 } P_{cv} (\%)$$

[表1]

潤滑剤		500 時間での変化率(%)		密度 (g/cm ³)	圧環強度 (MPa)	
エチレンビスステアライド	ステアリン酸カルシウム	透磁率	鉄損			
(wt%)	(wt%)	μ	Pcv			
0.50	0.00	-11.2	12.6	6.63	35.2	比較例1
0.40	0.10	-7.0	8.9	6.68	35.6	実施例1
0.30	0.20	-5.8	6.0	6.69	37.1	実施例2
0.25	0.25	-5.0	5.0	6.70	37.7	実施例3
0.20	0.30	-4.9	4.9	6.71	38.9	実施例4
0.10	0.40	-4.0	4.4	6.74	40.6	実施例5
0.00	0.50	-3.2	4.1	6.75	41.2	実施例6

10

【0069】

また、表1より、ステアリン酸カルシウムの添加量と透磁率、鉄損、密度及び圧環強度の相関を示す図を図2～5として作成した。

【0070】

表1及び図2より、潤滑剤として軟磁性粉末に対してエチレンビスステアライドを0.5wt%添加した比較例1では、透磁率の変化率 μ が-11.2%となった。透磁率の変化率 μ のマイナスは、試験開始時の透磁率 μ_0 より、試験後の透磁率 μ_1 が低下していることを示し、11.2は、その割合を示している。すなわち、500時間の高温高湿試験の結果、透磁率が10%以上低下したこととなる。一方、潤滑剤として軟磁性粉末に対して0.1～0.5wt%のステアリン酸カルシウムを含ませ作製した圧粉磁心において

20

【0071】

表1及び図3より、潤滑剤として軟磁性粉末に対してエチレンビスステアライドを0.5wt%添加した比較例1では、鉄損の変化率Pcvが12.6%となった。一方、潤滑剤として軟磁性粉末に対して0.1～0.5wt%のステアリン酸カルシウムを含ませ作製した圧粉磁心においては、鉄損の変化率Pcvは、4.1%～8.9%となった。500時間の高温高湿試験を行っても、鉄損の変化は10%未満であることがわかる。また

30

【0072】

また、密度に着目した図4や表1の密度の項目が示すように、実施例1～6は、比較例1と比較して密度が高くなることがわかる。すなわち、エチレンビスステアライドに代えてステアリン酸カルシウムを添加することで、同じ成型圧力でも高密度の圧粉磁心を作製することが可能となる。

【0073】

さらに、圧環強度に着目した図5や表1の圧環強度の項目が示すように、実施例1～6は、比較例1と比較して圧環強度が高くなることがわかる。すなわち、エチレンビスステ

40

【0074】

以上のように、潤滑剤として0.1～0.5wt%のステアリン酸カルシウムを使用した軟磁性材料より作製した圧粉磁心においては、長時間の使用においても透磁率の変化率 μ 及び鉄損の変化率Pcvが小さい圧粉磁心を作製することが可能となる。

【0075】

(3) 第2の特性比較：絶縁粉末がトリポリリン酸アルミの場合における特性比較

本特性比較では、トリポリリン酸アルミ粉末を被覆した軟磁性粉末と潤滑剤を使用した複合軟磁性材を使用した圧粉磁心のサンプルを作製し、その特性の比較を行った。サンプ

50

ルとなる圧粉磁心において、潤滑剤としてステアリン酸カルシウムを使用し、添加量は軟磁性粉末に対して0.5wt%とした。トリポリリン酸アルミ粉末の量を変化させることで、複数のサンプルを作製し、トリポリリン酸アルミ粉末の量に応じて実施例1～6及び比較例1とした。これらの作製方法と、その結果について下記に順に示す。

【0076】

平均粒子径27 μ mのFe_{6.5}Si粉末に対して、絶縁微粉末として0.25～1.50wt%のトリポリリン酸アルミを混合した。そして、絶縁処理として、上記混合物に対し、0.5wt%のシリコンオリゴマーを混合し、200℃で1時間の加熱乾燥を行った。さらに、0.8wt%のシリコン樹脂を混合し、150℃で2時間の加熱乾燥を行い、目開き300 μ mの篩を通し、造粒粉を作成した。そして、造粒粉に対して、潤滑剤として0.5wt%のステアリン酸カルシウムを混合した。

10

【0077】

潤滑剤を混合した造粒粉を室温にて15ton/cm²の圧力で加圧成型し、外径16.5mm、内径11.0mm、高さ5.0mmのリング状の成型体を作製し、窒素雰囲気中にて850℃で保持時間2時間熱処理を行い、圧粉磁心を作製した。

【0078】

これらのサンプルに対して、上記「測定項目」で示したように、リアクトルを作製し、透磁率、鉄損の算出、及び密度の測定を行った。その後、各サンプルに対して、500時間の高温高湿（85℃ 85%）試験を行い、再度透磁率、鉄損の算出を行った。

20

【0079】

表2は、実施例7～11におけるステアリン酸カルシウムの割合、500時間の高温高湿試験を経た透磁率 μ 及び鉄損の変化率Pcv（%）と、密度を示す。

〔表2〕

絶縁粉末 トリポリリン酸アルミ (wt%)	潤滑剤		500時間での変化率(%)		密度 (g/cm ³)	
	種類	添加量 (wt%)	透磁率 μ	損失 Pcv		
0.25	ステアリン酸Ca	0.5	-4.8	5.0	6.69	実施例7
0.50	ステアリン酸Ca	0.5	-4.2	3.0	6.68	実施例8
0.75	ステアリン酸Ca	0.5	-4.0	2.5	6.64	実施例9
1.00	ステアリン酸Ca	0.5	-2.4	2.1	6.59	実施例10
1.50	ステアリン酸Ca	0.5	-2.4	2.3	6.57	実施例11

30

【0080】

また、表2より、トリポリリン酸アルミの添加量と透磁率、鉄損、及び密度の相関を示す図を図6～8として作成した。

【0081】

表2及び図6より、絶縁粉末層の粉末としてトリポリリン酸アルミ粉末を使用した実施例7～11においては、透磁率の変化率 μ が-4.8～-2.4%であることがわかる。これは、すべてのサンプルにおいて、0.25wt%以上のトリポリリン酸アルミ粉末を使用することにより、透磁率の変化率 μ が-5.0%以下となり、長時間の使用においても透磁率の変化率 μ が小さい圧粉磁心を作製することが可能となる。

40

【0082】

表2及び図7より、絶縁粉末層の粉末としてトリポリリン酸アルミ粉末を使用した実施例7～11においては、鉄損の変化率Pcvが2.1～5.0%となることがわかる。これは、すべてのサンプルにおいて、0.25wt%以上のトリポリリン酸アルミ粉末を使用することにより、鉄損の変化率Pcvが5.0%以下となり、長時間の使用においても鉄損の変化率Pcvが小さい圧粉磁心を作製することが可能となる。

【0083】

一方、密度に着目した図8や表2の密度の項目が示すように、トリポリリン酸アルミ粉末の添加量を多くすることで、密度は低下する。透磁率の変化率、及び鉄損の変化率とも

50

に、トリポリリン酸アルミ粉末の量が1.00wt%の場合と1.50wt%のでは、変化率に差がないか、トリポリリン酸アルミ粉末の量が1.50wt%の場合の方が大きい。すなわち、トリポリリン酸アルミ粉末の量が1.50wt%超添加しても、透磁率の変化率、及び鉄損の変化率が減少しないと推察される。換言すれば、透磁率の変化率、及び鉄損の変化率を小さくするために、トリポリリン酸アルミ粉末を添加する場合に、好適な範囲は0.25～1.50であることがわかる。

【0084】

以上のように、絶縁粉末層の粉末としてトリポリリン酸アルミ粉末を使用し、潤滑剤として0.5wt%ステアリン酸カルシウムを使用した軟磁性材料より作製した圧粉磁心においては、0.25～1.50wt%のトリポリリン酸アルミ粉末の絶縁粉末層を形成することで、長時間の使用においても透磁率の変化率 μ 及び鉄損の変化率Pcvが小さい圧粉磁心を作製することが可能となる。

10

【0085】

[1-3. 作用・効果]

(1) 本実施形態の軟磁性材料は、周囲を絶縁層で被覆した軟磁性粉末と、軟磁性粉末に対して添加される潤滑剤とを備え、潤滑剤は、軟磁性粉末に対して0.1～0.5wt%のステアリン酸カルシウムを含むものである。潤滑剤に含まれるステアリン酸カルシウムは、高温になる焼鈍工程を経ることで、酸化カルシウムとなり圧粉磁心内に残留する。圧粉磁心内の酸化カルシウムは、酸化カルシウムが持つ吸湿作用により、コアにおける錆びの発生を防止し、錆によるコアの特性悪化を防止する。つまり、ステアリン酸カルシウムは、成形工程時における潤滑剤としての役割だけでなく、成形後は酸化カルシウムとなり吸湿剤としての役割も果たす。錆防止のために別途添加物を添加すると、コアの密度が低下する要因となるが、ステアリン酸カルシウムを使用するとこの問題が生じない。これにより、潤滑剤としてステアリン酸カルシウムを含む軟磁性材料より作製した圧粉磁心においては、長時間の使用においても鉄損の変化率Pcvが小さい圧粉磁心を作製することが可能となる。

20

【0086】

(2) ステアリン酸カルシウムは、単独で使用しても、他の潤滑剤と併用して使用しても(1)の効果を奏することが可能である。つまり、軟磁性材料における潤滑剤のうちステアリン酸カルシウムの割合が20～100%としても長時間の使用においても鉄損の変化率Pcvが小さい圧粉磁心を作製することが可能となる。また、軟磁性材料における潤滑剤の添加量として、軟磁性粉末に対して0.5wt%という1つの目安があるが、この潤滑剤を0.5wt%添加する場合においても、潤滑剤におけるステアリン酸カルシウムの割合を20～100%とすることで長時間の使用においても鉄損の変化率Pcvが小さい圧粉磁心を作製することが可能となる。

30

【0087】

(3) 本実施形態の軟磁性粉末材料は、軟磁性粉末の外側を被覆するシリコーンオリゴマー層と、シリコーンオリゴマー層の外側を被覆するシリコーンレジン層を備えても良い。シリコーンオリゴマー層を軟磁性粉末の外側に形成することにより、機械的結合力が強く、膜厚の厚い絶縁被膜層を形成することが可能となる。また、シリコーンレジン層をシリコーンオリゴマー層の外側に形成することで、可撓性に優れた被膜を形成することができる。このシリコーンオリゴマー層は、メチル系またはメチルフェニル系のシリコーンオリゴマーを固化したものであっても良い。

40

【0088】

(4) 前記軟磁性粉末の周囲に均一に分布する絶縁粉末層を含み、シリコーンオリゴマー層及びシリコーンレジン層は、絶縁粉末層を覆うものであるとしても良い。絶縁粉末の一部または全てを無機絶縁粉末とすることで、軟磁性粉末の間を絶縁することができ、熱処理温度を上げることが可能になる。一方、絶縁粉末の一部または全てをトリポリリン酸アルミ粉末とすることで、圧粉磁心の透磁率の悪化やヒステリシス損失の悪化を防止することが可能となる。

50

【0089】

(5) 絶縁粉末がトリポリリン酸アルミ粉末である場合、トリポリリン酸アルミ粉末の添加量は、軟磁性粉末に対して0.25～1.50wt%であることが好ましい。軟磁性粉末に対して0.25～1.50wt%のトリポリリン酸アルミ粉末の絶縁粉末層を形成し、潤滑剤として0.1～0.5wt%ステアリン酸カルシウムを使用した軟磁性材料より作製した圧粉磁心は、長時間の使用においても透磁率の変化率 μ 及び鉄損の変化率Pcvが小さくすることが可能となる。

【0090】

[2. 他の実施形態]

本発明は上記実施形態そのままに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。また、上記実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより、種々の発明を形成できる。

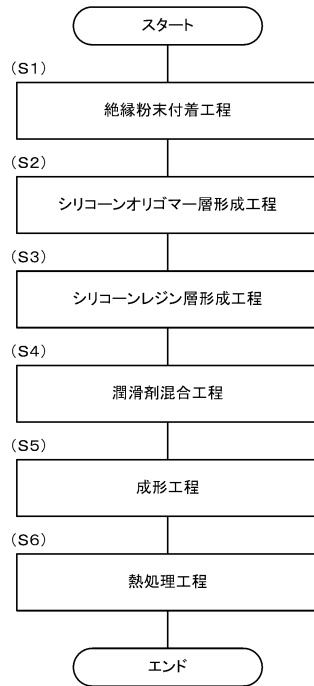
【0091】

(1) 本実施形態では、平均粒子径(D50)は20 μ m～150 μ mの軟磁性粉末を使用するとした。それだけでなく、平均粒子径の異なる複数の磁性粉末を使用しても良い。例えば、平均粒子径の異なる2種類の磁性粉末から構成しても良いし、3種類以上の軟磁性粉末を混合してもよい。例えば、20 μ m～150 μ mの軟磁性粉末を第1の軟磁性粉末とした場合に、この第1の軟磁性粉末より平均粒子径が小さい第2の軟磁性粉末を、第1の軟磁性粉末に対して混合して使用することもできる。第2の軟磁性粉末の平均粒子径は、5 μ m～10 μ mが好ましい。平均粒子径の異なる2種類の磁性粉末を混合することで、第1の磁性粉末同士の隙間に平均粒子径の小さい第2の磁性粉末が入り込むことになる。これにより、密度及び透磁率の向上と低鉄損化を図ることができる。また、第2の軟磁性粉末は、第1の磁性粉末と同様に、球形であることが好ましく、第2の磁性粉末の円形度は、0.94以上であることが好ましい。これにより、第1の磁性粉末同士の隙間により多くの第2の磁性粉末が入り込み易くなり、密度及び透磁率の向上を図ることができるからである。第2の磁性粉末は、ガスアトマイズ法や水アトマイズ法あるいは水ガスアトマイズ法で製造されたものを使用することができる。これらの方法で形成した粒子の平均円形度は、0.90以上とすることが望ましく、各種アトマイズ法のみで平均円形度が0.90以上の粉末を形成できない場合には、さらに粒子の平均円形度をあげる加工を施しても良い。

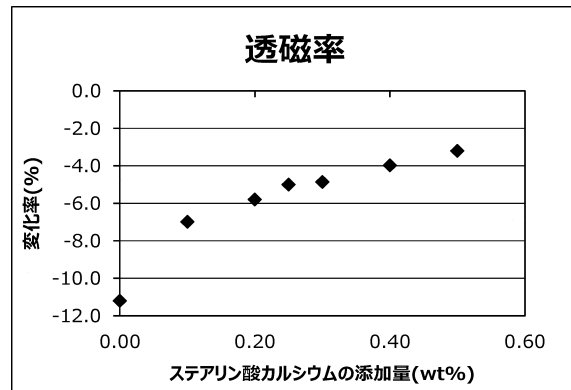
【0092】

(2) 本実施形態では、絶縁粉末層を形成した軟磁性粉末は、シリコーンオリゴマーとシリコーンレジンとの2種類の絶縁被膜層で覆われるとした。しかしながら、絶縁被膜層を形成する被膜の種類はこれに限らない。例えば、シリコーンオリゴマー、シリコーンレジン以外で、2種類の絶縁被膜層を形成しても良い。また、絶縁被膜層は、シリコーンオリゴマーとシリコーンレジンからなる2重の絶縁被膜層としたが、3重以上の絶縁被膜層としても良いし、シリコーンオリゴマーとシリコーンレジンのどちらか一方の絶縁被膜層から形成されても良い。

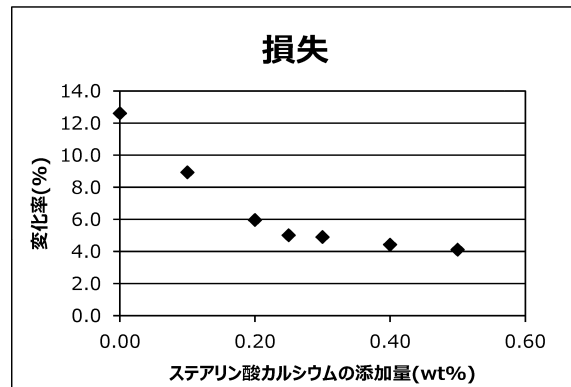
【図 1】



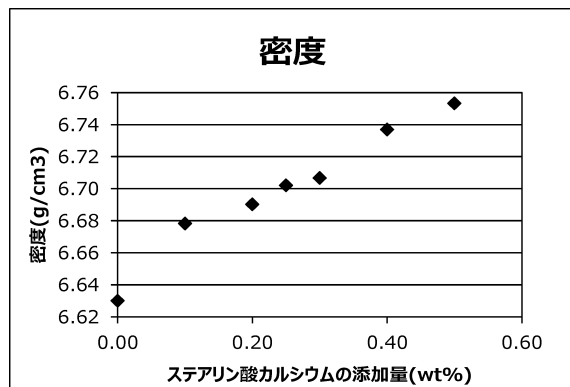
【図 2】



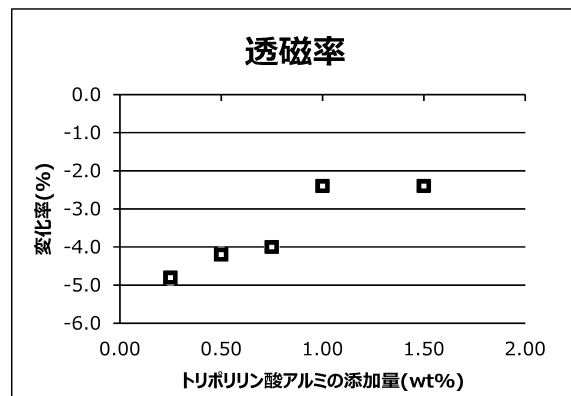
【図 3】



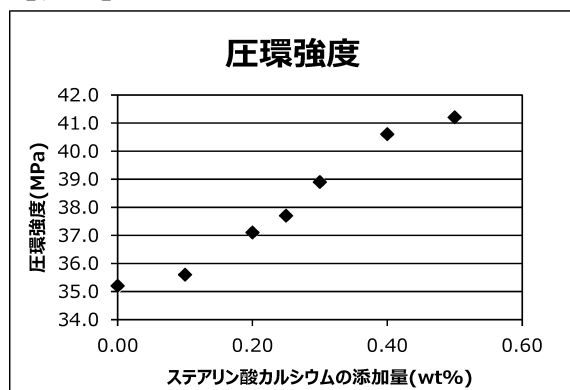
【図 4】



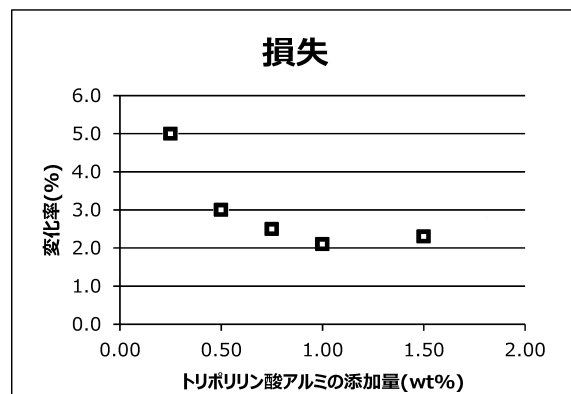
【図 6】



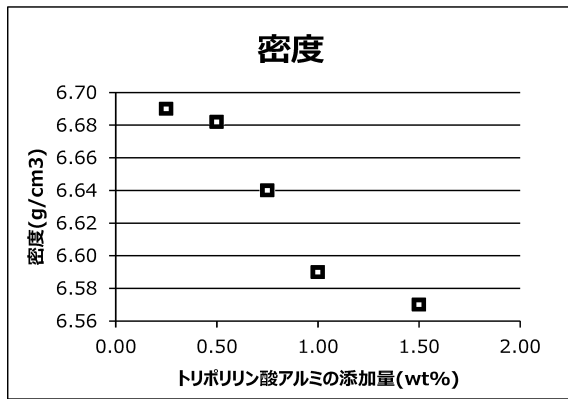
【図 5】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
B 2 2 F	1/02	(2006.01)	H 0 1 F	37/00	A
B 2 2 F	1/00	(2006.01)	H 0 1 F	37/00	R
B 2 2 F	3/00	(2006.01)	B 2 2 F	1/02	C
B 8 2 Y	25/00	(2011.01)	B 2 2 F	1/02	E
B 8 2 Y	40/00	(2011.01)	B 2 2 F	1/00	Y
C 2 2 C	38/00	(2006.01)	B 2 2 F	3/00	B
			B 8 2 Y	25/00	
			B 8 2 Y	40/00	
			C 2 2 C	38/00	3 0 3 S

- (72)発明者 高橋 渡
埼玉県坂戸市千代田5丁目5番30号 株式会社タムラ製作所坂戸事業所内
- (72)発明者 青山 大輔
埼玉県坂戸市千代田5丁目5番30号 株式会社タムラ製作所坂戸事業所内
- (72)発明者 有間 洋
埼玉県坂戸市千代田5丁目5番30号 株式会社タムラ製作所坂戸事業所内

審査官 木下 直哉

- (56)参考文献 特開2017-011271 (JP, A)
特開2017-135342 (JP, A)
特開2010-021340 (JP, A)
特開2009-032860 (JP, A)
特開平09-326309 (JP, A)
特開2014-236118 (JP, A)
特開2014-072367 (JP, A)
特開昭63-160314 (JP, A)
国際公開第2006/059771 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 2 2 F 1/00- 8/00
B 2 2 Y 5/00-99/00
C 2 2 C 1/04- 1/05
C 2 2 C 5/00-25/00
C 2 2 C 27/00-28/00
C 2 2 C 30/00-30/06
C 2 2 C 33/02
C 2 2 C 35/00-45/10
H 0 1 F 1/12- 1/38
H 0 1 F 1/44
H 0 1 F 27/24-27/26
H 0 1 F 30/00-38/12
H 0 1 F 38/16
H 0 1 F 41/00-41/04
H 0 1 F 41/08
H 0 1 F 41/10