(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7660253号
(P7660253)

(45)発行日　令和7年4月10日(2025.4.10)

(24)登録日　令和7年4月2日(2025.4.2)

(51)国際特許分類

H01F 27/255 (2006.01)	H01F	27/255
H01F 41/02 (2006.01)	H01F	41/02
H01F 1/24 (2006.01)	H01F	1/24

FI

H01F	27/255	
H01F	41/02	D
H01F	1/24	

請求項の数　18　（全21頁）

(21)出願番号　特願2024-184363(P2024-184363)
(22)出願日　令和6年10月18日(2024.10.18)
(62)分割の表示　特願2024-94683(P2024-94683)の分割
原出願日　令和6年6月11日(2024.6.11)
審査請求日　令和6年12月9日(2024.12.9)
特許法第３０条第２項適用 令和６年１月２４日から令和６年１月２６日に第１６回オートモーティブワールドにて説明資料の展示および配布 ［刊行物等］ 令和６年１月２４日から令和６年１月２６日に第１６回オートモーティブワールドにてポスターの展示 ［刊行物等］ ｈｔｔｐｓ：／／ｗｗｗ．ｊａｐａｎｍｅｔａｌ．ｃｏｍ／ｎｅｗｓ－ｈ２０２４０１２５１３２３７８．ｈｔｍｌ、産業新聞電子版、令和６年１月２５日 ［刊行物等］ 鉄鋼新聞、令和６年１月２５日 ［刊行物等］ 令和６年
最終頁に続く

(73)特許権者　593016411
住友電工焼結合金株式会社
岡山県高梁市成羽町成羽２９０１番地
(74)代理人　100100147
弁理士　山野 宏
(74)代理人　100116366
弁理士　二島 英明
(72)発明者　和泉谷 洸輔
岡山県高梁市成羽町成羽２９０１番地
住友電工焼結合金株式会社内
(72)発明者　上野 友之
岡山県高梁市成羽町成羽２９０１番地
住友電工焼結合金株式会社内
(72)発明者　齋藤 達哉
岡山県高梁市成羽町成羽２９０１番地
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　圧粉磁心、モータ用ステータ、モータ、圧粉磁心の製造方法、および粉末

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有する粉末を含む圧粉体であり、

前記軟磁性粒子の平均粒子径が２０μｍ以上であり、

前記絶縁膜の平均厚さが４０ｎｍ以上であり、

前記絶縁膜は、リン酸塩、シリカまたはマグネシアを含む絶縁層を有し、

前記軟磁性粒子は、純度が９９％以上の鉄、鉄－シリコン合金、鉄－シリコン－アルミニウム合金、鉄－アルミニウム合金、鉄－ニッケル合金および鉄－コバルト合金から選択される少なくとも１種の金属によって形成されており、

前記絶縁膜は、表面に複数のひび割れ部を有する、

圧粉磁心。

【請求項２】

前記絶縁膜の平均厚さが８０ｎｍ以上である、請求項１に記載の圧粉磁心。

【請求項３】

前記絶縁膜は、前記軟磁性粒子の表面に接している第１の絶縁層と、前記第１の絶縁層の上に配置された第２の絶縁層を有し、

前記第１の絶縁層は、リン酸塩によって形成されており、

前記第２の絶縁層は、シリカまたはマグネシアによって形成されている、請求項１に記載の圧粉磁心。

【請求項４】

軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有する新品の軟磁性粉末を含み、
前記新品の軟磁性粉末の前記絶縁膜は、表面にひび割れ部を有さない、請求項１に記載の圧粉磁心。
【請求項５】
前記粉末と前記新品の軟磁性粉末との合計質量に対する前記粉末の質量割合が１質量％以上１００質量％未満である、請求項４に記載の圧粉磁心。
【請求項６】
前記圧粉磁心の相対密度が８５％以上である、請求項１または請求項４に記載の圧粉磁心。
【請求項７】
請求項１または請求項４に記載の圧粉磁心とコイルとを備える、
モータ用ステータ。
【請求項８】
請求項７に記載のモータ用ステータとロータとを備える、
モータ。
【請求項９】
軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有する軟磁性粉末を含む使用済みの圧粉磁心を回収する工程と、
前記使用済みの圧粉磁心を粉砕してリサイクル粉末を得る工程と、
前記リサイクル粉末を圧縮成形する工程と、を備え、
前記軟磁性粒子の平均粒子径が２０μｍ以上であり、
前記絶縁膜の平均厚さが４０ｎｍ以上であり、
前記リサイクル粉末の粒径が前記軟磁性粉末の粒径と実質的に同じである、
圧粉磁心の製造方法。
【請求項１０】
前記軟磁性粒子の平均粒子径が２０μｍ以上４００μｍ以下であり、
前記絶縁膜の平均厚さが４０ｎｍ以上５００ｎｍ以下である、請求項９に記載の圧粉磁心の製造方法。
【請求項１１】
前記リサイクル粉末の絶縁膜の表面に複数のひび割れ部を有する、請求項９または請求項１０に記載の圧粉磁心の製造方法。
【請求項１２】
軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有する軟磁性粉末を含む使用済みの圧粉磁心を回収する工程と、
前記使用済みの圧粉磁心を粉砕してリサイクル粉末を得る工程と、
前記リサイクル粉末を圧縮成形する工程と、を備え、
前記軟磁性粒子の平均粒子径が２０μｍ以上であり、
前記絶縁膜の平均厚さが４０ｎｍ以上であり、
前記リサイクル粉末の粒径が前記軟磁性粉末の粒径と実質的に同じであり、
前記リサイクル粉末の絶縁膜の表面に複数のひび割れ部を有する、
圧粉磁心の製造方法。
【請求項１３】
前記リサイクル粉末を得る工程において、前記使用済みの圧粉磁心の粉砕は、スクリーンを備える粉砕機を用いて行い、
前記スクリーンは、複数の開口を有し、
前記複数の開口の各々の径が１ｍｍ以上１５ｍｍ以下である、請求項９または請求項１２に記載の圧粉磁心の製造方法。
【請求項１４】
前記リサイクル粉末を得る工程は、前記使用済みの圧粉磁心を粉砕した粉砕物をふるいによって分級する工程と、前記リサイクル粉末を磁石によって選別する工程とを含む、請

求項９または請求項１２に記載の圧粉磁心の製造方法。
【請求項１５】
前記圧縮成形する工程において、前記リサイクル粉末に潤滑剤を０．１質量％以上１．０質量％以下の含有割合で添加する、請求項９または請求項１２に記載の圧粉磁心の製造方法。
【請求項１６】
前記圧縮成形する工程では、軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有する新品の軟磁性粉末と前記リサイクル粉末とを含む混合粉末を圧縮成形する、請求項９または請求項１２に記載の圧粉磁心の製造方法。
【請求項１７】
軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有する圧粉磁心用の粉末であって、
前記軟磁性粒子の平均粒子径が２０μｍ以上であり、
前記絶縁膜の平均厚さが４０ｎｍ以上であり、
前記絶縁膜の表面に複数のひび割れ部を有し、
前記絶縁膜は、リン酸塩、シリカまたはマグネシアを含む絶縁層を有し、
前記軟磁性粒子は、純度が９９％以上の鉄、鉄－シリコン合金、鉄－シリコン－アルミニウム合金、鉄－アルミニウム合金、鉄－ニッケル合金および鉄－コバルト合金から選択される少なくとも１種の金属によって形成されている、
粉末。
【請求項１８】
前記絶縁膜は、前記軟磁性粒子の表面に接している第１の絶縁層と、前記第１の絶縁層の上に配置された第２の絶縁層を有し、
前記第１の絶縁層は、リン酸塩によって形成されており、
前記第２の絶縁層は、シリカまたはマグネシアによって形成されている、請求項１７に記載の粉末。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、圧粉磁心、モータ用ステータ、モータ、および圧粉磁心の製造方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来、モータおよびリアクトルなどの電気機器の磁心として、圧粉磁心が使用されている。圧粉磁心は、軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有する軟磁性粉末を圧縮成形した圧粉体である。特許文献１は、モータに用いられる圧粉磁心を開示する。
【０００３】
特許文献２および特許文献３は、モータのリサイクル方法を開示する。特許文献２および特許文献３には、磁心とコイルからなるステータを粉砕し、磁心とコイルとを分離させて、材料ごとに選別することが記載されている。特許文献２および特許文献３に記載された磁心の材料は、珪素鋼板などの電磁鋼板である。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【文献】国際公開第２０１９／０３１２０９号
【文献】特開２００７－１２４８４１号公報
【文献】特開２０１２－１４７６０８号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
使用済みの電気機器から圧粉磁心を回収し、圧粉磁心をリサイクルすることが望まれる。しかしながら、圧粉磁心のリサイクルは実施されていない。従来、圧粉磁心は、新品の

軟磁性粉末を原料に使用して製造されている。新品の軟磁性粉末は、製造時の二酸化炭素（CO_2）の排出量が多い。そこで、新品の軟磁性粉末の使用量を削減することにより、軟磁性粉末の製造時も含めた圧粉磁心の製造時に発生するCO_2の排出を削減することが望まれる。

【０００６】

本開示は、圧粉磁心の製造時に発生するCO_2の排出量を削減できる圧粉磁心を提供することを目的の一つとする。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

本開示の圧粉磁心は、軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有するリサイクル粉末を含む。前記リサイクル粉末は、使用済みの圧粉磁心を粉砕した軟磁性粉末である。

【発明の効果】

【０００８】

本開示の圧粉磁心は、圧粉磁心の製造時に発生するCO_2の排出量を削減できる。

【図面の簡単な説明】

【０００９】

【図１】図１は、実施形態に係る圧粉磁心を模式的に示す部分断面図である。

【図２】図２は、実施形態に係る圧粉磁心の一例を示す概略斜視図である。

【図３】図３は、実施形態に係る圧粉磁心の別の一例を示す概略斜視図である。

【図４】図４は、実施形態に係る圧粉磁心のさらに別の一例を示す概略斜視図である。

【図５】図５は、実施形態に係るモータ用ステータの概略斜視図である。

【図６】図６は、実施形態に係るモータの概略断面図である。

【図７】図７は、粉砕機の一例を示す概略断面図である。

【図８】図８は、試験例１において、リサイクル粉末および新品粉末のそれぞれの粒度分布を示すグラフである。

【図９】図９は、試験例２において、試料Ｎｏ．２の圧粉磁心の原料に使用したリサイクル粉末の絶縁膜を模式的に示す図である。

【図１０】図１０は、試験例２において、試料Ｎｏ．１の圧粉磁心の原料に使用したリサイクル粉末の絶縁膜を模式的に示す図である。

【図１１】図１１は、試験例２において、試料Ｎｏ．１００の圧粉磁心の断面の部分拡大図である。

【図１２】図１２は、試験例２において、試料Ｎｏ．１の圧粉磁心の断面の部分拡大図である。

【図１３】図１３は、試験例２において、試料Ｎｏ．２の圧粉磁心の断面の部分拡大図である。

【発明を実施するための形態】

【００１０】

［本開示の実施形態の説明］

最初に本開示の実施態様を列記して説明する。

【００１１】

（１）本開示の圧粉磁心は、軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有するリサイクル粉末を含む。前記リサイクル粉末は、使用済みの圧粉磁心を粉砕した軟磁性粉末である。

【００１２】

本開示の圧粉磁心は、リサイクル粉末を含むことで、新品の軟磁性粉末の使用量を削減できる。リサイクル粉末を得るためのCO_2排出量は、新品の軟磁性粉末の製造時のCO_2排出量よりも少ない。したがって、本開示の圧粉磁心は、リサイクル粉末を原料に使用することにより、圧粉磁心の製造時に発生するCO_2の排出量を削減できる。

【００１３】

（２）上記（１）の圧粉磁心において、前記軟磁性粒子の平均粒子径が２０μｍ（マイクロメートル）以上４００μｍ以下であり、前記絶縁膜の平均厚さが４０ｎｍ（ナノメー

トル）以上５００ｎｍ以下であってもよい。
【００１４】
軟磁性粒子の平均粒子径が２０μｍ以上であることで、圧粉磁心を高密度化しやすい。軟磁性粒子の平均粒子径が４００μｍ以下であることで、圧粉磁心の渦電流損失を低減しやすい。絶縁膜の平均厚さが４０ｎｍ以上であることで、圧粉磁心の渦電流損失を低減しやすい。絶縁膜の平均厚さが５００ｎｍ以下であることで、圧粉磁心の磁気特性を高められる。
【００１５】
（３）上記（１）または上記（２）の圧粉磁心において、前記絶縁膜は、表面に複数のひび割れ部を有してもよい。
【００１６】
絶縁膜の表面に複数のひび割れ部を有するということは、新品の軟磁性粉末ではなく、リサイクル粉末であるといえる。絶縁膜がひび割れ部を有していたとしても、絶縁膜が剥離していなければ、絶縁膜による軟磁性粒子間の電気的絶縁が保たれるため、渦電流損失の増加を軽減できる。
【００１７】
（４）上記（１）から（３）のいずれかの圧粉磁心において、前記絶縁膜は、リン酸塩、シリカまたはマグネシアを含む絶縁層を有してもよい。
【００１８】
上記絶縁膜は、隣り合う軟磁性粒子間の電気的絶縁を高めやすい。
【００１９】
（５）上記（１）から（４）のいずれかの圧粉磁心において、前記圧粉磁心の質量に対する前記リサイクル粉末の質量割合が１質量％以上１００質量％以下であってもよい。
【００２０】
リサイクル粉末の質量割合が１質量％以上であることで、新品の軟磁性粉末の使用量を削減することによるCO_2の削減効果が期待できる。このCO_2削減効果は、リサイクル粉末の質量割合が大きいほど期待できる。リサイクル粉末の質量割合が１００質量％である場合、圧粉磁心はリサイクル粉末１のみを含む。この圧粉磁心は、新品の軟磁性粉末を含まないため、CO_2の削減効果が高い。
【００２１】
（６）上記（１）から（５）のいずれかの圧粉磁心は、新品の軟磁性粉末を含み、前記リサイクル粉末と前記新品の軟磁性粉末との合計質量に対する前記リサイクル粉末の質量割合が１質量％以上１００質量％未満であってもよい。
【００２２】
リサイクル粉末の質量割合が１質量％以上であることで、新品の軟磁性粉末の使用量を削減することによるCO_2の削減効果が期待できる。リサイクル粉末の質量割合が１００質量％未満であることで、新品の軟磁性粉末を含むことによる磁気特性の向上効果が期待できる。
【００２３】
（７）上記（１）から（６）のいずれかの圧粉磁心において、前記軟磁性粒子は、純度が９９％以上の鉄、鉄－シリコン合金、鉄－シリコン－アルミニウム合金、鉄－アルミニウム合金、鉄－ニッケル合金および鉄－コバルト合金から選択される少なくとも１種の金属によって形成されていてもよい。
【００２４】
純度が９９％以上の鉄によって軟磁性粒子が形成されていることで、圧粉磁心を高密度化しやすい。軟磁性粒子が鉄－シリコン合金、鉄－シリコン－アルミニウム合金、鉄－アルミニウム合金、鉄－ニッケル合金および鉄－コバルト合金から選択される少なくとも１種の金属によって形成されていることで、圧粉磁心の渦電流損失を低減しやすい。
【００２５】
（８）上記（１）から（７）のいずれかの圧粉磁心において、前記圧粉磁心の相対密度

が８５％以上であってもよい。
【００２６】
圧粉磁心の相対密度が８５％以上であることで、圧粉磁心の磁気特性を高められる。
【００２７】
（９）本開示のモータ用ステータは、上記（１）から（８）のいずれかの圧粉磁心とコイルとを備える。
【００２８】
本開示のモータ用ステータは、本開示の圧粉磁心を備えることから、製造時に発生するCO_2の排出量を削減できる。
【００２９】
（１０）本開示のモータは、上記（９）のモータ用ステータとロータとを備える。
【００３０】
本開示のモータは、本開示のモータ用ステータを備えることから、製造時に発生するCO_2の排出量を削減できる。
【００３１】
（１１）本開示の圧粉磁心の製造方法は、軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有する軟磁性粉末を含む使用済みの圧粉磁心を回収する工程と、前記使用済みの圧粉磁心を粉砕してリサイクル粉末を得る工程と、前記リサイクル粉末を圧縮成形する工程と、を備える。
【００３２】
本開示の圧粉磁心の製造方法は、使用済みの圧粉磁心を粉砕したリサイクル粉末を使用して、リサイクルされた圧粉磁心を製造することができる。本開示の圧粉磁心の製造方法は、リサイクル粉末を原料に使用することで、圧粉磁心の製造時に発生するCO_2の排出を削減できる。
【００３３】
（１２）上記（１１）の圧粉磁心の製造方法において、前記軟磁性粒子の平均粒子径が２０μｍ以上４００μｍ以下であり、前記絶縁膜の平均厚さが４０ｎｍ以上５００ｎｍ以下であってもよい。
【００３４】
軟磁性粒子の平均粒子径が２０μｍ以上であることで、圧粉磁心を高密度化しやすい。軟磁性粒子の平均粒子径が４００μｍ以下であることで、圧粉磁心の渦電流損失を低減しやすい。絶縁膜の平均厚さが４０ｎｍ以上であることで、圧粉磁心を粉砕したときに絶縁膜が剥離しにくい。絶縁膜の平均厚さが５００ｎｍ以下であることで、圧粉磁心の磁気特性を高められる。
【００３５】
（１３）上記（１１）または（１２）の圧粉磁心の製造方法は、以下の構成を備えてもよい。前記リサイクル粉末を得る工程において、前記使用済みの圧粉磁心の粉砕は、スクリーンを備える粉砕機を用いて行う。前記スクリーンは、複数の開口を有する。前記複数の開口の各々の径が１ｍｍ以上１５ｍｍ以下である。
【００３６】
スクリーンを備える粉砕機を用いて圧粉磁心の粉砕を行うことで、リサイクル粉末を得やすい。
【００３７】
（１４）上記（１１）から（１３）のいずれかの圧粉磁心の製造方法において、前記リサイクル粉末を得る工程は、前記使用済みの圧粉磁心を粉砕した粉砕物をふるいによって分級する工程と、前記リサイクル粉末を磁石によって選別する工程とを含んでもよい。
【００３８】
上記工程によれば、所定の粒度のリサイクル粉末を選別して取得できる。
【００３９】
（１５）上記（１１）から（１４）のいずれかの圧粉磁心の製造方法は、前記圧縮成形する工程において、前記リサイクル粉末に潤滑剤を０．１質量％以上１．０質量％以下の

含有割合で添加してもよい。

【００４０】

リサイクル粉末に潤滑剤を添加することで、圧縮成形するときのリサイクル粉末の潤滑性を向上させることができ、圧粉磁心を高密度化しやすい。

【００４１】

（１６）上記（１１）から（１５）のいずれかの圧粉磁心の製造方法において、前記圧縮成形する工程では、軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有する新品の軟磁性粉末と前記リサイクル粉末とを含む混合粉末を圧縮成形してもよい。

【００４２】

新品の軟磁性粉末とリサイクル粉末とを含む混合粉末を原料に使用することで、リサイクル粉末のみを原料に使用する場合に比べて、圧粉磁心の磁気特性を高めたり、圧粉磁心の渦電流損失を低減したりできる。

【００４３】

［本開示の実施形態の詳細］

本開示の圧粉磁心の具体例を以下に説明する。図中の同一符号は同一名称物を示す。各図面が示す部材の大きさなどは、説明を明確にする目的で表現されており、必ずしも実際の寸法関係などを表すものではない。

なお、本発明はこれらの例示に限定されるものではなく、特許請求の範囲によって示され、特許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。

【００４４】

＜圧粉磁心＞

図１から図４を参照して、実施形態に係る圧粉磁心１０を説明する。圧粉磁心１０の特徴の１つは、図１に示すように、リサイクル粉末１を含む点にある。圧粉磁心１０は、リサイクル粉末１を原料に使用してリサイクルされた圧粉磁心である。

【００４５】

≪リサイクル粉末≫

リサイクル粉末１は、軟磁性粒子２の表面に絶縁膜３を有する。リサイクル粉末１は、使用済みの圧粉磁心を粉砕した軟磁性粉末である。

【００４６】

〔軟磁性粒子〕

軟磁性粒子２は、例えば、鉄または鉄基合金によって形成されている。鉄は、例えば、純度が９９％以上の鉄である。純度が９９％以上の鉄は、鉄が９９質量％以上含まれている。鉄基合金は、例えば、鉄－シリコン合金（ケイ素鋼）、鉄－シリコン－アルミニウム合金（センダスト）、鉄－アルミニウム合金、鉄－ニッケル合金（パーマロイ）および鉄－コバルト合金から選択される少なくとも１種である。本例の軟磁性粒子２は、純度が９９％以上の鉄によって形成されている。純度が９９％以上の鉄は鉄基合金に比べて柔らかい。純度が９９％以上の鉄によって軟磁性粒子２が形成されている場合、圧縮成形によって圧粉磁心１０を高密度化しやすい。圧粉磁心１０を高密度化することで、圧粉磁心の磁気特性を高めることができる。磁気特性は、例えば、比透磁率および飽和磁束密度である。鉄基合金は、鉄に比べて電気抵抗が高い。上記鉄基合金によって軟磁性粒子２が形成されている場合、圧粉磁心１０に磁束が流れることによって発生する渦電流損失を低減しやすい。

【００４７】

〈平均粒子径〉

軟磁性粒子２の平均粒子径は、例えば２０μｍ以上４００μｍ以下である。軟磁性粒子２の平均粒子径が２０μｍ以上であることで、リサイクル粉末１を圧縮成形しやすく、圧粉磁心１０を高密度化しやすい。圧粉磁心１０を高密度化することで、圧粉磁心の磁気特性を高めることができる。軟磁性粒子２の平均粒子径が４５μｍ以上であれば、高い磁気特性が得られやすく、９０μｍ以上であれば、より高い磁気特性が得られやすく、１５０

μｍ以上であれば、さらに高い磁気特性が得られやすく、２００μｍ以上であれば、さらにより高い磁気特性が得られやすい。また、軟磁性粒子２の平均粒子径が４００μｍ以下であることで、渦電流損失を低減しやすい。軟磁性粒子２の平均粒子径が３００μｍ以下であれば、渦電流損失をより低減しやすい。軟磁性粒子２の平均粒子径は４５μｍ以上３００μｍ以下、さらに９０μｍ以上３００μｍ以下でもよい。

【００４８】

軟磁性粒子２の平均粒子径は、次のようにして求めることができる。圧粉磁心１０を粉砕して粉末にする。レーザー回折式粒度分布測定装置によって、粉砕した粉末の粒度分布を測定する。測定された粒子径とその頻度を掛け合わせた値を合計したものを軟磁性粒子２の平均粒子径とみなす。頻度とは、全粒子の個数に対して粒径区間ごとの粒子の個数の割合を百分率で示したものである。粒径区間は、粒子径の最小値から最大値までの全範囲を所定の粒径範囲に分けた個々の区分のことである。例えば、１５μｍ超から２５μｍ以下の範囲を２０μｍの粒径区間とし、２５μｍ超から３５μｍ以下の範囲を３０μｍの粒径区間とし、３５μｍ超から４５μｍ以下の範囲を４０μｍの粒径区間とする。２０μｍの粒径区間に含まれる粒子の頻度が２０％、３０μｍの粒径区間に含まれる粒子の頻度が５０％、４０μｍの粒径区間に含まれる粒子の頻度が３０％であれば、平均粒子径は、（２０×０．２）＋（３０×０．５）＋（４０×０．３）＝３１μｍである。上記の計算例では、分かり易くするため、粒径区間の幅を１０μｍとしているが、実際の粒径区間の幅は、例えば５μｍ以上４０μｍ以下である。

【００４９】

〔絶縁膜〕

絶縁膜３は、隣り合う軟磁性粒子２間を電気的に絶縁する。軟磁性粒子２の表面に絶縁膜３を有することで、圧粉磁心１０の電気抵抗を高めることができ、圧粉磁心１０の渦電流損失を低減できる。絶縁膜３は、例えば、リン酸塩、シリカまたはマグネシアによって形成されている。リン酸塩は、例えば、リン酸亜鉛、リン酸鉄、リン酸マンガンまたはリン酸カルシウムである。

【００５０】

絶縁膜３は、１種の絶縁層のみを有する単層構造であってもよいし、２種以上の絶縁層が積層された多層構造であってもよい。多層構造の絶縁膜３は、リン酸塩、シリカまたはマグネシアを含む絶縁層を有してもよい。リン酸塩を含む絶縁層は、軟磁性粒子２との密着性が高い。また、リン酸塩を含む絶縁層は変形しやすい。リン酸塩を含む絶縁層を有する絶縁膜３は、リサイクル粉末１を圧縮成形したときに軟磁性粒子２の変形に追従しやすいため、剥離しにくい。シリカまたはマグネシアを含む絶縁層は硬い。シリカまたはマグネシアを含む絶縁層を有する絶縁膜３は、リサイクル粉末１を圧縮成形したときに傷ついたり、薄くなり過ぎたりしにくい。絶縁膜３が２層構造である場合、第１の絶縁層と第２の絶縁層とをこの順に有する。第１の絶縁層は軟磁性粒子２の表面に接している。第２の絶縁層は、第１の絶縁層の上に配置され、第１の絶縁層と接している。例えば、第１の絶縁層はリン酸塩またはシリカを含み、第２の絶縁層はリン酸塩、シリカおよびマグネシアのいずれかを含む。具体的には、第１の絶縁層の材料がリン酸塩である場合、第２の絶縁層の材料はシリカまたはマグネシアである。第１の絶縁層の材料がシリカである場合、第２の絶縁層の材料はリン酸塩またはマグネシアである。本例の絶縁膜３は、第１の絶縁層と第２の絶縁層が順に積層された２層構造を有する。本例では、第１の絶縁層はリン酸塩によって形成されている。第２の絶縁層はシリカによって形成されている。

【００５１】

〈平均厚さ〉

一般に、従来の圧粉磁心に含まれる軟磁性粉末の絶縁膜の平均厚さは、２０ｎｍ以上３０ｎｍ以下である。実施形態の圧粉磁心１０では、絶縁膜３の平均厚さは、例えば４０ｎｍ以上５００ｎｍ以下である。絶縁膜３の平均厚さが４０ｎｍ以上であることで、圧粉磁心１０の渦電流損失を低減しやすい。また、絶縁膜３の平均厚さが４０ｎｍ以上であれば、絶縁膜３が剥離しにくいため、絶縁膜３による渦電流損失を低減する効果が得られやす

い。絶縁膜３の平均厚さが５００ｎｍ以下であることで、圧粉磁心１０に含まれる軟磁性粒子２の割合が小さくなり過ぎない。そのため、圧粉磁心の磁気特性を高めることができる。絶縁膜３の平均の厚さは５０ｎｍ以上４００ｎｍ以下、８０ｎｍ以上３５０ｎｍ以下、さらに１００ｎｍ以上３００ｎｍ以下でもよい。絶縁膜３の平均の厚さが５０ｎｍ以上４００ｎｍ以下であれば、高い磁気特性が得られやすい。絶縁膜３の平均の厚さが８０ｎｍ以上３５０ｎｍ以下であれば、磁気特性のバラツキが小さくなりやすく、１００ｎｍ以上３００ｎｍ以下であれば、磁気特性のバラツキが小さく、より高い磁気特性が得られやすい。絶縁膜３の平均の厚さは１２０ｎｍ以上、１５０ｎｍ以上、さらに２００ｎｍ以上でもよい。絶縁膜３の厚さは、絶縁膜３を構成する全ての絶縁層を合わせた厚さである。

【００５２】

絶縁膜３の平均厚さは、次のようにして求めることができる。圧粉磁心１０の断面を顕微鏡によって観察し、その観察像を画像解析する。顕微鏡は、走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）または透過電子顕微鏡（ＴＥＭ）などである。観察する視野数は２０視野以上とする。倍率は、例えば５００００倍以上２０００００倍以下である。画像解析によって、各視野での絶縁膜３の平均厚さをそれぞれ求める。各視野において、絶縁膜３の平均厚さは、絶縁膜３の厚さを５箇所以上測定し、その平均を求める。２０視野以上の全視野での絶縁膜３の平均厚さを求め、その平均を絶縁膜３の平均厚さとする。

【００５３】

圧粉磁心１０の相対密度は、例えば８５％以上である。圧粉磁心の相対密度が高いほど、圧粉磁心１０の磁気特性が向上する。圧粉磁心１０の相対密度が８５％以上であることで、高い磁気特性が得られやすい。圧粉磁心１０が高い磁気特性を有することで、モータおよびリアクトルなどの電気機器の高性能化に寄与する。圧粉磁心１０の相対密度は９０％以上、９３％以上、さらに９５％以上でもよい。圧粉磁心１０の相対密度の上限は、特に限定されないが、例えば９９％である。相対密度とは、見掛け密度を真密度で割った値を百分率で示したものである。ここでは、軟磁性粉末の理論密度を真密度とする。

【００５４】

新品の軟磁性粉末を原料に使用した圧粉磁心では、絶縁膜にひび割れが発生したり、絶縁膜が剥離したりすることはほぼない。リサイクル粉末１の絶縁膜３には、図１０および図１２を参照して後述するように、ひび割れ部３ｃがあるものの、剥離した部分はほとんど見られない。このように、絶縁膜３の表面に複数のひび割れ部３ｃがあるか否かを指標の一つとして、リサイクル粉末か否かを判別することができる。

【００５５】

圧粉磁心１０は、リサイクル粉末１を含むことで、新品の軟磁性粉末の使用量を削減できる。リサイクル粉末１を原料に使用して製造された圧粉磁心１０は、圧粉磁心１０の製造時に発生するCO_2の排出量を削減できる。圧粉磁心１０は、新品の軟磁性粉末をさらに含んでもよい。新品の軟磁性粉末は、軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有する。新品の軟磁性粉末の構成は、上述したリサイクル粉末の構成と基本的に共通である。新品の軟磁性粉末とは、製造された状態の未使用の軟磁性粉末である。圧粉磁心１０が新品の軟磁性粉末をさらに含むことで、圧粉磁心１０の磁気特性を高めたり、圧粉磁心１０の渦電流損失を低減したりできる。

【００５６】

圧粉磁心１０の質量に対するリサイクル粉末１の質量割合は、例えば、１質量％以上１００質量％以下である。リサイクル粉末の質量割合が１質量％以上であることで、新品の軟磁性粉末の使用量を削減することによるCO_2の削減効果が期待できる。このCO_2削減効果は、リサイクル粉末の質量割合が大きいほど期待できる。リサイクル粉末１の質量割合が１００質量％である場合、圧粉磁心１０はリサイクル粉末１のみを含む。つまり、この圧粉磁心１０は、リサイクル粉末１のみを原料に使用して製造されたものである。新品の軟磁性粉末を含まないため、CO_2の削減効果が高い。

【００５７】

リサイクル粉末１と新品の軟磁性粉末との合計質量に対するリサイクル粉末１の質量割

合は、例えば、１質量％以上１００質量％未満である。リサイクル粉末１の質量割合が１質量％以上であることで、新品の軟磁性粉末の使用量を削減することによるCO_2の削減効果が期待できる。リサイクル粉末１の質量割合が１００質量％未満であることで、新品の軟磁性粉末を含むことによる磁気特性の向上効果が期待できる。リサイクル粉末１の質量割合が大きいほど、CO_2の削減効果が高くなる。リサイクル粉末１の質量割合は、例えば、５質量％以上、１０質量％以上、２０質量％以上、４０質量％以上、５０質量％以上、７０質量％以上、さらに９０質量％以上でもよい。

【００５８】

圧粉磁心１０は、用途に応じて種々の形状をとり得る。圧粉磁心１０は、モータおよびリアクトルなどの電気機器の磁心に用いることができる。図２に示す圧粉磁心１０ａは、アキシャルギャップ型モータのステータに用いられる円環状のステータコアである。圧粉磁心１０ａは、ヨーク２０とティース３０とを備える。ヨーク２０とティース３０とは一体に成形されている。ヨーク２０の形状は円環板状である。ヨーク２０の上面には、複数のティース３０が等間隔に環状に配置されている。各ティース３０はヨーク２０の上面から突出している。ティース３０の形状は柱状である。本例では、ティース３０の数は１２個である。本例のティース３０の形状は三角柱状である。各ティース３０の外周には、図示しないコイルが取り付けられる。ティース３０の数は、特に限定されず、モータの仕様に応じて適宜設定される。ティース３０の形状は、三角柱状以外に、例えば台形柱などの四角柱といった任意の形状を選択できる。

【００５９】

図３に示す圧粉磁心１０ｂは、図２を参照して上述したステータコアを軸回りに分割した分割コアである。分割コアは、ステータコアの一部を構成する。ステータコアは、分割コアを円環状に組み合わせることで構成される。圧粉磁心１０ｂは、扇板状のヨーク２０と、ヨーク２０の上面から突出する三角柱状のティース３０とを備える。ティース３０の数は１つである。本例では、圧粉磁心１０ｂを１２個組み合わせることで、円環状のステータコアが構成される。

【００６０】

図４に示す圧粉磁心１０ｃは、図２を参照して上述したステータコアを軸回りに分割した分割コアの別の一例である。圧粉磁心１０ｃは、１つのヨーク２０に３つのティース３０が配置されている。ヨーク２０の形状は扇板状である。ティース３０の形状は三角柱状である。本例では、圧粉磁心１０ｃを４個組み合わせることで、円環状のステータコアが構成される。

【００６１】

圧粉磁心１０は、図示しない樹脂モールドを備えてもよい。樹脂モールドは、圧粉磁心１０の少なくとも一部を覆う。樹脂モールドは、例えば、圧粉磁心１０におけるコイルと接触する部分に設けられる。樹脂モールドは、圧粉磁心１０に配置されたコイルを覆うように設けられていてもよい。この場合、樹脂モールドによって、圧粉磁心１０にコイルを一体化できる。

【００６２】

＜モータ用ステータ＞

図５を参照して、実施形態に係るモータ用ステータ２００を説明する。以下では、モータ用ステータを単に「ステータ」と呼ぶことがある。図５に示すステータ２００は、アキシャルギャップ型モータに用いられる。ステータ２００は、圧粉磁心１０とコイル２１０とを備える。図５に示す圧粉磁心１０は、図２に示す圧粉磁心１０ａと同じ構成を有する。コイル２１０は、各ティース３０にそれぞれ配置されている。

【００６３】

＜モータ＞

図６を参照して、実施形態に係るモータ３００を説明する。モータ３００は、ステータ２００とロータ２５０とを備える。図６に示すモータ３００は、ステータ２００とロータ２５０とが回転軸３３０に沿った方向に対向して配置されたアキシャルギャップ型モータ

である。

【００６４】

ロータ２５０は、ステータ２００の各ティース３０の端面と向かい合うように配置されている。ロータ２５０は、平板状の複数の磁石２６０と、これら磁石２６０を支持する円環状の保持板２７０とを備える。各ティース３０の端面と各磁石２６０とは、回転軸３３０に沿った方向に所定の間隔をあけて向かい合う。保持板２７０は、回転軸３３０に固定され、回転軸３３０一緒に回転する。各磁石２６０は、保持板２７０に埋め込まれている。複数の磁石２６０は、回転軸３３０の軸回りに等間隔に配置されている。各磁石２６０は、回転軸３３０に沿った方向に着磁されている。隣り合う磁石２６０の磁化方向は互いに逆になっている。

【００６５】

ステータ２００及びロータ２５０は、円筒状のケース３１０に収納されている。ケース３１０の両端にはそれぞれ円板状のプレート３２０が取り付けられている。各プレート３２０の中心には、貫通孔が形成されており、回転軸３３０がケース３１０内を貫通している。ステータ２００は、ヨーク２０の外周面がケース３１０の内周面に嵌め込まれることにより、ケース３１０に固定されている。ヨーク２０の内周面には、回転軸３３０を回転自在に支持する円環状のベアリング３４０が取り付けられている。

【００６６】

＜圧粉磁心の製造方法＞

圧粉磁心１０は、実施形態に係る圧粉磁心の製造方法によって製造することができる。圧粉磁心の製造方法は、使用済みの圧粉磁心を粉砕したリサイクル粉末を使用して、リサイクルされた圧粉磁心を製造することができる。圧粉磁心の製造方法は、回収工程と粉砕工程とプレス工程とを備える。以下、各工程の詳細を説明する。

【００６７】

≪回収工程≫

回収工程は、使用済みの圧粉磁心を回収する工程である。使用済みの圧粉磁心は、軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有する軟磁性粉末を含む。使用済みの圧粉磁心における軟磁性粉末の構成は、上述したリサイクル粉末の構成と基本的に共通である。使用済みの圧粉磁心は、一度もリサイクルされていない圧粉磁心でもよいし、一度以上リサイクルされた圧粉磁心でもよい。一度もリサイクルされていない圧粉磁心とは、新品の軟磁性粉末のみを原料に使用して製造された圧粉磁心である。リサイクルされた圧粉磁心とは、リサイクル粉末を含む圧粉磁心である。ここで、使用済みとは、実際に電気機器として使用されたことに限らない。使用済みの圧粉磁心は、圧粉磁心として製造された後、電気機器として未使用のまま回収されたものでもよい。つまり、一旦、軟磁性粉末から圧粉磁心に成形されたものは、実際の電気機器としての使用履歴の有無に関係なく使用済みの圧粉磁心に含まれる。使用済みの圧粉磁心は、圧粉磁心の製造時に不良品として回収された圧粉磁心でもよい。

【００６８】

使用済みの圧粉磁心における軟磁性粒子の平均粒子径は、例えば２０μｍ以上４００μｍ以下である。軟磁性粒子の平均粒子径は４５μｍ以上３００μｍ以下、さらに９０μｍ以上３００μｍ以下でもよい。使用済みの圧粉磁心における絶縁膜の平均厚さは、例えば４０ｎｍ以上５００ｎｍ以下である。絶縁膜の平均厚さは５０ｎｍ以上４００ｎｍ以下、８０ｎｍ以上３５０ｎｍ以下、さらに１００ｎｍ以上３００ｎｍ以下でもよい。一般に、従来の圧粉磁心における絶縁膜の平均厚さは２０ｎｍ以上３０ｎｍ以下である。実施形態の圧粉磁心の製造方法では、後述する粉砕工程において圧粉磁心を粉砕したときに絶縁膜の剥離を生じにくくするため、絶縁膜の平均厚さを４０ｎｍ以上５００ｎｍ以下としている。

【００６９】

使用済みの圧粉磁心は、使用済みの電気機器から回収する。使用済みの圧粉磁心は、コイルなどの付属品が取り付けられたままの状態でも、樹脂モールドによって覆われたたま

まの状態でもよい。そのため、使用済みの圧粉磁心からコイルなどの付部品を取り外したり、樹脂モールドを除去したりする必要はない。

【００７０】

≪粉砕工程≫

粉砕工程は、使用済みの圧粉磁心を粉砕してリサイクル粉末を得る工程である。リサイクル粉末は、使用済みの圧粉磁心に含まれる軟磁性粉末である。圧粉磁心は、隣り合う軟磁性粒子間が冶金的に結合していない。本発明者らは、圧粉磁心を粉砕すると、軟磁性粒子同士が分離して、軟磁性粒子がバラバラになった状態、即ち粉末状になること、および、粉末状となった粒子の粒径が、粉砕前の圧粉磁心に含まれる軟磁性粉末の粒径と実質的に同じであること、を見出した。つまり、圧粉磁心を粉砕しても、軟磁性粉末の粒径は実質的に維持される。使用済みの圧粉磁心における絶縁膜が薄い場合、圧粉磁心を粉砕したときの衝撃によって絶縁膜が剥離することがある。絶縁膜が厚い場合、圧粉磁心を粉砕したときに絶縁膜にひび割れが発生することがあるが、絶縁膜の剥離が発生しにくい。粉砕前の絶縁膜の平均厚さが４０ｎｍ以上であれば、圧粉磁心を粉砕したときに絶縁膜が剥離しにくい。

【００７１】

リサイクル粉末の平均粒子径は、例えば２０μｍ以上４００μｍ以下である。リサイクル粉末の平均粒子径は、絶縁膜を含む軟磁性粒子の平均粒子径である。リサイクル粉末の平均粒子径とは、レーザー回折式粒度分布測定装置によって測定された粒度分布において、累積質量が５０％となる粒子径Ｄ５０である。リサイクル粉末の平均粒子径は４５μｍ以上３００μｍ以下、さらに９０μｍ以上３００μｍ以下でもよい。リサイクル粉末における絶縁膜の平均厚さは、例えば４０ｎｍ以上５００ｎｍ以下である。リサイクル粉末における絶縁膜の平均厚さは５０ｎｍ以上４００ｎｍ以下、８０ｎｍ以上３５０ｎｍ以下、さらに１００ｎｍ以上３００ｎｍ以下でもよい。

【００７２】

〔粉砕機〕

使用済みの圧粉磁心の粉砕は、公知の粉砕機を使用することができる。使用する粉砕機は、例えば、カッタ式粉砕機、ハンマー式粉砕機またはチェーン式粉砕機である。カッタ式粉砕機は、回転する刃によって圧粉磁心を削り取るよう粉砕する。ハンマー式粉砕機は、回転するハンマーによって圧粉磁心を叩き割るように粉砕する。チェーン式粉砕機は、回転するチェーンによって圧粉磁心を叩き割るように粉砕する。

【００７３】

圧粉磁心の粉砕は、スクリーンを備える粉砕機を用いて行ってもよい。図７を参照して、粉砕機１００の一例を説明する。図７は粉砕機１００の構成を模式的に示したものである。粉砕機１００はカッタ式粉砕機である。粉砕機１００は、粉砕室１１０と回転刃１２０と固定刃１３０とスクリーン１４０とを備える。粉砕室１１０は、投入口１１１を有する。使用済みの圧粉磁心１０は、投入口１１１から粉砕室１１０に投入される。回転刃１２０は粉砕室１１０内に配置されている。回転刃１２０は回転軸１２１に取り付けられている。回転軸１２１に沿って、複数の回転刃１２０が並んで取り付けられている。回転刃１２０は、回転軸１２１が回転することによって回転する。固定刃１３０は粉砕室１１０内に配置されている。回転刃１２０と固定刃１３０との間には所定のクリアランスが設けられている。圧粉磁心１０は回転刃１２０と固定刃１３０によってせん断される。スクリーン１４０は、粉砕室１１０の排出口に取り付けられている。回転刃１２０と固定刃１３０によってせん断された粉砕物は、回転刃１２０とスクリーン１４０との間で押し潰されて粉砕される。

【００７４】

スクリーン１４０は複数の開口１４１を有する板である。圧粉磁心１０は、開口１４１を通過するサイズまで粉砕される。上述したように、圧粉磁心１０を粉砕すると、軟磁性粒子がバラバラになって粉末状になる。圧粉磁心１０を粉砕したリサイクル粉末１は開口１４１を通って排出される。各開口１４１の形状は、例えば円形である。複数の開口１４

１の各々の径は、粉砕する圧粉磁心１０のサイズに応じて適宜選択することができる。開口１４１径は、例えば１ｍｍ以上１５ｍｍ以下である。開口１４１の径が２ｍｍ以上１０ｍｍ以下であることで、圧粉磁心１０を粉砕しやすく、リサイクル粉末１を得やすい。開口１４１の径は２ｍｍ以上１０ｍｍ以下でもよい。

【００７５】

圧粉磁心１０にコイルが取り付けられていたり、樹脂モールドが施されていたりする状態で使用済みの圧粉磁心１０を粉砕した場合、圧粉磁心１０は、原料に使用した軟磁性粉末と同程度の粒子径まで粉砕される。これに対し、コイルおよび樹脂モールドは、スクリーン１４０の開口１４１の径と同程度の大きさに粉砕される。圧粉磁心１０を粉砕したリサイクル粉末１の粒子径は、コイルおよび樹脂モールドの粉砕物の大きさに比べて十分に小さい。そのため、リサイクル粉末１とコイルおよび樹脂モールドの粉砕物とはふるいによって容易に分別することができる。また、リサイクル粉末１は、磁石に吸着するため、磁石によって分別してもよい。

【００７６】

粉砕工程は、圧粉磁心１０を粉砕した粉砕物をふるいによって分級する工程と、リサイクル粉末１を磁石によって選別する工程とを含んでもよい。ふるいによって分級する工程と磁石によって選別する工程によって、所定の粒度のリサイクル粉末１だけを選別して取得することができる。

【００７７】

≪プレス工程≫

プレス工程は、リサイクル粉末を圧縮成形する工程である。リサイクル粉末を圧縮成形することによって、リサイクルされた圧粉磁心が得られる。リサイクル粉末の平均粒子径が２０μｍ以上４００μｍ以下であることで、リサイクル粉末を取り扱いやすく、リサイクル粉末を圧縮成形しやすい。リサイクル粉末を圧縮成形するときの成形圧力が高いほど、圧粉磁心を高密度化できる。成形圧力は、例えば５００ＭＰａ以上１５００ＭＰａ以下である。

【００７８】

プレス工程において、リサイクル粉末を圧縮成形する前に、リサイクル粉末に潤滑剤を添加してもよい。潤滑剤を添加することで、圧縮成形するときのリサイクル粉末の潤滑性を向上させることができ、圧粉磁心を高密度化しやすい。潤滑剤には、脂肪酸アミドおよび金属石鹸などの固体潤滑剤を使用できる。脂肪酸アミドは、例えば、ステアリン酸アミドおよびエチレンビスステアリン酸アミドである。金属石鹸は、例えば、ステアリン酸亜鉛およびステアリン酸リチウムなどのステアリン酸金属塩である。潤滑剤の含有割合は、例えば、リサイクル粉末と潤滑剤の合計を１００質量％として、０．１質量％以上１．０質量％以下である。潤滑剤の含有割合が０．１質量％以上であれば、リサイクル粉末の潤滑性を十分に向上させることができる。よって、圧粉磁心を高密度化できる。潤滑剤の含有割合が１．０質量％以下であれば、圧粉磁心に含まれる軟磁性粉末の割合が低下しにくい。よって、圧粉磁心の磁気特性を高めることができる。潤滑剤の含有割合は０．３質量％以上０．６質量％以下でもよい。

【００７９】

プレス工程では、リサイクル粉末のみを圧縮成形してもよいし、新品の軟磁性粉末とリサイクル粉末とを含む混合粉末を圧縮成形してもよい。新品の軟磁性粉末とリサイクル粉末とを含む混合粉末を原料に使用することで、リサイクル粉末のみを原料に使用する場合に比べて、圧粉磁心の磁気特性を高めたり、圧粉磁心の渦電流損失を低減したりできる。混合粉末を原料に使用する場合、リサイクル粉末と新品の軟磁性粉末との合計質量に対するリサイクル粉末の質量割合は、例えば、１質量％以上１００質量％未満である。リサイクル粉末の質量割合が１質量％以上であることで、新品の軟磁性粉末の使用量を削減することによるCO_2の削減効果が期待できる。リサイクル粉末の質量割合が１００質量％未満であることで、新品の軟磁性粉末を含むことによる磁気特性の向上効果が期待できる。リサイクル粉末の質量割合が大きいほど、CO_2の削減効果が高くなる。CO_2の削減効

果の観点から、リサイクル粉末の質量割合は、例えば、５質量％以上、１０質量％以上、２０質量％以上、４０質量％以上、５０質量％以上、７０質量％以上、さらに９０質量％以上でもよい。混合粉末におけるリサイクル粉末の質量割合は、圧縮成形後も維持される。つまり、混合粉末を原料に使用して製造された圧粉磁心におけるリサイクル粉末の質量割合は、原料に使用した混合粉末におけるリサイクル粉末の質量割合と同等である。

【００８０】

≪熱処理工程≫

圧粉磁心の製造方法は、プレス工程の後、熱処理工程を備えてもよい。熱処理工程は、圧縮成形された圧粉磁心を熱処理する工程である。圧粉磁心を熱処理することで、圧縮成形によって軟磁性粒子に導入された歪を除去することができる。これにより、圧粉磁心の磁気特性を高めることができる。熱処理温度は、例えば３００℃以上９００℃以下である。プレス工程で添加した潤滑剤は、熱処理によって消失する。

【００８１】

［試験例１］

圧粉磁心を粉砕したリサイクル粉末の粒度分布を調べた。

【００８２】

圧粉磁心は、新品の軟磁性粉末を原料に使用して製造されたものである。以下、新品の軟磁性粉末を「新品粉末」と呼ぶ。新品粉末は、鉄からなる軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有する鉄粉である。軟磁性粒子は、純度が９９％以上の鉄によって形成されている。軟磁性粒子の平均粒子径は約２５０μｍであった。絶縁膜は、内層である第１の絶縁層と外層である第２の絶縁層が順に積層された２層構造を有する。第１の絶縁層はリン酸塩によって形成されている。第２の絶縁層はシリカによって形成されている。絶縁膜の平均厚さは約８０ｎｍであった。

【００８３】

圧粉磁心は、図２に示す円環状のステータコアである。ステータコアの外径ｄは約５２ｍｍである。ステータコアの厚さｔは約１９ｍｍである。ステータコアの厚さｔは、ヨークの厚さとティースの厚さとの合計厚さである。

【００８４】

複数の圧粉磁心を用意した。複数の圧粉磁心を粉砕機によって粉砕して、リサイクル粉末を得た。使用した粉砕機は、株式会社三力製作所製のＳＦ－１型である。この粉砕機は、図７に示すスクリーン１４０を備えるカッタ式粉砕機である。スクリーン１４０に形成された複数の開口１４１の各々の径は５ｍｍである。回転刃の回転数は約１０００ｒｐｍ（ｒｅｖｏｌｕｔｉｏｎ ｐｅｒ ｍｉｎｕｔｅ）である。

【００８５】

リサイクル粉末の粒度分布をレーザー回折式粒度分布測定装置によって測定した。使用したレーザー回折式粒度分布測定装置は、日機装株式会社製のＭＴ３３００ＥＸである。リサイクル粉末の粒度分布を図８に示す。また、図８に新品粉末の粒度分布を合わせて示す。リサイクル粉末の粒度分布は、リサイクル粉末から３つのサンプルを採取し、これらのサンプルの粒度分布を平均したものである。新品粉末の粒度分布は原料段階で測定したものである。図８は質量基準の粒度分布を示している。図８の横軸は粒子径［μｍ］であり、縦軸は頻度［質量％］である。実線のグラフはリサイクル粉末の粒度分布を示しており、破線のグラフは新品粉末の粒度分布を示している。

【００８６】

リサイクル粉末および新品粉末のそれぞれの粒子径Ｄ１０、粒子径Ｄ５０および粒子径Ｄ９０を求めた。粒子径Ｄ１０は、累積質量が１０％となる粒子径である。粒子径Ｄ５０は、累積質量が５０％となる粒子径である。粒子径Ｄ９０は、累積質量が９０％となる粒子径である。その結果を表１に示す。

【００８７】

【表１】

	D10[μm]	D50[μm]	D90[μm]
新品粉末	170	224	297
リサイクル粉末	169	222	291

【００８８】
図８および表１に示すように、圧粉磁心を粉砕したリサイクル粉末の粒度分布は、原料段階での新品粉末の粒度分布とほぼ同じである。このことから、使用済みの圧粉磁心を粉砕することによって、原料に使用した軟磁性粉末と同程度の粒子径まで粉砕できることがわかる。
【００８９】
［試験例２］
リサイクル粉末および新品粉末を使用して圧粉磁心を製造した。これらの圧粉磁心の損失を評価した。
【００９０】
＜試料Ｎｏ．１＞
試料Ｎｏ．１は、試験例１のリサイクル粉末を原料に使用した圧粉磁心である。試料Ｎｏ．１では、原料段階での絶縁膜の平均厚さが約８０ｎｍである。試料Ｎｏ．１の圧粉磁心は、次のようにして製造した。リサイクル粉末に潤滑剤を０．３質量％添加した。リサイクル粉末を圧縮成形して圧粉磁心を得た。成形圧力は約８５０ＭＰａとした。圧縮成形された圧粉磁心を熱処理した。熱処理温度は６００℃とし、保持時間は１５分間とした。製造した圧粉磁心は、リング状のトロイダルコアである。
【００９１】
＜試料Ｎｏ．２＞
試料Ｎｏ．２は、リサイクル粉末を原料に使用した圧粉磁心である。試料Ｎｏ．２のリサイクル粉末は、試料Ｎｏ．１と同様に、圧粉磁心を粉砕したものである。ただし、試料Ｎｏ．２では、原料段階での絶縁膜の平均厚さが約２５ｎｍであった。試料Ｎｏ．２の圧粉磁心は、試料Ｎｏ．１とは絶縁膜の平均厚さが異なるリサイクル粉末を使用した以外は、試料Ｎｏ．１の圧粉磁心と同様にして製造した。
【００９２】
＜試料Ｎｏ．１００＞
試料Ｎｏ．１００は、新品粉末のみを原料に使用して製造された圧粉磁心である。試料Ｎｏ．１００では、新品粉末の絶縁膜の平均厚さが約２５ｎｍである。試料Ｎｏ．１００の圧粉磁心は、新品粉末を原料に使用した以外は、試料Ｎｏ．１の圧粉磁心と同様にして製造した。
【００９３】
≪圧粉磁心の損失≫
各試料の圧粉磁心の損失を測定した。圧粉磁心の損失は、次のようにして測定した。圧粉磁心に１次コイルと２次コイルをそれぞれ巻回した。１次コイルの巻数は３００ターンであり、２次コイルの巻数は３０ターンである。１次コイルに電流を流して圧粉磁心を磁化させたときの鉄損を２次コイルにて測定した。測定した圧粉磁心の損失は、１ｋＨｚの周波数で１．０Ｔの磁束密度のときの鉄損［Ｗ／ｋｇ］である。試料Ｎｏ．１と試料Ｎｏ．２のそれぞれの圧粉磁心の損失を以下に示す。圧粉磁心の損失は、試料Ｎｏ．１００の圧粉磁心の損失を基準とした比率で示す。
試料Ｎｏ．１：１１２％
試料Ｎｏ．２：４４２％
【００９４】
絶縁膜の平均厚さが約８０ｎｍであるリサイクル粉末を原料に使用した試料Ｎｏ．１の圧粉磁心の損失は、試料Ｎｏ．１００の圧粉磁心の損失に対して＋１２％の増加であった

。これに対し、絶縁膜の平均厚さが約２５ｎｍであるリサイクル粉末を原料に使用した試料Ｎｏ．２の圧粉磁心の損失は、試料Ｎｏ．１００の圧粉磁心の損失に対して＋３４２％の増加であった。試料Ｎｏ．１の圧粉磁心の損失は、試料Ｎｏ．１００の圧粉磁心の損失とほぼ同じである。このことから、試料Ｎｏ．１の圧粉磁心は、試料Ｎｏ．１００の圧粉磁心と同等の性能を有することがわかる。

【００９５】

≪絶縁膜の評価≫

試料Ｎｏ．１と試料Ｎｏ．２のそれぞれの圧粉磁心の原料に使用したリサイクル粉末をＳＥＭによって観察した。軟磁性粒子表面の絶縁膜の状態を調べた。ＳＥＭの倍率は３０００倍である。図９および図１０は、絶縁膜３を平面視した図である。図９に示すように、試料Ｎｏ．２では、ひび割れ部３ｃがあることに加え、絶縁膜３が部分的に剥離した剥離部３ｆが多くあった。図９では、剥離部３ｆをハッチングで示している。図１０に示すように、試料Ｎｏ．１では、絶縁膜３に細かいひび割れが発生しており、絶縁膜３に多くのひび割れ部３ｃがあった。試料Ｎｏ．１では、絶縁膜３のひび割れが多く認められたが、絶縁膜３の剥離はほぼ認められなかった。このことから、絶縁膜が厚いほど、圧粉磁心を粉砕したときに絶縁膜が剥離しにくいと考えられる。

【００９６】

各試料の圧粉磁心における絶縁膜の状態を調べた。絶縁膜の状態は、圧粉磁心の断面をＳＥＭによって観察した。ＳＥＭの倍率は１０００倍である。図１１は、試料Ｎｏ．１００の圧粉磁心の断面を拡大して模式的に示したものである。図１１に示すように、試料Ｎｏ．１００では、軟磁性粒子２の表面を絶縁膜３が覆っていた。図１２は、試料Ｎｏ．１の圧粉磁心の断面を拡大して模式的に示したものである。図１２に示すように、試料Ｎｏ．１では、絶縁膜３にひび割れ部３ｃがあったものの、絶縁膜３の剥離はほぼ認められなかった。図１３は、試料Ｎｏ．２の圧粉磁心の断面を拡大して模式的に示したものである。図１３に示すように、試料Ｎｏ．２では、絶縁膜３に多くの剥離部３ｆがあった。

【００９７】

試料Ｎｏ．１の圧粉磁心の損失が試料Ｎｏ．２の圧粉磁心の損失よりも小さくなった理由は、次のように考えられる。試料Ｎｏ．１の圧粉磁心では、図１２に示すように、絶縁膜３にひび割れ部３ｃがあるが、絶縁膜３によって軟磁性粒子２間の電気的絶縁が保たれる。そのため、試料Ｎｏ．１の圧粉磁心では、渦電流損失の増加が軽減されたものと考えられる。これに対し、試料Ｎｏ．２の圧粉磁心では、図１３に示すように、絶縁膜３に剥離部３ｆがあるため、軟磁性粒子２間の電気的絶縁が低くなる。そのため、試料Ｎｏ．２の圧粉磁心では、渦電流損失が増加したものと考えられる。

【符号の説明】

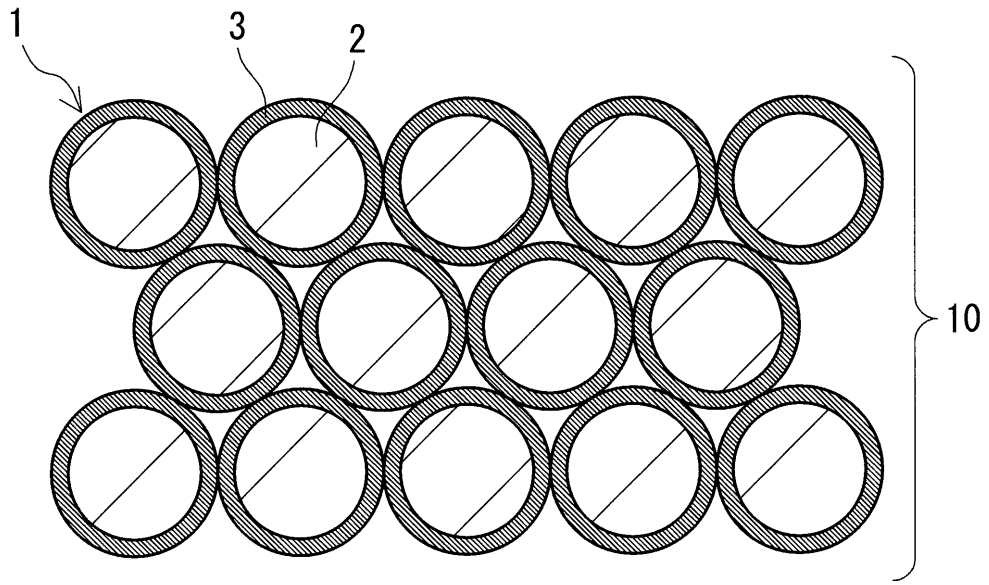
【００９８】

１　リサイクル粉末
２　軟磁性粒子
３　絶縁膜
３ｆ　剥離部、３ｃ　ひび割れ部
１０、１０ａ、１０ｂ、１０ｃ　圧粉磁心
２０　ヨーク
３０　ティース
１００　粉砕機
１１０　粉砕室、１１１　投入口
１２０　回転刃
１３０　固定刃
１４０　スクリーン、１４１　開口
２００　モータ用ステータ（ステータ）、２１０　コイル
２５０　ロータ、２６０　磁石、２７０　保持板、
３００　モータ

３１０　ケース、３２０　プレート、３３０　回転軸、３４０　ベアリング
ｄ　外径、ｔ　厚さ

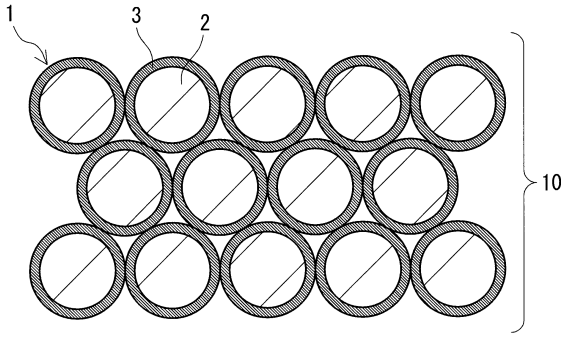
【要約】
【課題】圧粉磁心の製造時に発生する二酸化炭素の排出量を削減できる圧粉磁心を提供する。
【解決手段】軟磁性粒子の表面に絶縁膜を有するリサイクル粉末を含み、前記リサイクル粉末は、使用済みの圧粉磁心が粉砕された軟磁性粉末である、圧粉磁心。
【選択図】図１

Fig. 1



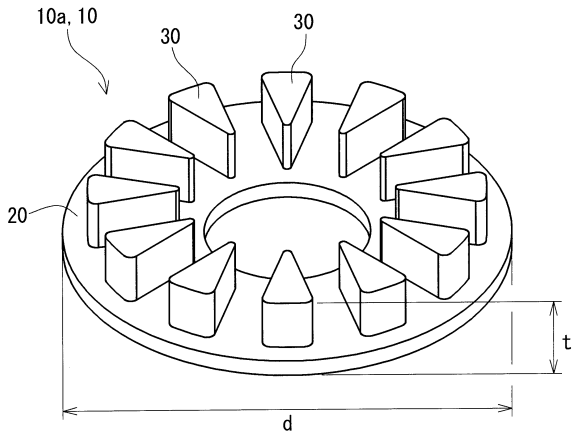
【図面】
【図１】

Fig. 1

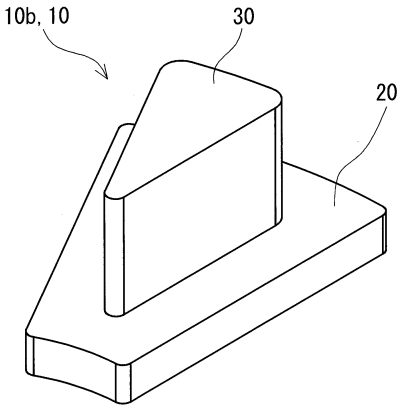


【図２】

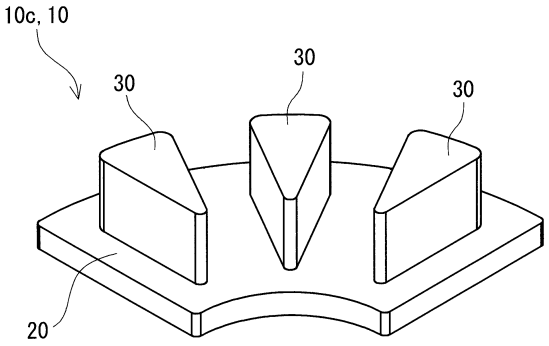
Fig. 2



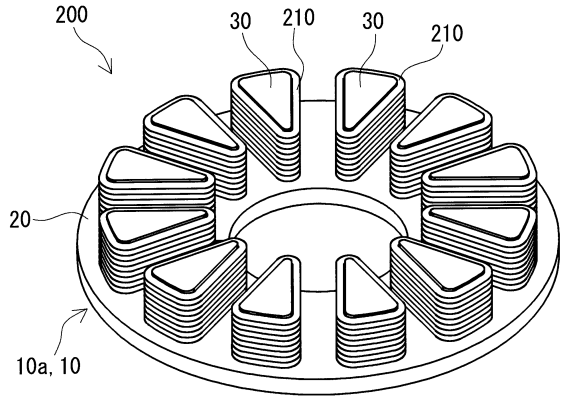
【図３】
Fig. 3



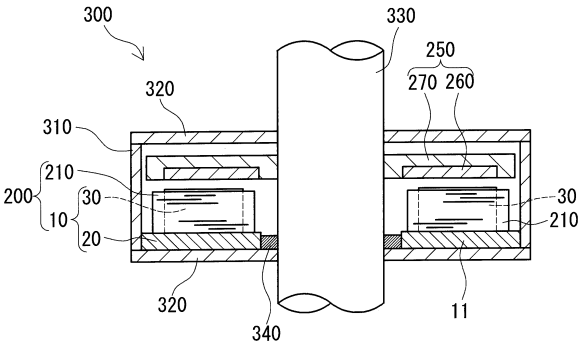
【図４】
Fig. 4



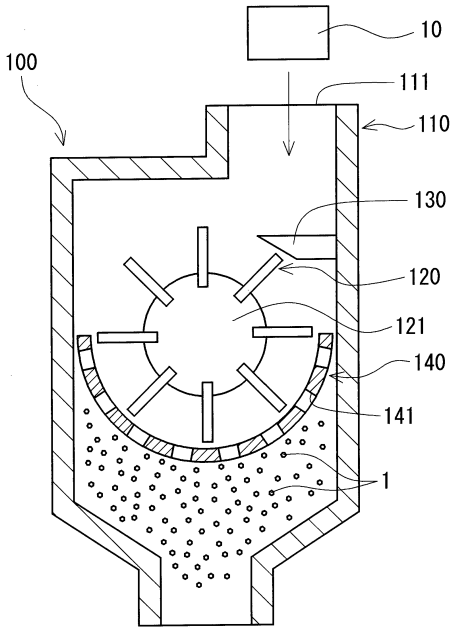
【図５】
Fig. 5



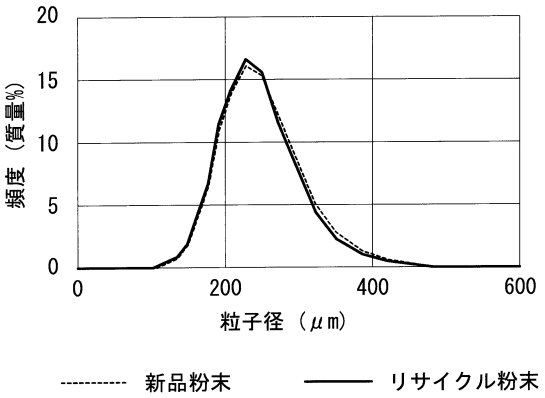
【図６】
Fig. 6



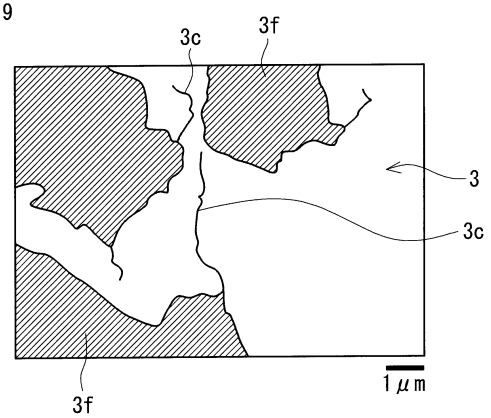
【図７】
Fig. 7



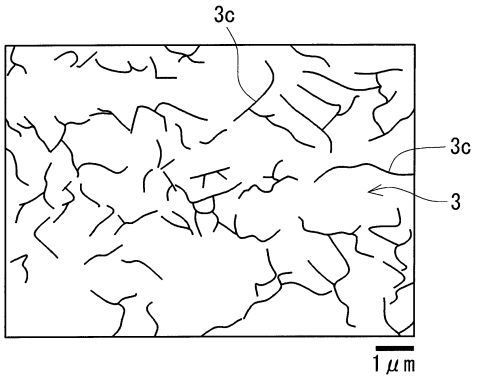
【図８】
Fig. 8



【図９】
Fig. 9

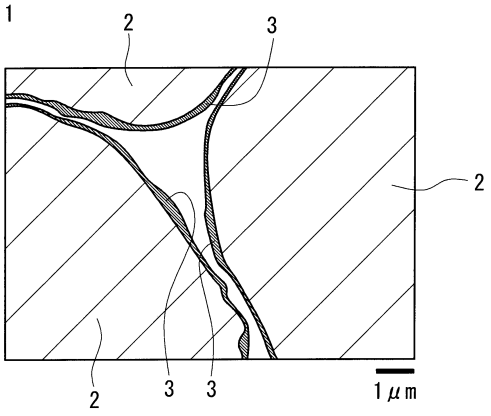


【図１０】
Fig. 10



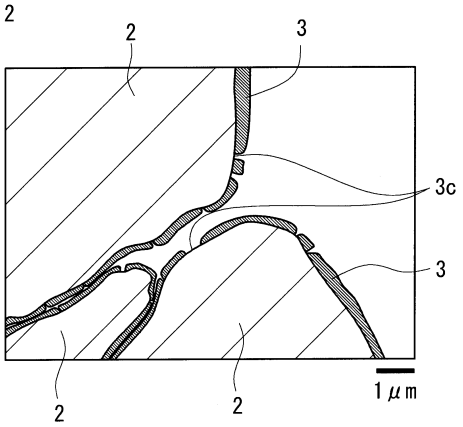
【図１１】

Fig. 11



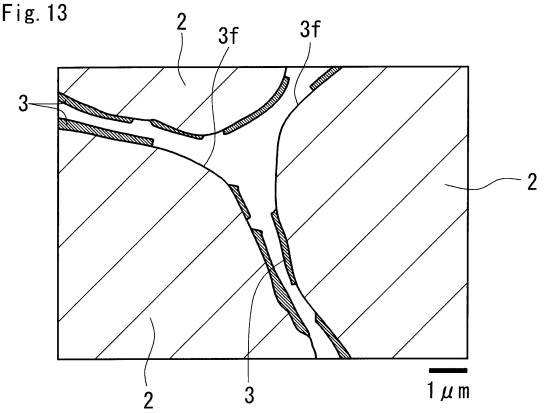
【図１２】

Fig. 12



【図１３】

Fig. 13



フロントページの続き

７月２４日から令和６年７月２６日にテクノフロンティア２０２４にて講演および講演資料の配布 ［刊行物等］ 令和６年７月２４日から令和６年７月２６日にテクノフロンティア２０２４にてリーフレットの展示及び配布 ［刊行物等］ 令和５年１１月２９日から令和５年１２月２日に２０２３国際ロボット展にてポスターの展示 ［刊行物等］ 令和６年５月２２日から令和６年５月２４日に人とくるまのテクノロジー展２０２４ＹＯＫＯＨＡＭＡにてポスターの展示 ［刊行物等］ ＥＶ用モータの資源対策、第３章、第４節、４．２ 圧粉磁心搭載アキシャルギャップモータの製造時におけるＣＯ２排出量、Ｓ＆Ｔ出版株式会社、令和５年１１月１５日 ［刊行物等］ 会報「まぐね」Ｍａｇｎｅｔｉｃｓ Ｊｐｎ．Ｖｏｌ．１９，Ｎｏ．５，２０２４，日本磁気学会、令和６年１０月１日

早期審査対象出願

住友電工焼結合金株式会社内

審査官 後藤 嘉宏

(56)参考文献 特開２０１９－２１２８４９（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０２２／２７０１３５（WO，Ａ１）
特開２０１７－１８８６７８（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０２１／１８１５１２（WO，Ａ１）
国際公開第２０１９／０３１２０９（WO，Ａ１）
特開２００５－０８０４３２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１３－１３５４９９（ＪＰ，Ａ）
佐藤ほか，圧粉磁心を用いた永久磁石同期モータの特性に関する研究，平成２６年 電気学会全国大会講演論文集 ［ＣＤ－ＲＯＭ］ 平成２６年電気学会全国大会講演論文集 （第５分冊），2018年03月05日，5-032

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)

Ｈ０１Ｆ ２７／２５５
Ｈ０１Ｆ ４１／０２
Ｈ０１Ｆ １／２４