

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6578083号
(P6578083)

(45) 発行日 令和1年9月18日(2019.9.18)

(24) 登録日 令和1年8月30日(2019.8.30)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 F 27/255 (2006.01)

H O 1 F 27/255

H O 1 F 27/24 (2006.01)

H O 1 F 27/24

K

H O 1 F 1/26 (2006.01)

H O 1 F 1/26

H O 1 F 37/00 (2006.01)

H O 1 F 37/00

A

H O 1 F 41/02 (2006.01)

H O 1 F 37/00

M

請求項の数 8 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-234444 (P2013-234444)
 (22) 出願日 平成25年11月12日(2013.11.12)
 (65) 公開番号 特開2015-95570 (P2015-95570A)
 (43) 公開日 平成27年5月18日(2015.5.18)
 審査請求日 平成28年11月10日(2016.11.10)

前置審査

(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19番43号
 (74) 代理人 100081961
 弁理士 木内 光春
 (74) 代理人 100112564
 弁理士 大熊 考一
 (74) 代理人 100163500
 弁理士 片桐 貞典
 (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30号 株
 式会社タムラ製作所埼玉事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低騒音リアクトル、圧粉磁心およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

軟磁性粉末に絶縁微粉末、結着性絶縁樹脂を混合した後、その混合物を所定の形状に成形し、その成形体を熱処理してなる圧粉磁心において、

前記絶縁微粉末が Al_2O_3 であり、その添加量が $0.1\text{wt}\% \sim 0.3\text{wt}\%$ であり、

前記結着性絶縁樹脂の添加量に対する前記絶縁微粉末の添加量の比率が、 $0.05 \sim 0.15$ であり、

前記結着性絶縁樹脂が、メチルフェニル系シリコン樹脂とシランカップリング剤の混合物であり、

前記シランカップリング剤が、エポキシシラン系、又はイソシアヌレート系のシランカップリング剤であり、

前記軟磁性粉末の平均粒径が $20\mu m \sim 100\mu m$ であり、前記絶縁微粉末の平均粒径の上限値が $0.50\mu m$ であり、

前記軟磁性粉末が、Fe-Si-Al合金粉末又はFe-Si合金粉末であることを特徴とする圧粉磁心。

【請求項2】

前記軟磁性粉末の粉末硬度が、 100MPa 以上であることを特徴とする請求項1に記載の圧粉磁心。

【請求項3】

前記請求項 1 又は前記請求項 2 に記載の圧粉磁心に対して、コイルを巻回して構成したことを特徴とする低騒音リアクトル。

【請求項 4】

軟磁性粉末に対して絶縁微粉末を混合する第 1 混合工程と、
前記第 1 混合工程で得られた混合物に対し結着性絶縁樹脂を混合する第 2 混合工程と、
前記第 2 混合工程で得られた混合物を加圧成型する加圧成型工程と、
前記加圧成型工程で得られた成形体を 600 以上の温度で熱処理する熱処理工程と、
を有し、

前記第 1 混合工程において、前記絶縁微粉末が Al_2O_3 であり、その添加量が 0.1 wt % ~ 0.3 wt % であり、

10

前記結着性絶縁樹脂の添加量に対する前記絶縁微粉末の添加量の比率が、0.05 ~ 0.15 であり、

前記結着性絶縁樹脂が、メチルフェニル系シリコン樹脂とシランカップリング剤の混合物であり、

前記シランカップリング剤が、エポキシシラン系、又はイソシアヌレート系のシランカップリング剤であり、

前記軟磁性粉末の平均粒径が $20\mu m \sim 100\mu m$ であり、前記絶縁微粉末の平均粒径の上限値が $0.50\mu m$ であり、

前記軟磁性粉末が、Fe-Si-Al 合金粉末又は Fe-Si 合金粉末であることを特徴とする圧粉磁心の製造方法。

20

【請求項 5】

前記軟磁性粉末の粉末硬度が 100 MPa 以上であることを特徴とする請求項 4 に記載の圧粉磁心の製造方法。

【請求項 6】

前記軟磁性粉末が Fe-Si-Al 合金粉末であり、

前記熱処理工程は、大気雰囲気中で熱処理することを特徴とする請求項 4 又は請求項 5 に記載の圧粉磁心の製造方法。

【請求項 7】

前記軟磁性粉末が Fe-Si-Al 合金粉末であり、前記加圧成型工程よりも前に、前記第 1 混合工程で得られた混合物に対し熱処理を行わないことを特徴とする請求項 4 ~ 請求項 6 の何れか 1 項に記載の圧粉磁心の製造方法。

30

【請求項 8】

前記軟磁性粉末が Fe-Si 合金粉末であり、

前記第 1 混合工程と前記加圧成型工程との間において、前記第 1 混合工程以降に得られた混合粉末を熱処理することを特徴とする請求項 4 又は請求項 5 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】

40

本発明は、低騒音リアクトルと、その低騒音リアクトルに適した圧粉磁心およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

OA 機器、太陽光発電システム、自動車、無停電電源などの制御用電源にはチョークコイルが用いられており、そのコアとして、フェライト磁心や圧粉磁心が使用されている。これらの中で、フェライト磁心は飽和磁束密度が小さいという欠点を有している。これに対して、金属粉末を成形して作製される圧粉磁心は、軟磁性フェライトに比べて高い飽和磁束密度を持つため、直流重畳特性に優れている。

【0003】

50

圧粉磁心には、エネルギー交換効率の向上や低発熱などの要求から、小さな印加磁場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。

【0004】

圧粉磁心を交流磁場で使用した場合、鉄損（ P_c ）と呼ばれるエネルギー損失が生じる。この鉄損は、式1に示すように、ヒステリシス損失（ P_h ）、渦電流損失（ P_e ）の和で表され、主に問題となるのは、ヒステリシス損失と渦電流損失である。

【0005】

ヒステリシス損失は動作周波数に比例し、渦電流損失は動作周波数の2乗に比例する。そのため、ヒステリシス損失は低周波側領域で支配的になり、渦電流損失は高周波領域で支配的になる。圧粉磁心は、この鉄損の発生を小さくする磁気特性が求められている。

10

【0006】

$$P_c = P_h + P_e \quad , \quad P_h = K_h \times f \quad , \quad P_e = K_e \times f^2 \quad \dots \text{式1}$$

K_h ：ヒステリシス損係数、 K_e ：渦電流損係数、 f ：周波数

【0007】

圧粉磁心のヒステリシス損失を低減するためには、磁壁の移動を容易にすればよく、そのためには軟磁性粉末粒子の保磁力を低下させればよい。この保持力を低減することで、初透磁率の向上とヒステリシス損失の低減が図れる。

【0008】

一方、渦電流損失は式2で示されるように、コアの比抵抗に反比例する。

20

$$K_e = k_1 (B_m^2 \cdot t^2) / \rho \quad \dots \text{式2}$$

k_1 ：係数、 B_m ：磁束密度、 t ：粒子径（板材の場合厚さ）、 ρ ：比抵抗

【0009】

高密度成形された圧粉磁心は、高い磁束密度を有し優れた磁気特性を発揮する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開平6-176914号公報

【特許文献2】特開2008-192897号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

太陽光発電システム等は、室内にユニットを配置するケースが多く騒音等の問題があり、これらに用いられるリアクトルの圧粉磁心の材料としては、磁歪が小さいFe-6.5Si合金粉末、FeSiAl合金（センダスト）等が適している。しかし、これらの材質を用いても圧粉磁心の絶縁層の強度が不十分だと騒音が大きくなる問題が発生する。すなわち、粉末磁心の磁歪を小さくしても、駆動中の励磁磁界によって粉末が振動することにより、騒音が発生する。そのため、粉末振動を低減するために絶縁層と粉末の密着強度を向上させ、絶縁層の硬度を高くする必要がある。

【0012】

40

この種の低騒音化技術としては、特許文献1において、センダスト粉末磁心の平均硬度をHv350以上あるいは圧縮破壊荷重を6.0t/cm²以上（600MPa以上）に高くするものが紹介されている。この従来技術では、磁心の硬度を高くする手段として、センダスト粉末に混合する水ガラスの添加量を1wt%～3wt%としている。

【0013】

しかし、特許文献1の技術は、磁性粉末内のクラックの発生による騒音を防止するものであって、クラックの発生がない状態での騒音を防止するものではない。すなわち、チョークコイルなどのリアクトルにおける騒音は、クラック発生時にのみ発生するものではなく、クラックがない場合でも、磁心を構成する粉末が励磁磁界によって振動することでも発生する。そのような磁心粉末による振動は、磁心粉末に水ガラスを添加するという特許

50

文献 1 の方法では防止することができない。特に、特許文献 1 にも記載のように、硬度を高くするために水ガラスの添加量を多くすると、得られたリアクトルの磁気特性が低下する問題もある。

【 0 0 1 4 】

また、チョークコイルなどのリアクトルは、磁心がリング状に成形されていることから、単に成形体の硬度を平均硬度が $Hv\ 350$ 以上あるいは圧縮破壊荷重が $6.0\ t\ on / c\ m^2$ 以上としただけでは騒音の抑止が十分ではない。

【 0 0 1 5 】

一方、低騒音化技術として、特許文献 2 では、 $Fe\ Si$ 合金と純鉄を混合することで占有率を上げる技術が紹介されている。しかしながら、占有率を上げて空壁を少なくすることは有効であるものの、純鉄を添加することで損失が増加する問題が発生する。すなわち、周波数が低い大電流用リアクタ用途では使用することが可能であるが、比較的周波数が高い太陽光発電用途では損失が高く、使用できない。また、空壁を低減させても、励磁磁界からなる粉末振動を抑える効果は少ない。

【 0 0 1 6 】

本発明は、上記のような従来技術の問題点を解決するために提案されたものである。本発明の目的は、圧粉磁心の絶縁層の硬度を上げ、騒音発生を効果的に抑止できる低騒音リアクトル、リアクトル用圧粉磁心およびそ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】

【 0 0 1 7 】

上記の目的を達成するため、本発明の圧粉磁心は、下記の構成を採用したことを特徴とする。

(1) 軟磁性粉末に絶縁微粉末、結着性絶縁樹脂を混合した後、その混合物を所定の形状に成形し、その成形体を熱処理して圧粉磁心を作製する。

(2) 絶縁微粉末が Al_2O_3 であり、その添加量が $0.1\ wt\ \% \sim 0.3\ wt\ \%$ とする。

(3) 結着性絶縁樹脂の添加量に対する絶縁微粉末の添加量の比率を、 $0.05 \sim 0.15$ とする。

(4) 結着性絶縁樹脂として、メチルフェニル系シリコン樹脂とシランカップリング剤の混合物を使用する。

(5) シランカップリング剤が、エポキシシラン系、又はイソシアヌレート系のシランカップリング剤である。

(6) 軟磁性粉末の平均粒径が $20\ \mu m \sim 100\ \mu m$ であり、絶縁微粉末の平均粒径の上限値が $0.50\ \mu m$ である。

(7) 軟磁性粉末が、 $Fe - Si - Al$ 合金粉末又は $Fe - Si$ 合金粉末である。

【 0 0 1 8 】

(8) 軟磁性粉末の粉末硬度が、 $100\ MPa$ 以上であることが好ましい。

【 0 0 1 9 】

本発明の低騒音リアクトルは、前記のような構成を有する圧粉磁心に対して、コイルを巻回して構成したことを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

本発明の圧粉磁心の製造方法は、軟磁性粉末に対して絶縁微粉末を混合する第 1 混合工程と、前記第 1 混合工程で得られた混合物に対し結着性絶縁樹脂を混合する第 2 混合工程と、前記第 2 混合工程で得られた混合物を加圧成型する加圧成型工程と、前記加圧成型工程で得られた成形体を 600 以上の温度で熱処理する熱処理工程と、を有し、前記第 1 混合工程において、前記絶縁微粉末が Al_2O_3 であり、その添加量が $0.1\ wt\ \% \sim 0.3\ wt\ \%$ であり、前記結着性絶縁樹脂の添加量に対する前記絶縁微粉末の添加量の比率が、 $0.05 \sim 0.15$ であり、前記結着性絶縁樹脂が、メチルフェニル系シリコン樹

10

20

30

40

50

脂とシランカップリング剤の混合物であり、前記シランカップリング剤が、エポキシシラン系、又はイソシアヌレート系のシランカップリング剤であり、前記軟磁性粉末の平均粒径が $20\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ であり、前記絶縁微粉末の平均粒径の上限値が $0.50\ \mu\text{m}$ であり、前記軟磁性粉末が、Fe-Si-Al 合金粉末又は Fe-Si 合金粉末であることを特徴とする。

【0021】

また、以下の構成を有するようにしても良い。

(1) 軟磁性粉末の粉末硬度は 100MPa 以上であること。

(2) 軟磁性粉末が Fe-Si-Al 合金粉末であり、前記熱処理工程は、大気雰囲気でする熱処理すること。

10

(3) 前記軟磁性粉末が Fe-Si-Al 合金粉末であり、前記加圧成型工程よりも前に、前記第1混合工程で得られた混合物に対し熱処理を行わないこと。

(4) 前記軟磁性粉末が Fe-Si 合金粉末であり、前記第1混合工程と前記加圧成型工程との間において、前記第1混合工程以降に得られた混合粉末を熱処理すること。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、圧粉磁心の絶縁層の硬度を上げることにより、磁心粉末の振動を抑制して騒音発生を効果的に抑止できる低騒音リアクトル、圧粉磁心およびその製造方法を提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】絶縁微粉末のモース硬度と騒音との関係を示すグラフである。

【図2】絶縁微粉末の添加量と騒音との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0024】

(1) 軟磁性粉末

軟磁性粉末としては、センダスト(Fe-Si-Al 合金)粉、Fe-Si 合金粉、純鉄粉などが使用できる。

30

【0025】

他に、軟磁性粉末としては、FeBPN(NはCu, Ag, Au, Pt, Pdから選ばれる1種以上の元素)が使用できる。軟磁性粉末は、水アトマイズ法、ガスアトマイズ法、水・ガスアトマイズ法により製造されるものを使用できるが、特に、水アトマイズ法によるものが好ましい。理由は、水アトマイズ法はアトマイズ時に急冷するため、結晶化しにくいからである。

【0026】

軟磁性粉末の平均粒径は $20\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ が好ましい。軟磁性粉末の粉末硬度(10%変位するのに必要な圧力)は 100MPa 以上であることが好ましい。例えば、非晶質合金の粉末硬度は 700MPa 、Fe-6.5%Si合金の粉末硬度は 390MPa 、FeSiAl合金の粉末硬度は 100MPa であるから、これらの合金が本発明に適している。但し、粉末硬度が 30MPa 程度の純鉄粉に対して、本発明を適用することも可能である。

40

【0027】

(2) 絶縁微粉末

絶縁微粉末は、モース硬度が7以上のものを用いる。例えば、モース硬度が7.0のSiO₂、モース硬度が9.0のAl₂O₃を用いる。絶縁微粉末の添加量は、0.05wt%~1.0wt%であることが好ましい。0.05wt%未満であると低騒音効果が得られない。1.0wt%超であると、透磁率が低下することでディップル電流が大きくなり、振動が大きくなって騒音が増加する。絶縁微粉末の平均粒径は、その上限値が0.5

50

0 μm であることが好ましい。0 . 5 0 μm 超であると密度低下を招き、透磁率が低下してしまう。なお、下限値は特に限定されないが、例えば、0 . 0 2 μm とすることができる。

【0028】

特に、本発明では、モース硬度が7以上の絶縁微粉末を軟磁性粉末に対して混合するため、圧粉磁心の絶縁層を硬くすることができる。そのため磁心の振動を抑制し、低騒音効果を得ることができる。

【0029】

(3) 結着性絶縁樹脂

結着性絶縁樹脂は、軟磁性粉末と絶縁微粉末の混合粉に添加する。結着性絶縁樹脂としては、常温で軟磁性粉末と絶縁微粉末の混合物を加圧した場合に、ある程度緻密化された状態の成形体得られ、しかも、その成形体に過大な力が加わらない限り、所定の形状を維持することのできる程度の粘性のある樹脂を用いる。

【0030】

例として、シリコン系樹脂、ワックスなどが挙げられる。シリコン系の樹脂としては、メチルフェニル系シリコン樹脂が好ましい。メチルフェニル系シリコン樹脂の添加量は、軟磁性粉末に対して0 . 7 5 w t % ~ 2 . 0 w t %が適量である。これよりも少なければ成形体の強度が不足して、割れが発生する。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る磁気特性が低下する問題が発生する。

【0031】

その他の結着性樹脂として、アクリル酸共重合樹脂(EAA)エマルジョンを使用することができる。混合するアクリル酸共重合樹脂(EAA)エマルジョンの添加量は合金粉末に対して0 . 5 w t % ~ 2 . 0 w t %であり、その場合の乾燥温度と乾燥時間は、8 0 ~ 1 5 0 で2時間である。アクリル酸共重合樹脂(EAA)エマルジョンの代りに、PVA(ポリビニルアルコール)水溶液(12%水溶液)を使用しても良い。PVA(ポリビニルアルコール)水溶液(12%水溶液)の添加量は、軟磁性粉末に対して0 . 5 w t % ~ 3 . 0 w t %が適量である。

【0032】

また、PVB(ポリビニルブチラル)の水溶液(12%水溶液)を用いても良く、キシレン、ブタノール等の溶剤に溶かして使用しても良い。その場合の軟磁性粉末に対する添加量は、PVAと同様である。

【0033】

(4) 潤滑性樹脂

潤滑性樹脂として、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使用できる。潤滑性樹脂を混合することにより、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。潤滑性樹脂の添加量は、軟磁性粉末に対して、0 . 1 w t % ~ 1 . 0 w t %程度が好ましく、一般的には、0 . 5 w t %程度である。

【0034】

(5) 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。

- (a) 軟磁性粉末に対して絶縁微粉末を混合する第1混合工程。
- (b) 第1混合工程で得られた混合物に対し結着性絶縁樹脂を混合する第2混合工程。
- (c) 第2混合工程で得られた混合物を加圧成型する加圧成型工程。
- (d) 加圧成型工程で得られた成形体を熱処理する熱処理工程。

【0035】

以下、各工程について、詳細に説明する。

(a) 第1混合工程

第1混合工程では、例えば、平均粒径が20 μm ~ 100 μm の軟磁性粉末に対して、

10

20

30

40

50

その 0.05 wt % ~ 1.0 wt % の絶縁微粉末を添加して混合する。

【0036】

(b) 第2混合工程

軟磁性粉末と絶縁微粉末の混合物に対して、軟磁性粉末に対して 0.75 wt % ~ 2.0 wt % の結着性絶縁樹脂と、0.1 wt % ~ 1.0 wt % の潤滑性樹脂とを添加して、更に混合する。

【0037】

結着性絶縁樹脂の混合工程において、シランカップリング剤を加えることもできる。シランカップリング剤を使用した場合は、結着性絶縁樹脂の分量を少なくすることができる。相性の良いシランカップリング剤の種類としては、アミノシラン系、エポキシシラン系、イソシアヌレート系のシランカップリング剤を使用することができ、特に、3-アミノプロピルトリエトキシシラン、3-グリシドキシプロピルトリメトキシシラン、トリス-(3-トリメトキシシリルプロピル)イソシアヌレートが良い。結着性樹脂に対するシランカップリング剤の添加量は、0.25 wt % ~ 1.0 wt % が好ましい。結着性絶縁樹脂にこの範囲のシランカップリング剤を添加することで、成形された圧粉磁心の密度の標準偏差、磁気特性、強度特性を向上させることができる。

10

【0038】

(c) 加圧成型工程

加圧成型工程では、第2混合工程を経た混合物を金型内に充填して、加圧成形する。その場合、金型温度は常温が好ましいが、80 までの範囲であっても構わない。すなわち、ここでの常温とは、5 ~ 35 までの範囲をいうが、5 ~ 80 の範囲であっても構わない。成形圧力は、例えば、900 MPa ~ 1700 MPa である。

20

【0039】

(d) 熱処理工程

成形体に対する熱処理は、軟磁性粉末の種類に応じて所定雰囲気において所定温度で行う。いずれの場合も加熱温度は600 以上であり、加熱保持時間は2時間~4時間程度である。熱処理雰囲気は、軟磁性粉末がFe-Si-Al合金粉末の場合は、窒素雰囲気若しくは大気雰囲気である。特に大気雰囲気の方が作製されたリアクトルの騒音が低くなるため好ましい。Fe-Si合金粉末、純鉄粉の場合は、それぞれ窒素雰囲気、10%~30%水素ガスなどの還元雰囲気が好ましい。また、熱処理温度は、上げ過ぎると絶縁破壊を起こし、渦電流損失が増加する。そのため、鉄損の増加を抑制する観点からFe-Si-Al合金粉末及びFe-Si合金粉末の場合、600 ~ 750 が好ましく、特にFe-Si-Al合金粉末は600 ~ 725 がより好ましい。純鉄粉の場合は、500 ~ 650 であっても良い。これらの温度範囲にすることで作製されたリアクトルの騒音が低くなる。

30

【実施例】

【0040】

本発明の実施例を、表1~表6、図1および図2を参照して、以下に説明する。

【0041】

(1) 測定項目

40

測定項目は、透磁率、鉄損、及び騒音である。作製された各圧粉磁心のサンプルに対して、φ2.6mmの銅線で42ターンの巻線を施してリアクトルを作製した。騒音測定用の圧粉磁心は、外径φ77.8mm、内径49.2mm、高さ30mmとした。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、下記の条件でリアクトルから発生する騒音について測定した。

【0042】

<透磁率及び鉄損>

透磁率及び鉄損の測定条件は、周波数100kHz、最大磁束密度Bm=50mTとした。透磁率は、鉄損Pcv測定時に最大磁束密度Bm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-82

50

32)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。

【0043】

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

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

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

P_{cv} : 鉄損

K_h : ヒステリシス損係数

K_e : 渦電流損失係数

f : 周波数

P_h : ヒステリシス損失

P_e : 渦電流損失

【0044】

<騒音測定>

騒音測定について、その測定装置、測定環境、測定方法等を以下に示す。

[騒音評価装置とソフトウェア]

(1) 測定装置 SOUND LEVEL METER NL-31 ... リオン株式会社製

(2) 測定環境 無響箱(暗騒音は25dB) KM-1... 株式会社アコー製

(3) パワーアンプ(音源) HIGH SPEED POWER AMPLIFIER/BIPOLAR POWER SUPPLY 4025
...NF ELECTRONIC INSTRUMENTS社製

(4) 発振器 80MHz Function/Arbitrary Waveform Generator 33250A... アジレント・テクノロジー株式会社製

(5) 分析処理ソフト SA-01 CATSYSSA Ver3.5... リオン株式会社製

【0045】

[測定方法]

(1) 太陽光発電用パワーコンディショナに接続

(2) マイク距離: 測定サンプルから10mmとした。

(3) 測定サンプルを無響箱内に設置し、騒音測定用のマイクの距離はサンプルから10mmとした。

【0046】

(2) サンプルの作製方法

圧粉磁心のサンプルは、下記のように、(a)絶縁微粉末のモース硬度、(b)絶縁微粉末の添加量、(c)結着性絶縁樹脂の種類の観点から作製した。また、(d)軟磁性粉末の粉末熱処理、(e)絶縁微粉末の粒径の観点からも作製した。これらの作製方法と、その結果について下記に順に示す。

【0047】

(a) 絶縁微粉末のモース硬度

硬度100MPaのFeSiAl合金粉末(平均粒子径40μm)の粉末に対して、絶縁微粉末(表1に示す種類と添加量)、潤滑剤0.3wt%を混合し、次にシランカップリング剤1.0wt%、メチルフェニル系シリコンレジン1.0wt%を混合し、150℃で2時間の加熱乾燥を行い、さらに潤滑剤0.3wt%を混合した。

【0048】

これを室温にて1000MPaの圧力で加圧成型し、外径77.8mm、内径49.2mm、高さ30.0mmのリング状の成型体を作製し、大気中で700℃で保持時間2時間で熱処理を行い、圧粉磁心を作製した。

【0049】

これらのサンプルに対して、上記「(1)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、及び騒音測定を行った。その結果を表1及び図1に示す。なお、表1～表6において、μaは透磁率、Pcvは鉄損を示している。騒音Max値は搬送周波数でのピーク値である。

10

20

30

40

50

【表 1】

種類	モース硬度	粒径(D50) [μm]	比表面積 [m^2/g]	添加量 [wt%]	密度 [g/cm^3]	μa	Pcv [kw/m^3]	騒音 Max値	
タルク	1.0	0.50	30	0.3	5.34	64.3	206	43.7	比較例1
MgO	6.0	0.10	150	0.3	5.41	62.1	179	37.2	比較例2
SiO ₂	7.0	0.02	300	0.3	5.39	62.6	182	35.2	実施例1
Al ₂ O ₃	9.0	0.05	100	0.3	5.40	59.8	198	31.0	実施例2

【0050】

図1は、絶縁微粉末のモース硬度と騒音との関係を示すグラフである。表1及び図1から、絶縁微粉末のモース硬度が高くなるほど騒音Max値が低下していることが分かる。特に、モース硬度が7.0以上で騒音の抑止効果が発揮され、低騒音になっていることが確認できる。なお、低騒音がどの程度の騒音レベルを指すかは、リアクトルの使用環境によって要求されるレベルが異なる。一般的には、リアクトルの使用時において不快と感じられないレベルの騒音は42dB以下とされているが、太陽光発電システム等のユニットを室内に配置する場合には、さらに低い騒音レベルが要求される場合がある。このような場合であっても、本実施例では、絶縁微粉末のモース硬度が7.0以上である場合に低騒音効果を実現することができる。特に、モース硬度が9.0であるAl₂O₃（アルミナ）が、低騒音効果が顕著である。

10

【0051】

(b) 絶縁微粉末の添加量

絶縁微粉末の種類と添加量を表2に示す条件とし、上記(a)と同様の手順で圧粉磁心を作製した。

20

【0052】

これらのサンプルに対して、上記「(1)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、及び騒音測定を行った。その結果を表2及び図2に示す。なお、「絶縁微粉末/結着性絶縁樹脂」は、結着性絶縁樹脂の添加量に対する絶縁微粉末の添加量の比率を示している。

【表 2】

絶縁微粉末					結着性絶縁樹脂		密度 [g/cm^3]	μa	Pcv [kw/m^3]	騒音 Max値 [dB]	絶縁微粉末/結着性絶縁樹脂	
種類	モース硬度	粒径(D50) [μm]	比表面積 [m^2/g]	添加量 [wt%]	シリカカップ リング剤 [wt%]	シリコン 樹脂 [wt%]						
Al ₂ O ₃	9.0	0.05	100	0.0	1.0	1.0	5.42	62.2	181	42.4	0.00	比較例3
				0.05	1.0	1.0	5.41	61.8	185	35.1	0.03	実施例15
				0.1	1.0	1.0	5.41	60.9	191	30.0	0.05	実施例3
				0.2	1.0	1.0	5.40	60.1	197	30.8	0.10	実施例4
				0.3	1.0	1.0	5.40	59.8	198	31.0	0.15	実施例2
				0.6	1.0	1.0	5.39	58.2	201	32.0	0.30	実施例5
				0.8	1.0	1.0	5.39	57.7	204	33.2	0.40	実施例6
				1.0	1.0	1.0	5.39	56.1	208	34.0	0.50	実施例7
				1.5	1.0	1.0	5.38	55.4	220	36.0	0.75	比較例5
				0.0	1.0	1.0	5.42	62.2	181	42.4	0.00	比較例3
MgO	6.0	0.10	150	0.1	1.0	1.0	5.42	62.2	175	38.2	0.05	比較例6
				0.3	1.0	1.0	5.41	62.1	179	37.2	0.15	比較例2
				1.0	1.0	1.0	5.39	58.9	183	39.3	0.50	比較例7
				0.0	1.0	1.0	5.42	62.2	181	42.4	0.00	比較例3
				0.1	1.0	1.0	5.41	62.1	180	35.8	0.05	実施例8
SiO ₂	7.0	0.02	300	0.3	1.0	1.0	5.39	62.6	182	35.2	0.15	実施例1
				1.0	1.0	1.0	5.39	59.4	178	37.3	0.50	実施例9

30

【0053】

図2は、絶縁微粉末の添加量と騒音との関係を示すグラフである。表2及び図2から、絶縁微粉末の添加量が0.05wt%～1.0wt%で低騒音効果が確認できる。0.05wt%未満であると、添加量が少なく圧粉磁心の絶縁層の硬度が十分に上がらない。そのため、励磁磁界による粉末振動を抑制できず、十分な騒音抑止の効果が得られない。1.0wt%を超えると透磁率が低下し、これに起因して騒音が増加する傾向になるリアクタのL値が低下する。これにより、ディップル電流が大きくなり、磁束密度変化が増加するため、騒音が増加する。

40

【0054】

また、表2から、絶縁微粉末/結着性絶縁樹脂の比率は、0.03～0.5が好ましい。この範囲を超えると十分な騒音抑止効果が得られないか、鉄損が低下し実用的なリアクトルを作製できない。

50

【 0 0 5 5 】

(c) 結着性絶縁樹脂の種類

絶縁微粉末の種類と添加量、及び結着性絶縁樹脂（シリコーン樹脂、シランカップリング剤）の種類と添加量を、表 3 に示す条件とし、上記(a)と同様の手順で圧粉磁心を作製した。

【 0 0 5 6 】

これらのサンプルに対して、上記「（１）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、及び騒音測定を行った。その結果を表 3 に示す。

【表 3】

種類	モース硬度	絶縁微粉末			シランカップリング剤		シリコーン樹脂		密度 [g/cm ³]	μ a	Pcv [kw/m ³]	騒音 Max値 [dB]	絶縁微粉末/結着性絶縁樹脂	
		粒径(D50) [μm]	比表面積 [m ² /g]	添加量 [wt%]	種類	[wt%]	種類	[wt%]						
Al ₂ O ₃	9.0	0.05	100	0.3	アミノシラン系	1.0	メチルフェニル系	1.0	5.40	59.8	198	31.0	0.15	実施例2
				0.3	エポキシシラン系	1.0	メチルフェニル系	1.0	5.38	72.5	197	28.1	0.15	実施例10
				0.3	イソシアヌレート系	1.0	メチルフェニル系	1.0	5.45	59.8	125	30.0	0.15	実施例11
				0.3	アミノシラン系	1.0	メチル系	1.0	5.38	58.1	180	37.8	0.15	比較例8

【 0 0 5 7 】

表 3 から分かるように、結着性絶縁樹脂としてメチルフェニル系のシリコーン樹脂、特にメチルフェニル系シリコーンレジンをを用いた場合に騒音抑止の効果が高い。また、結着性絶縁樹脂をシリコーン樹脂とシランカップリング剤の混合物とする場合には、シリコーン樹脂をメチルフェニル系シリコーン樹脂とし、シランカップリング剤をアミノシラン系、エポキシシラン系、イソシアヌレート系のシランカップリング剤を用いると、低騒音効果が高い。その中でも特に、エポキシシラン系のシランカップリング剤を用いた場合に騒音 Max 値が 28 . 1 dB であり、低騒音効果が顕著である。また、透磁率も他の例と比べて良好な数値を示している。イソシアヌレート系のシランカップリング剤を用いた場合には、低騒音効果に加えて、鉄損が 125 kW / m³ であり、鉄損が顕著に低い特徴がある。

【 0 0 5 8 】

(d) 軟磁性粉末の粉末熱処理

軟磁性粉末の粉末熱処理の有無による騒音抑制効果についても検証した。軟磁性粉末の粉末熱処理とは、第 2 混合工程を行う前段階における第 1 混合工程で得られた混合物に対する熱処理である。軟磁性粉末として、Fe—Si—Al 合金粉末、Fe—6 . 5 % Si 合金粉末を用いた場合の圧粉磁心の作製方法と、その結果を以下にそれぞれ順に示す。

【 0 0 5 9 】

(d - 1) Fe—Si—Al 合金粉末の粉末熱処理

硬度 100 MPa の FeSiAl 合金粉末（平均粒子径 40 μm）の粉末に対して、絶縁微粉末 0 . 6 wt % 混合した混合粉に対し、還元雰囲気水素 30 % の環境下において、下記表 4 の温度で熱処理を施した。

【 0 0 6 0 】

その後、熱処理を施した混合粉に潤滑剤 0 . 3 wt % を混合し、次にシランカップリング剤 1 . 0 wt %、メチルフェニル系シリコーンレジンを 1 . 0 wt % 混合し、150 で 2 時間の加熱乾燥を行い、さらに潤滑剤 0 . 3 wt % を混合した。

【 0 0 6 1 】

これを室温にて 1000 MPa の圧力で加圧成型し、外径 77 . 8 mm、内径 49 . 2 mm、高さ 30 . 0 mm のリング状の成型体を作製し、大気中で 700 で保持時間 2 時間で熱処理を行い、圧粉磁心を作製した。

【 0 0 6 2 】

これらのサンプルに対して、上記「（１）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、及び騒音測定を行った。その結果を表 4 に示す。

【表 4】

絶縁微粉末					粉末熱処理 [°C]	結着性絶縁樹脂		密度 [g/cm ³]	μ a	Pcv [kw/m ³]	騒音 Max値 [dB]	
種類	モース硬度	粒径 (D50)	比表面積 [m ² /g]	添加量 [wt%]		シランカップリング 剤 [wt%]	シリコーン樹脂 [wt%]					
Al ₂ O ₃	9.0	0.05	100	0.6	—	1.0	1.0	5.39	58.2	201	32.0	実施例5
				0.6	1050	1.0	1.0	5.14	33.6	220	55.3	比較例9

10

20

30

40

50

【 0 0 6 3 】

表 4 の騒音 M a x 値から明らかなように、F e S i A l 合金粉末の場合、粉末熱処理を 1 0 5 0 で実施すると、実施しない場合と比べて騒音が増加した。これは、F e S i A l 合金粉末（センダスト粉末）は水素雰囲気中で熱処理することで脆くなり（脆化）、加圧成形時に粉末に亀裂が生じて騒音が増加したからであると考えられる。熱処理により脆化が生じ、加圧成形時に粉末に亀裂が生じたであろうことは、粉末熱処理した場合に密度が低下していることから理解できる。

【 0 0 6 4 】

以上のことから、F e S i A l 合金粉末の場合、加圧成型工程よりも前に、第 1 混合工程で得られた混合物に対し熱処理を行わないことが、F e S i A l 合金粉末の硬度を保つことに繋がる結果、騒音抑制効果を実現できることが分かる。

【 0 0 6 5 】

(d - 2) F e — 6 . 5 % S i 合金粉末の粉末熱処理

硬度 3 9 0 M P a の F e — 6 . 5 % S i 合金粉末（平均粒子径 2 0 μ m）の粉末に対して、絶縁微粉末 0 . 2 w t % 混合した混合粉に対し、還元雰囲気水素 1 0 0 % の環境下において、下記表 5 の温度で熱処理を施した。

【 0 0 6 6 】

その後、熱処理を施した混合粉にシランカップリング剤 0 . 5 w t %、メチルフェニル系シリコーンレジン 0 . 9 w t % 混合し、1 5 0 で 2 時間の加熱乾燥を行い、さらに潤滑剤 0 . 6 w t % を混合した。

【 0 0 6 7 】

これを室温にて 1 0 0 0 M P a の圧力で加圧成型し、外径 7 7 . 8 m m、内径 4 9 . 2 m m、高さ 3 0 . 0 m m のリング状の成型体を作製し、窒素中で 7 0 0 で保持時間 2 時間で熱処理を行い、圧粉磁心を作製した。

【 0 0 6 8 】

これらのサンプルに対して、上記「（ 1 ）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、及び騒音測定を行った。その結果を表 5 に示す。

【表 5】

絶縁微粉末					粉末熱処理 [°C]	結着性絶縁樹脂		密度 [g/cm ³]	μ a	Pcv [kw/m ³]	騒音 Max値 [dB]	
種類	モース硬度	粒径 (D50)	比表面積 [m ² /g]	添加量 [wt%]		シランカップリング 剤 [wt%]	シリコーン樹脂 [wt%]					
Al ₂ O ₃	9.0	0.05	100	0.2	1050	1.0	1.0	6.05	59.1	580	33.8	実施例12
				0.2	—	1.0	1.0	6.00	58.5	725	43.4	比較例10

【 0 0 6 9 】

F e — 6 . 5 % S i 合金粉末の場合、粉末熱処理を実施することで、騒音抑止効果を得ることができる。これは、不純物が除去され（酸素濃度低下）、結晶内の粒子径を成長させることができるため、磁壁移動がスムーズになり、励磁磁界の追従性が増して騒音が低減できるからと考えられる。

【 0 0 7 0 】

(e) 絶縁微粉末の粒径

絶縁微粉末の粒径を下記表 6 のようにして、上記(a)と同様の手順で圧粉磁心を作製した。

【 0 0 7 1 】

これらのサンプルに対して、上記「（ 1 ）測定項目」で示したように、リアクトルを作製し、透磁率及び鉄損を算出した。その結果を表 6 に示す。

【表 6】

種類	粒径(D50) [μm]	添加量 [wt%]	密度 [g/cm^3]	μ_a	Pcv [kw/m^3]	
Al_2O_3	0.05	0.3	5.40	59.8	198	実施例12
	0.10	0.3	5.38	58.1	201	実施例13
	0.50	0.3	5.33	57.9	215	実施例14
	1.00	0.3	5.21	52.9	221	比較例11

【0072】

表6から分かるように、絶縁微粉末の平均粒径が大きくなると密度が低下する傾向にある。これに伴い透磁率も低下する。このため、絶縁微粉末の平均粒径の上限は、 $0.50\mu\text{m}$ であることが好ましい。これを超えると、低透磁率であるため、この圧粉磁心で作製したリアクトルは実用的でない。なお、絶縁微粉末の平均粒径の下限は、特に限定されないが、例えば、表2の SiO_2 （シリカ）から $0.02\mu\text{m}$ とすることができる。

10

【0073】

[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。例えば、実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。

20

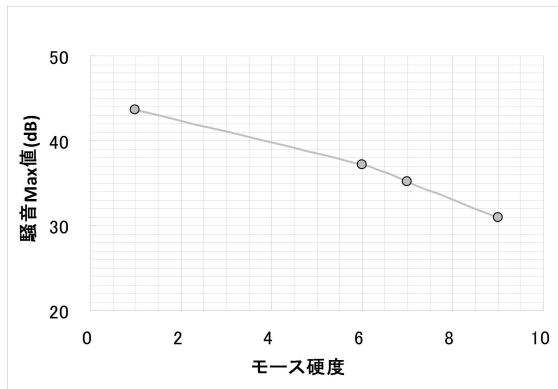
【0074】

(1) 表2では、結着性絶縁樹脂をシリコン樹脂とシランカップリング剤の混合物とし、結着性絶縁樹脂の添加量に対する絶縁微粉末の添加量の比率を示したが、シランカップリング剤は添加せず、シリコン樹脂の添加量に対する絶縁微粉末の添加量の比率を $0.05 \sim 0.5$ としても、シランカップリング剤を添加した場合と同様の効果を奏する。

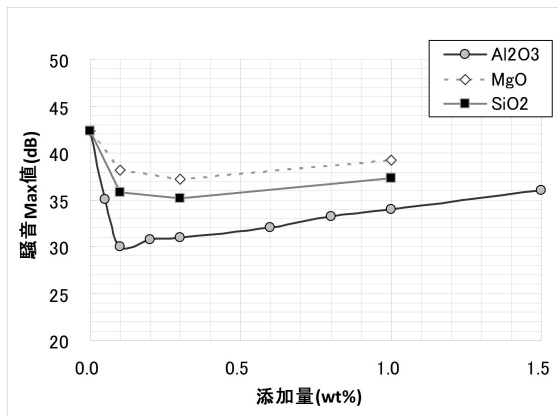
(2) 前記(a)の絶縁微粉末の混合(第1混合工程)と、(b)の結着性絶縁樹脂の混合(第2混合工程)を同時に行うことも可能である。軟磁性粉末($\text{Fe}-\text{Si}$ 合金粉末)に対する粉末熱処理は、第1混合工程と第2混合工程の間だけでなく、第2混合工程と加圧成型工程との間に行っても上記と同様の効果を奏する。

30

【図 1】



【図 2】



 フロントページの続き

- (51)Int.Cl. F I
 H 0 1 F 37/00 S
 H 0 1 F 41/02 D
- (72)発明者 網川 昌明
 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埼玉事業所内
- (72)発明者 赤岩 功太
 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埼玉事業所内
- (72)発明者 田村 泰治
 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埼玉事業所内

審査官 井上 健一

- (56)参考文献 特開 2 0 1 0 - 2 4 5 4 5 9 (J P , A)
 特開 2 0 1 0 - 2 5 1 4 7 3 (J P , A)
 特開 2 0 0 9 - 3 0 2 1 6 5 (J P , A)
 特開 2 0 0 9 - 2 5 9 9 7 4 (J P , A)
 特開 2 0 1 1 - 0 4 0 4 7 3 (J P , A)
 国際公開第 2 0 1 1 / 0 7 7 6 0 1 (W O , A 1)
 特開 2 0 0 9 - 2 5 9 9 7 9 (J P , A)
 特開 2 0 0 9 - 3 0 2 4 2 0 (J P , A)
 特開 2 0 0 9 - 2 5 9 9 3 9 (J P , A)
 米国特許出願公開第 2 0 1 3 / 0 2 9 8 7 3 0 (U S , A 1)
 国際公開第 2 0 1 1 / 0 7 7 6 9 4 (W O , A 1)
 特開 2 0 1 2 - 2 1 2 8 5 6 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
- | | |
|---------|-------------|
| H 0 1 F | 2 7 / 2 5 5 |
| H 0 1 F | 1 / 2 6 |
| H 0 1 F | 2 7 / 2 4 |
| H 0 1 F | 3 7 / 0 0 |
| H 0 1 F | 4 1 / 0 2 |
| B 2 2 F | 3 / 0 0 |