

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6880472号
(P6880472)

(45) 発行日 令和3年6月2日(2021.6.2)

(24) 登録日 令和3年5月10日(2021.5.10)

(51) Int.Cl. F I
H O 2 K 3/493 (2006.01) H O 2 K 3/493

請求項の数 6 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2020-570205 (P2020-570205)</p> <p>(86) (22) 出願日 令和2年8月6日(2020.8.6)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/JP2020/030213</p> <p>審査請求日 令和3年1月13日(2021.1.13)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2019-150117 (P2019-150117)</p> <p>(32) 優先日 令和1年8月20日(2019.8.20)</p> <p>(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2020-23466 (P2020-23466)</p> <p>(32) 優先日 令和2年2月14日(2020.2.14)</p> <p>(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 000005083 日立金属株式会社 東京都港区港南一丁目2番70号</p> <p>(72) 発明者 野口 伸 東京都港区港南一丁目2番70号 日立金属株式会社内</p> <p>(72) 発明者 菊地 慶子 東京都港区港南一丁目2番70号 日立金属株式会社内</p> <p>(72) 発明者 木村 守 東京都港区港南一丁目2番70号 日立金属株式会社内</p> <p>(72) 発明者 西村 和則 東京都港区港南一丁目2番70号 日立金属株式会社内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 磁性楔、回転電機、および磁性楔の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の Fe 基軟磁性粒子を有し、
前記複数の Fe 基軟磁性粒子は、Fe よりも酸化しやすい元素 M を含有するとともに、前記元素 M を含む酸化物相で結着され、
体積抵抗率が 10^{-4} m 以上であることを特徴とする磁性楔。

【請求項2】

前記元素 M は、Al、Si、Cr、Zr および Hf からなる群から選択される少なくとも一種であることを特徴とする請求項1に記載の磁性楔。

【請求項3】

前記 Fe 基軟磁性粒子は、Fe - Al - Cr 系合金粒子であることを特徴とする請求項2に記載の磁性楔。

【請求項4】

表面に電気絶縁性被覆を有することを特徴する請求項1ないし請求項3のいずれか一項に記載の磁性楔。

【請求項5】

請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の磁性楔を用いた回転電機。

【請求項6】

Fe よりも酸化しやすい元素 M を含有する Fe 基軟磁性粒子と、バインダとを混合して混合物にする工程と、

前記混合物を加圧成形して成形体にする工程と、

前記成形体に熱処理を施して、前記 Fe 基軟磁性粒子の粒子間に、前記 Fe 基軟磁性粒子同士を結着する前記 Fe 基軟磁性粒子の表面酸化物相を有する圧密体にする工程と、

を有することを特徴とする磁性楔の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機の磁気回路に用いられる磁性楔、その磁性楔を用いた回転電機、およびその磁性楔の製造方法に関する。

【背景技術】

10

【0002】

一般的なラジアルギャップ型回転電機では、固定子（以下ステータ）と回転子（ロータ）とを同軸にして配し、ロータ周りのステータに、コイルを巻き回した複数のティースを、周方向等間隔に配している。また、ティースのロータ側先端には、隣り合うティースの先端を接続するよう、磁性楔を配することがある。なおこの場合、磁性楔は、コイル部品等とは異なり、磁性楔自体にはコイルを巻き回さずに用いられる。

【0003】

このような磁性楔を配することで、ロータからコイルに到達する磁束を磁気シールドでき、コイルの渦電流損失を抑制することができる。また、磁性楔を配することで、ステータとロータとの間のギャップ内磁束分布（特に周方向の磁束分布）をなだらかにし、ロータの回転を滑らかにすることができる。このように、磁性楔を配することで、高効率・高性能の回転電機にすることができる。

20

【0004】

また、従来の磁性楔としては、鉄粉とガラスクロスとをエポキシ樹脂にて固形化したものが知られている（例えば、特許文献1）。この磁性楔は、鉄粉の粒子間をエポキシ樹脂で隔絶することで電気抵抗を高め、ガラスクロスを分散させることで強度を高めている。

【0005】

また、比透磁率の大きい磁性楔としては、Fe-Si合金粉末を樹脂で固形化した磁性楔が知られている（例えば、特許文献2）。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開昭62-77030号公報

【特許文献2】WO2018/008738号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

磁性楔は、コイルを良好に磁気シールドするために、比透磁率の高いことが望まれるとともに、コイルやロータの交流磁界による渦電流損失を抑制するために、電気抵抗の高いことが望まれている。加えて、回転電機に配した磁性楔には、上記交流磁界により曲げ応力が加わるので、曲げ強度の高いことが望まれている。

40

【0008】

特許文献1では、電気抵抗率が 10^3 cm程度、三点曲げ強度 25 kgf/mm^2 程度の磁性楔が開示されている。しかし、低損失、高信頼性等の要求に応えるには、さらなる高抵抗化、高強度化が望まれていた。

【0009】

また、特許文献2の磁性楔も、比透磁率が高く磁気シールド性は良好なもの、合金粉末を樹脂で固形化したただけなので、曲げ強度等の信頼性に課題があった。

【0010】

そこで、本発明では、電気抵抗と曲げ強度が高い磁性楔、その磁性楔を用いた回転電機

50

、およびその磁性楔の製造方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の磁性楔は、複数のFe基軟磁性粒子を有し、前記複数のFe基軟磁性粒子は、Feよりも酸化しやすい元素Mを含有するとともに、前記元素Mを含む酸化物相で結着され、体積抵抗率が $10^{-4} \cdot m$ 以上である。

【0012】

また、前記磁性楔では、前記元素Mは、Al、Si、Cr、Zr、Hfの少なくとも一種であることが好ましい。

【0013】

また、前記磁性楔では、Fe-Al-Cr系合金粒子であることが好ましい。

【0014】

また、前記磁性楔では、表面に電気絶縁性被覆が形成されていることが好ましい。

【0015】

また、本発明の回転電機は、上記のいずれかの磁性楔を用いている。

【0016】

また、本発明の磁性楔の製造方法は、Feよりも酸化しやすい元素Mを含有するFe基軟磁性粒子と、バインダとを混合して混合物にする工程と、前記混合物を加圧成形して成形体にする工程と、前記成形体に熱処理を施して、前記Fe基軟磁性粒子の粒子間に、前記Fe基軟磁性粒子同士を結着する前記Fe基軟磁性粒子の表面酸化物相を有する圧密体にする工程と、を有している。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、電気抵抗と曲げ強度が高い磁性楔、その磁性楔を用いた回転電機、およびその磁性楔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】本発明の第1実施形態である磁性楔の外観模式図である。

【図2】本発明の第1実施形態である磁性楔の断面の拡大模式図である。

【図3】本発明の第2実施形態である磁性楔の断面の拡大模式図である。

【図4】本発明の第3実施形態である回転電機の模式図である。

【図5】本発明の第3実施形態の別の一例である回転電機の模式図である。

【図6】本発明の第3実施形態のさらに別の一例である回転電機の模式図である。

【図7】本発明の第4実施形態である磁性楔の製造方法についての工程フローである。

【図8】本発明の第5実施形態である磁性楔の製造方法についての工程フローである。

【図9】実施例の断面組織を示すSEM写真である。

【図10】実施例と比較例の直流磁化曲線を示すグラフである。

【図11】実施例の鉄損を示すグラフである。

【図12】電磁界解析に使用した回転電機のモデル図である。

【図13】回転電機の電磁界解析結果を示すグラフである。

【図14】実施例と比較例の三点曲げ強度の温度依存性を示すグラフである。

【図15】実施例と比較例の220℃における加熱減量を示すグラフである。

【図16】実施例と比較例の290℃における加熱減量を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0020】

本発明の磁性楔は、複数のFe基軟磁性粒子を有し、前記複数のFe基軟磁性粒子は、Feよりも酸化しやすい元素Mを含有するとともに、前記元素Mを含む酸化物相で結着されている。

10

20

30

40

50

図1の模式図に示すように、磁性楔100は、例えば、断面が矩形の短冊形状をしている。そして、磁性楔100は、後の実施形態で説明するように、ティースのロータ側先端を接続するようにして回転電機に配され、短冊の長手方向を回転電機の回転軸に平行にして配される。よって、磁性楔100の形状は、ティースとの接続態様に依存して変化し、長手稜線に段差やテーパを設けたり、切欠きを入れたりすることもあり、断面を、例えば台形のような多角形や、異形にすることもある。なお、磁性楔100の概略寸法は、例えば、長手方向が20mmから300mm、幅方向(磁路方向)が2mm~20mm、厚さが1~5mm程度である。

【0021】

(第1実施形態)

図2は、本実施形態の磁性楔100の断面の拡大模式図である。磁性楔100は、複数のFe基軟磁性粒子で構成され、より具体的には、Feよりも酸化しやすい元素Mを含有する複数のFe基軟磁性粒子1の圧密体である。そして、圧密体の粒子間に、空隙2と、Fe基軟磁性粒子1同士を結着するFe基軟磁性粒子の表面酸化物相3とを有している。かかる表面酸化物相は元素Mを含む酸化物相である。

【0022】

ここで、Fe基軟磁性粒子1は、他の元素よりFeの含有量が質量比で最も多い軟磁性合金粒子であり、CoやNiを含有する軟磁性合金粒子にしてもよい。ただし、CoやNiの含有量はFeの含有量を超えてはならない。

【0023】

Fe基軟磁性粒子1の粒径を小さくすることで、磁性楔100自身に発生する渦電流損失低減に有利である一方、粒径が小さいと、粒子の製造自体が困難になる可能性がある。そこで、磁性楔100の断面観察像において、Fe基軟磁性粒子1の各粒子の最大径の平均は、0.5μm以上、15μm以下であるのが好ましく、0.5μm以上、8μm以下であるのがより好ましい。また、最大径が40μmを超える粒子個数比率は、1.0%未満であるのが好ましい。

【0024】

なお、ここで言うFe基軟磁性粒子1の各粒子の最大径の平均とは、磁性楔100の断面を研磨して顕微鏡観察を行い、一定の面積の視野内に存在する30個以上の粒子の最大径を読み取ったそれらの平均値のことである。

【0025】

また、空隙2と表面酸化物相3は、Fe基軟磁性粒子1の粒子間に存在することで、Fe基軟磁性粒子1の平均粒子間隔を広くし、磁性楔100の電気抵抗を高めることができる。

加えて、空隙2と表面酸化物相3の、磁性楔全体に対する体積比率を調整することで、磁性楔100の比透磁率を調整することもできる。別の言い方をすれば、磁性楔全体に対する空隙2と表面酸化相3の体積比率と、Fe基軟磁性粒子1の体積比率(以下では占積率と呼ぶ)は、相補的な関係にあるので、Fe基軟磁性粒子1の占積率を調整することで、磁性楔100の比透磁率を調整することもできる。

占積率は、Fe基軟磁性粒子1の真密度に対する、磁性楔100の密度の割合(相対密度)で定義される。占積率は、後の実施形態で説明するように、混合物の成形圧、あるいは、成形体の熱処理温度により調整することができる。

【0026】

なお、比透磁率とは、磁性楔100の直流B-H曲線において、印加磁界160kA/mにおける磁束密度の値(単位:T)を磁界の値(即ち160kA/m)で除し、さらに真空の透磁率(4×10^{-7} H/m)で除した値 μ である。また、比透磁率として、磁性楔100の飽和磁束密度の1/10以下の励磁レベルで、かつ磁性楔100の自然共鳴周波数の1/10以下の周波数(直流を含む)で測定された磁化曲線(いわゆるマイナーループ)の傾きを、真空の透磁率(4×10^{-7} H/m)で除した値 μ_i を用いる場合もある。自然共鳴周波数とは、比透磁率の虚数部が極大となる周波数のことであり、複数

10

20

30

40

50

の極大が現れる場合には最も低周波側のものを採用する。

【0027】

磁性楔100の比透磁率は、高いほど磁気シールド効果が高まって損失が低減する。その反面、比透磁率が高すぎると磁束がティースからロータに流れずにティース間で短絡し、回転電機のトルクが低下する。このような効果は磁性楔100の厚さにも依存し、比透磁率の高い磁性楔でも薄くすることで磁気抵抗を調整し、損失低減とトルクをある程度両立することができる。また、磁性楔100が厚すぎると、その分コイル設置スペースを圧迫することになり好ましくない。本実施形態の磁性楔は強度が高いため、薄くすることが特に好適である。そのため、磁性楔100の厚さは例えば3mm以下とすることができる。

【0028】

磁性楔100の厚さが3mm以下であっても磁気シールドによる損失低減効果を維持するためには、磁性楔100の比透磁率 μ は、4以上(μ_i で5以上)であるのが好ましく、7以上(μ_i で10以上)であるのがより好ましい。そのためには、磁性楔100におけるFe基軟磁性粒子1の占積率が、30%以上であるのが好ましく、50%以上であるのがより好ましい。

【0029】

一方、磁性楔100を薄くしすぎると耐荷重が低下して強度不足に陥る可能性がある。かかる観点から、磁性楔100の厚さは0.5mm以上が好ましく、1mm以上がより好ましい。磁性楔100の厚さが1mm以上であっても回転電機のトルク低下を抑制するためには、磁性楔100の比透磁率 μ は8.0以下(μ_i で65以下)に調整されているのが好ましく、7.5以下(μ_i で50以下)に調整されているのがより好ましい。そして、7.0以下(μ_i で35以下)に調整されているのがさらに好ましい。そのためには、磁性楔100におけるFe基軟磁性粒子1の占積率が、90%未満であるのが好ましく、85%以下であるのがより好ましい。そして、80%以下であるのがさらに好ましい。

【0030】

また、Fe基軟磁性粒子1は、Feよりも酸化しやすい元素Mを含有する粒子である。ここで、「Feよりも酸化しやすい元素M」とは、酸化物の標準生成ギブズエネルギーが、 Fe_2O_3 よりも低い元素を意味している。この条件を満たす元素は、元素Mとして選択できるが、過激な反応性や毒性が少なく、磁性楔100を製造しやすいので、Al、Si、Cr、Zr、Hfから選択するのが好ましい。

【0031】

このような元素Mを含有することで、Fe基軟磁性粒子1同士を強固に結着する良好な表面酸化物相3を容易に形成することができる。具体的には、複数のFe基軟磁性粒子1を、成形後に酸化することで、元素Mの含有量がFe基軟磁性粒子1の内部よりも高い表面酸化物相3を、容易に形成することができる。特に、元素MにAlを選択した場合、とりわけ良好な表面酸化物相3が得られるので好ましい。

【0032】

このような表面酸化物相3は、化学的に安定で電気抵抗が高く、Fe基軟磁性粒子1に強く密着して強固な表面酸化物相になる。すなわち、Fe基軟磁性粒子1の粒子間を隔絶して電気抵抗の高い磁性楔100にできるとともに、Fe基軟磁性粒子1同士を強固に結着して曲げ強度の高い磁性楔100にすることができる。

【0033】

ここで、磁性楔100の電気抵抗は、高いほど好ましく、体積抵抗率の値で $10 \cdot m$ 以上であるのが好ましく、 $20 \cdot m$ 以上であるのがより好ましく、さらに $100 \cdot m$ 以上であるのが好ましい。そして、 $1000 \cdot m$ 以上であるのがより一層好ましい。また、磁性楔100の曲げ強度も、高いほど好ましく、三点曲げ強度の値で $150 MPa$ 以上であるのが好ましく、 $200 MPa$ 以上であるのがより好ましい。そして、 $250 MPa$ 以上であるのがさらに好ましい。

【0034】

ここで、表面酸化物相3の厚さは、薄いと、粒子同士の電氣的な隔絶が小さくなって、

10

20

30

40

50

磁性楔100の電気抵抗が低下するとともに、比透磁率が高くなって、空隙2の体積率の調整だけでは、比透磁率を所望の値に調整できなくなる可能性がある。一方、厚いと比透磁率が低くなって、磁気シールド効果が弱くなる可能性がある。そこで、表面酸化物相3の厚さは、例えば0.01~1.0 μm にするのが好ましい。このようにすることで、電気抵抗と曲げ強度が高く、比透磁率が調整された磁性楔100にすることができる。

【0035】

また、Fe基軟磁性粒子1に含有される元素Mの量は、少な過ぎると、Fe基軟磁性粒子1を酸化しても、元素Mの含有量がFe基軟磁性粒子1の内部よりも高い、良好な表面酸化物相3を形成しにくくなり、多過ぎると、Fe濃度が薄まるのでFe基軟磁性粒子1の飽和磁束密度とキュリー温度が低下してしまう可能性がある。

10

【0036】

そこで、Fe基軟磁性粒子1に含有される元素Mの量は、1.0質量%以上20質量%以下にするのが好ましい。このようにすることで、良好な表面酸化物相3を容易に形成でき、Fe基軟磁性粒子1の飽和磁束密度とキュリー温度を高く維持することができる。すなわち、電気抵抗と曲げ強度が高く、磁気シールド性の高い、磁性楔100にすることができる。

【0037】

また、元素Mは、一種だけでなく、AlとCr、SiとCrなどの組み合わせで二種以上選択してもよい。例えば、AlとCrの二種を選択して、Fe基軟磁性粒子1を、Fe-Al-Cr系合金粒子にしてもよい。このようにすることで、比較的少ないAl量でも、元素Mの含有量の合計がFe基軟磁性粒子1の内部よりも高い、良好な表面酸化物相3を形成することができる。すなわち、曲げ強度が高く、比透磁率が調整された磁性楔100にすることができる。なお、Fe-Al-Cr系合金とは、Feの次に含有量が多い元素が、CrおよびAl(順不同)である合金のことであり、その他の元素がFe、Cr、Alより少量含まれていても良い。Fe-Al-Cr系合金の組成はこれを特に限定するものではないが、例えばAlの含有量としては、好ましくは2.0質量%以上、より好ましくは5.0質量%以上である。高飽和磁束密度を得る観点からは、Alの含有量は、好ましくは10.0質量%以下、より好ましくは6.0質量%以下である。また、Crの含有量は、好ましくは1.0質量%以上、より好ましくは2.5質量%以上である。高飽和磁束密度を得る観点からは、Crの含有量は、好ましくは9.0質量%以下、より好ましくは4.5質量%以下である。

20

30

【0038】

なお、上記元素Mに二種以上の元素を選択した場合、それら含有量の合計は、一種を選択した場合と同様に、1.0質量%以上20質量%以下にするのが好ましい。

【0039】

また、Fe基軟磁性粒子1は、上記元素M以外の元素が添加された粒子にしてもよい。ただし、これら添加元素は、元素Mより少量添加するのが好ましい。さらに、化学的手法や熱処理などで表面処理された粒子にしてもよい。また、Fe基軟磁性粒子1は、組成が異なる複数種のFe基軟磁性粒子で構成することもできる。

【0040】

40

また、表面酸化物相3は、元素M以外にFeやその他の元素を含有する表面酸化物相3にしてもよく、元素MやFeなどの元素濃度は、表面酸化物相3の内部において必ずしも均一である必要はない。すなわち、粒界ごとに元素濃度が異なってもよい。

【0041】

以上の説明のように、Fe基軟磁性粒子1と表面酸化物相3を有する磁性楔100にすることで、電気抵抗と曲げ強度が高い磁性楔100にすることができる。そして、これら構成と空隙2とで、電気抵抗と曲げ強度が高く、比透磁率が調整された磁性楔100にすることができる。

【0042】

従来の磁性楔は、鉄粉をエポキシ樹脂中に分散させ、軟磁性粒子同士をエポキシ樹脂に

50

て結着しているため、高温下の環境では、樹脂が軟化して結着強度が低下してしまう可能性がある。すなわち、回転電機のような高温下で使用すると、曲げ強度に課題を生じる可能性がある。これに対して、本実施形態の磁性楔100は、樹脂ではなく表面酸化物相3で粒子同士を接合しているため、高温下で粒子同士の結着強度が低下することを抑制でき、高温下でも曲げ強度の高い磁性楔100が提供できる。例えば、室温(25)から150に昇温したときの三点曲げ強度の低下率を5%未満、より好ましくは3%未満にすることができる。さらには、室温(25)から200に昇温したときの三点曲げ強度の低下率も10%未満、より好ましくは5%未満にすることができる。

【0043】

また、上述のように従来の磁性楔には樹脂が含まれているため、高温環境下に長時間さらされると樹脂が分解劣化して不可逆的な強度低下と寸法減少を引き起こすという課題があった。これに対し、本実施形態である樹脂レスの磁性楔100ではそのような問題は発生しない。この点においても、耐熱性と長期信頼性に優れた磁性楔100が提供できる。例えば、180で1000時間経過後の質量の減量率を0.05%未満、より好ましくは0.03%未満にすることができる。また、220で450時間経過後の質量の減量率も0.1%未満、より好ましくは0.05%未満にすることができる。さらには、290で240時間経過後の質量の減量率も1%未満、より好ましくは0.5%未満にすることができる。

【0044】

また、回転電機の耐熱温度は、用途や仕様により異なるものの、規格上155や180と設定されるものがある。加えて、一部の回転電機では、200程度にまで上昇するものもある。本実施形態の磁性楔100は、高温下でも優れた曲げ強度を維持できるため、これまで磁性楔が設置できなかった、最高温度が180を超える回転電機、さらには200を超えるような回転電機にも好適に用いることができる。

【0045】

また、本実施形態の磁性楔100は、上記圧密体を基体として、その表面に電気絶縁性被覆が形成されていることが好ましい。このようにすることで、磁性楔100の電気抵抗と強度をさらに高くするとともに、圧密体表面からの粒子の脱落を抑制して、信頼性の高い磁性楔100にすることができる。被覆には、渦電流損失を抑制するために、樹脂や酸化物による電気絶縁性被覆が好ましく、例えばエポキシ樹脂による粉体塗装や、ワニスやシリコン樹脂の含浸による封孔処理被覆、あるいは金属アルコキシドを含浸させてゾルーゲル法による無機物の封孔処理被覆、を採用することができる。これらのうち、樹脂の高温劣化を回避する観点から、ゾルーゲル法による無機物の封孔処理被覆が特に好ましい。

【0046】

(第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態である、磁性楔200について説明する。なお、本実施形態の磁性楔200と第1実施形態の磁性楔100とは、圧密体の粒子構成だけが異なるので、拡大模式図を用いてのみ説明する。また、第1実施形態と同じ構成は、作用効果が同じなので、同じ記号を付して説明を省略する。

【0047】

図3は、磁性楔200の拡大模式図である。磁性楔200は、Feよりも酸化しやすい元素Mを含有する複数のFe基軟磁性粒子1と、複数の非磁性粒子4の圧密体である。複数のFe基軟磁性粒子は、元素Mを含む酸化物相で結着されている。図3に示す例では、複数のFe基軟磁性粒子1と複数の非磁性粒子4の粒子間に、粒子同士を結着する粒子の表面酸化物相5、すなわち、Fe基軟磁性粒子1あるいは非磁性粒子4の表面酸化物相5と、空隙6とを有している。

【0048】

非磁性粒子4は、非磁性を示す粒子であり、ここで言う「非磁性」とは室温にて強磁性でないことを意味する。具体的には、室温にて常磁性、反磁性、反強磁性のいずれかの磁性を示す粒子を意味している。また、非磁性粒子4は金属であっても、酸化物などの非金

10

20

30

40

50

属であっても良い。

【0049】

そして、非磁性粒子4は、Fe基軟磁性粒子1の粒子間に存在することで、Fe基軟磁性粒子1の平均粒子間隔を広くして、反磁界効果により、磁性楔200の比透磁率を下げるができる。すなわち、非磁性粒子4の含有量を調整することで、比透磁率が調整された磁性楔200にすることができる。

【0050】

なお、非磁性粒子4は、粒径が大きいと、Fe基軟磁性粒子1同士の結着を阻害する可能性や比透磁率が低くなりすぎる可能性がある。一方、粒径が小さいと、粒子の製造自体が困難になる可能性がある。そこで、磁性楔200の断面観察像において、非磁性粒子4の各粒子の最大径の平均は、0.5 μ m以上、15 μ m以下であるのが好ましく、0.5 μ m以上、8 μ m以下であるのがより好ましい。また、最大径が40 μ mを超える粒子個数比率は、1.0%未満であるのが好ましい。このようにすることで、強度を維持しつつ比透磁率が調整された磁性楔200にすることができる。

10

【0051】

また、非磁性粒子4の平均粒径は、Fe基軟磁性粒子1の平均粒径よりも小さくするのが好ましい。このようにすることで、非磁性粒子4がFe基軟磁性粒子1の粒子間に入りやすくなり、Fe基軟磁性粒子1の粒子間距離をより均一にして、安定した磁気特性を示す磁性楔200にすることができる。

【0052】

また、非磁性粒子4の種類はこれを特に限定するものではないが、Fe基軟磁性粒子1に含まれる元素M、すなわち、Feよりも酸化しやすい元素Mを含む粒子であることが好ましい。例えば、Al、Si、Cr、Zr、Hfから選択される元素Mを含むことができる。このような元素Mを含むことで、非磁性粒子4の表面に、Fe基軟磁性粒子1の表面に類する、良好な表面酸化物相を形成することができ、Fe基軟磁性粒子1と非磁性粉末2の粒子間、あるいは非磁性粉末2の粒子間を強固に結着して、曲げ強度の高い磁性楔200にすることができる。

20

【0053】

ここで、表面酸化物相5を有することで、Fe基軟磁性粒子1の粒子間を隔絶し、電気抵抗の高い磁性楔200にすることができる。また、表面酸化物相5は、Fe基軟磁性粒子1の表面酸化物相3と非磁性粒子4の表面酸化物相が接合して一体化したものであって、隣接する粒子により成分が異なる相となる。ただし、Fe基軟磁性粒子1と非磁性粒子4に、同じ元素Mを含有することで、表面酸化物相5を、元素Mを主体とする、より均質な表面酸化物相5にすることができる。これにより、Fe基軟磁性粒子1および非磁性粉末2の粒子間を強固に結着して、曲げ強度の高い磁性楔200にすることができる。

30

【0054】

また、非磁性粒子4は、元素M単体の粒子にしてもよいし、元素Mを含む酸化物粒子にしてもよいし、元素Mを含有する合金粒子にしてもよい。合金粒子にする場合には、Fe基の合金粒子にし、Fe基軟磁性粒子よりも元素Mの濃度を高めて、粒子のキュリー温度を室温以下にするのが好ましく、-20以下にするのが好ましい。そして、-100

40

以下にするのがさらに好ましい。Fe基の合金粒子としては、例えば、AlまたはCrの少なくとも一方を含む金属粒子であることが好ましく、AlとCrの二種の元素Mを選択し、Fe-Al-Cr系合金粒子にすることがより好ましい。このようにすることで、良好な表面酸化物相5を形成することができ、曲げ強度の高い磁性楔200にすることができる。

【0055】

本実施形態の磁性楔200は、第1実施形態の磁性楔100同様、電気抵抗と曲げ強度が高く、比透磁率が調整された磁性楔200であるが、非磁性粒子4を有することで、粒子間に空隙2を増やすことなく、Fe基軟磁性粉末1の平均粒子間隔を調整することができる。これにより、曲げ強度を損なうことなく、比透磁率が調整された磁性楔200にす

50

ることができる。従って、第1実施形態の磁性楔100では強度面などにおいて所望の様子が達成できない場合には、本実施形態による磁性楔200が有効である。

【0056】

(第3実施形態)

次に、本発明の第3実施形態である、回転電機300について説明する。

図4は、回転電機300の模式図であり、回転電機300の回転軸に垂直な断面構造を示している。回転電機300は、ラジアルギャップ型回転電機であり、ステータ31とロータ32を同軸にして配している。そして、ステータ31には、コイル33を巻き回した複数のティース34を、周方向に等間隔に配している。

【0057】

本実施形態の回転電機300では、ティース34のロータ32側先端に、隣り合うティース34の先端を接続するよう、第1実施形態の磁気楔100、あるいは、第2実施形態の磁気楔200を配している。

【0058】

ここで、ティース34の比透磁率と飽和磁束密度は、通常、磁性楔100または200のそれらよりも高く設計される。これにより、磁性楔100または200に達したロータ32からの磁束は、磁性楔100または200を經由してティース34に流入し、コイルに達する磁束が抑制されて、コイルに生じる渦電流損失を低減することができる。また、回転電機の駆動時において、コイル電流により生じたティース34内の磁束は、大部分がギャップを隔ててロータ32に流入するものの、一部は磁性楔に誘引されて周方向に広がるようになる。これにより、ステータ31とロータ32との間のギャップ内磁束分布がなだらかになり、例えばロータ32に永久磁石を配置した回転電機では、コギングを抑制することができる。さらにロータ32に発生する渦電流損を低減することができる。また、例えばロータ32にかご形導体を配置した誘導型回転電機では、二次銅損を低減することができる。以上のように本発明による磁性楔100または200を回転電機に配することで、損失を低減し、高効率・高性能の回転電機300にすることができる。

【0059】

磁性楔100または200の厚さ(回転電機の径方向の寸法)は、前述のように比透磁率との兼ね合いで適宜設定可能であるが、薄すぎると強度が低下するほか、磁性楔としての効果も弱まるので、厚さは1mm以上であるのが好ましい。一方、厚すぎるとコイル33のスペースを圧迫して銅損増大の一因になるほか、磁性楔100または200の体積が増大するので磁性楔自体に生じる損失(鉄損)も増大する。従って、厚さは5mm以下が好ましく、3mm以下がより好ましく、2mm以下がさらに好ましい。

磁性楔100または200の幅(回転電機の周方向の寸法)は、隣接するティース34の間隔に合わせて適宜設定されるが、2mmから20mmの範囲にあることが好ましい。

磁性楔100または200の長さ(回転電機の軸方向の寸法)も、基本的にはステータ31の厚さ(軸方向長さ)に合わせて適宜設定されるが、長すぎると作製自体が困難になるほか、回転電機への取り付け時に折れやすくなって作業性が悪くなる。従って長さは、300mm以下が好ましく、200mm以下がより好ましく、100mm以下がさらに好ましい。一方、短すぎると、回転電機への取り付け時に作業が煩雑となって好ましくない。かかる観点から、長さは25mm以上が好ましく、50mm以上がより好ましい。

【0060】

また、磁性楔100または200の断面形状は矩形に限らず、様々な形状とすることができる。例えば、図5に示したように、ティース34の先端が周方向に突起を有するような形状であれば、磁性楔100または200の断面形状を凸型として、図のように配置することもできる。さらに、図6に示したように、磁性楔100または200の厚さを、幅方向に変化させた形状とすることも可能である。この場合、幅方向中央付近が相対的に薄くなるような断面形状とすることが好ましい。このような形状とすることで、ティース間における磁束の過剰な短絡を中央付近の薄肉部で抑制しつつ、両端の肉厚部で磁束の空間分布を効果的になだらかにすることができるので、高いレベルでトルクと効率の両立が実現可

10

20

30

40

50

能となる。なお、磁性楔100または200の厚さ変化の形態としては、図6の直線的なもの以外にも、曲線的または段階的に変化させるなど、種々のバリエーションが適用可能である。

【0061】

(第4実施形態)

次に、本発明の第4実施形態である、磁性楔の製造方法について説明する。

図7は、本実施形態の工程フローであり、第1実施形態の磁性楔100を製造する工程フローである。本工程は、Fe基軟磁性粉末とバインダとを混合して混合物にする工程S11と、混合物を加圧成形して成形体にする工程S12と、成形体を熱処理して磁性楔100となる圧密体にする工程S13とを有している。

10

【0062】

まず、工程S11では、Fe基軟磁性粉末とバインダとを混合して混合物にする。工程S11に用いるFe基軟磁性粉末は、磁性楔100でFe基軟磁性粒子1となる粉末である。Feを主体とした軟磁性合金粉末であり、CoやNiを含有する軟磁性粉末を用いてもよい。なお、以降の説明では、Fe基軟磁性粉末の粒子をFe基軟磁性粒子1と称する場合がある。

【0063】

Fe基軟磁性粉末には、平均粒径(累積粒度分布におけるメジアン径 d_{50})が、 $1\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下の粉末を用いるのが好ましく、 $5\mu\text{m}$ 以上 $30\mu\text{m}$ 以下の粉末を用いるのがより好ましい。このようなFe基軟磁性粉末を用いることで、好ましい平均粒径のFe基軟磁性粒子1を有する磁性楔100を製造することができる。

20

【0064】

また、Fe基軟磁性粉末には、Feよりも酸化しやすい元素Mを含有する粉末を用い、元素Mは、例えば、Al、Si、Cr、Zr、Hfから選択するのが好ましい。このようにすることで、工程S13において、Fe基軟磁性粒子1に良好な表面酸化物相3を容易に形成することができる。具体的には、Fe基軟磁性粉末の成形体を酸化することで、元素Mの含有量がFe基軟磁性粒子1の内部よりも高い表面酸化物相3を、容易に形成することができる。

【0065】

なお、Fe基軟磁性粉末に含有される元素Mの量は、 1.0 質量%以上 20 質量%以下にするのが好ましい。このようにすることで、電気抵抗と曲げ強度が高く、磁気シールド性の高い磁性楔100を、容易に製造することができる。

30

【0066】

また、元素Mは、一種だけでなく二種以上選択してもよい。例えば、AlとCrの二種を選択して、Fe基軟磁性粉末を、Fe-Al-Cr系合金粉末にしてもよい。このようにすることで、曲げ強度が高く、比透磁率が調整された磁性楔100を、容易に製造することができる。なお、Fe-Al-Cr系合金とは、Feの次に含有量が多い元素が、CrおよびAl(順不同)である合金のことであり、その他の元素がFe、Cr、Alより少量で含まれていてもよい。

【0067】

なお、上記元素Mとして、二種以上の元素を選択した場合、それら含有量の合計は、一種を選択した場合と同様に、 1.0 質量%以上 20 質量%以下にするのが好ましい。

40

【0068】

また、Fe基軟磁性粉末には、上記元素M以外の元素を添加した粉末を用いてもよい。ただし、これら添加元素は、元素Mより少量添加するのが好ましい。さらに、化学的手法や熱処理などで表面処理した粒子を含む粉末を用いてもよい。

【0069】

また、Fe基軟磁性粉末には、成形性の良い粒状粉として、ガスアトマイズ法や水アトマイズ法により作製した粉末を用いることができる。また、形状異方性の活用を目的とした扁平粉として、粉砕法により作製した粉末を用いることができる。

50

【0070】

また、バインダは工程S12において粒子同士を仮接着して、成形体にある程度の強度を付与するために用いられる。また、バインダには粒子間に適切な間隔を付与する役割もある。バインダとしては、例えばポリビニルアルコールやアクリルなどの有機バインダを用いることができる。また、バインダは、混合物全体に十分に行きわたり、十分な成形体強度を確保しつつ、工程S13において、十分熱分解される量だけ添加するのが好ましい。例えば、Fe基軟磁性粉末100重量部に対して0.5～3.0重量部だけ添加するのが好ましい。

【0071】

また、工程S11における混合方法は、公知の混合方法、混合機を用いることができる。Fe基軟磁性粉末とバインダとを混合した混合物は、バインダの接着作用により、広い粒度分布をもった凝集粉になることがある。その場合、混合粉を、例えば振動篩等を用いて篩に通し、所望の二次粒子径の造粒粉にしてから、工程S12に用いてもよい。球状、かつ粒径の揃った造粒粉を得るためには、噴霧乾燥を適用することが好ましい。また、混合物には、工程S12における粉末と金型との摩擦を低減するために、ステアリン酸、ステアリン酸塩等の潤滑剤を添加してもよい。その場合、添加量は、混合粉100重量部に対して0.1～2.0重量部にすることが好ましい。なお、潤滑剤は、工程S11で混合物に添加せず、S12工程で金型に塗布してもよい。

10

【0072】

次に、工程S12では、工程S11で得られた混合物を加圧成形する。加圧成形には、例えば、プレス機と成形金型を用いることができる。加圧成形は、室温成形にしてもよいし、バインダが消失しない程度加熱した、温間成形にしてもよい。

20

【0073】

次に、工程S13では、工程S12で得られた成形体を熱処理して磁性楔となる圧密体にする。

【0074】

工程S13では、成形体を熱処理することで、成形体のFe軟磁性粒子1の粒子間に存在するバインダを熱分解して、粒子間に空隙を形成し、さらに熱処理を継続することで、Fe基軟磁性粒子1の粒子間に、空隙2と、Fe基軟磁性粒子1同士を結着するFe基軟磁性粒子1の表面酸化物相3を形成する。

30

【0075】

なお、熱処理は、大気中、酸素と不活性ガスの混合気体中など、酸素が存在する雰囲気中で行うことができる。また、水蒸気と不活性ガスの混合気体中など、水蒸気が存在する雰囲気中で行うこともできる。

【0076】

また、熱処理は、Fe基軟磁性粒子1の粒子間に、空隙2と、Fe基軟磁性粒子1同士を結着するFe基軟磁性粒子1の表面酸化物相3を形成可能な温度に加熱して行う。ただし、熱処理温度が低いと、成形時に成形体に加わった歪が緩和されずに残る可能性があり、高いと、Fe基軟磁性粒子1同士が焼結し、電気抵抗が下がって渦電流損失の大きい磁性楔100になる可能性がある。そこで、熱処理温度は600～900の範囲にするのが好ましく、700～800の範囲にするのがより好ましい。

40

【0077】

本実施形態では、工程S12の成形荷重を調整することで、磁性楔100の比透磁率を調整することができる。例えば、成形荷重を小さくすることで、成形体のFe基軟磁性粒子1の占積率、すなわち、工程S13後の圧密体の占積率を下げるができる。その結果、圧密体におけるFe基軟磁性粒子1の平均粒子間隔が広がって、磁性楔100の比透磁率を低く調整することができる。かかる観点から、成形圧は1.0GPa未満が好ましく、0.7GPa以下がさらに好ましい。

【0078】

また、本実施形態では、工程S13の熱処理温度を調整することで、磁性楔100の比

50

透磁率を調整することができる。例えば、熱処理温度を低くすることで、成形体のFe基軟磁性粒子1の粒子間に形成される表面酸化物相3の量を少なくし、工程S13後の圧密体の空隙2の量を多くして、磁性楔100の比透磁率を調整することができる。

【0079】

なお、本実施形態では、工程S11のFe基軟磁性合金粉末1の粒度を調整して、磁性楔100の比透磁率を調整してもよい。例えば、平均粒径がより小さい軟磁性合金粉末1を使用することで、成形体のFe基軟磁性粒子1に生じる反磁界の影響を強くして、磁性楔100の比透磁率を低く調整することができる。

【0080】

(第5実施形態)

次に、本発明の第5実施形態である、磁性楔の製造方法について説明する。

図8は、本実施形態の工程フローであり、第2実施形態の磁性楔200を製造する工程フローである。本工程フローは、Fe基軟磁性粉末と非磁性粉末とバインダとを混合して混合物にする工程S21と、混合物を加圧成形して成形体にする工程S22と、成形体を熱処理して磁性楔200となる圧密体にする工程S23とを有している。

【0081】

まず、工程S21では、Fe基軟磁性粉末と非磁性粉末とバインダとを混合して混合物にする。工程S21に供されるFe基軟磁性粉末は、磁性楔200においてFe基軟磁性粒子1となる粉末であり、第4実施形態にて説明したFe基軟磁性粉末と同じである。なお、以降の説明では、Fe基軟磁性粉末の粒子をFe基軟磁性粒子1、非磁性粉末の粒子を非磁性粒子4、と称する場合がある。

【0082】

非磁性粉末には、平均粒径(累積粒度分布におけるメジアン径 d_{50})が、 $1\mu\text{m}$ 以上 $80\mu\text{m}$ 以下の粉末を用いるのが好ましく、 $3\mu\text{m}$ 以上 $20\mu\text{m}$ 以下の粉末を用いるのがより好ましい。このような非磁性粉末を用いることで、好ましい平均粒径の非磁性粒子4を有する磁性楔200を製造することができる。

【0083】

また、非磁性粉末には、Fe基軟磁性粉末の平均粒径よりも小さい粉末を用いるのが好ましい。このようにすることで、混合物を作製した際、非磁性粒子4がFe基軟磁性粒子1の粒子間に分散しやすくなり、Fe基軟磁性粒子1の粒子間距離をより均一にして、安定した磁気特性を示す磁性楔200を容易に製造することができる。

【0084】

また、非磁性粉末には、Fe基軟磁性粉末に含まれる元素M、すなわち、Feよりも酸化しやすい元素Mを含む粉末を用い、元素Mは、例えば、Al、Si、Cr、Zr、Hfから選択するのが好ましい。このようにすることで、曲げ強度の高い磁性楔200を容易に製造することができる。

【0085】

また、非磁性粉末には、元素M単体の粉末を用いてもよいし、元素Mを含有する合金粉末を用いてもよい。合金粉末を用いる場合には、Fe基の合金粉末にし、キュリー温度が室温以下になるよう、元素Mの含有量が高い粉末にするのが好ましい。

さらに、Fe基の合金粉末としては、例えば、AlとCrの二種の元素Mを選択し、Fe-Al-Cr系合金粉末を用いてもよい。このようにすることで、曲げ強度の高い磁性楔200を容易に製造することができる。

【0086】

また、非磁性粉末には、上記元素M以外の元素を添加した粉末を用いてもよい。さらに、化学的手法や熱処理などで表面処理した粒子を含む粉末を用いてもよい。

【0087】

また、非磁性粉末には、成形性の良い粒状粉として、ガスアトマイズ法や水アトマイズ法により作製した粉末を用いることができる。また、形状異方性の活用を目的とした扁平粉として、粉砕法により作製した粉末を用いることができる。

10

20

30

40

50

【0088】

また、工程S21に供されるバインダは、工程S22で、粒子同士を適切な間隔に仮接着して、成形体に強度を付与するために、例えばポリビニルアルコールやアクリルなどの有機バインダを用いることができる。また、バインダは、混合物全体に十分に行きわたり、十分な成形体強度を確保しつつ、工程S23において、十分熱分解される量だけ添加するのが好ましい。例えば、Fe基軟磁性粉末と非磁性粉末を合わせた100重量部に対して0.5～3.0重量部だけ添加するのが好ましい。

【0089】

また、工程S21における混合方法は、第4実施形態の工程S11と同じ混合方法を用いることができる。潤滑剤の添加量についても同様である。

10

【0090】

次に、工程S22では、工程S21で得られた混合物を加圧成形する。加圧成形には、第4実施形態の工程S12と同じ加圧成形を用いることができる。

【0091】

次に、工程S23では、工程S22で得られた成形体を熱処理して磁性楔となる圧密体にする。非磁性粒子4に、金属の非磁性粒子4を用いれば、圧密体を成形した際、非磁性粒子4が塑性変形する可能性があり、これにより、磁性楔200の強度を高くできる可能性がある。

【0092】

工程S23では、成形体を熱処理することで、成形体内の粒子間に存在するバインダを熱分解して、粒子間に空隙6を形成し、さらに熱処理を継続することで、粒子間に、これら粒子同士を結着するこれら粒子の表面酸化物相5を形成する。なお、熱処理には、第4実施形態の工程S13と同じ方法を用いることができる。

20

【0093】

本実施形態では、工程S21において非磁性粉末の混合比を調整して、磁性楔200の比透磁率を調整することができる。例えば、非磁性粉末の混合比を増やすことで、工程S23後の圧密体におけるFe基軟磁性粒子1の平均粒子間隔を大きくして、磁性楔200の比透磁率を低めに調整することができる。

【0094】

また、本実施形態では、工程S22の成形荷重を調整して、磁性楔200の比透磁率を調整してもよい。例えば、成形荷重を小さくすることで、成形体のFe基軟磁性粒子1の粒子間の空隙量、すなわち、工程S23後の圧密体の空隙量を多くし、工程S23後の圧密体におけるFe基軟磁性粒子1の平均粒子間隔を大きくして、磁性楔200の比透磁率を低めに調整することができる。

30

【0095】

また、本実施形態では、工程S23の熱処理温度を調整して、磁性楔200の比透磁率を調整してもよい。例えば、熱処理温度を低くすることで、成形体のFe基軟磁性粒子1の粒子間に形成される表面酸化物相3の量を少なくし、工程S23後の圧密体の空隙6の量を多くし、工程S23後の圧密体におけるFe基軟磁性粒子1の平均粒子間隔を大きくして、磁性楔200の比透磁率を低めに調整することができる。

40

【0096】

なお、本実施形態では、工程S11のFe基軟磁性合金粉末1の粒度を調整して、磁性楔100の比透磁率を調整してもよい。例えば、平均粒径が小さい軟磁性合金粉末1を使用することで、成形体のFe基軟磁性粒子1に生じる反磁界の影響を強くして、磁性楔100の比透磁率を低めに調整することができる。

【実施例】

【0097】

以下に、Fe基軟磁性粒子としてFe-Al-Cr系合金を用いた第1実施形態の実施例を示す。ただし、この実施例に記載されている材料や配合量等は、特に限定的な記述がない限りは、この発明の範囲をそれらのみ限定する趣旨のものではない。

50

【0098】

(試料の作製方法)

高圧水アトマイズ法により、Fe - 5% Al - 4% Cr (質量%) の合金粉末を作製した。具体的な作製条件は次の通りである。出湯温度 1650 (融点 1500)、溶湯ノズル径 3 mm、出湯速度 10 kg / 分、水圧 90 MPa、水量 130 L / 分であった。なお、原料の溶解および出湯は Ar 雰囲気下で行った。作製した粉末の平均粒径 (メジアン径) は 12 μm、粉末比表面積は 0.4 m² / g、粉末の真密度は 7.3 g / cm³、粉末の含有酸素量は 0.3% であった。

この原料粉末にポリビニルアルコール (PVA) とイオン交換水を加えてスラリーを作製し、スプレードライヤーで噴霧乾燥を行って造粒粉を得た。原料粉末を 100 重量部とすると PVA 添加量は 0.75 重量部である。この造粒粉に 0.4 重量部の割合でステアリン酸亜鉛を添加し、混合した。この混合粉を金型に充填し、室温にて成形圧力 0.9 GPa でプレス成形した。作製した成形体に、大気中 750 × 1 時間の熱処理を施した。この際の昇温速度は 250 / h とした。熱処理後の圧密体に含まれる酸素量は 2% であった。

10

【0099】

作製した試料の寸法は以下の通りである。

曲げ強度・加熱減量評価用試料：幅 2.0 mm × 長さ 25.5 mm × 厚さ 1.0 mm .

直流磁化曲線評価用試料：10 mm 角 × 厚さ 1.0 mm .

磁心損失・電気抵抗評価用試料：外径 13.4 mm × 内径 7.7 mm × 厚さ 2.0 mm

20

(リング形状) .

【0100】

(実施例の断面組織)

上記のように作製した実施例について、走査電子顕微鏡 (SEM / EDX) を用いて断面観察を行い、同時に各構成元素の分布を調べた。結果を図 9 に示す。図 9 (a) は SEM 像であり、図 9 (b) ~ (e) はそれぞれ、Fe (鉄)、Al (アルミニウム)、Cr (クロム)、O (酸素) の分布を示すマッピング像である。明るい色調ほど対象元素が多いことを示す。図 9 から、Fe 基軟磁性粒子間の粒界にはアルミニウムと酸素が多く、酸化物相が形成されていることがわかる。さらに、各軟磁性粒子同士がこの酸化物相を介して結合している様子がわかる。

30

【0101】

(比較例)

比較例として市販の磁性楔材である磁性積層板を使用した。この磁性楔はガラスエポキシ基板中に鉄粉を分散させたものであり、厚さ 3.2 mm の板材から各種測定用に必要なサイズを切り出して使用した。

【0102】

(密度・電気抵抗)

上記実施例の試料の密度は 6.4 g / cm³ であった。試料の密度を上記の粉末真密度で除した値である占積率 (相対密度) は 88% であった。一方、比較例の密度は 3.7 g / cm³ であった。

40

また上記のリング形状試料を使用して測定した実施例の電気抵抗率は、 3×10^{-4} ・ m であった。なお電気抵抗率は、リング試料の対向する二平面に導電性接着剤を塗って電極を形成し、アドバンテスト社製デジタル超高抵抗計 R8340 で測定した 50 V 印加時の抵抗値 R () を用いて、次式で電気抵抗率 (・ m) を算出した。

$$(\cdot m) = R \times A / t$$

ここで A はリング試料の平面の面積 (m²)、t は試料の厚さ (m) である。

一方、比較例の電気抵抗は低すぎて上記の超高電気抵抗計では測定できなかったため、日置電機製抵抗計 RM3545 を用いて測定した。測定に供した試料は 10 mm 角に切り出した板材の両面に電極を形成したものである。当該電極に上記抵抗計のプロブを押し当てて板厚方向の電気抵抗値を測定し、上式から比較例の電気抵抗率を算出したところ、

50

$9 \times 10^{-3} \cdot \text{m}$ であった。

【0103】

(直流磁化曲線)

試料の直流磁化曲線(B-H曲線)は直流自記磁束計(東栄工業製TRF-5AH)を用いて、上記の10mm角試料を電磁石の磁極に挟み、最大印加磁界500kA/mで測定した。

室温での測定結果を図10に示す。同図には比較例のB-H曲線も併せて示す。印加磁界160kA/mにおける磁束密度の値は、実施例が1.60T、比較例が0.76Tであった。従って比透磁率 μ は、実施例が8.0、比較例が3.8であった。

また、 $f = 1 \text{ kHz}$ 、 $B_m = 0.07 \text{ T}$ で測定した交流磁化曲線(マイナーループ)から求めた試料の比透磁率 μ_i は59であった。実施例の自然共鳴周波数は150MHzであった。なお、比較例の磁心損失も同様の方法で測定を試みたが透磁率が低すぎて測定困難であった。

【0104】

(磁心損失)

上記実施例のリング試料に、ポリウレタン被覆銅線を用いて一次巻線と二次巻線を施した。巻き回数は一次側、二次側とも50ターンとした。この試料を、大電流バイポーラ電源(NF回路設計ブロック製BP4660)を備えたB-Hアナライザ(IFG社製BH-550)に接続して鉄損Pcvを測定した。測定条件は、周波数 $f = 50 \text{ Hz} \sim 1 \text{ kHz}$ 、最大磁束密度 $B_m = 0.05 \sim 1.55 \text{ T}$ である。なお、一次巻線のジュール熱による試料温度上昇を防ぐために、冷媒温度を23℃に維持した冷却槽(Julabo製高低温サーキュレータFP50-HE)に試料を浸漬して鉄損を測定した。冷媒にはシリコンオイル(信越化学製KF96-20cs)を使用した。

測定結果を図11に示す。図中の白丸が測定値である。図のように B_m の高い領域では磁気飽和に近づくためPcvが徐々に飽和する傾向を示している。次項のモータ特性シミュレーションでは、実施例の鉄損としてこの実測値を用いた。なお、実測で測定できたのは $B_m = 1.55 \text{ T}$ までであったが、モータ内部で磁性楔は電磁鋼板の飽和磁束密度に相当する2T程度まで磁化される可能性がある。そこで、1.55Tを超える高 B_m 側のPcv値については、測定結果を最小二乗法で以下の式に当てはめ、この式の外挿値を使用した。

実施例：
$$P_{cv} = 6.9 f / (1 + (1.28 / B_m)^2)$$

ここでPcvの単位はkW/m³、 B_m の単位はT、 f の単位はHzである。図11中の実線がこの式の計算値である。

比較例の鉄損も上記と同様の方法で測定した。測定に供した試料は外径20mm、内径14mm、厚さ3.2mmのリング形状であり、これに一次巻線、二次巻線とも85ターンの巻線を施した。比較例は透磁率が実施例より低いため、測定できた最大磁束密度 B_m は0.6Tまでであったが、測定値は実施例のPcvの約二倍であった。次項のモータ特性シミュレーションでは、比較例の鉄損としてこの実測値を用いた。なお、 $B_m > 0.6 \text{ T}$ におけるPcv値については実施例と同様に測定結果を以下の式に当てはめ、この式の外挿値を使用した。

比較例：
$$P_{cv} = 6.7 f / (1 + (1.1 / B_m)^{1.58})$$

【0105】

(回転電機特性シミュレーション)

誘導型回転電機に実施例もしくは比較例の磁性楔を設置した場合の特性(効率とトルク)を有限要素法による電磁界シミュレーションを用いて算出した。その際、磁性楔100の磁気特性として図10の磁化曲線と前項記載の鉄損値を計算に取り入れた。

電磁界シミュレーションに供した誘導型回転電機の諸元は以下の通りである。

ステータ：直径450mm×高さ162mm

極数：4 スロット数：36

ロータおよびステータ材質：電磁鋼板(50A1000)

回転電機出力：150 kW

回転数：142

5 rpm

図12に、本シミュレーションで使用した磁性楔100の設置位置を示す。磁性楔の幅（回転電機の周方向の長さ）は7.0 mm、厚さ（回転電機の径方向の長さ）は0.0 mm（磁性楔無し）、1.5 mm、3.0 mmと変えて計算した。

【0106】

（回転電機特性シミュレーション結果）

図13に電磁界シミュレーション結果を示す。この図は、横軸に回転電機の効率、縦軸に回転電機のトルクをとって計算結果をプロットしたものである。縦軸のトルクは磁性楔無しの場合のトルク値で規格化した値を示している。厚さ3 mmの実施例と比較例を比較した場合、実施例では高効率を得られる反面、トルクは比較例よりも低下した。これは、比透磁率の高い実施例では、ティース間での磁束短絡が比較例よりも多くなったことが原因と考えられる。そこで磁束短絡を抑制することを目的に実施例の厚さを1.5 mmに薄くしたところ、比較例と同等の効率とトルクが得られた。

10

【0107】

以上のように、透磁率の高い実施例を磁性楔100に用いたうえで、磁性楔100の厚さを薄く調整することによって、トルクの低下を抑制しつつ効率を向上させることができる。しかも、本電磁界シミュレーションには含まれていないものの、磁性楔100が薄くなるとその分コイル33のスペースが増えるので、コイル線径を大きくするなどによりコイルの電気抵抗を下げ得るので、さらなる効率の向上も期待できる。

20

【0108】

（曲げ強度の温度依存性）

前述の棒状試料を用い、万能試験機（インストロン社製5969型）を使用して室温から200 °Cでの三点曲げ強度を測定した。測定条件は、ロードセル容量500 N、支点径4 mm、圧子径10 mm、支点間距離16 mm、試験速度0.5 mm/分である。破断時の荷重W (N) から、次の式で三点曲げ強度 σ を算出した。

$$\sigma = 3 L W / (2 b h^2)$$

ここで、Lは支点間距離、bは試料の幅、hは試料の厚さである。

【0109】

以上のようにして求めた実施例の三点曲げ強度を図14に示す。図には比較例の三点曲げ強度も併せて示した。図のように、樹脂を含む比較例の三点曲げ強度は温度上昇によって顕著に低下するのに対して、本実施形態である樹脂レスの実施例は200 °Cの高温でも強度低下は無く、室温と同等の高強度を維持している。

30

【0110】

（加熱減量）

モータの駆動時にはその内部温度が上昇するため、高温環境下に長時間晒されても特性劣化を生じない耐久性が磁性楔には求められる。この耐久性を評価するために、前述の棒状試料を用いてエージングによる質量変化（加熱減量）の測定を行った。エージングは空气中で220 °Cおよび290 °Cで行い、一定時間経過ごとに試料を取り出して冷却し、室温にて質量測定を行った。ここで、加熱温度を220 °Cと290 °Cに設定した理由は次の通りである。220 °Cはモータの内部温度が到達し得る最高温度であり、290 °Cは加熱減量の加速試験を行うためである。質量測定には最小表示0.01 mgの電子天秤（島津製作所製AUW220D）を使用した。なお、実施例の棒状試料は質量が0.3 g程度と小さいので、測定の信頼性確保のために試料数を5個とした。

40

【0111】

220 °Cでの測定結果を図15に、290 °Cでの測定結果を図16に示す。いずれの図においても、実施例のデータは試料5個の平均値である。また、図には比較例の測定結果も併せて示す。220 °Cの場合、456時間経過後に比較例の重量は0.56%減少するのに対し、実施例の重量変化は0.05%未満に留まっている。290 °Cでは重量変化の差が顕著となり、240時間経過後において比較例の重量減少は10%以上になるのに対し

50

、実施例の重量変化はやはり0.05%未満に留まった。

また、上記の290 エージング後に三点曲げ強度を測定したところ、実施例ではエージング前と曲げ強度に変化が見られなかったのに対して、比較例は手で持っただけで折れてしまうほど強度が低下していた。

以上のように本実施例は比較例よりも高温長時間のエージングに対する耐久性に優れ、磁性楔としてより実用性の高い材料であると言える。

【0112】

(熱伝導率)

実施例と比較例の室温での熱拡散率を熱拡散率測定装置(Netzsch社製LFA467)で測定したところ、実施例は $3.4 \text{ mm}^2 / \text{ s}$ 、比較例は $0.8 \text{ mm}^2 / \text{ s}$ であった。また、実施例と比較例の室温での比熱を示差走査熱量計(Netzsch製DSC404F1)で測定したところ、実施例は $0.4 \text{ J} / (\text{ g} \cdot \text{ K})$ 、比較例は $0.5 \text{ J} / (\text{ g} \cdot \text{ K})$ であった。熱拡散率と比熱、および前述の密度を乗じて熱伝導率を求めたところ、実施例は $8.7 \text{ W} / (\text{ m} \cdot \text{ K})$ 、比較例は $1.5 \text{ W} / (\text{ m} \cdot \text{ K})$ であり、実施例は比較例の約6倍の高い熱伝導率を示した。一般に樹脂の熱伝導率は金属の $1 / 10$ 以下と低いので、本実施例の高い熱伝導率は樹脂レスという特徴に起因したものと考えられる。熱伝導率が高く放熱性に優れた本実施例を、発熱源であるギャップ近傍に磁性楔として配置することにより効果的に熱を逃がすことができ、回転電機の冷却効率を向上させる効果も期待できる。このような冷却効果は磁性楔の熱伝導率が高いほど好ましく、例えば熱伝導率が $2.0 \text{ W} / (\text{ m} \cdot \text{ K})$ 以上が好ましく、 $5.0 \text{ W} / (\text{ m} \cdot \text{ K})$ 以上がより好ましく、 $8.0 \text{ W} / (\text{ m} \cdot \text{ K})$ 以上がさらに好ましい。また、回転電機のステータを構成する電磁鋼板の熱伝導率は一般的に $20 \text{ W} / (\text{ m} \cdot \text{ K})$ 程度と高いため、磁性楔の熱伝導率がこの値に近いほど冷却効果が高まると期待できる。従って、磁性楔の熱伝導率はステータを構成する磁性材料(電磁鋼板)の $1 / 10$ 以上であることが好ましく、 $1 / 5$ 以上であることがより好ましく、 $1 / 3$ 以上であることがさらに好ましい。

【0113】

以上より、本発明によれば、磁性楔を構成する粒子同士は、表面酸化物相で結着されていることになるので、電気抵抗と曲げ強度が高い磁性楔を提供することができる。また、これら構成に空隙が加わることで、電気抵抗と曲げ強度が高く、比透磁率が調整された磁性楔を提供することが可能となる。更に、本発明の磁性楔は樹脂レスで構成されることになるので、耐熱性、放熱性や長期信頼性にも優れた磁性楔とすることができる。

【0114】

以上、本発明について、上記実施形態を用いて説明してきたが、本発明の技術範囲は、上記実施形態に限定されない。特許請求の範囲に記載されている技術範囲にて、内容を変更できるものである。

【符号の説明】

【0115】

1 : Fe基軟磁性粒子

2 : 空隙

3 : 表面酸化物相

4 : 非磁性粒子

5 : 表面酸化物相

6 : 空隙

31 : ステータ

32 : ロータ

33 : コイル

34 : ティース

100、200 : 磁性楔

300 : 回転電機

10

20

30

40

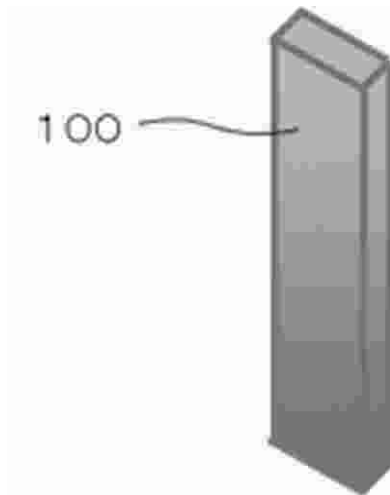
50

【要約】

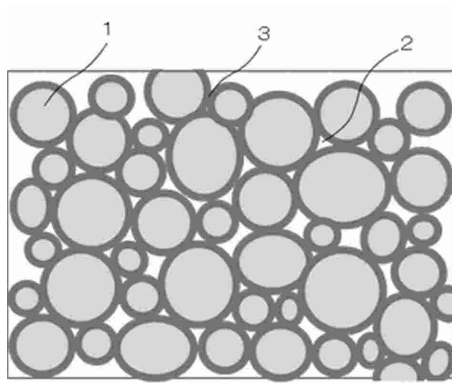
電気抵抗と曲げ強度が高い磁性楔、それを用いた回転電機、および磁気楔の製造方法を提供する。

複数のFe基軟磁性粒子を有し、前記複数のFe基軟磁性粒子は、Feよりも酸化しやすい元素Mを含有するとともに、前記元素Mを含む酸化物相で結着されている磁性楔にする。

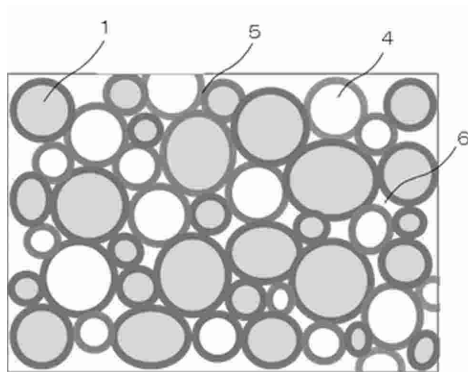
【図1】



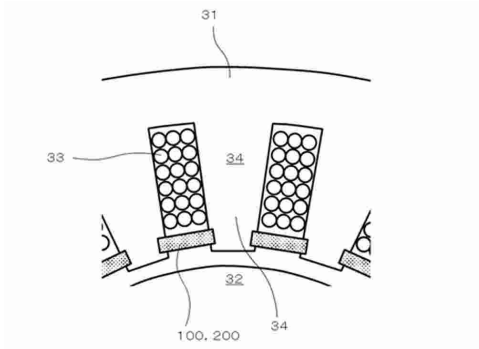
【図2】



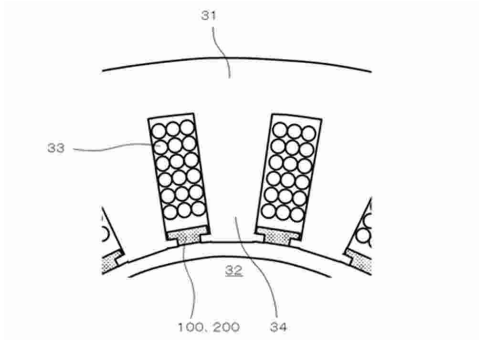
【図3】



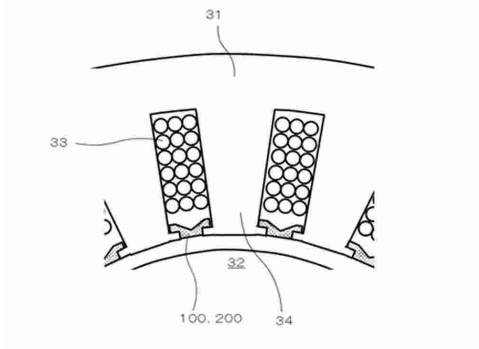
【図4】



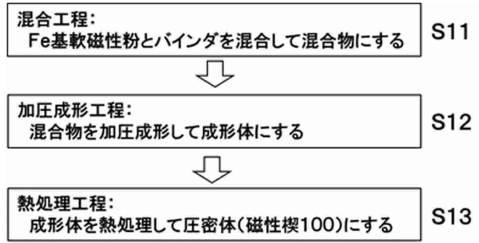
【図5】



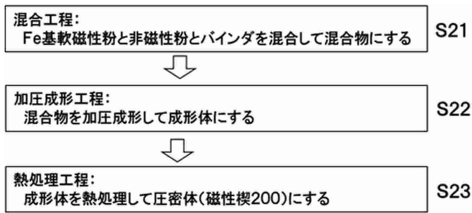
【図6】



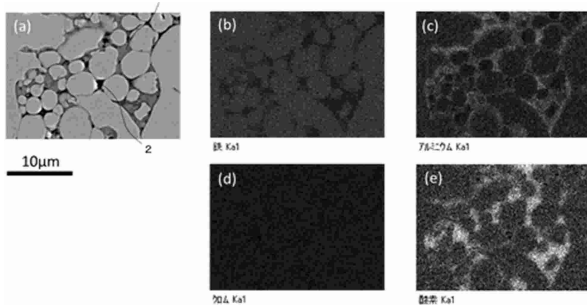
【図7】



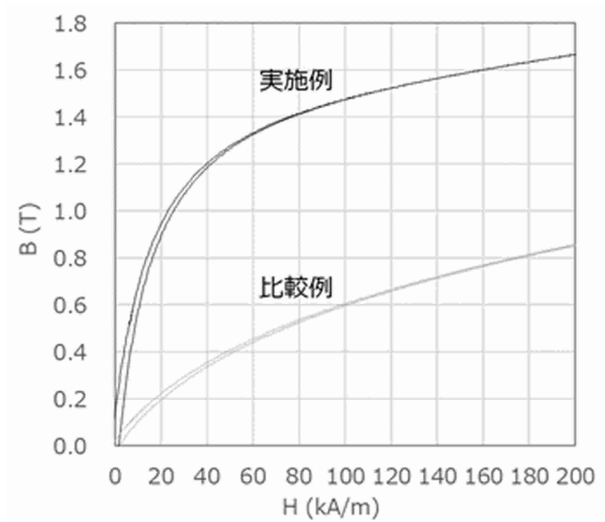
【図8】



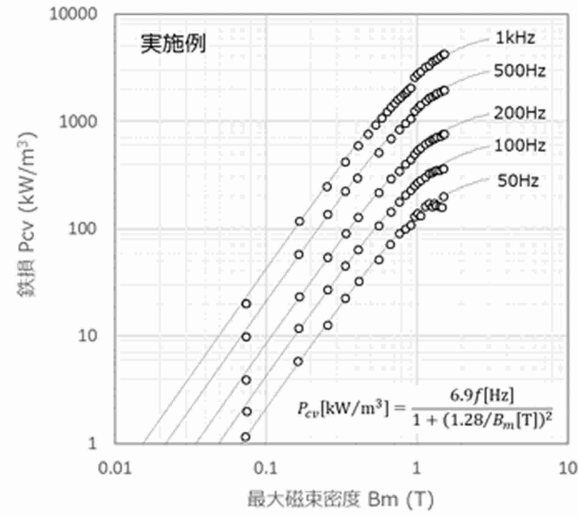
【図9】



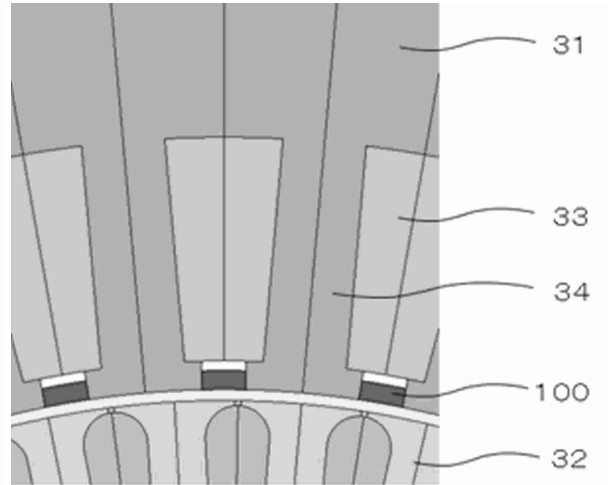
【図10】



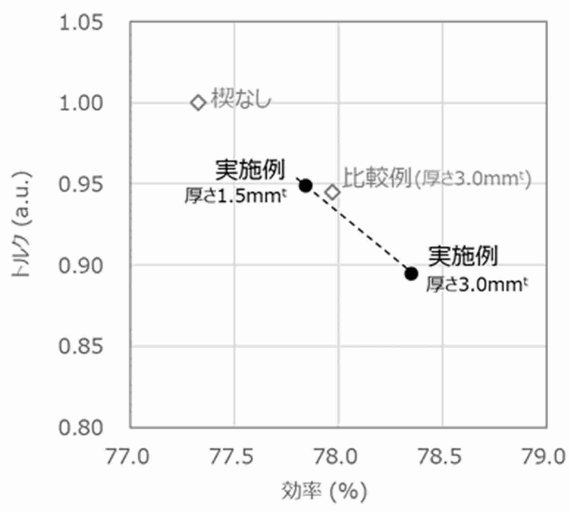
【図11】



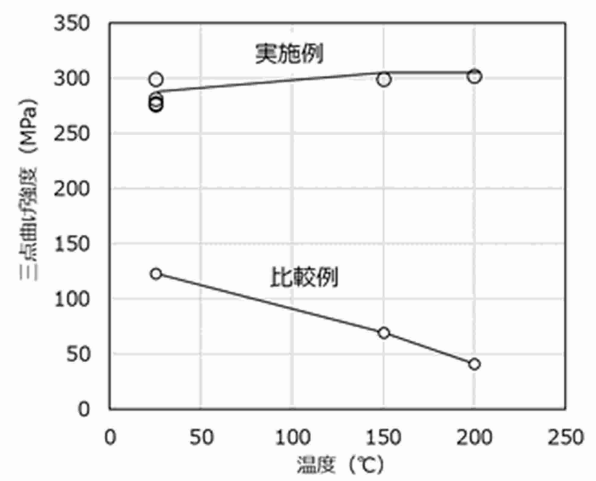
【図12】



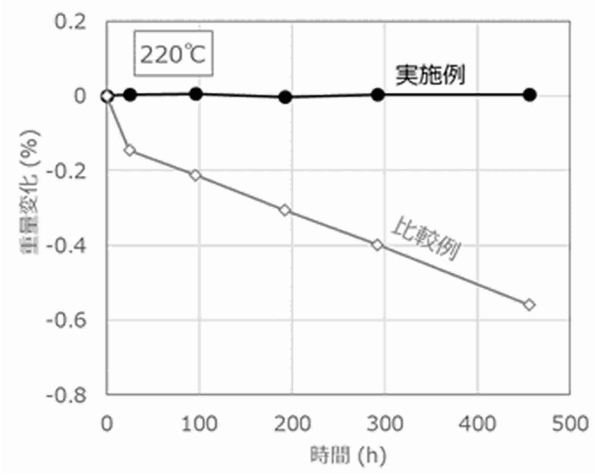
【図13】



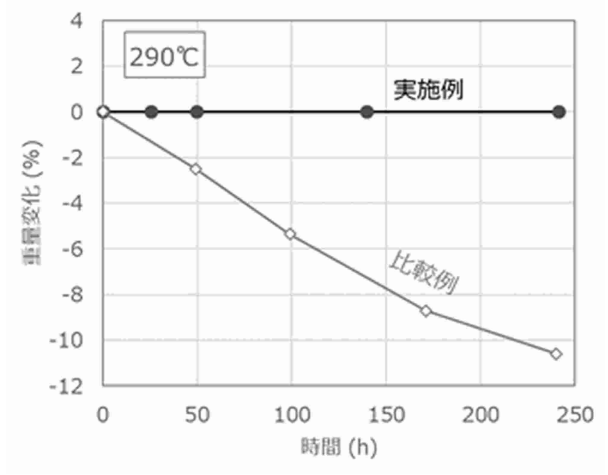
【図14】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



フロントページの続き

審査官 尾家 英樹

(56)参考文献 特開平11-238614(JP,A)
特開昭54-050807(JP,A)
特開昭62-77030(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 3/00 - 3/52

H02K 15/00 - 15/16