

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5196668号  
(P5196668)

(45) 発行日 平成25年5月15日(2013.5.15)

(24) 登録日 平成25年2月15日(2013.2.15)

(51) Int.Cl.	F I		
<b>C 2 2 C 38/00</b> (2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 O 3 S	
<b>C 2 2 C 33/02</b> (2006.01)	C 2 2 C 33/02	M	
<b>B 2 2 F 3/02</b> (2006.01)	B 2 2 F 3/02	S	
<b>H O 1 F 1/22</b> (2006.01)	H O 1 F 1/22		
<b>H O 1 F 1/14</b> (2006.01)	H O 1 F 1/14	Z	

請求項の数 6 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2009-254175 (P2009-254175)  
 (22) 出願日 平成21年11月5日(2009.11.5)  
 (65) 公開番号 特開2010-133023 (P2010-133023A)  
 (43) 公開日 平成22年6月17日(2010.6.17)  
 審査請求日 平成22年6月3日(2010.6.3)  
 (31) 優先権主張番号 特願2008-286903 (P2008-286903)  
 (32) 優先日 平成20年11月7日(2008.11.7)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 305022598  
 株式会社日立メタルプレシジョン  
 東京都港区芝浦一丁目2番1号  
 (73) 特許権者 000005083  
 日立金属株式会社  
 東京都港区芝浦一丁目2番1号  
 (72) 発明者 山本 剛  
 島根県安来市恵乃島町114番地1 株式  
 会社日立メタルプレシジョン 恵乃島工場  
 内  
 (72) 発明者 谷尾 涉  
 島根県安来市恵乃島町114番地1 株式  
 会社日立メタルプレシジョン 恵乃島工場  
 内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フェライトステンレス系軟磁性材およびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

質量%で、Crを8.0~13.5%、Siを3.0~5.0%、残部Feおよび不可避的不純物を含有し、該不可避的不純物のうちOを0.30%以下およびCを0.07%以下の含有に抑制され、前記Cと前記Oの含有比C/Oが0.5~1.4とされた金属焼結体であることを特徴とするフェライトステンレス系軟磁性材。

【請求項2】

相対密度96%以上、表面硬さ200~300HVを有することを特徴とする請求項1に記載のフェライトステンレス系軟磁性材。

【請求項3】

最大透磁率2500以上、磁束密度(B10)1.0T以上、保磁力150A/m以下を有することを特徴とする請求項2に記載のフェライトステンレス系軟磁性材。

【請求項4】

金属粉末射出成形体が焼結された金属焼結体であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のフェライトステンレス系軟磁性材。

【請求項5】

金属粉末射出成形法によって形成した金属粉末成形体を脱脂後に焼結し、質量%で、Crを8.0~13.5%、Siを3.0~5.0%、残部Feおよび不可避的不純物を含有し、該不可避的不純物のうちOが0.30%以下およびCが0.07%以下の含有に抑制され、前記Cと前記Oの含有比C/Oが0.5~1.4とされた金属焼結体を形成し、

該金属焼結体を磁性焼鈍して得ることを特徴とするフェライトステンレス系軟磁性材の製造方法。

【請求項 6】

相対密度 96% 以上、表面硬さ 200 ~ 300 HV に調整して焼結した前記金属焼結体を、磁性焼鈍することによって最大透磁率 2500 以上、磁束密度 (B10) 1.0 T 以上、保磁力 150 A/m 以下に調整して得ることを特徴とする請求項 5 に記載のフェライトステンレス系軟磁性材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、用途として例えば、センサ部品、電磁バルブ部品、燃料噴射部品、ソレノイド用コア、各種磁気回路用ヨークなどに使用される軟磁性材に係り、酷い損耗の発生が予測される環境下でフェライト系ステンレス材に所望される程度の耐食性を持たせながら磁性材料として使用するフェライトステンレス系軟磁性材およびその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、上述した用途に使用される磁性部材において、例えば電流の入り切りによって駆動される磁性部材は、駆動による機械的な衝突や接触が幾度も繰り返される状態で使用される。このような磁性部材には、フェライト系ステンレス材に所望される程度の耐食性を有しながら、幾度もの機械的な衝突や接触に耐えることのできる程度の耐衝撃性や耐摩耗性を有することが必要となり、例えば 200 ~ 300 HV 程度の低すぎることなく高すぎることはない表面硬さが望まれる。また、機器の作動を応答性良く確実に行うためには電流を入り切りしたときの磁化および脱磁 (消磁ともいう) を素早く行なうことのできる磁気特性を有することが必要となり、例えば、ある程度大きな 1.0 T 以上の磁束密度 (B10) や 2500 以上の最大透磁率、ある程度小さな 150 A/m 以下の保磁力が望まれる。

【0003】

上述した用途に使用され、表面硬さが 200 ~ 300 HV 程度と好適であって、上述したような磁気特性を有する磁性部材は、従来、適正条件下で磁性焼鈍することによって磁気特性を有することができて比較的安価で入手しやすい軟磁性材料であるフェライト系ステンレス鋼からなる棒材、角材、ブロックなどを素材に用い、このような素材から製品形状を削り出すなどの機械加工によって所望の製品形状を得ていた。しかしながら、上述の鋼材自体は比較的安価で入手しやすいものの、素材から製品形状を削り出すなどの機械加工によるため、材料歩留が低く、加工工数を要することから磁性部材の量産性や廉価化な供給を阻む要因となっていたため、技術的改善が望まれていた。

【0004】

このため、上述したように磁性部材の量産性や廉価化に不満のあるフェライト系ステンレス鋼材を素材に用いる従来の機械加工手段に替えて、所望の製品形状に近似の形状を有することのできる金属焼結体でなる磁性部材を形成する提案がなされている。例えば、電磁ステンレスとも称される鉄クロム系磁性合金に係る特開平 7 - 138693 号公報 (特許文献 1) や特開平 7 - 157838 号公報 (特許文献 2) などであり、実際に実用化されて公用されている鉄クロム系磁性合金としては、東北特殊鋼株式会社の K - M31 (質量%で Cr が 13%、Si が 2%) や大同特殊鋼株式会社の TICS (質量%で Cr が 13%、Si が 1%) などが知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開平 7 - 138693 号公報

【特許文献 2】特開平 7 - 157838 号公報

【発明の概要】

10

20

30

40

50

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

本発明者は、フェライト系ステンレス材の化学成分を有し、上述した金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材を得ることを検討した。具体的には、JIS-G4303などに規定されるフェライト系ステンレス鋼であるSUS410L（質量%で、Cr：11.0～13.5%、Si：1.0%以下、Mn：1.0%以下、Ni：0.60%以下、残部Feおよび不可避的不純物）と同等の化学成分を有する金属焼結体を、製品形状との近似性を得やすい金属粉末射出成形法（以下、MIM法という）によって成形焼結し、得られた金属焼結体を適正条件下で磁性焼鈍することによってフェライトステンレス系軟磁性材を形成した。

10

## 【0007】

しかしながら、得られた金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材は、SUS410L相当の化学成分を有してなるステンレス鋼材を素材として機械加工で削り出して形成したフェライトステンレス系軟磁性材に比べ、これと同等の化学成分を有しているものの、磁気特性が劣化し、磁性部材の表面硬さも低下してしまう問題を生じた。

## 【0008】

本発明の目的は、従来のSUS410L相当の化学成分を有してなるステンレス鋼材を素材に用いて機械加工で削り出して形成された磁性部品に比べ、同等もしくはそれ以上の磁気特性を有しながらも好適な表面硬さを有する、金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材およびその製造方法を提供することである。

20

## 【課題を解決するための手段】

## 【0009】

本発明者は、上述の課題を鑑み、フェライトステンレス系軟磁性材となる金属焼結体において、磁気特性の向上および表面硬さを高めることを検討し、金属焼結体の化学成分の最適化を図った。つまり、金属焼結体において、フェライトステンレス系軟磁性材の主成分となるFe（鉄）およびCr（クロム）に対し、Si（珪素）や不可避的に含有される可能性のある不純物のうち金属焼結体の諸特性に及ぼす影響が特に大きいと考えられたO（酸素）およびC（炭素）の許容範囲を検討した。そして、金属焼結体におけるFeやCrに対するSiとOおよびCの含有範囲を最適化することによって、得られるフェライトステンレス系軟磁性材において磁気特性の向上や表面硬さを高めて好適な範囲にすることが可能となることを見出し本発明に到達した。

30

## 【0010】

すなわち本発明は、質量%で、Crを8.0～13.5%、Siを3.0～5.0%、残部Feおよび不可避的不純物を含有し、該不可避的不純物のうちOを0.30%以下およびCを0.07%以下の含有に抑制され、前記Cと前記Oの含有比C/Oが0.5～1.4とされた金属焼結体でなる、フェライトステンレス系軟磁性材である。

## 【0012】

本発明のフェライトステンレス系軟磁性材は、相対密度96%以上、表面硬さ200～300HVを有することができる。

## 【0013】

また、最大透磁率2500以上、磁束密度(B10)1.0T以上、保磁力150A/m以下を有することができる。

40

## 【0014】

また、金属粉末射出成形体が焼結された金属焼結体でなることが望ましい。

## 【0015】

上述した本発明のフェライトステンレス系軟磁性材は、金属粉末射出成形法によって形成した金属粉末成形体を脱脂後に焼結し、質量%で、Crを8.0～13.5%、Siを3.0～5.0%、残部Feおよび不可避的不純物を含有し、該不可避的不純物のうちOが0.30%以下およびCが0.07%以下の含有に抑制され、前記Cと前記Oの含有比C/Oが0.5～1.4とされた金属焼結体を形成し、該金属焼結体を磁性焼鈍して得る

50

製造方法が適用できる。

【0017】

また、相対密度96%以上、表面硬さ200~300HVに調整して焼結した前記金属焼結体を、磁性焼鈍することによって最大透磁率2500以上、磁束密度(B10)1.0T以上、保磁力150A/m以下に調整して得る製造方法が適用できる。

【発明の効果】

【0018】

本発明のフェライトステンレス系軟磁性材は、従来のフェライト系ステンレス鋼材を用いて形成した軟磁性材と同等もしくはそれ以上の磁気特性を有しながらも好適な表面硬さを有する軟磁性材であって、製品形状との近似性に優れた金属焼結体でなるので、フェライトステンレス系軟磁性材の量産性の向上や廉価化が可能となる。そして、表面硬さが高いので耐摩耗性に優れる本発明のフェライトステンレス系軟磁性材は、例えば電流の入り切りによって駆動される磁性部品などのように、駆動によって酷い損耗の発生が予測される環境下でフェライト系ステンレス材に所望される程度の耐食性を持たせて使用する各種の磁性部材や磁性部品の用途に好適である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

上述した用途において、フェライトステンレス系軟磁性材に所望される磁気特性としては、例えば、最大透磁率2500以上、磁束密度(B10)1.0T以上、保磁力150A/m以下といったものである。このような磁気特性を有するフェライトステンレス系軟磁性材は、磁化および脱磁に対する応答性が良いため、機器の作動を素早く確実に行うことが望まれる磁性部材や磁性部品の用途への適用が好適となる。なお、最大透磁率は、磁界中でさらに微小な外部磁界を加えたときに磁性材中にどれだけの磁束密度が新たに生じるかに係り、磁場(磁界)の強さHと磁束密度Bとの関係を $B = \mu H$ で表わした時の比例定数 $\mu$ (透磁率)の最大値であって磁性材の磁化のしやすさを示し、実用的には比透磁率の最大値を最大透磁率と呼ぶこともあって本発明ではこれに従う。磁束密度(B10)は10A/mの外部磁界を加えたときの磁性材中の単位面積当たりの磁束を示す。保磁力は外部磁界を加えた状態から外部磁界を取り去って更に反対方向に磁化していったときの磁性材中の磁束密度を零にする磁界の強さを示す。

【0020】

上述した好適な磁気特性を有することができる本発明のフェライトステンレス系軟磁性材において、その重要な特徴は、金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材の化学成分に係り、主成分であるFeおよびCrに対し、Si含有量を最適化し、同時に、不可避的不純物であるOおよびCの許容範囲を明確化したことにある。具体的には、本発明のフェライトステンレス系軟磁性材は、質量%で、Crを8.0~13.5%、Siを3.0~5.0%、残部Feおよび不可避的不純物を含有し、該不可避的不純物のうちOを0.30%以下およびCを0.07%以下の含有に抑制する。以下、特に断わりのない限り、元素の含有量を質量%で示す。

【0021】

本発明において第一に重要なことは、金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材に不可避的に含有される不純物のうち、Oを0.30%以下に抑制することである。これにより、金属焼結体にポアなどの焼結欠陥が内在し難くなって、金属焼結体の焼結密度すなわち相対密度がより高まる。そして、上述の化学成分を有する金属焼結体は適正条件下で磁性焼鈍することで軟磁性を有することができるが、このとき金属焼結体の相対密度が高いほど上述した用途に好適な磁気特性を有する軟磁性材を得やすくなる。具体的には、最大透磁率や磁束密度が大きく、保磁力が小さいといった磁気特性を有する軟磁性材である。

【0022】

本発明において金属焼結体の相対密度は、理想的には100%であるが、少なくとも96%以上の相対密度を有することが望ましく、従来と同等もしくはそれ以上の磁気特性を

10

20

30

40

50

有することができる。なお、相対密度が96%未満のフェライトステンレス系軟磁性材は良好な磁気特性や好適な表面硬さが得られないことがある。

#### 【0023】

ここで、上述した金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材の相対密度について説明する。本発明でいう相対密度とは、焼結によって金属焼結体となる金属粉の空孔を含まない固体そのものの理論密度に相当する真密度 $\rho_0$ と、該金属粉が焼結された金属焼結体そのものの質量をそのかさ体積で除した値であるかさ密度 $\rho_1$ とで定義できる比率 $\rho_1 / \rho_0$ をパーセント(%)で示した値をいう。金属粉の真密度 $\rho_0$ は、JIS-Z9301に規定されるピクノメーター法などを適用した市販の真密度測定装置によって求めることができる。また、金属焼結体のかさ密度 $\rho_1$ は、例えば湿式アルキメデス法などの測定法によって求めることができる。

10

#### 【0024】

また、本発明において第二に重要なことは、金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材に不可避免的に含有される不純物のうち、Cを0.07%以下に抑制することである。本発明においては、Cは、0.07%を超えると、表面硬さは若干高くなり、保磁力は低下するような傾向を呈するものの、最大透磁率や磁束密度を損なってしまうことがある。よって、不純物Cの許容範囲は0.07%以下であるが、望ましくは0.05%以下、より望ましくは0.03%以下である。なお、Cは磁気特性の劣化を招く不純物ではあるものの、Cを0.01%以上含有することで生成された炭化物の分散によって表面硬さの向上効果が期待でき、より表面硬さを期待する場合は0.02%以上含有させても構わない。

20

#### 【0025】

上述したように、OおよびCは本発明においては焼結性や磁気特性を劣化させやすい不純物であり、その含有は理想的には0%である。しかしながら、本発明においては、Oを0.30%以下、Cを0.07%以下の含有に制御しながら含有比C/Oを0.5~1.4の範囲に制御することにより、得られる軟磁性材の磁気特性や表面硬さを上述した用途により好適なものにできる。具体的には、相対密度96%以上を有して、最大透磁率4000以上、磁束密度(B10)1.1T以上、保磁力100A/m以下、表面硬さ230~260HVといったものである。

#### 【0026】

また、本発明において第三に重要なことは、金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材に、Siを3.0~5.0%の範囲で含有することである。これにより、金属焼結体の焼結組織中にSi化合物が好適に分散生成されることとなって、表面硬さを高めることができ、上述した用途に好適な表面硬さ200~300HVを有することができる。なお、Siが3.0%未満では上述した用途で所望される200HV以上の表面硬さが得られ難く、Siが5.0%を超えると相対密度の向上には寄与できるものの、表面硬さが大きくなりすぎて表面脆化による耐摩耗性の劣化を招きやすくなる。それ故に、Siを3.0~5.0%に制御することで好適な耐摩耗性を有しながらも脆化し難いフェライトステンレス系軟磁性材を得ることができる。そして、好適な表面硬さ200~300HVを有するフェライトステンレス系軟磁性材は、例えば電流の入り切りによって駆動される磁性部材のように、駆動によって酷い損耗の発生が予測される環境下で使用される磁性部材や磁性部品の用途への適用が好適となる。なお、上述した用途においては、表面硬さが200HV未満では耐摩耗性が不十分であり、300HVを超えると脆くなりやすくなるため耐衝撃性が不十分である。

30

40

#### 【0027】

本発明のフェライトステンレス系軟磁性材は、上述したO、C、Siの各元素の含有範囲を適正化させる他、磁性を有することのできるフェライト相の生成のため、また、ステンレス材として所望される耐食性を得るため、Feに対してCrを8.0~13.5%の範囲で含有させている。但し、Cr含有量が、8.0%未満ではステンレス材としての耐食性が不足することがあり、13.5%を超えると上述した用途に所望される磁気特性を

50

損なうことがある。また、Crを含有するにおいて、より良好な磁気特性を所望する場合は上限を11.0%とすることが望ましく、より良好な耐食性を所望する場合は下限を9.0%とすることが望ましい。

**【0028】**

Feに対する上述のO、C、Si、Cr以外の元素につき、本発明の作用効果を阻害することがないと考える不純物許容範囲について説明する。本発明においては、もし、多量のNi（ニッケル）を含有するとフェライト相の生成が妨げられ、非磁性であるオーステナイト相を生成してしまうので、Niは0.60%以下に抑えることが望ましい。また、Mn（マンガン）やP（燐）やS（硫黄）などの元素は、金属焼結体の焼結性や機械的強度、磁気特性に影響を及ぼすことがあるので、Mnは1.0%以下、Pは0.04%以下、Sは0.03%以下に抑えることが望ましく、理想的には全く含有しない0%である。

10

**【0029】**

以上述べたように、本発明のフェライトステンレス系軟磁性材は、磁性を有することのできるフェライト系のステンレス材に属する軟質磁性材であって金属焼結体となる。そして、本発明においては、実質的には金属焼結体に不可避免的に含有することのある不純物Oを0.30%以下に抑制することによって相対密度を高め、同時に、不純物Cを0.07%以下に抑制することによって磁気特性の劣化を防止し、さらに、Siを3.0~5.0%の範囲で積極的に含有させて表面硬さを好適な範囲にまで高めている。

**【0030】**

次に、本発明における金属焼結体について説明する。該金属焼結体は、例えば上述したMIM法などの金属焼結法を適用して形成される金属焼結体であってよく、所望する製品形状に近似する形状（ニアネットシェイプ）を有することができる。このように所望形状に対して近似形状を有する金属焼結体であれば、従来の削り出しなど機械加工によっては形成できなかった複雑な部材や部品の形状を容易に有することができる。また、所望形状に近似する形状の金属焼結体に対し、溝や穴の加工や外周研磨などの仕上げ加工を施すことやコーティングなどの後処理を施すことも容易にできる。よって、複雑な形状を有するフェライトステンレス系軟磁性材であっても、金属焼結体となるフェライトステンレス系軟磁性材は、その形状を従来のように粗加工から仕上げ加工までのすべてを機械加工に拠って得ることがないため、生産効率や製造コストが格段に改善される。

20

**【0031】**

本発明のフェライトステンレス系軟磁性材は、例えば、金属粉末射出成形法（MIM法）によって形成した金属粉末成形体を脱脂後に焼結し、質量%で、Crを8.0~13.5%、Siを3.0~5.0%、残部Feおよび不可避免の不純物を含有し、該不可避免の不純物のうちOが0.30%以下およびCが0.07%以下の含有に抑制された金属焼結体を、適正条件下で磁性焼鈍した金属焼結体であってよい。

30

**【0032】**

本発明において、上述した金属焼結体は、例えば次のようなMIM法を適用した製造方法で形成することができる。まず、粉末原料として、例えば、SUS410Lに近似する化学成分を有してなる金属粉にSi粉を概ね3~5%加える、あるいはSUS430Lに近似する化学成分を有してなる金属粉にSi粉を概ね1.2~1.4%加えるなどして所望の化学成分となるように調整して準備する。そして、該粉末原料に対してバインダとなるパラフィンワックスやポリプロピレンを混合し混練して射出成形用素材とする。次いで、該射出成形用素材を所望形状に対応するキャビティを有する金型内に射出して金属粉末成形体を形成する。そして、該金属粉末成形体を溶媒に浸漬してパラフィンワックスを除去した後に加熱することでポリプロピレンを除去し、この後に例えば1240~1250度の温度で3~5時間保持することによって金属粉を焼結させる、といった製造工程による製造方法である。このような製造方法によれば、金属焼結体は、例えば、相対密度96%以上、表面硬さ200~300HVを有することができる。なお、上述した金属粉を焼結する条件は、化学成分や所望する表面硬さなどに合わせて適宜調整することができる。

40

**【0033】**

50

また、本発明においては、粉末原料としては、上述のSi粉やSUS410L金属粉あるいはSUS430L金属粉を平均粒径7～13 $\mu$ m程度とし、一般にカルボニル鉄粉と呼ばれ、1%以下でCを含み、平均粒径3～8 $\mu$ m程度に形成された微鉄粉を10～20質量%混合して用いることが望ましい。基材となる金属粉よりも平均粒径の小さなカルボニル鉄粉を適量加えると金属粉の焼結性が向上されるため、得られる金属焼結体の相対密度を高める効果が期待できる。また、カルボニル鉄粉に含まれるCは、射出成形用素材の製造工程における混錬処理などにより過剰に含まれやすいOとの間でCO反応を引き起こす。このCO反応により、金属焼結体に過剰に含まれやすく磁気特性を劣化しやすいOやCの含有低減効果が得られるため、金属焼結体から得た軟磁性材の特に最大透磁率や保磁力についてさらなる好適化が期待できる。

10

**【0034】**

また、本発明においては、上述したようにSiを含有することで軟磁性材の表面硬さを高めて好適な範囲にしている。しかしながら、SiはOと結びつくことでSiO<sub>2</sub>を生成し、SiO<sub>2</sub>が過剰に生成された場合には磁気特性が劣化してしまうことがある。よって、本発明においては、上述したようにカルボニル鉄粉を混合してCO反応を引き起こし、これによりOを消費して生成されるSiO<sub>2</sub>の微細化や分散化を誘引することが望ましい。

**【0035】**

また、本発明において、上述した金属焼結体を得るための金属焼結法は、上述したMIM法に限らず、プレス焼結法やプラズマ焼結法等が適用可能である。一般にMIM法は、複雑な形状を寸法精度よく形成可能な粉末焼結法として知られており、例えば機器の作動特性を向上させるために好適な形状を有する磁性部品であっても容易に形成できるので、金属焼結体を形成するには好適である。

20

**【0036】**

上述した本発明のフェライトステンレス系軟磁性材の製造方法においては、金属焼結体を適正条件下で焼結することによって、相対密度96%以上、表面硬さ200～300HVを有することができる。また、該金属焼結体を適正条件下で磁性焼鈍することによって、最大透磁率2500以上、磁束密度(B10)1.0T以上、保磁力150A/m以下の磁気特性を有することができる。

**【0037】**

例えば、上述した金属焼結体に施す磁性焼鈍は、外部磁界を加えた熱処理炉を用い、920～980度の炉内温度で2～4時間保持した後に130～170度/時間で降温するような条件を適用することができる。このような条件下での磁性焼鈍を金属焼結体に施すことによって、例えば、磁気特性が、最大透磁率2500以上、磁束密度(B10)1.0T以上、保磁力150A/m以下となる金属焼結体、すなわち本発明のフェライトステンレス系軟磁性材を得ることができる。なお、磁性焼鈍の条件は、所望する磁気特性に合わせて適宜調整することができる。

30

**【0038】**

また、本発明の製造方法においては、金属焼結体に含まれるOとCの含有比C/Oを0.5～1.4の範囲に制御し、該金属焼結体に対して上述と同様の磁性焼鈍を施すことによって、例えば、磁気特性が、最大透磁率4000以上、磁束密度(B10)1.1T以上、保磁力100A/m以下となる金属焼結体、すなわち本発明のフェライトステンレス系軟磁性材を得ることができる。

40

**【実施例】****【0039】**

本発明のフェライトステンレス系軟磁性材における表面硬さと磁気特性を評価するために、表1に示す化学成分を有するフェライトステンレス系軟磁性材である、外径20mm、内径12mm、厚さ2mmのリング形状を有する試験体(本発明の実施例:A～H、比較例:a～f)を製造した。これらの試験体(A～H、a～f)を製造するにあたっては、MIM法で形成した金属焼結体を用いた。なお、それぞれの試験体は、実際には表1中

50

に示していないNi、Mn、S、Pなどの他元素を含有しており、Feの欄に示す残部に含んでいる。

【0040】

【表1】

試験体 記号	試験体(金属焼結体)の化学成分(質量%)						使用した粉末原料			備考
	Cr	Si	O	C	C/O	Fe	SUS 410L	SUS 430L	カルボニル 鉄粉	
A	9.18	3.86	0.044	0.033	0.750	残部	不使用	使用	使用	実施例
B	10.50	3.58	0.065	0.035	0.538	残部	使用	不使用	使用	実施例
C	8.52	4.18	0.077	0.040	0.519	残部	不使用	使用	使用	実施例
D	9.85	3.56	0.041	0.063	1.537	残部	不使用	使用	使用	実施例
E	11.04	4.75	0.270	0.025	0.093	残部	使用	不使用	不使用	実施例
F	12.21	3.84	0.250	0.023	0.092	残部	使用	不使用	不使用	実施例
G	13.36	3.06	0.260	0.014	0.054	残部	使用	不使用	不使用	実施例
H	13.36	3.06	0.290	0.015	0.052	残部	使用	不使用	不使用	実施例
a	13.05	1.04 *	0.133	0.004	0.030	残部	使用	不使用	不使用	比較例
b	12.10	5.31 *	0.260	0.024	0.092	残部	使用	不使用	不使用	比較例
c	12.30	1.95 *	0.280	0.007	0.025	残部	使用	不使用	不使用	比較例
d	13.36	2.88 *	0.270	0.015	0.056	残部	使用	不使用	不使用	比較例
e	11.80	4.02	0.047	0.077 *	1.638	残部	不使用	使用	使用	比較例
f	13.36	3.06	0.320 *	0.025	0.078	残部	使用	不使用	不使用	比較例

【注記】 \*印は本発明の範囲外であることを示す。

【0041】

具体的に、金属焼結体は次の手順で製造した。まず、SUS410Lに近似する化学成分を有してなる平均粒径9.2μmの金属粉、あるいはSUS430Lに近似する化学成分を有してなる平均粒径8.9μmの金属粉に、表1中の所望する試験体の化学成分に対応させて同程度の平均粒径を有してなる適量のSi粉を加えて、さらに試験体によっては平均粒径4.3μmのカルボニル鉄粉を適量加えて調整した粉末原料を準備した。この粉末原料に対し、バインダとなるパラフィンワックスやポリプロピレンを混合し混練して射出成形用素材とした。そして、この射出成形素材を所望形状に対応するキャビティを有する金型内に射出して金属粉末成形体を形成した。得られた金属粉末成形体からパラフィンワックスを除去するために溶媒に浸漬し、この後に加熱してポリプロピレンを除去し、引き続き所望する試験体の化学成分に応じて1240~1250度に温度制御した炉内で4時間保持することで金属粉を焼結させて、上述したリング形状に実質的に相当し、表1に示すそれぞれの化学成分を実質的に有する金属焼結体を得た。

【0042】

次いで、得られた金属焼結体を磁性焼鈍した。磁性焼鈍は、常温から概ね3時間で950度まで昇温されるように温度制御した炉内でそれぞれの金属焼結体を3時間保持した後に、150度/時間で200度まで降温するように温度制御し、この後にそれぞれの金属焼結体を炉外に取り出して常温(概ね20度)まで冷却した。

【0043】

上述した磁性焼鈍を経て、表1に示す化学成分を有するリング形状の金属焼結体であるフェライトステンレス系軟磁性材であって、本発明の実施例となる試験体(A~H)および比較例となる試験体(a~f)を得た。そして、得られたそれぞれのリング形状の試験体(A~H、a~f)について、相対密度、表面硬さ(ピッカース硬さ)、および磁気特性として最大透磁率、磁束密度(B10)、保磁力を測定した。測定結果を表2に示す。なお、相対密度は、金属粉の真密度をピクノメーター法が適用された市販の真密度測定装

10

20

30

40

50

置で測定し、金属焼結体でなる試験体のかさ密度を湿式アルキメデス法が適用された測定装置で求めた。

【 0 0 4 4 】

【表 2】

試験体 記号	相対密度 %	表面硬さ HV	最大 透磁率	磁束密度 (B10) T	保磁力 A/m	備考
A	97.3	239	5,062	1.17	71	実施例
B	97.3	233	4,613	1.18	79	実施例
C	97.2	255	4,295	1.17	86	実施例
D	97.1	247	3,438	1.15	92	実施例
E	96.1	275	3,014	1.01	96	実施例
F	96.3	239	2,611	1.01	103	実施例
G	96.5	216	2,563	1.04	112	実施例
H	96.3	218	2,503	1.02	109	実施例
a	98.8	150	4,000	1.20	100	比較例
b	97.0	319	3,120	1.09	93	比較例
c	96.0	160	2,780	1.12	110	比較例
d	96.0	193	2,520	1.01	109	比較例
e	97.5	263	2,314	1.08	81	比較例
f	95.3	218	2,158	1.0	112	比較例

【 0 0 4 5 】

〔相対密度〕

表 2 に示すそれぞれの試験体の相対密度は、95.3%であった試験体 f を除いて 96.0% に達し、特に試験体 a は高く 98.8% に達していた。これは、表 1 に示す化学成分に照らせば、試験体 f の相対密度が最も低くなったのは、O 含有量が 0.30% を超えていたためと推測される。一方、試験体 a の相対密度が最も高くなったのは、O 含有量が 0.133% と比較的少なかった上に、C 含有量が 0.004% と試験体のうちで最も少なかったためと推測することができた。また、この他の試験体についても O 含有量を比べてみると、試験体 A ~ D のように、O 含有量が少ないほど試験体の相対密度が高くなる傾向があることが判った。

【 0 0 4 6 】

よって、本発明においては、金属焼結体の O 含有量を 0.30% 以下に抑制することにより、金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材の相対密度を 96% 以上に調整できることが判った。

【 0 0 4 7 】

〔表面硬さ〕

表 2 に示すそれぞれの試験体の表面硬さは、試験体 A ~ H および試験体 b、e、f は 200 HV を超え、一方、試験体 a、c、d は 200 HV に達しなかった。これは、表 1 に示す化学成分に照らせば、試験体 E、b、e のように Si を多く含有する試験体ほど明らかに表面硬さが硬くなっており、Si を 3.0% 以上含有する試験体に限って 200 HV 以上の表面硬さを有していることが判る。一方、表面硬さが 300 HV を超えて硬くなりすぎてしまった場合は、上述したように軟磁性材が脆化しやすくなって摩耗や損壊などの不具合を招くことがある。表 2 に示す試験体 b は、脆化を招くことのある表面硬さ 300 HV を超えており、化学成分のうち Si を 5.0% を超えて含有している。

## 【 0 0 4 8 】

よって、本発明においては、金属焼結体の Si 含有量を 3.0% 以上とすることによって金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材の表面硬さを 200HV 以上に調整でき、Si 含有量を 5.0% 以下とすることによって 300HV 以下に調整できることが判った。また、C 含有量が 0.01% 未満の試験体 a、c の表面硬さが 150HV 以下であったことに比べ、C を 0.01% 以上含有する他の試験体では表面硬さが 150HV を越えていた。よって、C は不純物ではあるものの、若干の C 含有で表面硬さが向上されることが確認された。また、試験体 A ~ F が 230HV 以上の表面硬さを有していたことから、0.02% 以上の C の含有により表面硬さがさらに向上されることが確認された。

## 【 0 0 4 9 】

## [ 最大透磁率 ]

表 2 に示すそれぞれの試験体の磁気特性のうち最大透磁率は、試験体 e、f を除いて 2500 以上を有していた。また、試験体 A ~ C は、好適な表面硬さ 200 ~ 300HV を有してなお、最大透磁率が 4000 に達していた。これは、表 1 に示す化学成分に照らせば、最大透磁率の小さい試験体 e では C 含有量が 0.07% を超えていたこと、同様に、試験体 f では O 含有量が 0.30% を超えていたことに起因すると推測することができた。一方、最大透磁率が 2500 以上の試験体については、いずれの試験体においても O 含有量が 0.30% 以下かつ C 含有量が 0.07% 以下を満足している。

## 【 0 0 5 0 】

よって、本発明においては、金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材において、不可避免的に含有される不純物 O を 0.30% 以下かつ不純物 C を 0.07% 以下の含有に抑制することにより、金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材の最大透磁率を 2500 以上に調整できることが判った。

## 【 0 0 5 1 】

## [ 磁束密度 ( B 1 0 ) ]

表 2 に示すそれぞれの試験体の磁気特性のうち磁束密度 ( B 1 0 ) は、すべての試験体において軟磁性材として望ましいとされる程度の 1.0T 以上を有していた。よって、Cr を 8.0 ~ 13.5%、Si を 3.0 ~ 5.0%、残部 Fe および不可避免的な不純物を含有し、該不可避免的な不純物のうち O を 0.30% 以下および C を 0.07% 以下の含有に抑制された、本発明の金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材は、1.0T 以上の磁束密度 ( B 1 0 ) を得ることができることが判った。

## 【 0 0 5 2 】

## [ 保磁力 ]

表 2 に示すそれぞれの試験体の磁気特性のうち保磁力は、いずれの試験体においても 150A/m を超えることがなく、軟磁性材として望ましいとされる程度の小さな保磁力を有していた。特に、試験体 A ~ E は、好適な表面硬さ 200 ~ 300HV を有してなお、100A/m 以下と小さな保磁力となっていた。

## 【 0 0 5 3 】

## [ 含有比 C / O ]

本発明の実施例に相当する試験体 A ~ C は、より好適な表面硬さ 230 ~ 260HV を有しながら、上述したフェライトステンレス系軟磁性材の用途において、より良好な磁気特性、すなわち 4000 以上の最大透磁率、1.1T 以上の磁束密度 ( B 1 0 )、100A/m 以下の保磁力を有することができた。これについて、表 1 に示す化学成分に照らせば、試験体 A ~ C に限って O と C の含有比 C / O が 0.5 ~ 1.4 の範囲にあることが確認できる。よって、素材に用いる金属焼結体を形成するにおいて、不純物 O と C の含有比 C / O を 0.5 ~ 1.4 の範囲に制御することにより、上述したように、より好適な範囲の表面硬さを有し、かつ、より良好な磁気特性を有する、金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材を得ることができることが判った。

## 【 0 0 5 4 】

## [ Cr 含有量 ]

10

20

30

40

50

本発明において、SiやOおよびCの含有量が適正な範囲に制御されている試験体A～Hでは、Cr含有量が8.52～13.36%の範囲で変化している。しかしながら、本発明の金属焼結体でなるフェライトステンレス系軟磁性材は、いずれの試験体A～Hにおいても、表面硬さ200～300HV、最大透磁率2500以上、磁束密度(B10)1.0T以上、保磁力150A/m以下を有しており、Cr含有量の多少に影響され難いことが判った。よって、軟磁性材に耐食性を付与できるCrの含有量は、より良好な磁気特性を所望する場合は試験体A～Dのような化学成分を選定し、より良好な耐食性を所望する場合は試験体E～Hのような化学成分を選定することが望ましいと推測することができた。

**【0055】**

10

以上述べた通り、質量%で、Crを8.0～13.5%、Siを3.0～5.0%、残部Feおよび不可避的不純物を含有し、該不可避的不純物のうちOを0.30%以下およびCを0.07%以下の含有に抑制された金属焼結体でなる本発明のフェライトステンレス系軟磁性材を、所望のリング形状に近似する形状を有する金属焼結体から得ることができた。また、相対密度96%以上、表面硬さ200～300HVを有する金属焼結体でなる本発明のフェライトステンレス系軟磁性材を得ることができた。また、金属焼結体を適正条件下で磁性焼鈍することで、最大透磁率2500以上、磁束密度(B10)1.0T以上、保磁力150A/m以下となる磁気特性を有する本発明のフェライトステンレス系軟磁性材を得ることができた。

**【0056】**

20

また、金属焼結体を形成するにおいて、C/O含有比を0.5～1.4の範囲に制御することにより、相対密度96%以上、表面硬さ230～260HVを有し、最大透磁率4000以上、磁束密度(B10)1.1T以上、保磁力100A/m以下となる磁気特性を有する、より優れたフェライトステンレス系軟磁性材を得ることができた。

---

フロントページの続き

(72)発明者 加藤 礼一

島根県安来市恵乃島町114番地1 株式会社日立メタルプレシジョン 恵乃島工場内

審査官 長谷山 健

(56)参考文献 特開2009-019264(JP,A)

特開平07-118816(JP,A)

特開平07-157838(JP,A)

特開2002-275600(JP,A)

特開平04-176802(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C22C 38/00

C22C 33/02

B22F 3/02

H01F 1/22

H01F 1/14