

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年3月19日(19.03.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/054857 A1

- (51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) *B22F 3/00* (2006.01)
B22F 1/00 (2006.01) *H01F 1/147* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/036174
- (22) 国際出願日: 2019年9月13日(13.09.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2018-171255 2018年9月13日(13.09.2018) JP
- (71) 出願人: 日立金属株式会社 (HITACHI METALS, LTD.) [JP/JP]; 〒1088224 東京都港区港南一丁目2番70号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 太田 元基(OHTA, Motoki); 〒1088224 東京都港区港南一丁目2番70号 日立金属株式会社内 Tokyo (JP). 千綿 伸彦(CHIWATA, Nobuhiko); 〒1088224 東京都港区港南一丁目2番70号 日立金属株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 中島 淳, 外 (NAKAJIMA, Jun et al.); 〒1600022 東京都新宿区新宿4丁目3番17号 H K 新宿ビル7階 太陽国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: FeSiCrC ALLOY POWDER AND MAGNETIC CORE

(54) 発明の名称: FeSiCrC合金粉末及び磁心

(57) Abstract: This FeSiCrC alloy powder has an alloy compositional makeup represented by $\text{Fe}_{100-a-b-c}\text{Si}_a\text{Cr}_b\text{C}_c$ and has a particle size d_{50} of 2.0-10.0 μm , wherein 100-a-b-c, a, b, and c represent mass% of respective elements, and a, b, and c satisfy $5.50 \leq a \leq 7.60$, $0.50 \leq b \leq 5.00$, and $0.08 \leq c \leq 0.36$, respectively.

(57) 要約: $\text{Fe}_{100-a-b-c}\text{Si}_a\text{Cr}_b\text{C}_c$ で表される合金組成を有し、粒径 d_{50} が2.0 μm 以上10.0 μm 以下であるFeSiCrC合金粉末。100-a-b-c、a、b及びcは、それぞれ、各元素の質量%を示し、かつ、a、b及びcは、 $5.50 \leq a \leq 7.60$ 、 $0.50 \leq b \leq 5.00$ 、及び $0.08 \leq c \leq 0.36$ を満足する。



WO 2020/054857 A1

明 細 書

発明の名称： F e S i C r C 合金粉末及び磁心

技術分野

[0001] 本開示は、F e S i C r C 合金粉末及び磁心に関する。

背景技術

[0002] F e を主成分として含むF e 基合金は、飽和磁束密度B_sが高いことから、磁心（例えば、配電トランス用又はリアクトル用の磁心）の材料として用いられている。

F e 基合金としては、珪素鋼板（電磁鋼板）が使用されている。

また、高周波条件で使用される磁心用のF e 基合金として、アトマイズ法等によって製造されるF e 基合金粉末も使用されている。

[0003] 磁心に適用される高周波条件の具体的な周波数は、従来、数100kHz程度であった。

例えば、特許文献1には、300kHz又は500kHzの周波数で使用されるF e S i C r 圧粉磁心が記載されている。

[0004] また、合金粉末を得る方法であるアトマイズ法の例としては、ガスアトマイズ法及び水アトマイズ法が知られている。

[0005] また、アトマイズ法の別の例として、熔融金属にフレイムジェット又は燃焼炎を噴射して液滴を得、得られた液滴を急冷し、凝固させて合金粉末を得る方法（例えば、特許文献2及び特許文献3参照）、及び、熔融金属の溶滴を、旋回水流によって急冷し、凝固させて合金粉末を得る方法（例えば、特許文献4参照）も知られている。

より詳細には、特許文献2には、より低コストで、熔融金属粉末を水を用いた急速冷却機構を利用して乾燥状態の金属粉末を得ることができる金属粉末の製造装置として、アトマイズ法の原理を利用して金属粉末を得るための金属粉末の製造装置であって、熔融金属または金属線材を供給する供給手段と、前記供給手段により供給される前記熔融金属または前記金属線材に高温

のフレイムジェットを噴射するジェットバーナーと、前記フレイムジェットの噴射により得られる溶融金属粉末、または、前記溶融金属粉末を含む前記フレイムジェットに向かって冷却媒体としての水を噴射する冷却手段とを、有することを特徴とする金属粉末の製造装置が開示されている。

また、特許文献3には、円環状の燃焼炎を、常にほぼ均等な速度および圧力で溶融金属等の原料に当てることができ、均一な品質の粉末を得ることができる粉末製造装置として、燃焼炎を発生させる複数の燃焼炎発生部と、前記燃焼炎発生部で発生した燃焼炎が燃焼路を通じて流入する燃焼室と、前記燃焼室の中央部に配置され、前記燃焼室の壁部との間に円環状の噴射口を形成するセンターコーンと、前記センターコーンの中心を貫通して設けられ、原料を前記噴射口の中央に形成された供給口へ供給する供給路と、前記燃焼室内へ前記噴射口の周囲に間隔をあけて設けられた複数の整流板と、を備え、前記燃焼路は、前記燃焼炎発生部で発生した前記燃焼炎が前記燃焼室の側壁に沿って回転するように噴出させ、前記整流板は、前記噴射口の周囲を回転する前記燃焼炎の流れを前記噴射口に向かう方向に曲げることで、回転する前記燃焼炎の回転方向成分を抑える、粉末製造装置が開示されている。

また、特許文献4には、結晶化した金属粉末の混在しない良品質の非晶質金属粉末を得ることができ、生産性の向上を図ることが可能な非晶質金属粉末の製造方法として、原料容器から流下させた溶融金属に、高圧ガスを吹きつけて溶融金属を微細な溶滴に分断し、該溶滴を下方の傾斜した冷却容器内周面に形成される旋回冷却液層に供給して急凝固させ非晶質金属粉末を製造する方法であって、前記高圧ガスにより微細化された溶滴の全量を、前記高圧ガス噴射流により前記冷却液層に指向することを特徴とする非晶質金属粉末の製造方法が開示されている。

また、この特許文献4には、結晶化した金属粉末の混在しない良品質の非晶質金属粉末を得ることができ、生産性の向上を図ることが可能な非晶質金属粉末の製造装置として、溶融金属を収容しかつその底部から溶融金属を流下させる原料容器と、該容器の下方に傾斜状に配設されかつ円筒内周面に旋

回冷却液層が形成される冷却容器と、前記原料容器から流下する熔融金属に
 高压ガスを吹きつけてこれを微細な溶滴に分断して前記冷却液層に供給する
 高压ガス噴射手段とを備えた非晶質金属粉末の製造装置であって、前記高压
 ガス噴出手段の熔融金属降下流に対するガス噴射角度を、前記冷却容器の傾
 斜角度未満としたことを特徴とする非晶質金属粉末の製造装置も開示されて
 いる。

[0006] 特許文献 1 : 特許第 5 1 5 8 1 6 3 号公報

特許文献 2 : 特許第 6 1 7 8 5 7 5 号公報

特許文献 3 : 特許第 6 2 9 8 7 9 4 号公報

特許文献 4 : 特開平 1 1 - 8 0 8 1 2 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかし、アトマイズ法によって得られる F e 基合金粉末から製造した磁心
 に対し、周波数 1 M H z 超の高周波条件での磁心損失を低減することが求め
 られる場合がある。上記高周波条件での磁心損失を低減させる手段の一つと
 して、磁心の原料である F e 基合金粉末の保磁力 H c を低減させることが有
 効である。

本開示の一態様の課題は、保磁力 H c が低減された F e S i C r C 合金粉
 末であって、かつ、周波数 1 M H z 超の高周波条件での磁心損失が低減され
 た磁心を製造できる F e S i C r C 合金粉末を提供することである。

本開示の別の態様の課題は、周波数 1 M H z 超の高周波条件での磁心損
 失が低減された磁心を提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するための具体的手段には、以下の態様が含まれる。

< 1 > 下記組成式 (1) で表される合金組成を有し、粒径 d 5 0 が 2 . 0
 μ m 以上 1 0 . 0 μ m 以下である F e S i C r C 合金粉末。

$F e_{100-a-b-c} S i_a C r_b C_c$. . . 組成式 (1)

組成式 (1) 中、1 0 0 - a - b - c、a、b 及び c は、各元素の質量%

を示し、かつ、 a 、 b 及び c が、 $5.50 \leq a \leq 7.60$ 、 $0.50 \leq b \leq 5.00$ 、及び $0.08 \leq c \leq 0.36$ を満足する。

<2> 最大磁場が 800 kA/m である条件の $B-H$ 曲線から求めた保磁力 H_c が、 300 A/m 以上 1000 A/m 以下である<1>に記載の FeSiCrC 合金粉末。

<3> 粒径 d_{90} から粒径 d_{10} を差し引いた値が、 $25.0 \mu\text{m}$ 以下である<1>又は<2>に記載の FeSiCrC 合金粉末。

<4> <1>～<3>のいずれか1項に記載の FeSiCrC 合金粉末を含む磁心。

<5> 周波数 3 MHz 及び励磁磁束密度 20 mT の条件での磁心損失 P が、 6000 kW/m^3 以下である<4>又は<5>に記載の磁心。

発明の効果

[0009] 本開示の一態様によれば、保磁力 H_c が低減された FeSiCrC 合金粉末であって、かつ、周波数 1 MHz 超の高周波条件での磁心損失が低減された磁心を製造できる FeSiCrC 合金粉末が提供される。

本開示の別の態様によれば、周波数 1 MHz 超の高周波条件での磁心損失が低減された磁心が提供される。

発明を実施するための形態

[0010] [FeSiCrC 合金粉末]

本開示の FeSiCrC 合金粉末は、下記組成式(1)で表される合金組成を有し、粒径 d_{50} が $2.0 \mu\text{m}$ 以上 $10.0 \mu\text{m}$ 以下である。

本開示の FeSiCrC 合金粉末は、保磁力 H_c が低減された FeSiCrC 合金粉末であって、かつ、周波数 1 MHz 超の高周波条件（以下、「特定高周波条件」ともいう）での磁心損失が低減された磁心を製造できる（即ち、上記磁心の原料として好適な） FeSiCrC 合金粉末である。

[0011] $\text{Fe}_{100-a-b-c}\text{Si}_a\text{Cr}_b\text{C}_c$ … 組成式(1)

組成式(1)中、 $100-a-b-c$ 、 a 、 b 及び c は、各元素の質量%を示し、かつ、 a 、 b 及び c が、 $5.50 \leq a \leq 7.60$ 、 $0.50 \leq b \leq$

5.00、及び $0.08 \leq c \leq 0.36$ を満足する。

[0012] 保磁力 H_c 低減の効果には、主として、 $5.50 \leq a$ であることが寄与していると考えられる。

特定高周波条件での磁心損失が低減された磁心を製造できるという効果には、保磁力 H_c が低いこと（主として $5.50 \leq a$ であること）と、粒径 d_{50} が $10.0 \mu m$ 以下であることと、の両方が寄与していると考えられる。

詳細には、FeSiCrC合金粉末の保磁力 H_c が低いことにより、FeSiCrC合金粉末から得られた磁心において、ヒステリシス損失が低減され、その結果、特定高周波条件での磁心損失が低減される。

更に、FeSiCrC合金粉末の粒径 d_{50} が $10.0 \mu m$ 以下であることにより、FeSiCrC合金粉末から得られた磁心において、渦電流損失が低減され、その結果、特定高周波条件での磁心損失が低減される。

[0013] 以下、特定高周波条件での磁心損失低減の効果について、より詳細に説明する。

一般的に、磁心損失は、ヒステリシス損失と渦電流損失とによって決定される。

このうち、渦電流損失は周波数依存性があり、適用される周波数が高くなるにつれて大きくなる傾向がある。このため、特定高周波条件（即ち、1 MHz超の高周波条件）では、1 MHz以下の条件と比較して、磁心損失に与える渦電流損失の影響（即ち、磁心損失に対する渦電流損失の寄与）がより大きくなる。

本開示の磁心では、上記合金組成によって保磁力 H_c 及びヒステリシス損失が低減され、 $10.0 \mu m$ 以下である d_{50} によって渦電流損失が低減され、これらの効果が相まって、特定高周波条件での磁心損失が低減されることが考えられる。

[0014] <合金組成>

本開示のFeSiCrC合金粉末は、下記組成式（1）で表される合金組

成を有する。

[0015] $\text{Fe}_{100-a-b-c}\text{Si}_a\text{Cr}_b\text{C}_c$ … 組成式 (1)

組成式 (1) 中、 $100-a-b-c$ 、 a 、 b 及び c は、各元素の質量%を示し、かつ、 a 、 b 及び c が、 $5.50 \leq a \leq 7.60$ 、 $0.50 \leq b \leq 5.00$ 、及び $0.08 \leq c \leq 0.36$ を満足する。

[0016] 組成式 (1) 中、 $100-a-b-c$ は、 Fe の質量% (詳細には、 Fe 、 Si 、 Cr 、及び C の合計を 100 質量%とした場合の Fe の含有量 (質量%)) を示す。

組成式 (1) 中の「 $100-a-b-c$ 」 (即ち、 Fe の質量%) は、 $5.50 \leq a \leq 7.60$ 、 $0.50 \leq b \leq 5.00$ 、及び $0.08 \leq c \leq 0.36$ を満足するかぎり、特に制限はない。

組成式 (1) で表される合金組成において、 Fe は、軟磁性特性の主体をなす元素である。 FeSiCrC 合金粉末の飽和磁束密度 B_s をより向上させる観点から、 Fe の質量%は多い方が好ましい。具体的には、組成式 (1) 中の「 $100-a-b-c$ 」は、好ましくは 90.00 以上であり、好ましくは 90.90 以上であり、より好ましくは 91.00 以上であり、更に好ましくは 92.00 以上である。

[0017] 組成式 (1) 中、「 a 」は、 Si の質量% (詳細には、 Fe 、 Si 、 Cr 、及び C の合計を 100 質量%とした場合の Si の含有量 (質量%)) を示す。「 a 」は、 $5.50 \leq a \leq 7.60$ を満足する。即ち、「 a 」は、5.50 以上 7.60 以下である。

組成式 (1) で表される合金組成において、 Si は、 FeSiCrC 合金粉末に磁気異方性を付与し、 FeSiCrC 合金粉末の保磁力 H_c 低減させる機能を有する。 FeSiCrC 合金粉末の保磁力 H_c が低減されることは、 FeSiCrC 合金粉末を用いて製造された磁心の低損失化に寄与する。 Si の上記機能を効果的に発揮させる観点から、組成式 (1) における「 a 」は、5.50 以上である。組成式 (1) における「 a 」は、好ましくは 6.00 以上であり、より好ましくは 6.30 以上であり、更に好ましくは 6

、50以上である。

一方、Siの含有量が多くなると、飽和磁束密度Bsが低下する。従って、組成式(1)における「a」は、7.60以下である。組成式(1)における「a」は、好ましくは7.40以下であり、より好ましくは7.00以下であり、更に好ましくは6.70以下である。

[0018] 組成式(1)中、「b」は、Crの質量%(詳細には、Fe、Si、Cr、及びCの合計を100質量%とした場合のCrの含有量(質量%))を示す。「b」は、 $0.50 \leq b \leq 5.00$ を満足する。即ち、「b」は、0.50以上5.00以下である。

組成式(1)で表される合金組成において、Crは、アトマイズ法によって本開示のFeSiCrC合金粉末を得る際、合金溶湯を粉末化(粒子化)する段階及び／又は合金溶湯の粒子を急凝固させる段階で生じる錆びの発生(例えば、水蒸気等の水分に起因する錆びの発生)を防止又は抑制する機能を有する。Crの上記機能を効果的に発揮させる観点から、組成式(1)における「b」は、0.50以上である。「b」は、好ましくは0.70以上であり、更に好ましくは1.00以上である。

一方、Crは、飽和磁束密度Bsの向上には寄与しない。従って、Crは、軟磁気特性を低下させる(即ち、保磁力Hcを上昇させる)おそれがある元素である。このため、組成式(1)における「b」は、5.00以下である。組成式(1)におけるbは、好ましくは2.50以下であり、より好ましくは2.00以下である。

上述したとおり、Crは、保磁力Hcを上昇させるおそれがある元素であるが、本開示における合金組成では、 $5.50 \leq a$ (即ち、Si含有量が5.50質量%以上)であることにより、合金組成全体として、保磁力Hc低減の効果と、Crによる錆び抑制効果と、が両立され则认为られる。

[0019] 組成式(1)中、cは、Cの質量%(詳細には、Fe、Si、Cr、及びCの合計を100質量%とした場合のCの含有量(質量%))を示す。cは、 $0.08 \leq c \leq 0.36$ を満足する。即ち、「c」は、0.08以上0.

3.6以下である。

組成式(1)で表される合金組成において、Cは、FeSiCrC合金粉末の原料である合金溶湯の粘度を安定化させ、その結果、製造されるFeSiCrC合金粉末の粒径のバラつき（例えば、後述の $d_{90}-d_{10}$ ）を抑制する機能を有する。粒径のバラつきが抑制されることは、FeSiCrC合金粉末を用いて磁心を製造する際の成形性向上に寄与する。

Cの上記機能をより効果的に発揮させる観点から、組成式(1)中の「c」は、0.08以上である。組成式(1)中の「c」は、好ましくは0.10以上であり、より好ましくは0.11以上であり、更に好ましくは0.12以上である。

一方、Cの含有量が多すぎると、FeSiCrC合金粉末の組織中に、軟磁気特性を劣化させる（即ち、保磁力 H_c を上昇させる）fcc相が含まれるおそれがある。FeSiCrC合金粉末の組織を、磁気特性の観点からみて好ましい結晶相である、単相のbcc相とする観点から、組成式(1)中の「c」は、0.36以下である。組成式(1)中の「c」は、好ましくは0.35以下であり、より好ましくは0.34以下であり、更に好ましくは0.33以下である。

上述したとおり、Cは、保磁力 H_c を上昇させるおそれがある元素であるが、本開示における合金組成では、 $5.50 \leq a$ （即ち、Si含有量が5.50質量%以上）であることにより、合金組成全体として、保磁力 H_c 低減の効果と、Cによる粒径バラつき抑制の効果と、が両立されることが考えられる。

[0020] 本開示のFeSiCrC合金粉末は、組成式(1)で表される合金組成以外に、不純物を含んでいてもよい。ここでいう不純物とは、Fe、Si、Cr、及びC以外の元素のうちの少なくとも1種である。

本開示のFeSiCrC合金粉末において、Fe、Si、Cr、及びCの合計を100質量%とした場合の不純物の総含有量は、上記100質量%に対し、好ましくは0.20質量%以下であり、より好ましくは0.10質量

%以下である。

[0021] <粒径d50>

本開示のFeSiCrC合金粉末は、粒径d50が2.0 μ m以上10.0 μ m以下である。

FeSiCrC合金粉末の粒径d50が10.0 μ m以下であることにより、FeSiCrC合金粉末を用いて製造された磁心の、特定高周波条件での磁心損失を低減できる。この理由は、前述のとおり、FeSiCrC合金粉末の粒径d50が10.0 μ m以下であることにより、上記磁心の渦電流損失を低減できるためと考えられる。粒径d50は、好ましくは9.0 μ m以下であり、より好ましくは8.0 μ m以下であり、更に好ましくは7.0 μ m以下である。

FeSiCrC合金粉末の粒径d50が2.0 μ m以上であることにより、アトマイズ法によってFeSiCrC合金粉末を製造する際（例えば、合金溶湯を粒子化する際）の製造適性に優れる。粒径d50は、好ましくは4.0 μ m以上であり、より好ましくは5.0 μ m以上である。

[0022] また、一般的には、合金粉末の粒径d50が10.0 μ m以下である場合、体積に対する表面積の割合が減り、急冷凝固時にひずみが内包されるおそれがあるため、保磁力Hcの低減に対しては必ずしも有利ではない。

しかし、本開示のFeSiCrC合金粉末では、上述した合金組成〔特に、 $5.50 \leq a$ （即ち、Si含有量が5.50質量%以上）〕による保磁力Hcの低減の効果と、粒径d50が10.0 μ m以下であることによる渦電流損失の低減の効果と、が両立され、その結果、特定高周波条件での磁心損失低減の効果が達成されることが考えられる。

[0023] 本開示において、粒径d50（以下、単に「d50」ともいう）は、湿式のレーザー回折・散乱法によって求められる体積基準の積算分布曲線における積算頻度50体積%に対応する粒径（即ち、メジアン径）を意味する。

ここで、体積基準の積算分布曲線とは、粉末の粒径（ μ m）と、小粒径側からの積算頻度（体積%）と、の関係を示す曲線を意味する（以下、同様で

ある)。

また、後述する粒径 d_{10} （以下、単に「 d_{10} 」ともいう）は、上記体積基準の積算分布曲線における積算頻度10体積%に対応する粒径を意味し、後述する粒径 d_{90} （以下、単に「 d_{90} 」ともいう）は、上記体積基準の積算分布曲線における積算頻度90体積%に対応する粒径を意味する。

粒径 d_{50} 、粒径 d_{10} 、及び粒径 d_{90} は、湿式のレーザー回折・散乱式粒度分布測定装置（例えば、マイクロトラック・ベル社製のレーザー回折・散乱式粒度分布測定装置MT3000（湿式）等）を用いて測定することができる。

[0024] <粒径 d_{10} >

本開示のFeSiCrC合金粉末は、粒径 d_{10} が、好ましくは $1.0\mu\text{m}$ 以上 $3.0\mu\text{m}$ 以下である。

粒径 d_{10} が $3.0\mu\text{m}$ 以下である場合には、FeSiCrC合金粉末を用いて製造された磁心の、特定高周波条件での磁心損失をより低減できる。粒径 d_{10} は、好ましくは $2.5\mu\text{m}$ 以下である。

粒径 d_{10} が $1.0\mu\text{m}$ 以上である場合には、アトマイズ法によってFeSiCrC合金粉末を製造する際（例えば、合金溶湯を粒子化する際）の製造適性がより向上する。粒径 d_{10} は、より好ましくは $1.5\mu\text{m}$ 以上である。

[0025] <粒径 d_{90} >

本開示のFeSiCrC合金粉末は、粒径 d_{90} が、好ましくは $10.0\mu\text{m}$ 以上 $25.0\mu\text{m}$ 以下である。

粒径 d_{90} が $25.0\mu\text{m}$ 以下である場合には、FeSiCrC合金粉末を用いて製造された磁心の、特定高周波条件での磁心損失をより低減できる。粒径 d_{90} は、好ましくは $20.0\mu\text{m}$ 以下である。

粒径 d_{90} が $10.0\mu\text{m}$ 以上である場合には、アトマイズ法によってFeSiCrC合金粉末を製造する際（例えば、合金溶湯を粒子化する際）の製造適性がより向上する。粒径 d_{90} は、より好ましくは $14.0\mu\text{m}$ 以上

である。

[0026] FeSiCrC合金粉末の最大粒径は、好ましくは $30.0\mu\text{m}$ 未満であり、より好ましくは $25.0\mu\text{m}$ 未満である。

FeSiCrC合金粉末の最大粒径が $X\mu\text{m}$ 未満であることは、FeSiCrC合金粉末の全量が、目開き $X\mu\text{m}$ の篩を通過することにより確認する

[0027] $\langle d_{90} - d_{10} \rangle$

d_{10} 、 d_{50} 、及び d_{90} は、 $d_{10} < d_{50} < d_{90}$ の関係を満足するが、FeSiCrC合金粉末の粒度分布が鋭い（つまり、粒径の範囲が狭い）と、FeSiCrC合金粉末を用いて磁心を製造する際の成形性がより向上する。具体的には、再現性良く、成形密度に優れた磁心を得ることができる。

従って、上記成形性の観点から、 $d_{90} - d_{10}$ （即ち、粒径 d_{90} から粒径 d_{10} を差し引いた値）は、好ましくは $25.0\mu\text{m}$ 以下であり、より好ましくは $20.0\mu\text{m}$ 以下であり、更に好ましくは $15.0\mu\text{m}$ 以下である。

$d_{90} - d_{10}$ の下限には特に制限はない。

アトマイズ法によってFeSiCrC合金粉末を製造する際（例えば、合金溶湯を粒子化する際）の製造適性の観点から見た場合、 $d_{90} - d_{10}$ は、好ましくは $11.0\mu\text{m}$ 以上であり、より好ましくは $12.0\mu\text{m}$ 以上であり、更に好ましくは $13.0\mu\text{m}$ 以上である。

[0028] $\langle \text{保磁力} H_c \rangle$

前述したとおり、本開示のFeSiCrC合金粉末は、磁気特性の一つである保磁力 H_c が低減されている。

保磁力 H_c は、合金粉末から製造された磁心の磁心損失を決定する主要素であって、保磁力 H_c が低いほど、上記磁心損失も低くなる傾向がある。

保磁力 H_c を、最大磁場が 800kA/m である条件のB-H曲線から求めることにより、保磁力 H_c が再現性良く求められる。

[0029] 本開示のFeSiCrC合金粉末は、最大磁場が 800kA/m である条

件のB-H曲線から求めた保磁力 H_c が、好ましくは 1000 A/m 以下であり、より好ましくは 800 A/m 以下である。

本開示のFeSiCrC合金粉末において、最大磁場が 800 k A/m である条件のB-H曲線から求めた保磁力 H_c の下限は、好ましくは 300 A/m である。

[0030] <FeSiCr合金粉末の製造方法>

本開示のFeSiCr合金粉末は、好ましくは、アトマイズ法によって製造される。

具体的には、本開示のFeSiCr合金粉末を得るための製造方法は、好ましくは、

組成式(1)で表される合金組成を有する合金溶湯を準備する工程と、合金溶湯を粉末化(即ち、粒子化)する工程と、を含む。

合金溶湯を粉末化する工程により、本開示のFeSiCr合金粉末が得られる。

[0031] 本開示において、「工程」との用語は、独立した工程だけではなく、他の工程と明確に区別できない場合であってもその工程の所期の目的が達成されれば、本用語に含まれる。

[0032] 合金溶湯を準備する工程は、予め製造された合金溶湯を単に準備するだけの工程であってもよいし、合金溶湯を製造する工程であってもよい。

組成式(1)で表される合金組成を有する合金溶湯は、通常の方法によって得られる。

例えば、組成式(1)で表される合金組成を得るためには、各元素源を誘導加熱炉等に投入し、投入された各元素源を各元素の融点以上に加熱し、熔融することにより、組成式(1)で表される合金組成を有する合金溶湯を得ることができる。

[0033] 合金溶湯を粉末化(即ち、粒子化)する工程は、公知のアトマイズ法によって行うことができる。

合金溶湯を粉末化する工程は、好ましくは、合金溶湯に燃焼炎を噴射して合金熔融粒子を得る工程と、合金熔融粒子を急凝固させる工程と、を含む。

合金溶湯に燃焼炎を噴射して合金熔融粒子を得る工程は、好ましくは、前述した特許文献3に記載されている粉末製造装置を用いて実施する。これにより、粒径が小さい球形の合金粉末が得られやすい。

合金熔融粒子を急凝固させる工程は、好ましくは、前述した特許文献4に記載されている、旋回冷却液を用いた冷却容器を用いて行う。これにより、粒径が小さい球形の合金粉末が得られやすい。

[0034] <磁心>

本開示の磁心は、前述した本開示のFeSiCrC合金粉末を含む。

従って、本開示の磁心は、特定高周波条件での磁心損失が低減されている。

[0035] 本開示の磁心の形状には特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができる。

本開示の磁心の形状としては、環形状（例えば、円環形状、矩形棒形状、等）、棒形状、等が挙げられる。円環形状の磁心は、トロイダルコアとも称される。

[0036] 本開示の磁心は、周波数3MHz及び励磁磁束密度20mTの条件での磁心損失Pが、好ましくは6000kW/m³以下であり、より好ましくは、5700kW/m³以下であり、更に好ましくは、5500kW/m³以下である。

周波数3MHz及び励磁磁束密度20mTの条件での磁心損失Pの下限には特に制限はないが、好ましい下限は、4100kW/m³である。

[0037] 更に、本開示の磁心は、周波数500kHz及び励磁磁束密度20mTの条件での磁心損失Pが、好ましくは700kW/m³以下であり、より好ましくは650kW/m³以下であり、更に好ましくは630kW/m³以下である。

周波数 500 kHz 及び励磁磁束密度 20 mT の条件での磁心損失 P の下限には特に制限はないが、好ましい下限は、430 kW/m³ である。

[0038] 本開示の磁心は、FeSiCrC 合金粉末を結着させるバインダーを含んでいてもよい。

バインダーとしては、エポキシ樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、フェノール樹脂、キシレン樹脂、ジアリルフタレート樹脂、シリコーン樹脂、ポリアミドイミド、ポリイミド、及び水ガラスからなる群から選択される少なくとも 1 種が好ましい。

[0039] 本開示の磁心において、FeSiCrC 合金粉末 100 質量部に対するバインダーの含有量は、1 質量部～10 質量部であることが好ましく、1 質量部～7 質量部であることがより好ましく、1 質量部～5 質量部であることが更に好ましい。

バインダーの含有量が 1 質量部以上である場合には、FeSiCrC 合金粉末の粒子間での絶縁性及び磁心の機械的強度がより向上する。

バインダーの含有量が 10 質量部以下である場合には、磁心の単位体積当たりの磁性材料の含有率が高くでき、磁気特性がより向上する。

[0040] 本開示の磁心は、潤滑剤を含んでいてもよい。

潤滑剤としては、ステアリン酸亜鉛等が挙げられる。

[0041] 本開示の磁心は、圧粉磁心を得る方法として、公知の方法を用いることができる。

磁心の製造方法の一例として、

本開示の FeSiCrC 合金粉末とバインダーとを混練して混練物を得る工程と、

混練物を成形して磁心を得る工程と、
を含む。

混練物の成形は、プレス機等を用いて行うことができる。

実施例

[0042] 以下、本開示の実施例を示すが、本開示は以下の実施例には限定されない

。

[0043] [実施例 1 ～ 3、並びに、比較例 1 及び 2]

<FeSiCrC合金粉末の製造>

表 1 に示す、合金 A（実施例 1）、合金 B（実施例 2）、合金 C（実施例 3）、合金 D（比較例 1）、及び、合金 E（比較例 2）で表される各合金組成を有する各合金溶湯を準備し、各合金溶湯をそれぞれ粉末化することにより、各実施例及び各比較例における FeSiCrC合金粉末をそれぞれ得た。

。

[0044] [表1]

	合金	合金組成（質量%）
実施例 1	A	Fe _{90.97} Si _{6.70} Cr _{2.00} C _{0.33}
実施例 2	B	Fe _{92.21} Si _{6.60} Cr _{1.00} C _{0.19}
実施例 3	C	Fe _{92.38} Si _{6.50} Cr _{1.00} C _{0.12}
比較例 1	D	Fe _{92.57} Si _{4.20} Cr _{2.00} C _{1.23}
比較例 2	E	Fe _{93.36} Si _{4.20} Cr _{1.00} C _{1.44}
比較例 3	F	Fe _{96.45} Si _{3.50} Cr _{0.04} C _{0.01}

[0045] 実施例 1 ～ 3 並びに比較例 1 及び 2 における合金溶湯の粉末化は、合金溶湯に燃焼炎を噴射して合金溶融粒子を得、得られた合金溶融粒子を急凝固させることによって行った。

合金溶湯に燃焼炎を噴射して合金溶融粒子を得ることは、前述の特許文献 3 に記載の粉末製造装置を用いて行った。

合金溶融粒子を急凝固させることは、前述の特許文献 4 に記載の、円筒内周面に旋回冷却液層が形成される冷却容器（即ち、合金溶融粒子を旋回冷却液によって急凝固させる冷却容器）を用いて行った。旋回冷却液としては上水を用い、旋回冷却液の流速は 150 ～ 170 m/秒とした。

[0046] 比較例 3 における合金溶湯の粉末化は、公知のガスアトマイズ法によって行った。

[0047] 得られた各 FeSiCrC合金粉末の粒度分布を、マイクロトラック・ベ

ル社製の粒度分布測定装置MT3000（湿式）（ランタイム20秒）によって測定し、d10、d50、及びd90をそれぞれ得た。

結果を表2に示す。

[0048] [表2]

	合金	d10 (μm)	d50 (μm)	d90 (μm)	d90-d10 (μm)
実施例1	A	1.9	5.4	15	13.1
実施例2	B	1.9	5.6	16	14.1
実施例3	C	2.2	6.5	20	17.8
比較例1	D	1.8	5.6	18	16.2
比較例2	E	1.7	5.3	18	16.3
比較例3	F	9.6	27	62	52.4

[0049] 表2に示すように、実施例1～3並びに比較例1及び2の各FeSiCrC合金粉末は、公知のガスアトマイズ法によって製造された比較例3のFeSiCrC合金粉末と比較して、粒径（d10、d50、及びd90）が小さいことが確認された。

[0050] 実施例1～3並びに比較例1及び2の各FeSiCrC合金粉末について、それぞれ約30g程度を秤取った後、目開き25 μm の篩を通した。その結果、いずれのFeSiCrC合金粉末においても、全量が上記篩を通過することを確認した。この結果から、各FeSiCrC合金粉末の最大粒径が25 μm 未満であることがわかった。

[0051] <FeSiCrC合金粉末の保磁力Hcの測定>

振動試料型磁力計（VSM；Vibrating Sample Magnetometer）を用い、最大磁場が800kA/mである条件にて、各FeSiCrC合金粉末の磁化特性を測定し、B-H曲線を得た。得られたB-H曲線に基づき、各FeSiCrC合金粉末の保磁力Hcを求めた。

結果を表3に示す。

[0052] <磁心の製造及び磁心損失Pの測定>

各FeSiCrC合金粉末を用いて磁心を製造し、得られた磁心の磁心損

失Pを測定した。以下、詳細を示す。

[0053] FeSiCrC合金粉末100質量部に、バインダーとしてのシリコーン樹脂5質量部を加えて混練した。得られた混練物を、1トン/cm²のプレス圧力にて成形し、外径13.5mm×内径7.7mm×高さ2.5mmのリング形状の磁心（即ち、トロイダルコア）を得た。

上記成形の際、d90-d10が25.0μm以下である実施例1～3のFeSiCrC合金粉末は、d90-d10が25.0μm超である比較例3のFeSiCrC合金粉末と比較して、成形性に優れること（即ち、再現性良く、成形密度に優れた磁心が得られること）が確認された。

実施例1～3のFeSiCrC合金粉末の中でも、d90-d10が15.0μm以下である実施例1及び2のFeSiCrC合金粉末は、成形性に特に優れることが確認された。

[0054] 得られた各磁心の磁心損失Pを、以下のようにして測定した。

磁心に対し、一次側巻線と二次側巻線とをそれぞれ18ターン巻回した。この状態で、岩通計測株式会社製B-HアナライザSY-8218を用い、周波数500kHz及び励磁磁束密度20mTの条件、並びに、周波数3MHz及び励磁磁束密度20mTの条件の各々にて、磁心損失P（kW/m³）を室温（25℃）で測定した。

結果を表3に示す。

[0055] [表3]

	合金	保磁力H _c (A/m)	磁心損失P 500kHz, 20mT (kW/m ³)	磁心損失P 3MHz, 20mT (kW/m ³)
実施例1	A	712	621	5037
実施例2	B	735	601	5353
実施例3	C	641	482	4127
比較例1	D	4487	1485	>10000
比較例2	E	5586	1639	>10000
比較例3	F	497	515	6375

[0056] (保磁力 H_c)

表3より、実施例1～3のFeSiCrC合金粉末は、比較例1及び2のFeSiCrC合金粉末と比較して、保磁力 H_c が小さいことがわかる。

[0057] (500kHz、20mTでの磁心損失P)

表3より、実施例1～3の磁心は、比較例1及び2の磁心と比較して、500kHz、20mTでの磁心損失Pが小さいことがわかる。

[0058] (3MHz、20mTでの磁心損失P)

表3より、実施例1～3の磁心は、比較例1～3の磁心と比較して、3MHz、20mTでの磁心損失Pが小さいことがわかる。

[0059] 表1～表3より、前述の組成式(1)で表される合金組成を有し、粒径 d_{50} が2.0 μm 以上10.0 μm 以下である実施例1～3のFeSiCrC合金粉末は、保磁力 H_c が低減されたFeSiCrC合金粉末であって、かつ、周波数1MHz超の高周波条件(特定高周波条件)での磁心損失が低減された磁心を製造できるFeSiCrC合金粉末であることが確認された。

各実施例に対し、組成式(1)中の「 $5.50 \leq a$ 」及び「 $c \leq 0.36$ 」を満足しない比較例1及び2は、保磁力 H_c が大きかった。

また、各実施例に対し、粒径 d_{50} が10.0 μm 超である比較例3は、周波数1MHz超の高周波条件(特定高周波条件)での磁心損失が大きかった。

特に、比較例3では、保磁力 H_c が低いにもかかわらず、周波数1MHz超の高周波条件(特定高周波条件)での磁心損失が大きかった。この理由は、粒径 d_{50} が10.0 μm 超であるために、渦電流損失が大きくなり、その結果、渦電流損失の影響が大きい周波数1MHz超の高周波条件での磁心損失が大きくなったためと考えられる。

比較例3で保磁力 H_c が低かった理由は明らかではないが、保磁力 H_c を増大させるおそれがあるCrの含有量が極めて低かったこと、粒径 d_{50} が大きいことにより、体積に対する表面積の割合が減り、急冷凝

固時のひずみの内包が低減されたこと、
保磁力 H_c を増大させ得る fcc 相を形成し得る C の含有量が極めて低かったこと、
等が原因であると考えられる。

[0060] 2018年9月13日に出願された日本国特許出願2018-171255号の開示は、その全体が参照により本明細書に取り込まれる。

本明細書に記載された全ての文献、特許出願、及び技術規格は、個々の文献、特許出願、及び技術規格が参照により取り込まれることが具体的かつ個々に記された場合と同程度に、本明細書に参照により取り込まれる。

請求の範囲

- [請求項1] 下記組成式(1)で表される合金組成を有し、粒径 d_{50} が $2.0\mu\text{m}$ 以上 $10.0\mu\text{m}$ 以下であるFeSiCrC合金粉末。
- $$\text{Fe}_{100-a-b-c}\text{Si}_a\text{Cr}_b\text{C}_c \quad \cdots \text{組成式(1)}$$
- 組成式(1)中、 $100-a-b-c$ 、 a 、 b 及び c は、各元素の質量%を示し、かつ、 a 、 b 及び c が、 $5.50 \leq a \leq 7.60$ 、 $0.50 \leq b \leq 5.00$ 、及び $0.08 \leq c \leq 0.36$ を満足する。
- [請求項2] 最大磁場が 800kA/m である条件のB-H曲線から求めた保磁力 H_c が、 300A/m 以上 1000A/m 以下である請求項1に記載のFeSiCrC合金粉末。
- [請求項3] 粒径 d_{90} から粒径 d_{10} を差し引いた値が、 $25.0\mu\text{m}$ 以下である請求項1又は請求項2に記載のFeSiCrC合金粉末。
- [請求項4] 請求項1～請求項3のいずれか1項に記載のFeSiCrC合金粉末を含む磁心。
- [請求項5] 周波数 3MHz 及び励磁磁束密度 20mT の条件での磁心損失 P が、 6000kW/m^3 以下である請求項4に記載の磁心。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/036174

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. C22C38/00(2006.01) i, B22F1/00(2006.01) i, B22F3/00(2006.01) i,
H01F1/147(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. C22C38/00-38/60, B22F1/00-1/02, B22F3/00-3/26, H01F1/144-1/153

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	EP 3125256 A1 (SUMIDA CORPORATION) 01 February 2017, paragraphs [0039], [0068] & US 2017/0034915 A1 & CN 106710786 A	1, 4 2, 3, 5
A	JP 2017-190491 A (SANYO SPECIAL STEEL CO., LTD.) 19 October 2017, claim 1 (Family: none)	1-5
A	JP 2018-125480 A (SANYO SPECIAL STEEL CO., LTD.) 09 August 2018, claims 1-2 & WO 2018/143427 A1, claims 1-2	1-5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
06 November 2019 (06.11.2019)

Date of mailing of the international search report
19 November 2019 (19.11.2019)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/036174

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2018-41872 A (SUMIDA CORPORATION) 15 March 2018, paragraphs [0020]-[0023] & US 2018/0068770 A1, paragraphs [0027]-[0032] & EP 3293740 A1 & CN 107808729 A	1-5
A	CN 101892425 A (WUHAN ZHONGCI HAOYUAN TECHNOLOGY) 24 November 2010, claim 2 (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C22C38/00(2006.01)i, B22F1/00(2006.01)i, B22F3/00(2006.01)i, H01F1/147(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C22C38/00-38/60, B22F1/00-1/02, B22F3/00-3/26, H01F1/147-1/153

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	EP 3125256 A1 (SUMIDA CORPORATION) 2017.02.01, [0039], [0068] & US 2017/0034915 A1 & CN 106710786 A	1, 4 2, 3, 5
A	JP 2017-190491 A (山陽特殊製鋼株式会社) 2017.10.19, 請求項 1 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 2018-125480 A (山陽特殊製鋼株式会社) 2018.08.09, 請求項 1-2 & WO 2018/143427 A1, claim1-2	1-5

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06.11.2019

国際調査報告の発送日

19.11.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

本多 仁

4 K

3447

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2018-41872 A (スミダコーポレーション株式会社) 2018.03.15, [0020]-[0023] & US 2018/0068770 A1, [0027]-[0032] & EP 3293740 A1 & CN 107808729 A	1 - 5
A	CN 101892425 A (WUHAN ZHONGCI HAUYUAN TECHNOLOGY) 2010.11.24, 請求項 2 (ファミリーなし)	1 - 5