

(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
2019年4月4日(04.04.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/065249 A1

(51) 国際特許分類:

H01F 41/02 (2006.01) *H01F 1/153* (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01) *H01F 27/25* (2006.01)
C22C 45/02 (2006.01) *H01F 41/04* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/033848

(22) 国際出願日: 2018年9月12日(12.09.2018)

(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 2017-184354 2017年9月26日(26.09.2017) JP

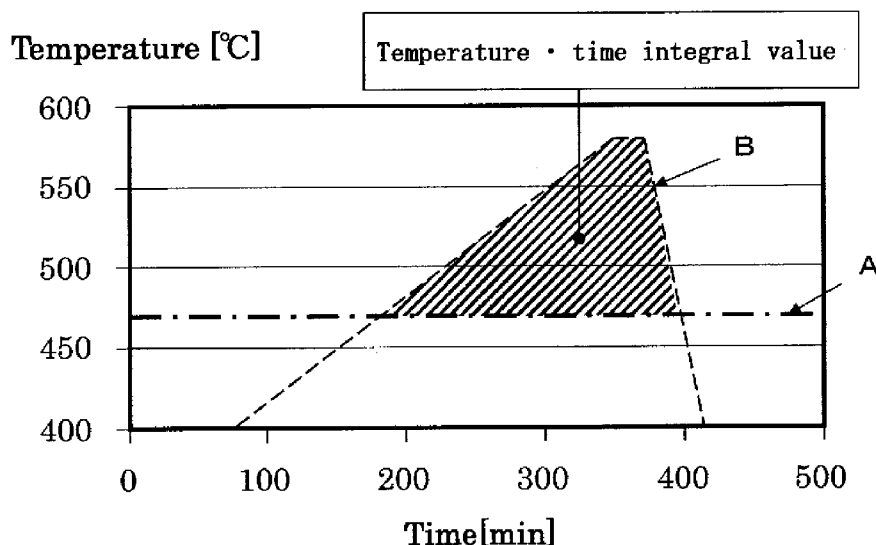
(71) 出願人: 日立金属株式会社 (HITACHI METALS,LTD.) [JP/JP]; 〒1088224 東京都港区港南一丁目2番70号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 中田 二友 (NAKADA Tsugitomo); 〒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).

(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,

(54) Title: MAGNETIC CORE UNIT AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: 磁心ユニット、及びその製造方法



(57) Abstract: [Problem] To provide a magnetic core unit in which a coil is directly wound around a magnetic core comprising a nanocrystal alloy ribbon, in which magnetic core unit an increase in core loss is suppressed, and a method for manufacturing the same. [Solution] A method for manufacturing a magnetic core unit in which a magnetic core comprising a nanocrystal alloy ribbon is used comprises: a heating process step of heating a magnetic core material comprising an amorphous alloy ribbon that can be nano-crystallized to a temperature higher than or equal to a crystallization start temperature; and a coil step of disposing a coil on a magnetic core comprising a nanocrystal alloy ribbon obtained after the heating process. The magnetic core unit manufacturing method is characterized in that the coil step includes winding the coil directly on the magnetic core material, and that in the heating process step, in a diagram showing the time (minutes) of the heating process on the horizontal axis and the temperature (° C) of the magnetic core material on the vertical axis, the area (temperature-time integral value σ) of a region surrounded by a line parallel with the horizontal axis at the

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))

crystallization start temperature and a temperature of the magnetic core material is set to be in a range of not less than 14000 and not more than 30000.

(57) 要約: 【課題】 ナノ結晶合金リボンからなる磁心にコイルが直巻きされた磁心ユニットにおいて、コアロスの増大を抑制した磁心ユニット、およびその製造方法を提供する。 【解決手段】 ナノ結晶化が可能なアモルファス合金リボンからなる磁心材を、結晶化開始温度以上に昇温する熱処理工程と、前記熱処理後のナノ結晶合金リボンからなる磁心にコイルを設けるコイル工程と、を有するナノ結晶合金リボンからなる磁心を用いた磁心ユニットの製造方法において、前記コイル工程は、コイルを磁心材に直巻きするものであり、前記熱処理工程は、熱処理の時間(分)を横軸、磁心材の温度(℃)を縦軸で示した図において、結晶化開始温度での横軸と平行な線と、磁心材の温度で囲まれる範囲の面積(温度時間積分値 σ)が、14000以上30000以下の範囲になるように設定されることを特徴とする磁心ユニットの製造方法。

明 細 書

発明の名称：磁心ユニット、及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、ナノ結晶合金リボンからなる磁心にコイルが直巻きされた磁心ユニット、及びその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 開発途上国でのインフラの整備や産業設備の建築等が益々進む状況であるが、その代償として、例えばPM_{2.5}と呼ばれるような、粒子状物質による大気汚染が発生している。この粒子状物質は、その多くが開発途上国で稼働する火力発電所や製鉄所等から排出されている。例えば中国では、2014年以降、環境政策により粒子状物質の排出規格が厳しくなっており、大気中の粒子状物質を低減するため、電気集塵機システム（EPS：Electrostatic Precipitator System）の性能向上が求められている。

電気集塵機システムは、直流高電圧によってコロナ放電を発生させ、ガス中のダストを帯電させて、この帯電粒子を電界中に通過させ分離、捕集（集塵）するものである。電気集塵機システムは、その駆動力となる電源を高周波化することで性能が向上される。

そのため、中国の火力発電所や製鉄所では、電気集塵機システムの電源を高周波対応が可能なものに置き換えている。この流れは中国にとどまらず、今後はインド、アフリカ、南米等の新興国にも広がると予想される。

[0003] 高周波電源に用いられるトランス用の磁心として、Fe基やCo基のナノ結晶合金のリボンを用いたものが好適であることが知られている。ナノ結晶合金はパーマロイやCo基アモルファス合金に比べて高い飽和磁束密度を示し、Fe基アモルファス合金に比べて高い透磁率を有する。また、ナノ結晶合金は、磁歪が小さいことも知られている。

ナノ結晶合金の代表的な組成は、Fe-Cu-M'-Si-B（M'は、

Nb, W, Ta, Zr, Hf, Ti 及び Mo からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素) 系の組成である。ナノ結晶合金を用いた巻磁心の製造方法の典型例は、原料合金の溶湯を急冷してアモルファス合金リボンを生成する工程と、このアモルファス合金リボンを巻回してリング状の磁心材とする工程と、熱処理によってアモルファス合金リボンを結晶化してナノ結晶組織を有する巻磁心を得る工程と、を含む。

この巻磁心にコイルを巻いた磁心ユニットが、高周波電源のトランスとして利用される。

[0004] ナノ結晶合金の製造方法として、例えば、特許文献 1 や、特許文献 2 に記載のような、ナノ結晶化が可能なアモルファス合金リボンを結晶化開始温度以上に昇温してナノ結晶化する方法が知られている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献 1：特開平 8－85821 号公報

特許文献 2：国際公開 2015／190528A1

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 本発明者は、電気集塵機システムに用いられる高周波電源のトランスを、次のように作製した。まず、そのトランス用の磁心として、ナノ結晶合金リボンからなる巻磁心を作製し、その巻磁心にコイルを巻いて磁心ユニットを作製した。この磁心ユニットは、図 2 に示すように、巻磁心 1 の磁路の一部に布状の緩衝材 3 を巻き、この緩衝材 3 の周りにコイル 2 を巻いていた。この磁心ユニット 10 は、緩衝材 3 により磁心の破損は防がれているが、この磁心ユニットのコアロスを測定したところ、コアロスの値は予想値よりも遥かに大きいものであった。

[0007] 従来の高周波電源用の磁心ユニットは、コイルを巻き付けた際に巻磁心に付与される応力を抑制したり、巻磁心の破損を抑制するために、巻磁心を樹

脂製などのケースに入れ、ケースの外側にコイルを巻きつける構成が用いられていた。今回作製した巻磁心はナノ結晶合金リボンを用いており、このナノ結晶合金リボンは磁歪が小さい軟磁性材料として知られている。その磁歪の値は実測が困難な2 ppm以下の範囲にある。そのため、磁歪の影響を無視して磁心ユニットを製造できると考えられており、ケースを用いない構造としていた。

しかし、上記のように磁心に緩衝材が巻かれているものの、磁心に応力が付与される状態でコイルが巻かれる状態（以下、この状態を、直巻きということがある）で使用される磁心ユニットでは、コアロスが予想を超えて大きくなるという問題が発生した。

[0008] 本発明は、上記を鑑みてなされたものであり、上記のような、ナノ結晶合金リボンからなる磁心にコイルが直巻きされた磁心ユニットにおいて、コアロスの増大を抑制した磁心ユニット、およびその製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題を解決するための手段として、本発明の一実施形態の製造方法は、ナノ結晶化が可能なアモルファス合金リボンからなる磁心材を、前記アモルファス合金の結晶化開始温度以上に昇温する熱処理工程と、前記熱処理工程後のナノ結晶合金リボンからなる磁心にコイルを設けるコイル工程と、を有するナノ結晶合金リボンからなる磁心を用いた磁心ユニットの製造方法であって、前記コイル工程は、コイルを磁心に直巻きするものであり、前記熱処理工程は、熱処理の時間（分）を横軸、磁心材の温度（℃）を縦軸で示した図において、結晶化開始温度での横軸と平行な線と、磁心材の温度とで囲まれる範囲の面積（温度時間積分値 σ ）が、14000以上30000以下の範囲になるように設定される。

前記アモルファス合金リボンは、一般式： $(\text{Fe}_{1-a}\text{M}_a)_{100-x-y-z-\alpha-\beta-\gamma}\text{Cu}_x\text{Si}_y\text{B}_z\text{M}'_\alpha\text{M}''_\beta\text{X}_\gamma$ （原子%）（ただし、MはCo及び／又はNiであり、M'はNb, Mo, Ta, Ti, Zr, Hf, V, Cr, Mn及びWからな

る群から選ばれた少なくとも1種の元素、M''はAl、白金族元素、Sc、希土類元素、Zn、Sn、Reからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素、XはC、Ge、P、Ga、Sb、In、Be、Asからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素、a、x、y、z、 α 、 β 及び γ はそれぞれ $0 \leq a \leq 0.5$ 、 $0.1 \leq x \leq 3$ 、 $0 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 25$ 、 $5 \leq y + z \leq 30$ 、 $0 \leq \alpha \leq 20$ 、 $0 \leq \beta \leq 20$ 及び $0 \leq \gamma \leq 20$ を満たす。)により表される組成とすることができる。

また、前記熱処理工程の少なくとも一部の期間において、前記磁心材に磁場を印加することができる。

また、本発明の一実施形態の磁心ユニットは、ナノ結晶合金リボンからなる磁心にコイルが直巻きされた磁心ユニットであって、周波数20kHz、印加磁場0.1Tの条件におけるコアロスP_{cm}が0.7W/kg以下である。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、ナノ結晶合金リボンからなる磁心にコイルが直巻きされた磁心ユニットにおいて、コアロスが小さいものを提供できる。これにより、例えば、集塵効率の良い電気集塵機システムの製造に貢献できる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]温度時間積分値と、コアロスの関係を示す図である。

[図2]本実施形態の磁心ユニットの一例を示す図である。

[図3]本実施形態に適用した熱処理での設定温度と、磁心温度を示す図である。

[図4]別の本実施形態に適用した熱処理での設定温度と、磁心温度を示す図である。

[図5]さらに別の本実施形態に適用した熱処理での設定温度と、磁心温度を示す図である。

[図6]温度時間積分値の計算方法を説明するための図である。

[図7]コアロスの測定方法を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0012] 本発明は、ナノ結晶化が可能なアモルファス合金リボンからなる磁心材を、前記アモルファス合金の結晶化開始温度以上に昇温する熱処理工程と、前記熱処理工程後のナノ結晶合金リボンからなる磁心にコイルを設けるコイル工程と、を有するナノ結晶合金リボンからなる磁心を用いた磁心ユニットの製造方法であって、

前記コイル工程は、コイルを磁心に直巻きするものであり、

前記熱処理工程は、熱処理の時間（分）を横軸、磁心材の温度（℃）を縦軸で示した図において、結晶化開始温度での横軸と平行な線と、磁心材の温度とで囲まれる範囲の面積（温度時間積分値）が、14000以上30000以下の範囲になるように設定されることを特徴とする。

なお、上記の磁心の温度とは、熱処理炉の設定温度ではなく、熱処理中の磁心材の温度である。磁心材の温度の測定方法については後述する。

[0013] 結晶化開始温度での横軸と平行な線と、磁心材の温度とで囲まれる範囲の面積（温度時間積分値）は、具体的には、図6に示すように、熱処理の時間（分）を横軸に、熱処理における磁心の温度（℃）を縦軸にしてグラフ化した場合の、結晶化開始温度での横軸に平行な線Aと磁心材の温度を示す線Bとで囲まれる、斜線部の面積に該当する。この斜線部の面積は、横軸を分単位の数値とし、縦軸を℃単位の数値として、算出する。また、この温度時間積分値の別の算出方法としては、単位時間毎の磁心材の温度を測定し、その温度（結晶化開始温度を引いたもの）を加算して温度時間積分値として算出することもできる。この温度を測定する単位時間は1分とすることができ、もしくはそれより短い時間とすることもできる。この単位時間は1秒以上1分以下とすることが好ましい。尚、温度時間積分値として算出する数値は、時間は分を単位とし、温度は℃を単位として算出する。いずれの算出方法を用いたとしても、温度時間積分値が14000以上30000以下の範囲になるように設定される。

[0014] 本発明者が検討した結果、温度時間積分値が、14000未満、又は30

000を超えるとコアロスが大きくなり、14000以上30000以下の範囲でのみコアロスが小さくなることを知見した。

つまり、前記したように、磁歪の値が2 ppm以下の範囲では具体的な数値は測定不可能であったため、従来は、ナノ結晶合金リボンにおいて磁歪を極小化できる最適な熱処理条件を確立できていなかったが、この温度時間積分値の範囲になるように製造したナノ結晶合金リボンは、磁歪が極めて小さいものになり、これによりコアロスが小さくなると考えられる。

なお、温度時間積分値の下限值は、16000、さらには18000とすることが好ましい。また、温度時間積分値の上限値は、26000、さらには24000とすることが好ましい。これらの範囲の温度時間積分値で製造することで、磁心ユニットのコアロスをさらに低減できる。

[0015] (ナノ結晶化が可能なアモルファス合金リボン)

ナノ結晶化が可能なアモルファス合金リボンとしては、Fe基のものをいうことができる。

Fe基のアモルファス合金リボンとして、例えば、Fe-Cu-M'-Si-B (M' は、Nb, W, Ta, Zr, Hf, Ti 及びMo からなる群から選択される少なくとも1種の元素) 系の組成を使用することができる。

具体的には、一般式： $(\text{Fe}_{1-a}\text{M}_a)_{100-x-y-z-\alpha-\beta-\gamma}\text{Cu}_x\text{Si}_y\text{B}_z\text{M}'_\alpha\text{M}''_\beta\text{X}_\gamma$ (原子%) (ただし、MはCo及び/又はNiであり、M' はNb, Mo, Ta, Ti, Zr, Hf, V, Cr, Mn 及びW からなる群から選ばれた少なくとも1種の元素、M'' はAl, 白金族元素, Sc, 希土類元素, Zn, Sn, Re からなる群から選ばれた少なくとも1種の元素、XはC, Ge, P, Ga, Sb, In, Be, As からなる群から選ばれた少なくとも1種の元素、a, x, y, z, α , β 及び γ はそれぞれ $0 \leq a \leq 0.5$, $0.1 \leq x \leq 3$, $0 \leq y \leq 30$, $0 \leq z \leq 25$, $5 \leq y+z \leq 30$, $0 \leq \alpha \leq 20$, $0 \leq \beta \leq 20$ 及び $0 \leq \gamma \leq 20$ を満たす。) により表される組成の合金を使用することができる。

好ましくは、上記一般式において、a, x, y, z, α , β 及び γ は、そ

れぞれ $0 \leq a \leq 0.1$, $0.7 \leq x \leq 1.3$, $1.2 \leq y \leq 1.7$, $5 \leq z \leq 10$, $1.5 \leq \alpha \leq 5$, $0 \leq \beta \leq 1$ 及び $0 \leq \gamma \leq 1$ を満たす範囲である。

[0016] 次に、アモルファス合金リボンの製造方法を説明する。

まず、上記の組成を有する合金溶湯から、単ロール法、双ロール法などの公知の液体急冷法（超急冷法）により、リボン状のアモルファス合金を形成する。冷却ロールの周速度は、例えば $15 \sim 50 \text{ m/秒}$ 程度に設定され得る。冷却ロールは、熱伝導が良好な純銅、または $\text{Cu}-\text{Be}$ 、 $\text{Cu}-\text{Cr}$ 、 $\text{Cu}-\text{Zr}$ 、 $\text{Cu}-\text{Zr}-\text{Cr}$ などの銅合金から形成され得る。大量生産の場合、冷却ロールは水冷され得る。冷却速度に応じて合金のアモルファス組織の形成に差が生じることがあるので、アモルファス合金リボンの形成においては、ロールの温度変化が小さく保たれる。得られるアモルファス合金リボンの厚さは、一般的には $5 \mu\text{m} \sim 50 \mu\text{m}$ である。なお、リボンの厚さは、磁心から、重量換算法にて得られる。例えば長尺のアモルファス合金リボンから 2 m （長手方向） $\times 50 \text{ mm}$ （幅方向）の試料の重量 M を計測し、また、密度 $d [\text{kg/m}^3]$ は、定容積膨張法による乾式密度測定（例えば島津製作所製アキュピックⅡ 1340 シリーズによる測定）により求めることにより、厚さ $t [\text{m}] = M / ((2 \times 50^{-3}) \times d)$ を算出することができる。

[0017] アモルファス合金リボンを巻回または積層することにより磁心材とすることができる。このアモルファス合金リボンからなる磁心材は、各合金層の間に僅かな隙間または他の物質が存在していてもよい。アモルファス合金リボンからなる磁心材に占めるアモルファス合金リボンの体積占積率は、例えば $70\% \sim 90\%$ とすることが好ましい。また、用いるアモルファス合金リボンの幅や長さを、予め所望の寸法に加工しておくことができる。

[0018] 次に、熱処理工程について説明する。

アモルファス合金リボンからなる磁心材は、アモルファス合金の結晶化開始温度以上の温度に昇温する熱処理を行うことで、アモルファス合金がナノ結晶化され、ナノ結晶合金リボンからなる磁心とすることができる。つまり

、熱処理工程によって、アモルファス合金リボンからなる磁心材を、ナノ結晶合金リボンからなる磁心にすることができる。

ナノ結晶化されたナノ結晶合金は、その少なくとも50体積%、さらには80体積%が、最大寸法で測定した粒径が100nm以下の微細な結晶粒で占められている。また、微細な結晶粒以外の部分は主にアモルファスである。微細な結晶粒の割合は実質的に100体積%であってもよい。なお、結晶の平均粒径は、各試料の透過型電子顕微鏡（TEM）写真から任意に選択したn個の微結晶粒の長径DL及び短径DSを測定し、 $\Sigma (DL + DS) / 2n$ の式に従って平均することにより求められる。また各試料のTEM写真に長さLtの任意の直線を引き、各直線が微結晶粒と交差する部分の長さの合計Lcを求め、各直線に沿った結晶粒の割合 $Ll = Lc / Lt$ が計算される。この操作を5回繰り返し、Llを平均することにより微結晶粒の体積分率が求められる。ここで、体積分率 $Vl = Vc / Vt$ （Vcは微結晶粒の体積の総和であり、Vtは試料の体積である。）は、 $Vl \div Lc^3 / Lt^3 = Ll^3$ と近似的に扱った。

[0019] 本発明において、熱処理工程は、熱処理の時間（分）を横軸、磁心材の温度（℃）を縦軸で示した図において、結晶化開始温度での横軸と平行な線と、磁心材の温度を示す線で囲まれる範囲の面積（温度時間積分値）が、14000以上30000以下の範囲になるように設定される。

上記範囲とすべき理由は、前記の通り、コアロスを小さくできるためである。

[0020] なお、本願において、結晶化開始温度は、示差走査熱量計（DSC：Differential Scanning Calorimetry）の測定条件を昇温速度10℃/分で行ったときの、アモルファス合金リボンのナノ結晶化の開始による発熱反応が検出される温度として定義される。

[0021] 熱処理工程において、結晶化温度以上での最高温度は、510℃以上600℃以下の範囲に設定され得る。510℃以上であれば、結晶化温度以上となる範囲での面積（結晶化温度以上となる範囲での時間積分）の値を140

00以上とするための熱処理の時間を、比較的短くできるので、好ましい。
600℃を超えると、結晶粒が粗大化して保磁力が低下したり、磁歪が大きくなってしまふことがある。

結晶化温度以上での熱処理の時間は、上記面積の範囲内にするために、上記最高温度との兼ね合いで適宜設定できる。

[0022] 熱処理工程は、少なくとも一部の期間において、磁心材に磁場を印加しても良い。磁心材に磁場を印加することで、透磁率や角形比等の磁気特性を調整できる。磁場を印加する方向は、磁路方向でもよいし、磁路方向に垂直な方向でもよい。磁場を印加するタイミングは、例えば、結晶化開始温度以上に昇温する際でもよいし、結晶化開始温度以上に昇温した後でもよい。さらには、結晶化開始温度以上に昇温する際には磁場を印加せずに、その後、降温し、結晶化温度未満で磁場を印加する等、既知の磁場中熱処理を適用することができる。

[0023] (磁心ユニット)

ナノ結晶合金リボンからなる磁心にコイルを設けることで、磁心ユニットにすることができる。この磁心にコイルを設ける工程をコイル工程とする。このコイル工程において、トランスとして用いる場合、1次側のコイルと二次側のコイルが、磁心に設けられる。磁心にコイルを設ける際、磁心に布状の緩衝材を巻き、この緩衝材の周りにコイルとなる線材を直接巻いて、コイルを形成することができる。このコイルとなる線材を直接巻き付けることを直巻きと言う。直巻きにおいて、緩衝材はあっても無くても良いが、緩衝材を用いる方が好ましい。なお、この直巻きとは異なる方式としては、樹脂製のケースやボビンを用いる方式がある。樹脂製のケースやボビンを用いる場合、そのケースやボビンにコイルが形成されるため、磁心にはコイルを巻き付ける際の応力がかからない。本発明は樹脂製のケースやボビンを用いない方式である。

コイルは、例えば、コイルを形成する線材の総面積（コイルを形成する線材の面積（単位： mm^2 ）とコイルの巻き付け回数との積）が、1000mm

²以上となる条件で、コイルを巻き付けることができる。

また、本発明の磁心ユニットは、周波数 20 kHz、印加磁場 0.1 T の条件におけるコアロス P_{cm} が 0.7 W/kg 以下であり、例えば、集塵効率の良い電気集塵機システムのトランスとして使用できる。

[0024] (コアロスの測定方法)

本実施形態において、磁心のコアロスの測定は、図 7 に示すように、ファンクションジェネレータ (FG) から出された信号を電力増幅器 (AMP) で増幅し、磁心に印加される電流と電圧値をワットメータで測定しコアロスを算出した。より具体的には、一次側と二次側のそれぞれに巻線を 1 ターン巻回し、ワットメータとして岩通計測株式会社製 B-H アナライザー SY-8232 を用い、最大磁束密度 B_m 100 mT、周波数 20 kHz の条件でコアロス P_{cm} を測定した。なお、コイルが巻かれた磁心ユニットのコアロスも、上記と同様の条件で測定できる。

[0025] (磁心材の温度の測定方法)

熱処理中の磁心材の温度は、熱電対により測定した。より具体的には、熱電対の先端を、巻回した、もしくは積層した磁心材の積層面から、リボンの幅の中央の位置まで挿入して測定した。なお、熱電対を挿入する積層面の場所は、積層方向での中央の位置とした。

[0026] 以下、本発明の実施形態について、さらに詳細に説明する。

(実施例)

まず、原子%で、Cu : 1%、Nb : 3%、Si : 15%、B : 7%、残部 Fe 及び不可避不純物からなる合金溶湯を単ロール法により急冷し、幅 50 mm、厚さ $14 \mu\text{m}$ のナノ結晶化が可能な Fe 基アモルファス合金リボンを得た。示差走査熱量計 (DSC) での測定の結果、この合金の結晶化開始温度は 470°C であった。

この Fe 基アモルファス合金リボンを、幅 30 mm にスリット (裁断) した。

その後、リボンの層間の絶縁性を高めるため、スリットした Fe 基アモル

ファス合金リボンを、MgO粒子を3wt%添加・混合したイソプロピルアルコール溶液中に通過させ、乾燥させることで、MgO粒子をリボンの表面に付着させた。

その後、図2に示すように、Fe基アモルファス合金リボンを矩形状に巻回し、内径側の長径が138mm、短径が98mm、外径側の長径が238mm、短径が198mmの磁心材を作製した。この磁心材が本発明のナノ結晶化が可能なアモルファス合金リボンからなる磁心材に相当する。

[0027] 作製した磁心材に対して、図3の太線で示す設定温度で、熱処理を行った。この熱処理を行うことにより、ナノ結晶合金リボンからなる磁心を得ることができる。

熱処理炉はバッチ式の炉を用いた。ヒータは、炉内を垂直方向に3等分した上部、中央部、下部の内壁に、それぞれ個別のヒータを設置したものを用いた。

熱処理炉の温度設定は、上部と中央部のヒータと、下部のヒータとで、異なるものとした。図3の太い実線(Preset temperature 1)は、上部と中央部のヒータの設定温度を示す。太い破線(Preset temperature 2)は、下部のヒータの設定温度を示す。各温度の詳細は、表1に示す。

また、磁心材の温度を測定するため、前記の方法で磁心材に熱電対を付けて、温度を測定した。また、熱電対を挿入する場所は、図2のコイルが巻かれる、磁心材の最も曲率が少ない部分(磁心材の直線状の部分)とした。詳細には、磁路方向でコイルが巻かれる範囲の中央部とした。

図3中に示す細い1点破線は、熱処理炉中での磁心材の温度を示す。

[0028]

[表1]

profile	Heater temperature 1 (upper side and center)			Heater temperature 2 (lower side)		
	°C	time(minute)	total time	°C	time(minute)	total time
Step1	25	5	5	25	5	5
Step2	480	135	140	480	135	140
Step3	480	90	230	480	90	230
Step4	540	131	361	540	131	361
Step5	590	40	401	610	40	401
Step6	590	50	451	610	50	451
Step7	300	60	511	300	60	511
Step8	0	30	541	0	30	541

[0029] なお、最初の昇温から最後の降温までの間（熱処理工程の最初から最後まででの期間）、磁心材には磁場を印加した。磁場の印加方向はリボンの幅方向すなわち磁心の高さ方向とした。磁場の強度は 159.5 kA/m とした。なお、この磁場中熱処理は、酸素濃度が 2 ppm の雰囲気中で行った。

磁心材の温度が、結晶化開始温度以上（ 470°C 以上）となる時間帯は、熱処理の開始の 263 分後から 506 分後の間であった。その期間における、分単位で測定した磁心材の温度をそれぞれ総和したところ、その値は 125672 であった。この値は、図3における、 263 分から 506 分の間で、磁心の温度の線と X 軸からなる面積と等しい。この値から、結晶化開始温度（ 470°C ）と結晶開始温度以上の時間帯の期間（ $243 \text{ 分} = 506 \text{ 分} - 263 \text{ 分}$ ）の積を引いた値が、本発明で規定する温度時間積分値となる。

本実施形態での温度時間積分値（以後、 σ と表記することがある）は、 $\sigma = 11462$ であった。

上記の製造工程により、ナノ結晶合金リボンからなる磁心を得た。

[0030] この磁心に、一次コイルと二次コイルが巻きつけられて磁心に応力が付与されることを想定し、磁心の積層方向に 14 mN/mm^3 の圧力を付与した。この想定は、詳細には、一次コイルの巻き付け回数を $T1$ 、一次コイルを構成する線材の総面積を $S1 \text{ (mm}^2\text{)}$ 、二次コイルの巻き付け回数を $T2$ 、二次コイルを構成する線材の総面積を $S2 \text{ (mm}^2\text{)}$ 、とした時に、 $T1 \times S1 + T2 \times S2$ が $1500 \text{ (mm}^2\text{)}$ となる状態を想定した。圧力の付与は、磁

心の直線状の磁路の部分を鋼板で挟み、ボルトのネジ分の径やピッチ、鋼板の面積から、磁心の積層方向にかかる圧力が上記値になるよう、ボルトを締め付けるトルクを決定した。

このように圧力をかけた状態でコアロスの値を測定したところ、コアロスは 0.94 W/Kg と大きな値を示した。このコアロスの値の測定は、図 7 に示すように、ファンクションジェネレータ (F G) から出された信号を電力増幅器 (AMP) で増幅し、巻磁心に印加される電流と電圧値をワットメータで測定しコアロスを算出した。より具体的には、一次側と二次側のそれぞれに巻線を 1 ターン巻回し、ワットメータとして岩通計測株式会社製 B-H アナライザー SY-8232 を用い、最大磁束密度 $B_m 100 \text{ mT}$ 、周波数 20 kHz の条件でコアロス P_{cm} を測定した。

[0031] 次に、図 4 に示す熱処理の温度設定 (太い実線及び破線) とした以外は、上記と同様にして、ナノ結晶合金リボンからなる磁心を製造した。

図 4 に示す熱処理の温度設定は、図 3 に示すものに対して、Preset temperature 1 の 590°C と、Preset temperature 2 の 610°C での保持時間が 50 分ではなく 120 分であり、それ以外は同じ設定である。各温度の詳細は、表 2 に示す。

[0032] [表2]

profile	Heater temperature 1 (upper side and center)			Heater temperature 2 (lower side)		
	$^\circ\text{C}$	time(minute)	total time	$^\circ\text{C}$	time(minute)	total time
Step1	25	5	5	25	5	5
Step2	480	135	140	480	135	140
Step3	480	90	230	480	90	230
Step4	540	131	361	540	131	361
Step5	590	40	401	610	40	401
Step6	590	120	521	610	120	521
Step7	300	60	581	300	60	581
Step8	0	30	611	0	30	611

[0033] 熱処理炉の中に、4つのアモルファス合金リボンからなる磁心材を垂直方向でそれぞれ異なる位置に配置し、その状態で図 4 に示す磁場中熱処理を行った。図 4 中に示す 4 種類の細線は、熱処理炉中でのそれぞれの磁心材の温

度を示す。

本実施形態の4つの磁心材の温度時間積分値 σ は、それぞれ $\sigma = 15926$ 、 17946 、 20974 、 28726 であった。上記の製造工程により、ナノ結晶合金リボンからなる4つの磁心を得た。この4つの磁心のコアロスを、実施例1と同様にして圧力をかけた状態で、測定した。その結果、 $\sigma = 15926$ のものはコアロスが 0.50 W/Kg 、 $\sigma = 17946$ のものは 0.40 W/Kg 、 $\sigma = 20974$ のものは 0.38 W/Kg 、 $\sigma = 28726$ のものは 0.50 W/Kg であった。

[0034] さらに次に、図5に示す熱処理の温度設定（太線）とした以外は、上記と同様にして、ナノ結晶合金リボンからなる磁心を製造した。

図5に示す熱処理の温度設定は、図4に示すものに対し、Preset temperature 1の最高温度が 590°C ではなく 570°C であり、それ以外は同じ設定である。各温度の詳細は、表3に示す。また、図5中に示す細い破線は、熱処理炉中での磁心材の温度を示す。

[0035] [表3]

profile	Heater temperature 1 (upper side and center)			Heater temperature 2 (lower side)		
	$^{\circ}\text{C}$	time(minute)	total time	$^{\circ}\text{C}$	time(minute)	total time
Step1	25	5	5	25	5	5
Step2	480	135	140	480	135	140
Step3	480	90	230	480	90	230
Step4	540	131	361	540	131	361
Step5	570	40	401	610	40	401
Step6	570	120	521	610	120	521
Step7	300	60	581	300	60	581
Step8	0	30	611	0	30	611

[0036] この磁心材の温度時間積分値 σ は、 $\sigma = 25926$ であった。この製造工程により、ナノ結晶合金リボンからなる磁心を得た。この磁心のコアロスを、実施例1と同様にして圧力をかけた状態で測定したところ、コアロスは 0.48 W/Kg であった。

その他、温度時間積分値 σ が $\sigma = 13795$ となるように熱処理したものは、コアロスは 0.72 W/Kg であった。

[0037] 表4は、上記の全ての結果を温度時間積分値の順に纏めたものである。また、図1は、表4の数値を、横軸を温度時間積分値 σ 、縦軸をコアロスとしてプロットしたものである。

温度時間積分値とコアロスには相関関係があり、温度時間積分値が14000以上30000以下の範囲にある、 $\sigma=15926$ 、 $\sigma=17946$ 、 $\sigma=20974$ 、 $\sigma=25926$ 、 $\sigma=28726$ のものは、コアロスが0.70W/kg以下の範囲にある。より具体的には、コアロスが0.50W/kg以下である。

さらには、温度時間積分値が、16000以上26000以下の範囲にある、 $\sigma=17946$ 、 $\sigma=20974$ のものは、コアロスが0.48W/kg以下となっている。

さらには、温度時間積分値が、18000以上24000以下の範囲にある、 $\sigma=20974$ のものは、コアロスが0.40W/kg以下となっている。

[0038] [表4]

Temperature · time integral value(σ)	Core loss (W/Kg)
11462	0.94
13795	0.72
15926	0.50
17946	0.40
20974	0.38
25926	0.48
28726	0.50

産業上の利用可能性

[0039] 本発明の実施形態によれば、コイルが直巻きされた状態を想定して、高い応力が付与された状態のナノ結晶合金リボンからなる磁心を用いた磁心ユニットであってもコアロスは小さいものが得られている。そのため、ナノ結晶合金リボンからなる磁心にコイルが直巻きされた磁心ユニットとして、コア

ロスが小さいものを得ることができる。この磁心ユニットは、例えば電気集塵機システム用のトランスとして用いることができ、集塵効率を向上させることができる。

請求の範囲

[請求項1] ナノ結晶化が可能なアモルファス合金リボンからなる磁心材を、前記アモルファス合金の結晶化開始温度以上に昇温する熱処理工程と、前記熱処理工程後のナノ結晶合金リボンからなる磁心にコイルを設けるコイル工程と、を有するナノ結晶合金リボンからなる磁心を用いた磁心ユニットの製造方法であって、

前記コイル工程は、コイルを磁心に直巻きするものであり、

前記熱処理工程は、熱処理の時間（分）を横軸、磁心材の温度（℃）を縦軸で示した図において、結晶化開始温度での横軸と平行な線と、磁心材の温度とで囲まれる範囲の面積（温度時間積分値 σ ）が、14000以上30000以下の範囲になるように設定されることを特徴とする磁心ユニットの製造方法。

[請求項2] 前記アモルファス合金リボンは、一般式： $(\text{Fe}_{1-a}\text{M}_a)_{100-x-y-z-\alpha-\beta-\gamma}\text{Cu}_x\text{Si}_y\text{B}_z\text{M}'_\alpha\text{M}''_\beta\text{X}_\gamma$ （原子％）（ただし、MはCo及び／又はNiであり、M'はNb, Mo, Ta, Ti, Zr, Hf, V, Cr, Mn及びWからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素、M''はAl, 白金族元素, Sc, 希土類元素, Zn, Sn, Reからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素、XはC, Ge, P, Ga, Sb, In, Be, Asからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素、a, x, y, z, α , β 及び γ はそれぞれ $0 \leq a \leq 0.5$, $0.1 \leq x \leq 3$, $0 \leq y \leq 30$, $0 \leq z \leq 25$, $5 \leq y+z \leq 30$, $0 \leq \alpha \leq 20$, $0 \leq \beta \leq 20$ 及び $0 \leq \gamma \leq 20$ を満たす。）により表される組成であることを特徴とする請求項1に記載の磁心ユニットの製造方法。

[請求項3] 前記熱処理工程の少なくとも一部の期間において、前記磁心材に磁場を印加することを特徴とする請求項1または2に記載の磁心ユニットの製造方法。

[請求項4] ナノ結晶合金リボンからなる磁心にコイルが直巻きされた磁心ユニ

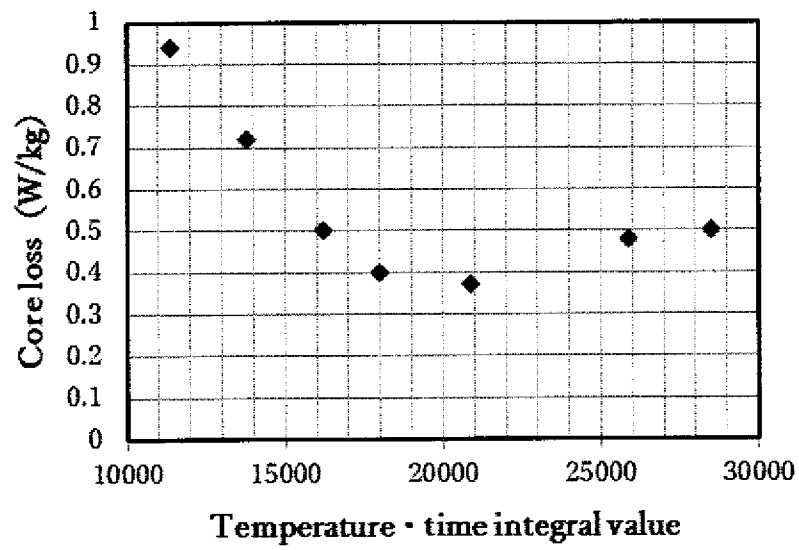
ットであって、

周波数 20 kHz、印加磁場 0.1 T の条件におけるコアロス Power が 0.7 W/kg 以下であることを特徴とする磁心ユニット。

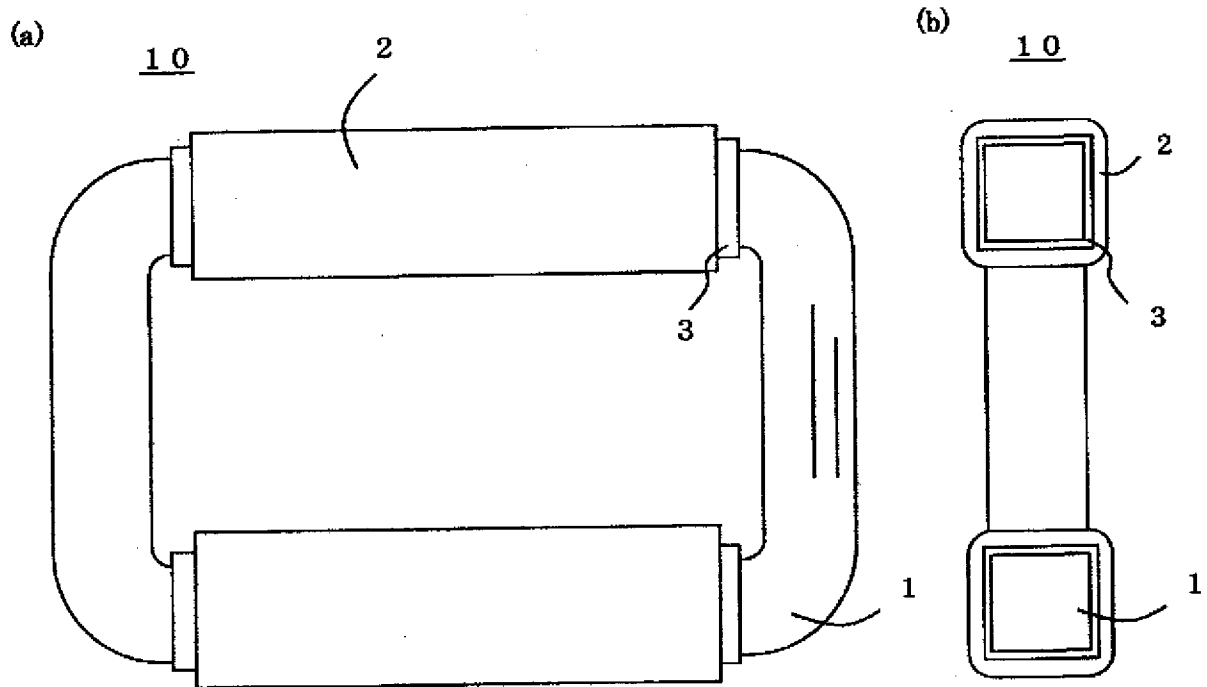
[請求項5]

前記ナノ結晶合金リボンは、一般式： $(\text{Fe}_{1-a}\text{M}_a)_{100-x-y-z-\alpha-\beta-\gamma}\text{Cu}_x\text{Si}_y\text{B}_z\text{M}'_\alpha\text{M}''_\beta\text{X}_\gamma$ （原子％）（ただし、M は Co 及び／又は Ni であり、M' は Nb, Mo, Ta, Ti, Zr, Hf, V, Cr, Mn 及び W からなる群から選ばれた少なくとも 1 種の元素、M'' は Al, 白金族元素, Sc, 希土類元素, Zn, Sn, Re からなる群から選ばれた少なくとも 1 種の元素、X は C, Ge, P, Ga, Sb, In, Be, As からなる群から選ばれた少なくとも 1 種の元素、a, x, y, z, α , β 及び γ はそれぞれ $0 \leq a \leq 0.5$, $0.1 \leq x \leq 3$, $0 \leq y \leq 30$, $0 \leq z \leq 25$, $5 \leq y + z \leq 30$, $0 \leq \alpha \leq 20$, $0 \leq \beta \leq 20$ 及び $0 \leq \gamma \leq 20$ を満たす。）により表される組成であることを特徴とする請求項 4 に記載の磁心ユニット。

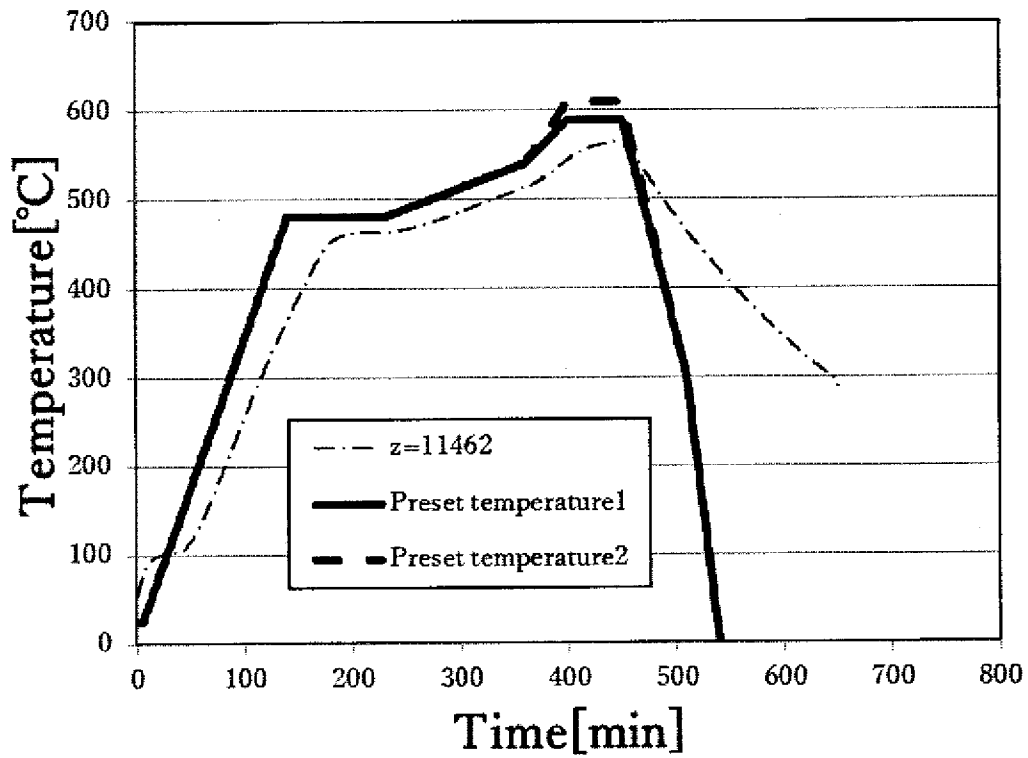
[図1]



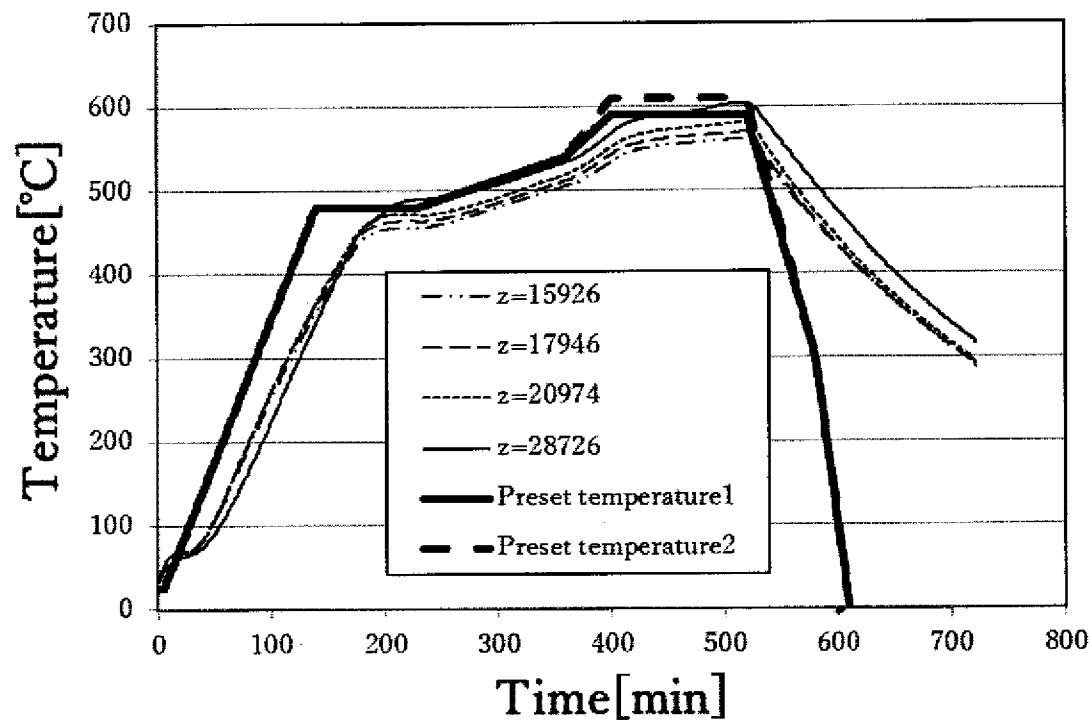
[図2]



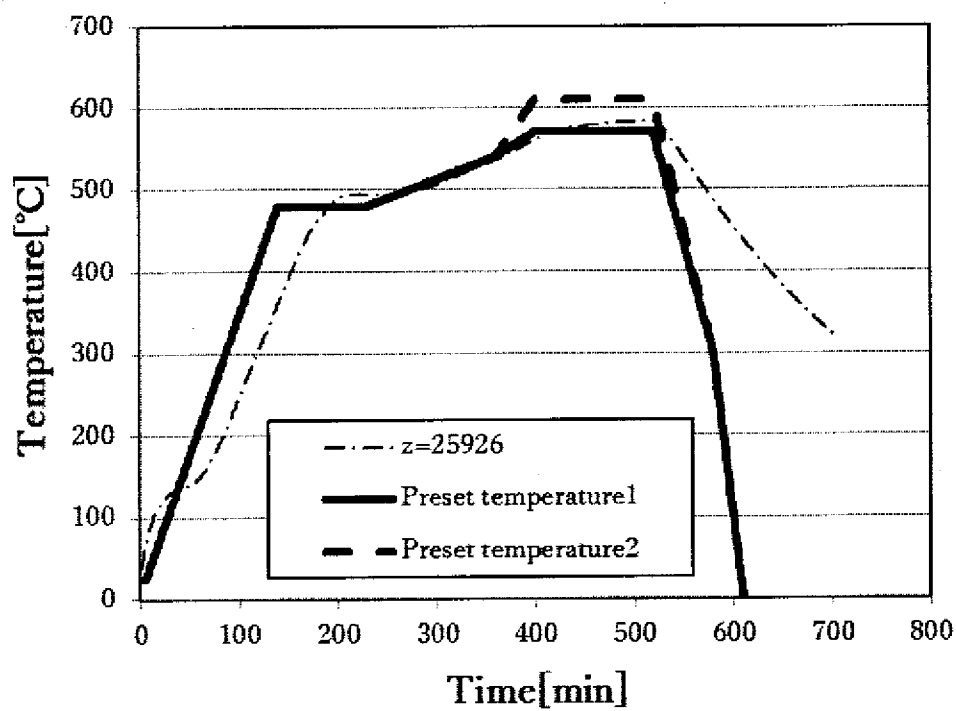
[図3]



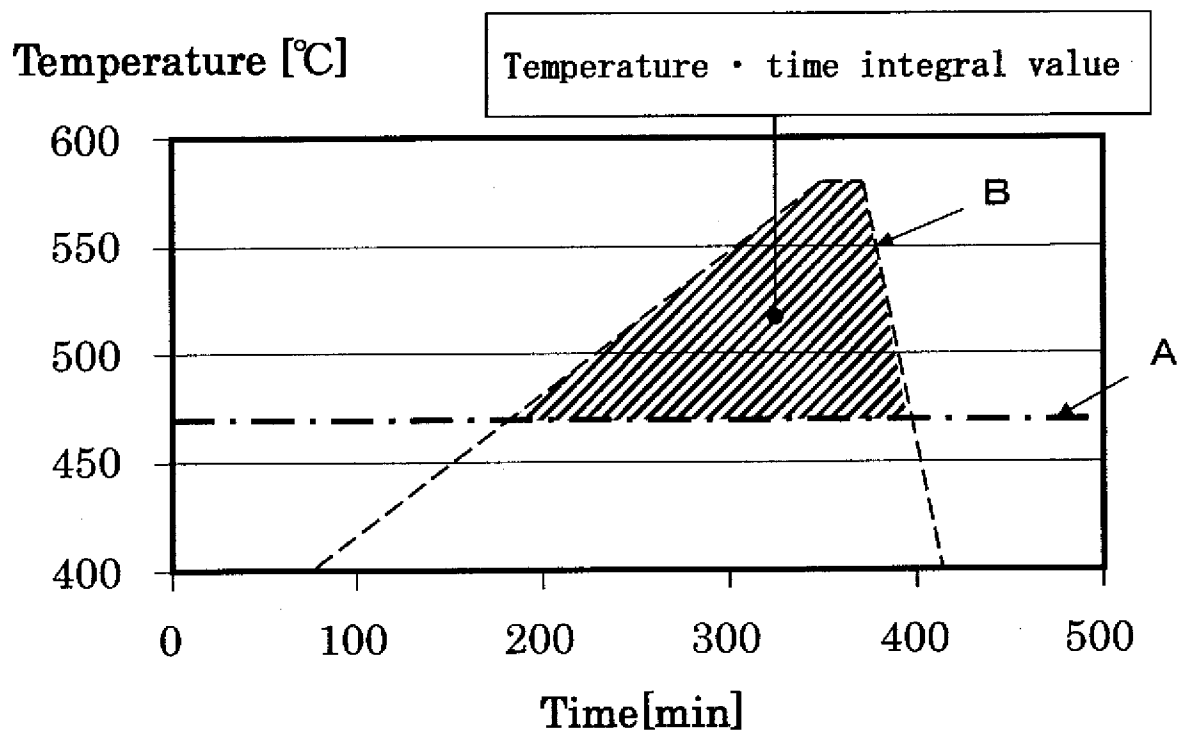
[図4]



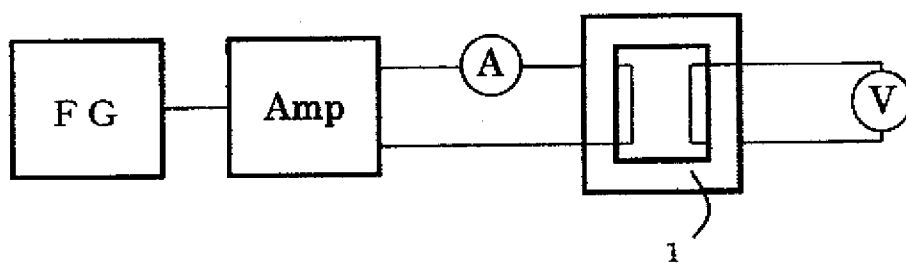
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/033848

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01F41/02 (2006.01) i, C21D6/00 (2006.01) i, C22C45/02 (2006.01) i, H01F1/153 (2006.01) i, H01F27/25 (2006.01) i, H01F41/04 (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. H01F41/02, C21D6/00, C22C45/02, H01F1/153, H01F27/25, H01F41/04

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	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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	JP 2016-197720 A (HITACHI METALS LTD.) 24 November 2016, paragraphs [0022]-[0069], fig. 1, 2 (Family: none)	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.	☐ See patent family annex.
---	---

* Special categories of cited documents:	"T" 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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 17.10.2018	Date of mailing of the international search report 30.10.2018
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01F41/02(2006.01)i, C21D6/00(2006.01)i, C22C45/02(2006.01)i, H01F1/153(2006.01)i,
H01F27/25(2006.01)i, H01F41/04(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. H01F41/02, C21D6/00, C22C45/02, H01F1/153, H01F27/25, H01F41/04

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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	JP 2016-197720 A（日立金属株式会社）2016.11.24, 段落[0022]-[0069], 図 1-2 (ファミリーなし)	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

17.10.2018

国際調査報告の発送日

30.10.2018

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）

右田 勝則

5D

6309

電話番号 03-3581-1101 内線 3551