

(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
2023年5月4日(04.05.2023)



(10) 国際公開番号

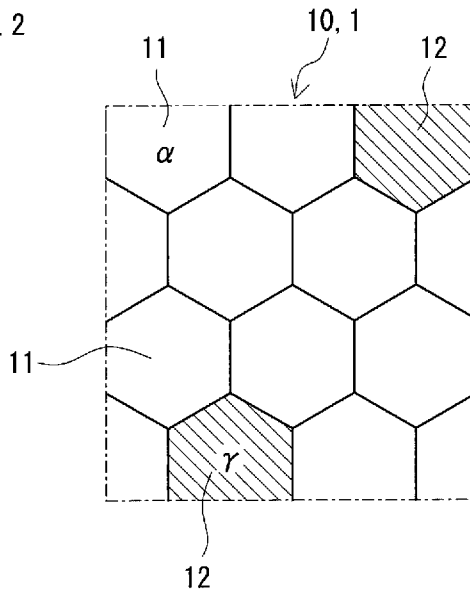
WO 2023/074693 A1

- (51) 国際特許分類:
C21D 6/00 (2006.01) C22F 1/00 (2006.01)
C22C 30/00 (2006.01) C22F 1/10 (2006.01)
C22C 19/07 (2006.01) H10N 50/00 (2023.01)
C22C 38/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/039747
- (22) 国際出願日: 2022年10月25日(25.10.2022)
- (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 2021-179074 2021年11月1日(01.11.2021) JP
- (71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.)
- [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 藤本 誠 (FUJIMOTO Makoto); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 丹治 亮 (TANJI Tooru); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 山野 宏, 外 (YAMANO Hiroshi et al.); 〒5320011 大阪府大阪市淀川区西中島六丁目1番3号 アストロ新大阪第2ビル10階 啓明特許事務所 Osaka (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,

(54) Title: MAGNETIC WIRE, COMPOSITE MAGNETIC WIRE, METHOD FOR PRODUCING MAGNETIC WIRE, AND METHOD FOR PRODUCING COMPOSITE MAGNETIC WIRE

(54) 発明の名称: 磁性線、複合磁性線、磁性線の製造方法、及び複合磁性線の製造方法

Fig. 2



(57) Abstract: The present invention provides a magnetic wire which is formed of an alloy that is mainly composed of iron and cobalt, wherein: the magnetic wire has a structure that comprises at least an α phase among the α phase and a γ phase; the structure has a high angle grain boundary having a crystal orientation difference of 15° or more; the proportion of the area of the α phase to the total area of the α phase and the γ phase in a cross-section of the magnetic wire is 90% or more; the average crystal grain size of the α phase in the cross-section is $2.5 \mu\text{m}$ or less; and the proportion of the length of the high angle grain boundary to the total length of the grain boundaries in the structure in the cross-section is 60% or more.



WO 2023/074693 A1

CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP,
KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, 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, ME, 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))

(57) 要約 : 鉄とコバルトとを主成分として含む合金からなる磁性線であって、 α 相と γ 相のうち、少なくとも前記 α 相を含む組織を有し、前記組織は、結晶方位差が 15° 以上の高角粒界を有し、前記磁性線の断面における前記 α 相と前記 γ 相との合計面積に対する前記 α 相の面積の割合が90%以上であり、前記断面における前記 α 相の平均結晶粒径が $2.5\mu\text{m}$ 以下であり、前記断面における前記組織中の結晶粒界の全長に対する前記高角粒界の長さの割合が60%以上である、磁性線。

明 細 書

発明の名称：

磁性線、複合磁性線、磁性線の製造方法、及び複合磁性線の製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、磁性線、複合磁性線、磁性線の製造方法、および複合磁性線の製造方法に関する。

本出願は、2021年11月01日付の日本国出願の特願2021-179074に基づく優先権を主張し、前記日本国出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

背景技術

[0002] 従来、大バルクハウゼンジャンプ現象を生じ得る磁性線が磁気センサに利用されている。上記磁気センサは、磁性線からなるコアと、このコアの外周に巻き付けられたコイルとを備える。上記磁性線は、一定の外部磁界が印加されることで、外部磁界の変化速度に依存せずに急激な磁化反転を生じる。この急激な磁化反転に伴う電磁誘導によって上記コイルにパルス電圧が発生する。磁気センサはこのパルス電圧を出力として検知する。

[0003] 特許文献1から特許文献4は、磁性線を開示する。これら特許文献には、鉄-ニッケル合金線や鉄-コバルト-バナジウム合金線に熱処理とひねり加工とを行うことによって製造された磁性線が記載されている。特許文献5および特許文献6は、磁性線の外周面に被覆材を備える複合磁性線を開示する。特許文献5には、保磁力の大きい強磁性線に、保磁力が小さく残留磁化の大きい強磁性層を被覆することが記載されている。特許文献6には、強磁性体に非磁性層を被覆することが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開昭47-008956号公報
特許文献2：特開昭53-137641号公報

特許文献3：特開2006-114857号公報

特許文献4：特開2019-132698号公報

特許文献5：特開昭54-050373号公報

特許文献6：特開平4-305904号公報

発明の概要

- [0005] 本開示の磁性線は、
鉄とコバルトとを主成分として含む合金からなる磁性線であって、
 α 相と γ 相のうち、少なくとも前記 α 相を含む組織を有し、
前記組織は、結晶方位差が 15° 以上の高角粒界を有し、
前記磁性線の断面における前記 α 相と前記 γ 相との合計面積に対する前記 α 相の面積の割合が90%以上であり、
前記断面における前記 α 相の平均結晶粒径が $2.5\mu\text{m}$ 以下であり、
前記断面における前記組織中の結晶粒界の全長に対する前記高角粒界の長さの割合が60%以上である。

図面の簡単な説明

- [0006] [図1]図1は、実施形態に係る磁性線の概略斜視図である。
[図2]図2は、実施形態に係る磁性線の組織を示す模式図である。
[図3]図3は、実施形態に係る磁性線の組織の結晶粒界を示す模式図である。
[図4]図4は、実施形態に係る複合磁性線の概略斜視図である。
[図5]図5は、実施形態に係る複合磁性線の概略断面図である。
[図6]図6は、実施形態に係る複合磁性線におけるひねり痕を示す模式図である。
[図7]図7は、EBSD法によって得られた試料No. 1のPhaseマップを示す図である。
[図8]図8は、EBSD法によって得られた試料No. 1のI_Q(Image Quality)マップを示す図である。

発明を実施するための形態

- [0007] [本開示が解決しようとする課題]

大バルクハウゼンジャンプ現象を発生する磁性線の更なる高性能化が求められている。

[0008] 上述した磁気センサの性能は、コアに使用される磁性線の特徴に大きく依存する。磁気センサの小型化、高出力化のために、高い出力が得られる磁性線が望まれる。

[0009] 本開示は、出力特性に優れる磁性線を提供することを目的の一つとする。本開示は、出力特性に優れる複合磁性線を提供することを別の目的の一つとする。本開示は、出力特性に優れる磁性線を製造できる磁性線の製造方法を提供することを別の目的の一つとする。本開示は、出力特性に優れる複合磁性線を製造できる複合磁性線の製造方法を提供することを別の目的の一つとする。

[0010] [本開示の効果]

本開示の磁性線は、出力特性に優れる。

[0011] [本開示の実施形態の説明]

一般に、磁性線は、磁性線の長さに沿った一軸異方性が高く、かつ磁壁のエネルギーが高いほど、磁性線の長さに沿って磁化され易く、単磁区構造をとり易くなる。その結果、大バルクハウゼン現象が発生し易い。つまり、磁性線の一軸異方性が高く、かつ磁壁のエネルギーが高いほど、磁性線の出力特性が向上する。磁性線の一軸異方性を高めると共に、磁壁のエネルギーを高めるために、磁性線にはひねり加工が施される。ひねり加工が施された磁性線は、磁性線の内部に磁性線の長さに沿った引張の残留応力が発生する。その結果、磁性線の一軸異方性が高くなると同時に磁壁のエネルギーが大きくなる。また、磁性線の長さが短いほど、出力のばらつきが大きくなり易い。これは、磁性線に生じる反磁界の影響が大きくなり、単磁区構造をとり難くなることが原因と考えられる。

[0012] 本発明者らは、磁性線の出力特性を向上することについて鋭意検討した結果、以下の知見を得た。磁性線の素材となる線材を特定の温度で熱処理することで、 α 相と γ 相とが共存した特定の組織を有する状態にする。そして、

上記特定の組織を有する線材にひねり加工を行って製造した磁性線は、高い出力が得られると共に、出力のばらつきが小さいことを見出した。また、上記特定の組織を有する状態でひねり加工を行った磁性線は、従来にない新しい組織を有することが判明した。具体的には、磁性線の組織は、 α 相の面積割合、 α 相の平均結晶粒径、および高角粒界の長さの割合の3つの要件がそれぞれ特定の範囲を満たす。

[0013] 本開示は上記の知見に基づくものである。最初に本開示の実施態様を列記して説明する。

[0014] (1) 本開示の実施態様に係る磁性線は、
鉄とコバルトとを主成分として含む合金からなる磁性線であって、
 α 相と γ 相のうち、少なくとも前記 α 相を含む組織を有し、
前記組織は、結晶方位差が 15° 以上の高角粒界を有し、
前記磁性線の断面における前記 α 相と前記 γ 相との合計面積に対する前記 α 相の面積の割合が90%以上であり、
前記断面における前記 α 相の平均結晶粒径が $2.5\ \mu\text{m}$ 以下であり、
前記断面における前記組織中の結晶粒界の全長に対する前記高角粒界の長さの割合が60%以上である。

[0015] 本開示の磁性線は、 α 相の面積割合、 α 相の平均結晶粒径、および高角粒界の長さの割合が上記範囲を満たす特定の組織を有する。本開示の磁性線は、特定の組織を有することで、出力特性に優れる。ここでいう α 相は、EBSD (Electron Back Scattered Diffraction Pattern) 法による組織解析によって、体心立方格子 (BCC) の結晶構造を有すると判定される相である。 α 相は、例えば、フェライト相およびマルテンサイト相の少なくとも一方である。 α 相には、B2規則相が含まれる。B2規則相は、Fe原子とCo原子とが規則的に並んだ状態で存在する相である。ここでいう γ 相は、EBSD法による組織解析によって、面心立方格子 (FCC) の結晶構造を有すると判定される相である。 γ 相は、例えば、オーステナイト相である。 α 相の面積割合、 α 相の平均結

晶粒径、および高角粒界の長さの割合のそれぞれの測定方法は後述する。

[0016] 本開示の磁性線は高い出力が得られるので、本開示の磁性線を上述の磁気センサのコアに使用した場合に磁気センサの高出力化が可能である。また、本開示の磁性線は、高い出力が得られると共に、出力のばらつきが小さい。本開示の磁性線は、磁性線の直径を小さくしたり、磁性線の長さを短くしたりすることで小型化しても、安定した出力が得られ易い。よって、磁気センサの小型化が可能である。

[0017] (2) 上記(1)の磁性線において、

前記合金は、コバルトを40質量%以上70質量%以下、バナジウムを2質量%以上12質量%以下含み、残部が鉄および不可避不純物からなる組成を有してもよい。

[0018] 上記(2)の磁性線は、上記特定の組成を有する合金からなることで、高い出力が得られ易い。

[0019] (3) 上記(1)の磁性線において、

前記合金は、コバルトを40質量%以上70質量%以下、バナジウムを2質量%以上12質量%以下含み、更に、シリコンを0.1質量%以上1.0質量%以下、チタンを0.05質量%以上0.5質量%以下、アルミニウムを0.2質量%以上1.0質量%以下、およびマンガン0.2質量%以上1.2質量%以下からなる群より選択される少なくとも1つを含み、残部が鉄および不可避不純物からなる組成を有してもよい。

[0020] 上記(3)の磁性線は、より高い出力が得られ易い。

[0021] (4) 上記(1)から(3)のいずれかの磁性線において、

更に、前記組織は $\Sigma 3$ 粒界を有し、

前記結晶粒界の全長に対する前記 $\Sigma 3$ 粒界の長さの割合が5%以上であってもよい。

[0022] 上記(4)の磁性線は、上述の3つの要件に加えて、更に $\Sigma 3$ 粒界の長さの割合が上記範囲を満たす特定の組織を有することで、高い出力が得られると共に、安定した出力が得られ易い。 $\Sigma 3$ 粒界の長さの割合の測定方法は後

述する。

- [0023] (5) 上記(1)から(4)のいずれかの磁性線において、
前記断面における前記 α 相のKAM (Kernel Average Misorientation) 値が 0.45° 以上であってもよい。
- [0024] 上記(5)の磁性線は、上述の3つの要件に加えて、更に α 相のKAM値が上記範囲を満たす特定の組織を有することで、高い出力が得られると共に、安定した出力が得られ易い。 α 相のKAM値の測定方法は後述する。
- [0025] (6) 上記(1)から(5)のいずれかの磁性線において、
前記磁性線の直径が 0.1mm 以上 1.0mm 以下であり、
前記磁性線の長さが 25mm 以下であってもよい。
- [0026] 磁性線の直径または長さが小さいほど、磁性線の体積が減少するので、磁性線の出力が低下する。特に、磁性線の長さが短いほど、反磁界の影響が大きくなるので、磁性線の出力がばらつき易い。本開示の磁性線は、高い出力が得られると共に、出力のばらつきが小さいことから、磁性線の直径を小さくしたり、磁性線の長さを短くしても、安定した出力が得られ易い。上記(6)の磁性線は、直径または長さが小さくても、十分な出力特性を確保し易い。上記(6)の磁性線を磁気センサのコアに使用した場合、磁気センサの小型化が可能である。
- [0027] (7) 本開示の実施態様に係る複合磁性線は、
芯材と、前記芯材の外周面を覆う被覆材とを備える複合磁性線であって、
前記芯材は、上記(1)から(6)のいずれか1つに記載の磁性線からなり、
前記複合磁性線の直径に対する前記芯材の直径の割合が 45% 以上 95% 以下である。
- [0028] 本開示の複合磁性線は、芯材が上記本開示の磁性線からなることで、出力特性に優れる。本開示の複合磁性線は高い出力が得られるので、本開示の複合磁性線を上述の磁気センサのコアに使用した場合に磁気センサの高出力化が可能である。また、本開示の複合磁性線は、高い出力が得られると共に、

出力のばらつきが小さい。本開示の複合磁性線は、複合磁性線の直径を小さくしたり、複合磁性線の長さを短くしたりすることで小型化しても、安定した出力が得られ易い。よって、磁気センサの小型化が可能である。

- [0029] (8) 上記(7)の複合磁性線において、
前記被覆材の融点が850℃超であってもよい。
- [0030] 上記(8)の複合磁性線は、製造工程において、芯材に被覆材が被覆された状態で第一の熱処理を行うことができる。
- [0031] (9) 上記(7)または(8)の複合磁性線において、
前記被覆材のビッカース硬さが200HV以上であってもよい。
- [0032] 上記(9)の複合磁性線は、ひねり加工によって芯材に引張の残留応力が導入され易い。その結果、芯材の一軸異方性が高くなり易く、芯材の出力特性が向上し易い。上記(9)の複合磁性線は、より高い出力が得られ易い。
- [0033] (10) 上記(7)から(9)のいずれかの複合磁性線において、
前記被覆材の外周面にひねり痕を有し、
前記複合磁性線の軸線に対する前記ひねり痕の角度が4°以上60°以下であってもよい。
- [0034] ひねり痕を有する複合磁性線は、ひねり加工によって芯材に導入された引張の残留応力が維持され易い。更に、ひねり痕の角度が上記範囲であると、芯材の全長にわたって長さに沿った引張の残留応力が均一に導入され易い。その結果、芯材の出力特性が向上し易い。上記(10)の複合磁性線は、より高い出力が得られ易い。
- [0035] (11) 本開示の実施態様に係る磁性線の製造方法は、
鉄とコバルトとを主成分として含む合金からなる素材を引き抜き加工して伸線材を得る工程と、
前記線材に第一の熱処理を施して第一の熱処理材を得る工程と、
前記第一の熱処理材にひねり加工を行う工程とを備え、
前記第一の熱処理は、前記第一の熱処理材の合金の組織が α 相と γ 相とを含み、前記第一の熱処理材の断面における前記 α 相と前記 γ 相との合計面積

に対する前記 α 相の面積の割合が90%以上となるような条件で行う。

[0036] 本開示の磁性線の製造方法は、出力特性に優れる磁性線を製造できる。その理由は、第一の熱処理によって、第一の熱処理材の組織が α 相と γ 相とが共存した特定の組織となるように制御するからである。上記特定の組織を有する第一の熱処理材にひねり加工を行うことによって、出力特性が高い磁性線を得ることができる。

[0037] (12) 上記(11)の磁性線の製造方法において、
前記ひねり加工を行う工程は、前記ひねり加工が施された第一の熱処理材の表面におけるひずみ量が1.0以上4.5以下となるような条件で行ってもよい。

[0038] 上記(12)の製造方法によれば、出力特性が高い磁性線を安定して製造できる。

[0039] (13) 上記(11)または(12)の磁性線の製造方法は、
前記ひねり加工を行う工程の後、前記ひねり加工後の第一の熱処理材に第二の熱処理を行う工程、または、前記ひねり加工を行う工程と同時に、前記ひねり加工中の第一の熱処理材に第二の熱処理を行う工程を備えてもよい。
前記第二の熱処理は、前記ひねり加工後の第一の熱処理材、または前記ひねり加工中の第一の熱処理材を150℃以上400℃以下の温度で熱処理してもよい。

[0040] 上記(13)の製造方法によれば、磁性線の出力特性を高めることができる。

[0041] (14) 上記(11)から(13)のいずれかの磁性線の製造方法において、
前記第一の熱処理は、前記伸線材を750℃超850℃以下の温度で熱処理してもよい。

[0042] 上記(14)の製造方法によれば、第一の熱処理材の組織が上述の特定の組織となるように制御し易い。

[0043] (15) 上記(11)から(14)のいずれかの磁性線の製造方法におい

て、

前記伸線材を得る工程は、前記素材を10%以上の加工度で引き抜き加工する工程を含んでもよい。

[0044] 上記(15)の製造方法によれば、出力特性が高い磁性線を得易い。

[0045] (16)本開示の実施態様に係る複合磁性線の製造方法は、

鉄とコバルトとを主成分として含む合金からなる芯材の外周面に被覆材を被覆することによって被覆線材を得る工程と、

前記被覆線材を引き抜き加工して伸線材を得る工程と、

前記伸線材に第一の熱処理を施して第一の熱処理材を得る工程と、

前記第一の熱処理材にひねり加工を行う工程とを備え、

前記第一の熱処理は、前記第一の熱処理材における芯材の合金の組織が α 相と γ 相とを含み、前記芯材の断面における前記 α 相と前記 γ 相との合計面積に対する前記 α 相の面積の割合が90%以上となるような条件で行う。

[0046] 本開示の複合磁性線の製造方法は、出力特性に優れる複合磁性線を製造できる。その理由は、第一の熱処理によって、第一の熱処理材における芯材の組織が α 相と γ 相とが共存した特定の組織となるように制御するからである。本開示の複合磁性線の製造方法によれば、第一の熱処理材にひねり加工を行うことによって、出力特性が高い複合磁性線を得ることができる。

[0047] また、本開示の複合磁性線の製造方法では、芯材に被覆材が被覆された状態でひねり加工が施される。複合磁性線にひねり加工が施されると、芯材の外周面近傍において、芯材が被覆材に引っ張られて、芯材が芯材の長さに沿って伸ばされる。ひねり加工によって、芯材の長さに沿った引張の残留応力が芯材に導入される。その結果、引張の残留応力が増加することで、芯材の一軸異方性が高くなる。芯材の一軸異方性が高くなるため、芯材の出力特性が向上する。

[0048] (17)上記(16)の複合磁性線の製造方法において、

前記ひねり加工を行う工程は、前記ひねり加工が施された第一の熱処理材の表面におけるひずみ量が0.8以上3.0以下となるような条件で行って

もよい。

[0049] 上記（１７）の製造方法によれば、出力特性が高い複合磁性線を安定して製造できる。

[0050] （１８）上記（１６）または（１７）の複合磁性線の製造方法は、前記ひねり加工を行う工程の後、前記ひねり加工後の第一の熱処理材に第二の熱処理を行う工程、または、前記ひねり加工を行う工程と同時に、前記ひねり加工中の第一の熱処理材に第二の熱処理を行う工程を備えてもよい。

前記第二の熱処理は、前記ひねり加工後の第一の熱処理材、または前記ひねり加工中の第一の熱処理材を 150℃以上400℃以下の温度で熱処理してもよい。

[0051] 上記（１８）の製造方法によれば、複合磁性線の出力特性を高めることができる。

[0052] （１９）上記（１６）から（１８）のいずれかの複合磁性線の製造方法において、

前記第一の熱処理は、前記伸線材を 750℃超850℃以下の温度で熱処理してもよい。

[0053] 上記（１９）の製造方法によれば、第一の熱処理材における芯材の組織が上述の特定の組織となるように制御し易い。

[0054] （２０）上記（１６）から（１９）のいずれかの複合磁性線の製造方法において、

前記伸線材を得る工程は、前記被覆線材の前記芯材を 10%以上の加工度で引き抜き加工する工程を含んでもよい。

[0055] 上記（２０）の製造方法によれば、出力特性が高い複合磁性線を得易い。

[0056] [本開示の実施形態の詳細]

以下、図面を参照して、本開示の実施形態を具体的に説明する。図中、同一符号は同一名称物を意味する。

[0057] [磁性線]

(概要)

図1から図3を参照して、実施形態に係る磁性線1を説明する。磁性線1は、外部磁界が印加された際に大バルクハウゼンジャンプ現象を発生する。磁性線1は、鉄とコバルトとを主成分として含む合金からなる。磁性線1は、特定の組織10を有することで、出力特性に優れる。以下、実施形態の磁性線1を詳細に説明する。

[0058] 以下の説明では、元素を元素記号で示す。Feは鉄である。Coはコバルトである。Vはバナジウムである。Siはシリコンである。Tiはチタンである。Alはアルミニウムである。Mnはマンガンである。Niはニッケルである。Crはクロムである。Moはモリブデンである。Nbはニオブである。Wはタングステンである。Cuは銅である。元素の含有量は、合金に含まれる元素の割合を質量パーセントで表したものである。合金の全体が100質量%である。

[0059] (組成)

磁性線1を構成する合金の組成は、FeとCoとを主成分として含む。「FeとCoとを主成分として含む」とは、FeとCoとを合計で75質量%以上含むことを意味する。磁性線1は、ひねり加工によって良好な出力特性が得られる。磁性線1を構成する合金の融点は、例えば1300℃程度である。磁性線1の組成は、FeとCoとを合計で80質量%以上、更に85質量%以上含んでもよい。磁性線1の組成は、FeとCo以外の添加元素を含んでもよい。組成の具体例は、Coを40質量%以上70質量%以下、Vを2質量%以上12質量%以下含み、残部がFeおよび不可避不純物からなる組成である。このような組成を有する合金からなる磁性線1は高い出力が得られ易い。Coの含有量が40質量%以上70質量%以下であることで、出力特性が向上する。Vの含有量が2質量%以上であることで、出力特性が向上すると共に、製造工程でひねり加工を行い易い。Vを12質量%を超えて含んでも、それ以上の効果が得られないため、Vの含有量の上限は12質量%である。Coの含有量は42質量%以上63質量%以下、更に45質量%以上55質量%以下、48質量%以上53質量%以下であってもよい。

。Vの含有量は5質量%以上12質量%以下、更に7質量%以上11.5質量%以下、8.5質量%以上11質量%以下であってもよい。

[0060] 更に、磁性線1の組成は、CoとVに加えて、Si、Ti、Al、およびMnからなる群より選択される1種以上の元素を含み、残部がFeおよび不可避不純物からなる組成でもよい。これらの元素は、磁性線1の出力特性を向上させる効果がある。Siの含有量は0質量%超1.0質量%以下である。Tiの含有量は0質量%超0.5質量%以下である。Alの含有量は0質量%超1.0質量%以下である。Mnの含有量は0質量%超1.2質量%以下である。Siの含有量は、上記効果を得るために0.1質量%以上、更に0.15質量%以上であってもよい。Tiの含有量は、上記効果を得るために0.05質量%以上、更に0.08質量%以上であってもよい。Alの含有量は、上記効果を得るために0.2質量%以上、更に0.3質量%以上であってもよい。Mnの含有量は、上記効果を得るために0.2質量%以上、更に0.4質量%以上であってもよい。不可避不純物として含まれるSiの含有量は0.1質量%未満である。不可避不純物として含まれるTiの含有量は0.05質量%未満である。不可避不純物として含まれるAlの含有量は0.2質量%未満である。不可避不純物として含まれるMnの含有量は0.2質量%未満である。上記各元素を過剰に含有しても、それ以上の効果は期待できない。Siの含有量は0.1質量%以上0.7質量%以下、更に0.15質量%以上0.5質量%以下でもよい。Tiの含有量は0.05質量%以上0.4質量%以下、更に0.08質量%以上0.3質量%以下でもよい。Alの含有量は0.2質量%以上0.9質量%以下、更に0.3質量%以上0.8質量%以下でもよい。Mnの含有量は0.2質量%以上1.1質量%以下、更に0.3質量%以上1.0質量%以下でもよい。

[0061] その他、磁性線1の組成は、上記元素の他に、Ni、Cr、Mo、Nb、W、およびCuからなる群より選択される1種以上の元素を含んでもよい。これらの元素は、磁性線の出力特性を向上させる効果がある。これらの元素の含有量はそれぞれ、例えば、0質量%超1.0質量%以下、更に0.2質

量%以上0.8質量%以下である。

[0062] 磁性線1の組成は、例えばICP発光分光分析法(Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry)、またはEDX(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)法によって求めることができる。

[0063] (組織)

磁性線1を構成する合金の組織10は、図2に示すように、少なくとも α 相11を含む。図2に示す組織10は、 α 相11と γ 相12とを含む。図2は、磁性線1の断面における組織10を模式的に示している。図2では、分かり易いように、 γ 相12にハッチングを施している。 α 相11は、例えば、フェライト相、マルテンサイト相、およびB2規則相から選択される少なくとも一種である。 α 相11をこのように定義した理由は、一般的なEBSD法による組織解析では、フェライト相とマルテンサイト相とB2規則相とを区別することが困難であるからである。 γ 相12は、例えば、オーステナイト相である。組織10は、 γ 相12を含んでいなくてもよいし、 γ 相12を含んでいてもよい。即ち、組織10は、 α 相11と γ 相12のうち、実質的に α 相11のみを含む組織であってもよいし、 α 相11と γ 相12との2相が共存した組織であってもよい。組織10は、 α 相11および γ 相12以外に図示しない不可避的な相を含んでもよい。不可避的な相は、例えば、不可避的に生成された析出相である。

[0064] 更に、磁性線1の組織10は、図3に示すように、高角粒界21と Σ 3粒界23とを有する。高角粒界21は、結晶粒界20のうち、結晶方位差が 15° 以上の粒界である。 Σ 3粒界とは、結晶学的にCSL理論(Kronberg et al, Trans. Met. Soc. AIME, 1949, 185, 501)に基づき定義される Σ 値が3の対応粒界である。対応粒界の判定には、Brandonが提案した基準式 $[\Delta\theta_c = 15\Sigma^{-1/2}]$ (D. G. Brandon, Acta Metallurgica, Vol. 1

4, 1966, p. 1479) が用いられる。粒界での結晶方位関係と正確な対応方位関係とのずれが小さい場合を対応粒界とする。そのずれは、粒界に隣接する結晶粒間の結晶方位関係を表す回転行列と正確な対応方位関係の回転行列のずれを表す回転行列の回転角度 $\Delta\theta$ で示される。上記基準式の $\Delta\theta_c$ は、対応粒界としての粒界構造を維持できる許容ずれ角度の最大値を意味する。 Σ 値が 29 以下の対応方位関係からのずれ角度が $\Delta\theta_c$ 以下の場合を対応粒界とする。 $\Sigma 3$ 粒界 23 は高角粒界 21 に含まれる。図 3 も、図 2 と同様に、磁性線 1 の断面における組織 10 を模式的に示している。図 3 では、分かり易いように、高角粒界 21 を太い線で示し、 $\Sigma 3$ 粒界 23 を太い破線で示す。また、図 3 では、小角粒界 22 を細い線で示す。小角粒界 22 は後述する。

[0065] 磁性線 1 の組織 10 は、 α 相 11 の面積割合、 α 相 11 の平均結晶粒径、および高角粒界 21 の長さの割合がそれぞれ特定の範囲を満たす。磁性線 1 は、これら 3 つの要件を全て満たす特定の組織 10 を有することで、高い出力が得られると共に、出力のばらつきが小さい。以下、 α 相の面積割合、 α 相の平均結晶粒径、および高角粒界の長さの割合について詳しく説明する。以下の説明では、「高角粒界の長さの割合」を「高角粒界の割合」という。

[0066] 〈 α 相の面積割合〉

図 2 に示す α 相 11 の面積割合は 90% 以上である。 α 相 11 の面積割合は、 α 相 11 と γ 相 12 との合計面積に対する α 相 11 の面積の割合である。即ち、 α 相 11 の面積割合は、 α 相 11 の面積と γ 相 12 の面積との合計を 100 としたときの α 相 11 の面積の割合である。 γ 相 12 の面積はゼロを含む。 γ 相 12 の面積がゼロの場合、 α 相 11 の面積割合は 100% である。 α 相 11 の面積割合が 90% 以上であることで、磁性線 1 の出力特性を高められる。出力特性の向上の観点から、 α 相 11 の面積割合は 95% 以上、更に 98% 以上であってもよい。 α 相 11 の面積割合の上限は、例えば 99.99% である。 α 相 11 の面積割合は、90% 以上 99.99% 以下、更に 90% 以上 99.98% 以下、95% 以上 99.95% 以下、98% 以

上99.92%以下、98.5%以上99.90%以下でもよい。

[0067] α 相11の面積割合は、EBSD法によって求める。具体的には、 α 相11の面積割合は、磁性線1の断面をSEM (Scanning Electron Microscope) で観察し、EBSD法によって結晶解析することで求める。観察する断面は横断面とする。横断面は、磁性線1の長さ
と直交する断面である。観察視野の大きさは、例えば5.0 μ m以上 \times 5.0 μ m以上とする。観察視野の大きさは、 α 相11の結晶粒径に応じて適宜設定する。例えば、1つの観察視野に α 相11の結晶粒が50個以上、更に100個以上入るようにSEMの倍率を設定する。観察視野における組織10の結晶構造をEBSD法で解析する。EBSD法により得られた結晶構造の情報に基づいて、組織10に含まれる α 相11や γ 相12といった結晶相を判別すると共に、 α 相11の面積と γ 相12の面積をそれぞれ測定する。結晶相の判別および各相の面積の測定は、公知の解析ソフトウェアを用いて行う。 α 相11の面積割合は、 $\{ (\alpha$ 相11の面積) / (α 相11の面積 + γ 相12の面積) $\} \times 100$ として計算する。

[0068] 組織10の面積に対する α 相11と γ 相12との合計面積の割合は80%以上である。つまり、 α 相11または γ 相12として検出されない残部の面積割合は20%以下である。 α 相11および γ 相12以外の残部は、主として上記析出相、または結晶粒界近傍の転位が蓄積した領域である。 α 相11と γ 相12との合計面積の割合は、85%以上、更に90%以上、95%以上、98%以上、98.5%以上、99%以上でもよい。上記観察視野の面積を組織10の面積とみなす。 α 相11と γ 相12との合計面積の割合は、 $\{ (\alpha$ 相11の面積 + γ 相12の面積) / (観察視野の面積) $\} \times 100$ として計算することができる。

[0069] $\langle \alpha$ 相の平均結晶粒径 \rangle

図2に示す α 相11の平均結晶粒径は2.5 μ m以下である。 α 相11の平均結晶粒径が2.5 μ m以下であることで、磁性線1の出力特性を高められる。出力特性の向上の観点から、 α 相11の平均結晶粒径は2.3 μ m以

下、更に2.1 μm 以下、1.9 μm 以下、1.6 μm 以下、1.4 μm 以下であってもよい。 α 相11の平均結晶粒径の下限は、例えば0.1 μm である。 α 相11の平均結晶粒径は、0.1 μm 以上2.5 μm 以下、更に0.2 μm 以上2.3 μm 以下、0.3 μm 以上2.1 μm 以下、0.4 μm 以上1.9 μm 以下、0.6 μm 以上1.6 μm 以下、0.7 μm 以上1.4 μm 以下でもよい。

[0070] α 相11の平均結晶粒径は、EBSD法によって求める。具体的には、 α 相11の平均結晶粒径は、磁性線1の断面をSEMで観察し、EBSD法によって結晶解析することで求める。観察する断面は横断面とする。観察視野の大きさは、例えば5.0 μm 以上 \times 5.0 μm 以上とする。観察視野の大きさは、 α 相11の結晶粒径に応じて適宜設定する。例えば、1つの観察視野に α 相11の結晶粒が50個以上、更に100個以上入るようにSEMの倍率を設定する。観察視野における組織10の結晶方位をEBSD法で解析する。EBSD法により得られた結晶方位の情報に基づいて、隣接する結晶粒の結晶方位差が15°以上を結晶粒界と定義する。組織10に含まれる全ての α 相11の結晶粒径を測定する。結晶粒径の測定は、公知の解析ソフトウェアを用いて行う。各 α 相11の結晶粒径は、各 α 相11の面積と等しい面積を有する円の直径である。 α 相11の平均結晶粒径は、測定した全ての α 相11の結晶粒の面積加重平均径である。

[0071] 〈高角粒界の割合〉

図3に示す高角粒界21の割合は60%以上である。高角粒界21の割合は、組織10中の結晶粒界20の全長に対する高角粒界21の長さの割合である。即ち、高角粒界21の割合は、結晶粒界20の全長を100としたときの高角粒界21の長さの割合である。高角粒界21の割合が60%以上であることで、磁性線1の出力特性をより高められる。出力特性の向上の観点から、高角粒界21の割合は65%以上、更に70%以上、75%以上であってもよい。高角粒界21の割合の上限は、例えば95%である。高角粒界21の割合は、60%以上95%以下、更に65%以上90%以下、70%

以上88%以下、75%以上85%以下でもよい。

[0072] 結晶粒界20の全長は、結晶粒界20を結晶方位差が15°以上の高角粒界21と、結晶方位差が2°以上15°未満の小角粒界22との2つに分けたとき、高角粒界21の長さとお角粒界22の長さとの合計長さである。結晶方位差が2°未満の粒界は、結晶粒界20の長さには含めないものとする。

[0073] 高角粒界21の割合は、EBSD法によって求める。具体的には、高角粒界21の割合は、磁性線1の断面をSEMで観察し、EBSD法によって結晶解析することで求める。観察する断面は横断面とする。観察視野の大きさは、例えば5.0μm以上×5.0μm以上とする。観察視野の大きさは、α相11の結晶粒径に応じて適宜設定する。例えば、1つの観察視野にα相11の結晶粒が50個以上、更に100個以上入るようにSEMの倍率を設定する。観察視野における組織10の結晶方位をEBSD法で解析する。EBSD法により得られた結晶方位の情報に基づいて、組織10中の全ての結晶粒界20を高角粒界21とお角粒界22とに分ける。そして、高角粒界21の長さとお角粒界22の長さをそれぞれ測定する。高角粒界21および小角粒界22の各々の長さの測定は、公知の解析ソフトウェアを用いて行う。高角粒界21の長さとお角粒界22の長さとの合計値を結晶粒界20の全長とする。高角粒界21の割合は、{(高角粒界21の長さ) / (結晶粒界20の全長)} × 100として計算する。

[0074] 磁性線1の組織10は、更に、Σ3粒界23の長さの割合が特定の範囲を満たしてもよい。磁性線1は、上述の3つの要件に加えて、Σ3粒界23の長さの割合が特定の範囲を満たす特定の組織10を有することで、より高い出力が得られると共に、より安定した出力が得られ易い。以下、Σ3粒界23の長さの割合について詳しく説明する。以下の説明では、「Σ3粒界の長さの割合」を「Σ3粒界の割合」という。

[0075] <Σ3粒界の割合>

図3に示すΣ3粒界23の割合は5%以上であってもよい。Σ3粒界23の割合は、組織10中の結晶粒界20の全長に対するΣ3粒界23の長さの

割合である。Σ3粒界23の割合が5%以上であることで、磁性線1の出力特性をより高められる。出力特性の向上の観点から、Σ3粒界23の割合は6%以上、更に8%以上であってもよい。Σ3粒界23の割合の上限は、例えば25%である。Σ3粒界23の割合は、5%以上25%以下、更に6%以上22%以下、8%以上20%以下でもよい。

[0076] Σ3粒界23の割合は、上述の高角粒界の割合と同様に、磁性線1の横断面からEBSD法によって求める。EBSD法により得られた結晶方位の情報に基づいて、観察視野における組織10中の全ての結晶粒界20からΣ3粒界23のみを分離すると共に、Σ3粒界23の長さを測定する。Σ3粒界23の分離、およびΣ3粒界23の長さの測定は、公知の解析ソフトウェアを用いて行う。Σ3粒界23の割合は、 $\{(\Sigma 3 \text{ 粒界 } 23 \text{ の長さ}) / (\text{結晶粒界 } 20 \text{ の全長})\} \times 100$ として計算する。

[0077] 磁性線1の組織10は、α相11のKAM値が特定の範囲を満たしてもよい。磁性線1は、上述の3つの要件に加えて、α相11のKAM値が特定の範囲を満たす特定の組織10を有することで、より高い出力が得られると共に、より安定した出力が得られ易い。以下、α相11のKAM値について詳しく説明する。

[0078] 〈α相のKAM値〉

α相11のKAM値は0.45°以上であってもよい。α相11のKAM値が0.45°以上であることで、磁性線1の出力特性を高められる。出力特性の向上の観点から、α相11のKAM値は0.47°以上、更に0.48°以上、0.50°以上であってもよい。α相11のKAM値の上限は、例えば1.0°である。α相のKAM値は、0.45°以上1.0°以下、更に0.47°以上0.8°以下、0.48°以上0.75°以下、0.50°以上0.70°以下でもよい。

[0079] α相11のKAM値は、EBSD法によって求める。具体的には、α相11のKAM値は、磁性線1の断面をSEMで観察し、EBSD法によって結晶解析することで求める。観察する断面は横断面とする。観察視野の大きさ

は、例えば $5.0\ \mu\text{m}$ 以上 $\times 5.0\ \mu\text{m}$ 以上とする。観察視野における組織10の結晶方位をEBSD法で解析する。EBSD法により、指定のステップサイズで配置された電子線照射スポットについて、隣接するスポット間の結晶方位差を全て測定する。ステップサイズは、例えば $0.05\ \mu\text{m}$ 間隔である。結晶方位差が 5° 未満の測定値を抽出して平均値化することで、各電子線照射スポットのKAM値が算出される。観察視野中の α 相11と判定された電子線照射スポットのKAM値の平均値を α 相11のKAM値とする。EBSD法により得られた結晶方位の情報に基づいて、組織10に含まれる α 相11のKAM値を計算する。KAM値の計算は、公知の解析ソフトウェアを用いて行う。上記KAM値は、歪蓄積量と相関がある。KAM値が高いほど結晶粒内における歪による方位変化が大きいと推測される。

[0080] (形状)

磁性線1の形状は適宜選択できる。図1に示す磁性線1は丸線である。磁性線1の横断面の形状は円形状である。磁性線1の横断面の形状は、非円形状でもよい。非円形状は、例えば多角形状、扁平形状または楕円形状である。多角形状は、例えば四角形、または六角形である。四角形には、長方形、正方形、台形、菱形などが含まれる。ここでいう楕円形状には、長円形状も含まれる。長円形状とは、所謂レーストラック形状であって、平行な2本の直線と、2本の直線の両端同士を結ぶ2つの半円弧とからなる形状である。2本の直線の長さは等しい。2つの半円弧の長さは等しい。ここでいう扁平形状とは、真円よりも平たい形状全般を意味する。扁平形状には、長方形、および楕円形状なども含まれる。

[0081] (サイズ)

〈直径〉

磁性線1の直径Dは適宜選択できる。ここでの磁性線1の直径Dは、磁性線1の横断面の面積と等しい面積を有する円の直径である。磁性線1の直径Dは、例えば $0.1\ \text{mm}$ 以上 $1.0\ \text{mm}$ 以下である。直径Dが上記範囲である磁性線1は、磁気センサなどのコアに好適に使用できる。磁性線1の直径

Dは、0.15mm以上0.8mm以下、更に0.2mm以上0.6mm以下でもよい。

[0082] 〈断面積〉

磁性線1の断面積は適宜選択できる。磁性線1の断面積は、磁性線1の横断面の面積である。磁性線1の断面積は、例えば0.007mm²以上0.8mm²以下である。断面積が上記範囲である磁性線1は、磁気センサなどのコアに好適に使用できる。磁性線1の断面積は、0.017mm²以上0.51mm²以下、更に0.03mm²以上0.3mm²以下でもよい。

[0083] 〈長さ〉

磁性線1の長さLは適宜選択できる。磁性線1の長さLは、磁性線1の第一端から第二端までの長さである。磁性線1の長さLは、例えば3mm以上25mm以下である。長さLが上記範囲である磁性線1は、磁気センサなどのコアに好適に使用できる。磁性線1の長さLは、4mm以上20mm以下、更に5mm以上15mm以下でもよい。

[0084] 磁性線1の直径Dまたは長さLが小さいほど、磁性線1の体積が減少するので、磁性線1の出力特性が低下する。実施形態の磁性線1は、高い出力が得られると共に、出力のばらつきが小さいことから、直径Dまたは長さLが小さくても、十分な出力特性を確保し易い。直径Dおよび長さLが上記範囲である磁性線1を磁気センサのコアに使用した場合、磁気センサの小型化が可能である。

[0085] [磁性線の製造方法]

実施形態の磁性線1は、実施形態に係る磁性線の製造方法によって製造できる。実施形態の磁性線の製造方法は、以下の第一工程と第二工程と第三工程とを備える。

第一工程は、素材を引き抜き加工して伸線材を得る工程である。

第二工程は、伸線材に第一の熱処理を施して第一の熱処理材を得る工程である。

第三工程は、第一の熱処理材にひねり加工を行う工程である。

以下、各工程について詳しく説明する。

[0086] (第一工程)

第一工程では、素材を引き抜き加工することによって伸線材を作製する。素材は鉄とコバルトとを主成分として含む合金からなる。素材を構成する合金の組成は、上述した磁性線の組成の項で説明した組成である。素材の組成は、製造する磁性線の組成と同じである。素材の融点は、第一の熱処理の温度よりも高い。素材の融点は、例えば1300℃程度である。素材は、例えば鋳造材、押出材である。鋳造材には、連続鋳造材、連続鋳造圧延材が含まれる。素材は、連続鋳造材であってもよい。連続鋳造圧延材は、組織のバラツキが少なく、生産性も高い。引き抜き加工は、孔ダイスまたはローラーダイスによって素材を線材に加工する方法である。引き抜き加工には、素材を孔ダイスの孔に通す通常の引き抜き加工の他、ローラーダイスによる引き抜き加工、またはタークスヘッドによる引き抜き加工なども含まれる。冷間で引き抜き加工を行うと、寸法精度の高い伸線材が得られ易い。

[0087] 引き抜き加工は、素材を所定の形状の伸線材に加工し、伸線材の直径が所定の直径となるように行う。伸線材の横断面の形状は、製造する磁性線の横断面の形状と同じである。伸線材の直径は、製造する磁性線の直径と同じである。引き抜き加工は、伸線材の直径が所定の直径となるまで複数回行ってよい。複数回の引き抜き加工を行う場合、引き抜き加工の途中で熱処理を行ってもよい。この熱処理は、主として、引き抜き加工の途中の線材を軟化させて加工性を向上させることを目的とする。この熱処理を中間熱処理という。中間熱処理の温度は、例えば750℃以上1100℃以下とする。中間熱処理の温度が高いほど、加工性を向上させ易い。中間熱処理の温度は780℃以上900℃以下、更に780℃以上850℃以下であってもよい。中間熱処理の時間は、例えば10分以上720分以下とする。中間熱処理は、水素雰囲気下で行ってもよい。中間熱処理を行った後、線材を冷却する。中間熱処理後の冷却速度は、例えば1℃/秒以上である。冷却速度は、更に5℃/秒以上、特に10℃/秒以上であってもよい。冷却速度が速いほど、線

材の加工性を向上させ易い。冷却速度が遅すぎると、規則変態が生じることにより線材の加工性が劣る。

[0088] 第一工程は、素材を伸線材に加工する際に素材を10%以上の加工度で引き抜き加工する工程を含んでもよい。この加工度は、上記中間熱処理を実施する場合、最後の中間熱処理が行われた後、最終の引き抜き加工までの加工度である。上記中間熱処理を実施する場合の加工度は、最後の中間熱処理が行われた段階での線材の断面積と最終の引き抜き加工後の伸線材の断面積との差を最後の中間熱処理が行われた段階での線材の断面積で割った割合である。例えば、5回の引き抜き加工を行う場合を考える。仮に、2回目の引き抜き加工と3回目の引き抜き加工との間、および3回目の引き抜き加工と4回目の引き抜き加工との間にそれぞれ中間熱処理を行ったとする。4回目の引き抜き加工以降は中間熱処理を行わないとする。この例では、3回目の引き抜き加工と4回目の引き抜き加工との間に行われた中間熱処理が、最後の中間熱処理となる。この場合、3回目の引き抜き加工後における線材の直径から5回目の引き抜き加工後における線材の直径までの加工度が10%以上となるように引き抜き加工を行う。上記中間熱処理を実施しない場合、上記加工度は、引き抜き加工の開始から終了までの総加工度と同じである。総加工度は、引き抜き加工前の素材の断面積と最終の引き抜き加工後の伸線材の断面積との差を引き抜き加工前の素材の断面積で割った割合である。上記加工度が10%以上であることで、伸線材の組織が所定の組織となるように制御し易い。具体的には、 α 相の平均結晶粒径が小さく、かつ、 α 相のKAM値が大きい組織とし易い。その結果として、最終的に製造された磁性線の組織が、上述した磁性線の組織の項で説明した組織となり易い。上記加工度は、30%以上、更に40%以上でもよい。上記加工度の上限は、素材の直径または作製する伸線材の直径などにもよるが、例えば99.99%である。上記加工度は、10%以上99.99%以下、更に30%以上99.9%以下、40%以上99.5%以下でもよい。

[0089] (第二工程)

第二工程では、伸線材に第一の熱処理を行うことによって第一の熱処理材を作製する。第一の熱処理を行った後、第一の熱処理材を室温まで冷却する。室温は $20^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ である。第一の熱処理は、第一の熱処理材の合金の組織が α 相と γ 相とを含み、第一の熱処理材の断面における α 相と γ 相との合計面積に対する α 相の面積の割合が90%以上となるような条件で行う。第一の熱処理は、水素雰囲気下で行ってもよい。第一の熱処理によって、第一の熱処理材の組織が α 相と γ 相とが共存した上記特定の組織となるように制御する。これにより、上述した磁性線の組織の項で説明した組織を有する磁性線が得られる。

[0090] 上記特定の組織となる条件は、例えば、第一の熱処理の温度を特定の範囲とするとよい。第一の熱処理は、代表的には、伸線材を 750°C 超 850°C 以下の温度で熱処理してもよい。第一の熱処理の温度が低すぎると、第三工程において第一の熱処理材に対するひねり加工が困難になる。また、第一の熱処理の温度が低い場合、 α 相の面積割合が小さくなったり、 α 相のKAM値が小さくなったり、 α 相の平均結晶粒径が大きくなったりする。その他、第一の熱処理の温度が低い場合、高角粒界または $\Sigma 3$ 粒界が十分に形成されず、高角粒界の割合が小さくなったり、 $\Sigma 3$ 粒界の割合が小さくなったりする。第一の熱処理の温度が高すぎると、マルテンサイト変態前の旧 γ 相の結晶粒が粗大化する。その結果、冷却後に生成される α 相の平均結晶粒径が大きくなる。

[0091] 第一の熱処理の最適な温度範囲は、合金の組成によって異なる。例えばCを40質量%以上70質量%以下、特に45質量%以上55質量%以下含む組成の場合、第一の熱処理の温度は 760°C 以上 840°C 以下、 780°C 以上 820°C 以下、更に 790°C 以上 810°C 以下であってもよい。第一の熱処理の時間は、例えば10分以上720分以下である。

[0092] 第一の熱処理後の冷却速度は、例えば $1^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上である。冷却速度は、更に $5^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上、特に $10^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上であってもよい。冷却速度が速いほど、マルテンサイト変態が生じることにより α 相の面積割合が増える。その

ため、上記特定の組織が得られ易い。冷却速度が遅すぎると、規則変態が生じることにより第一の熱処理材の加工性が悪くなるおそれがある。また、冷却速度が遅すぎると、マルテンサイト変態が十分に生じずに α 相の面積割合が小さくなる。

[0093] (第三工程)

第三工程では、第一の熱処理材にひねり加工を行う。ひねり加工とは、第一の熱処理材の軸を回転軸としてねじることをいう。ひねり加工を行う前に、第一の熱処理材は適当な長さに切断しておくもよい。第一の熱処理材にひねり加工を行うことで、出力特性が高い磁性線を得ることができる。ひねり加工によって加工誘起変態が生じる。そのため、第一の熱処理材の組織中の γ 相が α 相に変態することで、ひねり加工が施された第一の熱処理材の組織は α 相が増加する。ひねり加工は冷間で行ってもよい。ひねり加工を行った後、ひねり加工が施された第一の熱処理材を所定の長さに切断する。この所定の長さは、製造する磁性線の長さと同じである。

[0094] ひねり加工は、ひねり加工が施された第一の熱処理材の表面におけるひずみ量が1.0以上4.5以下となるような条件で行ってもよい。ここでいう第一の熱処理材の表面とは、第一の熱処理材の外周面のことである。上記ひずみ量が1.0以上4.5以下となるようにひねり加工を行うことで、出力特性が高い磁性線を安定して製造できる。上記ひずみ量は1.5以上4.0以下でもよい。

[0095] 図1を参照して、ひずみ量の求め方について説明する。ここでは、図1に示す磁性線1を上記第一の熱処理材とみなす。以下の説明では、第一の熱処理材を「線材」と呼ぶ。ひずみ量 δ は次の式で表される。

$$\delta = r \theta / L$$

r は線材の半径(mm)である。即ち $r = D / 2$ である。 θ はひねり角度(rad)である。線材を1回転ひねったとき、 $\theta = 2\pi$ である。 L は線材の長さ(mm)である。

[0096] ひずみ量は、線材の半径と線材の長さの他に、回転数の合計数によって決

まる。ひずみ量の求め方の具体例を説明する。この説明では、線材の半径 $r = 0.15 \text{ mm}$ 、線材の長さ $L = 30 \text{ mm}$ とする。線材を時計回りに 30 回転した後、反時計回りに 30 回転する条件でひねり加工した場合のひずみ量は、 $\delta = (30 + 30) \times \{0.15 \times 2\pi / 30\} = 60 \times 0.01\pi$ であるから、約 1.8 となる。線材を時計回りに 15 回転、反時計回りに 30 回転、時計回りに 15 回転の順にひねり加工した場合のひずみ量は、 $\delta = (15 + 30 + 15) \times \{0.15 \times 2\pi / 30\} = 60 \times 0.01\pi$ であるから、約 1.8 となる。これら 2 つの条件は、ひねり加工による合計の回転数が同じであり、かつ、時計回りの合計の回転数と反時計回りの合計の回転数とが同じである。

[0097] ひねり加工の条件は適宜変更できる。例えば、時計回りに a 回転、反時計回りに b 回転ひねる作業を 1 セットとし、これを複数セット繰り返し行ってもよい。或いは、時計回りに c 回転、反時計回りに d 回転、時計回りに e 回転の順にひねる作業を 1 セットとし、これを複数セット繰り返し行ってもよい。また、時計回りの合計の回転数と反時計回りの合計の回転数とが異なってもよい。

[0098] (その他の工程)

実施形態の磁性線の製造方法は、上記ひねり加工を行う第三工程の後、ひねり加工後の第一の熱処理材に第二の熱処理を行う工程を備えてもよいし、上記ひねり加工を行う工程と同時に、ひねり加工中の第一の熱処理材に第二の熱処理を行う工程を備えてもよい。ひねり加工と同時に第二の熱処理を行う場合、第一の熱処理材がひねられた状態でひねり加工を終了し、第一の熱処理材がひねられている状態を維持したまま、第二の熱処理を行ってもよい。ひねり加工は、例えば、線材の両端部をチャックで掴みながら、いずれか一方のチャックを回転させることにより行う。ひねり加工と同時に第二の熱処理を行うとは、線材をひねりながら第二の熱処理を行うだけでなく、線材に最後のひねりを加えた後であっても、線材にひねり応力が作用した状態で線材をチャックで掴んだまま第二の熱処理を行う場合も含まれる。

[0099] 第二の熱処理は、ひねり加工後の第一の熱処理材、またはひねり加工中の第一の熱処理材を、例えば150℃以上400℃以下の温度で熱処理する。第二の熱処理の温度を上記特定の範囲とすることで、不均一に導入されたひずみが均一になることから、製造された磁性線の出力特性を高めることができる。第二の熱処理の温度が高すぎると、 α 相の平均結晶粒径が大きくなったり、 γ 相の増加に伴い α 相の面積割合が小さくなったりする。その結果、磁性線の出力特性の低下を招くおそれがある。第二の熱処理の温度は250℃以上375℃以下、更に300℃以上350℃以下であってもよい。第二の熱処理の時間は、例えば10分以上720分以下である。

[0100] 実施形態の磁性線1は、特定の組織10を有することで、出力特性に優れる。具体的には、磁性線1は、 α 相11の面積割合、 α 相11の平均結晶粒径、および高角粒界21の割合がそれぞれ特定の範囲を満たす組織10を有することで、高い出力が得られると共に、出力のばらつきが小さい。更に、磁性線1は、これら3つの要件に加えて、 Σ 3粒界23の割合および α 相11のKAM値の少なくとも一方が特定の範囲を満たす組織10を有することで、より高い出力が得られる。

[0101] 実施形態の磁性線の製造方法は、 α 相と γ 相とが共存した特定の組織となるように第一の熱処理を行った後、第一の熱処理材にひねり加工を行うことによって、出力特性が高い磁性線を得ることができる。

[0102] [複合磁性線]

(概要)

図4から図6を参照して、実施形態に係る複合磁性線2を説明する。複合磁性線2は、図4および図5に示すように、芯材30と、被覆材40とを備える。被覆材40は芯材30の外周面を覆う。芯材30の外周面と被覆材40の内周面とは直接接している。図5は、複合磁性線2の横断面を示している。横断面は、複合磁性線2の長さとは直交する断面である。

[0103] (芯材)

芯材30は、上述した実施形態の磁性線1からなる。芯材30は、外部磁

界が印加された際に大バルクハウゼンジャンプ現象が発現する。芯材30は、FeとCoとを主成分として含む合金からなる。芯材30は、上述した磁性線1を構成する合金の組成と同じ組成を有する。芯材30の組成は、上述した磁性線の組成の項で説明したとおりである。芯材30の融点は、例えば1300℃程度である。

[0104] 芯材30は、上述した磁性線1を構成する合金の組織と同じ組織を有する。芯材30の組織は、 α 相の面積割合、 α 相の平均結晶粒径、および高角粒界の割合がそれぞれ特定の範囲を満たす。芯材30は、これら3つの要件を全て満たす特定の組織を有する。特定の組織を有する芯材30は出力特性に優れる。このような芯材30を備える複合磁性線2は高い出力が得られると共に、出力のばらつきが小さい。芯材30は、 $\Sigma 3$ 粒界の割合が特定の範囲を満たしてもよい。芯材30は、 α 相のKAM値が特定の範囲を満たしてもよい。芯材30が、上記3つの要件に加えて、 $\Sigma 3$ 粒界の割合および α 相のKAM値の少なくとも一方が特定の範囲を満たす組織を有することで、複合磁性線2はより高い出力が得られる。 α 相の面積割合、 α 相の平均結晶粒径、高角粒界の割合、 $\Sigma 3$ 粒界の割合および α 相のKAM値のそれぞれの特定の範囲は、上述した磁性線の組織の項で説明したとおりである。

[0105] (被覆材)

被覆材40は金属からなる。被覆材40を構成する金属は、例えば、鉄または鉄合金、銅または銅合金、アルミニウムまたはアルミニウム合金、およびニッケルまたはニッケル合金のいずれかである。鉄合金は、例えば、ステンレス鋼、または炭素鋼である。ステンレス鋼は、例えば、SUS403、SUS430、SUS304、SUS316、SUS304L、またはSUS316Lである。銅合金は、例えば、リン青銅である。ニッケル合金は、例えば、パーマロイ、ニチノール、またはニクロムである。被覆材40は磁性材でも非磁性材でもよい。金属は適度な伸びを有する。被覆材40の材質が金属であることで、製造工程でひねり加工を行い易い。また、被覆材40の材質が金属である場合、ひねり加工によって芯材30の出力特性が向上し

易い。その結果、複合磁性線 2 は高い出力が得られ易い。被覆材 40 の材質は、例えば、EDX 法による被覆材 40 の組成の分析結果から特定することが可能である。

[0106] 芯材 30 に被覆材 40 が設けられていることで、芯材 30 の出力特性が向上する理由は次のように考えられる。複合磁性線 2 にひねり加工が施されると、芯材 30 の外周面近傍において、芯材 30 が被覆材 40 に引っ張られて、芯材 30 が芯材 30 の長さに沿って伸ばされる。ひねり加工によって、芯材 30 の長さに沿った引張の残留応力が芯材 30 に導入される。その結果、引張の残留応力が増加することで、芯材 30 の一軸異方性が高くなる。芯材 30 の一軸異方性が高くなるため、芯材 30 の出力特性が向上する。

[0107] 本実施形態では、被覆材 40 が芯材 30 にクラッドされている。「被覆材 40 が芯材 30 にクラッドされている」とは、芯材 30 の外周面に筒状の被覆材 40 が嵌合された状態で接合されていることをいう。被覆材 40 は芯材 30 の外周面にめっきされていてもよい。

[0108] 〈ビッカース硬さ〉

被覆材 40 のビッカース硬さは、例えば 200HV 以上である。被覆材 40 の硬さが高いほど、ひねり加工によって芯材 30 に引張の残留応力が導入され易い。その結果、芯材 30 の出力特性が向上し易い。被覆材 40 のビッカース硬さが 200HV 以上である場合、芯材 30 に引張の残留応力を効果的に付与し易い。被覆材 40 のビッカース硬さは 300HV 以上、更に 380HV 以上でもよい。被覆材 40 のビッカース硬さの上限は、例えば 700HV である。被覆材 40 のビッカース硬さは、200HV 以上 700HV 以下、更に 300HV 以上 600HV 以下、380HV 以上 480HV 以下でもよい。

[0109] 〈ビッカース硬さの測定方法〉

被覆材 40 のビッカース硬さは、次のようにして求める。複合磁性線 2 の横断面をとる。具体的には、複合磁性線 2 を樹脂に埋め込んだ後、複合磁性線 2 を複合磁性線 2 の長さとは直交する平面で切断する。露出した複合磁性線

2の横断面を研磨する。複合磁性線2の横断面において、被覆材40の厚さの中間点を求める。被覆材40の厚さの中間点とは、被覆材40の内周と外周との間の中間点である。図5に示すように、被覆材40の横断面の形状が円筒状である場合、被覆材40の厚さの中間点は、被覆材40の内径と外径とを足して2で割った直径を有する同心円の円周上に位置する。被覆材40の内径は芯材30の直径D1に等しく、被覆材40の外径は複合磁性線2の直径D2に等しい。即ち、この同心円の直径は、 $(D1 + D2) / 2$ となる。上記厚さの中間点のうち、4つの点についてマイクロビッカース硬さ試験を行う。測定した4点のビッカース硬さの平均値を被覆材40のビッカース硬さとみなす。4点は被覆材40の中心軸の周りに等間隔に並ぶように定める。マイクロビッカース硬さ試験の方法は、JIS Z 2244:2009「ビッカース硬さ試験」に準拠して行う。試験力は0.098N(0.01kgf)である。

[0110] ここで、芯材30のビッカース硬さは、例えば400HV程度から500HV程度である。芯材30のビッカース硬さは、次のようにして求める。複合磁性線2の横断面において、芯材30の半径の中間点を求める。芯材30の半径の中間点は、芯材30の中心と芯材30の外周上の点との中間点である。図5に示すように、芯材30の横断面の形状が円形状である場合、芯材30の半径の中間点は、芯材30の直径の $1/2$ の直径を有する同心円の円周上に位置する。即ち、この同心円の直径は、 $D1/2$ となる。上記直径の中間点のうち、4つの点についてマイクロビッカース硬さ試験を行う。測定した4点のビッカース硬さの平均値を芯材30のビッカース硬さとみなす。4点は芯材30の中心軸の周りに等間隔に並ぶように定める。

[0111] 〈融点〉

被覆材40の融点は、例えば850℃超である。被覆材40の融点が850℃超であれば、製造工程において、芯材30に被覆材40が被覆された状態で後述する第一の熱処理を行うことができる。被覆材40の融点は900℃以上、更に950℃以上でもよい。

[0112] 〈融点の測定方法〉

被覆材40の融点は、次のようにして求める。複合磁性線2の初期の形状を測定する。例えば、複合磁性線2の直径を測定する。複合磁性線2を加熱した後、冷却する処理を行う。被覆材40が溶けて形状が変化したときの加熱温度を被覆材40の融点とする。具体的な融点の測定方法は、次のとおりである。複合磁性線2を所定の温度に加熱した後、冷却する。冷却後の複合磁性線2の形状と初期の形状とを比較することで、被覆材40が溶けたか否か確認する。被覆材40が溶けていない場合は、複合磁性線2をより高い温度に加熱した後、冷却する。冷却後、被覆材40が溶けたか否か確認する。この操作を被覆材40が溶けるまで繰り返し、被覆材40が溶けたときの加熱温度を求める。加熱温度は、例えば100℃から1300℃まで50℃刻みで設定する。複合磁性線2を加熱した状態で保持する時間は、例えば5分以上である。

[0113] (形状)

複合磁性線2の形状は適宜選択できる。図4および図5に示す複合磁性線2は丸線である。複合磁性線2の横断面の形状は円形状である。複合磁性線2の横断面の形状は、非円形状でもよい。非円形状は、例えば多角形状、扁平形状または楕円形状である。多角形状は、例えば四角形、または六角形である。四角形には、長方形、正方形、台形、菱形などが含まれる。楕円形状には、長円形状も含まれる。扁平形状とは、平たい形状全般を意味する。扁平形状には、長円形状、および楕円形状なども含まれる。図4および図5に示す芯材30の横断面の形状は円形状である。被覆材40の横断面の形状は円筒状である。

[0114] (サイズ)

〈直径〉

複合磁性線2の直径D2は適宜選択できる。ここでの複合磁性線2の直径D2は、複合磁性線2の横断面の面積と等しい面積を有する円の直径である。複合磁性線2の直径D2は、例えば0.105mm以上3.0mm以下で

ある。直径 D_2 が上記範囲である複合磁性線2は、磁気センサなどのコアに好適に使用できる。複合磁性線2の直径 D_2 は、 0.11 mm 以上 2.0 mm 以下、 0.12 mm 以上 1.0 mm 以下、 0.15 mm 以上 0.8 mm 以下、更に 0.2 mm 以上 0.6 mm 以下でもよい。

[0115] 〈長さ〉

複合磁性線2の長さ L_2 は適宜選択できる。複合磁性線2の長さ L_2 は、複合磁性線2の第一端から第二端までの長さである。複合磁性線2の長さ L_2 は、例えば 3 mm 以上 25 mm 以下である。長さ L_2 が上記範囲である複合磁性線2は、磁気センサなどのコアに好適に使用できる。複合磁性線2の長さ L_2 は、 4 mm 以上 20 mm 以下、更に 5 mm 以上 15 mm 以下でもよい。

[0116] 複合磁性線2の直径 D_2 または長さ L_2 が小さいほど、芯材30の体積が減少するので、複合磁性線2の出力特性が低下する。実施形態の複合磁性線2は、高い出力が得られると共に、出力のばらつきが小さいことから、直径 D_2 または長さ L_2 が小さくても、十分な出力特性を確保し易い。直径 D_2 および長さ L_2 が上記範囲である複合磁性線2を磁気センサのコアに使用した場合、磁気センサの小型化が可能である。

[0117] (複合磁性線の直径に対する芯材の直径の割合)

図5に示す複合磁性線2の直径 D_2 に対する芯材30の直径 D_1 の割合は、 45% 以上 95% 以下であってもよい。以下の説明では、「複合磁性線の直径に対する芯材の直径の割合」を「芯材の比率」という。芯材30の直径 D_1 は、芯材30の横断面の面積と等しい面積を有する円の直径である。芯材30の比率は、芯材30の直径 D_1 を複合磁性線2の直径 D_2 で割った割合である。芯材30の比率が 45% 以上であることで、複合磁性線2の横断面に占める芯材30の面積割合を確保できる。芯材30の面積割合がある程度確保されることによって、複合磁性線2の出力特性を高めることができる。芯材30の比率が 95% 以下であることで、複合磁性線2の横断面に占める被覆材40の面積割合を確保できる。被覆材40の面積割合がある程度確保

されることによって、ひねり加工によって芯材30に引張の残留応力が導入され易い。芯材30に引張の残留応力が導入され易くなるため、芯材30の一軸異方性が高くなり易い。芯材30の出力特性が向上する結果、複合磁性線2の出力特性を高めることができる。芯材30の比率は、48%以上95%以下、55%以上90%以下、更に60%以上85%以下でもよい。

[0118] 芯材30の直径D1は、例えば0.1mm以上1.0mm以下である。芯材30の直径D1が上記範囲である複合磁性線2は、高い出力が得られ易い。芯材30の直径D1は、0.15mm以上0.8mm以下、更に0.2mm以上0.6mm以下でもよい。

[0119] (ひねり痕)

複合磁性線2は、図6に示すように、被覆材40の外周面にひねり痕50を有していてもよい。ひねり加工が施された複合磁性線2の被覆材40の外周面には、ひねり痕50が存在する場合がある。ひねり痕50は、製造工程において、芯材30に被覆材40が被覆された状態でひねり加工を行うことによって形成される。

[0120] 複合磁性線2の製造工程において、詳細は後述するが、ひねり加工の前に、芯材の外周面に被覆材が被覆された線材を引き抜き加工することがある。引き抜き加工が施された線材の表面、即ち被覆材の外周面には、複数の伸線痕が形成される。伸線痕は線材の長さに沿って直線状に延びる細い筋状の痕である。伸線痕は、引き抜き加工時にダイスなどと擦れることによって生じたものである。伸線痕は線材の全長にわたって形成されている。この線材にひねり加工が施されると、伸線痕が変形してひねり痕50が形成される。引き抜き加工が施された線材の表面に伸線痕がない場合であっても、線材にひねり加工が施されることによって、線材の表面が変形してひねり痕50が形成され得る。ひねり痕50は、ひねり加工が施された線材がひねられた状態のままである場合、図6に示すように、複合磁性線2の軸線に対して傾斜している。ひねられた状態のままとは、線材がひねられた状態でひねり加工が終了していることをいう。ひねられた状態の複合磁性線2は、ひねり加工時に

線材を一方向にのみ回転させることで得られる。或いは、ひねられた状態の複合磁性線 2 は、ひねり加工時に線材を時計回りおよび反時計回りに回転させる場合、時計回りの合計の回転数と反時計回りの合計の回転数とが異なるようにすることで得られる。

[0121] 〈ひねり痕の角度〉

ひねり痕 50 の角度 θ_t が 0° 超である場合、複合磁性線 2 はひねられた状態のままである。ひねられた状態の複合磁性線 2 は、ひねり加工によって芯材 30 (図 4 参照) に導入された引張の残留応力が維持され易い。その結果、芯材 30 の出力特性が向上し易い。ひねり痕 50 の角度 θ_t は、 4° 以上 60° 以下であってもよい。ひねり痕 50 の角度 θ_t が 4° 以上 60° 以下であると、図 4 に示す芯材 30 の全長にわたって引張の残留応力が均一に導入され易いため、芯材 30 の出力特性が向上し易い。ひねり痕の角度は 5° 以上 55° 以下、更に 20° 以上 40° 以下でもよい。

[0122] ひねり痕 50 の角度 θ_t は、次のようにして求めることができる。複合磁性線 2 の表面、即ち被覆材 40 の外周面を光学顕微鏡で観察する。複合磁性線 2 の軸線に対するひねり痕 50 の傾斜角度を測定する。20 本以上のひねり痕 50 の傾斜角度を測定し、その平均値をひねり痕 50 の角度 θ_t とする。

[0123] [複合磁性線の製造方法]

実施形態の複合磁性線 2 は、実施形態に係る複合磁性線の製造方法によって製造できる。実施形態の複合磁性線の製造方法は、以下の第一工程と第二工程と第三工程と第四工程とを備える。

第一工程は、芯材の外周面に被覆材を被覆することによって被覆線材を得る工程である。

第二工程は、被覆線材を引き抜き加工して伸線材を得る工程である。

第三工程は、伸線材に第一の熱処理を施して第一の熱処理材を得る工程である。

第四工程は、第一の熱処理材にひねり加工を行う工程である。

実施形態に係る複合磁性線の製造方法では、[被覆] → [伸線] → [第一の熱処理] → [ひねり加工] の順に工程が進む。以下、各工程について詳しく説明する。

[0124] (第一工程)

第一工程では、芯材の外周面に被覆材を被覆することによって被覆線材を作製する。芯材は鉄とコバルトとを主成分として含む合金からなる。芯材は、例えば鋳造材、押出材が利用できる。被覆材は金属からなる。被覆材は、例えばクラッド法またはめっき法によって、芯材の外周面に形成することができる。クラッド法とは、筒状の被覆材に芯材を挿入した状態で引く抜くことで、芯材の外周面に被覆材を接合する方法である。被覆材の厚さは、製造する複合磁性線において、芯材の比率が上述した特定の範囲となるように適宜選択すればよい。具体的には、最終的に製造された複合磁性線における芯材の比率が45%以上95%以下となるように、被覆材の厚さを選択するとよい。芯材の融点および被覆材の融点は、第一の熱処理の温度よりも高い。芯材の融点および被覆材の融点は、例えば850℃超である。芯材の融点および被覆材の融点は、異なってもよく、同じであってもよい。

[0125] (第二工程)

第二工程では、被覆線材を引き抜き加工することによって伸線材を作製する。第二工程は、上述した磁性線の製造方法における第一工程と同様である。複合磁性線の製造方法における第二工程は、被覆線材を引き抜き加工する点で、上述した磁性線の製造方法における第一工程と異なる。引き抜き加工は、上述した磁性線の製造方法で説明した引き抜き加工と同様であるので、詳しい説明は省略する。

[0126] (第三工程)

第三工程では、伸線材に第一の熱処理を行うことによって第一の熱処理材を作製する。第三工程は、上述した磁性線の製造方法における第二工程と同様である。第一の熱処理は、上述した磁性線の製造方法で説明した第一の熱処理と同様であるので、詳しい説明は省略する。

[0127] (第四工程)

第四工程では、第一の熱処理材にひねり加工を行う。第三工程は、上述した磁性線の製造方法における第三工程と同様である。但し、複合磁性線の製造方法におけるひねり加工によるひずみ量は、上述した磁性線の製造方法におけるひねり加工によるひずみ量と異なる。複合磁性線の製造方法では、ひねり加工は、ひねり加工が施された第一の熱処理材の表面におけるひずみ量が0.8以上3.0以下となるような条件で行ってもよい。上記ひずみ量が0.8以上3.0以下となるようにひねり加工を行うことで、出力特性が高い複合磁性線を安定して製造できる。上記ひずみ量は1.0以上2.0以下でもよい。

[0128] 複合磁性線の場合におけるひずみ量の求め方について、図4を参照して説明する。ここでは、図4に示す複合磁性線2を上記第一の熱処理材とみなす。以下の説明では、第一の熱処理材を「線材」と呼ぶ。ひずみ量 δ は次の式で表される。

$$\delta = r \theta / L$$

r は線材の半径(mm)である。即ち $r = D_2 / 2$ である。 θ はひねり角度(rad)である。線材を1回転ひねったとき、 $\theta = 2\pi$ である。 L は線材の長さ(mm)である。即ち $L = L_2$ である。

[0129] 複合磁性線のひずみ量の求め方は、被覆材を含めた線材の直径を用いてひずみ量を求める点で、上述した磁性線の製造方法で説明したひずみ量の求め方と異なる。それ以外の点は、上述した磁性線の製造方法で説明したひねり加工と同様であるので、詳しい説明は省略する。

[0130] ここで、第一の熱処理材にひねり加工を行う際、第一の熱処理材がひねられた状態でひねり加工を終了すると、ひねられた状態の複合磁性線を製造することができる。例えば、第一の熱処理材を一方向にのみ回転させることで、ひねられた状態の複合磁性線が得られる。或いは、第一の熱処理材を時計回りおよび反時計回りに回転させる場合、時計回りの合計の回転数と反時計回りの合計の回転数とが異なるようにすることで、ひねられた状態の複合磁

性線が得られる。ひねられた状態の複合磁性線を製造する場合、ひねり加工の条件は、図6に示すひねり痕50の角度 θ_t が上述した特定の範囲となるように適宜選択すればよい。具体的には、ひねり痕50の角度 θ_t が 4° 以上 60° 以下となるように、ひねり加工を行ってもよい。

[0131] (その他の工程)

実施形態の複合磁性線の製造方法は、上記ひねり加工を行う第四工程の後、ひねり加工後の第一の熱処理材に第二の熱処理を行う工程を備えてもよいし、上記ひねり加工を行う工程と同時に、ひねり加工中の第一の熱処理材に第二の熱処理を行う工程を備えてもよい。第二の熱処理を行う工程は、上述した磁性線の製造方法における第二の熱処理を行う工程と同様である。第二の熱処理は、上述した磁性線の製造方法で説明した第二の熱処理と同様であるので、詳しい説明は省略する。

[0132] (用途)

実施形態の磁性線1および複合磁性線2は、例えば磁気センサなどのコアに好適に使用できる。実施形態の磁性線1および複合磁性線2は、高い出力が得られることから、磁気センサの高出力化が可能である。また、実施形態の磁性線1および複合磁性線2は、高い出力が得られると共に、出力のばらつきが小さいことから、直径または長さが小さくても、安定した出力が得られ易い。よって、磁気センサの小型化が可能である。磁気センサは、例えば磁気式エンコーダ、モータ、水道メータなどに利用できる。

[0133] [試験例1]

種々の条件で表1および表2に示す磁性線の試料を作製した。作製した磁性線を評価した。

[0134] (試料の作製)

磁性線の試料は、上述した磁性線の製造方法によって作製した。ここでは、表1に示す組成の合金からなる素材を用意した。表1に示す各元素の含有量は、合金に含まれる元素の合計含有量を100質量%としたときの値である。表1中、「Fe」の欄の「bal.」は、残部であることを表す。素材

は、合金を真空溶解した後、線状に熱間加工して製造されたものである。素材の直径は2.0 mmである。

[0135] 素材を引き抜き加工して伸線材を得た。伸線材の形状は丸線である。即ち、伸線材の横断面の形状は円形状である。伸線材の直径は0.3 mmである。総加工度は97.75%である。引き抜き加工は冷間で行った。ここでは、複数回の引き抜き加工を行い、引き抜き加工の途中で中間熱処理を行った。中間熱処理は、素材を直径0.6 mmまで引き抜き加工した段階で1回実施した。中間熱処理を実施した後、伸線材の直径が0.3 mmとなるまで引き抜き加工を施した。中間熱処理を行った後、最終の引き抜き加工までの加工度は75%とした。中間熱処理の温度は800℃とした。中間熱処理の時間は60分とした。中間熱処理は水素雰囲気下で行った。中間熱処理後の冷却速度は10℃/秒以上とした。

[0136] 伸線材に第一の熱処理を行った。第一の熱処理の温度は表2に示す温度とした。第一の熱処理の時間は60分とした。第一の熱処理は水素雰囲気下で行った。第一の熱処理を行った後、第一の熱処理が施された第一の熱処理材を室温まで冷却した。第一の熱処理後の冷却速度は10℃/秒以上とした。

[0137] 第一の熱処理材にひねり加工を行った。ここでは、第一の熱処理材を50 mmの長さに切断した。切断した第一の熱処理材の両端部をそれぞれチャックで掴み、いずれか一方のチャックを回転させることにより、切断した第一の熱処理材に対してひねり加工を行った。この場合、チャックで掴まれる第一の熱処理材の両端部を除く部分にひねり加工が施される。チャック間の距離が30 mmになるように、チャックで掴む第一の熱処理材の各端部の長さは10 mmとした。チャックで掴まれる第一の熱処理材の両端部を除く部分の長さが、ひねり加工が施される第一の熱処理材の上記長さLに相当する。つまり、ひねり加工が施される部分の長さは30 mmである。

[0138] ひねり加工は、ひねり加工が施された第一の熱処理材の表面におけるひずみ量が表2に示すひずみ量となるような条件で行った。ひねり加工は冷間で行った。例えば、試料No. 1のひねり加工の条件は、時計回りに6回転、

反時計回りに12回転、時計回りに6回転の順にひねる作業を1セットとし、これを3セット繰り返し行う条件とした。試料No. 101から試料No. 103、および試料No. 107は、他の試料に比べて、ひねり加工による断線が生じ易いため、十分なひずみ量となるようなひねり加工が困難であった。試料No. 101から試料No. 103、および試料No. 107では、ひずみ量が1.0未満、具体的には0.5以下となるようにひねり加工を行った。表2中、「ひずみ量」の欄が「<1.0」の場合、ひずみ量が1.0未満であることを示す。

[0139] ひねり加工を行った後、ひねり加工が施された第一の熱処理材を13mmの長さに切断した。試料No. 4は、ひねり加工が施された第一の熱処理材に第二の熱処理を行った。第二の熱処理の温度は350℃とした。第二の熱処理の時間は60分とした。表2中、「第二の熱処理 有無」の欄が「無」の場合、第二の熱処理を行っていないことを示し、「有」の場合、第二の熱処理を行ったことを示す。第二の熱処理を行った後、第二の熱処理が施された第二の熱処理材を室温まで冷却した。

[0140] 作製した磁性線の試料は、直径が0.3mmで、長さが13mmの丸線である。

[0141] (組成)

各試料の磁性線の組成を、ICP発光分光分析法を用いて調べた。磁性線の組成は、素材の組成と実質的に同じであり、表1に示すとおりである。

[0142] (組織)

各試料の磁性線の組織を、SEM-EBSDを用いて調べた。具体的には、各試料の磁性線の組織について、 α 相の面積割合、 α 相のKAM値、 α 相の平均結晶粒径、高角粒界の割合、および $\Sigma 3$ 粒界の割合を求めた。ここでは、磁性線を磁性線の長さとは直交する平面で切断して横断面をとる。この横断面を研磨する。研磨した横断面をEBSD法によって結晶解析する。 α 相の面積割合、 α 相の平均結晶粒径、高角粒界の割合、 $\Sigma 3$ 粒界の割合、および α 相のKAM値を測定するときの観察視野の大きさは $11\mu\text{m} \times 34\mu\text{m}$

とする。1つの横断面について、横断面の中心を通る直線上を等間隔で4点観察する。測定装置には、Carl Zeiss製SUPRA 35VPを用いた。EBSDの条件は、電子線の加速電圧を15kV、電子線の走査間隔を0.05 μ mとした。解析ソフトウェアには、株式会社TSLソリューションズ社製OIM Analysis Version 7.3を用いた。また、この解析ソフトウェアにおける信頼値係数（Confidence Index）が0.1以上のデータ点を採用した。

[0143] 図7は、EBSD法によって取得した試料No. 1のPhaseマップである。図7に示すPhaseマップは、 α 相を赤色、 γ 相を緑色で表示している。図7では、赤色の α 相が濃いグレーで表示され、緑色の γ 相が薄いグレーで表示されている。図8は、EBSD法によって取得した試料No. 1のI_Qマップである。図8に示すI_Qマップでは、結晶方位差が15°以上の粒界を結晶粒界と定義している。

[0144] 〈 α 相の面積割合〉

EBSD法により得られた結晶構造の解析結果に基づいて、観察視野内の α 相の面積と γ 相の面積をそれぞれ測定した。なお、B2規則相は α 相として検出した。但し、第一の熱処理の温度範囲が750℃超850℃以下であって、第二の熱処理を行っていない場合、B2規則相はほとんど形成されていないと考えられる。 α 相の面積割合は、 α 相の面積を α 相と γ 相との合計面積で割った割合として計算する。 α 相の面積割合は、上記4点の全ての観察視野について α 相の面積割合を求め、その平均値とした。 α 相の面積割合の測定結果を表2に示す。また、観察視野内の α 相と γ 相との合計面積の割合を求めた。 α 相と γ 相との合計面積の割合は、 α 相と γ 相との合計面積を観察視野の面積で割った割合として計算する。 α 相と γ 相との合計面積の割合も、上記4点の全ての観察視野における平均値とした。その結果、全ての試料において、 α 相と γ 相との合計面積の割合は98%以上であった。

[0145] 〈 α 相のKAM値〉

EBSD法により得られた結晶方位の解析結果に基づいて、観察視野にお

ける α 相のKAM値を測定した。 α 相のKAM値は、上記4点の全ての観察視野について α 相のKAM値を求め、その平均値とした。 α 相のKAM値の測定結果を表2に示す。

[0146] 〈 α 相の平均結晶粒径〉

EBSDF法により得られた結晶方位の解析結果に基づいて、観察視野における α 相の平均結晶粒径を測定した。ここでは、隣接する結晶粒の結晶方位差が 15° 以上を結晶粒界と定義する。 α 相の平均結晶粒径は、上記4点の全ての観察視野について α 相の面積加重平均径を求め、その平均値とした。 α 相の平均結晶粒径の測定結果を表2に示す。

[0147] 〈高角粒界の割合〉

EBSDF法により得られた結晶方位の解析結果に基づいて、観察視野内の結晶粒界を高角粒界と小角粒界とに分け、高角粒界の長さ和小角粒界の長さをそれぞれ測定した。ここでは、結晶方位差が 15° 以上の粒界を高角粒界、結晶方位差が 2° 以上 15° 未満の粒界を小角粒界と定義する。高角粒界の長さ和小角粒界の長さとの合計値を結晶粒界の全長とする。高角粒界の割合は、高角粒界の長さを結晶粒界の全長で割った割合として計算する。高角粒界の割合は、上記4点の全ての観察視野について高角粒界の割合を求め、その平均値とした。高角粒界の割合の測定結果を表2に示す。

[0148] 〈 $\Sigma 3$ 粒界の割合〉

EBSDF法により得られた結晶方位の解析結果に基づいて、観察視野内の結晶粒界から $\Sigma 3$ 粒界を分離して、 $\Sigma 3$ 粒界の長さを測定した。 $\Sigma 3$ 粒界の割合は、 $\Sigma 3$ 粒界の長さを結晶粒界の全長で割った割合として計算する。 $\Sigma 3$ 粒界の割合は、上記4点の全ての観察視野について $\Sigma 3$ 粒界の割合を求め、その平均値とした。 $\Sigma 3$ 粒界の割合の測定結果を表2に示す。

[0149] (出力特性)

各試料の磁性線の出力特性を評価した。出力特性の評価は次のようにして行う。磁性線をコイル内に配置したコイル部品を作製する。コイル部品の外部から交番磁界を印加して、コイルに発生するパルス電圧を経時的に測定す

る。試験条件は以下のとおりである。測定したパルス電圧を出力として表2に示す。また、パルス電圧のばらつきを変動係数として表2に示す。但し、試料No. 101から試料No. 104、試料No. 107および試料No. 110については、変動係数を求めている。

[0150] (試験条件)

- ・コイルのターン数は3000ターンである。コイルの長さは10mmである。
- ・4個の磁石と回転円盤とを用意する。各磁石のサイズは長さ9mm×幅5mm×板厚2.5mmである。4個の磁石はそれぞれ、回転円盤上に、回転円盤の中心軸の周りに90°ずつずれて配置される。各磁石は、回転円盤の中心軸の周りに極性が交互になるように並んでいる。4個の磁石が配置された回転円盤を一定の速度で回転させて交番磁界を発生させる。磁性線に対する作用磁界はこの交番磁界とする。回転円盤の回転数が大きいほど、コイルに発生するパルス電圧が高くなる。
- ・コイルの側面と磁石の側面との距離は8mmである。
- ・回転円盤の回転数は60rpm (revolutions per minute) である。

[0151] (パルス電圧の測定)

コイルに交番磁界が印加されている間、コイルには、正のパルス電圧と負のパルス電圧とが交互に発生する。パルス電圧は、次のようにして求めた。パルス数が合計で2000パルスになるまでの時間、パルス電圧を測定する。つまり、正のパルス電圧の数と負のパルス電圧の数がそれぞれ1000パルスになるまで、正のパルス電圧と負のパルス電圧をそれぞれ測定する。正のパルス電圧の平均値と負のパルス電圧の平均値との差を求め、これをパルス電圧とした。更に、パルス電圧の変動係数を求めた。パルス電圧の変動係数は、出力のばらつきを表す指標である。パルス電圧の変動係数が小さいほど、出力のばらつきが小さい。パルス電圧の変動係数は、正のパルス電圧の標準偏差を正のパルス電圧の平均値で割った値を百分率で表したものである。

。変動係数が7%以下であると、安定した出力が得られる。変動係数は、6%以下、更に5%以下でもよい。

[0152] [表1]

試料 No.	組成 (質量%)						
	Fe	Co	V	Si	Ti	Al	Mn
1	bal.	52.4	9.3	0.05	0.005	0.03	0.07
2	bal.	51.2	9.0	0.05	0.003	0.02	0.08
3	bal.	52.3	9.6	0.04	0.002	0.05	0.12
4	bal.	52.0	9.3	0.05	0.005	0.03	0.12
5	bal.	51.1	5.2	0.09	0.008	0.03	0.10
6	bal.	52.0	11.8	0.06	0.005	0.15	0.07
7	bal.	52.0	9.0	0.04	0.004	0.08	1.10
8	bal.	49.5	9.9	0.06	0.007	0.60	0.12
9	bal.	51.5	10.0	0.05	0.110	0.07	0.15
10	bal.	52.0	9.8	0.45	0.004	0.05	0.11
11	bal.	52.1	9.2	0.05	0.005	0.02	0.11
12	bal.	54.0	7.1	0.05	0.002	0.03	0.07
13	bal.	50.5	9.9	0.31	0.00	0.01	0.65
101	bal.	53.0	10.0	0.05	0.005	0.10	0.05
102	bal.	52.1	9.5	0.02	0.010	0.07	0.12
103	bal.	51.8	8.9	0.04	0.005	0.01	0.07
104	bal.	52.0	9.5	0.05	0.006	0.03	0.12
105	bal.	51.0	9.4	0.01	0.002	0.12	0.08
106	bal.	52.0	9.3	0.03	0.005	0.03	0.12
107	bal.	51.0	1.1	0.05	0.005	0.05	0.10
108	bal.	50.0	16.0	0.05	0.002	0.03	0.07
109	bal.	35.0	10.0	0.08	0.005	0.05	0.03
110	bal.	71.0	8.0	0.07	0.001	0.03	0.04

[0153]

[表2]

試料 No.	第一の 熱処理		ひねり加工 ひずみ量	第二の 熱処理		磁性線		組織					出力 (V)	変動 係数 (%)
	温度 (°C)			有 無		直径 (mm)	長さ (mm)	α相の 面積割合 (%)	α相の KAM値 (°)	α相の平均 結晶粒径 (μm)	高角粒界 の割合 (%)	Σ3粒界の 割合 (%)		
1	800		2.3		無	0.3	13	99.10	0.59	0.92	79.2	11.1	22.0	4
2	801		1.1		無	0.3	13	98.75	0.53	0.95	79.0	10.0	19.0	4
3	800		4.5		無	0.3	13	99.95	0.74	0.94	75.0	8.3	24.0	5
4	799		2.3		有	0.3	13	99.90	0.62	1.04	79.3	15.4	24.4	4
5	820		1.3		無	0.3	13	99.65	0.56	1.64	82.6	11.4	19.6	6
6	790		4.1		無	0.3	13	99.10	0.67	0.71	72.0	8.2	22.0	5
7	805		2.5		無	0.3	13	99.60	0.63	1.10	84.8	17.2	26.0	4
8	803		2.4		無	0.3	13	98.20	0.61	0.89	75.3	14.0	24.0	4
9	802		3.0		無	0.3	13	99.92	0.60	0.93	80.1	12.5	25.0	4
10	800		2.3		無	0.3	13	98.95	0.56	0.96	76.2	11.3	24.0	4
11	850		1.5		無	0.3	13	97.50	0.48	2.42	81.0	10.2	18.0	7
12	810		2.3		無	0.3	13	99.30	0.54	1.91	78.8	13.5	21.0	7
13	800		1.8		無	0.3	13	99.90	0.55	1.02	76.0	14.2	25.8	4
101	450		<1.0		無	0.3	13	99.10	0.91	0.35	44.2	1.1	2.9	-
102	550		<1.0		無	0.3	13	94.90	0.79	9.20	44.9	1.4	0.44	-
103	650		<1.0		無	0.3	13	81.10	0.57	5.03	51.0	2.1	0.22	-
104	750		3.2		無	0.3	13	52.30	0.34	1.50	68.3	8.0	0.22	-
105	900		2.2		無	0.3	13	99.90	0.51	5.10	80.5	11.2	13.2	9
106	1000		3.1		無	0.3	13	99.80	0.50	8.20	80.3	14.0	12.3	9
107	798		<1.0		無	0.3	13	99.90	0.34	11.00	73.5	3.0	6.6	-
108	805		2.2		無	0.3	13	88.00	0.36	5.21	77.0	3.2	10.5	8
109	810		2.2		無	0.3	13	99.00	0.37	4.56	74.0	4.5	12.0	8
110	790		2.2		無	0.3	13	80.00	0.35	12.00	77.7	4.5	4.5	-

[0154] 試料No. 1から試料No. 13の磁性線は、出力が15V以上であり、出力特性に優れる。更に、試料No. 1から試料No. 13の磁性線は、変動係数が7%以下であり、出力のばらつきが小さい。試料No. 1から試料No. 13の磁性線はいずれも、特定の組織を有している。具体的には、これらの磁性線の組織は、次の3つの要件を全て満たしている。α相の面積割合が90%以上、α相の平均結晶粒径が2.5μm以下、および高角粒界の

割合が60%以上である。更に、これらの磁性線の組織は、上述の3つの要件に加えて、 $\Sigma 3$ 粒界の割合が5%以上および α 相のKAM値が 0.45° 以上の両方を満たしている。

[0155] これに対し、試料No. 101から試料No. 110の磁性線は、出力が15V未満であり、試料No. 1から試料No. 13の磁性線に比較して出力特性に劣る。試料No. 101から試料No. 110の磁性線の組織はいずれも、上述の3つの要件のうち、少なくとも1つの要件を満たしていない。また、試料No. 101から試料No. 103の磁性線の組織はいずれも、高角粒界の割合、および $\Sigma 3$ 粒界の割合が小さい。

[0156] 以上から、特定の組織を有する磁性線は高い出力が得られると共に、安定した出力が得られることが分かる。

[0157] その他、この試験結果から以下のことが分かる。

(1) No. 1からNo. 3の比較から、ひねり加工によるひずみ量が大きいほど、高い出力が得られ易い。

[0158] (2) No. 1とNo. 4の比較から、第二の熱処理を行うことで、出力特性が向上する。

[0159] (3) No. 5、No. 6とNo. 107との比較から、添加元素としてVをある程度含むことで、ひねり加工が容易になる。この結果から、Vの含有量は2質量%以上、特に5質量%以上が好ましいと考えられる。また、No. 108の結果から、Vの含有量が多すぎると、特定の組織が得られない場合があり、出力特性が低下することがある。よって、Vの含有量の上限は12質量%が好ましいと考えられる。

[0160] No. 8、No. 12とNo. 109、No. 110との比較から、Coを特定の範囲で含むことで、出力特性が向上する。この結果から、Coの含有量は40質量%以上70質量%以下が好ましいと考えられる。また、No. 110の結果から、Coの含有量が多すぎると、特定の組織が得られない場合があり、出力特性が低下することがある。

[0161] (4) No. 1とNo. 7からNo. 10との比較から、添加元素としてS

i、Ti、Al、およびMnのうち、少なくとも1種をある程度含むことで、より高い出力が得られ易い。この結果から、Siの含有量は0.1質量%以上、更に0.2質量%以上が好ましいと考えられる。Tiの含有量は、0.05質量%以上、更に0.08質量%以上が好ましいと考えられる。Alの含有量は、0.2質量%以上、更に0.3質量%以上が好ましいと考えられる。Mnの含有量は、0.2質量%以上、更に0.4質量%以上が好ましいと考えられる。

[0162] (5) No. 1からNo. 11とNo. 107との比較から、 α 相のKAM値がある程度大きい方がより高い出力が得られ易い。この比較結果から、 α 相のKAM値は 0.47° 以上、更に 0.50° 以上が好ましいと考えられる。No. 107における α 相のKAM値が小さい理由は、ひねり加工によるひずみ量が小さいためと考えられる。No. 11における α 相のKAM値が、No. 1からNo. 10における α 相のKAM値よりも小さくなった理由は、第一の熱処理の温度が比較的高いためと考えられる。この結果から、第一の熱処理の温度は、表1に示す組成の場合、 840°C 以下、更に 820°C 以下がより好ましいと考えられる。

[0163] (6) 第一の熱処理温度を 750°C 超 850°C 以下の範囲としたNo. 1からNo. 12とNo. 101からNo. 104との比較から、第一の熱処理の温度が低すぎると、十分なひずみ量となるようなひねり加工が困難である。そのため、高い出力が得られ難い。また、No. 101からNo. 104の結果から、第一の熱処理の温度が低いと、上述の3つの要件を全て満たす特定の組織が得られない。No. 101は、高角粒界の割合が小さい。No. 102は、高角粒界の割合が小さい、かつ、 α 相の平均結晶粒径が大きい。No. 103は、 α 相の面積割合、および高角粒界の割合が小さい、かつ、 α 相の平均結晶粒径が大きい。また、No. 101からNo. 103はいずれも、 $\Sigma 3$ 粒界の割合が小さい。No. 104は、 α 相の面積割合が小さいことに加え、 α 相のKAM値が小さい。No. 101およびNo. 102における α 相の面積割合が大きい理由は、第一の熱処理の温度が低すぎるた

め、第一の熱処理を行う前の線材の組織の状態がある程度維持されたためと考えられる。No. 101からNo. 103における高角粒界の割合、およびΣ3粒界の割合が小さい理由は、第一の熱処理の温度が低いため、熱処理時にγ相に変態せず、冷却時にマルテンサイト変態が生じなかったためと考えられる。No. 102およびNo. 103におけるα相の平均結晶粒径が大きい理由は、再結晶化によるものと考えられる。No. 103およびNo. 104におけるα相の面積割合が小さい理由は、第一の熱処理によってγ相にVが偏析し、γ相が安定化したためと考えられる。以上のことから、第一の熱処理の温度は、表1に示す組成の場合、750℃超が好ましく、更に760℃以上がより好ましいと考えられる。No. 6の結果も考慮すれば、第一の熱処理の温度は、780℃以上、更に790℃以上がより好ましいと考えられる。

[0164] (7) 更に、No. 105およびNo. 106の結果から、第一の熱処理の温度が高すぎると、α相の平均結晶粒が大きくなることから、特定の組織が得られない。

[0165] [試験例2]

試験例2では、試験例1とは直径および長さの少なくとも一方が異なる磁性線の試料を作製した。

[0166] (試料の作製)

表3及び表4に示す試験例2の磁性線の試料は、試験例1と同様して作製した。以下、試験例2の試料について試験例1の試料とは異なる点を説明し、試験例1の試料と同じ点については説明を省略する。

[0167] 試験例2では、表3に示す組成の合金からなる素材を用意した。素材の直径は2.0mmである。

[0168] 試料No. 21および試料No. 22は、磁性線の直径が試験例1と異なる。試料No. 21は、伸線材の直径を0.2mmとした。試料No. 21における引き抜き加工の総加工度は99%である。試料No. 21では、試験例1と同じように、素材を直径0.6mmまで引き抜き加工した段階で中

間熱処理を1回実施した。試料No. 21において、中間熱処理を行った後、最終の引き抜き加工までの加工度は89%である。試料No. 22は、伸線材の直径を0.55mmとした。試料No. 22における引き抜き加工の総加工度は92%である。試料No. 22でも、素材を直径0.6mmまで引き抜き加工した段階で中間熱処理を1回実施した。試料No. 22において、中間熱処理を行った後、最終の引き抜き加工までの加工度は16%である。

- [0169] 試験例2において、第一の熱処理の温度は表4に示す温度とした。また、ひねり加工は、表4に示すひずみ量となるような条件で行った
- [0170] ひねり加工を行った後、ひねり加工が施された第一の熱処理材を切断した。試料No. 21では、第一の熱処理材を13mmの長さに切断した。試料No. 22から試料No. 25は、磁性線の長さが試験例1と異なる。試料No. 22では、第一の熱処理材を10mmに切断した。試料No. 23では、第一の熱処理材を7mmに切断した。試料No. 24では、第一の熱処理材を8.5mmに切断した。試料No. 25では、第一の熱処理材を15mmに切断した。
- [0171] 各試料の磁性線の組成を、ICP発光分光分析法を用いて組成を調べた。磁性線の組成は、素材の組成と実質的に同じであり、表3に示すとおりである。
- [0172] 各試料の磁性線の組織を、SEM-EBSDを用いて調べた。試験例1と同様に、 α 相の面積割合、 α 相のKAM値、 α 相の平均結晶粒径、高角粒界の割合、および $\Sigma 3$ 粒界の割合を求めた。その結果を表4に示す。
- [0173] 各試料の磁性線の出力量特性を、試験例1と同様にして評価した。その結果を表4に示す。
- [0174]

[表3]

試料 No.	組成 (質量%)						
	Fe	Co	V	Si	Ti	Al	Mn
21	bal.	52.3	9.2	0.05	0.002	0.02	0.09
22	bal.	49.8	9.3	0.03	0.003	0.02	0.08
23	bal.	51.2	9.6	0.09	0.002	0.03	0.07
24	bal.	47.9	9.5	0.05	0.004	0.04	0.07
25	bal.	50.0	9.3	0.02	0.005	0.03	0.07

[0175]

[表4]

試料 No.	第一の 熱処理 温度 (°C)	ひねり加工 ひずみ量	第二の 熱処理 有無	磁性線		組織					出力 (V)	変動 係数 (%)
				直径 (mm)	長さ (mm)	α相の 面積割合 (%)	α相の KAM値 (°)	α相の平均 結晶粒径 (μm)	高角粒界 の割合 (%)	Σ3粒界の 割合 (%)		
21	800	2.3	無	0.2	13	99.20	0.58	1.92	81.0	13.2	17.0	4
22	800	2.3	無	0.55	10	99.15	0.76	1.33	73.5	11.3	23.3	6
23	800	2.3	無	0.3	7	99.50	0.58	1.77	83.0	18.9	17.5	7
24	800	2.3	無	0.3	8.5	98.95	0.70	1.15	71.0	8.9	19.0	6
25	800	2.3	無	0.3	15	99.90	0.56	0.65	74.9	16.1	24.0	4

[0176] 試料No. 21から試料No. 25の磁性線は、出力が15V以上で、かつ、変動係数が7%以下であり、高い出力特性を有している。試料No. 21から試料No. 25の磁性線はいずれも、表2に示す試験例1の試料No. 1から試料No. 13と同じように、特定の組織を有している。試料No.

． 21 は、磁性線の直径が小さくても、十分な出力特性を有している。試料 No. 23 は、磁性線の長さが短くても、十分な出力特性を有している。この試験結果から、特定の組織を有する磁性線は、サイズが小さくても、十分な出力特性を確保できることが分かる。

[0177] [試験例3]

種々の条件で表6及び表7に示す複合磁性線の試料を作製した。作製した複合磁性線の評価した。

[0178] (試料の作製)

複合磁性線の試料は、上述した複合磁性線の製造方法によって作製した。ここでは、試験例1の試料 No. 1と同じ組成の合金からなる芯材と、Fe-65Ni合金からなる芯材とを用意した。表6に示すように、試料 No. 31から試料 No. 49、および試料 No. 111の芯材は、FeCoV合金からなる。試料 No. 112の芯材は、Fe-65Ni合金からなる。Fe-65Ni合金は、Niを65質量%含み、残部がFeおよび不可避不純物からなる合金である。Fe-65Niの融点は1250℃である。芯材を構成する合金の融点を表5に示す。芯材は、合金を真空溶解した後、線状に熱間加工して製造されたものである。芯材の形状は丸線である。即ち、芯材の横断面の形状は円形状である。芯材の直径は2.0mmである。

[0179] 芯材の外周面に被覆材を被覆して被覆線材を得た。ここでは、表5に示す金属からなる被覆材を被覆した。被覆材の材質は、SUS304L、SUS316L、パーマロイB、ニクロム、リン青銅、またはFeCoV合金のいずれかである。被覆材を構成する金属の融点を表5に示す。表6に示すように、試料 No. 31から試料 No. 45、試料 No. 49、および試料 No. 111の被覆材はSUS316Lからなる。試料 No. 46の被覆材はSUS304Lからなる。試料 No. 47の被覆材はニクロムからなる。試料 No. 48の被覆材はパーマロイBからなる。試料 No. 112の被覆材はFeCoV合金からなる。FeCoV合金からなる被覆材の組成は、Coを52質量%、Vを10質量%含み、残部がFeおよび不可避不純物からなる

組成である。このFeCoV合金の融点は1300℃程度である。被覆材は、クラッド法によって、芯材の外周面に被覆した。具体的には、被覆材を構成する金属からなるパイプに芯材を挿入した状態で引き抜くことにより、芯材の外周面に被覆材をクラッドした。上記パイプの内径は約2.1mmである。上記パイプの厚さは、複合磁性線の試料において、芯材の比率が表6に示す値となるように調整した。

[0180] [表5]

芯材または被覆材の材質	融点(°C)
FeCoV	約1300
Fe-65Ni	1250
SUS304L	1300以上
SUS316L	1300以上
パーマロイB	1250
ニクロム	1300以上

[0181] 被覆線材を引き抜き加工して伸線材を得た。伸線材の形状は丸線である。即ち、伸線材の横断面の形状は円形状である。伸線材の直径は0.3mmまたは0.4mmである。試料No. 49では、伸線材の直径が0.4mmである。試料No. 49以外の試料では、伸線材の直径が0.3mmである。総加工度は97.75%超である。引き抜き加工は冷間で行った。ここでは、複数回の引き抜き加工を行い、引き抜き加工の途中で中間熱処理を行った。中間熱処理は、被覆線材を直径0.6mmまで引き抜き加工した段階で1回実施した。中間熱処理を実施した後、伸線材の直径が0.3mmとなるまで引き抜き加工を施した。中間熱処理を行った後、最終の引き抜き加工までの加工度は75%とした。中間熱処理の温度は800℃とした。中間熱処理の時間は60分とした。中間熱処理は水素雰囲気下で行った。中間熱処理後の冷却速度は10℃/秒以上とした。

- [0182] 伸線材に第一の熱処理を行った。第一の熱処理の温度は表6に示す温度とした。第一の熱処理の時間は60分とした。第一の熱処理は水素雰囲気下で行った。第一の熱処理を行った後、第一の熱処理が施された第一の熱処理材を室温まで冷却した。第一の熱処理後の冷却速度は10℃/秒以上とした。
- [0183] 第一の熱処理材にひねり加工を行った。ひねり加工の方法は、試験例1と同様である。ひねり加工は、表6に示すひずみ量となるような条件で行った。また、試料No. 31から試料No. 49、試料No. 111および試料No. 112では、第一の熱処理材がひねられた状態でひねり加工を終了した。具体的には、第一の熱処理材をひねり加工する際に、時計回りの合計の回転数と反時計回りの合計の回転数とが異なるように調整した。
- [0184] ひねり加工を行った後、ひねり加工が施された第一の熱処理材を13mmまたは10mmの長さに切断した。試料No. 49は10mmの長さに切断した。試料No. 49以外の試料は13mmの長さに切断した。試料No. 36は、ひねり加工が施された第一の熱処理材に第二の熱処理を行った。第二の熱処理の温度は300℃とした。第二の熱処理の時間は60分とした。表6中、「第二の熱処理 有無」の欄が「無」の場合、第二の熱処理を行っていないことを示し、「有」の場合、第二の熱処理を行ったことを示す。第二の熱処理を行った後、第二の熱処理が施された第二の熱処理材を室温まで冷却した。
- [0185] 作製した複合磁性線の試料は、試料No. 49を除いて、直径が0.3mmで、長さが13mmの丸線である。試料No. 49の複合磁性線は、直径が0.4mmで、長さが10mmの丸線である。
- [0186] 試料No. 1aおよび試料No. 1bの磁性線を作製した。試料No. 1aおよび試料No. 1bは、試験例1の試料No. 1と同じように被覆材を備えていない。試料No. 1aおよび試料No. 1bは、製造工程におけるひねり加工の条件が異なる以外は、試料No. 1と同様にして作製した。試料No. 1aおよび試料No. 1bの磁性線の組成は、試料No. 1の磁性線の組成と実質的に同じである。試料No. 1aおよび試料No. 1bは、

表6に示すひずみ量となるような条件で、第一の熱処理材にひねり加工を行った。ただし、試料No. 1aおよび試料No. 1bでは、第一の熱処理材がひねられた状態でひねり加工を終了した。つまり、試料No. 1aおよび試料No. 1bは、ひねられた状態の磁性線である。ひねられた状態の磁性線は、磁性線の外周面にひねり痕を有する。試料No. 1aと試料No. 1bとは、第一の熱処理材をひねり加工する際に、時計回りの回転数と反時計回りの回転数との合計が同じであるが、時計回りの回転数と反時計回りの回転数との差が異なる。

[0187] 各試料の複合磁性線における芯材の組成を、EDX法を用いて組成を調べた。試料No. 31から試料No. 49、および試料No. 111における芯材の組成は、試験例1の試料No. 1の磁性線の組成と実質的に同じであった。試料No. 112における芯材の材質は、Fe-65Ni合金であった。また、被覆材の組成をEDX法を用いて分析した結果、被覆材の材質は表6に示すとおりであった。

[0188] 各試料の複合磁性線について、芯材および被覆材のそれぞれのビッカース硬さを求めた。それぞれのビッカース硬さは、上記「〈ビッカース硬さの測定方法〉」の項目に記載した方法により求めた。その結果を表6に示す。また、試料No. 1、試料No. 1aおよび試料No. 1bの各磁性線についても、ビッカース硬さを求めた。磁性線のビッカース硬さは、芯材のビッカース硬さと同様にして求めた。その結果も表6に示す。

[0189] 各試料の複合磁性線について、被覆材の融点を求めた。被覆材の融点は、上記「〈融点の測定方法〉」の項目に記載した方法により求めた。被覆材の融点は、表5に示す融点と同じであった。

[0190] 各試料の複合磁性線における芯材の比率を表6に示す。芯材の比率は、次のようにして求めた。複合磁性線の横断面を光学顕微鏡で観察し、芯材の直径と複合磁性線の直径をそれぞれ求めた。芯材の比率は、芯材の直径を複合磁性線の直径で割って求めた。

[0191] 各試料の複合磁性線におけるひねり痕の角度を表6に示す。ひねり痕の角

度は、次のようにして求めた。被覆材の外周面を光学顕微鏡で観察し、複合磁性線の軸線に対するひねり痕の傾斜角度を測定した。ひねり痕の角度は、20本以上のひねり痕の傾斜角度を測定し、その平均値とした。試料No. 1 aおよび試料No. 1 bの各磁性線についても、ひねり痕の角度を求めた。各磁性線のひねり痕の角度は、次のようにして求めた。磁性線の外周面を光学顕微鏡で観察し、磁性線の軸線に対するひねり痕の傾斜角度を測定した。複合磁性線の試料と同様に、20本以上のひねり痕の傾斜角度を測定して、その平均値を求めた。試料No. 1 aおよび試料No. 1 bの各磁性線におけるひねり痕の角度を表6に示す。

[0192] 各試料の複合磁性線における芯材の組織、および試料No. 1 aおよび試料No. 1 bの各磁性線の組織を、SEM-EBSDを用いて調べた。試験例1と同様に、 α 相の面積割合、 α 相のKAM値、 α 相の平均結晶粒径、高角粒界の割合、および $\Sigma 3$ 粒界の割合を求めた。その結果を表7に示す。

[0193] 各試料の複合磁性線の出力量特性、および試料No. 1 aおよび試料No. 1 bの各磁性線の出力量特性を、試験例1と同様にして評価した。その結果を表7に示す。

[0194]

[表6]

試料 No.	第一の 熱処理	ひねり 加工	第二の 熱処理	複合磁性線		芯材		被覆材		芯材 の比率 (%)	ひねり痕 の角度 (°)
	温度 (°C)	ひずみ量	有無	直径 (mm)	長さ (mm)	材質	硬さ (HV)	材質	硬さ (HV)		
1	800	2.3	無	0.3	13	FeCoV	430	-	-	-	-
1a	800	2.3	無	0.3	13	FeCoV	445	-	-	-	11.0
1b	800	2.3	無	0.3	13	FeCoV	424	-	-	-	30.0
31	800	1.67	無	0.3	13	FeCoV	425	SUS316L	399	89.5	32.0
32	800	1.67	無	0.3	13	FeCoV	398		422	86.6	31.5
33	800	1.67	無	0.3	13	FeCoV	445		435	81.6	31.1
34	800	0.81	無	0.3	13	FeCoV	424		388	75.0	22.5
35	800	1.05	無	0.3	13	FeCoV	429		405		32.4
36	800	1.06	有	0.3	13	FeCoV	565		411		29.9
37	800	1.11	無	0.3	13	FeCoV	441		427		38.0
38	800	1.27	無	0.3	13	FeCoV	428		439		44.0
39	800	1.19	無	0.3	13	FeCoV	433		391		5.1
40	800	1.51	無	0.3	13	FeCoV	419		419		23.2
41	800	1.67	無	0.3	13	FeCoV	447		428		32.8
42	800	1.83	無	0.3	13	FeCoV	432		441		39.1
43	800	1.99	無	0.3	13	FeCoV	410		449		50.5
44	800	2.72	無	0.3	13	FeCoV	399		452	31.0	
45	800	1.67	無	0.3	13	FeCoV	406		418	67.0	28.2
46	800	1.67	無	0.3	13	FeCoV	425		SUS304L	428	77.0
47	800	1.67	無	0.3	13	FeCoV	412	ニッケル	390	81.4	31.6
48	800	1.67	無	0.3	13	FeCoV	445	ハニヤ	242	81.3	32.7
49	800	1.67	無	0.4	10	FeCoV	430	SUS316L	440	80.0	30.2
111	802	1.67	無	0.3	13	FeCoV	430	SUS316L	410	30.0	32.5
112	250	1.0	無	0.3	13	Fe-65Ni	230	FeCoV	450	57.0	15.0

[0195]

[表7]

試料 No.	芯材の組織					出力 (V)	変動 係数 (%)
	α 相の 面積割合 (%)	α 相の KAM値 ($^{\circ}$)	α 相の平均 結晶粒径 (μm)	高角粒界 の割合 (%)	$\Sigma 3$ 粒界の 割合 (%)		
1	99.10	0.59	0.92	79.2	11.1	22.0	4
1a	99.40	0.58	0.95	78.9	15.5	23.2	4
1b	98.95	0.60	1.01	81.0	13.8	23.5	4
31	99.80	0.62	1.25	78.5	15.6	25.2	4
32	99.75	0.63	1.05	81.3	15.9	28.3	4
33	99.95	0.57	1.10	77.5	15.8	29.7	4
34	99.10	0.55	1.02	84.9	18.5	24.3	4
35	98.90	0.54	1.07	84.0	17.8	29.2	4
36	98.85	0.55	1.05	82.2	17.3	29.8	4
37	99.50	0.57	0.99	81.0	17.2	28.7	4
38	99.75	0.59	1.05	79.2	17.1	25.4	4
39	99.50	0.52	1.22	84.5	18.4	25.2	4
40	99.65	0.55	1.20	82.5	17.1	26.3	4
41	99.85	0.58	1.12	81.2	16.7	29.8	4
42	99.85	0.59	1.04	79.4	16.3	28.6	4
43	99.90	0.60	1.09	78.3	16.2	27.8	4
44	98.85	0.64	0.98	77.2	15.5	25.2	5
45	98.95	0.61	1.08	79.5	13.8	24.1	4
46	99.15	0.55	1.27	79.5	17.0	28.8	4
47	99.30	0.65	0.99	80.0	15.8	28.0	4
48	98.90	0.57	1.28	80.5	18.3	27.5	5
49	99.60	0.58	1.03	79.0	15.1	28.0	4
111	98.90	0.62	1.00	78.3	12.6	15.0	4
112	99.50	0.91	0.31	39.0	2.8	14.0	12

[0196] 試料No. 31から試料No. 49の複合磁性線は、試料No. 1、試料No. 1aおよび試料No. 1bの各磁性線よりも高い出力特性を有している。試料No. 31から試料No. 49の複合磁性線は、出力が24V以上である。試料No. 31から試料No. 49の複合磁性線の芯材はいずれも、試料No. 1の磁性線と同じように、特定の組織を有している。具体的には、これらの複合磁性線における芯材の組織は、次の3つの要件を全て満たしている。 α 相の面積割合が90%以上、 α 相の平均結晶粒径が $2.5\mu\text{m}$

以下、および高角粒界の割合が60%以上である。更に、芯材の組織は、上述の3つの要件に加えて、 $\Sigma 3$ 粒界の割合が5%以上および α 相のKAM値が 0.45° 以上の両方を満たしている。

[0197] 試料No. 31から試料No. 49の複合磁性線における芯材の比率は、45%以上95%以下である。芯材の比率が30%である試料No. 111の複合磁性線は、試料No. 1、試料No. 1aおよび試料No. 1bの各磁性線よりも出力が低い。

[0198] 試料No. 31から試料No. 49の複合磁性線は、変動係数が7%以下であり、出力のばらつきが小さい。試料No. 49は、複合磁性線の長さが短くても、十分な出力特性を有している。これに対し、試料No. 112の複合磁性線は、変動係数が7%超であり、出力のばらつきが大きい。試料No. 112は、出力が15V未満であり、試料No. 31から試料No. 49に比較して出力特性に劣る。試料No. 112の複合磁性線の芯材は、上述の特定の組織を有していない。具体的には、試料No. 112の複合磁性線における芯材の組織は、高角粒界の割合が60%未満であり、更に $\Sigma 3$ 粒界の割合が5%未満である。

[0199] その他、この試験結果から以下のことが分かる。

(1) No. 31からNo. 33、No. 41およびNo. 45は、ひずみ量が等しくなるようにひねり加工が施されている。また、これらの試料は、被覆材の材質が同じである。No. 31からNo. 33の比較から、芯材の比率がある程度小さい方が高い出力が得られ易い。芯材の比率の上限は、95%、更に90%、特に85%が好ましいと考えられる。No. 41およびNo. 45の比較から、芯材の比率がある程度大きい方が高い出力が得られ易い。芯材の比率の下限は、48%、更に55%、特に60%が好ましいと考えられる。

[0200] (2) No. 35からNo. 43は、芯材の比率が等しい。加えて、これらの試料は、ひねり加工によるひずみ量が1.0以上2.0以下の範囲内である。これらの試料の比較から、ひねり痕の角度が 4° 以上 60° 以下、更

に 5° 以上 55° 以下、特に 20° 以上 40° 以下である場合、高い出力が得られ易いと考えられる。

[0201] (3) N o. 33、およびN o. 46からN o. 48の比較から、被覆材のビッカース硬さが高いほど、高い出力が得られ易い。被覆材の材質はステンレス鋼が好ましいと考えられる。被覆材のビッカース硬さは、特に300HV以上が好ましいと考えられる。

[0202] (4) N o. 34からN o. 37、N o. 40からN o. 42、およびN o. 44は、芯材の比率が等しい。加えて、これらの試料は、ひねり痕の角度が 20° 以上 40° 以下の範囲内である。これらの試料の比較から、ひねり加工によるひずみ量が0.8以上3.0以下、更に1.0以上2.0以下である場合、高い出力が得られ易いと考えられる。

[0203] (5) N o. 35とN o. 36の比較から、第二の熱処理を行うことで、出力特性が向上する。また、第二の熱処理によって芯材の硬さが高くなる。

[0204] 《付記》

以上説明した本開示の実施形態に関連して、更に以下の付記を開示する。

[0205] [付記1]

鉄とコバルトとを主成分として含む合金からなる芯材を引き抜き加工して伸線材を得る工程と、

前記伸線材に第一の熱処理を施して第一の熱処理材を得る工程と、

前記第一の熱処理材の外周面に被覆材を被覆することによって被覆線材を得る工程と、

前記被覆線材にひねり加工を行う工程とを備え、

前記第一の熱処理は、前記第一の熱処理材における芯材の合金の組織が α 相と γ 相とを含み、前記芯材の断面における前記 α 相と前記 γ 相との合計面積に対する前記 α 相の面積の割合が90%以上となるような条件で行う、

複合磁性線の製造方法。

[0206] 付記1に記載の複合磁性線の製造方法は、出力特性に優れる複合磁性線を製造できる。その理由は、第一の熱処理によって、第一の熱処理材における

芯材の組織が α 相と γ 相とが共存した特定の組織となるように制御するからである。付記1の製造方法によれば、第一の熱処理材にひねり加工を行うことによって、出力特性が高い複合磁性線を得ることができる。

[0207] また、付記1の製造方法では、芯材に被覆材が被覆された状態でひねり加工が施される。複合磁性線にひねり加工が施されると、芯材の外周面近傍において、芯材が被覆材に引っ張られて、芯材が芯材の長さに沿って伸ばされる。ひねり加工によって、芯材の長さに沿った引張の残留応力が芯材に導入される。その結果、引張の残留応力が増加することで、芯材の一軸異方性が高くなる。芯材の一軸異方性が高くなるため、芯材の出力特性が向上する。

[0208] 付記1に記載の複合磁性線の製造方法は、被覆材を被覆する前に第一の熱処理を実施する点で、上述した実施形態に係る複合磁性線の製造方法と異なる。付記1の製造方法では、[伸線] → [第一の熱処理] → [被覆] → [ひねり加工]の順に工程が進む。付記1の製造方法の場合、芯材を引き抜き加工した後、第一の熱処理を実施する。そして、第一の熱処理を行った後、第一の熱処理材に被覆材を被覆する。これに対し、実施形態に係る複合磁性線の製造方法では、[被覆] → [伸線] → [第一の熱処理] → [ひねり加工]の順に工程が進む。実施形態の製造方法の場合、最初に芯材に被覆材を被覆する。そして、被覆線材を引き抜き加工した後、第一の熱処理を実施する。つまり、付記1の製造方法では、第一の熱処理を行う工程において、芯材に被覆材が被覆されていない。芯材に被覆材が被覆されていない状態で第一の熱処理を行うため、被覆材の融点が第一の熱処理の温度よりも低くてもよい。被覆材の融点は850℃以下であってもよい。付記1の製造方法の場合、被覆材は、実施形態の製造方法に用いられる被覆材よりも低融点の金属を用いることができる。

[0209] また、付記1の製造方法の場合、被覆材は、めっき法によって形成してもよい。被覆材をめっき法によって形成した場合、第一の熱処理材に圧縮ひずみが生じないため、芯材の出力特性に影響を及ぼし難い。一方、被覆材をクラッド法によって形成した場合は、第一の熱処理材に圧縮ひずみが生じるた

め、芯材の出力特性に影響を及ぼすおそれがある。付記1の製造方法では、伸線工程の後、被覆工程を行うため、被覆線材の表面には伸線痕が残っていない。ひねり加工工程において被覆線材にひねり加工が施されると、被覆線材の表面が変形することにより、被覆線材の表面に筋状のひねり痕が形成される。したがって、付記1の製造方法によって得られた複合磁性線は、実施形態の製造方法によって得られた複合磁性線と同様に、ひねり痕を有する。

[0210] [付記2]

前記ひねり加工を行う工程は、前記ひねり加工が施された被覆線材の表面におけるひずみ量が0.8以上3.0以下となるような条件で行う、付記1に記載の複合磁性線の製造方法。

[0211] 付記2の製造方法によれば、出力特性が高い複合磁性線を安定して製造できる。ひずみ量が0.8以上3.0以下となるような条件でひねり加工を行う理由は、上述した実施形態に係る複合磁性線の製造方法と同様である。

[0212] [付記3]

前記ひねり加工を行う工程の後、前記ひねり加工後の被覆線材に第二の熱処理を行う工程、または、前記ひねり加工を行う工程と同時に、前記ひねり加工中の被覆線材に第二の熱処理を行う工程を備え、

前記第二の熱処理は、前記ひねり加工後の被覆線材、または前記ひねり加工中の被覆線材を150℃以上400℃以下の温度で熱処理する、付記1または付記2に記載の複合磁性線の製造方法。

[0213] 付記3の製造方法によれば、複合磁性線の出力特性を高めることができる。第二の熱処理を行う理由は、上述した実施形態に係る複合磁性線の製造方法と同様である。

[0214] [付記4]

前記第一の熱処理は、前記伸線材を750℃超850℃以下の温度で熱処理する、付記1から付記3のいずれか1つに記載の複合磁性線の製造方法。

[0215] 付記4の製造方法によれば、第一の熱処理材における芯材の組織が上述の特定の組織となるように制御し易い。第一の熱処理の温度を750℃超85

0°C以下とする理由は、上述した実施形態に係る複合磁性線の製造方法と同様である。

[0216] [付記5]

前記伸線材を得る工程は、前記芯材を10%以上の加工度で引き抜き加工する工程を含む、付記1から付記4のいずれか1つに記載の複合磁性線の製造方法。

[0217] 付記5の製造方法によれば、出力特性が高い複合磁性線を得易い。芯材を10%以上の加工度で引き抜き加工する理由は、上述した実施形態に係る複合磁性線の製造方法と同様である。

[0218] なお、本発明はこれらの例示に限定されるものではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

- [0219] 1 磁性線
2 複合磁性線
10 組織、11 α 相、12 γ 相
20 結晶粒界、21 高角粒界、22 小角粒界
23 Σ 3粒界
30 芯材
40 被覆材
50 ひねり痕
D、D1、D2 直径、L、L2 長さ、r 半径
 θ ひねり角度、 θ_t ひねり痕の角度

請求の範囲

- [請求項1] 鉄とコバルトとを主成分として含む合金からなる磁性線であって、
 α 相と γ 相のうち、少なくとも前記 α 相を含む組織を有し、
前記組織は、結晶方位差が 15° 以上の高角粒界を有し、
前記磁性線の断面における前記 α 相と前記 γ 相との合計面積に対する前記 α 相の面積の割合が90%以上であり、
前記断面における前記 α 相の平均結晶粒径が $2.5\mu\text{m}$ 以下であり、
、
前記断面における前記組織中の結晶粒界の全長に対する前記高角粒界の長さの割合が60%以上である、
磁性線。
- [請求項2] 前記合金は、コバルトを40質量%以上70質量%以下、バナジウムを2質量%以上12質量%以下含み、残部が鉄および不可避不純物からなる組成を有する、請求項1に記載の磁性線。
- [請求項3] 前記合金は、コバルトを40質量%以上70質量%以下、バナジウムを2質量%以上12質量%以下含み、更に、シリコンを0.1質量%以上1.0質量%以下、チタンを0.05質量%以上0.5質量%以下、アルミニウムを0.2質量%以上1.0質量%以下、およびマンガン0.2質量%以上1.2質量%以下からなる群より選択される少なくとも1つを含み、残部が鉄および不可避不純物からなる組成を有する、請求項1に記載の磁性線。
- [請求項4] 更に、前記組織は $\Sigma 3$ 粒界を有し、
前記結晶粒界の全長に対する前記 $\Sigma 3$ 粒界の長さの割合が5%以上である、請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の磁性線。
- [請求項5] 前記断面における前記 α 相のKAM値が 0.45° 以上である、請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の磁性線。
- [請求項6] 前記磁性線の直径が0.1mm以上1.0mm以下であり、
前記磁性線の長さが25mm以下である、請求項1から請求項5の

いずれか1項に記載の磁性線。

[請求項7] 芯材と、前記芯材の外周面を覆う被覆材とを備える複合磁性線であって、

前記芯材は、請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の磁性線からなり、

前記複合磁性線の直径に対する前記芯材の直径の割合が45%以上95%以下である、

複合磁性線。

[請求項8] 前記被覆材の融点が850℃超である、請求項7に記載の複合磁性線。

[請求項9] 前記被覆材のビッカース硬さが200HV以上である、請求項7または請求項8に記載の複合磁性線。

[請求項10] 前記被覆材の外周面にひねり痕を有し、
前記複合磁性線の軸線に対する前記ひねり痕の角度が4°以上60°以下である、請求項7から請求項9のいずれか1項に記載の複合磁性線。

[請求項11] 鉄とコバルトとを主成分として含む合金からなる素材を引き抜き加工して伸線材を得る工程と、

前記伸線材に第一の熱処理を施して第一の熱処理材を得る工程と、
前記第一の熱処理材にひねり加工を行う工程とを備え、

前記第一の熱処理は、前記第一の熱処理材の合金の組織が α 相と γ 相とを含み、前記第一の熱処理材の断面における前記 α 相と前記 γ 相との合計面積に対する前記 α 相の面積の割合が90%以上となるような条件で行う、

磁性線の製造方法。

[請求項12] 前記ひねり加工を行う工程は、前記ひねり加工が施された第一の熱処理材の表面におけるひずみ量が1.0以上4.5以下となるような条件で行う、請求項11に記載の磁性線の製造方法。

- [請求項13] 前記ひねり加工を行う工程の後、前記ひねり加工後の第一の熱処理材に第二の熱処理を行う工程、または、前記ひねり加工を行う工程と同時に、前記ひねり加工中の第一の熱処理材に第二の熱処理を行う工程を備え、
- 前記第二の熱処理は、前記ひねり加工後の第一の熱処理材、または前記ひねり加工中の第一の熱処理材を150℃以上400℃以下の温度で熱処理する、請求項11または請求項12に記載の磁性線の製造方法。
- [請求項14] 前記第一の熱処理は、前記伸線材を750℃超850℃以下の温度で熱処理する、請求項11から請求項13のいずれか1項に記載の磁性線の製造方法。
- [請求項15] 前記伸線材を得る工程は、前記素材を10%以上の加工度で引き抜き加工する工程を含む、請求項11から請求項14のいずれか1項に記載の磁性線の製造方法。
- [請求項16] 鉄とコバルトとを主成分として含む合金からなる芯材の外周面に被覆材を被覆することによって被覆線材を得る工程と、
- 前記被覆線材を引き抜き加工して伸線材を得る工程と、
- 前記伸線材に第一の熱処理を施して第一の熱処理材を得る工程と、
- 前記第一の熱処理材にひねり加工を行う工程とを備え、
- 前記第一の熱処理は、前記第一の熱処理材における芯材の合金の組織が α 相と γ 相とを含み、前記芯材の断面における前記 α 相と前記 γ 相との合計面積に対する前記 α 相の面積の割合が90%以上となるような条件で行う、
- 複合磁性線の製造方法。
- [請求項17] 前記ひねり加工を行う工程は、前記ひねり加工が施された第一の熱処理材の表面におけるひずみ量が0.8以上3.0以下となるような条件で行う、請求項16に記載の複合磁性線の製造方法。
- [請求項18] 前記ひねり加工を行う工程の後、前記ひねり加工後の第一の熱処理

材に第二の熱処理を行う工程、または、前記ひねり加工を行う工程と同時に、前記ひねり加工中の第一の熱処理材に第二の熱処理を行う工程を備え、

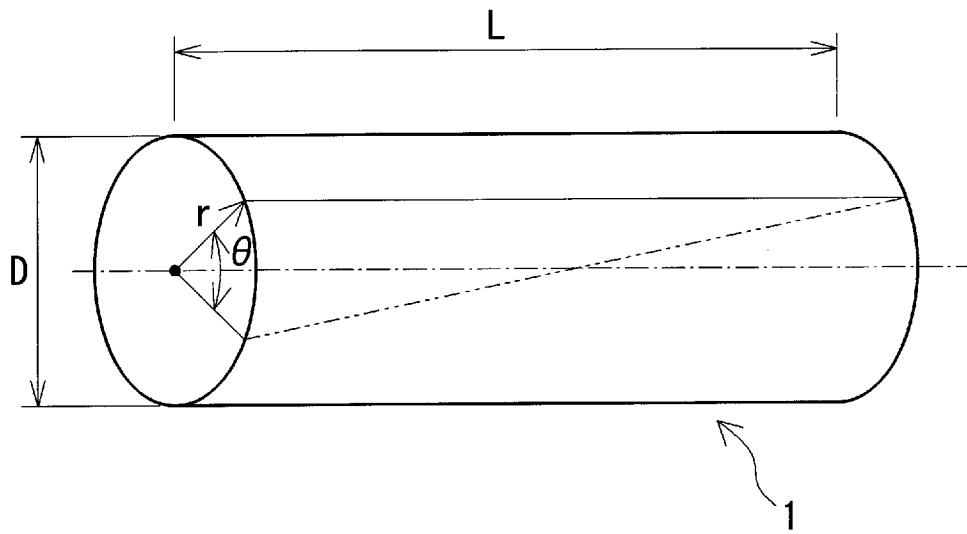
前記第二の熱処理は、前記ひねり加工後の第一の熱処理材、または前記ひねり加工中の第一の熱処理材を150℃以上400℃以下の温度で熱処理する、請求項16または請求項17に記載の複合磁性線の製造方法。

[請求項19] 前記第一の熱処理は、前記伸線材を750℃超850℃以下の温度で熱処理する、請求項16から請求項18のいずれか1項に記載の複合磁性線の製造方法。

[請求項20] 前記伸線材を得る工程は、前記被覆線材の前記芯材を10%以上の加工度で引き抜き加工する工程を含む、請求項16から請求項19のいずれか1項に記載の複合磁性線の製造方法。

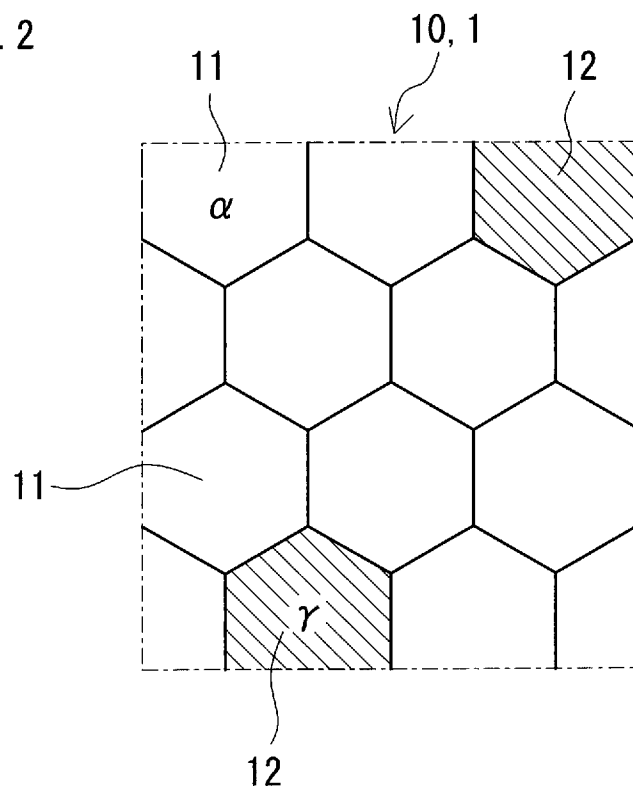
[図1]

Fig. 1



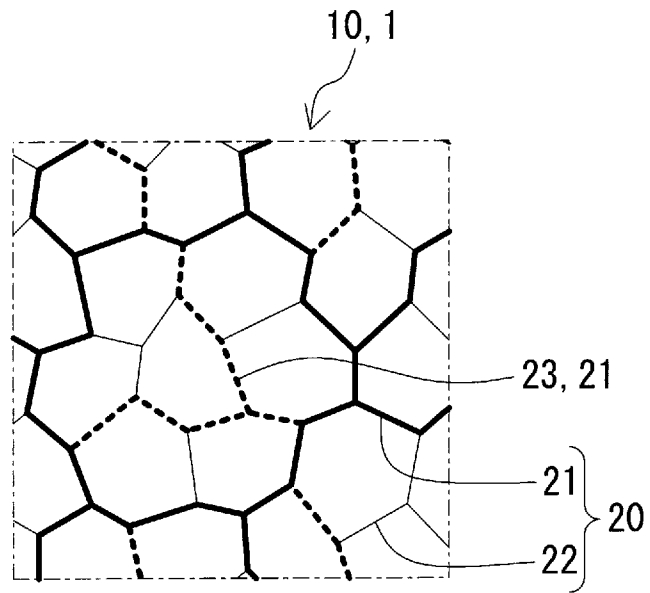
[図2]

Fig. 2



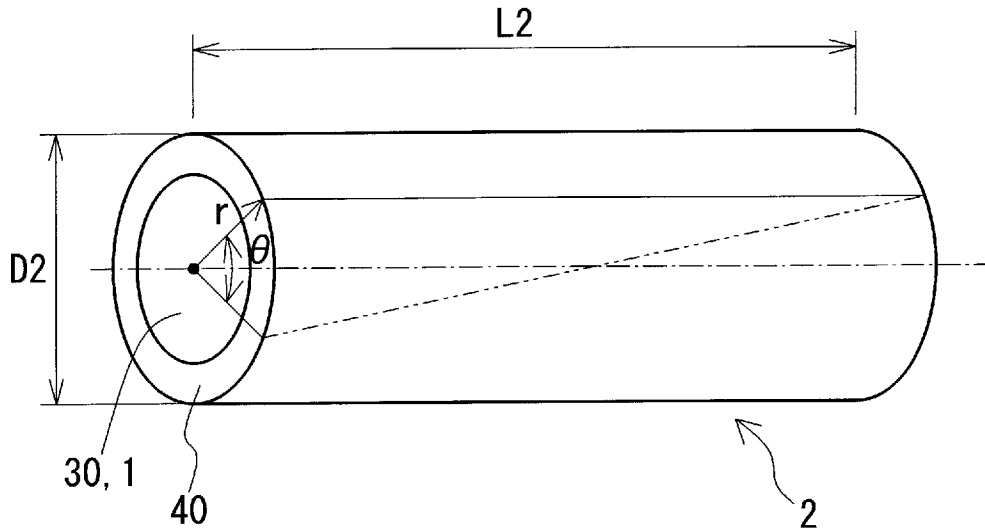
[図3]

Fig. 3



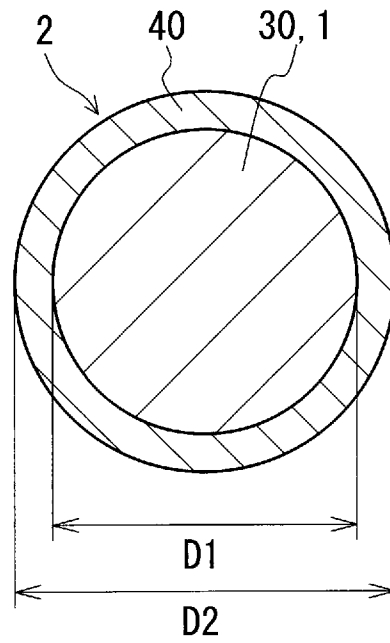
[図4]

Fig. 4



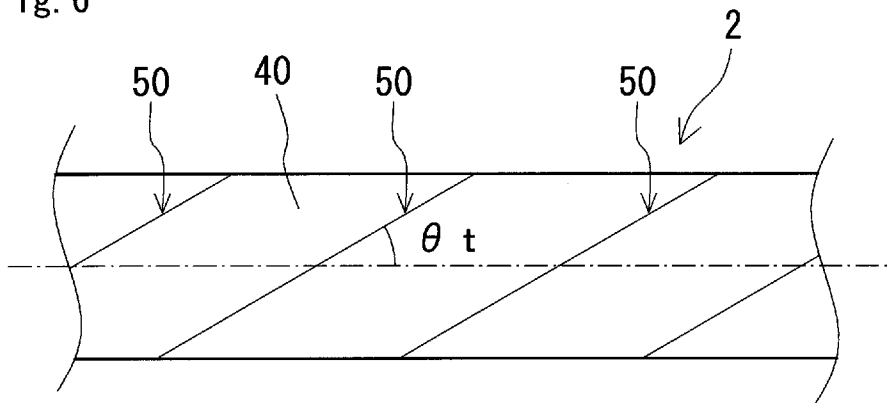
[図5]

Fig. 5



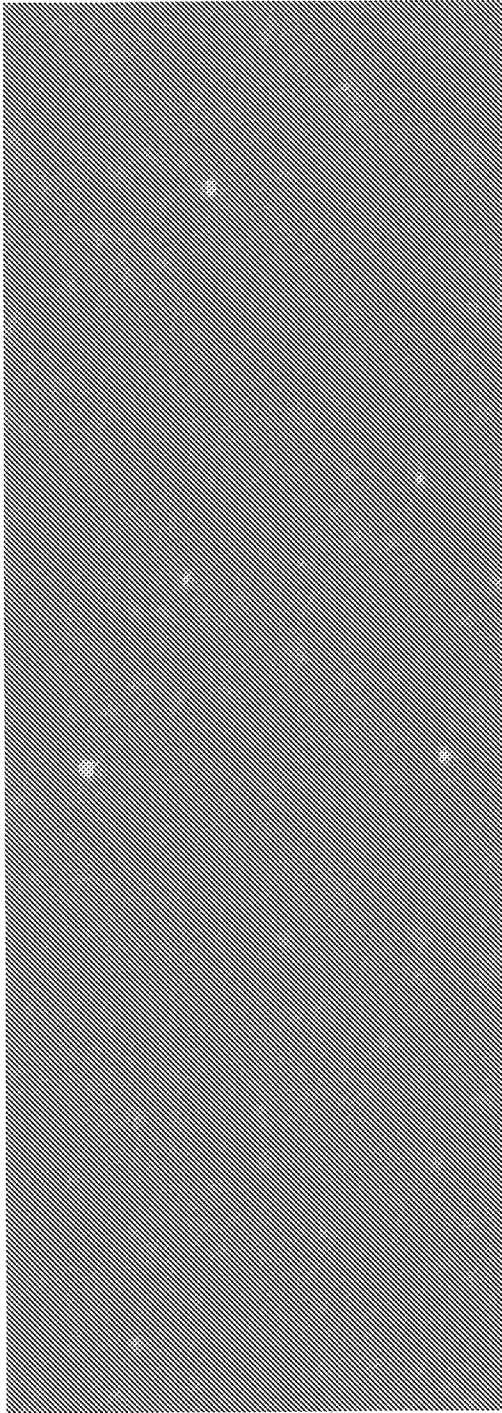
[図6]

Fig. 6



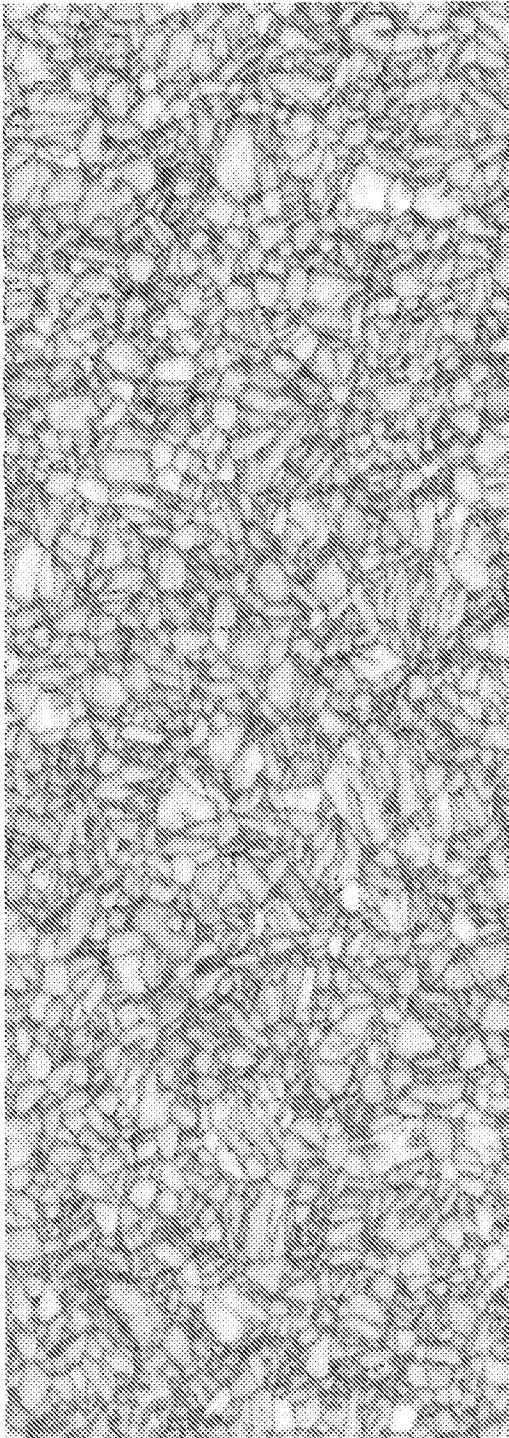
[図7]

Fig. 7

 $4 \mu\text{m}$

[図8]

Fig. 8

4 μ m

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/039747

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<p><i>C21D 6/00</i>(2006.01)i; <i>C22C 30/00</i>(2006.01)i; <i>C22C 19/07</i>(2006.01)i; <i>C22C 38/00</i>(2006.01)i; <i>C22F 1/00</i>(2006.01)n; <i>C22F 1/10</i>(2006.01)i; <i>H10N 50/00</i>(2023.01)i</p> <p>FI: C22C19/07 C; C22F1/10 J; C22C38/00 303Z; C22C30/00; C22F1/10 B; C21D6/00 A; H10N50/00; C22F1/00 685Z; C22F1/00 691C; C22F1/00 691B; C22F1/00 661Z; C22F1/00 681; C22F1/00 694A; C22F1/00 686A; C22F1/00 604; C22F1/00 625; C22F1/00 660Z; C22F1/00 692A</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
C21D6/00; C22C30/00; C22C19/07; C22C38/00; C22F1/00; C22F1/10; H10N50/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
<p>Published examined utility model applications of Japan 1922-1996</p> <p>Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023</p> <p>Registered utility model specifications of Japan 1996-2023</p> <p>Published registered utility model applications of Japan 1994-2023</p>		
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.
A	JP 08-088108 A (TOKIN CORP) 02 April 1996 (1996-04-02)	1-20
A	JP 05-333123 A (TOKIN CORP) 17 December 1993 (1993-12-17)	1-20
A	JP 52-024915 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 24 February 1977 (1977-02-24)	1-20
A	US 2016/0143092 A1 (THE BOEING COMPANY) 19 May 2016 (2016-05-19)	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
04 January 2023		24 January 2023
Name and mailing address of the ISA/JP		Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		
		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/039747

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 08-088108 A	02 April 1996	(Family: none)	
JP 05-333123 A	17 December 1993	(Family: none)	
JP 52-024915 A	24 February 1977	(Family: none)	
US 2016/0143092 A1	19 May 2016	(Family: none)	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>C21D 6/00(2006.01)i; C22C 30/00(2006.01)i; C22C 19/07(2006.01)i; C22C 38/00(2006.01)i; C22F 1/00(2006.01)n; C22F 1/10(2006.01)i; H10N 50/00(2023.01)i FI: C22C19/07 C; C22F1/10 J; C22C38/00 303Z; C22C30/00; C22F1/10 B; C21D6/00 A; H10N50/00; C22F1/00 685Z; C22F1/00 691C; C22F1/00 691B; C22F1/00 661Z; C22F1/00 681; C22F1/00 694A; C22F1/00 686A; C22F1/00 604; C22F1/00 625; C22F1/00 660Z; C22F1/00 692A</p>																	
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））</p> <p>C21D6/00; C22C30/00; C22C19/07; C22C38/00; C22F1/00; C22F1/10; H10N50/00</p> <p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2023年</td> </tr> </table> <p>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）</p>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2023年	日本国実用新案登録公報	1996-2023年	日本国登録実用新案公報	1994-2023年							
日本国実用新案公報	1922-1996年																
日本国公開実用新案公報	1971-2023年																
日本国実用新案登録公報	1996-2023年																
日本国登録実用新案公報	1994-2023年																
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>JP 08-088108 A (株式会社トーキン) 02.04.1996 (1996-04-02)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 05-333123 A (株式会社トーキン) 17.12.1993 (1993-12-17)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 52-024915 A (日本電信電話公社) 24.02.1977 (1977-02-24)</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2016/0143092 A1 (THE BOEING COMPANY) 19.05.2016 (2016-05-19)</td> <td>1-20</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p> <p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</p> <p>“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</p> <p>“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）</p> <p>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>“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</p> <p>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” 同一パテントファミリー文献</p>			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 08-088108 A (株式会社トーキン) 02.04.1996 (1996-04-02)	1-20	A	JP 05-333123 A (株式会社トーキン) 17.12.1993 (1993-12-17)	1-20	A	JP 52-024915 A (日本電信電話公社) 24.02.1977 (1977-02-24)	1-20	A	US 2016/0143092 A1 (THE BOEING COMPANY) 19.05.2016 (2016-05-19)	1-20
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 08-088108 A (株式会社トーキン) 02.04.1996 (1996-04-02)	1-20															
A	JP 05-333123 A (株式会社トーキン) 17.12.1993 (1993-12-17)	1-20															
A	JP 52-024915 A (日本電信電話公社) 24.02.1977 (1977-02-24)	1-20															
A	US 2016/0143092 A1 (THE BOEING COMPANY) 19.05.2016 (2016-05-19)	1-20															
<p>国際調査を完了した日</p> <p>04.01.2023</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>24.01.2023</p>																
<p>名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>河野 一夫 4K 9833</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3435</p>																

国際調査報告
特許ファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/039747

引用文献	公表日	特許ファミリー文献	公表日
JP 08-088108 A	02.04.1996	(ファミリーなし)	
JP 05-333123 A	17.12.1993	(ファミリーなし)	
JP 52-024915 A	24.02.1977	(ファミリーなし)	
US 2016/0143092 A1	19.05.2016	(ファミリーなし)	