

(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  
2021年12月23日(23.12.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/255776 A1

- (51) 国際特許分類:  
*C21D 8/06* (2006.01)      *C22C 38/34* (2006.01)  
*C21D 9/52* (2006.01)      *C23C 8/18* (2006.01)  
*C22C 38/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号:                    PCT/JP2020/023360
- (22) 国際出願日:                    2020年6月15日(15.06.2020)
- (25) 国際出願の言語:                    日本語
- (26) 国際公開の言語:                    日本語
- (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: 泉田 寛(**IZUMIDA, Hiromu**); 〒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). 森

田 善貴(**NATSUMEDA, Yoshiki**); 〒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). 岡田 太一(**OKADA, Taichi**); 〒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).

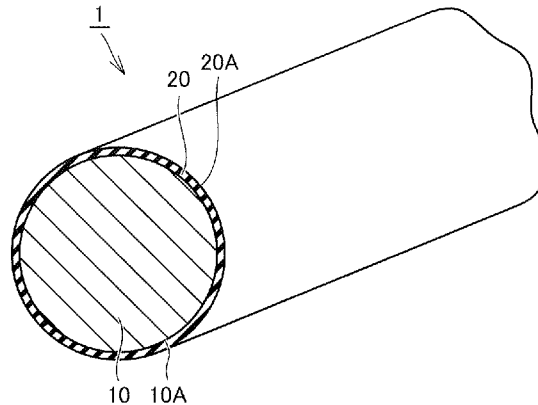
(74) 代理人: 北野 修平, 外(**KITANO, Shuhei et al.**); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目1番14号北浜一丁目平和ビル9F K&T特許商標事務所 Osaka (JP).

(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, 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,

(54) Title: STEEL WIRE FOR SPRING

(54) 発明の名称: ばね用鋼線

FIG.1



(57) Abstract: This steel wire for a spring is provided with a steel main body that has a linear shape, and an oxide layer that covers the outer peripheral surface of the main body. The steel constituting the main body contains 0.5%-0.7% by mass of C, 1%-2.5% by mass of Si, 0.2%-1% by mass of Mn and 0.5%-2% by mass of Cr, the remainder comprising Fe and unavoidable impurities. The composition of the steel constituting the main body is a perlite composition. The thickness of the oxide layer is 2-5 μm. The oxide layer contains at least 60 mass% of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

(57) 要約: ばね用鋼線は、線状の形状を有する鋼製の本体部と、本体部の外周面を覆う酸化層と、を備える。本体部を構成する鋼は、0.5質量%以上0.7質量%以下のCと、1質量%以上2.5質量%以下のSiと、0.2質量%以上1質量%以下のMnと、0.5質量%以上2質量%以下のCrとを含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる。本体部を構成する鋼の組織はパーライト組織である。酸化層の厚さは2μm以上5μm以下である。酸化層は、60質量%以上のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を含む。



WO 2021/255776 A1

KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,  
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,  
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,  
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,  
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, 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))

## 明 細 書

発明の名称：ばね用鋼線

### 技術分野

[0001] 本開示は、ばね用鋼線に関するものである。

### 背景技術

[0002] ばね加工時の潤滑性の確保を目的として、外周面に酸化層を有するオイルテンパー線（ばね用鋼線）が知られている（たとえば、特開2004-052048号公報（特許文献1）、特開2004-115859号公報（特許文献2）、特開2017-115228号公報（特許文献3）および特開2018-012868号公報（特許文献4）参照）。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開2004-052048号公報  
特許文献2：特開2004-115859号公報  
特許文献3：特開2017-115228号公報  
特許文献4：特開2018-012868号公報

### 発明の概要

[0004] 本開示に従ったばね用鋼線は、線状の形状を有する鋼製の本体部と、本体部の外周面を覆う酸化層と、を備える。本体部を構成する鋼は、0.5質量%以上0.7質量%以下のC（炭素）と、1.0質量%以上2.5質量%以下のSi（珪素）と、0.2質量%以上1.0質量%以下のMn（マンガン）と、0.5質量%以上2.0質量%以下のCr（クロム）とを含有し、残部がFe（鉄）および不可避免的不純物からなる。本体部を構成する鋼の組織はパーライト組織である。酸化層の厚さは2 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下である。酸化層は、60質量%以上のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を含む。

### 図面の簡単な説明

[0005] [図1]図1は、ばね用鋼線の構造を示す概略図である。

[図2]図2は、ばね用鋼線の構造を示す概略断面図である。

[図3]図3は、ばね用鋼線の酸化層の構造を示す概略断面図である。

[図4]図4は、ばね用鋼線の製造方法の概略を示すフローチャートである。

[図5]図5は、実施の形態2におけるばね用鋼線の酸化層の構造を示す概略断面図である。

[図6]図5は、SEMによる酸化層の写真である。

### 発明を実施するための形態

[0006] [本開示が解決しようとする課題]

上記の通り、オイルテンパー線であるばね用鋼線において、外周面を酸化層で覆うことでばねへの加工時の潤滑性を確保する技術が知られている。オイルテンパー線を構成する鋼の組織は焼戻マルテンサイト組織である。焼戻マルテンサイト組織は、マルテンサイト相の母相と、当該母相中に分散する微細な炭化物とを含む組織である。このような焼戻マルテンサイト組織を有する鋼線の表面を酸化層で覆うことにより、ばねへの加工時の潤滑性を確保することができる。

[0007] 一方、ばね用鋼線として、硬引き線が用いられる場合がある。硬引き線を構成する鋼の組織はパーライト組織である。パーライト組織は、フェライト層とセメンタイト ( $Fe_3C$ ) 層とが交互に積層された組織であり、上記焼戻マルテンサイト組織とは大きく異なる組織である。そのため、硬引き線については、パーライト組織に適した潤滑性の確保の検討が必要となる。そこで、ばねへの加工時の潤滑性に優れた硬引き線であるばね用鋼線を提供することを本開示の目的の1つとする。

[0008] [本開示の効果]

本開示のばね用鋼線によれば、ばねへの加工時の潤滑性に優れた硬引き線であるばね用鋼線を提供することができる。

[0009] [本開示の実施形態の説明]

最初に本開示の実施態様を列記して説明する。本開示のばね用鋼線は、線状の形状を有する鋼製の本体部と、本体部の外周面を覆う酸化層と、を備え

る。本体部を構成する鋼は、0.5質量%以上0.7質量%以下のC（炭素）と、1.0質量%以上2.5質量%以下のSi（珪素）と、0.2質量%以上1.0質量%以下のMn（マンガン）と、0.5質量%以上2.0質量%以下のCr（クロム）とを含有し、残部がFe（鉄）および不可避免的不純物からなる。本体部を構成する鋼の組織はパーライト組織である。酸化層の厚さは2 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下である。酸化層は、60質量%以上のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を含む。

[0010] 本開示のばね用鋼線の本体部を構成する鋼の組織はパーライト組織である。すなわち、本開示のばね用鋼線は、硬引き線である。本開示のばね用鋼線においては、このパーライト組織を有する本体部の外周面が厚さ2 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下の酸化層で覆われる。そして、酸化層は、60質量%以上のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を含む。本発明者の検討によれば、酸化層が60質量%以上のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を含むことにより、ばねへの加工時にパーライト組織を有する本体部から酸化層が剥離することが抑制され、高い潤滑性が確保される。

[0011] このように、本開示のばね用鋼線によれば、ばねへの加工時の潤滑性に優れた硬引き線であるばね用鋼線を提供することができる。酸化層は、70質量%以上のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を含むことが好ましく、80質量%以上のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を含むことがより好ましい。

[0012] 本体部を構成する鋼の成分組成を上記範囲とすべきである理由について、以下に説明する。

[0013] 炭素（C）：0.5質量%以上0.7質量%以下

炭素は、鋼の強度に大きな影響を与える元素である。ばね用鋼線として十分な強度を得る観点から、炭素含有量は0.5質量%以上とする必要がある。一方、炭素含有量が多くなると靱性が低下し、加工が困難になるおそれがある。十分な靱性を確保する観点から、炭素含有量は0.7質量%以下とする必要がある。靱性を向上させて加工を容易とする観点から、炭素含有量は0.6質量%以下としてもよい。

[0014] 珪素（Si）：1質量%以上2.5質量%以下

珪素は、加熱による軟化を抑制する性質（軟化抵抗性）を有する。ばね用鋼線のばねへの加工時およびばねの使用時における加熱による軟化を抑制する観点から、珪素含有量は1質量%以上とする必要があり、1.2質量%以上としてもよい。一方、珪素は過度に添加すると靱性を低下させる。十分な靱性を確保する観点から、珪素含有量は2.5質量%以下とする必要がある。靱性を重視する観点からは、珪素含有量は2質量%以下としてもよく、1.6質量%以下としてもよい。

[0015] マンガン (Mn) : 0.2質量%以上1質量%以下

マンガンは、鋼の精錬において脱酸剤として添加される元素である。脱酸剤としての機能を果たすため、マンガンの含有量は0.2質量%以上とする必要があり、0.5質量%以上としてもよい。一方、マンガンは過度に添加すると、靱性や熱間加工における加工性を低下させる。そのため、マンガンの含有量は1質量%以下とする必要があり、0.9質量%以下としてもよい。

[0016] クロム (Cr) : 0.5質量%以上2質量%以下

クロムは、鋼中において炭化物生成元素として機能し、微細な炭化物の生成による金属組織の微細化や加熱時の軟化抑制に寄与する。このような効果を確実に発揮させる観点から、クロムは0.5質量%以上添加される必要がある。一方、クロムの過度の添加は靱性低下の原因となる。そのため、クロムの添加量は2質量%以下とする必要がある。靱性を重視する観点からは、クロムの添加量は1.5質量%以下としてもよく、1質量%以下としてもよい。

[0017] 不可避的不純物

ばね用鋼線を構成する鋼の製造工程において、リン (P)、硫黄 (S) などが不可避的に鋼中に混入する。リンおよび硫黄は、過度に存在すると粒界偏析を生じたり、介在物を生成したりして、鋼の特性を悪化させる。そのため、リンおよび硫黄の含有量は、それぞれ0.025質量%以下とすることが好ましい。また、不可避的不純物の含有量は、合計で0.3質量%以下とすることが好ましい。

[0018] 上記ばね用鋼線において、酸化層は、第1の $Fe_3O_4$ 層と、第1の $Fe_3O_4$ 層の外周面を覆う第2の $Fe_3O_4$ 層と、を含んでいてもよい。第1の $Fe_3O_4$ 層のSiの濃度は、第2の $Fe_3O_4$ 層のSiの濃度および本体部のSiの濃度のいずれよりも高くてもよい。第2の $Fe_3O_4$ 層と本体部との間にSiの濃度が高い第1の $Fe_3O_4$ 層が存在することにより、酸化層と本体部との剥離がさらに抑制される。

[0019] 上記ばね用鋼線において、酸化層は、第1の $Fe_3O_4$ 層と本体部との間に位置する $FeO$ 層をさらに含んでいてもよい。第1の $Fe_3O_4$ 層と本体部との間に $FeO$ 層が形成される程度の酸化の状態とすることにより、剥離しやすい $Fe_2O_3$ 層の形成を抑制することができる。

[0020] 上記ばね用鋼線において、 $FeO$ 層は、本体部の外周面全体を覆っていてもよいが、本体部の外周面の一部を覆っていることが好ましい。本体部の外周面のうち $FeO$ 層に覆われていない部分において本体部と第1の $Fe_3O_4$ 層とが接触していることが好ましい。このようにすることにより、酸化層と本体部との剥離がさらに抑制される。

[0021] 上記ばね用鋼線において、第1の $Fe_3O_4$ 層のSiの濃度は2.5質量%以上6質量%以下であり、Crの濃度は1.5質量%以上3質量%以下であってもよい。このようにすることにより、酸化層と本体部との剥離がさらに抑制される。

[0022] 上記ばね用鋼線において、第1の $Fe_3O_4$ 層の厚さは0.3 $\mu m$ 以上1.5 $\mu m$ 以下であってもよい。このようにすることにより、酸化層と本体部との剥離がさらに抑制される。

[0023] [本願発明の実施形態の詳細]

次に、本開示にかかるばね用鋼線の実施の形態を、以下に図面を参照しつつ説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付しその説明は繰返さない。

[0024] (実施の形態1)

図1は、ばね用鋼線の構造を示す概略図である。図2は、ばね用鋼線の構

造を示す概略断面図である。図2は、ばね用鋼線の長手方向に垂直な面における断面図である。

[0025] 図1および図2を参照して、本実施の形態におけるばね用鋼線1は、線状の形状を有する鋼製の本体部10と、本体部10の外周面10Aを覆う酸化層20とを備えている。酸化層20の外周面20Aが、ばね用鋼線1の外周面である。図2を参照して、ばね用鋼線1の直径 $\phi$ は、たとえば2.0mm以上8.0mm以下である。酸化層20の厚さ $t$ は2 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下である。

[0026] 本体部10を構成する鋼は、0.5質量%以上0.7質量%以下のCと、1質量%以上2.5質量%以下のSiと、0.2質量%以上1質量%以下のMnと、0.5質量%以上2質量%以下のCrとを含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなっている。本体部10を構成する鋼は、JIS規格SWOSC-Vに相当する成分組成を有していてもよい。本体部10を構成する鋼は、たとえばSAE規格9254Vであってもよい。本体部10を構成する鋼は、これらの鋼種をベースとして、上記成分組成の範囲内でCを増量したものであってもよい。本体部10を構成する鋼の組織はパーライト組織である。ばね用鋼線1は、硬引き線である。

[0027] 次に、酸化層20の構造の詳細について説明する。図3は、ばね用鋼線1の酸化層20の構造を示す概略断面図である。図3を参照して、酸化層20は、本体部10の外周面10Aの全域を覆っている。酸化層20は、本体部10の外周面10Aに接触している。酸化層20は、60質量%以上のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を含んでいる。

[0028] 酸化層20は、FeO層21と、第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層22と、第2のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層23と、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層24とを含んでいる。FeO層21は、本体部10の外周面10A上に配置されている。FeO層21は、本体部10の外周面10Aに接触している。第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層22は、FeO層21の外周面21A上に配置されている。第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層22は、FeO層21の外周面21Aに接触している。第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層22は、本体部10の外周面10A

を全周にわたって取り囲んでいる。第1の $Fe_3O_4$ 層22と本体部10との間に $FeO$ 層21は位置している。

[0029] 第2の $Fe_3O_4$ 層23は、第1の $Fe_3O_4$ 層22の外周面22A上に配置されている。第2の $Fe_3O_4$ 層23は、第1の $Fe_3O_4$ 層22の外周面22Aに接触している。第2の $Fe_3O_4$ 層23は、第1の $Fe_3O_4$ 層22の外周面22Aの全域に接触している。第2の $Fe_3O_4$ 層23は、本体部10の外周面10Aおよび第1の $Fe_3O_4$ 層22の外周面22Aを全周にわたって取り囲んでいる。

[0030]  $Fe_2O_3$ 層24は、第2の $Fe_3O_4$ 層23の外周面23A上に配置されている。 $Fe_2O_3$ 層24は、第2の $Fe_3O_4$ 層23の外周面23Aに接触している。 $Fe_2O_3$ 層24は、第2の $Fe_3O_4$ 層23の外周面23A上の全域に存在していてもよいが、一部の領域に存在していてもよい。 $Fe_2O_3$ 層24は、本開示のばね用鋼線において必須の構成ではなく、存在していなくてもよい。 $Fe_2O_3$ 層24の外周面24Aは、酸化層20の外周面20A、すなわちばね用鋼線1の外周面を構成する。 $Fe_2O_3$ 層24が第2の $Fe_3O_4$ 層23の外周面23A上の一部の領域に存在する場合、第2の $Fe_3O_4$ 層23の外周面23Aの $Fe_2O_3$ 層24が存在しない領域では、第2の $Fe_3O_4$ 層23の外周面23Aが酸化層20の外周面20A、すなわちばね用鋼線1の外周面である。 $Fe_2O_3$ 層24が存在しない場合、第2の $Fe_3O_4$ 層23の外周面23Aが酸化層20の外周面20A、すなわちばね用鋼線1の外周面である。

[0031] 第1の $Fe_3O_4$ 層22のSiの濃度は、第2の $Fe_3O_4$ 層23のSiの濃度および本体部10のSiの濃度のいずれよりも高い。第1の $Fe_3O_4$ 層22のSiの濃度は、たとえば2.5質量%以上6質量%以下である。第1の $Fe_3O_4$ 層22のCrの濃度は、たとえば1.5質量%以上3質量%以下である。

[0032] 本実施の形態のばね用鋼線1においては、パーライト組織を有する本体部10の外周面10Aが厚さ2 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下の酸化層20で覆われてい

る。そして、酸化層20は、60質量%以上の $Fe_3O_4$ を含んでいる。これにより、ばね用鋼線1のばねへの加工時にパーライト組織を有する本体部10から酸化層20が剥離することが抑制され、高い潤滑性が確保される。その結果、ばね用鋼線1は、ばねへの加工時の潤滑性に優れた硬引き線であるばね用鋼線となっている。

[0033] 本実施の形態の酸化層20は、第1の $Fe_3O_4$ 層22と、第1の $Fe_3O_4$ 層22の外周22Aを覆う第2の $Fe_3O_4$ 層23と、を含んでいる。第1の $Fe_3O_4$ 層22のSiの濃度は、第2の $Fe_3O_4$ 層23のSiの濃度および本体部10のSiの濃度のいずれよりも高い。このような第1の $Fe_3O_4$ 層22の存在は、本開示のばね用鋼線において必須ではない。しかし、このような第1の $Fe_3O_4$ 層22が存在することにより、酸化層20と本体部10との剥離がさらに抑制される。

[0034] 本実施の形態の酸化層20は、第1の $Fe_3O_4$ 層22と本体部10との間に位置する $FeO$ 層21を含んでいる。本開示のばね用鋼線において $FeO$ 層21の存在は必須ではないが、第1の $Fe_3O_4$ 層22と本体部10との間に $FeO$ 層21が形成される程度の酸化の状態となっていることにより、剥離しやすい $Fe_2O_3$ 層24の形成が抑制されている。酸化層20における $FeO$ 層21の割合は、たとえば5質量%以下である。酸化層20における $FeO$ 層21の割合は、1質量%以下であることが好ましく、0.1質量%以下であることがより好ましい。

[0035] 本実施の形態のばね用鋼線1において、第1の $Fe_3O_4$ 層の厚さは0.3 $\mu m$ 以上1.5 $\mu m$ 以下であってもよい。このようにすることにより、酸化層20と本体部10との剥離がさらに抑制される。

[0036] 次に、ばね用鋼線1の製造方法の一例について、図4に基づいて説明する。図4は、本実施の形態のばね用鋼線1の製造方法の概略を示すフローチャートである。図4を参照して、本実施の形態のばね用鋼線1の製造方法においては、まず工程(S10)として線材準備工程が実施される。この工程(S10)では、0.5質量%以上0.7質量%以下のCと、1.0質量%以

上2.5質量%以下のSiと、0.2質量%以上1.0質量%以下のMnと、0.5質量%以上2.0質量%以下のCrとを含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなる鋼の線材が準備される。

[0037] 次に、図4を参照して、工程(S20)としてパテンティング工程が実施される。この工程(S20)では、図4を参照して、工程(S10)において準備された線材に対してパテンティングが実施される。具体的には、線材がオーステナイト化温度( $A_1$ 点)以上の温度域に加熱された後、マルテンサイト変態開始温度( $M_s$ 点)よりも高い温度域まで急冷され、当該温度域で保持される熱処理が実施される。これにより、線材の組織がラメラ間隔の小さい微細パーライト組織となる。ここで、上記パテンティング処理において、線材を $A_1$ 点以上の温度域に加熱する処理は、脱炭の発生を抑制する観点から不活性ガス雰囲気中で実施されることが好ましい。

[0038] 次に、図4を参照して、工程(S30)として表面層除去工程が実施される。この工程(S30)では、工程(S20)においてパテンティングが実施された線材の表面層が除去される。具体的には、たとえば上記線材がシェービングダイス内を通過することにより、パテンティングにより形成された表面の脱炭層等が除去される。この工程は必須の工程ではないが、これを実施することによりパテンティングによって脱炭層等が表面に生じた場合でも、これを除去することができる。

[0039] 次に、工程(S40)として焼きなまし工程が実施される。この工程(S40)では、工程(S30)において表面層が除去された線材に対して焼きなましが実施される。具体的には、線材に対して、たとえば不活性ガス(窒素、アルゴンなどのガス)雰囲気中で600℃以上700℃以下の温度域に加熱し、1時間以上10時間以下の時間保持する熱処理が実施される。焼きなましは、線材を軟化させるために実施される熱処理であるが、本実施の形態においては、酸化層20の形成および酸化層20内の構造の調整がこの(S40)において実施される。

[0040] 本実施の形態の(S40)では、上記熱処理が実施されることにより、線

材の表層部が酸化され、酸化層20が形成される。酸化層20とならなかった領域は、本体部10となる（図2等参照）。ここで、単に $Fe_3O_4$ の割合が大きい酸化層20を形成する観点からは、たとえば窒素雰囲気中で600℃程度に加熱する熱処理を実施すればよい。これにより、窒素、アルゴンなどの不活性ガスに不純物として含まれる酸素や不可避免的に熱処理炉に侵入する酸素により表層部が酸化されて $Fe_3O_4$ の割合が大きい酸化層20が形成される。しかし、本実施の形態の酸化層20の厚さは2μm以上5μm以下と厚い。また、本実施の形態の酸化層20は、Si濃度の高い第1の $Fe_3O_4$ 層を含んでいる。このような酸化層20を形成する観点から、加熱温度や炉内雰囲気を制御する必要がある。炉内雰囲気の影響が大きいので、設備によって、その条件は様々になる可能性が高いが、加熱温度は通常より高い650℃以上、好ましくは680℃以上とする。また、雰囲気についても、通常の不活性ガス雰囲気ではなく、意図的に不活性ガスに大気を混入させた雰囲気や、不活性ガスに水蒸気を混入させた雰囲気を採用してもよい。このようにすることにより、所望の組成および構造を有する酸化層20を形成することができる。

[0041] 次に、工程（S50）として、ショットブラスティング工程が実施される。この工程（S50）では、工程（S40）において焼きなまし処理が実施され、酸化層20が形成された線材に対してショットブラスティングが実施される。この工程は必須の工程ではないが、これを実施することにより、酸化層20の表面に形成された脆い $Fe_2O_3$ 層24を除去し、酸化層20における $FeO$ 、 $Fe_3O_4$ および $Fe_2O_3$ の割合を調整することができる。より具体的には、酸化層20から $Fe_2O_3$ 層24を除去し、第1の $Fe_3O_4$ 層22および第2の $Fe_3O_4$ 層23を残存させるように、ショットブラスティングの強度および時間が調整される。

[0042] 次に、工程（S60）として伸線工程が実施される。この工程（S50）では、工程（S50）においてショットブラスティングが実施された線材に対して伸線加工（引抜き加工）が実施される。工程（S60）の伸線加工に

おける加工度（減面率）は、適宜設定できるが、たとえば60%以上80%以下とすることができる。ここで、「減面率」とは、線材の長手方向に垂直な断面に関し、伸線加工前の断面積と伸線加工後の断面積との差を伸線加工前の断面積で除した値を百分率で表示した値である。

[0043] 次に、工程（S70）として酸化層形成工程が実施される。この工程（S70）では、工程（S60）において伸線加工が実施された線材（鋼線）に対して、酸化層20をさらに形成する熱処理が実施される。この工程（S70）は、工程（S40）において適切な酸化層20が形成されている場合、省略することができる。工程（S40）において形成された酸化層20の厚みが不足している場合、酸化層20の組成および構造の調整が必要である場合、工程（S70）が実施される。工程（S70）における熱処理の条件は、工程（S40）と同様である。

[0044] 以上の手順により、本実施の形態のばね用鋼線1を製造することができる。特に、上記工程（S40）および（S70）を適切に実施することにより、所望の厚さ、組成および構造を有する酸化層20を有するばね用鋼線1を製造することができる。

[0045] （実施の形態2）

次に、他の実施の形態である実施の形態2について説明する。実施の形態2のばね用鋼線は、基本的には実施の形態1の場合と同様の構造を有し、同様の効果を有する。しかし、実施の形態2のばね用鋼線は、酸化層の構造において実施の形態1の場合とは異なっている。図5は、実施の形態2におけるばね用鋼線の酸化層の構造を示す概略断面図である。

[0046] 図5を参照して、実施の形態2のばね用鋼線1のFeO層21は、本体部10の外周面10Aの一部を覆っている。本体部10の外周面10AのうちFeO層21に覆われていない部分において、本体部10と第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層22とが接触している。このように、本体部10と第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層22とが接触する領域が形成されることにより、酸化層20と本体部10との剥離がさらに抑制される。

[0047] なお、実施の形態2の酸化層20は、上記実施の形態1の製造方法における工程(S40)および(S70)の熱処理の条件を調整することにより形成することができる。

### 実施例

[0048] (実験1)

酸化層の厚さとばねへの加工時における歩留との関係を調査する実験を行った。上記実施の形態1と同様の手順によりばね用鋼線を準備した。このとき、工程(S40)における加熱温度を700℃とし、加熱時間を調整して酸化層の厚さを0.3~6.5μmの範囲で変化させたサンプルA~Eを作製した。酸化層の厚さは、長手方向に垂直な断面をSEM(Scanning Electron Microscope)により観察した場合の、互いに直交する直径上に対応する4か所の厚みの平均値を算出した値である。ばね用鋼線の直径は1.2mmとした。そして、サンプルA~Eを、コイリングマシンを用いてばねに加工した。ばねのコイル外径は7mm、有効巻き数は12、自由長は32mmである。ばねは、各サンプルについて100個作成した。コイリングマシンとしては、新興機械工業社製VF-720STを用いた。

[0049] 得られたばねについて、自由長の狙い値(32mm)との差が0.5mmを超えるもの、表面に焼付が観察されたものを不合格とし、歩留まりを算出した。ここで、「自由長」とは、ばねに対して荷重が加わっていない状態でのばねの全長である。実験結果を表1に示す。

[0050] [表1]

	酸化層の厚さ (μm)	表面の状態	歩留 (%)
A	0.3	焼付あり	73
B	1.2	焼付あり	81
C	2.2	良好	96
D	4.5	良好	95
E	6.5	焼付あり	83

表1を参照して、酸化層の厚さが $2\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下であるサンプルCおよびDについては、表面の状態は良好であり、高い歩留が確保されている。一方、酸化層の厚さが $2\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下の範囲外であるサンプルA、BおよびEにおいては、表面に焼付が発生し、これに起因して歩留が低下している。酸化層の厚さが小さいサンプルAおよびBにおいては、酸化層による潤滑性の確保が不十分であるため、焼付が発生したものと考えられる。一方、酸化層の厚みが多いサンプルEにおいては、局所的な酸化層の剥離が発生し、これに起因して焼付が発生したものと考えられる。

[0051] 以上の実験結果より、酸化層の厚みは $2\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下とすべきことが確認される。

[0052] (実験2)

Siの濃度が高い第1の $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 層の形成の効果を確認する実験を行った。上記実験1と同様にばね用鋼線を準備し、ばねを作製した場合の歩留および表面の状態を調査した。実験2では、工程(S40)の熱処理における加熱温度を $750^\circ\text{C}$ または $800^\circ\text{C}$ とし、鋼中におけるSi等の元素の拡散速度を上昇させた状態で加熱時間を調整し、第1の $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 層の厚さを調整した。第1の $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 層の厚さは、SEMにより観察して測定した。SEMによる観察の一例を図6に示す。この図6の酸化層20に、 $\text{FeO}$ 層21、第1の $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 層22、第2の $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 層23および $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 層24が含まれること、および第1の $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 層22におけるSiの濃度が本体部10および第2の $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 層23のいずれよりも高いことが、EDS (Energy Dispersive Spectrometer) による測定により確認された。実験結果を表2に示す。

[0053]

[表2]

	酸化層の厚さ ( $\mu\text{m}$ )	第1の $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 層の厚さ ( $\mu\text{m}$ )	表面の状態	歩留 (%)
F	2.2	0.2	良好	96
G	2.1	1.1	良好	98
H	2.2	2.2	良好	98
I	6.5	0.3	焼付あり	83
J	6.3	1.2	良好	85
K	6.4	2.4	良好	85

表2を参照して、酸化層の厚さが $2\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下であるサンプルF～Hでは、実験1の場合よりも一層の歩留の向上が確認された。また、酸化層の厚さが $5\mu\text{m}$ を超えるサンプルI～Kにおいても、焼付の発生が抑制され、歩留も改善される傾向にある。これは、第1の $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 層22の形成により、本体部10と酸化層20との間の剥離が抑制されたことに起因するものと考えることができる。

[0054] (実験3)

酸化層の組成と歩留との関係を調査する実験を行った。上記実験1と同様にばね用鋼線を準備し、ばねを作製した場合の歩留および表面の状態を調査した。実験3では、工程(S40)の熱処理における雰囲気を変化させることにより、酸化層の組成を変化させた。具体的には、サンプルLでは、雰囲気中に大気を意図的に混入させ、酸素分圧を上昇させることにより酸化を促進させた。一方、サンプルNでは、不活性ガスを炉内に流し、酸素分圧を低下させることにより酸化を抑制した。酸化層の組成は、X線回折を利用したRIR (Reference Intensity Ratio) 法により分析した。具体的には、サンプルとして、ばね用鋼線を長さ2cm程度に切断し、それらを2、3本並べたものを準備した。X線源は、X線のサンプルへの侵入深さを考慮して、銅管球を用いた。そして、平行ビーム法による広角測定(X線照射領域は、一辺約15mmの正方形形状)を実施し、回折ピークの強度比から酸化物の質量比( $\text{FeO} : \text{Fe}_3\text{O}_4 : \text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 質量%)を求めた。実験結果を表3に示す。

[0055] [表3]

	酸化層の厚さ ( $\mu\text{m}$ )	酸化層の組成 $\text{FeO}:\text{Fe}_3\text{O}_4:\text{Fe}_2\text{O}_3$ (質量比)	表面の状態	歩留 (%)
L	2.2	3:72:25	良好	88
M	2.2	6:88:6	良好	96
N	2.1	35:60:5	良好	93

表3を参照して、酸化を促進させたサンプルLでは、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ よりも酸化が進行した $\text{Fe}_2\text{O}_3$ の割合が高くなっている。一方、酸化を抑制したサンプルNでは、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ よりも酸化の進行が小さい $\text{FeO}$ の割合が高くなっている。いずれのサンプルにおいても表面の状態は良好であるものの、サンプルMに比べてサンプルLおよびNはいずれも歩留が小さくなっている。これは、焼付までは発生していないものの、ばねへの加工時にばね用鋼線と加工ツールとの間に微細な凝着が発生していることを示唆しているものと考えることができる。

[0056] より詳細には、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ の割合が大きいサンプルLでは、脆い $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 層24が酸化層20の表面に形成されるため、最も歩留が低下している。一方、 $\text{FeO}$ の割合が大きいサンプルNでは、脆い $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 層24が酸化層20の表面に形成されるサンプルLよりは良好であるものの、サンプルMに比べると歩留が低下している。このことから、酸化層において $\text{Fe}_3\text{O}_4$ の割合が高いことが好ましく、たとえば80質量%以上とすることが好ましいといえる。また、酸化層において $\text{Fe}_2\text{O}_3$ の割合が低いことが好ましく、たとえば10質量%以下であることが好ましいといえる。

[0057] 今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であって、どのような面からも制限的なものではないと理解されるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなく、請求の範囲によって規定され、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

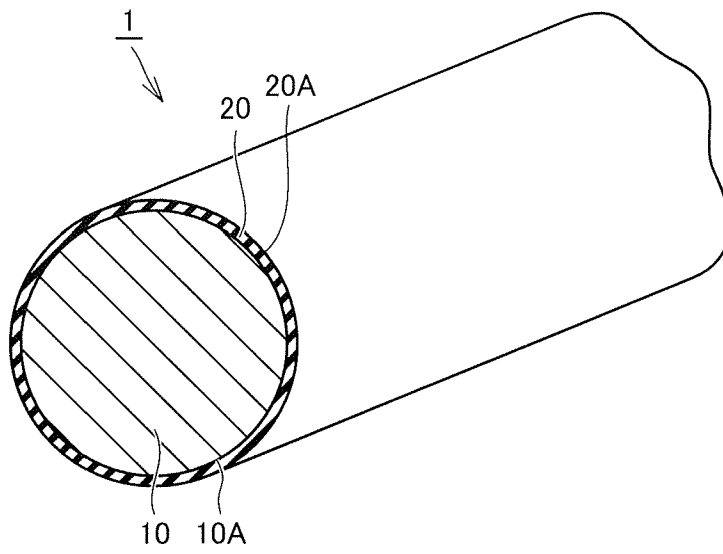
[0058] 1 ばね用鋼線、10 本体部、10A 外周面、20 酸化層、20A 外周面、21 FeO層、21A 外周面、22 第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層、22A 外周面、23 第2のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層、23A 外周面、24 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層、24A 外周面、φ ばね用鋼線の直径、t 酸化層の厚さ。

## 請求の範囲

- [請求項1] 線状の形状を有する鋼製の本体部と、  
前記本体部の外周面を覆う酸化層と、を備え、  
前記本体部を構成する鋼は、0.5質量%以上0.7質量%以下のCと、1質量%以上2.5質量%以下のSiと、0.2質量%以上1質量%以下のMnと、0.5質量%以上2質量%以下のCrとを含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなり、  
前記本体部を構成する鋼の組織はパーライト組織であり、  
前記酸化層の厚さは2 $\mu$ m以上5 $\mu$ m以下であり、  
前記酸化層は、60質量%以上のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を含む、ばね用鋼線。
- [請求項2] 前記酸化層は、  
第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層と、  
前記第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層の外周面を覆う第2のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層と、を含み、  
前記第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層のSiの濃度は、前記第2のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層のSiの濃度および前記本体部のSiの濃度のいずれよりも高い、請求項1に記載のばね用鋼線。
- [請求項3] 前記酸化層は、前記第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層と前記本体部との間に位置するFeO層をさらに含む、請求項2に記載のばね用鋼線。
- [請求項4] 前記FeO層は、前記本体部の外周面の一部を覆っており、  
前記本体部の外周面のうち前記FeO層に覆われていない部分において前記本体部と前記第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層とが接触している、請求項3に記載のばね用鋼線。
- [請求項5] 前記第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層のSiの濃度は2.5質量%以上6質量%以下であり、Crの濃度は1.5質量%以上3質量%以下である、請求項2から請求項4のいずれか1項に記載のばね用鋼線。
- [請求項6] 前記第1のFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層の厚さは0.3 $\mu$ m以上1.5 $\mu$ m以下である、請求項2から請求項5のいずれか1項に記載のばね用鋼線。

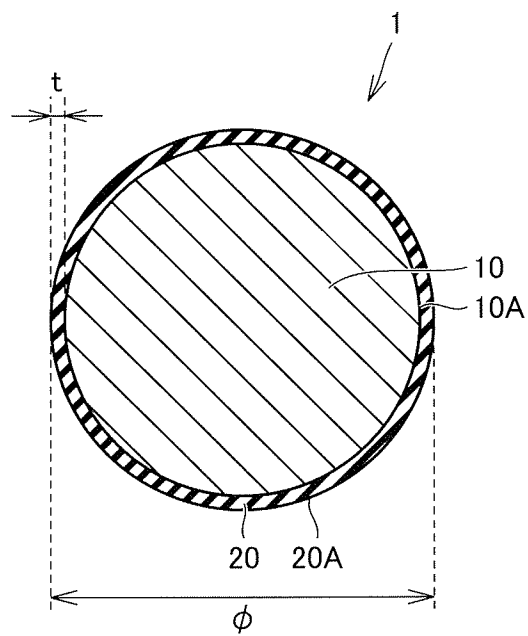
[図1]

FIG.1



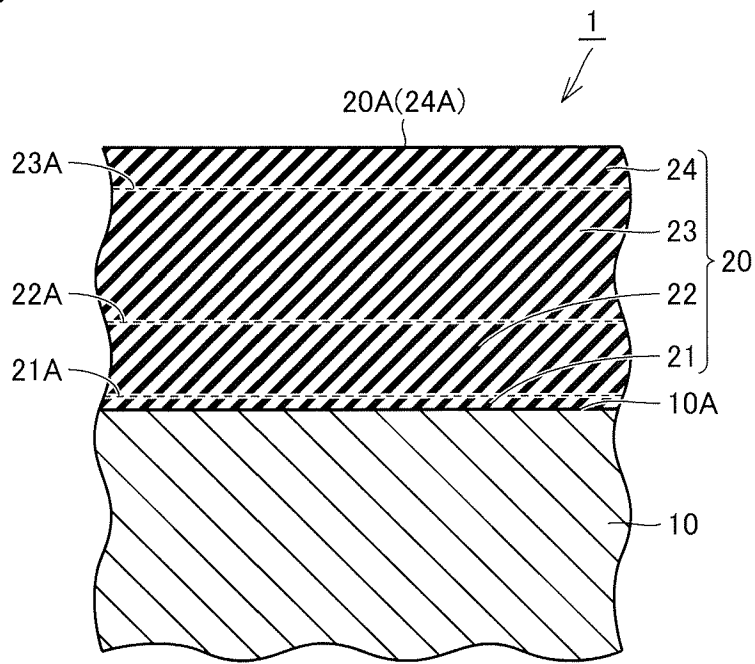
[図2]

FIG.2



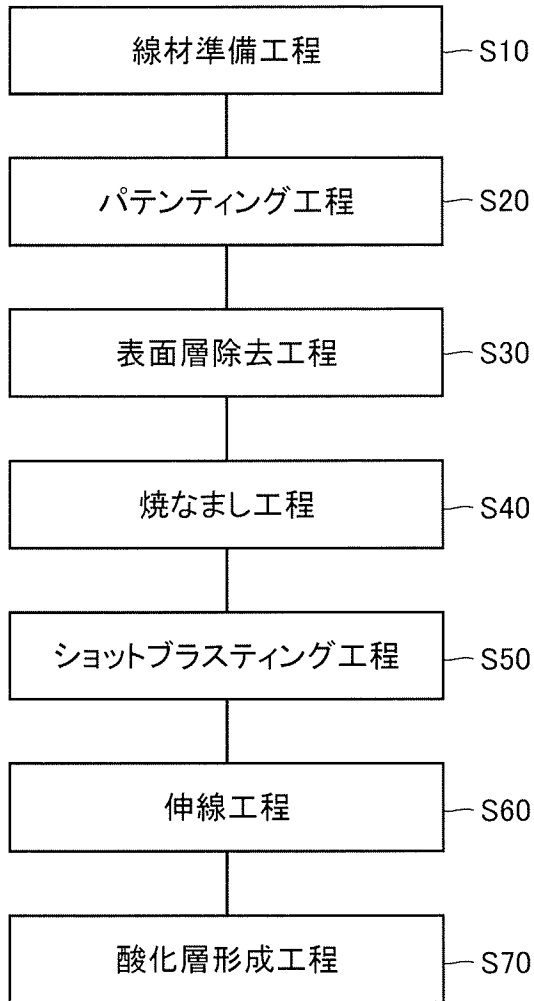
[図3]

FIG.3



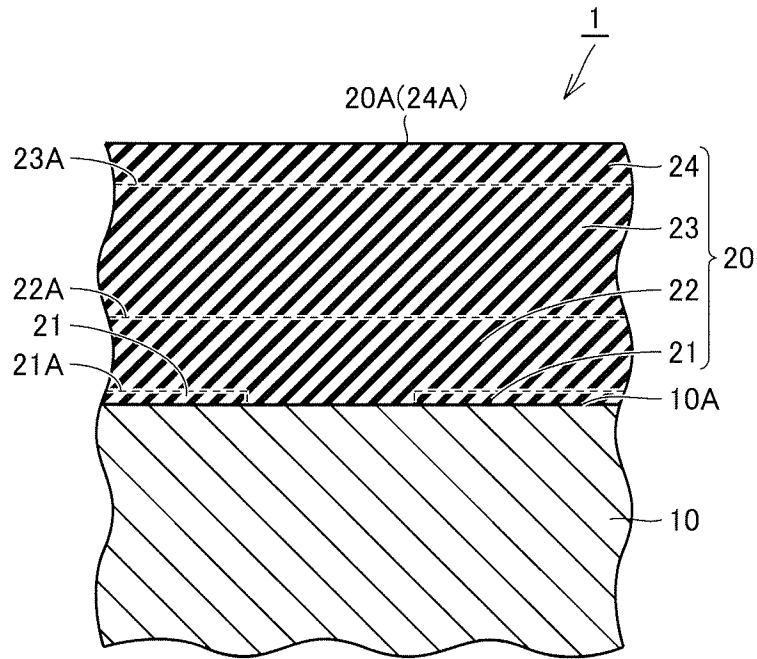
[図4]

FIG.4



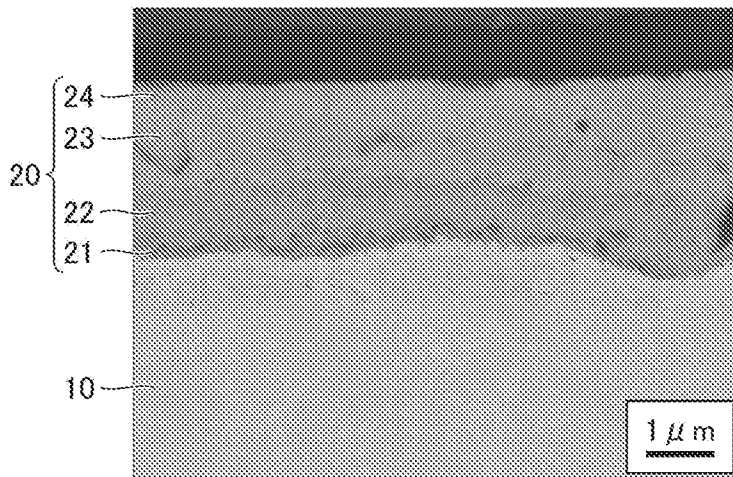
[図5]

FIG.5



[図6]

FIG.6



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/023360

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
C21D 8/06(2006.01)n; C21D 9/52(2006.01)n; C22C 38/00(2006.01)i; C22C 38/34(2006.01)i; C23C 8/18(2006.01)i FI: C23C8/18; C22C38/00 301Y; C22C38/34; C21D8/06 A; C21D9/52 103B According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C23C8/18; C22C38/00; C22C38/34; C21D8/06; C21D9/52		
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		1971-2020
Registered utility model specifications of Japan		1996-2020
Published registered utility model applications of Japan		1994-2020
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-28619 A (SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.) 02 February 2006 (2006-02-02)	1-6
A	JP 58-136780 A (SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.) 13 August 1983 (1983-08-13)	1-6
A	JP 2014-169470 A (KOBE STEEL, LTD.) 18 September 2014 (2014-09-18)	1-6
A	JP 2009-263750 A (KOBE STEEL, LTD.) 12 November 2009 (2009-11-12)	1-6
A	JP 2009-235523 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 15 October 2009 (2009-10-15)	1-6
A	JP 2018-12868 A (KOBE STEEL, LTD.) 25 January 2018 (2018-01-25)	1-6
A	WO 2018/021574 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) 01 February 2018 (2018-02-01)	1-6
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E"	earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"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
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"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 29 July 2020 (29.07.2020)		Date of mailing of the international search report 11 August 2020 (11.08.2020)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/JP2020/023360

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2006-28619 A	02 Feb. 2006	(Family: none)	
JP 58-136780 A	13 Aug. 1983	(Family: none)	
JP 2014-169470 A	18 Sep. 2014	(Family: none)	
JP 2009-263750 A	12 Nov. 2009	US 2009/0269578 A1 EP 2113580 A1 CN 101570817 A KR 10-2009-0113765 A	
JP 2009-235523 A	15 Oct. 2009	(Family: none)	
JP 2018-12868 A	25 Jan. 2018	(Family: none)	
WO 2018/021574 A1	01 Feb. 2018	EP 3492616 A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C21D 8/06(2006.01)n; C21D 9/52(2006.01)n; C22C 38/00(2006.01)i; C22C 38/34(2006.01)i; C23C 8/18(2006.01)i FI: C23C8/18; C22C38/00 301Y; C22C38/34; C21D8/06 A; C21D9/52 103B		
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）） C23C8/18; C22C38/00; C22C38/34; C21D8/06; C21D9/52 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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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
A	JP 2006-28619 A（住友金属工業株式会社）02.02.2006（2006-02-02）	1-6
A	JP 58-136780 A（住友電気工業株式会社）13.08.1983（1983-08-13）	1-6
A	JP 2014-169470 A（株式会社神戸製鋼所）18.09.2014（2014-09-18）	1-6
A	JP 2009-263750 A（株式会社神戸製鋼所）12.11.2009（2009-11-12）	1-6
A	JP 2009-235523 A（住友電気工業株式会社）15.10.2009（2009-10-15）	1-6
A	JP 2018-12868 A（株式会社神戸製鋼所）25.01.2018（2018-01-25）	1-6
A	WO 2018/021574 A1（新日鐵住金株式会社）01.02.2018（2018-02-01）	1-6
<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。		
* 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 “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 29.07.2020	国際調査報告の発送日 11.08.2020	
名称及びあて先 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	権限のある職員（特許庁審査官） 大塚 美咲 4E 1147 電話番号 03-3581-1101 内線 3425	

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/023360

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2006-28619	A	02.02.2006	(ファミリーなし)			
JP	58-136780	A	13.08.1983	(ファミリーなし)			
JP	2014-169470	A	18.09.2014	(ファミリーなし)			
JP	2009-263750	A	12.11.2009	US	2009/0269578	A1	
				EP	2113580	A1	
				CN	101570817	A	
				KR	10-2009-0113765	A	
JP	2009-235523	A	15.10.2009	(ファミリーなし)			
JP	2018-12868	A	25.01.2018	(ファミリーなし)			
WO	2018/021574	A1	01.02.2018	EP	3492616	A1	