(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
2024年8月8日(08.08.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/161659 A1

(51) 国際特許分類:
C21D 9/52 (2006.01) ***C22C 38/60*** (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/003671

(22) 国際出願日： 2023年2月3日(03.02.2023)

(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: 日本製鉄株式会社(**NIPPON STEEL CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 手島 俊彦 (**TESHIMA, Toshihiko**); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP). 小此木 真(**OKONOGI, Makoto**); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP). 久保田 学(**KUBOTA, Manabu**); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP). 室賀 也康(**MUROGA, Nariyasu**); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人太陽国際特許事務所(**TAIYO, NAKAJIMA & KATO**); 〒1600022 東京都新宿区新宿４丁目３番１７号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, 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, SC, 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,

(54) **Title:** WIRE ROD, STEEL WIRE, ROPE AND PRODUCTION METHOD OF ROPE

(54) 発明の名称： 線材、鋼線、ロープ、及びロープの製造方法

(57) **Abstract:** A wire rod that has a chemical composition comprising, in % by mass, C: 0.80-1.10%, Si: 0.10-1.50%, Mn: 0.10-1.00%, P: 0.030% or less, S: 0.030% or less, N: 0.0120% or less, O: 0.0100% or less, Al: 0.005-0.070% and Mo: 0.02-0.20% with the balance being Fe and impurities, has a total area ratio of ferrite structure and martensite structure at the center of the cross section of 5% or less, has an average Vickers hardness H within the cross section, a surface layer Vickers hardness H_s and a central Vickers hardness H_c satisfying the relationship of formulae (1)-(3) (wherein [C] is a content of C in the wire rod in terms of % by mass) and has a diameter of 7.0 mm or more, and a steel wire obtainable from the wire rod. A rope made of bundled steel wires. Formula (1): $480 \times [C]-40<H<480 \times [C]+40$; formula (2): $0 \leq H_s-H<30$; formula (3): $0 \leq H-H_c<30$

(57) 要約：質量％で、Ｃ：０．８０～１．１０％、Ｓｉ：０．１０～１．５０％、Ｍｎ：０．１０～１．００％、Ｐ：０．０３０％以下、Ｓ：０．０３０％以下、Ｎ：０．０１２０％以下、Ｏ：０．０１００％以下、Ａｌ：０．００５～０．０７０％、及びＭｏ：０．０２～０．２０％を含み、残部がＦｅ及び不純物である化学組成を有し、断面中心部のフェライト組織及びマルテンサイト組織の合計面積率が５％以下であり、断面内の平均ビッカース硬さＨ、表層ビッカース硬さ$Ｈ_s$、中心ビッカース硬さ$Ｈ_c$が、式（１）から（３）の関係を満たし（［Ｃ］は、線材に含まれる質量％でのＣの含有量）、線径が７．０ｍｍ以上である、線材、及びその線材から製造し得る鋼線。また、その鋼線を束ねたロープ。$４８０\times［Ｃ］－４０<Ｈ<４８０\times［Ｃ］＋４０$・・・（１）$０\leqＨ_s－Ｈ<３０$・・・（２）$０\leqＨ－Ｈ_c<３０$・・・（３）

WO 2024/161659 A1

［続葉有］

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 ： 線材、鋼線、ロープ、及びロープの製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、線材、鋼線、ロープ、及びロープの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 橋梁ケーブル用鋼線やロープ用鋼線等の鋼線は、例えば、高炭素線材をパテンティング処理してパーライト組織にした後、伸線加工を行い、めっき処理した鋼線を用いて製造されている。

例えば、橋梁ケーブルにはケーブル設計の自由度向上などのために高強度化が求められており、使用される鋼線にも高強度化が求められる。

[0003] 例えば、引張強さが２０００ＭＰａ以上の高強度鋼線として、特許文献１では、質量％で、Ｃ：０．９～１．２％、Ｓｉ：０．０１～１．５％、Ｍｎ：０．２～１．５％、ＡＩ：０．００１～０．０５％、Ｎ：０．０００５～０．０１０％を含有し、残部がＦｅ及び不可避的不純物からなり、かつ、９０％以上の伸線加工パーライトと１０％以下のフェライト、ベイナイト組織からなり、引張強さが２０００ＭＰａ以上であるＰＣ鋼線であって、該ＰＣ鋼線の線径をＤとしたときに、ＰＣ鋼線の表面から０．１Ｄの領域（表層部）の表層Ｈｖ硬さ（Ｈｖ表）と表層部より内側の領域（内部）の内部Ｈｖ硬さ（Ｈｖ内）の比（Ｈｖ表／Ｈｖ内）が１．１以下であることを特徴とする耐遅れ破壊特性に優れた高強度ＰＣ鋼線が開示されている。

しかし、高強度化に伴い捻り特性が低下することが課題となる。

[0004] 捻り特性の向上を目的とした鋼線として、例えば、特許文献２では、質量％で、Ｃ：０．８～１．１％、Ｓｉ：０．８～１．３％、Ｍｎ：０．３～０．８％、Ｎ：０．００１～０．００６％、Ｂ：０．０００４～０．００６０％を含有し、且つ、固溶Ｂが０．０００２％以上であり、更に、ＡＩ：０．００５～０．１％、Ｔｉ：０．００５～０．１％の１種あるいは２種を含有し、残部がＦｅ及び不可避不純物からなり、表層から５０μｍまでの深さの

部分において非パーライト組織の面積率が１０％以下であり、全断面において非パーライト組織の合計面積率が５％以下であり、表面に、めっき付着量が３００～５００ｇ／ｍ^{2}の亜鉛めっきが施されていることを特徴とする捻回特性に優れるＰＷＳ用めっき鋼線が開示されている。

[0005] 特許文献１：特開２００９－２８０８３６号公報

特許文献２：国際公開第２００８／０９３４６６号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 橋梁ケーブル等に用いる鋼線は、高強度かつ捻り特性に優れる鋼線及びそのような特性を有する鋼線の製造に適した線材の開発が求められている。

そこで、本開示は、伸線加工により、高強度かつ捻り特性に優れる鋼線の製造に適した線材、高強度かつ捻り特性に優れる鋼線、ロープ、及びロープの製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上記課題を解決するための手段には、以下の態様が含まれる。

＜１＞ 質量％で、

Ｃ：０．８０～１．１０％、

Ｓｉ：０．１０～１．５０％、

Ｍｎ：０．１０～１．００％、

Ｐ：０．０３０％以下、

Ｓ：０．０３０％以下、

Ｎ：０．０１２０％以下、

Ｏ：０．０１００％以下、

Ａｌ：０．００５～０．０７０％、

Ｍｏ：０．０２～０．２０％、

Ｃｒ：０～１．００％、

Ｃｕ：０～０．８０％、

Ｓｎ：０～０．５０％、

Ｎｉ：０～０．５０％、

Ｖ：０～０．１５％、

Ｔｉ：０～０．０５０％、

Ｎｂ：０～０．０５０％、

Ｂ：０～０．００４０％、

ＲＥＭ：０～０．０３０％、

Ｍｇ：０～０．００４０％、

Ｃａ：０～０．００４０％、

Ｚｒ：０～０．０３０％、

Ｗ：０～０．１０％、

Ｔｅ：０～０．０３０％、及び

Ｓｂ：０～０．０３０％、

を含み、残部がＦｅ及び不純物である化学組成を有し、

長手方向に垂直な断面において中心から１．０ｍｍ以内の中心部のフェライト組織およびマルテンサイト組織の合計面積率が５％以下であり、残部はフェライトとセメンタイトからなる混合組織であり、

線材に含まれる質量％でのＣの含有量を［Ｃ］とした場合に、前記断面内の平均ビッカース硬さＨが式（１）を満たし、

４８０×［Ｃ］－４０＜Ｈ＜４８０×［Ｃ］＋４０　・・・（１）

表面から深さが０．５～１．０ｍｍの表層ビッカース硬さＨｓと平均ビッカース硬さＨが式（２）の関係を満たし、

０≦Ｈｓ－Ｈ＜３０　・・・（２）

前記中心から１．０ｍｍ以内の中心ビッカース硬さＨｃと平均ビッカース硬さＨが式（３）の関係を満たし、

０≦Ｈ－Ｈｃ＜３０　・・・（３）

線径が７．０ｍｍ以上である、線材。

＜２＞　前記化学組成が、質量％で、

Ｃｒ：０．０３～１．００％、

Ｃｕ：０．０１～０．８０％、

Ｓｎ：０．００１～０．５０％、

Ｎｉ：０．０１～０．５０％、及び

Ｖ：０．０１～０．１５％、

からなる群より選ばれる少なくとも１種又は２種以上を含む、＜１＞に記載の線材。

＜３＞　前記化学組成が、質量％で、

Ｔｉ：０．００２～０．０５０％、

Ｎｂ：０．００２～０．０５０％、

Ｂ：０．０００３～０．００４０％、

ＲＥＭ：０．００２～０．０３０％、

Ｍｇ：０．０００２～０．００４０％、

Ｃａ：０．０００２～０．００４０％、

Ｚｒ：０．００２～０．０３０％、

Ｗ：０．０２～０．１０％、

Ｔｅ：０．００１～０．０３０％、及び

Ｓｂ：０．００１～０．０３０％、

からなる群より選ばれる１種又は２種以上を含む、＜１＞又は＜２＞に記載の線材。

＜４＞　質量％で、

Ｃ：０．８０～１．１０％、

Ｓｉ：０．１０～１．５０％、

Ｍｎ：０．１０～１．００％、

Ｐ：０．０３０％以下、

Ｓ：０．０３０％以下、

Ｎ：０．０１２０％以下、

Ｏ：０．０１００％以下、

Ａｌ：０．００５～０．０７０％、

Ｍｏ：０．０２～０．２０％、

Ｃｒ：０～１．００％、

Ｃｕ：０～０．８０％、

Ｓｎ：０～０．５０％、

Ｎｉ：０～０．５０％、

Ｖ：０～０．１５％、

Ｔｉ：０～０．０５０％、

Ｎｂ：０～０．０５０％、

Ｂ：０～０．００４０％、

ＲＥＭ：０～０．０３０％、

Ｍｇ：０～０．００４０％、

Ｃａ：０～０．００４０％、

Ｚｒ：０～０．０３０％、

Ｗ：０～０．１０％、

Ｔｅ：０～０．０３０％、及び

Ｓｂ：０～０．０３０％、

を含み、残部がＦｅ及び不純物である化学組成を有し、

長手方向に平行であり、中心軸を通る断面において中心から１．０ｍｍ以内の中心部のフェライト組織およびマルテンサイト組織の合計面積率が５％以下であり、残部はフェライトとセメンタイトからなる混合組織であり、

前記長手方向に垂直な断面内の平均ビッカース硬さｈが４５０～６２０であり、

表面から深さが０．２～０．５ｍｍの表層ビッカース硬さｈｓと平均ビッカース硬さｈが式（４）の関係を満たし、

０≦ｈｓ－ｈ＜３０　・・・（４）

前記垂直な断面における中心から１．０ｍｍ以内の中心ビッカース硬さｈｃと平均ビッカース硬さｈが式（５）の関係を満たす鋼線。

０≦ｈ－ｈｃ＜３０　・・・（５）

＜５＞　前記化学組成が、質量％で、

Ｃｒ：０．０３～１．００％、

Ｃｕ：０．０１～０．８０％、

Ｓｎ：０．００１～０．５０％、

Ｎｉ：０．０１～０．５０％、及び

Ｖ：０．０１～０．１５％、

からなる群より選ばれる少なくとも１種又は２種以上を含む、＜４＞に記載の鋼線。

＜６＞　前記化学組成が、質量％で、

Ｔｉ：０．００２～０．０５０％、

Ｎｂ：０．００２～０．０５０％、

Ｂ：０．０００３～０．００４０％、

ＲＥＭ：０．００２～０．０３０％、

Ｍｇ：０．０００２～０．００４０％、

Ｃａ：０．０００２～０．００４０％、

Ｚｒ：０．００２～０．０３０％、

Ｗ：０．０２～０．１０％、

Ｔｅ：０．００１～０．０３０％、及び

Ｓｂ：０．００１～０．０３０％、

からなる群より選ばれる１種又は２種以上を含む、＜４＞又は＜５＞に記載の鋼線。

＜７＞　表面にめっきが施されている＜４＞～＜６＞のいずれか１つに記載の鋼線。

＜８＞　＜４＞～＜７＞のいずれか１つに記載の鋼線が複数本束ねられたロープ。

＜９＞　＜４＞～＜７＞のいずれか１つに記載の鋼線を複数本束ねてロープにする工程を含む、ロープの製造方法。

発明の効果

[0008] 本開示によれば、伸線加工により、高強度かつ捻り特性に優れる鋼線の製造に適した線材、高強度かつ捻り特性に優れる鋼線、ロープ、及びロープの製造方法が提供される。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]線材の各組織のＳＥＭ写真の一例を示す図である。

[図2]鋼線のフェライト組織及びマルテンサイト組織のＳＥＭ写真の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 本開示の一例である実施形態について説明する。

なお、本明細書中において、線材の「表層」又は「表層部」とは、線材の長手方向に垂直な断面において線材の表面（外周面）から深さが０．５～１．０ｍｍの範囲（表面から深さが０．５ｍｍ以上１．０ｍｍ以下の領域）を意味し、「中心部」とは線材の長手方向に垂直な断面において線材の中心から１．０ｍｍ以内の範囲を意味する。

一方、鋼線の「表層」又は「表層部」は、鋼線の長手方向に平行又は垂直な断面において鋼線の表面（外周面）から深さが０．２～０．５ｍｍの範囲（表面から深さが０．２ｍｍ以上０．５ｍｍ以下の領域）を意味し、「中心部」は鋼線の長手方向に平行又は垂直な断面において鋼線の中心から１．０ｍｍ以内の範囲を意味する。

また、「中心軸」とは、線材又は鋼線の軸方向（長手方向）に垂直な断面の中心点を通り、軸方向に延びる仮想線を意味する。

また、本明細書中において、線材又は鋼線の長手方向に垂直な断面を「横断面」、長手方向に平行であり、かつ、中心軸を含む断面を「縦断面」と記す場合がある。

また、本明細書中において、「～」を用いて表される数値範囲は、「～」の前後に記載される数値を下限値及び上限値として含む範囲を意味する。また、「～」の前後に記載される数値に「超」または「未満」が付されている場合の数値範囲は、これら数値を下限値または上限値として含まない範囲を

意味する。

本明細書中に段階的に記載されている数値範囲において、ある段階的な数値範囲の上限値は、他の段階的な記載の数値範囲の上限値に置き換えてもよく、また、実施例に示されている値に置き換えてもよい。

本明細書中に段階的に記載されている数値範囲において、ある段階的な数値範囲の下限値は、他の段階的な記載の数値範囲の下限値に置き換えてもよく、また、実施例に示されている値に置き換えてもよい。

化学組成の元素の含有量は、単に「量」（例えば、Ｃ量、Ｓｉ量等）と表記する場合がある。

化学組成の元素の含有量について、「％」は「質量％」を意味する。

化学組成の元素の含有量について、下限値として「０～」と記載している場合は、その元素は任意元素であり、含まなくてもよいことを意味する。

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

[0011] ［線材］

本開示に係る線材は、

質量％で、

Ｃ：０．８０～１．１０％、

Ｓｉ：０．１０～１．５０％、

Ｍｎ：０．１０～１．００％、

Ｐ：０．０３０％以下、

Ｓ：０．０３０％以下、

Ｎ：０．０１２０％以下、

Ｏ：０．０１００％以下、

Ａｌ：０．００５～０．０７０％、及び

Ｍｏ：０．０２～０．２０％、

を含み、

任意選択的に、

Ｃｒ：０～１．００％、

Ｃｕ：０～０．８０％、

Ｓｎ：０～０．５０％、

Ｎｉ：０～０．５０％、

Ｖ：０～０．１５％、

Ｔｉ：０～０．０５０％、

Ｎｂ：０～０．０５０％、

Ｂ：０～０．００４０％、

ＲＥＭ：０～０．０３０％、

Ｍｇ：０～０．００４０％、

Ｃａ：０～０．００４０％、

Ｚｒ：０～０．０３０％、

Ｗ：０～０．１０％、

Ｔｅ：０～０．０３０％、及び

Ｓｂ：０～０．０３０％、

を含み、残部がＦｅ及び不純物である化学組成を有する。

また、本開示に係る線材は、長手方向に垂直な断面において中心から１．０ｍｍ以内の中心部のフェライト組織およびマルテンサイト組織の合計面積率（本開示において「フェライト組織およびマルテンサイト組織の面積率」と記す場合がある。）が５％以下であり、残部はフェライトとセメンタイトからなる混合組織であり、

線材に含まれる質量％でのＣの含有量を［Ｃ］とした場合に、前記断面内の平均ビッカース硬さ（本開示において「平均硬さ」と称する場合がある。）Ｈが式（１）を満たし、

４８０×［Ｃ］－４０＜Ｈ＜４８０×［Ｃ］＋４０　・・・（１）

表面から深さが０．５～１．０ｍｍの表層ビッカース硬さ（本開示において「表層硬さ」と称する場合がある。）Ｈｓと平均ビッカース硬さＨが式（

２）の関係を満たし、

０≦Ｈｓ－Ｈ＜３０　・・・（２）

前記中心から１．０ｍｍ以内の中心ビッカース硬さ（本開示において「中心硬さ」と称する場合がある。）Ｈｃと平均ビッカース硬さＨが式（３）の関係を満たし、

０≦Ｈ－Ｈｃ＜３０　・・・（３）

線径が７．０ｍｍ以上である。

[0012] 本開示の発明者らは、以下のような検討を経て本開示に係る線材及び鋼線を見出した。

伸線加工を行って所定の線径と強度を得つつ捻り特性も良好に保つためには、加工硬化能に優れるパーライトやベイナイトのような、フェライトとセメンタイトからなる混合組織を主組織とすることが望ましい。セメンタイトをほとんど含まない組織（フェライト組織やマルテンサイト組織）が混在すると捻り特性が低下する。なお、パーライトとベイナイトは硬さが同等であれば伸線加工後の特性が類似すること、組織としても写真からの区別が難しいことから、本開示ではパーライトとベイナイトは区別しない。

さらに、橋梁用鋼線のように例えば５．０ｍｍ～７．０ｍｍの線径で使用される鋼線では、線材の線径は７．０ｍｍを超える場合が多い。線径が７．０ｍｍを超える太い線材の場合、パーライト組織やベイナイト組織を断面内に均一に作りこむことが難しい。冷却速度の大きい表層と冷却速度の小さい中心部ではパーライト変態温度やベイナイト変態温度に差異が生じる。そのため、中心部に比べ表層が硬くなり易い。線材で形成された硬さ分布は伸線加工後まで引き継がれ、鋼線においても表層が硬い分布となる。捻り試験では表層にひずみが集中するため、表層が硬い分布では捻り特性が不利になる。

[0013] そこで、本開示の発明者らは、冷却速度の遅い中心部においても表層と同程度の温度でパーライト変態又はベイナイト変態できるように変態を十分に遅延させることを検討した。本開示の発明者らは、検討を重ねた結果、Ｍｏ

は変態を遅延させる効果があり、Ｍｏの添加により線材の横断面（線材の長手方向に垂直な断面）における硬さ分布の均一性が向上することを見出し、さらに、Ｍｏを所定量含有させた鋼線では引張強さが２０５０ＭＰａ以上でも捻り特性が良好であることを確認した。

[0014] ＜化学組成＞

以下、本開示に係る線材の化学組成（各元素の含有量）について説明する。

[0015] Ｃ：０．８０～１．１０％

Ｃは、線材、及び伸線加工後に得られる鋼線の引張強さを高めるために必要な成分である。

Ｃの含有量が０．８０％未満であると、引張強さが不足する。

一方、線材のＣ含有量が多過ぎると、線材が硬質化して、捻り特性が低下する。線材のＣ含有量が１．１０％を超えると、初析セメンタイトの生成を抑制することが困難になり、他の要件を満たしていても、目標とする捻り特性が得られない。

引張強さの観点から、Ｃ含有量は０．８５％以上が好ましく、特に０．９０％以上であるとよりよい特性を示す。一方、捻り特性の観点からは、Ｃ含有量は１．０５％以下が好ましく、特に１．００％以下であるとよりよい特性を示す。

[0016] Ｓｉ：０．１０～１．５０％

Ｓｉは、線材、及び伸線加工後に得られる鋼線の引張強さを高めるのに有効な成分である。

線材のＳｉ含有量が０．１０％未満では、Ｓｉを含有することによる効果が十分に得られない。

一方、線材のＳｉ含有量が１．５０％を超えると、硬質相であるマルテンサイト組織の生成を抑制することが困難になり、他の要件を満たしていても、目標とする捻り特性が得られない。

引張強さの観点から、Ｓｉ含有量は０．５０％以上が好ましく、特に０．

７０％以上であるとよりよい特性を示す。一方、捻り特性の観点からは、Ｓｉ含有量は１．４０％以下が好ましく、特に１．３０％以下であるとよりよい特性を示す。

[0017] Ｍｎ：０．１０～１．００％

Ｍｎは、線材、及び伸線加工後に得られる鋼線の引張強さを高めるのに有効な成分である。また、Ｍｎは、鋼中のＳをＭｎＳとして固定して、熱間脆性を抑制する作用を有する成分である。

線材のＭｎ含有量が０．１０％未満では、Ｍｎを含有することによる効果が十分に得られない。

一方、線材に１．００％を超えてＭｎを含有させると、硬質相であるマルテンサイト組織の生成を抑制することが困難になり、他の要件を満たしていても、目標とする捻り特性が得られない。

引張強さの観点から、Ｍｎ含有量は０．２５％以上が好ましい。一方、捻り特性の観点からは、Ｍｎ含有量は０．８０％以下が好ましい。

[0018] Ｐ：０．０３０％以下

Ｐは、線材の粒界に偏析して捻り特性を低下させてしまう元素である。

線材のＰ含有量が０．０３０％以下であれば、捻り特性の低下が抑制され、他の要件も満たすことで、目標とする捻り特性が得られる。

Ｐ含有量の上限は０．０２５％であることが好ましく、より好ましくは０．０２０％以下である。なお、Ｐ含有量の下限は限定されず、０％（つまり含まないこと）がよいが、脱Ｐコストを低減する観点から、０％超であってもよく、０．００１％以上であってもよい。

[0019] Ｓ：０．０３０％以下

Ｓは、捻り特性を低下させてしまう元素である。

線材のＳ含有量が０．０３０％以下であれば、他の要件も満たすことで、目標とする捻り特性が得られる。

Ｓ含有量の好ましい上限は０．０２０％である。なお、Ｓ含有量の下限は限定されないが、脱Ｓコストを低減する観点から、０％超であってもよく、

０．００１％以上であってもよい。

[0020] Ｎ：０．０１２０％以下

Ｎは、捻り特性を低下させてしまう元素である。

線材のＮ含有量が０．０１２０％以下であれば、他の要件も満たすことで、目標とする捻り特性が得られる。

Ｎ含有量の好ましい上限は０．０１００％であり、より好ましい上限は０．００７０％である。なお、Ｎ含有量の下限は限定されないが、精錬コストを低減する観点から、０％超であってもよく、０．０００１％以上であってもよい。

[0021] Ｏ：０．０１００％以下

Ｏは、線材中で酸化物系介在物を形成し易い元素である。

線材のＯ含有量が０．０１００％以下であれば、酸化物系介在物が粗大化することが抑制され、捻り特性の低下を抑制することができる。

Ｏ含有量の好ましい上限は０．００７０％であり、より好ましい上限は０．００５０％である。なお、Ｏ含有量の下限は限定されないが、精錬コストを低減する観点から、０％超であってもよく、０．０００１％以上であってもよい。

[0022] ＡＩ：０．００５％～０．０７０％

ＡＩは、脱酸作用を有する元素であり、線材中の酸素量低減のために必要である。

線材のＡＩ含有量が０．００５％未満では、ＡＩを含有することによる効果が得難い。

一方、ＡＩは、硬質な酸化物系介在物を形成し易い元素である。線材のＡＩ含有量が０．０７０％を超えると、粗大な酸化物系介在物が著しく形成され易くなり、伸線加工性の低下が顕著になる。

脱酸の効果の観点から、ＡＩ含有量は０．０１０％以上が好ましく、また０．０２０％以上としてもよい。一方、伸線加工性の観点からは、ＡＩ含有量は０．０５０％以下が好ましく、また０．０４０％以下であってもよい。

[0023] Ｍｏ：０．０２～０．２０％

Ｍｏは、微量でパーライト変態、ベイナイト変態を遅延させることができる元素であり、特に線径が７．０ｍｍ以上の線材の中心部の強度を向上させるために有効な元素である。また、伸線加工後に得られる鋼線の引張強さを高める作用がある。

線材のＭｏ含有量が０．０２％未満では、Ｍｏを含有することによる効果が十分に得られない。

一方、線材のＭｏ含有量が０．２０％を超えると、硬質相であるマルテンサイト組織の生成を抑制することが困難になり、他の要件を満たしていても、目標とする捻り特性が得られない。

引張強さの観点から、Ｍｏ含有量は０．０２５％以上が好ましく、特に０．０３％以上であるとよりよい特性を示す。一方、捻り特性の観点からは、Ｍｏ含有量は０．１５％以下が好ましく、特に０．１２％以下であるとよりよい特性を示す。

[0024] 本開示に係る線材は、Ｆｅの一部に代えて、任意元素として、Ｃｒ、Ｃｕ、Ｎｉ、Ｓｎ、Ｖ、Ｔｉ、Ｎｂ、Ｂ、ＲＥＭ、Ｍｇ、Ｃａ、Ｚｒ、Ｗ、Ｔｅ、及びＳｂの１種又は２種以上を含んでもよい。これらの任意下元素は、含まれなくてもよいし（すなわち、０％）、下記の範囲内で含まれてもよい。これらの任意元素を含む場合の含有量の下限値は０％超であってもよい。例えば、Ｃｒ、Ｃｕ、Ｓｎ、Ｎｉ、及びＶからなる群より選ばれる１種又は２種以上が含まれてもよいし、Ｔｉ、Ｎｂ、Ｂ、ＲＥＭ、Ｍｇ、Ｃａ、Ｚｒ、Ｗ、Ｔｅ、及びＳｂからなる群より選ばれる１種又は２種以上が含まれてもよい。

[0025] Ｃｒ：０～１．００％

Ｃｒの含有は任意である。

Ｃｒは、線材、及び伸線加工後に得られる鋼線の引張強さを高める作用がある。その効果を安定して得るためには、０．０３％以上のＣｒ含有量にすることが好ましい。

Ｃｒ含有量が１．００％を超えると、硬質相であるマルテンサイト組織の生成を抑制することが困難になり、捻り特性が低下する。

そのため、線材中にＣｒを積極的に含有する場合のＣｒ含有量は０．０３～１．００％の範囲内が好ましい。また、好ましくは０．８５％以下でもよい。より好ましくは０．１０～０．７０％である。

[0026] Ｃｕ：０～０．８０％

Ｃｕの含有は任意である。

Ｃｕは、線材、及び伸線加工後に得られる鋼線の耐食性を高める作用がある。その効果を安定して得るためには、０．０１％以上のＣｕ含有量にすることが好ましい。

一方、線材のＣｕ含有量が０．８０％を超えても、その効果は飽和する。

そのため、線材中にＣｕを積極的に含有する場合のＣｕ含有量は０．０１～０．８０％の範囲内が好ましい。より好ましくは０．０５～０．６０％である。

[0027] Ｓｎ：０～０．５０％

Ｓｎの含有は任意である。

Ｓｎは、線材、及び伸線加工後に得られる鋼線の耐食性を高める作用がある。その効果を安定して得るためには、０．００５％以上のＳｎ含有量にすることが好ましい。

一方、線材のＳｎ含有量が０．５０％を超えても、その効果は飽和する。

そのため、線材中にＳｎを積極的に含有する場合のＳｎ含有量は０．００１～０．５０％の範囲内が好ましい。より好ましくは０．００５～０．４０％である。

[0028] Ｎｉ：０～０．５０％

Ｎｉの含有は任意である。

Ｎｉは、線材、及び伸線加工後に得られる鋼線の耐食性を高める作用がある。その効果を安定して得るためには、０．０１％以上のＮｉ含有量にすることが好ましい。

一方、線材のＮｉ含有量が０．５０％を超えても、その効果は飽和する。

そのため、線材中にＮｉを積極的に含有する場合のＮｉ含有量は０．０１～０．５０％の範囲内が好ましい。より好ましくは０．０５～０．４０％である。

[0029] Ｖ：０～０．１５％

Ｖの含有は任意である。

Ｖは、線材、及び伸線加工後に得られる鋼線の引張強さを高める作用がある。その効果を安定して得るためには、線材のＶ含有量を０．０１％以上にすることが好ましい。

一方、線材のＶ含有量が０．１５％を超えると、捻り特性が低下する。

そのため、線材中にＶを積極的に含有する場合の線材のＶ含有量は０．０２～０．１５％が好ましい。より好ましくは０．０３％～０．１３％以下であり、さらに好ましくは０．０５％～０．１２％である。

[0030] Ｔｉ：０～０．０５０％

Ｔｉの含有は任意である。

Ｔｉは、線材中に炭化物又は炭窒化物を形成して、捻り特性を高める作用がある。その効果を得るには、線材のＴｉ含有量を０．００２％以上にすることが好ましい。

一方、線材のＴｉ含有量が０．０５０％を超えると、粗大な炭化物又は炭窒化物が形成され易くなり、捻り特性が低下する。

そのため、線材中にＴｉを積極的に含有する場合の線材のＴｉ含有量は０．００２～０．０５０％とすることが好ましい。より好ましいＴｉ含有量は０．００５～０．０３０％である。

[0031] Ｎｂ：０～０．０５０％

Ｎｂの含有は任意である。

Ｎｂは、線材中に炭化物又は炭窒化物を形成して、捻り特性を高める作用がある。その効果を得るには、線材のＮｂ含有量を０．００２％以上にすることが好ましい。

一方、線材のＮｂ含有量が０．０５０％を超えると、粗大な炭化物又は炭窒化物が形成され易くなり、捻り特性が低下する。

そのため、線材中にＮｂを積極的に含有する場合の線材のＮｂ含有量は０．００２～０．０５０％が好ましい。より好ましいＮｂ含有量は０．００５～０．０３０％である。

[0032] Ｂ：０～０．００４０％

Ｂの含有は任意である。

Ｂはフェライト組織を抑制し、捻り特性を高める効果がある。その効果を得るには、線材のＢ含有量を０．０００３％以上にすることが好ましい。

一方、線材のＢ含有量が０．００４０％を超えると、粗大な炭化物が形成され易くなり、捻り特性が低下する。

そのため、線材中にＢを積極的に含有する場合の線材のＢの含有量は０．０００３～０．００４０％が好ましい。より好ましいＢ含有量は０．０００６～０．００３０％である。

[0033] ＲＥＭ：０～０．０３０％

ＲＥＭの含有は任意である。

ＲＥＭを含有すれば、高い捻り特性をより安定して発揮することができる。その効果を得るには、線材のＲＥＭ含有量を０．００２％以上にすることが好ましい。

一方、線材のＲＥＭ含有量が０．０３０％を超えると、その効果が飽和する。

そのため、ＲＥＭを積極的に含有する場合、線材のＲＥＭ含有量は０．００２～０．０３０％とすることが好ましい。

なお、ＲＥＭとは、Ｓｃ、Ｙ、及びランタノイドの合計１７元素を指し、ＲＥＭ含有量とは、ＲＥＭが１種の場合はその含有量、２種以上の場合はそれらの合計含有量を指す。

[0034] Ｍｇ：０～０．００４０％

Ｍｇの含有は任意である。

Ｍｇを含有すれば、高い捻り特性をより安定して発揮することができる。その効果を得るには、線材のＭｇ含有量を０．０００２％以上にすることが好ましい。

一方、線材のＭｇ含有量が０．００４０％を超えると、その効果が飽和する。

そのため、線材中にＭｇを積極的に含有する場合の線材のＭｇ含有量は０．０００２～０．００４０％とすることが好ましい。

[0035] Ｃａ：０～０．００４０％

Ｃａの含有は任意である。

Ｃａを含有すれば、高い捻り特性をより安定して発揮することができる。その効果を得るには、線材のＣａ含有量を０．０００２％以上にすることが好ましい。

一方、線材のＣａ含有量が０．００４０％を超えると、その効果が飽和する。

そのため、線材中にＣａを積極的に含有する場合の線材のＣａ含有量は０．０００２～０．００４０％とすることが好ましい。

[0036] Ｚｒ：０～０．０３０％

Ｚｒの含有は任意である。

Ｚｒを含有すれば、高い捻り特性をより安定して発揮することができる。その効果を得るには、線材のＺｒ含有量を０．００２％以上にすることが好ましい。

一方、線材のＺｒ含有量が０．０３０％を超えると、粗大な炭化物又は炭窒化物が形成され易くなり、捻り特性が低下する。

そのため、線材中にＺｒを積極的に含有する場合の線材のＺｒ含有量は０．００２～０．０３０％が好ましい。

[0037] Ｗ：０～０．１０％

Ｗの含有は任意である。

Ｗを含有すれば、高い捻り特性をより安定して発揮することができる。そ

の効果を得るには、線材のW含有量を０．０２％以上にすることが好ましい。

一方、線材のW含有量が０．１０％を超えると、その効果が飽和する。

そのため、線材中にWを積極的に含有する場合の線材のW含有量は０．０２～０．１０％が好ましい。

[0038] Ｔｅ：０～０．０３０％

Ｔｅの含有は任意である。

Ｔｅを含有すれば、高い捻り特性をより安定して発揮することができる。その効果を得るには、線材のＴｅ含有量を０．００１％以上にすることが好ましい。

一方、線材のＴｅ含有量が０．０３０％を超えると、その効果が飽和する。

そのため、線材中にＴｅを積極的に含有する場合の線材のＴｅ含有量は０．００１～０．０３０％が好ましい。

[0039] Ｓｂ：０～０．０３０％

Ｓｂの含有は任意である。

Ｓｂを含有すれば、高い捻り特性をより安定して発揮することができる。その効果を得るには、線材のＳｂ含有量を０．００１％以上にすることが好ましい。

一方、線材のＳｂ含有量が０．０３０％を超えると、その効果が飽和する。

そのため、線材中にＳｂを積極的に含有する場合の線材のＳｂ含有量は０．００１～０．０３０％が好ましい。

[0040] ＜金属組織＞

次に、本開示に係る線材の金属組織について説明する。

[0041] （断面中心部のフェライト組織およびマルテンサイト組織の合計面積率）

線材の横断面（長手方向に垂直な断面）の中心部のフェライト組織及びマルテンサイト組織の合計面積率は５％以下とする。これらは伸線加工後の鋼

線の捻り特性を低下させる。線材中心部のフェライト組織およびマルテンサイト組織の合計面積率が５％以下であれば、表層まで含めフェライト組織およびマルテンサイト組織の合計面積率が低いため、中心部を代表として測定する。線材の断面中心部のフェライト組織およびマルテンサイト組織の合計面積率は、４％以下でもよいし、２％以下でもよいし、１％以下でもよい。なお、フェライト組織およびマルテンサイト組織の一方が含まれていてもよいし、両方とも含まれていなくてもよい。後述する鋼線の縦断面における組織についても同様である。

[0042] ＜硬さ＞

次に、本開示に係る線材の硬さについて説明する。

[0043] （平均ビッカース硬さＨ）

本開示に係る線材は、横断面内の平均ビッカース硬さＨが式（１）を満たす。

４８０×［Ｃ］－４０＜Ｈ＜４８０×［Ｃ］＋４０　・・・（１）

横断面内の平均ビッカース硬さＨは、線材に含まれる質量％での炭素量［Ｃ］に依存する。ビッカース硬さの平均値が「４８０×［Ｃ］－４０」を下回ると、伸線加工後の鋼線で求められる引張強さ（例えば２０５０ＭＰａ以上）を安定して付与することが困難である。

一方、断面内のビッカース硬さの平均値が「４８０×［Ｃ］＋４０」を上回ると、伸線加工時に微小な割れが発生しやすくなり、他の要件を満たしていても、鋼線として引張強さが２０５０ＭＰａ以上、かつ、後述する実施例における捻り試験で目標とする捻り回数１２回以上を得ることができない。

平均ビッカース硬さＨは、下記式（１Ａ）を満たす範囲でもよく、式（１Ｂ）を満たす範囲でもよい。

４８０×［Ｃ］－３０＜Ｈ＜４８０×［Ｃ］＋３０　・・・（１Ａ）

４８０×［Ｃ］－２０＜Ｈ＜４８０×［Ｃ］＋２０　・・・（１Ｂ）

[0044] （表層ビッカース硬さＨｓと平均ビッカース硬さＨの関係）

本開示に係る線材は、表面から深さ０．５～１．０ｍｍの表層ビッカース

硬さＨｓと平均ビッカース硬さＨが、式（２）の関係を満たす

０≦Ｈｓ－Ｈ＜３０　・・・（２）

表層ビッカース硬さＨｓが平均ビッカース硬さＨよりも３０以上大きい場合、捻り試験時に微小な割れが発生しやすくなり、他の要件を満たしていても、目標とする捻り試験結果を得ることができない。

一方、表層ビッカース硬さＨｓを平均ビッカース硬さＨよりも低くすることは通常の圧延線材では工業的に難しい。

表層ビッカース硬さＨｓと平均ビッカース硬さＨの関係は、下記式（２Ａ）を満たす範囲でもよく、式（２Ｂ）を満たす範囲でもよい。

０≦Ｈｓ－Ｈ＜２５　・・・（２Ａ）

０≦Ｈｓ－Ｈ＜２０　・・・（２Ｂ）

[0045]（中心ビッカース硬さＨｃと平均ビッカース硬さＨの関係）

本開示に係る線材は、横断面における中心から１．０ｍｍ以内の中心ビッカース硬さＨｃと平均ビッカース硬さＨが、式（３）の関係を満たす。

０≦Ｈ－Ｈｃ＜３０　・・・（３）

中心ビッカース硬さＨｃが平均ビッカース硬さＨよりも３０以上小さい場合、伸線加工後の鋼線で求められる引張強さ（例えば２０５０ＭＰａ以上）を安定して付与することが困難である。

中心ビッカース硬さＨｃが平均ビッカース硬さＨよりも高くすることは通常の圧延線材では工業的に難しい。

中心ビッカース硬さＨｃと平均ビッカース硬さＨの関係は、下記式（３Ａ）を満たす範囲でもよく、式（３Ｂ）を満たす範囲でもよい。

０≦Ｈ－Ｈｃ＜２５　・・・（３Ａ）

０≦Ｈ－Ｈｃ＜２０　・・・（３Ｂ）

[0046]＜線径＞

本開示に係る線材は、線径が７．０ｍｍ以上である。線材の線径が７．０ｍｍ未満では本開示の効果は得られない。

一方、本開示に係る線材の線径の上限は特に限定されないが、線径が２０

ｍｍを超える線材を通常の製造工程で工業的に製造することは難しい。

本開示に係る線材の線径は、７．５～１８．０ｍｍでもよく、８．０～１６．０ｍｍでもよい。

[0047] ［鋼線］

次に、本開示に係る鋼線について説明する。

本開示に係る鋼線は、質量％で、

Ｃ：０．８０～１．１０％、

Ｓｉ：０．１０～１．５０％、

Ｍｎ：０．１０～１．００％、

Ｐ：０．０３０％以下、

Ｓ：０．０３０％以下、

Ｎ：０．０１２０％以下、

Ｏ：０．０１００％以下、

Ａｌ：０．００５～０．０７０％、及び

Ｍｏ：０．０２～０．２０％、

を含み、

任意選択的に、

Ｃｒ：０～１．００％、

Ｃｕ：０～０．８０％、

Ｓｎ：０～０．５０％、

Ｎｉ：０～０．５０％、

Ｖ：０～０．１５％、

Ｔｉ：０～０．０５０％、

Ｎｂ：０～０．０５０％、

Ｂ：０～０．００４０％、

ＲＥＭ：０～０．０３０％、

Ｍｇ：０～０．００４０％、

Ｃａ：０～０．００４０％、

Ｚｒ：０～０．０３０％、

Ｗ：０～０．１０％、

Ｔｅ：０～０．０３０％、及び

Ｓｂ：０～０．０３０％、

を含み、残部がＦｅ及び不純物である化学組成を有する。

また、本開示に係る鋼線は、長手方向に平行であり、中心軸を通る断面において中心部のフェライト組織とマルテンサイト組織の合計面積率が５％以下であり、残部はフェライトとセメンタイトからなる混合組織であり、

長手方向に垂直な断面内の平均ビッカース硬さｈが４５０～６２０であり、

表面から深さが０．２～０．５ｍｍの表層ビッカース硬さｈｓと平均ビッカース硬さｈが式（４）の関係を満たし、

０≦ｈｓ－ｈ＜３０　・・・（４）

前記垂直な断面における中心から１．０ｍｍ以内の中心ビッカース硬さｈｃと平均ビッカース硬さｈが式（５）の関係を満たす。

０≦ｈ－ｈｃ＜３０　・・・（５）

本開示に係る線材を伸線加工ひずみ１．０～２．５の範囲内で伸線加工して平均ビッカース硬さを４５０～６２０に制御した場合、表層ビッカース硬さと平均ビッカース硬さの上記の差（ｈｓ－ｈ）、中心ビッカース硬さと平均ビッカース硬さの上記の差（ｈ－ｈｃ）がそれぞれ３０未満になる。このように平均硬さに対して表層が硬すぎず、中心が柔らかすぎない硬さ分布とすることで高強度を達成しつつ良好な捻り特性を有する鋼線が得られる。

本開示に係る鋼線は、亜鉛や亜鉛合金によるめっき処理を施したり、脱脂処理による入熱を行ってもよい。すなわち、本開示に係る鋼線は、表面にめっきが施された鋼線（めっき線）も含まれる。なお、本開示に係る鋼線がめっき層を有する場合、本開示における化学組成、金属組織、及び硬さは、いずれも鋼部分の値を意味する。

本開示に係る鋼線は、前述した線材の化学組成と同様の任意元素を含んで

もよい。

また、本開示に係る鋼線の線径は特に限定されないが、例えば３．０～８．０ｍｍであり、４．０～７．５ｍｍであってもよい。

[0048] ＜測定方法＞

次に、本開示に係る線材及び鋼線の金属組織の面積率、硬さの測定方法、評価試験方法について説明する。なお、後述する実施例における各値は、以下の測定方法による測定値である。

以下の説明において、測定対象である線材又は鋼線の直径をＤとする。

[0049] （線材の組織の面積率の測定）

横断面における中心及び中心から上下左右２００μｍ離れた個所を走査電子顕微鏡（ＳＥＭ）にて２．７×１０$^{-3}$ｍｍ^{2}（縦０．０４５ｍｍ、横０．０６０ｍｍ）の領域で５枚撮影する。なお、ＳＥＭによる観察前に、断面を鏡面研磨した後、エッチングにはピクラールを用いて金属組織を現出させる。

図１（Ａ）～（Ｄ）は、それぞれ、フェライトとセメンタイトが混在する混合組織の一例であるパーライト組織、マルテンサイト組織、フェライト組織（図１（Ｃ）では「フェライト」と表記）、フェライトとセメンタイトからなる混合組織の一例を示している。フェライト組織、マルテンサイト組織はセメンタイトを含まない組織であり、フェライトとセメンタイトからなる混合組織はパーライトやベイナイト等であり、フェライト中にセメンタイトが混在する。例えば、（Ｃ）において、フェライト（黒っぽい部分）とセメンタイト（白っぽい部分）との層状組織であるパーライト組織（フェライトとセメンタイトの混在組織の一例）が存在するが、矢印部分はセメンタイトが存在せず、周囲のパーライト組織とは区別されるため、フェライト組織と判断する。一方、（Ａ）において、２つの矢印部分は、セメンタイトよりもフェライトが多く存在しているが、分断したセメンタイトがフェライト中に存在した組織であり、フェライトとセメンタイトの混在組織と判断する。各ＳＥＭ写真においてフェライト組織及びマルテンサイト組織の面積率（％）を測定する。セメンタイトを含まない組織であるフェライト組織とマルテン

サイト組織は、必ずしも両者を区別せずともよい。具体的には、各ＳＥＭ画像を紙面上に印刷後、紙面上にＯＨＰ（Ｏｖｅｒ　Ｈｅａｄ　Ｐｒｏｊｅｃｔｏｒ）シートなどの透明シートを重ねてセメンタイトを含まない組織（フェライト組織及びマルテンサイト組織）に色を塗る。その後、フェライト組織及びマルテンサイト組織に色を塗った透明シートを画像解析で解析することでフェライト組織及びマルテンサイト組織の合計面積率を測定する。１視野あたりの面積を２．７×１０$^{-3}$ｍｍ^{2}（縦０．０４５ｍｍ、横０．０６０ｍｍ）とし、画像解析には、画像解析ソフト（例えば、ニレコ社製のルーゼックスＡＰ）を用いる。５枚の画像のフェライト組織及びマルテンサイト組織の合計面積率から平均値を計算し、平均値をその線材のフェライト組織及びマルテンサイト組織の合計面積率とする。

[0050]（鋼線の組織の面積率の測定）

縦断面における中心部を走査電子顕微鏡（ＳＥＭ）にて３×１０$^{-4}$ｍｍ^{2}（縦０．０１５ｍｍ、横０．０２ｍｍ）で２００μｍ間隔ごとに５枚撮影する。なお、ＳＥＭによる観察前に、鋼線の縦断面を鏡面研磨した後、エッチングにはピクラールを用いて金属組織を現出させる。

図２の（Ａ）、（Ｂ）は、それぞれ、フェライト組織又はマルテンサイト組織、及びフェライトとセメンタイトからなる混合組織を含む鋼線の縦断面のＳＥＭ写真の一例を示している。また、（ａ）は（Ａ）の矢印部分を拡大したものであり、（ｂ）は（Ｂ）の矢印部分を拡大したものである。フェライト組織及びマルテンサイト組織はセメンタイトを含まない組織であり、フェライトとセメンタイトからなる混合組織はパーライトやベイナイト等が伸線加工されたものであり、フェライト中にセメンタイトが混在する。各ＳＥＭ写真においてフェライト組織及びマルテンサイト組織の面積率（％）を測定する。セメンタイトを含まない組織であるフェライト組織とマルテンサイト組織は、必ずしも両者を区別せずともよい。具体的には、各ＳＥＭ画像を紙面上に印刷後、紙面上にＯＨＰ（Ｏｖｅｒ　Ｈｅａｄ　Ｐｒｏｊｅｃｔｏｒ）シートなどの透明シートを重ねてフェライト組織、マルテンサイト組織

に色を塗る。その後、色を塗った透明シートを画像解析で解析することでフェライト組織及びマルテンサイト組織の合計面積率を測定する。１視野あたりの面積を３×１０$^{-4}$ｍｍ^{2}（縦０．０１５ｍｍ、横０．０２ｍｍ）とし、画像解析には、画像解析ソフト（例えば、ニレコ社製のルーゼックスＡＰ）を用いる。５枚の画像のフェライト組織及びマルテンサイト組織の面積率から平均値を計算し、平均値をその鋼線のフェライト組織及びマルテンサイト組織の合計面積率とする。

[0051]（線材の硬さ測定）

ビッカース試験機を用いて、線材の横断面に荷重１ｋｇｆで圧子を押し込む。

線材の表面（外周面）から深さ０．５ｍｍ位置を始点として０．５ｍｍピッチで中心に向かって打点する。９０°間隔で４方向から打点する。

表面から深さ０．５～１．０ｍｍ以内を表層部とし、表面から０．５ｍｍ、１．０ｍｍの距離に打点した合計８箇所のビッカース硬さの平均値を表層ビッカース硬さＨｓとする。

一方、横断面における中心（線材の中心軸）から１．０ｍｍの範囲内を中心部とし、中心及び中心から０．５ｍｍ、１．０ｍｍの距離にそれぞれ打点した硬さ、合計９箇所の硬さの平均値を中心ビッカース硬さＨｃとする。

また、断面全体で、すなわち、横断面における中心と表面から中心に向けて０．５ｍｍ間隔（中心から０．３ｍｍ未満の領域は除外）で測定したビッカース硬さの平均値を平均ビッカース硬さとする。例えば、線径１２ｍｍの線材であれば、中心の１箇所と、表面から０．５ｍｍの位置と中心から０．５ｍｍの位置の間の１１箇所×４方向＝４４箇所、合計４５箇所で測定したビッカース硬さの平均値を平均ビッカース硬さＨとする。また、例えば線径８．４ｍｍの線材の場合は、中心の１箇所と、表面から０．５ｍｍ～３．５ｍｍの間の７箇所（表面から４．０ｍｍの位置は中心から０．２ｍｍの位置となるため除外）×４方向＝２８箇所、合計２９箇所で測定した硬さの平均値を平均ビッカース硬さＨとする。

[0052]（鋼線の硬さ測定）

ビッカース試験機を用いて、鋼線の横断面に荷重１ｋｇｆで圧子を押し込む。

鋼線の表面（外周面）から深さ０．２ｍｍ位置を始点として０．２ｍｍピッチで中心に向かって打点する。９０°間隔で４方向から打点する。めっきされた鋼線では、鋼部分の表面から０．２ｍｍ位置を始点とする。

鋼線の表面から深さが０．２～０．５ｍｍの範囲内に打点したビッカース硬さの平均値を表層ビッカース硬さｈｓとする。中心から１ｍｍ以内に打点した硬さの平均値を中心ビッカース硬さｈｃとする。

また、断面全体で、すなわち、横断面における中心と表面から中心に向けて０．２ｍｍ間隔（中心から０．２ｍｍ未満の領域は除外）測定したビッカース硬さの平均値を平均ビッカース硬さとする。例えば線径５．４ｍｍの鋼線の場合は、中心の１箇所と、表面から０．２ｍｍ～２．４ｍｍの間の１２箇所（表面から２．６ｍｍの位置は中心から０．１ｍｍの位置となるため除外）×４方向＝４８箇所、合計４９箇所で測定した硬さの平均値を平均ビッカース硬さｈとする。

[0053]（鋼線の捻り試験）

鋼線の破断までの回数で評価し、各５本ずつ実施して最小値を評価する。

チャック間距離は１００×線径Ｄとする。回転速度は２０ｒｐｍとする。

なお、ここでいう鋼線の破断とは、鋼線全体が破断した場合だけでなく、鋼線に部分的な亀裂が生じた場合も含む。すなわち、試験中の鋼線に部分的な亀裂が生じた場合には、その時点のねじり回数をもって評価する。

[0054]（引張試験）

引張試験に供する線材は矯正加工を行い、直線としてよい。線材の長さを３４０ｍｍ、チャック間距離を２００ｍｍとし、ストローク速度１０ｍｍ／ｍｉｎで引張試験を行う。

線材の直径は線材の長さ方向の中央においてノギスを用いて直交する２方向で測定し、その平均値とする。引張強さは、引張試験時の最大荷重（Ｎ）

／線材の直径から算出した断面積（ｍｍ^2）、とする。

鋼線の引張試験及び直径の測定も線材と同様にして行うことができる。めっき線の場合、めっきを剥がして鋼線のみとして引張試験を行う。めっき剥離は塩酸浸漬等の化学的に剥がす方法や研磨等で物理的に剥がす方法がある。

[0055] ＜線材及び鋼線の製造方法＞

本開示に係る線材及び鋼線の製造方法は特に限定されないが、以下、好適な製造方法の一例について説明する。

[0056] （鋳片の鋳造）

前述した化学組成を有する鋳片を製造する。例えば、連続鋳造を行う場合、転炉によって溶製した後、溶鋼の電磁攪拌を十分に行い、さらに凝固途中で圧下を行うことにより鋳片を得る方法が挙げられる。

[0057] （鋳片の圧延）

鋳造した鋳片を１２００～１２５０℃に加熱した後、分塊圧延することにより鋼片を得る。

[0058] （線材の圧延）

次に、鋼片を圧延して圧延線材を得る。鋼片の加熱温度は１０２０℃～１０８０℃とする。

１０２０℃未満で加熱した場合、反力が大きくなり圧延加工が難しい。

一方、１０８０℃を超えるとオーステナイト組織が粗大化し、後述する溶融塩に浸漬させた際に未変態のオーステナイトが残存し、マルテンサイトが混在する可能性がある。

[0059] 仕上げ圧延の出側温度（仕上げ圧延温度）は９００～１０００℃とする。

仕上げ圧延温度を９００℃未満にすることは工業的に困難である。

一方、仕上圧延温度が１０００℃を超えるとオーステナイト組織が粗大化し、後述する溶融塩に浸漬させた際に未変態のオーステナイトが残存し、マルテンサイトが混在する可能性がある。

[0060] （巻取前冷却）

仕上げ圧延後、水冷又は風冷によって８００℃～９００℃（巻取り前温度）に冷却する。

８００℃未満の場合、溶融塩浸漬までに温度が下がりすぎ、表層からパーライト変態が開始して表層が軟化する。

９００℃超の場合、オーステナイト組織が粗大化し、後述する溶融塩に浸漬させた際に未変態のオーステナイトが残存し、マルテンサイトが混在する可能性がある。

[0061]（溶融塩前冷却）

溶融塩に浸漬させる前に冷却を行う。

溶融塩浸漬前に１０℃／秒以上で７４０℃～８００℃の温度（溶融塩前温度）まで冷却を行う。

７４０℃未満では表層からパーライト変態が開始して表層が軟化する。粗いパーライトは捻り特性を低下させる。

８００℃超では溶融塩の温度が上がって狙いの温度でパーライト変態ができなくなる。

また、冷却速度が１０℃／秒未満では初析セメンタイトの析出により捻り特性が低下する。冷却速度の上限は特に限定されないが、技術的観点から５０℃／秒以下であってよい。

[0062]（溶融塩浸漬）

７４０℃～８００℃の温度まで冷却した後、溶融塩への浸漬によりパーライトもしくはベイナイトに変態させる。

溶融塩槽は５４０℃～５７０℃とし、６０秒～１２０秒浸漬させる。

溶融塩の温度が５４０℃未満ではフェライト組織が増加する。一方、溶融塩の温度が５７０℃超では線材の内部の冷却速度が不足し、軟化する。

また、溶融塩への浸漬時間が６０秒未満では未変態のオーステナイトが残存し、マルテンサイトが混在する可能性がある。１２０秒以上浸漬させた場合、変態後にセメンタイトが球状化して強度が低下する可能性がある。

[0063]（伸線加工）

上記の工程を経て製造した線材は、伸線加工より、高強度かつ捻り特性に優れた鋼線を得ることができる。

伸線加工による伸線加工ひずみεは以下の式で表現される。

$\varepsilon = \ln (D_0 / D)^2$

D_0は伸線加工前の直径、Dは伸線加工後の直径である。εは１．０以上２．５以下とすることが好ましい。伸線加工ひずみが１．０よりも低い場合は強度が出にくく、２．５よりも高い場合には加工率が過大になり捻り特性が低下する。なお、伸線加工前にはリン酸亜鉛皮膜やホウ砂皮膜などの表面潤滑処理をすることが好ましい。

上記工程を経て高強度かつ捻り特性に優れた鋼線を製造することができる。なお、伸線加工後にはめっきなどの後処理や脱脂処理を施してもよい。脱脂処理及び亜鉛または亜鉛合金によるめっき処理は４００～５３０℃の範囲内で行うことが好ましい。４００℃未満の場合、時効硬化によって鋼材が硬くなるとともに捻り特性が低下する。５３０℃以上の場合、セメンタイトの球状化などによる軟質化が顕著となり、強度が不足する。

[0064] ＜用途＞

本開示に係る線材を伸線加工して得られる鋼線の用途は特に限定されないが、高強度であり、捻り特性が要求される用途、例えば、橋梁ケーブル用鋼線及び各種ロープ等の種々の用途に好適である。本開示に係る線材は、これらの用途に用いる鋼線の素材として好適である。例えば、本開示に係る鋼線を複数本束ねてロープ（ストランド）を得ることができる。本開示に係る鋼線に亜鉛を含むめっきを施しためっき線を複数本束ねてロープとしてもよい。

実施例

[0065] 以下、本開示の線材及び鋼線について実施例を挙げてさらに具体的に説明する。ただし、これら各実施例は、本開示の線材及び鋼線を制限するものではない。

[0066] ＜実施例１＞

表１に示す化学組成（単位：質量％）の鋼材を作製し、表２に示す方法（条件）で線材を製造した。なお、表１中の「－」の表記は、当該元素の含有量が不純物レベルであり、実質的に含有されていないと判断できることを示す。後述する表４における「－」も同様である。また、表１及び表４における化学組成の残部はＦｅ及び不純物である。

[0067]

[表1]

鋼材	C	Si	Mn	P	S	N	O	Al	Mo	Cr	Cu	Sn	Ni	V	Ti	Nb	B	REM	Mg	Ca	Zr	W	Te	Sb
steel 1	0.92	0.91	0.39	0.007	0.005	0.0033	0.0041	0.031	0.06	0.24	-	-	-	-	0.012	-	0.0012	-	-	-	-	-	-	-

[0068] [表2]

条件	線材圧延			溶融塩浸漬前		溶融塩	
	加熱温度 ℃	仕上圧延温度 ℃	巻取前温度 ℃	溶融塩前温度 ℃	冷却速度 ℃/s	溶融塩温度 ℃	浸漬時間 秒
A	1050	920	820	770	15	555	70
B	1030	950	860	750	15	550	65
C	1050	980	830	790	12	565	70
D	1080	920	850	770	15	550	75
E	1100	920	850	760	15	560	70
F	1050	1020	850	760	15	560	70
G	1050	920	780	710	15	560	70
H	1050	920	910	760	15	560	70
I	1050	920	850	720	15	560	70
J	1050	920	850	820	15	560	70
K	1050	920	850	760	8	560	70
L	1050	920	850	760	15	500	70
M	1050	920	850	760	15	580	70
N	1050	920	850	760	15	560	55

[0069] 上記製法によって製造した線径１０．０～１４．０ｍｍの線材について、中心部のフェライト組織およびマルテンサイト組織の合計面積率、ビッカース硬さ、引張強さをそれぞれ前述した方法により測定した。

また、線材を伸線加工して線径５．０ｍｍの鋼線、すなわち線径１４．０ｍｍの線材であれば伸線加工ひずみ２．０６の鋼線を作製し、４５０℃で３０秒間の時効後にビッカース硬さ、引張強さをそれぞれ前述した方法により測定し、さらに、捻り試験により捻り回数を測定した。

鋼線の引張強さが２０５０ＭＰａ以上である場合を引張強さが良好と判断した。

また、捻り試験での鋼線の破断までの回数が１２回以上は良好（Ａ印）、１２回未満は不良（Ｂ印）と評価した。

測定結果を表３Ａ、表３Ｂに示す。

[0070]

[表3A]

	線材											
No.	鋼材	製法	中心部のフェライト組織及びマルテンサイト組織の面積率 (%)	平均硬さ H (Hv)	中心硬さ Hc (Hv)	480×[C]-40	480×[C]+40	表層硬さ Hs (Hv)	Hs-H	H-Hc	線径 (mm)	引張強さ (MPa)
1	steel 1	A	2	421	409	402	482	434	13	12	14.0	1494
2	steel 1	B	1	424	411	402	482	434	10	13	12.0	1499
3	steel 1	C	1	417	405	402	482	429	12	12	11.0	1477
4	steel 1	D	2	420	408	402	482	433	13	12	13.0	1489
10	steel 1	E	11	427	408	402	482	439	12	19	13.0	1478
11	steel 1	F	22	419	412	402	482	429	10	7	13.0	1498
12	steel 1	G	1	396	393	402	482	404	8	3	12.0	1404
13	steel 1	H	18	419	403	402	482	426	7	16	12.0	1477
14	steel 1	I	1	381	368	402	482	401	20	13	13.0	1366
15	steel 1	J	3	398	381	402	482	421	23	17	12.0	1411
16	steel 1	K	3	411	380	402	482	433	22	31	14.0	1481
17	steel 1	L	14	361	355	402	482	371	10	6	12.0	1318
18	steel 1	M	1	389	378	402	482	401	12	11	12.0	1389
19	steel 1	N	12	423	412	402	482	433	10	11	14.0	1489

[0071] [表3B]

	鋼線							捻り試験	
No.	中心部のフェライト組織及びマルテンサイト組織の面積率 (%)	引張強さ (MPa)	平均硬さ h (Hv)	表層硬さ hs (Hv)	中心硬さ hc (Hv)	hs-h	h-hc	捻り回数 (回)	合否
1	1	2216	566	581	554	15	12	21	A
2	1	2110	551	562	534	11	17	21	A
3	1	2092	548	561	533	13	15	20	A
4	2	2202	568	583	553	15	15	22	A
10	10	-	-	-	-	-	-	-	-
11	24	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1	2024	537	540	527	3	10	21	B
13	18	-	-	-	-	-	-	-	-
14	1	2031	537	539	533	2	4	18	B
15	3	2033	539	549	531	10	8	22	B
16	2	2151	558	589	523	31	35	5	B
17	14	-	-	-	-	-	-	-	-
18	1	1997	536	541	529	5	7	20	B
19	10	-	-	-	-	-	-	-	-

[0072] Ｎｏ．１～４の線材は、伸線加工により、高強度（２０５０ＭＰａ以上）かつ捻り特性に優れた鋼線が得られた。

Ｎｏ．１０、１１は、線材にフェライト組織またはマルテンサイト組織が混在し、フェライト組織またはマルテンサイト組織の面積率が高く、伸線加工において断線が生じた。

Ｎｏ．１２は、線材の表層硬さ、平均硬さが小さく、伸線加工後の鋼線の引張強さが不十分であった。

Ｎｏ．１３は、線材の組織にフェライト組織またはマルテンサイト組織が混在し、フェライト組織またはマルテンサイト組織の面積率が高く、伸線加工において断線が生じた。

Ｎｏ．１４は、線材の表層硬さ、平均硬さが小さく、伸線加工後の鋼線の引張強さが不十分であった。

Ｎｏ．１５は、高温でのパーライト変態により、平均硬さが小さく、伸線加工後の鋼線の引張強さが不十分であった。

Ｎｏ．１６は、線材の表層と内部との温度差により、線材における平均硬さと中心部硬さの差が大きく、伸線加工後の鋼線の捻り特性が不十分であっ

た。

Ｎｏ．１７は、線材の組織にフェライト組織またはマルテンサイト組織が混在し、フェライト組織またはマルテンサイト組織の面積率が高く、伸線加工において断線した。

Ｎｏ．１８は、高温でのパーライト変態により、線材における平均硬さが小さく、伸線加工後の鋼線の引張強さが不十分であった。

Ｎｏ．１９は、線材の組織にフェライト組織またはマルテンサイト組織が混在し、フェライト組織またはマルテンサイト組織の面積率が高く、伸線加工において断線が生じた。

[0073] ＜実施例２＞

表４に示す化学組成（単位：質量％）を有する鋼材を作製し、表２に示す製法Ａの条件で線材を製造した。

[0074]

[表4]

鋼材	C	Si	Mn	P	S	N	O	Al	Mo	Cr	Cu	Sn	Ni	V	Ti	Nb	B	REM	Mg	Ca	Zr	W	Te	Sb
steel 2	0.92	1.03	0.39	0.007	0.006	0.0033	0.0041	0.031	0.07	-	-	-	-	-	0.012	-	0.0012	-	-	-	-	0.06	-	-
steel 3	0.87	0.81	0.35	0.008	0.009	0.0028	0.0044	0.032	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
steel 4	0.82	1.23	0.93	0.011	0.006	0.0033	0.0034	0.036	0.11	-	-	-	-	0.07	0.018	-	0.0011	0.010	-	-	-	-	-	-
steel 5	1.07	0.24	0.36	0.009	0.007	0.0031	0.0049	0.042	0.09	0.56	-	-	-	-	-	0.012	-	-	-	-	0.022	-	-	-
steel 6	0.93	0.91	0.34	0.006	0.006	0.0034	0.0038	0.031	0.06	0.24	0.16	-	0.09	-	0.013	-	0.0011	-	-	-	-	-	-	-
steel 7	1.02	0.98	0.74	0.007	0.007	0.0041	0.0032	0.033	0.03	-	-	0.22	-	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
steel 8	0.92	0.92	0.41	0.008	0.011	0.0033	0.0038	0.036	0.08	0.26	0.15	-	0.08	-	0.013	-	0.0010	-	-	-	-	-	-	-
steel 9	0.98	1.19	0.42	0.009	0.008	0.0034	0.0034	0.036	0.17	0.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0012	-	-	-	-
steel 10	0.89	1.42	0.58	0.010	0.013	0.0044	0.0035	0.044	0.11	0.78	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0014	-	-	-	-	-
steel 11	0.91	1.03	0.36	0.008	0.008	0.0039	0.0041	0.030	0.10	0.22	0.16	-	0.09	-	0.015	-	0.0011	-	-	-	-	-	-	-
steel 12	0.97	1.21	0.39	0.012	0.007	0.0036	0.0039	0.042	0.05	0.24	-	-	-	-	0.011	-	0.0013	-	-	-	-	-	-	-
steel 13	0.87	0.52	0.92	0.011	0.009	0.0033	0.0042	0.029	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
steel 14	0.91	1.20	0.44	0.009	0.013	0.0041	0.0038	0.031	0.05	0.24	0.14	-	0.07	-	0.012	-	0.0010	-	-	-	-	-	-	-
steel 15	0.92	1.21	0.36	0.008	0.009	0.0034	0.0033	0.032	0.04	0.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
steel 16	0.98	1.21	0.51	0.009	0.008	0.0036	0.0042	0.031	0.05	0.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-
steel 17	0.87	0.82	0.76	0.008	0.009	0.0033	0.0028	0.011	0.04	-	0.12	-	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
steel 18	0.78	0.88	0.35	0.009	0.012	0.0033	0.0031	0.033	0.07	-	-	-	-	-	0.011	-	-	-	-	-	-	-	-	-
steel 19	1.12	0.99	0.44	0.007	0.013	0.0042	0.0033	0.043	0.09	0.48	0.18	-	0.19	-	-	0.011	-	-	-	-	-	-	-	-
steel 20	0.87	1.71	0.72	0.008	0.011	0.0044	0.0036	0.034	0.07	-	-	-	-	-	0.011	-	0.0008	-	-	-	-	-	-	-
steel 21	0.97	0.83	1.12	0.011	0.009	0.0034	0.0042	0.036	0.06	-	-	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
steel 22	0.91	1.02	0.39	0.012	0.008	0.0036	0.0034	0.051	-	0.35	-	-	-	-	0.013	-	0.0009	-	-	-	-	-	-	-
steel 23	1.01	0.67	0.77	0.018	0.009	0.0031	0.0038	0.044	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
steel 24	0.99	1.08	0.34	0.009	0.012	0.0032	0.0032	0.092	0.16	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[0075] 製造した線材について、フェライト組織およびマルテンサイト組織の合計面積率、ビッカース硬さ、引張強さをそれぞれ前述した方法により測定した。

また、線材を伸線加工して線径５．０ｍｍの鋼線を作製し、中心部のフェライト組織およびマルテンサイト組織の合計面積率、ビッカース硬さ、引張強さをそれぞれ前述した方法により測定し、さらに、捻り試験により捻り回数を測定した。

測定結果を表５Ａ、表５Ｂに示す。

[0076] [表5A]

			線材									
No.	鋼材	製法	中心部のフェライト組織及びマルテンサイト組織の面積率 (%)	平均硬さ H (Hv)	480×[C]-40	480×[C]+40	中心硬さ Hc (Hv)	表層硬さ Hs (Hv)	Hs-H	H-Hc	線径 (mm)	引張強さ (MPa)
20	steel 2	A	1	433	402	482	425	442	9	8	12.0	1494
21	steel 3	A	3	413	378	458	406	419	6	7	14.0	1437
22	steel 4	A	1	404	354	434	400	407	3	4	14.0	1411
23	steel 5	A	2	477	474	554	473	482	5	4	11.0	1562
24	steel 5	A	2	482	474	554	479	484	2	3	10.0	1573
25	steel 6	A	2	422	406	486	411	434	12	11	13.0	1502
26	steel 7	A	4	460	450	530	439	479	19	21	12.0	1569
27	steel 8	A	2	436	402	482	428	449	13	8	14.0	1488
28	steel 9	A	2	454	430	510	452	457	3	2	12.0	1554
29	steel 10	A	3	442	387	467	439	444	2	3	13.0	1518
30	steel 11	A	1	441	397	477	439	443	2	2	14.0	1505
31	steel 12	A	2	464	426	506	457	473	9	7	12.5	1580
32	steel 13	A	1	400	378	458	384	414	14	16	13.0	1399
33	steel 14	A	2	434	397	477	427	445	11	7	12.0	1490
34	steel 15	A	3	430	402	482	419	439	9	11	12.0	1481
35	steel 16	A	2	452	430	510	437	467	15	15	12.0	1532
36	steel 17	A	3	401	378	458	384	421	20	17	13.0	1412
40	steel 18	A	2	381	334	414	368	393	12	13	13.0	1343
41	steel 19	A	3	485	498	578	471	496	11	14	12.0	1641
42	steel 20	A	12	431	378	458	418	444	13	13	14.0	1487
43	steel 21	A	13	428	426	506	414	444	16	14	14.0	1479
44	steel 22	A	1	416	397	477	383	447	31	33	12.0	1444
45	steel 23	A	16	439	445	525	435	441	2	4	14.0	1509
46	steel 24	A	2	457	435	515	454	461	4	3	14.0	1560

[0077]

[表5B]

	鋼線							捻り試験		
No.	中心部のフェライト組織及びマルテンサイト組織の面積率(%)	引張強さ(MPa)	平均硬さh(Hv)	表層硬さhs(Hv)	中心硬さhc(Hv)	hs-h	h-hc	捻り回数(回)	合否	備考
20	1	2113	551	569	537	18	14	22	A	本開示例
21	2	2201	565	571	554	6	11	21	A	本開示例
22	1	2156	559	567	550	8	9	23	A	本開示例
23	1	2191	567	577	559	10	8	21	A	本開示例
24	2	2112	550	561	439	11	111	19	A	本開示例
25	2	2219	571	579	563	8	8	18	A	本開示例
26	2	2226	571	582	557	11	14	17	A	本開示例
27	2	2296	584	601	569	17	15	23	A	本開示例
28	1	2246	574	585	558	11	16	21	A	本開示例
29	2	2232	573	581	565	8	8	22	A	本開示例
30	1	2297	583	598	569	15	14	20	A	本開示例
31	2	2259	577	591	564	14	13	21	A	本開示例
32	1	2059	540	566	512	26	28	22	A	本開示例
33	1	2127	557	566	548	9	9	23	A	本開示例
34	2	2134	554	573	532	19	22	21	A	本開示例
35	2	2216	569	583	558	14	11	22	A	本開示例
36	3	2122	555	571	534	16	21	20	A	本開示例
40	2	1985	511	522	503	11	8	22	B	比較例
41	2	2389	608	621	589	13	19	2	B	比較例
42	11	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例
43	13	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例
44	2	2084	534	565	502	31	32	4	B	比較例
45	14	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例
46	2	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例

[0078] Ｎｏ．２０～３３の線材は、本開示の要件を満たしており、伸線加工により、高強度（２０５０ＭＰａ以上）かつ捻り特性に優れた鋼線が得られた。

Ｎｏ．４０は、Ｃ量が過少であり、伸線加工後の鋼線の引張強さが不十分であった。

Ｎｏ．４１は、Ｃ量が過度に多かったため、Ｃ量に対する平均硬さが小さく、伸線加工後の鋼線において捻り特性が不十分であった。

Ｎｏ．４２は、Ｓｉ量が過多であったために、線材におけるフェライト、マルテンサイト組織の面積率が高く、伸線加工において断線が生じた。

Ｎｏ．４３は、Ｍｎ量が過多であったために、線材におけるフェライト、

マルテンサイト組織の面積率が高く、伸線加工において断線が生じた。　Ｎｏ．４４は、Ｍｏ量が過少であったために、Ｃ量に対する平均硬さが小さく、平均硬さと中心部硬さの差、表層部硬さと平均硬さの差がいずれも大きく、伸線加工後の鋼線の引張強さ及び捻り特性が不十分であった。

Ｎｏ．４５は、Ｍｏ量が多いためマルテンサイトが混在し、線材におけるマルテンサイト組織の面積率が高く、平均硬さも小さく、伸線加工において断線が生じた。

Ｎｏ．４６は、ＡＩ量が過多であり、伸線加工において断線が生じた。

[0079] 以上、本開示に係る線材等について説明したが、本開示に係る線材等は上記実施形態及び実施例に限定されない。例えば、本開示に係る線材の製造方法は、巻き取り後、溶融塩に浸漬する方法に限定されない。線材を加熱した後、鉛浴に浸漬して金属組織をつくり込む鉛パテンティングによって本開示に係る線材を製造し、当該線材を伸線加工して本開示に係る鋼線を製造し、当該鋼線を束ねてロープ（ケーブル）を製造する場合も本開示の範囲に含まれる。

請求の範囲

[請求項1] 質量％で、

Ｃ：０．８０～１．１０％、

Ｓｉ：０．１０～１．５０％、

Ｍｎ：０．１０～１．００％、

Ｐ：０．０３０％以下、

Ｓ：０．０３０％以下、

Ｎ：０．０１２０％以下、

Ｏ：０．０１００％以下、

Ａｌ：０．００５～０．０７０％、

Ｍｏ：０．０２～０．２０％、

Ｃｒ：０～１．００％、

Ｃｕ：０～０．８０％、

Ｓｎ：０～０．５０％、

Ｎｉ：０～０．５０％、

Ｖ：０～０．１５％、

Ｔｉ：０～０．０５０％、

Ｎｂ：０～０．０５０％、

Ｂ：０～０．００４０％、

ＲＥＭ：０～０．０３０％、

Ｍｇ：０～０．００４０％、

Ｃａ：０～０．００４０％、

Ｚｒ：０～０．０３０％、

Ｗ：０～０．１０％、

Ｔｅ：０～０．０３０％、及び

Ｓｂ：０～０．０３０％、

を含み、残部がＦｅ及び不純物である化学組成を有し、

長手方向に垂直な断面において中心から１．０ｍｍ以内の中心部の

フェライト組織およびマルテンサイト組織の合計面積率が５％以下であり、残部はフェライトとセメンタイトからなる混合組織であり、

線材に含まれる質量％でのＣの含有量を［Ｃ］とした場合に、前記断面内の平均ビッカース硬さＨが式（１）を満たし、

４８０×［Ｃ］－４０＜Ｈ＜４８０×［Ｃ］＋４０　・・・（１）

表面から深さが０．５～１．０ｍｍの表層ビッカース硬さＨｓと平均ビッカース硬さＨが式（２）の関係を満たし、

０≦Ｈｓ－Ｈ＜３０　・・・（２）

前記中心から１．０ｍｍ以内の中心ビッカース硬さＨｃと平均ビッカース硬さＨが式（３）の関係を満たし、

０≦Ｈ－Ｈｃ＜３０　・・・（３）

線径が７．０ｍｍ以上である、線材。

[請求項2] 前記化学組成が、質量％で、

Ｃｒ：０．０３～１．００％、

Ｃｕ：０．０１～０．８０％、

Ｓｎ：０．００１～０．５０％、

Ｎｉ：０．０１～０．５０％、及び

Ｖ：０．０１～０．１５％、

からなる群より選ばれる少なくとも１種又は２種以上を含む、請求項１に記載の線材。

[請求項3] 前記化学組成が、質量％で、

Ｔｉ：０．００２～０．０５０％、

Ｎｂ：０．００２～０．０５０％、

Ｂ：０．０００３～０．００４０％、

ＲＥＭ：０．００２～０．０３０％、

Ｍｇ：０．０００２～０．００４０％、

Ｃａ：０．０００２～０．００４０％、

Ｚｒ：０．００２～０．０３０％、

Ｗ：０．０２～０．１０％、

Ｔｅ：０．００１～０．０３０％、及び

Ｓｂ：０．００１～０．０３０％、

からなる群より選ばれる１種又は２種以上を含む、請求項１又は請求項２に記載の線材。

［請求項4］　質量％で、

Ｃ：０．８０～１．１０％、

Ｓｉ：０．１０～１．５０％、

Ｍｎ：０．１０～１．００％、

Ｐ：０．０３０％以下、

Ｓ：０．０３０％以下、

Ｎ：０．０１２０％以下、

Ｏ：０．０１００％以下、

Ａｌ：０．００５～０．０７０％、

Ｍｏ：０．０２～０．２０％、

Ｃｒ：０～１．００％、

Ｃｕ：０～０．８０％、

Ｓｎ：０～０．５０％、

Ｎｉ：０～０．５０％、

Ｖ：０～０．１５％、

Ｔｉ：０～０．０５０％、

Ｎｂ：０～０．０５０％、

Ｂ：０～０．００４０％、

ＲＥＭ：０～０．０３０％、

Ｍｇ：０～０．００４０％、

Ｃａ：０～０．００４０％、

Ｚｒ：０～０．０３０％、

Ｗ：０～０．１０％、

Ｔｅ：０～０．０３０％、及び

Ｓｂ：０～０．０３０％、

を含み、残部がＦｅ及び不純物である化学組成を有し、

長手方向に平行であり、中心軸を通る断面において中心から１．０ｍｍ以内の中心部のフェライト組織およびマルテンサイト組織の合計面積率が５％以下であり、残部はフェライトとセメンタイトからなる混合組織であり、

前記長手方向に垂直な断面内の平均ビッカース硬さｈが４５０～６２０であり、

表面から深さが０．２～０．５ｍｍの表層ビッカース硬さｈｓと平均ビッカース硬さｈが式（４）の関係を満たし、

０≦ｈｓ－ｈ＜３０　・・・（４）

前記垂直な断面における中心から１．０ｍｍ以内の中心ビッカース硬さｈｃと平均ビッカース硬さｈが式（５）の関係を満たす鋼線。

０≦ｈ－ｈｃ＜３０　・・・（５）

[請求項5] 前記化学組成が、質量％で、

Ｃｒ：０．０３～１．００％、

Ｃｕ：０．０１～０．８０％、

Ｓｎ：０．００１～０．５０％、

Ｎｉ：０．０１～０．５０％、及び

Ｖ：０．０１～０．１５％、

からなる群より選ばれる少なくとも１種又は２種以上を含む、請求項４に記載の鋼線。

[請求項6] 前記化学組成が、質量％で、

Ｔｉ：０．００２～０．０５０％、

Ｎｂ：０．００２～０．０５０％、

Ｂ：０．０００３～０．００４０％、

ＲＥＭ：０．００２～０．０３０％、

Ｍｇ：０．０００２～０．００４０％、

Ｃａ：０．０００２～０．００４０％、

Ｚｒ：０．００２～０．０３０％、

Ｗ：０．０２～０．１０％、

Ｔｅ：０．００１～０．０３０％、及び

Ｓｂ：０．００１～０．０３０％、

からなる群より選ばれる１種又は２種以上を含む、請求項４又は請求項５に記載の鋼線。

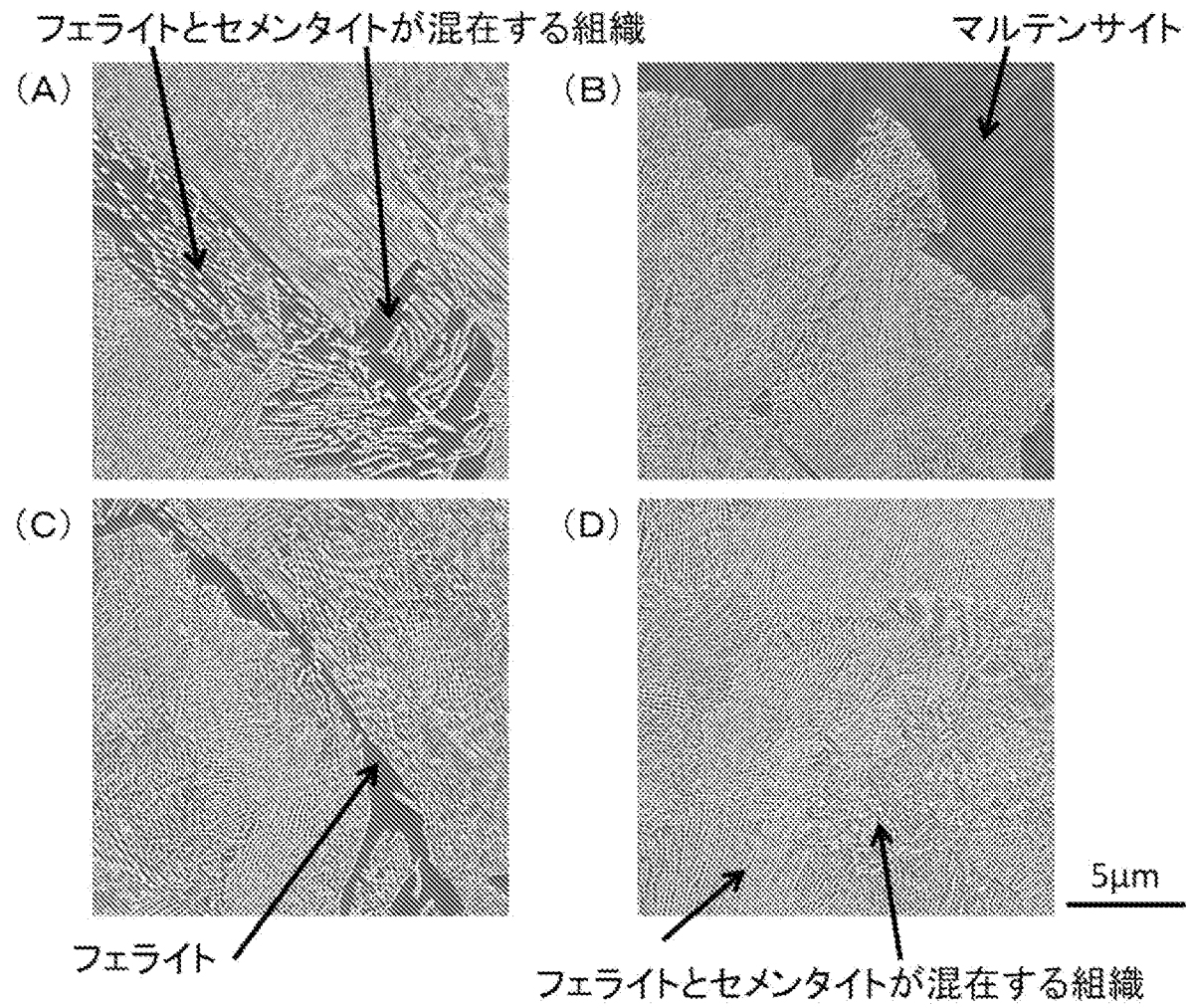
[請求項7] 表面にめっきが施されている請求項４～請求項６のいずれか１項に記載の鋼線。

[請求項8] 請求項４～請求項７のいずれか１項に記載の鋼線が複数本束ねられたロープ。

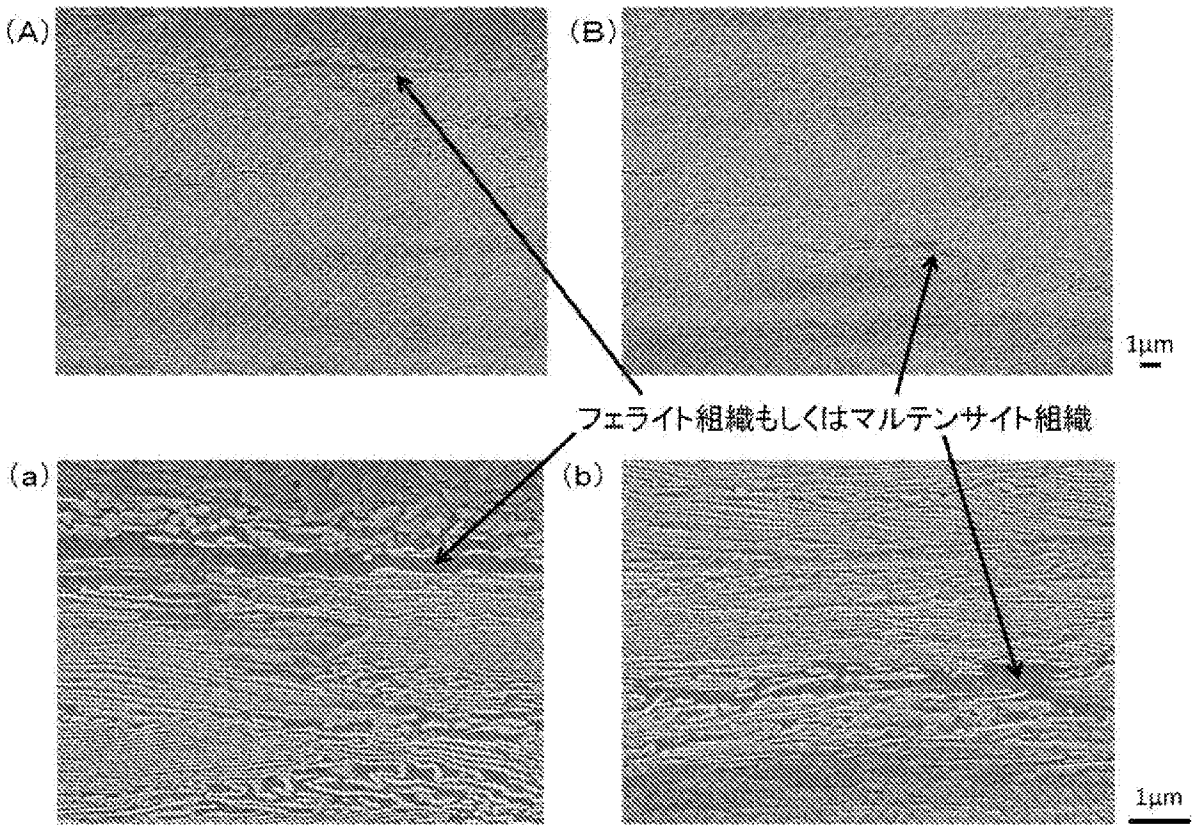
[請求項9] 請求項４～請求項７のいずれか１項に記載の鋼線を複数本束ねてロープにする工程を含む、ロープの製造方法。

WO 2024/161659 PCT/JP2023/003671

[図1]



[図2]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/003671

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C21D 9/52(2006.01)n; ***C22C 38/00***(2006.01)i; ***C22C 38/60***(2006.01)i
FI: C22C38/00 301Y; C22C38/60; C21D9/52 103B

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C21D9/52; C22C38/00; C22C38/60

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 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	WO 2022/220281 A1 (TOKYO ROPE MFG CO.) 20 October 2022 (2022-10-20)	1-9
A	JP 2021-183709 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 02 December 2021 (2021-12-02)	1-9
A	WO 2020/256140 A1 (NIPPON STEEL CORPORATION) 24 December 2020 (2020-12-24)	1-9
A	JP 2012-072492 A (KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO) 12 April 2012 (2012-04-12)	1-9
A	JP 62-077442 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 09 April 1987 (1987-04-09)	1-9

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

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"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
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
30 March 2023	**11 April 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **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/JP2023/003671

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2022/220281 A1	20 October 2022	(Family: none)	
JP 2021-183709 A	02 December 2021	(Family: none)	
WO 2020/256140 A1	24 December 2020	EP 3988678 A1	
		CN 113748224 A	
JP 2012-072492 A	12 April 2012	US 2013/0127100 A1	
		WO 2012/029812 A1	
		EP 2612941 A1	
		CN 103003461 A	
		KR 10-2013-0035274 A	
JP 62-077442 A	09 April 1987	EP 218167 A1	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/003671

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

C21D 9/52(2006.01)n; C22C 38/00(2006.01)i; C22C 38/60(2006.01)i
FI: C22C38/00 301Y; C22C38/60; 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））

C21D9/52; C22C38/00; C22C38/60

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	１９７１－２０２３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

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	WO 2022/220281 A1 (東京製鋼株式会社) 20.10.2022 (2022-10-20)	1-9
A	JP 2021-183709 A (日本製鉄株式会社) 02.12.2021 (2021-12-02)	1-9
A	WO 2020/256140 A1 (日本製鉄株式会社) 24.12.2020 (2020-12-24)	1-9
A	JP 2012-072492 A (株式会社神戸製鋼所) 12.04.2012 (2012-04-12)	1-9
A	JP 62-077442 A (新日本製鐵株式会社) 09.04.1987 (1987-04-09)	1-9

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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	国際調査報告の発送日
30.03.2023	11.04.2023

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）
河野　一夫 4K 9833

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

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/JP2023/003671

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2022/220281 A1	20.10.2022	（ファミリーなし）	
JP 2021-183709 A	02.12.2021	（ファミリーなし）	
WO 2020/256140 A1	24.12.2020	EP 3988678 A1	
		CN 113748224 A	
JP 2012-072492 A	12.04.2012	US 2013/0127100 A1	
		WO 2012/029812 A1	
		EP 2612941 A1	
		CN 103003461 A	
		KR 10-2013-0035274 A	
JP 62-077442 A	09.04.1987	EP 218167 A1	