(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年11月19日(19.11.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/230880 A1

(51) 国際特許分類:
C21D 8/06 (2006.01) *C22C 38/18* (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01) *C22C 38/54* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2020/019393

(22) 国際出願日： 2020年5月15日(15.05.2020)

(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 2019-092640 2019年5月16日(16.05.2019) JP

(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).

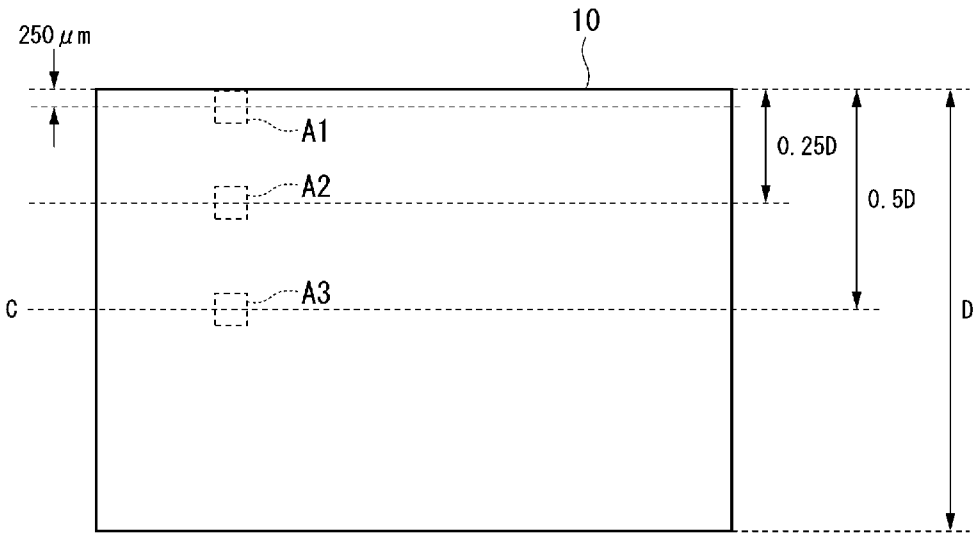
(72) 発明者: 小此木 真 (**OKONOGI Makoto**); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP). 松井直樹 (**MATSUI Naoki**); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP). 山▲崎▼ 浩一 (**YAMAZAKI Kouichi**); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 棚井 澄雄, 外 (**TANAI Sumio** et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目９番２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,

(54) **Title:** STEEL WIRE AND HOT-ROLLED WIRE MATERIAL

(54) 発明の名称： 鋼線、及び熱間圧延線材



(57) **Abstract:** A steel wire which has a component composition comprising 0.10 to 0.60% of C, 0.01 to 0.50% of Si, 0.20 to 1.00% of Mn, 0.030% or less of P, 0.050% or less of S, 0.85 to 1.50% of Cr, 0.001 to 0.080% of Al, 0.0010 to 0.0200% of N, and a remainder made up by Fe, impurity elements and arbitrary elements, and includes a center axis of the steel wire, wherein, in a cross section parallel to the center axis, 95% by area or more of the metal structure is made up by ferrite and a spherical carbide, ferrite grains have an average grain diameter of 10.0 to 30.0 μm, spherical carbide particles each having an equivalent circle diameter of 0.1 μm or more have an

WO 2020/230880 A1

[続葉有]

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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)）

---

average aspect ratio of 2.5 or less, and the number of the spherical carbide particles each having an equivalent circle diameter of 0.1 μm or more is 1.5 × 10^6× [C] to 7.0 × 10^6× [C] particles/mm^2 wherein [C] represents the content (% by mass) of C in the steel wire.

(57) 要約：成分組成が、Ｃ：０．１０～０．６０％、Ｓｉ：０．０１～０．５０％、Ｍｎ：０．２０～１．００％、Ｐ：０．０３０％以下、Ｓ：０．０５０％以下、Ｃｒ：０．８５～１．５０％、Ａｌ：０．００１～０．０８０％、Ｎ：０．００１０～０．０２００％、残部：Ｆｅ、不純物元素及び任意元素であり、鋼線の中心軸を含み、かつ、前記中心軸に平行な断面において、金属組織の９５面積％以上が、フェライト及び球状炭化物からなり、フェライト粒は、平均粒径が１０．０～３０．０μｍであり、円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物は、平均アスペクト比が２．５以下であり、かつ、鋼線に含まれるＣの含有量（質量％）を［Ｃ］で表した場合に、円相当径０．１μｍ以上の前記球状炭化物の個数が１．５×１０^6×［Ｃ］～７．０×１０^6×［Ｃ］個／ｍｍ^{2}である、鋼線。

明　細　書

発明の名称 ： 鋼線、及び熱間圧延線材

技術分野

[0001] 本開示は鋼線、及び熱間圧延線材に関する。

本願は、２０１９年５月１６日に、日本に出願された特願２０１９－０９２６４０号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 冷間鍛造は成形品の寸法精度や生産性が優れることから、鋼製のボルト、ねじ、ナット等の機械部品の成形に際して、従来から行われていた熱間鍛造から冷間鍛造への切り替えが拡大している。また、ボルトやナットなどの部品は構造用途に用いられることが多く、このためＣ、Ｍｎ、Ｃｒなどの合金元素を添加して強度を付与している。

[0003] しかし、合金元素含有量が増大すると、鋼材の変形抵抗が高くなったり延性が低くなったりするので、冷間鍛造の際に金型負荷が増大して金型の摩耗や損傷が発生すること、及び、成形部品に加工割れが発生することなどの課題が生じる。

[0004] また、近年は部品製造コストの低減や部品の高機能化を目的として、部品形状が複雑化している。このため、冷間鍛造に用いる鋼材には軟質であるとともに、極めて高い延性が要求される。そのため、従来から、熱間圧延材を球状化焼鈍などの熱処理により軟質化して、加工性を向上させることが行われている。

[0005] 冷間鍛造用鋼の加工性には、金型負荷に影響する変形抵抗と、加工割れの発生に影響する延性がある。鋼材の用途により求められる特性が異なるが、変形抵抗および延性の両方、あるいは一方が求められることが通常である。

[0006] このような背景のもとで、鋼材の冷間鍛造性を向上させる技術として、従来から種々の方法が提案されている。

[0007] 特許文献１では、フェライト粒の平均粒径が２～５．５μｍ、且つ長径が

３μｍ以下で、且つアスペクト比が３以下のセメンタイトの比率が全セメンタイトに対して７０％以上である領域を表面から線径の１０％以上とすることで冷間加工性が向上することが開示されている。

[0008] 特許文献２では、セメンタイト間距離の標準偏差をセメンタイト間距離の平均値で除した値を０．５０以下とすることで、すなわち、セメンタイト間の間隔をほぼ均一とすることで、冷間鍛造時の変形抵抗が低下し、且つ割れが低減される鋼線が開示されている。

[0009] 特許文献３では、フェライト粒の平均粒径を１５μｍ以上とし、球状炭化物の平均粒径を０．８μｍ以下、最大粒径を４．０μｍ以下、１ｍｍ^{2}当たりの個数を０．５×１０^6×Ｃ％～５．０×１０^6×Ｃ％個とし、粒径が０．１μｍ以上の球状炭化物間の最大距離を１０μｍ以下とすることで冷間鍛造性が優れることが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：日本国特開２０００－７３１３７号公報

特許文献2：日本国特開２００６－３１６２９１号公報

特許文献3：国際公開第２０１１／１０８４５９号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] 特許文献１に開示されている方法は、クラックの発生位置が圧延線材の表面近傍となる加工に関して有効であるが、クラックの発生位置が圧延線材の内部となる加工に対しては、加工性の向上効果が小さい。実際の冷間鍛造では、圧延線材を切断した後、冷間鍛造する。そのため、圧延線材の表面近傍がクラックの発生位置とならない場合が多く、効果が限定される

[0012] 特許文献２に開示されている鋼線では、変形抵抗に影響するフェライト粒径やセメンタイトの個数密度が規定されておらず、変形抵抗が高く、冷間鍛造の際に金型負荷が高くなるという課題がある。

[0013] 特許文献３に開示されている鋼線は、Ｃｒの含有量が０．２０％以下であり、焼入れ性が低く、線径が大きくなると焼入れ焼戻し後の部品の強度が不安定となる課題がある。

[0014] また、冷間鍛造に使用されている従来の鋼線は、Ｃｒなど合金元素の含有量が高くなると、焼鈍後に十分にセメンタイトが球状化せず、変形抵抗が高く、加工割れが発生しやすいという課題がある。

[0015] そこで、本開示は合金元素を含有し、優れた冷間鍛造性を有する鋼線、及びこの鋼線の製造用の熱間圧延線材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

[0016] 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＞

成分組成が、質量％で、

Ｃ　：０．１０～０．６０％、

Ｓｉ：０．０１～０．５０％、

Ｍｎ：０．２０～１．００％、

Ｐ　：０．０３０％以下、

Ｓ　：０．０５０％以下、

Ｃｒ：０．８５～１．５０％、

Ａｌ：０．００１～０．０８０％、

Ｎ　：０．００１０～０．０２００％、並びに

残部：Ｆｅ及び不純物元素であり、

鋼線の中心軸を含み、かつ、前記中心軸に平行な断面において、

金属組織の９５面積％以上が、フェライト及び球状炭化物からなり、

前記フェライトは、平均粒径が１０．０～３０．０μｍであり、

前記球状炭化物は、円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の平均アスペクト比が２．５以下であり、かつ、前記鋼線に含まれるＣの含有量（質量％）を［Ｃ］で表した場合に、円相当径０．１μｍ以上の前記球状炭化物の個数が１．５×10^6×［Ｃ］～７．０×10^6×［Ｃ］個／ｍｍ^{2}である、鋼線。

＜２＞

前記断面において、前記円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の平均粒径が０．５０μｍ以下であり、かつ、前記球状炭化物の最大粒径が３．００μｍ以下である、＜１＞に記載の鋼線。

＜３＞

前記成分組成が、質量％で、

Ｔｉ：０～０．０５０％、

Ｂ　：０～０．００５０％、

Ｍｏ：０～０．５０％、

Ｎｉ：０～１．００％、

Ｃｕ：０～０．５０％、

Ｖ　：０～０．５０％、

Ｎｂ：０～０．０５０％、

Ｃａ：０～０．００５０％、

Ｍｇ：０～０．００５０％、及び

Ｚｒ：０～０．００５０％、

の１つ又は２つ以上を満たす、＜１＞又は＜２＞に記載の鋼線。

＜４＞

＜１＞～＜３＞のいずれか一項に記載の鋼線の製造用の熱間圧延線材。

発明の効果

[0017] 本開示によれば、合金元素を含有し、優れた冷間鍛造性を有する鋼線、及びこの鋼線の製造用の熱間圧延線材が提供される。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本開示に係る鋼線のＬ断面においてフェライト粒の粒径を測定する領域を説明する概略図である。

発明を実施するための形態

[0019] 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、「～」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又は下限値は、他の段階的な記載の数値範囲の上限値又は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。

また、成分組成の元素の含有量は、元素量（例えば、Ｃ量、Ｓｉ量等）と表記する場合がある。

また、成分組成の元素の含有量について、「％」は「質量％」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。

また、「鋼線の中心軸を含み、かつ、前記中心軸に平行な断面」とは、鋼線の中心軸を含み、鋼線の長手方向（つまり伸線方向）に沿って切断した、中心軸方向と平行な断面（Ｌ断面とも称する。）を示す。

また、「中心軸」とは、鋼線の軸方向（長手方向）と直交する断面の中心点を通り、軸方向に延びる仮想線を示す。

また、「鋼線の表層部」とは、鋼線の表面（外周面）から、中心軸に向かって（径方向に向かって）、５００μｍまでの深さの領域を示す。

また、「数値ＸＤ」との表記は、鋼線の直径をＤとしたとき、鋼線の表面から、中心軸に向かって（径方向に向かって）、直径ＤのＸ倍の深さの位置を示す。例えば、「０．２５Ｄ」は、直径Ｄの０．２５倍の深さの位置を示す。

[0020] 本開示に係る鋼線は、所定の成分組成を有し、かつ下記（１）及び（２）を満たす金属組織を有する鋼線である。

（１）Ｌ断面において、金属組織の９５面積％以上がフェライトと球状炭化物から構成される。

（２）前記フェライトは、平均粒径が１０．０μｍ以上であり、前記球状炭化物は、円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の平均アスペクト比（以下、単に「球状炭化物の平均アスペクト比」と称する場合がある。）が２．５以下で、かつ、Ｌ断面において１ｍｍ^{2}当たりの個数が１．５×１０^6×［Ｃ］～７．０×１０^6×［Ｃ］個である（［Ｃ］は、鋼線に含まれる炭素（Ｃ）の含有量（質量％）を表す）。

[0021] 本開示に係る鋼線は、上記構成により、冷間鍛造性に優れた鋼線となる。本開示に係る鋼線は、次の知見により見出された。

[0022] 鋼線の冷間鍛造性を向上させるためには、変形抵抗を低くして、延性を高くすることが有効である。そこで、０．８５％以上のＣｒを含有する鋼を用いて、変形抵抗と延性に及ぼす金属組織の影響を検討した。その結果、変形抵抗にはフェライト粒径と炭化物のアスペクト比、炭化物の個数密度が影響するとの知見を得た。変形抵抗を低くして良好な加工性を得るためには、フェライト粒径を大きくして、炭化物の個数密度を小さくすることが有効である。一方、延性に対しては炭化物の粒径とアスペクト比が影響するとの知見を得た。延性を高くして、成形の際の割れを抑制するためには、炭化物の粒径とアスペクト比を小さくすることが有効である。

[0023] 従来技術では、０．１０～０．６０％の炭素を含有する中炭素鋼のフェライト粒を粗粒化するためには、球状炭化物の粒径を大きくして、個数密度を低下させる必要があった。一般に、炭化物の粒径が小さくなると、フェライト粒径も細粒化するため、フェライト粒の粗粒化と炭化物粒径の微細化の両立は困難である。特にＣｒの含有量が高い鋼では、Ｃｒが炭化物中に固溶することで、炭化物の成長が抑制され、フェライトを粗粒化することが困難であった。このため、従来技術では、炭化物を微細にして延性を高くすると、変形抵抗が高くなり、金型寿命が低下する。

[0024] 本発明者らは、線材と鋼線の製造方法を改良することで、Ｃｒを０．８５

％以上含有した鋼でも、フェライト粒の粗粒化と炭化物の微細化を両立させ、変形抵抗の低減と延性の向上を同時に達成することに成功した。

[0025] 具体的には、Ｃｒを０．８５％以上含有する鋼で、フェライト粒の粗粒化と炭化物の微細化を両立させるためには、

（ａ）熱間圧延材の組織を、初析フェライト分率が小さいベイナイトを主体とする組織とすること、

（ｂ）熱間圧延後に、総減面率２０％以上の伸線加工などで鋼線にひずみを付与すること、

（ｃ）$Ａｃ_1$以下の温度で球状化焼鈍を行うこと、

が重要であることを見出した。

[0026] これにより、従来技術では困難であった、Ｃｒを０．８５～１．５０％、Ｃを０．１０～０．６０％含有する鋼のフェライト粒を粗粒とし、炭化物を微細とし、かつ、炭化物のアスペクト比を小さくすることが可能となった。このような組織を得ることにより、変形抵抗の低減と、延性の向上を達成した。

[0027] 粗大なフェライト粒と微細な球状炭化物とで構成される組織からなる鋼線の冷間鍛造性が優れる理由としては、成形割れの発生起点となりやすい粗大な炭化物や、アスペクト比が大きい球状炭化物の粒径を微細にすることで、き裂の発生を抑制することができ、かつフェライト粒径を粗粒にすることで強度が低下し変形抵抗が小さくなるためと考えられる。

[0028] そして、Ｃｒなどの合金元素の含有量が高い組成においても、鋼線の変形能を向上させることで、本開示に係る鋼線では、冷間鍛造による複雑形状部品の成形が可能となり、製品歩留まりや生産性が向上する。また、本開示に係る鋼線では、従来困難であった高強度を有する複雑形状部品の一体成形が可能となる。すなわち、本開示に係る鋼線は、例えば、ボルト、ねじ、ナット等の機械部品の素材として用いられる機械構造用鋼に好適に利用できる。

[0029] 本開示に係る鋼線は、成形割れが抑制できるため、部品形状の複雑化による高機能化、機械部品の生産性の向上に寄与し、産業上極めて有用である。

以下、本開示に係る鋼線の成分組成及び金属組織について具体的に説明する。

[0030] ＜成分組成＞

本開示に係る鋼線の成分組成は、質量％で、Ｃ：０．１０～０．６０％、Ｓｉ：０．０１～０．５０％、Ｍｎ：０．２０～１．００％、Ｐ：０．０３０％以下、Ｓ：０．０５０％以下、Ｃｒ：０．８５～１．５０％、Ａｌ：０．００１～０．０８０％、Ｎ：０．００１０～０．０２００％、並びに残部：Ｆｅ及び不純物元素からなる。

ただし、本開示に係る鋼線はＦｅの一部に代えて上記以外の元素を含んでもよく、成分組成が、質量％で、例えば、Ｔｉ：０～０．０５０％、Ｂ：０～０．００５０％、Ｍｏ：０～０．５０％、Ｎｉ：０～１．００％、Ｃｕ：０～０．５０％、Ｖ：０～０．５０％、Ｎｂ：０～０．０５０％、Ｃａ：０～０．００５０％、Ｍｇ：０～０．００５０％、及びＺｒ：０～０．００５０％の１つ又は２つ以上を満たしてもよい。Ｔｉ、Ｂ、Ｍｏ、Ｎｉ、Ｃｕ、Ｖ、Ｎｂ、Ｃａ、Ｍｇ、及び、Ｚｒは、任意元素である。つまり、これらの元素は、鋼線に含まれなくてもよい。

以下、鋼線に含まれる各元素量の範囲を限定した理由を説明する。

[0031] （Ｃ：０．１０～０．６０％）

Ｃは、機械部品としての強度を確保するため含有させる。Ｃ量が０．１０％未満では機械部品としての必要な強度を確保することが困難である。一方、Ｃ量が０．６０％を超えると延性、靭性、及び冷間鍛造性が劣化する。そのため、Ｃ量は、０．１０～０．６０％とした。Ｃ量を０．１５％以上、０．２０％以上、または０．２５％以上としてもよい。Ｃ量を０．５５％以下、０．５０％以上、または０．４０％以下としてもよい。

[0032] （Ｓｉ：０．０１～０．５０％）

Ｓｉは、脱酸元素として機能するとともに、焼入れ性を付与し、焼戻し軟化抵抗を向上させて、機械部品に必要な強度を付与するのに有効な元素である。Ｓｉ量が０．０１％未満ではこれらの効果が不十分である。Ｓｉ量が０

．５０％を超えると、機械部品の延性、靭性が劣化するとともに、鋼線の変形抵抗を上昇させて冷間鍛造性を劣化させる。そのため、Ｓｉ量は、０．０１～０．５０％とした。Ｓｉ量を０．０３％以上、０．０５％以上、または０．１０％以上としてもよい。Ｓｉ量を０．３５％以下、０．３０％以下、または０．２５％以下としてもよい。

[0033]（Ｍｎ：０．２０～１．００％）

Ｍｎは、焼入れ性を付与し、機械部品に必要な強度を付与するのに必要な元素である。Ｍｎ量が０．２０％未満では効果が不十分である。Ｍｎ量が１．００％を超えると、機械部品の靭性が劣化するとともに、鋼線の変形抵抗が上昇し冷間鍛造性を劣化させる。そのため、Ｍｎ量は、０．２０～１．００％とした。Ｍｎ量を０．２５％以上、０．３０％以上、または０．３５％以上としてもよい。Ｍｎ含有量を０．９０％以下、０．８５％以下、または０．８０％以下としてもよい。

[0034]（Ｐ：０．０３０％以下）

Ｐは、不純物として鋼線に含有される。Ｐは焼入れ焼戻し後の機械部品の結晶粒界に偏析し、靭性を劣化させるため低減させることが望ましい。このため、Ｐ量の上限は、０．０３０％とした。好ましいＰ量の上限は０．０２０％である。より好ましいＰ量の上限は０．０１５％以下、または０．０１２％以下である。なお、Ｐ量の下限は、０％がよいが（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％超え（又は０．０００１％以上もしくは０．００５％以上）であることがよい。

[0035]（Ｓ：０．０５０％以下）

Ｓは、ＭｎＳ等の硫化物として鋼線に含有される。これらの硫化物は鋼線の被削性を向上させる。Ｓ量が０．０５０％を超えると鋼線の冷間鍛造性を劣化させるとともに、焼入れ焼戻し後の機械部品の靭性を劣化させる。このため、Ｓ量の上限は０．０５０％とした。好ましいＳ量の上限は、０．０３０％である。より好ましいＳ量の上限は、０．０１５％または０．０１０％である。なお、Ｓ量の下限は、０％がよいが（つまり含まないことがよいが

）、脱Ｓコストを低減する観点から、０％超え（又は０．０００１％以上もしくは０．００５％以上）であることがよい。

[0036]（Ｃｒ：０．８５～１．５０％）

Ｃｒは、焼入れ性を向上させて、機械部品に必要な強度を付与するのに必要な元素である。さらに、Ｃｒを含有することにより、焼鈍後の炭化物の形状が球状になり、冷間加工性を向上させる。Ｃｒ量が０．８５％未満では効果が不十分である。Ｃｒ量が１．５０％を超えると、球状化時間が長時間となり、製造コストを増加させるとともに、鋼線の変形抵抗が上昇し冷間鍛造性を劣化させる。そのため、Ｃｒ量は、０．８５～１．５０％とした。Ｃｒ量を０．８７％以上、０．９０％以上、または０．９５％以上としてもよい。Ｃｒ量を１．４０％以下、１．３０％以下、または１．２０％以下としてもよい。

[0037]（Ａｌ：０．００１～０．０８０％）

Ａｌは、脱酸元素として機能するとともに、ＡｌＮを形成してオーステナイト結晶粒を細粒化し、機械部品の靭性を向上させる効果がある。また、Ａｌは、固溶Ｎを固定して動的ひずみ時効を抑制し、変形抵抗を低減する効果がある。Ａｌ量が０．００１％未満ではこれらの効果が不十分である。Ａｌ量が０．０８０％を超えると効果が飽和するとともに製造性を低下させることがある。そのため、Ａｌ量は０．００１～０．０８０％とした。Ａｌ量を０．０１０％以上、０．０２０％以上、または０．０２５％以上としてもよい。Ａｌ量を０．０６０％以下、０．０５０％以下、または０．０４０％以下としてもよい。

[0038]（Ｎ：０．００１０～０．０２００％）

Ｎは、Ａｌ、Ｔｉ、Ｎｂ、Ｖ等と窒化物を形成し、オーステナイト結晶粒を細粒化し、機械部品の靭性を向上させる効果がある。Ｎ量が０．００１０％未満では窒化物の析出量が不足し、効果が得られない。Ｎ量が０．０２００％を超えると固溶Ｎによる動的ひずみ時効により鋼線の変形抵抗が高くなり加工性を劣化させる。そのため、Ｎ量は、０．００１０～０．０２００％

とした。Ｎ量の範囲を０．００２０％以上、０．００２５％以上、または０．００３０％以上としてもよい。Ｎ量を０．００８０％以下、０．００５０％未満、または０．００４０％以下としてもよい。

[0039] 本開示に係る鋼線は、以下に記載する特性の向上を目的に、Ｔｉ：０～０．０５０％、Ｂ：０～０．０００５０％、Ｍｏ：０～０．５０％、Ｎｉ：０～１．００％、Ｃｕ：０～０．５０％、Ｖ：０～０．５０％、Ｎｂ：０～０．０５０％、Ｃａ：０～０．０００５０％、Ｍｇ：０～０．０００５０％、及びＺｒ：０～０．０００５０％の１種または２種以上を含有してもよい。ただし、これらの元素を含むことなく、本開示にかかる鋼線はその課題を解決することができる。したがって、これら任意元素の含有量の下限値は０％である。

[0040] （Ｔｉ：０～０．０５０％）

Ｔｉは、脱酸元素として機能する。さらにＴｉには、窒化物や炭化物を形成しオーステナイト結晶粒を細粒化し、機械部品の靭性を向上させる効果、固溶Ｂの生成を促進し、焼入れ性を高める効果、および、固溶Ｎを固定して動的ひずみ時効を抑制し、変形抵抗を低減する効果がある。Ｔｉ量が０．０５０％を超えると、これらの効果が飽和するとともに、粗大な酸化物又は窒化物を生成して、機械部品の疲労強度を劣化させることがある。そのため、Ｔｉ量は０超～０．０５０％の範囲で含有させてもよい。Ｔｉ量を０．００５％以上、または０．０１０％以上としてもよい。Ｔｉ量を０．０３０％以下、または０．０２５％以下としてもよい。

[0041] （Ｂ：０～０．０００５０％）

Ｂは、固溶Ｂとして粒界に偏析して、焼入れ性を向上させて、機械部品に必要な強度を付与する効果がある。一方、Ｂ量が０．０００５０％を超えると、粒界に炭化物を生成して伸線加工性を劣化させることがある。そのため、Ｂ量は０超～０．０００５０％の範囲で含有させてもよい。Ｂ量を０．０００３％以上、または０．０００５％以上としてもよい。Ｂ量を０．００３０％以下、又は０．００２０％以下としてもよい。

[0042] （Ｍｏ：０～０．５０％）

Ｍｏは、焼入れ性を向上させて、機械部品に必要な強度を付与する効果がある。一方、Ｍｏ量が０．５０％を超えると、合金コストが増加するとともに、鋼線の変形抵抗が上昇し冷間鍛造性を劣化させる。そのため、Ｍｏ量は、０超～０．５０％の範囲で含有させてもよい。Ｍｏ量を０．１０％以上、または０．１５％以上としてもよい。Ｍｏ量を０．４０％以下、又は０．３０％以下としてもよい。

[0043] （Ｎｉ：０～１．００％）

Ｎｉは、焼入れ性を向上させて、機械部品に必要な強度を付与する効果がある。一方、Ｎｉ量が１．００％を超えると合金コストが増加する。そのため、Ｎｉ量は０超～１．００％の範囲で含有させてもよい。Ｎｉ量を０．０２％以上、または０．１０％以上としてもよい。Ｎｉ量を０．５０％以下、又は０．３０％以下としてもよい。

[0044] （Ｃｕ：０～０．５０％）

Ｃｕは、焼入れ性を向上させて、機械部品に必要な強度を付与するとともに耐食性を向上させる効果がある。一方、Ｃｕ量が０．５０％を超えると合金コストが増加する。そのため、Ｃｕ量は０超～０．５０％の範囲で含有させてもよい。Ｃｕ量を０．０２％以上、又は０．１０％以上としてもよい。Ｃｕ量を０．４０％以下、又は０．３５％以下としてもよい。

[0045] （Ｖ：０～０．５０％）

Ｖは、炭化物ＶＣを析出させて、機械部品の強度を高める効果がある。一方、Ｖ量が０．５０％を超えて含有すると合金コストが増加する。そのため、Ｖ量は０超～０．５０％の範囲で含有させてもよい。Ｖ量を０．０１％以上、又は０．０５％以上としてもよい。Ｖ量を０．２０％以下、又は０．１５％以下としてもよい。

[0046] （Ｎｂ：０～０．０５０％）

Ｎｂは、炭化物や窒化物を析出させて、機械部品の強度を高める効果、オーステナイト結晶粒を細粒化して靭性を向上させる効果、固溶Ｎを低減して、変形抵抗を低減する効果等がある。一方、Ｎｂ量が０．０５０％を超える

とこれらの効果が飽和するとともに冷間鍛造性を劣化させることがある。そのため、Ｎｂ量は０超～０．０５０％の範囲で含有させてもよい。Ｎｂ量を０．００１％以上、又は０．００５％以上としてもよい。Ｎｂ量を０．０３０％以下、又は０．０２０％以下としてもよい。

[0047] （Ｃａ：０～０．００５０％）

（Ｍｇ：０～０．００５０％）

（Ｚｒ：０～０．００５０％）

Ｃａ、Ｍｇ、Ｚｒは、脱酸を目的に用いてもよい。これらの元素は酸化物を微細にして疲労強度を向上させる効果がある。一方、これら元素それぞれの含有量が０．０５０％を超えると、効果が飽和するとともに、粗大な酸化物を生成し、疲労特性を劣化させることがある。そのため、Ｃａ量、Ｍｇ量、及びＺｒ量はそれぞれ０超～０．０５０％の範囲で含有させてもよい。Ｃａ量、Ｍｇ量、及びＺｒ量それぞれを０．０００１％以上、０．０００５％以上としてもよい。Ｃａ量、Ｍｇ量、及びＺｒ量それぞれを０．０３０％以下、又は０．０２０％以下としてもよい。

[0048] （残部：Ｆｅ及び不純物元素）

本開示に係る鋼線の成分組成において、残部はＦｅ及び不純物元素である。

ここで、不純物元素とは、例えば原材料に含まれる成分、または、製造の工程で意図せず混入する成分であって、意図的に含有させたものではない成分を指す。さらに、不純物元素は、意図的に含有させた成分であっても、鋼線の性能に影響を与えない範囲の量で含有する成分も含む。

[0049] 不純物元素としては、例えば、Ｏ等が挙げられる。Ｏは鋼線中に、ＡｌＴｉなどの酸化物として存在する。Ｏ量が高いと粗大な酸化物が形成し、機械部品の疲労強度が低下する原因となる。そのため、Ｏ量は０．０１％以下に抑制することが好ましい。

[0050] ＜金属組織＞

次に、本開示に係る鋼線の金属組織の限定理由について述べる。

本開示に係る鋼線では、鋼線の中心軸を含み、かつ、前記中心軸に平行な断面（Ｌ断面）において、金属組織の９５面積％以上が、フェライトと球状炭化物（球状セメンタイト）で構成される。金属組織中にマルテンサイト組織、ベイナイト組織、パーライト組織などが含まれると、変形抵抗が増大するとともに延性が低下し、冷間鍛造性が劣化するため、これらの組織が含まれないことが好ましい。従って、本開示に係る鋼線では、鋼線の中心軸を含み、かつ、中心軸に平行な断面（Ｌ断面）において、金属組織の９７面積％以上、９８面積％以上、又は９９面積％以上が、フェライトと球状炭化物（球状セメンタイト）で構成されてもよい。なお、Ｌ断面において金属組織の９５面積％以上がフェライトと球状炭化物から構成されるとは、Ｌ断面を観察したときに、金属組織の９５面積％以上がフェライトと球状炭化物から形成されることを意味する。

[0051] フェライトと球状炭化物の面積％は以下の手順により求める。鋼線の中心軸を含み中心軸に平行な断面（Ｌ断面）を、鏡面研磨した後、室温のナイタール（５％硝酸＋９５％エタノール溶液）に試料を２０秒間浸漬し金属組織を現出させる。この試料を用いて、走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）により、表面（鋼線の外周面）から２５０μｍ深さ部（表層部の深さ方向の中央部位）、０．２５Ｄ深さ部（鋼線の表面から中心に向かう方向に鋼線の直径Ｄの０．２５倍の深さの部分）、０．５Ｄ深さ部（鋼線の中心部分）を中心に、深さ方向に９０μｍ、中心軸方向に１２０μｍの領域を各２視野、計６視野を１０００倍の倍率で写真撮影する。得られた組織写真から、マルテンサイト、ベイナイト、パーライト部を目視でマーキングし、撮影写真を画像解析（ソフト名：ニレコ製小型汎用画像処理解析システムＬＵＺＥＸ＿ＡＰ）することでマルテンサイト、ベイナイトとパーライトの合計面積％を得る。フェライトと球状炭化物の面積％は、撮影視野全体からマルテンサイト、ベイナイトとパーライトの合計面積を減じた値をフェライトと球状炭化物の面積とみなし、この値を撮影視野の面積で割ることで求めることができる。なお、パーライト組織は、アスペクト比（長軸／短軸）が５．０超の炭化物が層状

に存在した組織とした。

[0052] （フェライト粒）

－フェライト粒の平均粒径－

フェライト粒の粗粒化は、変形抵抗を低下させ、冷間鍛造の際の金型寿命を向上させる。フェライト粒の平均粒径が１０．０μｍ未満では、変形抵抗の低減効果が小さい。このため、フェライト粒の平均粒径の下限を１０．０μｍとするとよい。フェライト粒の平均粒径の好ましい下限は１１．５μｍである。フェライト粒の平均粒径のより好ましい下限は１３．０μｍである。一方、３０．０μｍを超えるフェライト粒径を得ようとする場合、焼鈍時間が長くなり製造コストが増加する。このためフェライト粒の平均粒径の上限を３０．０μｍとした。好ましいフェライト粒の平均粒径の上限は、２０．０μｍである。

[0053] －フェライト粒の測定方法－

フェライト粒の平均粒径は電子線後方散乱回折（ＥＢＳＤ：Ｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｂａｃｋ　Ｓｃａｔｔｅｒｉｎｇ　Ｄｉｆｆｒａｃｔｉｏｎ）法により測定できる。具体的には、図１に示すように、鋼線１０の中心軸Ｃを含み中心軸Ｃに平行な断面（Ｌ断面）の表面から２５０μｍ深さ部（表層部の深さ方向の中央部位）、０．２５Ｄ深さ部（鋼線の表面から鋼線の中心に向かう方向に鋼線の直径Ｄの０．２５倍の深さの部分）、０．５Ｄ深さ部（鋼線の中心部分）を中心に、深さ方向（径方向）に５００μｍ、中心軸方向に５００μｍの領域、すなわち、図１においてＡ１、Ａ２、Ａ３で示されるそれぞれ５００μｍ四方の領域において、測定ステップを１．０μｍとして領域内の各測定点でのｂｃｃ－Ｆｅの結晶方位を測定する。ここで、方位差が１５度以上の境界をフェライト粒界と定義する。そして、このフェライト粒界に囲まれた５ピクセル以上の領域をフェライト粒とする。フェライト粒の平均粒径を、混粒が前提となる粒集団の平均粒径の求め方であるＪｏｈｎｓｏｎ－Ｓａｌｔｙｋｏｖの測定方法（「計量形態学」内田老鶴圃新社、Ｓ４７．７．３０発行、原著：Ｒ．Ｔ．ＤｅＨｏｆｆ．Ｆ．Ｎ．Ｒｂｉｎｅｓｓ．

Ｐ１８９参照）を用いて得た。これを２つのサンプルについて行い、合計６つの測定領域で測定した平均粒径の平均値をフェライト粒の平均粒径とする。

[0054] （球状炭化物）

－球状炭化物の平均アスペクト比－

球状炭化物とは、炭化物の長径／短径で表されるアスペクト比が５．０以下のセメンタイトを意味する。球状炭化物のアスペクト比（長径／短径）が大きくなると、ひずみを受けた炭化物の周囲からクラックが発生し割れやすくなる。特に、円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の平均アスペクト比が２．５を超えると、延性が低下し加工割れが発生しやすくなる。このため、円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の平均アスペクト比の上限を２．５とした。円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の平均アスペクト比の好ましい上限は２．０である。円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の平均アスペクト比のより好ましい上限は１．８である。

[0055] －球状炭化物の最大粒径－

上述の要件が満たされる限り、球状炭化物の粒径は特に規定されない。ただし、球状炭化物の最大粒径は、成形割れの発生に影響する。最大粒径が小さくなると、ひずみを受けた炭化物の周囲からクラックが発生することを防止し、鋼線の割れを一層効果的に防止することができる。例えば、球状炭化物の最大粒径が３．００μｍ以下である場合、延性が一層向上し、冷鍛割れを一層防止しやすくなる。このため、球状炭化物の最大粒径の上限を３．００μｍとしてもよい。球状炭化物の最大粒径の好ましい上限は２．００μｍである。球状炭化物の最大粒径のより好ましい上限は１．５０μｍである。

[0056] －球状炭化物の平均粒径－

また、球状炭化物の平均粒径を０．５０μｍ以下にすると、延性が一層向上し、冷鍛割れを一層防止しやすくなる。このため球状炭化物の平均粒径の上限を０．５０μｍとしてもよい。球状炭化物の平均粒径の好ましい上限は０．４０μｍである。球状炭化物の平均粒径のより好ましい上限は０．３２

μｍである。

[0057] なお、球状炭化物以外のセメンタイトの全セメンタイトに対する面積率が５％未満であれば、冷間鍛造性への影響が小さいため、５％未満の球状炭化物以外のセメンタイトを含有してもよい。なお、球状炭化物の平均粒径とは、球状炭化物の円相当径の個数平均を意味する。円相当径０．１μｍ未満の球状炭化物については除外したうえで個数平均は計算される。

[0058] －球状炭化物の個数密度－

鋼線の中心軸を含み、且つ中心軸に平行な断面（Ｌ断面）の１ｍｍ^{2}当たりにおいて、円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物（本明細書において「１ｍｍ^{2}当たりの球状炭化物」と称する場合がある。）の個数が１．５×１０^6×［Ｃ］個未満の場合、冷間鍛造の際に、炭化物の周囲にクラックが発生し、加工割れが発生する場合がある。このため、１ｍｍ^{2}当たりの円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の下限を１．５×１０^6×［Ｃ］個とした。ここで、［Ｃ］は、質量％で表される鋼線中のＣ含有量を示す。円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の１ｍｍ^{2}当たりの個数の好ましい下限は、３．０×１０^6×［Ｃ］個、又は３．５×１０^6×［Ｃ］個である。

[0059] 一方、円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の１ｍｍ^{2}当たりの個数が７．０×１０^6×［Ｃ］個を超える場合、変形抵抗が増加し、金型負荷を増加させる。このため、１ｍｍ^{2}当たりの円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の上限を７．０×１０^6×［Ｃ］個とした。円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の１ｍｍ^{2}当たりの個数の好ましい上限は６．５×１０^6×［Ｃ］個、又は６．０×１０^6×［Ｃ］個である。なお“［Ｃ］”とは、前述したように鋼線に含まれるＣ含有量（質量％）を意味し、例えばＣ含有量が０．３５質量％である場合、［Ｃ］＝０．３５である。後述するＡｃ$_1$温度を算出する式における［Ｍｎ］、［Ｓｉ］、［Ｃｒ］も同様であり、それぞれ鋼材中の各元素の含有量（質量％）を意味する。

[0060] －球状炭化物の測定方法－

球状炭化物の最大粒径、球状炭化物の平均粒径、球状炭化物のアスペクト

比、球状炭化物の個数密度は走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）写真を画像解析することにより求められる。

[0061] 具体的には、鋼線の中心軸を含み、かつ、前記中心軸に平行な断面（Ｌ断面）を鏡面研磨した後、室温のピクラール（５％ピクリン酸＋９５％エタノール溶液）に試料を５０秒間浸漬し、金属組織を現出させる。次に、ＳＥＭにより、鋼線の表面から２５０μｍ深さ部（表層部の深さ方向の中央部位）、０．２５Ｄ深さ部、及び０．５Ｄ深さ部が測定視野の中心になるようにして、深さ方向に２０μｍ、中心軸方向に２５μｍの領域を５０００倍の倍率で各５視野、計１５視野の金属組織を写真撮影する。撮影写真を画像解析（ソフト名：ニレコ製小型汎用画像処理解析システムＬＵＺＥＸ＿ＡＰ）することで球状炭化物の上記各パラメータを求めることができる。

[0062] ０．１μｍ以上の球状炭化物の円相当径の個数平均を球状炭化物の平均粒径とし、測定視野中の最大粒径を球状炭化物の最大粒径とする。球状炭化物の円相当径とは、球状炭化物の面積と等しい面積をもつ円の直径である。０．１μｍ以上の球状炭化物のアスペクト比は長軸の長さ／短軸の長さで求められる。球状炭化物の個数密度は円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の数を測定視野の面積で除すことで求められる。

[0063] ＜鋼線の製造方法＞

本開示に係る鋼線の製造方法の一例について説明する。ただし、以下に説明する鋼線の製造方法は、本開示に係る鋼線を限定するものではない。即ち、その製造方法に関わらず、上述の要件を満たす鋼線は、本開示に係る鋼線である。

[0064] 本開示に係る鋼線の製造方法の一例は、

ベイナイトを主体とする線材を、総減面率２０～５０％で伸線加工する工程と、

伸線加工された線材を、６５０℃以上Ac_1温度（℃）以下で３時間以上保持して冷却することにより焼鈍する工程と、

を備える。この鋼線の製造方法において、

上記本開示に係る鋼線の成分組成を有する鋼片を、９５０～１１５０℃に加熱する工程と、

加熱された鋼片を、仕上げ圧延温度８５０～１０００℃で熱間圧延して線材を得る工程と、

熱間圧延後、８５０～１０００℃である線材を、８５０℃から５５０℃までの平均冷却速度を３０～２５０℃／ｓとして、４００～５００℃未満の温度範囲まで冷却する工程と、

冷却された線材を、４００℃～５００℃未満の温度範囲内に２０秒以上保持する工程（第１保持工程）と、

さらに、第１保持工程を経た線材を、５００℃～６００℃の温度範囲内に３０秒以上保持する工程（第２保持工程）と

によって、ベイナイトを主体とする線材を製造してもよい。以下、各工程について詳細に説明する。

[0065]（加熱工程）

加熱工程では、上記本開示に係る鋼線の成分組成を有する鋼片を、９５０～１１５０℃に加熱する。加熱温度が９５０℃未満では、熱間圧延の際の変形抵抗が増大し圧延コストが嵩む。加熱温度が１１５０℃を超えると表面の脱炭が顕著となり、最終製品の表面硬さが低下する。

[0066]（熱間圧延工程）

熱間圧延工程では、加熱された鋼片を、仕上げ圧延温度８５０～１０００℃で熱間圧延する。仕上げ圧延温度が８５０℃未満では、フェライト粒が細粒化し、焼鈍工程後にフェライト粒の平均粒径が１０．０～３０．０μｍの組織が得られない。仕上げ圧延温度が１０００℃を超えると、第１保持工程における変態完了時間が長くなり、製造コストが増加する。なお、仕上げ圧延温度とは、仕上げ圧延直後の線材の表面温度を指す。

[0067]（冷却工程）

冷却工程では、熱間圧延後、８５０～１０００℃である線材を、８５０℃から５５０℃までを３０～２５０℃／ｓの平均冷却速度で、４００～５００

℃未満まで冷却する。例えば、熱間圧延後の線材をリング状に巻取って、上記平均冷却速度となるように溶融塩槽に浸漬すればよい。平均冷却速度が３０℃／ｓ未満では、焼鈍工程後にフェライトと球状炭化物の面積率の低下や、球状炭化物の個数密度の低下を招き易い。一方、平均冷却速度が２５０℃／ｓ以上とするには製造コストが嵩む。なお、冷却速度とは、線材の表面冷却速度を指す。８５０℃から５５０℃までの平均冷却速度とは、３００℃（＝８５０℃－５５０℃）を、線材の表面温度を８５０℃から５５０℃まで低下させるのに要した時間で割って得られる値である。

[0068] （第１保持工程）

第１保持工程では、冷却された線材を、４００℃～５００℃未満で２０秒以上保持する。保持温度が４００℃未満では、焼鈍工程後の強度が高くなり、冷間鍛造性を劣化させる。保持温度が５００℃以上では、第１保持工程における変態完了時間が著しく長くなり、第１保持工程、及び第２保持工程後に未変態部分が残存する。未変態部分は、伸線加工工程において断線の原因となるとともに、焼鈍工程後の冷間鍛造性を劣化させる。

[0069] 第１保持工程での保持時間が２０秒未満では、第１保持工程後、及び第２保持工程後に未変態部分が残存し、伸線加工工程において断線の原因となるとともに、焼鈍工程後の冷間鍛造性を劣化させる。製造コストの観点から、保持時間の上限は、１２０秒がよい。第１保持工程は、例えば、溶融塩槽への線材の浸漬により実施する。

[0070] （第２保持工程）

第２保持工程では、第１保持工程を経た線材を、５００℃～６００℃に３０秒以上保持する。保持温度が５００℃未満では線材の強度が高いため、伸線加工工程において断線の原因となる。保持温度が６００℃以上では、製造コストが増加する。製造コストの観点から、保持時間の上限は、１５０秒がよい。第２保持工程は、例えば、溶融塩槽への浸漬により実施する。

[0071] 第２保持工程後、室温に冷却された線材は、初析フェライトとパーライトを抑制し、ベイナイトを主体とした組織を有する。具体的には、線材の組織

は、そのＣ断面において測定されるベイナイトの面積率が５０％以上であって、マルテンサイトの面積率が０％以上である。線材のＣ断面において、マルテンサイトの面積率は０％であってもよく、好ましくは０％超である。線材の組織をこのように制御することにより、球状化焼鈍後の延性が高くなるとの知見を本発明者らは得た。この理由は以下のように推定することができる。

[0072] 炭素含有量が０．５０％以下の亜共析鋼を用いて、通常の方法で熱間圧延して冷却して製造した線材の組織は、フェライト及びパーライトの混合組織となる。このような混合組織では、鋼中の炭素はパーライト部に偏在する。そのため、球状化焼鈍後に炭化物は、焼鈍前にパーライトであった部分に偏在し、延性が低下する。線材の組織を、フェライトを抑制したベイナイト組織やマルテンサイト組織にすると、鋼中の炭素は均一に分布するため、球状化焼鈍後に炭化物が均一に分散し、延性が向上する。マルテンサイトは球状化焼鈍後の炭化物を微細にするため、延性の向上に有効であるが、一方で、焼鈍後のフェライト粒径を細粒にするため変形抵抗を増大させる。このため、球状化焼鈍後の鋼線の延性を向上させ、かつ変形抵抗を低減させるためには、線材の組織を、ベイナイトを主体とした組織とすることが有効である。

[0073] なお、本開示におけるベイナイトは、パーライトと同様にフェライト相（α）とセメンタイト相（Fe_3C）が含まれる。しかし、パーライトは、フェライト相とセメンタイト相とが交互に連続して層状に積層した組織である。一方、ベイナイトは、粒内にラス（針状の下部組織）を含み、かつ粒状または針状の炭化物が分散した組織である。この点で、パーライト及びベイナイトは区別される。

[0074] 線材のベイナイト、フェライト、及びマルテンサイトの各面積率（面積％）は以下の手順により決定する。

[0075] まず、測定対象とする線材（以下「対象物」と称する場合がある。）のＣ断面を鏡面研磨した後、室温のピクラール（５％ピクリン酸＋９５％エタノール溶液）に対象物を５０秒間浸漬して組織を現出させる。

[0076] 次に、対象物のＣ断面における９箇所において、走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）を用いて倍率１０００倍の組織写真を撮影する。９つの測定箇所の具体的位置は以下に説明する通りである。以下、対象物の直径をＤと表す。

（１）表層部における４箇所

当該対象物の表面からの深さが２５０μｍの深さ位置（表層部の深さ方向の中央部位）における、対象物の周方向に９０°おきに４箇所を、表層部における測定箇所とする。視野形状は、深さ方向の長さが８０μｍ、周方向の長さが１２０μｍの長方形とし、視野の中心を、上述の測定位置に一致させる。

（２）０．２５Ｄの深さ位置における４箇所

当該対象物の表面からの深さが０．２５Ｄの深さ位置における、対象物の周方向に９０°おきに４箇所を、０．２５Ｄの深さ位置における測定箇所とする。視野形状は、深さ方向の長さが８０μｍ、周方向の長さが１２０μｍの長方形とし、視野の中心を、上述の測定位置に一致させる。

（３）中心軸における１箇所

中心軸と重なる部分（表面からの深さが０．５Ｄの深さ位置）の１箇所を、中心軸における測定箇所とする。視野形状は中心軸を中心とした縦横８０μｍの正方形とする。

[0077] 本開示では、撮影された組織写真において、（長軸の長さ）／（短軸の長さ）が５．０以上のセメンタイト及びフェライトが交互に連続して層状に積層し、且つこれらの層の間に粒状または針状のセメンタイトを含まない組織を、パーライトとした。なお、パーライトは疑似パーライトを含む。疑似パーライトとは、分断したセメンタイトが列状に並び、列間に粒状または針状の炭化物を含まず、かつ、粒内にラス（針状の下部組織）を含まない組織とした。ベイナイトは、粒内にラスを含み、かつラス間やラス内に粒状または針状の炭化物が分散した組織とした。

[0078] さらに、撮影された組織写真中のベイナイト、フェライト、マルテンサイト、パーライト、オーステナイト、及び初析セメンタイトの各組織を目視で

マーキングする。そして、各組織の領域の面積を画像解析（ソフト名：ニレコ製小型汎用画像処理解析システムＬＵＺＥＸ＿ＡＰ）により求める。なお、上述の一連の操作は少なくとも２個のサンプルについて行い、これらサンプルにおける組織の面積率を測定及び算出し、それらの平均値を求め、当該平均値を本開示における線材の各組織の面積％とする。

[0079] なお、フェライトとマルテンサイトの判別が困難な場合は、以下に説明する方法で判別をする。観察位置を判別できるように対象物のＣ断面に圧痕を付し、室温のピクラールに５０秒間浸漬して、組織を現出させて組織写真を撮影する。その後、対象物を再研磨し、室温のナイタール（５％硝酸＋９５％エタノール溶液）に２０秒間浸漬して組織を現出させる。そして、ピクラールエッチング写真と同一箇所の組織写真を、ＳＥＭを用いて、倍率１０００倍で撮影する。

[0080] ピクラールエッチング写真とナイタールエッチング写真とを比較し、ナイタールで腐食されるが、ピクラールでの腐食が弱い領域をマルテンサイトと判定し、ナイタール、ピクラールとも腐食が弱い領域をフェライトと判定する。そして、上述の方法にて各組織の領域を目視でマーキングし、各組織の面積％を画像解析により求める。

[0081] ベイナイトと疑似パーライトの判別が困難な場合は、以下に説明する方法で判別をする。測定対象とする線材または鋼線のＣ断面を鏡面研磨する。次いで、室温のナイタールに２０秒間浸漬して組織を現出する。その後、Ｃ断面中の９つの領域内全域の組織写真を、ＳＥＭを用いて倍率５０００倍で撮影する。粒内にラス（針状の下部組織）が存在し、かつ粒状、または針状炭化物が存在する組織をベイナイトと判定した。なお、「Ｃ断面中の９つの領域」とは、上述した（１）表層部における４箇所、（２）０．２５Ｄの深さ位置における４箇所、及び（３）中心軸における１箇所のことである。

[0082]（伸線加工工程）

伸線加工工程では、第２保持工程後、室温に冷却された線材を、総減面率２０～５０％で伸線加工する。伸線加工を行うことで、焼鈍工程の際に炭化

物の球状化を促進するとともに、フェライト粒の成長を促進する。伸線加工の際の総減面率が２０％未満では、これらの効果が不十分で冷間鍛造性が劣化する。総減面率が５０％を超えても効果が飽和するとともに、鋼線径が小さくなり用途が制限される可能性がある。

[0083] なお、本開示に係る鋼線径（直径）は特に限定されず、用途に応じて決めればよいが、例えば、ボルト、ねじ、ナット等の機械部品の素材として用いられる場合は、例えば、直径が３．５～１６．０ｍｍの鋼線となるように伸線加工を行う。

[0084]（焼鈍工程）

焼鈍工程では、伸線加工によって得られた鋼線を、６５０℃以上Ac_1温度（℃）以下で３時間以上保持して冷却する。ここで、Ac_1＝７２３－１０．７×［Ｍｎ］＋２９．１×［Ｓｉ］＋１６．９×［Ｃｒ］である。焼鈍温度が６５０℃未満では、フェライト粒の平均粒径が１０μｍ未満となり冷間鍛造性が劣化する。焼鈍温度がAc_1を超えると、フェライト粒の平均粒径が１０μｍ未満となり、また、炭化物の個数が減少し、冷間鍛造性が劣化する可能性がある。保持時間が３時間未満では、フェライト粒の平均粒径が１０μｍ未満となり冷間鍛造性が劣化する。

[0085] 上記工程を経て、本開示に係る鋼線を好適に製造することができる。しかしながら、上述のように、本開示に係る鋼線の製造方法は特に限定されない。上記工程から構成される鋼線の製造方法は、本開示に係る鋼線を得るための好適な一例に過ぎない。

[0086] 次に、本開示に係る線材について説明する。本開示に係る線材は、本開示に係る鋼線の製造用の熱間圧延線材である。線材から鋼線を製造する際に、その化学成分は変化しない。そのため、本開示に係る線材は、必然的に本開示に係る鋼線と略同一の化学成分を有する。一方、任意の加工（例えば伸線加工、及び熱処理等）を経て、本開示に係る鋼線を得られる限り、本開示に係る線材の金属組織、及び球状炭化物の諸態様などは特に限定されない。線材の金属組織の好ましい一例は、そのＣ断面において、ベイナイトの面積率

が５０％以上であって、マルテンサイトの面積率が０％以上であるものである。このような金属組織を有する線材に、総減面率２０％以上の伸線加工などで鋼線にひずみを付与し、さらにAc_1以下の温度で球状化焼鈍を行うことにより、本開示に係る鋼線を得ることができる。

実施例

[0087] 以下、本開示の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、本開示の鋼線を制限するものではない。

[0088] ［鋼線の製造］

表１に示す成分組成を有する鋼種Ａ～Ｐの鋼片を用いて、後述の表２－１～表４－２に示す条件で、次の通り、鋼線を製造した。なお、表１において「－」で示した部分は、その欄における元素を意図的に添加していないことを意味する。

また、表２－１～表４－２において、下線部分は、本開示において必須とする範囲から外れているか、任意であるものの好ましい範囲から外れていることを意味する。

[0089]

[表1]

鋼種	成分（質量%）																		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ti	N	B	Mo	Ni	Cu	V	Nb	Ca	Mg	Zr
A	0.13	0.07	0.74	0.011	0.006	1.10	0.034	-	0.0052	-	0.31	-	-	0.09	-	-	-	-
B	0.17	0.19	0.68	0.010	0.015	1.08	0.033	-	0.0046	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	0.18	0.25	0.65	0.020	0.006	0.91	0.031	-	0.0039	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	0.20	0.21	0.69	0.012	0.009	1.12	0.036	-	0.0044	-	-	0.12	0.20	-	-	-	-	-
E	0.31	0.24	0.71	0.013	0.012	1.02	0.032	-	0.0131	-	0.17	-	-	-	0.012	0.0013	-	-
F	0.35	0.27	0.71	0.014	0.003	1.01	0.027	-	0.0043	-	0.16	-	-	-	-	-	-	-
G	0.35	0.24	0.73	0.021	0.025	1.13	0.033	-	0.0106	-	-	-	-	-	0.011	-	0.0011	-
H	0.36	0.26	0.70	0.013	0.004	1.03	0.032	-	0.0033	-	0.16	-	-	-	-	-	-	-
I	0.40	0.05	0.55	0.009	0.012	1.06	0.036	0.016	0.0038	0.0019	0.22	-	-	0.14	0.009	-	-	-
J	0.40	0.24	0.84	0.009	0.008	1.42	0.042	-	0.0039	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0015
K	0.41	0.25	0.75	0.012	0.009	1.04	0.036	-	0.0042	-	0.15	0.17	0.32	-	-	-	-	-
L	0.56	0.07	0.51	0.012	0.011	0.89	0.027	0.014	0.0031	0.0021	-	0.83	-	-	-	-	-	-
M	0.33	0.48	0.41	0.008	0.007	1.01	0.035	-	0.0025	-	0.13	-	-	-	-	-	-	-
N	0.39	0.22	0.27	0.015	0.009	0.92	0.039	-	0.0046	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	0.32	0.35	0.42	0.007	0.015	1.20	0.008	0.022	0.0126	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	0.16	0.17	0.45	0.013	0.024	1.12	0.072	-	0.0042	-	0.41	-	-	-	-	-	-	-

[0090] 具体的には、表２－１～表２－４に示す試験番号１～１６、３２～３６、４１の鋼線は、次の通り製造した。

[0091] まず、鋼片を加熱した後、熱間圧延して、得られた線材をリング状に巻取り、熱間圧延ライン後方に設置された溶融塩槽に浸漬して、４７０～５２０℃まで冷却した。

[0092] 次に、溶融塩槽に浸漬された線材を２槽の溶融塩浴にて第１保持、及び第２保持した。その後、室温（２５℃）まで冷却した線材を表２－１及び表２－２に示す総減面率で伸線加工し、伸線後に加熱して焼鈍処理した。なお、試験番号１～１２、１５、３２、３５の鋼線の焼鈍処理は、７１０℃に５時間保持した後空冷し、試験番号１６の鋼線の焼鈍処理は、７６０℃に５時間保持した後空冷し、試験番号３３の鋼線の焼鈍処理は、７４０℃に５時間保持した後空冷し、試験番号３４の鋼線の焼鈍処理は、６９５℃に５時間保持した後空冷し、試験番号３６の鋼線の焼鈍処理は、７３０℃に５時間保持した後空冷し、試験番号４１の鋼線の焼鈍処理は、７３５℃に５時間保持した後、空冷して行った。

[0093] これら工程を経て、試験番号１～１６、３２～３６に示す鋼線を製造した。なお、試験番号１３と１４の鋼線は、伸線途中で断線したため、焼鈍処理は行わなかった。表２－１及び表２－２において製造条件に関する欄の「－」は実施しなかったことを意味し、組織に関する「－」は測定しなかったことを意味する。

[0094] 試験番号３１の鋼線は、次の通り製造した。

まず、鋼片を加熱した後、熱間圧延して、得られた線材をリング状に巻取り、衝風冷却により４７０℃まで冷却した。その後、得られた線材を２槽の溶融塩槽に浸漬して第１保持、及び第２保持した。その後、室温（２５℃）まで冷却した線材を表２－２に示す総減面率で伸線加工し、伸線後に７１０℃に５時間保持した後、空冷して行った。

[0095] また、表２－１～表２－４に示す試験番号１７～２８、３７～４０の鋼線は、次の通り製造した。

まず、鋼片を加熱した後、熱間圧延して、得られた線材をリング状に巻き取り、衝風冷却した。その後、室温（２５℃）まで冷却した線材を表２－１

及び表２－２に示す総減面率で伸線加工し、伸線後に加熱して焼鈍処理した。なお、試験番号１７～２８、３７～４０の鋼線の焼鈍処理は、７６０℃に５時間保持した後、冷却速度１５℃／ｈで６６０℃まで冷却し、その後空冷して行った。

これら工程を経て、試験番号１７～２８、３７～４０に示す鋼線を製造した。

[0096] また、表３－１及び表３－２に示す試験番号２９の鋼線は、次の通り製造した。

鋼片を加熱した後、熱間圧延して、得られた線材をリング状に巻き取り、衝風冷却した。その後、室温（２５℃）まで冷却した線材を８５０℃に加熱し焼入れし、６５０℃に加熱し焼戻した。その後、表３－１に示す総減面率で伸線加工し、伸線後に加熱して焼鈍処理した。

[0097] また、表４－１及び表４－２に示す試験番号３０の鋼線は、次の通り製造した。

鋼片を加熱した後、熱間圧延して、得られた線材をリング状に巻き取り、衝風冷却した。その後、室温（２５℃）まで冷却した線材を加熱し第１焼鈍処理した。その後、室温（２５℃）まで冷却した線材を表４－１に示す総減面率で伸線加工し、伸線後に加熱して第２焼鈍処理した。なお、第１焼鈍処理、及び第２焼鈍処理は、７６０℃に５時間保持した後、冷却速度１５℃／ｈで６６０まで冷却し、その後空冷して行った。

[0098] ［評価］

これらの鋼線に対して、伸線加工で断線した試験番号１３、１４以外の鋼線については金属組織の観察を行い、圧縮試験を行った。

[0099] 鋼線のフェライトと球状炭化物の合計面積率、平均フェライト粒径、球状炭化物の平均アスペクト比、円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の個数密度、円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の平均粒径（表中では、「平均粒径」と記載）、及び円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の最大粒径（表中では、「最大粒径」と記載）は、既述した方法に従って測定した。結果を表

に示す。なお、表中の「個数／Ｃ％」は、各鋼線のＬ断面１ｍｍ^{2}当たりに観察された円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の個数を、その鋼線に含まれるＣ含有量（％）で除した値である。

[0100] 鋼線の変形抵抗と限界圧縮率は圧縮試験により測定した。

焼鈍後の鋼線を、減面率８％で伸線加工し、伸線後の鋼線から直径Ｄ、高さ１．５Ｄの円柱状の試験片を作製した。

圧縮試験方法は日本塑性加工学会冷間鍛造分科会基準（塑性と加工，ｖｏｌ．２２，Ｎｏ．２１１，１９８１，ｐ１３９）に基づき同心円状に溝がついた金型により端面を拘束して圧縮試験を行った。

変形抵抗は、小坂田の方法（Ｋ．Ｏｓａｋａｄａ：Ａｎｎ．ＣＩＲＰ，３０－１（１９８１），ｐ１３５）による相当ひずみ１．６、圧縮率７３．６％で加工した際の相当応力とした。

限界圧縮率は、前記伸線後鋼線から機械加工で作製した直径５．０ｍｍ、高さ７．５ｍｍの円柱状試験片の周部軸方向に曲率０．１５ｍｍ、深さ０．８ｍｍ、角度３０°の切欠きを有する試験片を用いて、圧縮試験を行った。長さ０．５ｍｍ以上の割れが観察されたとき割れ発生と認定し、割れが発生しない最大の圧縮率を限界圧縮率とした。

[0101]

[表2-1]

試験番号	鋼種	加熱温度(℃)	仕上げ圧延温度(℃)	850～550℃平均冷却速度(℃/s)	第1保持工程		第2保持工程		線材線径(mm)	総減面率(%)	焼鈍温度(℃)	焼鈍時間(h)
					保持温度(℃)	保持時間(s)	保持温度(℃)	保持時間(s)				
1	A	1080	950	45	470	75	550	110	13.0	37.2	710	5
2	B	1080	850	42	470	75	550	110	13.0	37.2	710	5
3	C	1080	850	41	470	75	550	110	13.0	37.2	710	5
4	D	1080	920	73	470	75	550	110	11.0	30.0	710	5
5	E	1120	880	43	470	75	550	110	13.0	37.2	710	5
6	F	1080	900	72	470	75	550	110	10.0	30.0	710	5
7	G	1120	880	44	470	75	550	110	13.0	37.2	710	5
8	H	1080	900	71	470	75	550	110	11.0	30.0	710	5
9	I	1120	880	46	470	75	550	110	13.0	37.2	710	5
10	J	1080	950	49	470	75	550	110	13.0	37.2	710	5
11	K	1080	920	48	470	75	550	110	13.0	37.2	710	5
12	L	1120	920	50	470	75	550	110	13.0	37.2	710	5
13	F	1080	900	69	520	75	550	110	10.0	断線	-	-
14	F	1080	900	71	470	15	550	110	10.0	断線	-	-
15	G	1120	880	44	470	75	550	110	13.0	10.0	710	5
16	G	1120	880	44	470	75	550	110	13.0	37.2	760	5
17	A	1050	900	0.91	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
18	B	1050	900	0.92	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
19	C	1050	900	0.91	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
20	D	1050	900	1.1	-	-	-	-	11.0	30.0	760	5

[0102]

[表2-2]

試験番号	鋼種	加熱温度(℃)	仕上げ圧延温度(℃)	850～550℃平均冷却速度(℃/s)	第1保持工程		第2保持工程		線材線径(mm)	総減面率(%)	焼鈍温度(℃)	焼鈍時間(h)
					保持温度(℃)	保持時間(s)	保持温度(℃)	保持時間(s)				
21	E	1050	900	0.91	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
22	F	1050	900	1.4	-	-	-	-	10.0	30.0	760	5
23	G	1050	900	0.90	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
24	H	1050	900	1.1	-	-	-	-	11.0	30.0	760	5
25	I	1050	900	0.91	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
26	J	1050	900	0.92	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
27	K	1050	900	0.91	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
28	L	1050	900	0.91	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
31	F	1080	900	0.90	470	75	550	110	10.0	30.0	710	5
32	G	1120	880	44	470	75	-	-	13.0	37.2	710	5
33	M	1100	900	48	470	75	550	110	13.0	37.2	740	5
34	N	1100	900	49	470	75	550	110	13.0	37.2	695	5
35	O	1100	900	48	470	75	550	110	13.0	37.2	710	5
36	P	1050	900	49	470	75	550	110	13.0	37.2	730	5
37	M	1050	900	0.92	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
38	N	1050	900	0.92	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
39	O	1050	900	0.91	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
40	P	1050	900	0.91	-	-	-	-	13.0	37.2	760	5
41	H	1080	900	70	470	75	550	110	11.0	25.4	735	5

[0103]

[表2-3]

試験番号	フェライトと球状炭化物の合計面積率（面積%）	平均フェライト粒径（μm）	球状炭化物				変形抵抗（MPa）	限界圧縮率（%）	通常材との比較			備考
			平均アスペクト比	個数/C%（×10⁶個/mm²）	平均粒径（μm）	最大粒径（μm）			比較対象鋼線	変形抵抗	限界圧縮率	
1	100	14.8	1.5	6.2	0.19	0.93	714	71.0	17	同等	良	実施例
2	100	11.5	1.7	4.6	0.21	0.98	672	75.4	18	同等	良	実施例
3	100	12.1	1.6	4.8	0.20	1.08	672	77.0	19	同等	良	実施例
4	100	14.2	1.5	4.1	0.24	0.97	683	75.3	20	同等	良	実施例
5	100	13.9	1.6	4.4	0.23	1.09	709	70.6	21	同等	良	実施例
6	100	11.9	1.4	4.7	0.25	1.15	721	69.3	22	同等	良	実施例
7	100	16.3	1.3	4.5	0.24	1.16	707	71.6	23	同等	良	実施例
8	100	15.6	1.4	4.3	0.26	1.12	725	69.9	24	同等	良	実施例
9	100	15.4	1.4	4.6	0.25	1.09	757	65.1	25	同等	良	実施例
10	100	14.7	1.6	4.4	0.26	1.22	723	69.9	26	同等	良	実施例
11	100	15.1	1.5	4.4	0.27	1.19	728	68.6	27	同等	良	実施例
12	100	13.6	1.5	3.6	0.31	1.41	726	69.6	28	同等	良	実施例
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	比較例
15	88	7.7	1.4	1.6	0.23	1.03	739	56.8	23	不良	不良	比較例
16	100	8.5	2.1	1.4	0.39	3.09	723	58.3	23	同等	同等	比較例
17	100	16.7	2.7	1.1	0.45	2.62	700	62.7	-	-	-	比較例
18	100	17.2	3.1	0.9	0.47	2.83	655	68.5	-	-	-	比較例
19	100	16.3	2.9	0.9	0.44	2.71	667	65.9	-	-	-	比較例
20	100	15.7	2.4	1.1	0.46	3.12	680	65.4	-	-	-	比較例

[0104]

[表2-4]

試験番号	フェライトと球状炭化物の合計面積率（面積%）	平均フェライト粒径（μm）	球状炭化物				変形抵抗（MPa）	限界圧縮率（%）	通常材との比較			備考
			平均アスペクト比	個数/C%（×10⁶個/mm²）	平均粒径（μm）	最大粒径（μm）			比較対象鋼線	変形抵抗	限界圧縮率	
21	100	10.7	2.6	1.2	0.42	2.48	708	58.2	-	-	-	比較例
22	100	9.2	2.0	1.8	0.37	1.50	728	59.1	-	-	-	比較例
23	100	8.7	2.2	1.4	0.41	3.19	712	59.1	-	-	-	比較例
24	100	8.9	2.1	1.7	0.40	2.22	733	57.2	-	-	-	比較例
25	100	7.9	2.2	1.6	0.42	2.28	773	54.2	-	-	-	比較例
26	100	8.8	2.4	1.6	0.43	2.51	731	57.7	-	-	-	比較例
27	100	8.1	2.3	1.3	0.47	2.57	739	55.2	-	-	-	比較例
28	100	8.2	2.7	1.0	0.52	3.21	733	56.1	-	-	-	比較例
31	92	10.8	2.3	0.9	0.45	1.83	735	59.8	22	同等	同等	比較例
32	94	9.5	1.9	4.9	0.19	2.17	747	58.7	23	不良	同等	比較例
33	100	15.8	1.4	1.5	0.41	2.31	702	71.9	37	同等	良	実施例
34	98	11.2	2.2	6.7	0.19	1.21	697	70.1	38	同等	良	実施例
35	100	12.9	1.5	4.8	0.24	1.11	700	73.0	39	同等	良	実施例
36	100	23.8	1.5	3.6	0.25	2.02	681	74.8	40	良	良	実施例
37	100	9.1	2.3	1.0	0.52	3.41	720	61.6	-	-	-	比較例
38	100	9.0	2.6	1.2	0.50	3.24	684	64.7	-	-	-	比較例
39	100	9.5	2.2	1.2	0.44	2.92	689	65.6	-	-	-	比較例
40	100	13.7	2.5	0.9	0.43	3.08	703	64.8	-	-	-	比較例
41	96	16.2	2.1	1.5	0.51	3.06	715	62.6	24	同等	良	実施例

[0105]

[表3-1]

試験番号	鋼種	加熱温度(℃)	仕上げ圧延温度(℃)	850～550℃平均冷却速度(℃/s)	第1保持工程		第2保持工程		焼入れ温度(℃)	焼戻し温度(℃)	線材線径(mm)	総減面率(%)	焼鈍温度(℃)	焼鈍時間(h)
					保持温度(℃)	保持時間(s)	保持温度(℃)	保持時間(s)						
29	D	1050	900	1.1	-	-	-	-	850	650	11.0	30.0	760	5

[0106]

[表3-2]

試験番号	フェライトと球状炭化物の合計面積率(面積%)	平均フェライト粒径(μm)	球状炭化物				変形抵抗(MPa)	限界圧縮率(%)	通常材との比較			備考
			平均アスペクト比	個数/C%(×10⁶個/mm²)	平均粒径(μm)	最大粒径(μm)			比較対象鋼線	変形抵抗	限界圧縮率	
29	100	11.8	1.3	7.5	0.17	0.54	718	62.7	20	不良	不良	比較例

[0107]

[表4-1]

試験番号	鋼種	加熱温度(℃)	仕上げ圧延温度(℃)	850～550℃平均冷却速度(℃/s)	第1保持工程		第2保持工程		線材線径(mm)	第1焼鈍温度(℃)	第1焼鈍時間(h)	総減面率(%)	第2焼鈍温度(℃)	第2焼鈍時間(h)
					保持温度(℃)	保持時間(s)	保持温度(℃)	保持時間(s)						
30	H	1050	900	1.1	-	-	-	-	11.0	760	5	30.0	760	5

[0108]

[表4-2]

試験番号	フェライトと球状炭化物の合計面積率（面積%）	平均フェライト粒径（μm）	球状炭化物				変形抵抗（MPa）	限界圧縮率（%）	通常材との比較			備考
			平均アスペクト比	個数/C%（$\times 10^6$個/mm^2）	平均粒径（μm）	最大粒径（μm）			比較対象鋼線	変形抵抗	限界圧縮率	
30	100	10.3	2.2	0.4	0.89	4.20	720	55.1	24	同等	不良	比較例

[0109] 表には、変形抵抗と限界圧縮率の測定結果を示し、さらに、通常鋼線（試験番号１７～２８、及び３７～４０）との比較結果を示す。変形抵抗及び／

又は限界圧縮率「同等」と記載された試験番号の鋼線は、通常鋼線（試験番号１７～２８、及び３７～４０）と比較して、変形抵抗が±２０ＭＰａ以内、及び／又は限界圧縮率が±２％以内である。「良」と記載された試験番号の鋼線は、通常鋼線より優れた特性を有し、「不良」と記載された試験番号の鋼線は、通常鋼線より特性が劣っていた。

[0110] 上記結果から、本開示で規定する要件をすべて満たす試験番号１～１２、３３～３６、及び４１の鋼線は、変形抵抗が通常鋼線（試験番号１７～２８、及び３７～４０）と比較して同等、または優れていた。さらに、本開示で規定する要件をすべて満たす試験番号１～１２、３３～３６、及び４１の鋼線は、限界圧縮率が通常鋼線と比較して優れることがわかる。なお、これら鋼線の一部に関して、伸線前の組織（即ち線材の組織）を評価したところ、ベイナイト主体の組織を有していた（後述する表５参照）。

通常鋼線１７～２８、及び３７～４０は、伸線前の組織がベイナイトを主体とした組織にならないと推定される製造条件のもとで製造されたものである。これら通常鋼線の一部に関して、伸線前の組織（即ち線材の組織）を評価したところ、ベイナイト主体ではなかった（後述する表５参照）。

試験番号１３では、伸線中に断線が生じたので、鋼線を製造することができなかった。これは、第１保持工程における保持温度が高すぎたので、伸線前の線材の硬度が過剰になったからであると推定される。

鋼線１４では、伸線中に断線が生じたので、鋼線を製造することができなかった。これは、第１保持工程における保持時間が短すぎたので、伸線前の線材の硬度が過剰になったからであると推定される。

試験番号１５の鋼線では、フェライト及び球状炭化物の合計面積率が不足し、さらにフェライトの平均粒径が小さすぎたので、変形抵抗及び限界圧縮率が通常鋼線よりも劣った。これは、伸線加工における総減面率が不足したからであると推定される。

試験番号１６の鋼線では、円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の個数が不足し、さらにフェライトの平均粒径が小さすぎたので、変形抵抗及び限界

圧縮率が通常鋼線よりも優れたものとはならなかった。これは、伸線加工後の焼鈍における焼鈍温度がＡｃ１点を上回っていたからであると推定される。

試験番号３１の鋼線では、フェライト及び球状炭化物の合計面積率が不足し、さらに円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の個数が不足したので、変形抵抗及び限界圧縮率が通常鋼線よりも優れたものとはならなかった。これは、仕上圧延後の平均冷却速度が不足したからであると推定される。

試験番号３２の鋼線では、フェライト及び球状炭化物の合計面積率が不足し、さらにフェライトの平均粒径が小さすぎたので、変形抵抗が通常鋼線に劣り、限界圧縮率が通常鋼線よりも優れたものとはならなかった。これは、第２保持工程を行わなかったからであると推定される。

[0111] さらに、全ての発明範囲内の実施例鋼線、及び一部の発明範囲外の比較例鋼線に関しては、その原材料である線材の金属組織の評価も行った。評価方法は、本明細書において上述された通りとした。評価結果を表５に示す。

[0112]

[表5]

試験番号	鋼種	線材の各組織の面積率		備考
		ベイナイト(%)	マルテンサイト(%)	
1	A	74	24	実施例
2	B	93	5	実施例
3	C	95	4	実施例
4	D	91	8	実施例
5	E	82	18	実施例
6	F	85	14	実施例
7	G	78	20	実施例
8	H	90	9	実施例
9	I	83	17	実施例
10	J	73	26	実施例
11	K	70	30	実施例
12	L	89	10	実施例
13	F	0	94	比較例
14	F	24	75	比較例
19	C	0	0	比較例
22	F	41	11	比較例
24	H	42	12	比較例
33	M	87	13	実施例
34	N	99	0	実施例
35	O	92	7	実施例
36	P	79	21	実施例
41	H	88	10	実施例

[0113] 本開示で規定する要件をすべて満たす試験番号１～１２、３３～３６、４１の鋼線の材料である線材は、伸線加工前の段階で、Ｃ断面におけるベイナイトの面積率が５０％以上であって、マルテンサイトの面積率が０％以上であった。

一方、伸線加工時に断線が生じた試験番号１３及び１４の線材では、ベイナイト量が不足し、かつマルテンサイト量が大きかった。

球状炭化物の平均アスペクト比が本開示の上限を超え、かつ球状炭化物の個数密度が本開示の下限未満であった鋼線にかかる、試験番号１９の線材で

は、ベイナイト及びマルテンサイトの両方が含まれなかった。

平均フェライト粒径が本開示の下限未満であった鋼線にかかる、試験番号２２及び２４の線材では、ベイナイト及びマルテンサイトの両方が含まれていたものの、その量が不足していた。

符号の説明

[0114] １０　鋼線

Ｃ　中心軸

Ｄ　鋼線の直径

請求の範囲

[請求項1] 成分組成が、質量％で、

Ｃ　：０．１０～０．６０％、

Ｓｉ：０．０１～０．５０％、

Ｍｎ：０．２０～１．００％、

Ｐ　：０．０３０％以下、

Ｓ　：０．０５０％以下、

Ｃｒ：０．８５～１．５０％、

Ａｌ：０．００１～０．０８０％、

Ｎ　：０．００１０～０．０２００％、並びに

残部：Ｆｅ及び不純物元素であり、

鋼線の中心軸を含み、かつ、前記中心軸に平行な断面において、

金属組織の９５面積％以上が、フェライト及び球状炭化物からなり、

前記フェライトは、平均粒径が１０．０～３０．０μｍであり、

前記球状炭化物は、円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の平均アスペクト比が２．５以下であり、かつ、前記鋼線に含まれるＣの含有量（質量％）を［Ｃ］で表した場合に、円相当径０．１μｍ以上の前記球状炭化物の個数が１．５×１０^{6}×［Ｃ］～７．０×１０^{6}×［Ｃ］個／ｍｍ^{2}である、鋼線。

[請求項2] 前記断面において、前記円相当径０．１μｍ以上の球状炭化物の平均粒径が０．５０μｍ以下であり、かつ、前記球状炭化物の最大粒径が３．００μｍ以下である、請求項１に記載の鋼線。

[請求項3] 前記成分組成が、質量％で、

Ｔｉ：０～０．０５０％、

Ｂ　：０～０．００５０％、

Ｍｏ：０～０．５０％、

Ｎｉ：０～１．００％、

Ｃｕ：０～０．５０％、

Ｖ　：０～０．５０％、

Ｎｂ：０～０．０５０％、

Ｃａ：０～０．００５０％、

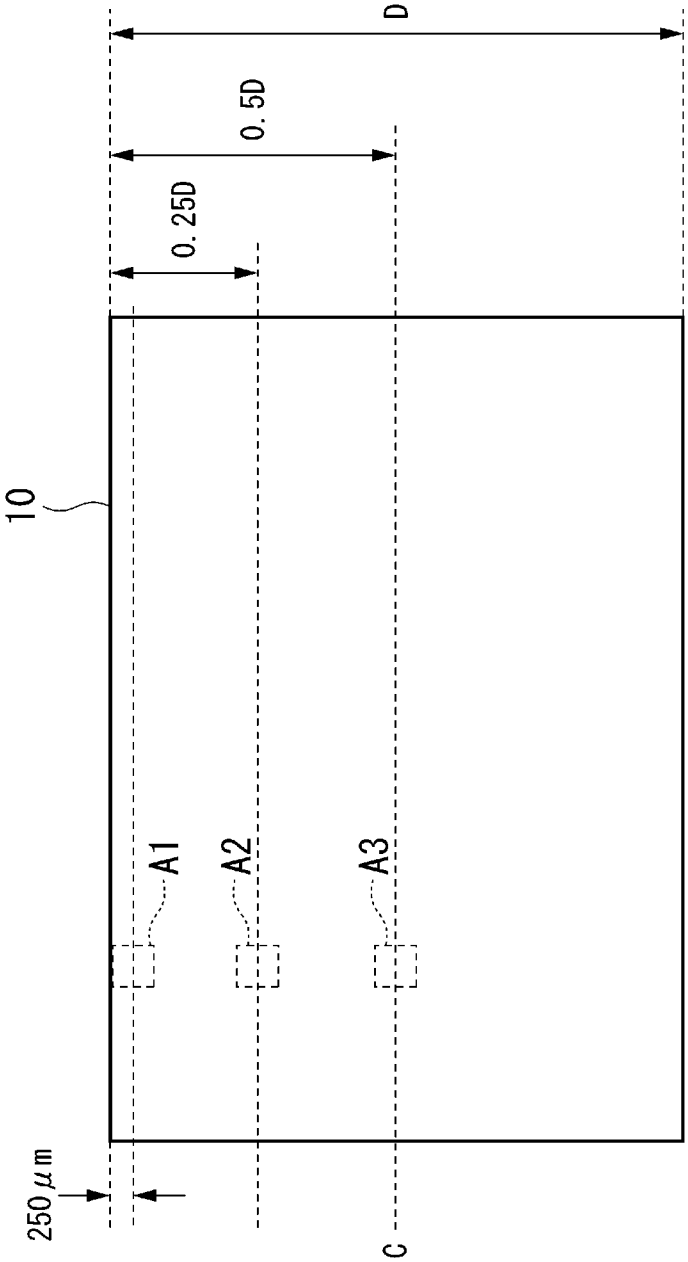
Ｍｇ：０～０．００５０％、及び

Ｚｒ：０～０．００５０％、

の１つ又は２つ以上を満たす、請求項１又は請求項２に記載の鋼線。

[請求項4] 請求項１～３のいずれか一項に記載の鋼線の製造用の熱間圧延線材。

[図1]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/019393

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C21D 8/06(2006.01)i; C22C 38/00(2006.01)i; C22C 38/18(2006.01)i; C22C 38/54(2006.01)i
FI: C22C38/00 301Y; C22C38/18; C22C38/54; C21D8/06 A
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)
C21D8/06; C22C38/00; C22C38/18; C22C38/54

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-234349 A (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) 21.11.2013 (2013-11-21) claim 1, paragraphs [0001], [0011], [0024]-[0028], table 1	1-4
A	JP 2001-11575 A (NIPPON STEEL CORP.) 16.01.2001 (2001-01-16) claims 1, 5, paragraphs [0001]-[0004], [0024]-[0030], [0060], [0061], tables 5, 6	1-4

☐ 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
09 July 2020 (09.07.2020)	21 July 2020 (21.07.2020)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/019393

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2013-234349 A	21 Nov. 2013	(Family: none)	
JP 2001-11575 A	16 Jan. 2001	US 6488787 B1 claims 1, 5, column 1, lines 5-62, column 4, line 31 to column 5, line 29, tables 5, 6 CN 1316018 A KR 10-2001-0074896 A WO 2001/002615 A1	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2020/019393

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

C21D 8/06(2006.01)i; C22C 38/00(2006.01)i; C22C 38/18(2006.01)i; C22C 38/54(2006.01)i
FI: C22C38/00 301Y; C22C38/18; C22C38/54; C21D8/06 A

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））

C21D8/06; C22C38/00; C22C38/18; C22C38/54

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 2013-234349 A (新日鐵住金株式会社) 21.11.2013 (2013-11-21) 請求項1, [0001], [0011], [0024]～[0028], 表1	1-4
A	JP 2001-11575 A (新日本製鐵株式会社) 16.01.2001 (2001-01-16) 請求項1, 5, [0001]～[0004], [0024]～[0030], [0060], [0061], 表5, 表6	1-4

☐ 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
09.07.2020	21.07.2020

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）
守安　太郎 4K 9347
電話番号 03-3581-1101 内線 3477

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/JP2020/019393

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2013-234349 A	21.11.2013	（ファミリーなし）	
JP 2001-11575 A	16.01.2001	US 6488787 B1 Claims 1, 5, column 1, lines 5 to 62, column 4, line 31 to column 5, line 29, TABLE 5, TABLE 6 CN 1316018 A KR 10-2001-0074896 A WO 2001/002615 A1	