

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7226548号
(P7226548)

(45)発行日 令和5年2月21日(2023.2.21)

(24)登録日 令和5年2月13日(2023.2.13)

(51)国際特許分類 F I
 C 2 2 C 38/00 (2006.01) C 2 2 C 38/00 3 0 1 Y
 C 2 2 C 38/54 (2006.01) C 2 2 C 38/54
 C 2 1 D 8/06 (2006.01) C 2 1 D 8/06 A

請求項の数 3 (全28頁)

(21)出願番号	特願2021-526947(P2021-526947)	(73)特許権者	000006655 日本製鉄株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(86)(22)出願日	令和2年6月19日(2020.6.19)	(74)代理人	110001519 弁理士法人太陽国際特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/024248	(72)発明者	松井 直樹 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
(87)国際公開番号	WO2020/256140	(72)発明者	大羽 浩 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
(87)国際公開日	令和2年12月24日(2020.12.24)	(72)発明者	小此木 真 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
審査請求日	令和3年10月26日(2021.10.26)	(72)発明者	手島 俊彦
(31)優先権主張番号	特願2019-113720(P2019-113720)		
(32)優先日	令和1年6月19日(2019.6.19)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 線材

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

化学成分が、質量%で、

- C : 0 . 6 0 ~ 1 . 1 5 %、
- S i : 0 . 0 1 ~ 1 . 8 0 %、
- M n : 0 . 2 0 ~ 0 . 9 0 %、
- P : 0 . 0 1 5 % 以下、
- S : 0 . 0 1 5 % 以下、
- A l : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 8 0 %、
- N : 0 . 0 0 1 5 ~ 0 . 0 0 6 0 %、
- C u : 0 . 1 0 ~ 0 . 6 5 %、
- N i : 0 . 0 5 ~ 0 . 6 5 % 未満、
- C r : 0 ~ 0 . 3 0 %、
- M o : 0 ~ 0 . 3 0 %、
- T i : 0 ~ 0 . 1 0 0 %、
- N b : 0 ~ 0 . 1 0 0 %、
- V : 0 ~ 0 . 2 0 %、
- S n : 0 ~ 0 . 3 0 %、
- B : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、
- C a : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

Mg : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

Zr : 0 ~ 0 . 1 0 0 %、

REM : 0 ~ 0 . 0 2 0 0 %、並びに

残部 : Fe 及び不純物、からなり、

線材に含まれるC、Si、Mn、Cr、Cu、Ni、N、及びTiのそれぞれの元素の質量%での含有量を、[C]、[Si]、[Mn]、[Cr]、[Cu]、[Ni]、[N]、及び[Ti]で表した場合に、下記(1)~(3)を満たし、

$$(1) [Cu] / [Ni] > 1.00$$

$$(2) 1.70 - Y1 \leq 4.50$$

$$Y1 = 3 \times [Cr] + 5 \times [Mn] + [Cu] + [Ni]$$

$$(3) Y2 \leq 1.81$$

$$Y2 = [C] + [Si] / 10 + A$$

Aは、 $a = 350 \times ([N] - 0.29 \times [Ti])$ の値が、

a ≥ 0の場合は、A = a

a < 0の場合は、A = 0

金属組織が、線材の中心軸を含む長手方向に平行な断面における面積率で90%以上のパーライト組織を含み、

前記線材の長手方向に5.0mmの間隔で採取した8個の各々のサンプル s_i (i は1~8の整数)について、各サンプルの前記断面において前記線材の表面から深さ50μmの位置で測定されるビッカース硬さをそれぞれ HV_{s_i} とし、前記 HV_{s_i} の平均値を $HV_{s_{iave}}$ 、最大値を $HV_{s_{imax}}$ としたとき、下記(4)を満たす、線材。

$$(4) HV_{s_{imax}} - HV_{s_{iave}} \leq 50$$

【請求項2】

化学成分が、質量%で、

C : 0.60 ~ 1.15 %、

Si : 0.01 ~ 1.80 %、

Mn : 0.20 ~ 0.90 %、

P : 0.015 %以下、

S : 0.015 %以下、

Al : 0.005 ~ 0.080 %、

N : 0.0015 ~ 0.0060 %、

Cu : 0.10 ~ 0.65 %、

Ni : 0.05 ~ 0.65 %未満、

Cr : 0 ~ 0.30 %、

Mo : 0 ~ 0.30 %、

Ti : 0 ~ 0.100 %、

Nb : 0 ~ 0.100 %、

V : 0 ~ 0.20 %、

Sn : 0 ~ 0.30 %、

B : 0 ~ 0.0050 %、

Ca : 0 ~ 0.0050 %、

Mg : 0 ~ 0.0050 %、

Zr : 0 ~ 0.100 %、

REM : 0 ~ 0.0200 %、並びに

残部 : Fe 及び不純物、からなり、

線材に含まれるC、Si、Mn、Cr、Cu、Ni、N、及びTiのそれぞれの元素の質量%での含有量を、[C]、[Si]、[Mn]、[Cr]、[Cu]、[Ni]、[N]、及び[Ti]で表した場合に、下記(1)~(3)を満たし、

$$(1) [Cu] / [Ni] > 1.00$$

$$(2) 1.70 - Y1 \leq 4.50$$

10

20

30

40

50

$$Y1 = 3 \times [Cr] + 5 \times [Mn] + [Cu] + [Ni]$$

$$(3) Y2 < 1.81$$

$$Y2 = [C] + [Si] / 10 + A$$

Aは、 $a = 350 \times ([N] - 0.29 \times [Ti])$ の値が、

a 0の場合は、 $A = a$

a < 0の場合は、 $A = 0$

金属組織が、線材の中心軸を含む長手方向に平行な断面における面積率で90%以上のパーライト組織を含み、

前記線材の長手方向に600mmの間隔で採取した8個の各々のサンプル s_i (i は1~8の整数)について、各サンプルの前記断面において前記線材の表面から深さ50 μ mの位置で測定されるビッカース硬さをそれぞれ Hv_{s_i} とし、前記 Hv_{s_i} の平均値を Hv_{s_iave} 、最大値を Hv_{s_imax} としたとき、下記(4)を満たす、線材。

$$(4) Hv_{s_imax} - Hv_{s_iave} \leq 50$$

【請求項3】

前記化学成分が、前記Feの一部に代えて、質量%で、

Cr: 0.01~0.30%、

Mo: 0.01~0.30%、

Ti: 0.002~0.100%、

Nb: 0.002~0.100%、

V: 0.01~0.20%、

Sn: 0.01~0.30%、

B: 0.0002~0.0050%、

Ca: 0.0002~0.0050%、

Mg: 0.0002~0.0050%、

Zr: 0.0002~0.100%、及び

REM: 0.0002~0.0200%、

からなる群より選択される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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、線材に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、高強度ロープ用鋼線、橋梁ケーブル用鋼線、PC鋼線等の分野に使用される高強度鋼線には、1700MPa以上の高い引張強さが要求される。これら高強度鋼線は、例えば、直径5.0~16.0mmの圧延された線材をパテント処理して金属組織をパーライト組織とした後、伸線加工を行うことで製造される。

伸線加工後の鋼線の引張強さが高い場合、伸線加工において生じる加工発熱によってひずみ時効の影響を受け、脆化するおそれが高い。ひずみ時効によって高強度鋼線は、捻回試験での破断までの回転数(捻回値)が小さくなり、さらにデラミネーションと呼ばれる縦割れが発生する場合がある。捻回試験におけるデラミネーションの発生は、鋼線を製品とするための撚り線工程において破断要因となるため、製造性が劣化する。そのため、高強度鋼線では特に引張強さと捻回特性を両立することが望ましい。

また、鋼線の強度が高くなるほど、鋼線又は撚り線後の製品が腐食環境で使用された際、腐食の進行又は水素脆化によって破断が生じる危険性が高くなる。そのため、上記分野に用いられる高強度鋼線及びその素材となる線材には、優れた耐食性と耐水素脆化特性を有することが望まれる。

【0003】

高強度鋼線の捻回特性を向上させる技術として、例えば特許文献1には、質量%で、C: 0.75~1.10%、Si: 0.10~1.40%、Mn: 0.10~1.0%、A

10

20

30

40

50

l : 0 ~ 0 . 1 0 %、T i : 0 ~ 0 . 1 0 %、C r : 0 ~ 0 . 6 0 %、V : 0 ~ 0 . 1 0 %、N b : 0 ~ 0 . 1 0 %、M o : 0 ~ 0 . 2 0 %、W : 0 ~ 0 . 5 0 %、B : 0 ~ 0 . 0 0 3 0 %含有し、N : 0 . 0 0 6 %以下、P : 0 . 0 3 %以下、S : 0 . 0 3 %以下に制限され、残部が実質的にF eからなり、鋼線の軸線を含む軸方向に沿ったL断面の表面から100 μmの深さよりも軸線側の領域において、金属組織が面積率で90%以上の伸線パーライトを含み、前記L断面の表面から100 μmの深さまでの領域において、金属組織が面積率で70%以上の伸線パーライトを含み、鋼線の直径(D [mm])、鋼線の表面のビッカース硬さの標準偏差(HV)、鋼線の降伏強度(Rp0.2)が、下記(1)式を満たし、引張強さが1770 MPa以上の高強度を有する鋼線が提案されている。

$$HV < (- 9 5 0 0 \times \ln (d) + 3 0 0 0 0) \times \exp (- 0 . 0 0 3 \times R p 0 . 2) \dots (1)$$

10

【0004】

また、高強度鋼線の耐水素脆化特性を向上させる技術として、例えば特許文献2では、C : 0 . 7 0 ~ 1 . 2 0 %、S i : 0 . 1 0 ~ 2 . 0 0 %、M n : 0 . 2 0 ~ 1 . 0 0 %、P : 0 . 0 3 0 %以下、S : 0 . 0 3 0 %以下、N : 0 . 0 0 1 0 ~ 0 . 0 1 0 0 %、A l : 0 ~ 0 . 1 0 0 %、C r : 0 ~ 2 . 0 0 %、V : 0 ~ 0 . 3 0 %、B : 0 ~ 0 . 0 0 5 0 %、T i : 0 ~ 0 . 0 5 0 %、N b : 0 ~ 0 . 0 5 0 %、Z r : 0 ~ 0 . 0 5 0 %、N i : 0 ~ 2 . 0 0 %、C u : 0 ~ 1 . 0 0 %、S n : 0 ~ 0 . 5 0 %、M g : 0 ~ 0 . 0 1 0 %、C a : 0 ~ 0 . 0 1 0 %、からなる化学成分であり、金属組織が95面積%以上のパーライト組織を有し、鋼線の軸を含む軸方向の断面における表層で測定したパーライトブロックの平均アスペクト比Rが2.0以上であり、鋼線の直径をDとしたとき、鋼線の軸を含む軸方向の断面において、(表層で測定した平均アスペクト比) / (0.25Dの位置で測定した平均アスペクト比)が1.1以上であり、引張強さが1800 MPa以上である耐水素脆化特性に優れた高強度鋼線が提案されている。

20

【0005】

さらに、特許文献3では、C : 0 . 5 ~ 1 . 0 %を含有する他、C u、N i及びT iよりなる群から選ばれる1種以上(但し、C u及び/又はN iを含有する)であって、下記(1)式を満足するように含有する鋼からなり、パーライト組織の面積率を80%以上としたものであり、且つ1200 N/mm²以上の強度を有するものであることを特徴とする耐遅れ破壊性及び耐食性に優れた高強度鋼線が提案されている。

30

$$3 . 1 \quad 3 [C u] + [N i] + 6 [T i] \quad 0 . 2 4 (\%) \dots (1)$$

但し、[Cu]、[Ni]及び[Ti]は夫々Cu、Ni及びTiの含有量(質量%)を示す。

また、特許文献4には、C : 0 . 3 9 ~ 0 . 6 5 %、S i : 1 . 5 ~ 2 . 5 %、M n : 0 . 1 5 ~ 1 . 2 %、P : 0 %超、0 . 0 1 5 %以下、S : 0 %超、0 . 0 1 5 %以下、A l : 0 . 0 0 1 ~ 0 . 1 %、C u : 0 . 1 ~ 0 . 8 0 %、N i : 0 . 1 ~ 0 . 8 0 %を含有し、残部が鉄及び不可避不純物であり、非拡散性水素量が0.40質量ppm以下であり、百分率で表されるフェライトの面積率が下記(1)式を満たすとともに、ベイナイトとマルテンサイトの合計面積率が2%以下であることを特徴とする高強度ばね用圧延材が提案されている。

40

$$\text{フェライト面積率} < \{ (0 . 7 7 - [C]) / 0 . 7 7 - [C] / 3 + 0 . 0 8 \} \times 1 0 0 \dots (1)$$

但し、上記(1)式中、[元素名]は各元素の質量%で表される含有量を意味する。

また、特許文献5では、C : 0 . 5 5 ~ 0 . 7 5 %、S i : 0 . 1 ~ 1 . 0 %、M n : 0 . 3 ~ 1 . 5 %、C r : 0 . 1 ~ 2 . 0 %、S : 0 . 0 0 2 ~ 0 . 0 5 %、A l : 0 . 0 1 ~ 0 . 2 %およびN : 0 . 0 0 2 ~ 0 . 0 1 %を含有し、残部はF eおよび不純物からなり、不純物中のPおよびOがそれぞれ、P : 0 . 0 2 5 %以下およびO : 0 . 0 0 2 %以下で、さらに下記の[1]式で表されるFn1が2.5~4.5である化学組成を有し、組織が、パーライト分率が90%以上、パーライトラメラの平均間隔が150~300 nmで、かつパーライトラメラ間隔の標準偏差が25 nm以下であることを特徴とす

50

る熱間圧延棒鋼または線材が提案されている。

$$F n 1 = 3 S i + M n + 1 . 5 C r \cdot \cdot \cdot [1]$$

ただし、[1] 式中の元素記号は、各元素の含有量（質量％）を意味する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

特許文献1：国際公開第2018/012625号

特許文献2：国際公開第2018/021574号

特許文献3：特許第4124590号

特許文献4：特開2015-143391号公報

特許文献5：特開2014-37592号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本開示は、1700MPa以上の高い引張強さ（ultimate tensile strength）が要求される高強度鋼線の素材として好適な線材であって、耐食性及び耐水素脆化特性に優れ、伸線加工後の鋼線においてデラミネーションが発生しにくい、捻回特性に優れた線材を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

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 > 化学成分が、質量％で、

C：0.60～1.15％、

Si：0.01～1.80％、

Mn：0.20～0.90％、

P：0.015％以下、

S：0.015％以下、

Al：0.005～0.080％、

N：0.0015～0.0060％、

Cu：0.10～0.65％、

Ni：0.05～0.65％未満、

Cr：0～0.30％、

Mo：0～0.30％、

Ti：0～0.100％、

Nb：0～0.100％、

V：0～0.20％、

Sn：0～0.30％、

B：0～0.0050％、

Ca：0～0.0050％、

Mg：0～0.0050％、

Zr：0～0.100％、

REM：0～0.0200％、並びに

残部：Fe及び不純物、からなり、

線材に含まれるC、Si、Mn、Cr、Cu、Ni、N、及びTiのそれぞれの元素の質量％での含有量を、[C]、[Si]、[Mn]、[Cr]、[Cu]、[Ni]、[N]、及び[Ti]で表した場合に、下記(1)～(3)を満たし、

$$(1) [Cu] / [Ni] > 1.00$$

$$(2) 1.70 \leq Y1 \leq 4.50$$

$$Y1 = 3 \times [Cr] + 5 \times [Mn] + [Cu] + [Ni]$$

$$(3) Y2 < 1.81$$

20

30

40

50

$$Y 2 = [C] + [S i] / 1 0 + A$$

Aは、 $a = 3 5 0 \times ([N] - 0 . 2 9 \times [T i])$ の値が、

a 0の場合は、 $A = a$

a < 0の場合は、 $A = 0$

金属組織が、線材の中心軸を含む長手方向に平行な断面における面積率で90%以上のパーライト組織を含み、

前記線材の長手方向に任意の等間隔で採取した8個の各々のサンプル s_i (i は1~8の整数)について、各サンプルの前記断面において前記線材の表面から深さ50 μ mの位置で測定されるピッカース硬さをそれぞれ Hv_{s_i} とし、前記 Hv_{s_i} の平均値を $Hv_{s_i\text{ave}}$ 、最大値を $Hv_{s_i\text{max}}$ としたとき、下記(4)を満たす、線材。

$$(4) Hv_{s_i\text{max}} - Hv_{s_i\text{ave}} \leq 50$$

< 2 > 前記任意の等間隔が、600mmの間隔である、< 1 >に記載の線材。

< 3 > 前記化学成分が、前記Feの一部に代えて、質量%で、

Cr : 0 . 0 1 ~ 0 . 3 0 %、

Mo : 0 . 0 1 ~ 0 . 3 0 %

Ti : 0 . 0 0 2 ~ 0 . 1 0 0 %、

Nb : 0 . 0 0 2 ~ 0 . 1 0 0 %、

V : 0 . 0 1 ~ 0 . 2 0 %、

Sn : 0 . 0 1 ~ 0 . 3 0 %、

B : 0 . 0 0 0 2 ~ 0 . 0 0 5 0 %

Ca : 0 . 0 0 0 2 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

Mg : 0 . 0 0 0 2 ~ 0 . 0 0 5 0 %、

Zr : 0 . 0 0 0 2 ~ 0 . 1 0 0 %、及び

REM : 0 . 0 0 0 2 ~ 0 . 0 2 0 0 %、

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

【発明の効果】

【0009】

本開示によれば、1700MPa以上の高い引張強さが要求される高強度鋼線の素材として好適な線材であって、耐食性及び耐水素脆化特性に優れ、伸線加工後の鋼線においてデラミネーションが発生しにくい、捻回特性に優れた線材が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本開示の実施例で得られた、線材の引張強さと耐水素脆化特性の指標であるFIP破断時間の関係を示す図である。

【図2】本開示の実施例で得られた、伸線加工後の鋼線の引張強さと耐水素脆化特性の指標であるFIP破断時間の関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本開示の一例である実施形態について説明する。

本開示において、「~」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。ただし、「~」の前後に記載される数値に「超」又は「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又は上限値として含まない範囲を意味する。

また、本開示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、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い。また、上限値又は下限値を実施例に示されている値に置き換えてもよい。

本開示において、成分(元素)の含有量を示す「%」は、「質量%」を意味する。

本開示において、C(炭素)の含有量を、「C量」と表記することがある。他の元素の含有量についても同様に表記することがある。

10

20

30

40

50

本開示において、線材又は鋼線の「表面」とは、外周面を意味する。また、線材又は鋼線を切断して採取されたサンプルの「表面」も外周面を意味する。

【0012】

本発明者らは、前記した課題を解決するために、1700MPa以上の高い引張強さが要求される高強度鋼線の素材として好適な線材（本開示において「高強度鋼線用線材」と記す場合がある。）の耐食性、耐水素脆化特性、及び伸線加工後の捻回特性に及ぼす元素及び金属組織の影響などについて種々の検討を実施し、下記（a）～（c）の知見を得た。

【0013】

（a）引張強さが1700MPa以上の高強度鋼線は、デラミネーションが発生しやすく、腐食又は水素脆化による破断を起こしやすい。高強度鋼線のデラミネーションの発生を抑え、腐食又は水素脆化による破断を防ぐためには、捻回特性が低下しないよう、素材となる線材の化学成分の範囲を考慮して耐食性と耐水素脆化特性を向上させればよく、Cu：0.10～0.65%、Ni：0.05～0.65%未満を $[Cu] > [Ni]$ を満足する範囲で含有し、下記式<1>で表される $Y1$ が $1.70 < Y1 < 4.50$ を満足する範囲でMn、Cr、Cu、Niを含有させればよい。

$$Y1 = 3 \times [Cr] + 5 \times [Mn] + [Cu] + [Ni] \quad \dots < 1 >$$

ここで、上記式における $[Mn]$ 、 $[Cr]$ 、 $[Cu]$ 、 $[Ni]$ は、それぞれの元素の質量%での含有量を表す。

【0014】

（b）高強度鋼線は、線材を伸線加工することで製造される。引張強さが1700MPa以上の高強度鋼線は、伸線加工におけるダイスとの摩擦熱等による温度上昇及び加工発熱が大きくなる傾向があり、ひずみ時効の影響を受けて脆化しやすい。ひずみ時効によって高強度鋼線は、捻回試験において、デラミネーションと呼ばれる縦割れが発生し、破断までの回転数、すなわち捻回値が小さくなる。さらに引張強さが1700MPa以上の高強度鋼線の腐食又は水素脆化による破断を防ぎつつ、かつ伸線加工によってひずみ時効の影響を最小限に抑え、伸線加工後の捻回値を向上させるためには、下記式<2>で表される $Y2$ が $Y2 < 1.81$ を満足する範囲でC、Si、Ti、Nを含有させればよい。

$$Y2 = [C] + [Si] / 10 + A \quad \dots < 2 >$$

ここで、式<2>におけるAは、下記式<4>によって算出される値が $a \geq 0$ の場合は $A = a$ であり、 $a < 0$ の場合は $A = 0$ とする。

$$a = 350 \times ([N] - 0.29 \times [Ti]) \quad \dots < 4 >$$

ここで、上記式における $[C]$ 、 $[Si]$ 、 $[N]$ 、 $[Ti]$ は、それぞれの元素の質量%での含有量を表し、Aは式<4>で表されるaに関連するパラメータである。

【0015】

（c）線材の耐食性及び耐水素脆化特性を向上させるために、Mn、Cr、Cu、Niを含有した場合、線材の焼き入れ性が高まり、線材の製造条件によって線材表層の硬度ばらつきが大きくなる傾向がある。この線材表層の硬度ばらつきが原因となり、線材の長手方向に表層硬度が局部的に高い部分が存在すると、耐水素脆化特性が急激に低下する。線材の耐水素脆化特性の低下は、線材を伸線加工することによって得られる高強度鋼線の耐水素脆化特性の低下を招く。そのため、線材の耐食性と耐水素脆化特性を同時に向上させるためには、特定の化学成分の範囲を満足するとともに、線材表層の硬度ばらつきを小さくし、表層硬度が局部的に高くなる部分を無くすることが必要である。

【0016】

本開示に係る線材は上記の知見に基づいて完成されたものであり、化学成分が、質量%で、

C：0.60～1.15%、

Si：0.01～1.80%、

Mn：0.20～0.90%、

P：0.015%以下、

S：0.015%以下、

10

20

30

40

50

Al : 0.005 ~ 0.080 %、
 N : 0.0015 ~ 0.0060 %、
 Cu : 0.10 ~ 0.65 %、
 Ni : 0.05 ~ 0.65 %未満、
 Cr : 0 ~ 0.30 %、
 Mo : 0 ~ 0.30 %、
 Ti : 0 ~ 0.100 %、
 Nb : 0 ~ 0.100 %、
 V : 0 ~ 0.20 %、
 Sn : 0 ~ 0.30 %、
 B : 0 ~ 0.0050 %、
 Ca : 0 ~ 0.0050 %、
 Mg : 0 ~ 0.0050 %、
 Zr : 0 ~ 0.100 %、
 REM : 0 ~ 0.0200 %、並びに

残部 : Fe 及び不純物、からなり、

線材に含まれるC、Si、Mn、Cr、Cu、Ni、N、及びTiのそれぞれの元素の質量%での含有量を、[C]、[Si]、[Mn]、[Cr]、[Cu]、[Ni]、[N]、及び[Ti]で表した場合に、下記(1) ~ (3)を満たし、

$$(1) [Cu] / [Ni] > 1.00$$

$$(2) 1.70 \leq Y1 \leq 4.50$$

$$Y1 = 3 \times [Cr] + 5 \times [Mn] + [Cu] + [Ni]$$

$$(3) Y2 < 1.81$$

$$Y2 = [C] + [Si] / 10 + A$$

Aは、 $a = 350 \times ([N] - 0.29 \times [Ti])$ の値が、

a ≥ 0の場合は、A = a

a < 0の場合は、A = 0

金属組織が、線材の中心軸を含む長手方向に平行な断面(本開示において「軸方向断面」と称する場合がある。)における面積率で90%以上のパーライト組織を含み、

線材の長手方向に任意の等間隔で採取した8個の各々のサンプル s_i (i は1~8の整数)について、各サンプルの軸方向断面において、線材の表面(外周面)から深さ50μmの位置で測定されるビッカース硬さをそれぞれ Hv_{s_i} とし、 Hv_{s_i} の平均値を $Hv_{s_{iave}}$ 、最大値を $Hv_{s_{imax}}$ としたとき、下記(4)を満たす。

$$(4) Hv_{s_{imax}} - Hv_{s_{iave}} \leq 50$$

【0017】

<化学成分>

まず、本開示に係る高強度鋼線用線材に含有される元素の範囲を限定した理由を説明する。

本開示に係る高強度鋼線用線材の化学成分は、質量%で、C : 0.60 ~ 1.15 %、Si : 0.01 ~ 1.80 %、Mn : 0.20 ~ 0.90 %、P : 0.015 %以下、S : 0.015 %以下、Al : 0.005 ~ 0.080 %、N : 0.0015 ~ 0.0060 %、を含有し、さらに、 $[Cu] > [Ni]$ を満足する範囲でCu : 0.10 ~ 0.65 %、Ni : 0.05 ~ 0.65 %未満を含有し、さらに任意に含有される成分が、Cr : 0 ~ 0.30 %、Mo : 0 ~ 0.30 %、Ti : 0 ~ 0.100 %、Nb : 0 ~ 0.100 %、V : 0 ~ 0.20 %、Sn : 0 ~ 0.30 %、B : 0 ~ 0.0050 %、Ca : 0 ~ 0.0050 %、Mg : 0 ~ 0.0050 %、Zr : 0 ~ 0.100 %、及びREM : 0 ~ 0.0200 %であり、残部はFe 及び不純物からなる。

【0018】

C : 0.60 ~ 1.15 %

Cは線材の引張強さを高めるため含有する。C量が0.60%未満では初析フェライト

10

20

30

40

50

が生成し、高強度鋼線に必要な引張強さを確保できない。そのため、C量は0.60%以上とする。優れた耐水素脆化特性及び捻回特性を確保する観点から伸線加工の加工減面率を上げ過ぎずに、高強度鋼線を得るためには、C量は0.67%以上であることが好ましく、0.70%以上であることがより好ましく、0.85%以上であることが一層好ましい。一方、C量が1.15%を越えると、初析セメント量が増加して伸線加工性が劣化するため、高強度鋼線を得ることが困難となるし、鋼線の捻回特性も劣化する。そのため、C量は1.10%以下とすることがよく、1.05%以下とすることがなお好ましい。

【0019】

Si : 0.01 ~ 1.80%

Siは固溶強化により引張強さを高める効果があり、耐水素脆化特性を高める効果がある。Si量が0.01%未満では、これらの効果が得られない。そのためSi量は0.01%以上にする。これら効果を確実に得るためには、Si量を0.21%以上含有させることが好ましく、0.70%以上とすることがなお好ましい。ただし、Si量が1.80%を越えると、これらの効果が飽和するとともに熱間延性が劣化して、線材を圧延する段階で表面疵が発生しやすくなるなど、製造性が低下する。また伸線加工後の高強度鋼線の捻回特性が劣化する。そのため、Si量は1.49%以下とすることが好ましく、1.35%以下とすることがなお好ましい。

10

【0020】

Mn : 0.20 ~ 0.90%

Mnは鋼の焼き入れ性を高め、パーライト変態後の鋼の引張強さを高める効果がある。Mn量が0.20%未満では上記効果が十分に得られない。そのためMn量は0.20%以上にする。これら効果を確実に得るためには、Mn量を0.30%以上含有させることが好ましく、0.35%以上とすることがなお好ましい。一方、Mn量が0.90%を越えると鋼の焼き入れ性が高くなり過ぎ、上記効果が飽和するとともに、線材の延性が低下し、伸線加工後に得られる高強度鋼線の捻回特性が劣化する。そのため、Mn量は0.80%以下とすることが好ましく、0.75%以下とすることがなお好ましい。

20

【0021】

P : 0.015%以下

Pは、不純物として含有される。Pは結晶粒界に偏析して耐水素脆化特性を劣化させるとともに、伸線加工性も劣化させるため、P量は低ければ低い方が望ましい。そのため、P量の上限は0.015%である。P量の好ましい範囲は、0.012%以下であり、より好ましくは0.010%以下である。なお、P量の下限值は特に限定されないが、0%超でもよく、例えば、製鋼コスト低減の点から、0.0001%以上であってもよい。

30

【0022】

S : 0.015%以下

Sは、不純物として含有される。Sは結晶粒界に偏析して耐水素脆化特性を劣化させるとともに、伸線加工性も劣化させるため、S量は抑制する必要がある。そのため、S量の上限は0.015%である。S量の好ましい範囲は、0.012%以下であり、より好ましい範囲は0.010%以下である。なお、S量の下限值は特に限定されないが、0%超でもよく、例えば、脱硫コスト低減の点から、0.0001%以上であってもよい。

40

【0023】

Al : 0.005 ~ 0.080%

Alは脱酸元素であり、Al量が0.005%未満の場合、酸化物が粗大となり、水素脆化による割れの起点となることから、線材の耐水素脆化特性を低下させる。そのため、Al量は0.005%以上にする。上記効果を確実に得るために、Al量は0.008%以上であることが好ましく、0.010%以上であることが一層好ましい。しかし、Al量が0.080%を超えると、上記効果が飽和するとともに、Alを含む酸化物及び窒化物が粗大になり、圧延時に表面疵が発生するなど線材の製造性を低下させるし、かえって耐水素脆化特性を低下させる。そのため、Al量は0.060%以下とすることがよく、0.050%以下とすることがなお好ましい。

50

【 0 0 2 4 】

N : 0 . 0 0 1 5 ~ 0 . 0 0 6 0 %

Nは鋼中でTiなどの合金元素と反応し、窒化物及び炭窒化物を形成して線材の結晶粒を微細化するため、延性を向上させる効果がある。そのため、N量は0.0015%以上にする。上記効果を実に得るために、N量は0.0021%以上であることが好ましく、0.0025%以上であることが一層好ましい。一方、伸線加工によって高強度鋼線を製造する際、鋼中に固溶したNがひずみ時効に大きく影響し、捻回特性が低下するため、含有量には注意を要し、N量は0.0060%以下でなければならぬ。N量は0.0049%以下とすることが好ましく、0.0040%以下とすることがなお好ましい。

【 0 0 2 5 】

Cu : 0 . 1 0 ~ 0 . 6 5 %

Cuは本開示に係る高強度鋼線用線材の耐食性及び耐水素脆化を向上する効果がある重要な元素であり、0.10%以上含有させる。Cuはパーライト組織内に固溶して存在するため、線材の耐食性及び耐水素脆化特性を向上する効果がある。Cuが0.10%未満の場合、上記効果は得られないため、Cu量は0.10%以上にする。上記効果を実に得るために、Cu量は0.15%以上であることが好ましく、0.20%以上であることが一層好ましい。一方、0.65%を超えて含有した場合、線材を脆化させるため、伸線加工時に断線が発生しやすく、かえって線材の耐水素脆化特性を劣化させる。そのため、Cu量は0.65%以下とし、0.60%以下とすることが好ましく、0.50%以下とすることがなお好ましい。

【 0 0 2 6 】

Ni : 0 . 0 5 ~ 0 . 6 5 % 未 満

NiはCuを含有する線材を製造する際に、圧延時に表面疵を抑制するために必須の元素であり、線材の焼き入れ性も向上させる効果がある。ただし、過剰な含有は伸線加工時の割れを誘発し、耐水素脆化特性を劣化させる。上記効果を得るために、Niは0.05%以上含有させる。Niが0.05%未満の場合、圧延時に線材の表面に表面疵が発生し、伸線加工時の断線発生要因となるし、線材の耐水素脆化特性も劣化させる。上記効果を得るために、Ni量は0.10%以上であることが好ましく、0.15%以上であることが一層好ましい。一方、Ni量を0.65%以上含有した場合は焼き入れ性が高くなり過ぎ、かえって耐水素脆化特性を低下させる。そのため、Ni量は0.65%未満とし、0.60%以下とすることが好ましく、0.50%以下とすることがなお好ましい。

【 0 0 2 7 】

また、Cu及びNiは $[Cu] > [Ni]$ 、すなわち、 $[Cu] / [Ni] > 1.00$ を満足する範囲で含有することで、本開示における伸線加工後の高強度鋼線で良好な捻回特性を確保することができる。

$[Cu] / [Ni]$ が1.00以下、すなわちNiの含有量がCuの含有量以上である場合、本開示に係る高強度鋼線用線材では焼き入れ性が高くなり過ぎるため、伸線加工した高強度鋼線で十分な捻回特性が確保できなくなる。そのため、Cu及びNiは $[Cu] > [Ni]$ を満足する範囲で含有しなければならない。伸線加工後の鋼線の捻回特性を安定して確保するためには、 $[Cu] / [Ni]$ は1.20以上であることが好ましく、1.50以上であれば、さらに好ましい。Cu及びNiは $[Cu] > [Ni]$ を満足すればよく、 $[Cu] / [Ni]$ に上限は限定されないが、過剰に高すぎる場合には、線材の熱間圧延の工程で表面疵が発生するなど線材の製造性が低下する。そのため、線材の製造性を考慮し、 $[Cu] / [Ni]$ は5以下であることが好ましく、4以下であることが、なお好ましい。

【 0 0 2 8 】

本開示に係る高強度鋼線用線材は、任意元素として、Cr、Mo、Ti、Nb、V、Sn、B、Ca、Mg、Zr、REMの各元素の1種又は2種以上を含有してもよい。これらの任意元素を含有する場合、質量%で、Cr : 0 ~ 0.30%、Mo : 0 ~ 0.30%、Ti : 0 ~ 0.100%、Nb : 0 ~ 0.100%、V : 0 ~ 0.20%、Sn : 0 ~

10

20

30

40

50

0.30%、B：0～0.0050%、Ca：0～0.0050%、Mg：0～0.0050%、Zr：0～0.100%、及びREM：0～0.0200%の1種又は2種以上を含有してもよい。

【0029】

Cr：0～0.30%

Crは線材の焼き入れ性を高め、パーライト変態後の線材の引張強さを高める効果があり、この効果を得たい場合に含有してもよい。この効果を得るためには、Cr量は0.01%以上含有させることが好ましい。上記効果を確実に得るために、Cr量は0.05%以上であることが好ましく、0.10%以上であることが一層好ましい。しかし、Cr量が0.30%を超えると、マルテンサイト又はベイナイト組織が生じ易くなって、伸線加工性及び伸線加工後の高強度鋼線の耐水素脆化特性を劣化させる。そのため、Crを含有させる場合、Cr量は0.30%以下とし、0.25%以下とすることが好ましく、0.20%以下とすることがなお好ましい。

10

【0030】

Mo：0～0.30%

Moは線材の焼き入れ性を高め、パーライト変態後の線材の引張強さを高める効果があり、この効果を得たい場合に含有してもよい。この効果を得るためには、Mo量は0.01%以上であることが好ましい。上記効果を確実に得るために、Mo量は0.03%以上であることが好ましく、0.05%以上であることが一層好ましい。しかし、Mo量を0.30%を超えて含有させると、マルテンサイト又はベイナイト組織が生じ易くなって、伸線加工性及び伸線加工後の高強度鋼線の耐水素脆化特性を劣化させる。そのため、Moを含有させる場合、Mo量は0.30%以下とし、0.20%以下とすることが好ましく、0.10%以下とすることがなお好ましい。

20

【0031】

Ti：0～0.100%

TiはC又はNと結合して炭化物又は炭窒化物を析出し、結晶粒を細粒化して線材の延性を向上させる効果があり、伸線加工後の耐水素脆化特性及び捻回特性を向上させる効果がある。また、Tiの含有によって固溶Nを低減させることができるため、ひずみ時効を抑制し、伸線加工後の鋼線の捻回特性を向上する効果もある。Ti含有による上記効果は、本開示に係る高強度鋼線用線材を得るのに有効であることからTiは積極的に含有してよい。これら効果を得るためには、Tiは0.002%以上含有させればよい。上記効果を確実に得るために、Ti量は0.005%以上であることが好ましく、0.008%以上であることが一層好ましい。しかし、Tiを0.10%を超えて含有させても、上記効果が飽和するだけではなく、線材の強度が高くなり過ぎ、かえって伸線加工後の鋼線の耐水素脆化特性及び捻回特性が劣化する。そのため、Tiを含有させる場合、Ti量は0.10%以下とし、0.050%以下とすることが好ましく、0.025%以下とすることがなお好ましい。

30

【0032】

Nb：0～0.100%

Nbは炭化物又は炭窒化物を析出し、結晶粒を細粒化して線材の延性を向上させる効果があり、伸線加工後の耐水素脆化特性及び捻回特性を向上させる効果がある。この効果を得るためには、Nbは0.002%以上含有させることが好ましい。上記効果を確実に得るために、Nb量は0.005%以上であることが好ましく、0.008%以上であることが一層好ましい。しかし、Nbを0.100%を超えて含有させても、上記効果が飽和するだけではなく、分塊圧延によって鋼片を得る段階又は線材を圧延する段階で表面疵が発生しやすくなり、製造性が悪化する。そのため、Nbを含有させる場合、Nb量は0.100%以下とし、0.050%以下とすることが好ましく、0.025%以下とすることがなお好ましい。

40

【0033】

V：0～0.20%

50

Vは炭化物VCを析出して、引張強さを高めるとともに、耐水素脆化特性を向上させる効果があり、この効果を得たい場合に含有してもよい。この効果を得るためには、Vは0.01%以上含有させることが好ましい。上記効果を確実に得るために、V量は0.03%以上であることが好ましく、0.05%以上であることが一層好ましい。しかし、Vを0.20%を超えて含有させても、上記効果が飽和するだけでなく、伸線加工後の鋼線の耐水素脆化特性及び捻回特性が劣化する。そのため、Vを含有させる場合、V量は0.20%以下とし、0.15%以下とすることが好ましく、0.10%以下とすることがなお好ましい。

【0034】

Sn：0～0.30%

Snはパーライト組織に固溶して、耐食性及び耐水素脆化特性を高める効果があり、この効果を得たい場合に含有してもよい。この効果を得るためには、Snは0.01%以上含有させることが好ましい。上記効果を確実に得るために、Sn量は0.03%以上であることが好ましく、0.05%以上であることが一層好ましい。しかし、Snを0.30%を超えて含有させても、上記効果が飽和するだけでなく、線材を脆化させるため、圧延時に表面疵が発生し、圧延材の製造性が悪くなる。そのため、Snを含有させる場合には、Sn量は0.01～0.30%とすることが好ましい。そのため、Snを含有させる場合、Sn量は0.30%以下とし、0.20%以下とすることが好ましく、0.15%以下とすることがなお好ましい。

【0035】

B：0～0.0050%

Bは等温変態後のパーライト組織分率を高め、伸線加工後の高強度鋼線の捻回特性を改善する効果があり、この効果を得たい場合に含有してもよい。この効果を得るためには、Bは0.0002%以上含有させることが好ましい。上記効果を確実に得るために、B量は0.0005%以上であることが好ましく、0.0007%以上であることが一層好ましい。しかし、Bを0.0050%を超えて含有させても、上記効果が飽和するだけでなく、線材を脆化させてしまい、圧延時に表面疵が発生し、製造性が悪くなるとともに、伸線加工後の高強度鋼線の捻回特性をかえって劣化させる。そのため、Bを含有させる場合、B量は0.0050%以下とし、0.0030%以下とすることが好ましく、0.0020%以下とすることがなお好ましい。

【0036】

Ca：0～0.0050%

Caは、MnS中に固溶し、MnSを微細に分散する効果があり、耐水素脆化特性を改善する効果があるため、効果を得たい場合に含有してもよい。Caは含有しなくてもよいが(Ca：0%)、Caによって耐水素脆化特性を改善する効果を得るためには、Caは0.0002%以上含有させればよく、より高い効果を得たい場合には、0.0005%以上を含有させればよい。しかし、Ca量が0.0050%を超えて含有しても、その効果は飽和するし、鋼中の酸素と反応して生成する酸化物が粗大となり、伸線加工後の捻回特性の低下を招く。したがって、含有させる場合の適正なCa量は、0.0050%以下である。耐水素脆化特性及び捻回特性を向上させる観点から、Ca量は0.0030%以下であることが好ましく、0.0025%以下であれば一層好ましい。

【0037】

Mg：0～0.0050%

Mgは、MnS中に固溶し、MnSを微細に分散する効果があり、耐水素脆化特性を改善する効果があるため、効果を得たい場合に含有してもよい。Mgは含有しなくてもよいが(Mg：0%)、Mgによって耐水素脆化特性を改善する効果を得るためには、Mgは0.0002%以上含有させればよく、より高い効果を得たい場合には、0.0005%以上を含有させればよい。しかし、Mg量が0.0050%を超えて含有しても、その効果は飽和するし、鋼中の酸素と反応して生成する酸化物が粗大となり、伸線加工後の捻回特性の低下を招く。したがって、含有させる場合の適正なMg量は、0.0050%以下

10

20

30

40

50

である。耐水素脆化特性及び捻回特性を向上させる観点から、Mg量は0.0030%以下であることが好ましく、0.0025%以下であれば一層好ましい。

【0038】

Zr: 0 ~ 0.100%

Zrは、Oと反応して酸化物を生成し、微量に含有すれば酸化物を微細に分散し、伸線加工後の耐水素脆化特性及び捻回特性を抑制する効果があり、その効果を得たい場合に含有してもよい。この効果を得るためには、Zrは0.0002%以上含有させればよく、より高い効果を得たい場合には、0.001%以上を含有させればよい。しかし、Zrの含有量が0.10%を超えて含有させた場合、その効果は飽和するし、粗大な窒化物又は硫化物を生成するため、かえって伸線加工後の耐水素脆化特性及び捻回特性の低下を招く。したがって、含有させる場合のZrの含有量は、0.100%以下である。伸線加工後の耐水素脆化特性及び捻回特性に悪影響を与える介在物を低減させる観点から、Zrの含有量は0.080%以下であることが好ましく、0.050%以下であれば一層好ましい。

10

【0039】

REM: 0 ~ 0.0200%

REMは希土類元素の総称であり、REMの含有量は希土類元素の合計含有量である。REMはCa及びMgと同じようにMnS中に固溶し、MnSを微細に分散する効果がある。MnSを微細に分散することで、耐水素脆化特性を改善することができるため、含有してもよい。REMは含有しなくてもよいが(REM: 0%)、REMによって耐水素脆化特性を改善する効果を得るためには、REMは0.0002%以上含有させればよく、より高い効果を得たい場合には、0.0005%以上を含有させればよい。しかし、REM量が0.020%を超えて含有しても、その効果は飽和するし、鋼中の酸素と反応して生成する酸化物が粗大となり、かえって伸線加工後の捻回特性の低下を招く。したがって、含有させる場合の適正なREM量は、0.0200%以下である。耐水素脆化特性及び捻回特性を向上させる観点から、REM量は0.0100%以下であることが好ましく、0.0050%以下であれば一層好ましい。

20

【0040】

残部: Fe及び不純物

残部はFe及び不純物である。「不純物」とは、意図せずに鋼材中に含有される成分であり、鉄鋼材料を工業的に製造する際に、原料としての鉱石、スクラップ、又は製造環境などから混入するものを指す。不純物としては、P、S、Nのほか、上記任意元素のうち意図せずに鋼材中に含有される元素、さらに、O(酸素)などが挙げられる。例えば、O(酸素)は、多量に含まれると鋼中で生成する酸化物が粗大となり、伸線加工後の捻回特性の低下を招くことから0.0030%以下であることが好ましく、さらには0.0025%以下であることが望ましい。

30

【0041】

本開示に係る高強度鋼線用線材は、上記範囲で各成分を含有するとともに、下記式<1>で表されるY1が1.70 <math>Y_1 < 4.50</math>、式<2>で表されるY2がY2 < 1.81を満足する。

$$Y_1 = 3 \times [Cr] + 5 \times [Mn] + [Cu] + [Ni] \quad \dots < 1 >$$

40

$$Y_2 = [C] + [Si] / 10 + A \quad \dots < 2 >$$

$$a = 350 \times ([N] - 0.29 \times [Ti]) \quad \dots < 4 >$$

ここで、上記式における[C]、[Si]、[Mn]、[Cr]、[Cu]、[Ni]、[N]、[Ti]は、それぞれの元素の質量%での含有量を表し、式<2>におけるAは上記式<4>で表されるaに関連するパラメータであり、式<4>によって算出される値がa > 0の場合はA = aであり、a < 0の場合はA = 0とする。

なお、本開示に係る線材においてCr及びTiは任意元素であり、これらの任意元素が本開示に係る線材に実質的に含まれない場合(無添加、すなわち、不純物レベルである場合)は、その元素の含有量は「0」としてY1、Y2、aをそれぞれ算出する。

【0042】

50

Y 1 は、主に高強度鋼線用線材の焼き入れ性に関わり、線材の引張強さを高め、耐水素脆化特性を向上させるために必要なパラメータである。また、Y 1 を 1 . 7 0 Y 1 4 . 5 0 の範囲とすることで高強度鋼線用線材の耐水素脆化特性を向上させることができ、伸線加工後の高強度鋼線の耐水素脆化特性を向上させることができる。

【 0 0 4 3 】

高強度鋼線は、化学成分及び金属組織を適切に制御した線材を伸線加工することによって得ることができる。伸線加工前に、線材を再加熱してパテンティング処理を行ったり、圧延後に直接、塩浴炉に浸漬して等温変態処理を行うこと等により、中心部まで均一性が高い微細パーライト組織とすることが好ましい。Y 1 は、線材の焼き入れ性を制御し、表面から中心部まで均一性が高い微細なパーライト組織として必要な強度を与えると共に、線材の耐水素脆化特性を向上させるのに必要なパラメータであり、1 . 7 0 以上 4 . 5 0 以下でなければならない。Y 1 が 1 . 7 0 未満の場合、耐水素脆化特性が低下し、伸線加工後の鋼線においても、十分な耐水素脆化特性を得ることができない。上記効果を実に得るために、Y 1 は 2 . 0 0 以上であることが好ましく、2 . 5 0 以上であることがなお好ましい。一方、Y 1 が 4 . 5 0 を超える場合、パテンティング処理又は圧延後の等温変態処理後に、ベイナイト及びマルテンサイトなどのパーライト組織以外の非パーライト組織が生成し、かえって線材の耐水素脆化特性を低下させる。Y 1 は 4 . 5 0 以下とし、4 . 2 2 以下であることが好ましい。線材の強度を確保し、より安定的に耐水素脆化特性を確保したい場合は、Y 1 は 4 . 0 0 以下とすればよく、3 . 7 5 以下であれば、なお好ましい。

【 0 0 4 4 】

Y 2 は、主に伸線加工後の鋼線の捻回特性に影響を及ぼすパラメータである。本開示に係る高強度鋼線用線材は、耐食性及び耐水素脆化特性を向上させるため、Cu 及び Ni を含有しており、線材の引張強さが比較的高いため、伸線加工でのダイスとの摩擦熱等による温度上昇によって、ひずみ時効の影響を受けて脆化しやすく、伸線加工後の鋼線の捻回特性が低下しやすい。特に、伸線加工によるひずみ時効には、C、Si、鋼中に固溶した N が大きく影響するため、Y 2 は下記式 < 2 > の通りに表すことができる。

$$Y 2 = [C] + [S i] / 1 0 + A \quad \dots < 2 >$$

$$a = 3 5 0 \times ([N] - 0 . 2 9 \times [T i]) \quad \dots < 4 >$$

ここで、上記式における [C]、[S i]、[N]、[T i] は、それぞれの元素の質量 % での含有量を表し、A は式 < 4 > で表される a に関連するパラメータである。式 < 4 > の右辺は固溶 N の影響を表しており、右辺の値が負になる場合は、固溶 N によるひずみ時効に及ぼす影響がなくなるので、A = 0 となる。伸線加工におけるひずみ時効の影響を最小限に抑えるため、Y 2 の値は 1 . 8 1 未満とする。Y 2 が 1 . 8 1 以上の場合、伸線加工によるひずみ時効の影響により、伸線加工後の捻回特性が低下する。伸線加工後の捻回特性を向上させるために、Y 2 の値は 1 . 7 0 未満であることが好ましく、1 . 5 0 未満であればなお好ましい。Y 2 の値は 1 . 8 1 未満であればよく、特に下限値は限定されないが、伸線加工後の引張強さを確保する観点から、0 . 5 0 以上であることが好ましく、0 . 8 0 以上であれば、さらに好ましい。

【 0 0 4 5 】

< 金属組織 >

本開示に係る高強度鋼線用線材の金属組織は、フェライトとセメンタイトの層状組織であるパーライト組織が 9 0 % 以上を占める。これは線材をパテンティング処理する段階又は等温変態処理する段階で、化学成分、変態前の粒径、又は冷却速度の変化によってフェライト、ベイナイト、又はマルテンサイトが生成する場合があり、これらの組織は、線材の長手方向における表層硬度のばらつきを増大させ、線材の耐水素脆化特性を低下させる。線材の長手方向における表層硬度のばらつきが大きい場合、伸線加工後の鋼線の耐水素脆化特性及び捻回特性が低下する。本開示に係る高強度鋼線用線材の金属組織は、パーライト組織が 9 2 % 以上であることが好ましく、9 5 % 以上であることがより好ましい。

なお、パーライト組織以外の残部組織（非パーライト組織）としては、マルテンサイト

、ベイナイト、初析フェライト、初析セメントナイトなどが挙げられる。非パーライト組織としては、伸線加工後の鋼線の捻回特性及び耐水素脆化特性を極端に低下させない点から初析フェライト及び疑似パーライトが好ましく、疑似パーライトがより好ましい。なお、パーライト組織はラメラ構造を保つパーライトを指し、ラメラ構造が崩れた疑似パーライトは非パーライト組織として本開示では取り扱う。

【0046】

<特性>

(表層硬度のばらつき)

線材の長手方向に生じる化学成分又は金属組織のばらつきに起因する線材表層の硬度ばらつきは、耐水素脆化特性にも影響を及ぼし、伸線加工後の鋼線の特長にも大きな影響を及ぼす。特に、耐水素脆化特性は線材表層の硬度ばらつきが影響し、線材表層に硬度が高い部分が存在すると、水素脆化の起点となるため、耐水素脆化特性が低下する。

10

本開示に係る線材は、任意の等間隔で8個のサンプルを採取し、各サンプルの軸方向断面(中心軸を含む長手方向に平行な断面)において線材の表面から深さ50µmの位置(以下、「50µm深さ」と記す場合がある。)で測定されるビッカース硬さ Hv_{si} の最大値 Hv_{simax} と平均値 Hv_{siave} との関係が下記(4)を満たすようにする。

$$(4) \quad Hv_{simax} - Hv_{siave} \leq 50$$

【0047】

なお、本開示において線材の「表層」とは、線材の表面(外周面)から深さ100µmまでの領域であり、表層の中間地点の50µm深さで硬度測定を行う。

20

ビッカース硬さを測定するためのサンプルは、測定対象となる線材の長さに応じて任意の等間隔で採取する。線材は、通常、リング状に巻かれた状態で製造されるため、1リングに相当する長さ以上の線材であれば、1リングに相当する長さから等間隔で8個のサンプルを採取して各サンプルのビッカース硬さを測定し、各サンプルのビッカース硬さの平均値と最大値を求めることが好ましい。具体的には、線材の長手方向から600mmの間隔をあけ、25mm長さで採取した8個の各サンプル si (i は1~8の整数)について、各サンプルで測定される、軸方向断面(中心軸を含む長手方向に平行な断面)の線材の表面から深さ50µmの位置におけるビッカース硬さの各サンプル内の平均値をそれぞれ Hv_{si} 、8個の Hv_{si} (i は1~8の整数)の最大値を Hv_{simax} としたとき、式<3>で表されるY3の値を50以下にする。

30

【0048】

【数1】

$$Y3 = Hv_{simax} - Hv_{siave} \leq 50$$

【0049】

式<3>の右辺は、8個のサンプルで得られた Hv_{si} の最大値 Hv_{simax} と8個のサンプルで得られた Hv_{si} の下記式($n=8$)で算出される平均値 Hv_{siave} (本開示において「全体平均ビッカース硬さ」と称する場合がある。)との差を示している。

【0050】

【数2】

$$Hv_{siave} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Hv_{si}$$

40

【0051】

各サンプルの Hv_{si} は、線材から軸方向断面を樹脂埋めして鏡面研磨したサンプルを用い、自動ビッカース硬度計によって軸方向断面における線材の表面から深さ50µmの位置を0.98Nの荷重で1つのサンプルにつき200µmのピッチで50点(すなわち、10mm長さ)測定して求めればよい。

こうして求めた8個の Hv_{si} のうち、最大値である Hv_{simax} は、600mmの間

50

隔をあけて採取した25mm長さの8個のサンプルの中で、軸方向断面における線材の表面から深さ50μmの位置の硬度が最も高いサンプルのピッカース硬度であり、言い換えれば線材の長手方向における表層硬度のばらつきの中で、最も高い平均硬度が測定された部位のピッカース硬度を意味している。線材の水素脆化は、線材表層の硬度ばらつきが影響し、線材表層の硬度が局部的に高い部分が破壊の起点となって、水素脆化による破断が発生する。8個のサンプルで測定された $Hv_{si\max}$ が他のサンプルも含めた50μm深さ位置の全体平均ピッカース硬さよりも、50を超えて高い場合、その部位において水素脆化による破断可能性が高まり、線材の耐水素脆化特性が低下する。さらに線材を伸線加工することで得られる鋼線では、長手方向における表層硬度のばらつきはさらに大きくなり、鋼線における耐水素脆化特性の低下はより顕著になる。Y3の値が50以下であれば、線材の耐水素脆化特性を低下させることが抑制され、さらに伸線加工によって得られる鋼線の耐水素脆化特性の低下も抑制される。Y3の値は、耐水素脆化特性を向上させる観点から小さいほど好ましく、30以下であることが好ましく、さらに25以下であればなお好ましい。

【0052】

線材の長手方向から600mmの間隔をあけて採取される25mm長さのサンプル数は8である。すなわち、8個のサンプルについて、軸方向断面における線材の表面から深さ50μmの位置におけるピッカース硬さの各サンプル内の平均値 Hv_{si} を求めれば、線材表層の硬度ばらつきを知ることができる。線材表層の硬度ばらつきは、圧延して捲き取られた線材コイルの少なくとも1リングに相当する範囲で表層硬度のばらつきを調査することが好ましい。これは、熱間圧延後にオーステナイト域で捲き取られた線材リングは前後のリングと一部が重なった状態でコンベア上を搬送されるため、一つのリングの中で接触している部位、あるいは距離が近い部位（重なり部）と、前後のリングと離れている部位（非重なり部）が存在している。このような理由により、捲き取り後にコイルの1リング内で冷却速度の違いが生じるため、重なり部と非重なり部のパーライト変態温度に差が生じる。これによって重なり部と非重なり部のパーライトメラ間隔に差が生じ、結果として大きな表層硬度のばらつきが生じる。一方、線材コイル内の各リングは基本的に同条件（一定の条件）で捲き取られているので、各リング間のばらつきは小さい。そのため、600mmの間隔をあけて、8個のサンプルを採取すれば、線材の長手方向の略4200mmの範囲で表層硬度のばらつきを検証したこととなり、線材コイルの1リング以上に相当する長さで表層硬度のばらつきを検証できる。上述の通り各リング間のバラツキは小さいので、上記のサンプル採取法によって線材コイル内のバラツキを検証できる。

【0053】

なお、本開示に係る線材の長さ及び製造時の1リングの長さは特に限定されず、線材からサンプルを採取する間隔は600mmに限定されない。本開示に係る線材は、長さに関わらず、また、ピッカース硬さを測定するためのサンプルを採取する間隔に関わらず、 $Hv_{si\max} - Hv_{si\ave} \leq 50$ を満たすことで、特性を満足することができる。なお、実際の線材の製造においては、線材の長さ方向にバラツキが生じる。このため製造方法を適宜調整すれば、線材の長さ方向にバラツキを低減した線材が得られる。1リングの長さが約4200mmの線材であれば、ピッカース硬さ試験を600mm間隔で行うことで、線材コイルの長さ方向に特性を確認することができる。また、1リングの長さが4200mmでない場合は、1リングに相当する長さから等間隔で8個のサンプルを採取して各サンプルのピッカース硬さ Hv_{si} を測定し、最大値 $Hv_{si\max}$ 最大値と平均値 $Hv_{si\ave}$ の差を算出することで線材コイルの長さ方向のピッカース硬さを確認することができる。また、線材の長さが1リングに満たない場合は、全体から等間隔で8個のサンプルを採取して各サンプルのピッカース硬さ Hv_{si} を測定し、最大値 $Hv_{si\max}$ と平均値 $Hv_{si\ave}$ の差を算出することが好ましい。

【0054】

（引張強さ）

線材及び鋼線の強度が高ければ高いほど、腐食の進行又は水素脆化による破断を発生し

10

20

30

40

50

やすいが、本開示に係る高強度鋼線用線材を用いて鋼線を製造した場合、引張強さが1700MPaを超える場合であっても、耐食性及び耐水素脆化特性に優れるため、鋼線又は撚り線後の製品を腐食環境で使用した場合にも破断が発生しにくくなる。また、線材の引張強さが高くない場合でも伸線加工での加工減面率を大きくすることで、引張強さが1700MPaを超える高強度鋼線を得ることができるが、伸線加工の加工減面率を大きくし過ぎた場合、捻回特性が低下するし、耐水素脆化特性も低下する。そのため、伸線加工前の線材で引張強さを1000MPa以上とし、伸線加工の加工減面率を過剰に大きくすることなく、高強度鋼線を製造することが好ましい。線材の段階で微細パーライト組織として1000MPa以上の引張強さがあれば、伸線加工後の鋼線における引張強さ及び耐水素脆化特性の低下が抑制される。

10

鋼線における捻回特性及び耐水素脆化特性を向上させるため、線材の引張強さが1200MPa以上であればより好ましく、1300MPa以上であれば、さらに好ましい。

一方、線材の引張強さが1650MPaを超える場合は、線材の延性が低下し、伸線加工後の鋼線の捻回特性及び耐水素脆化特性がかえって低下する可能性がある。この観点から、線材の引張強さは1600MPa以下であることが好ましく、1550MPa以下であれば、さらに好ましい。

【0055】

本開示に係る高強度鋼線用線材を用いて伸線加工することで、1700MPaを超える高い強度でも、耐食性と耐水素脆化特性に優れた高強度鋼線を得ることができる。これは、線材を製造する段階で化学成分の偏析、金属組織、及び線材表層の硬度分布を制御し、耐食性と耐水素脆化特性を向上させているためである。

20

本開示に係る線材は、優れた耐食性と耐水素脆化特性を有し、伸線加工後の鋼線における捻回特性にも優れることから、伸線加工によって強度を高め、高強度ロープ用鋼線、橋梁ケーブル用鋼線、PC鋼線等の高強度鋼線として利用可能である。

【0056】

<測定方法>

線材の金属組織、線材及び鋼線の引張強さ、線材の表層硬度のばらつき、線材の耐食性、線材及び鋼線の耐水素脆化特性、並びに鋼線の捻回特性はそれぞれ以下の方法で調査した。

【0057】

30

1 線材の金属組織：

線材の金属組織の面積率は、線材の長手方向に平行であり、中心軸を通る断面を樹脂埋めしたマイクロサンプルを鏡面研磨した後、ピクラル溶液を用いて金属組織を現出させた。次に、線材の直径をDとしたとき、線材表面から0.25Dの深さの位置に相当する部位の金属組織を走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて、1000倍の倍率で10箇所の組織写真を撮影した。撮影された各写真についてセメントイトとフェライトの層状組織と判断される、パーライト組織に相当する部分を塗りつぶし、画像解析によって面積値を測定してパーライト面積率を算出し、10箇所の測定値を平均してパーライト面積率を求めた。なお、パーライト組織以外の組織は、部分的に生成したマルテンサイト、ベイナイト、及び初析フェライトなど、セメントイトとフェライトの層状組織であるパーライト組織として判別できない非パーライト組織である。

40

【0058】

2 線材及び鋼線の引張強さ：

引張試験は、線材及び伸線加工後の鋼線の長手方向に250~300mmの間隔をあけて採取した、400mm長さの試験片を用い、JIS Z 2241:2011に準拠して行った。試験片が破断に至るまでの最大試験力を引張試験前に測定した直径から求められる断面積で除し、引張強さを求めた。試験は8本の試験片を用いて測定し、その平均値を線材及び鋼線の引張強さとした。

【0059】

3 線材の表層硬度のばらつき：

50

表層硬度の測定は、線材の長手方向に600mmの間隔（等間隔の一例）をあけて採取した、25mm長さの試験片を用いた。試験片は、8個（ $n = 8$ ）のサンプルを採取し、線材の長さ方向に平行な断面を樹脂埋めした後、鏡面研磨したマイクロサンプルを用いた。各マイクロサンプルに対し、自動ビッカース硬度計を用いてJIS Z 2244:2009に準拠して、硬度測定を行った。硬度測定の実験荷重は0.98Nであり、各マイクロサンプルにおける線材表面から50 μ m深さの位置におけるビッカース硬度を50箇所測定して平均値を算出し、各試験片の Hv_{si} （ $i = 1, 2, \dots, 8$ ）を求めた。さらに、各マイクロサンプルで測定された Hv_{si} の最大値 Hv_{simax} を求め、併せて Hv_{si} の全体平均ビッカース硬度 Hv_{siave} を算出し、下記式<3>で表されるY3を算出した。

【0060】

【数3】

$$Y3 = Hv_{simax} - Hv_{siave} \quad \dots < 3 >$$

10

【0061】

4 線材の耐食性：

線材の中心部軸方向から長さ100mmで切断した試験片の外周部を均等に削って直径7mmに機械加工した7 \times 100mmLの試験片を各2本ずつ切り出した。腐食試験は、塩水噴霧が可能な乾湿繰り返し腐食試験機を用い、(1)塩水噴霧（5%NaCl噴霧、35 $\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、2hr）、(2)乾燥（湿度20%、60 $\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、4hr）、(3)湿潤（湿度95%、50 $\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、2hr）を1サイクルとする試験を行った。試験期間は12週間とし、各2本の試験片の腐食による体積減少率を求め、その平均値を各線材の耐食性の評価指標とした。腐食による体積減少率（%）は下記式によって求めた。

20

腐食体積減少率（%）= $100 \times (\text{腐食試験前の試験片体積} - \text{腐食試験後の試験片体積}) / \text{腐食試験前の試験片体積}$

腐食試験前の試験片体積は、試験前に、位置を変えて3点測定した試験片の直径及び試験片長さの平均値を求め、腐食試験前の試験片体積を算出した。腐食試験後の試験片体積は、腐食試験後にサンドブラストを使って試験片表面の腐食生成物を完全に除去した後、位置を変えて3点測定した試験片の直径及び試験片長さの平均値を求め、腐食試験後の試験片体積を算出した。

【0062】

5 線材及び鋼線の耐水素脆化特性：

線材及び伸線加工後の鋼線の耐水素脆化特性は、国際プレストレストコンクリート連盟（Federation Internationale de la Precontrainte）で規格化されたFIP試験によって評価した。線材あるいは伸線加工後の鋼線を酸洗処理して表面のスケール又は潤滑皮膜を除去した後、矯正加工を行って真直性を確保し、700mmL長さに切断したサンプルを試験片として用いた。次いで試験片の中心部を含む200mm長さが浸漬できる溶液セルを用い、50 $\text{ }^{\circ}\text{C}$ のチオシアン酸アンモニウム（ NH_4SCN ）水溶液に試験片を浸漬させた状態とし、引張試験から得た破断荷重の70%の一定荷重を試験片に負荷し、破断までの時間を測定した。破断時間の上限は200時間とした。試験は各線材、あるいは各鋼線から採取した6本の試験片に対して行い、破断時間の平均値を算出し、線材及び鋼線の耐水素脆化特性を評価した。

30

40

【0063】

6 鋼線の捻回特性：

伸線加工後の鋼線の捻回特性は、鋼線の直径の100倍の長さで捻回試験ができるように鋼線を切断し、矯正加工を行った後、1分間に15回転の速さで断線が発生するまで、鋼線を捻回する捻回試験を行った。デラミネーションの発生は、捻回時のトルク曲線を測定し、断線が発生する前にトルクが20%以上減少した場合にデラミネーションが発生したと判断した。捻回試験は各鋼線について5本ずつ行い、1本もデラミネーションが発生しなかった場合を捻回特性が良好であると判断した。

【0064】

50

< 線材の製造方法 >

本開示に係る高強度鋼線用線材は、本開示の要件を満たせば、線材の製造方法によらず、本開示の鋼線の効果は得ることができるが、例えば、下記に示す製造方法によって、線材を製造し、それを素材として高強度鋼線を製造すればよい。なお、下記の製造プロセスは一例であり、下記以外のプロセスによって化学成分及びその他の要件が本開示の範囲である線材が得られた場合であっても、その線材は本開示に係る線材に含まれる。

【 0 0 6 5 】

本開示に係る高強度鋼線用線材は、鋼を溶製する段階での化学成分の調整並びに、鋳片の加熱条件及び圧延時の加熱温度など製造条件をコントロールし、線材の長手方向に生じる化学成分の偏析を低減したり、均一性が高いパーライト組織に制御することが好ましい。 10

具体的には、C、Si、Mn、Cu、Ni、Al等の化学成分を調整し、転炉又は電気炉等によって溶製、鋳造された鋼塊又は鋳片は、分塊圧延の工程を経て、製品圧延用素材となる鋼片とする。製品圧延前、すなわち分塊圧延の加熱時か、あるいはその前の鋼塊又は鋳片の段階で、1260 以上で12hr以上の加熱処理をする。その後、鋼片を再加熱して熱間で製品圧延し、所定の径の線材として最終的に仕上げる。

このように線材へ製品圧延する前の段階で高温かつ長時間の加熱処理を加えることで、化学成分の偏析を抑えることができるため、製品圧延後の線材の長手方向における表層硬度のばらつきを抑えることができる。また、このように、通常の製造条件では行わない高温・長時間での加熱処理及び、溶鋼から鋳片又は鋼塊へ凝固させるときの冷却速度を制御するなど、化学成分の偏析を低減するための工程を加えることで、圧延後の線材の長手方向における硬度ばらつきを低減させることが可能となる。 20

【 0 0 6 6 】

次いで、分塊圧延によって得られた鋼片を再加熱し、1000 以上の加熱を行う。この際の加熱は、オーステナイト粒の粗大化と混粒化を抑制するために1150 以下、好ましくは1130 以下とすればよい。また、加熱温度到達後の保持時間は、オーステナイト粒の混粒化を抑制するために、90分未満とするのが好ましい。

【 0 0 6 7 】

前記条件で加熱した鋼片を粗圧延に次いで、仕上げ圧延を行い、直径が5.0～16.0mmの線材を得る。この際、仕上げ圧延の温度は850～950 の範囲内で調整する。850 を下回ればオーステナイト粒が微細化し過ぎてパーライト変態が不均一となり、950 を超えればその後の冷却過程でオーステナイト粒の制御が難しくなり、線材表層の硬度ばらつきが大きくなる。その後、熱間圧延後の鋼材を、800 を下回らない温度で15秒間以上保持し、オーステナイト粒を調整する。次いで、500～580 の温度で保持した溶融ソルトに直接浸漬を行ってパーライト組織に等温変態させた後、冷却すればよい。あるいは、熱延鋼材を衝風冷却により室温程度まで冷却した後、A₃点以上のオーステナイト領域の温度での加熱を行い、500～600 の温度で保持した溶融鉛に浸漬してパーライト組織に等温変態させた後、冷却してもよい。 30

【 0 0 6 8 】

< 鋼線の製造方法 >

一例として上述のプロセスによって得た線材を用いて、伸線加工を行い、必要な径の鋼線とすればよい。伸線加工の加工減面率は、必要とされる鋼線の直径と強度に応じて決定すればよいが、過剰に伸線加工の加工減面率を大きくし過ぎると、伸線加工後の鋼線の捻回特性及び耐水素脆化特性が低下してしまう。伸線加工の加工減面率は、70～92%とするのがよい。加工減面率が70%未満では、所要の引張強さが得られ難い。一方、加工減面率が92%を超えると、鋼線の捻回特性及び耐水素脆化特性が低下し易い。伸線加工の方法については特に限定されないが、鋼線表層の硬度ばらつきを低下するために、伸線加工後に鋼線を水冷するなど、伸線加工中の加工発熱による鋼線のひずみ時効を抑制する方法とするのが好ましい。 40

また、必要に応じて伸線加工後に、溶融亜鉛めっき、ブルーイング、又はヒートストレッチング処理など鋼線を加熱する工程を実施してもよい。 50

【実施例】

【0069】

以下、本開示に係る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、本開示に係る線材及び鋼線を制限するものではない。

【0070】

具体的には、表1、表2に示す化学成分の鋼を溶製し、以下の方法で線材及び鋼線を作製した。なお、表1、表2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。また、表2～表5において下線を付した値は、本開示の範囲外である、又は前述した製造方法（製造条件）を満たさないことを意味する。

10

【0071】

【表1】

鋼No.	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cu	Ni	Cr	Ti	Cu/Ni	Y1	Y2	A
A0	0.82	0.22	0.70	0.004	0.005	0.031	0.0027	0.25	0.15	-	-	1.67	3.90	1.79	0.95
A1	0.82	0.21	0.69	0.004	0.005	0.030	0.0026	0.25	0.15	-	-	1.67	3.85	1.75	0.91
B0	0.87	0.85	0.41	0.005	0.005	0.025	0.0038	0.25	0.15	0.03	0.015	1.67	2.54	0.96	0.00
B1	0.87	0.84	0.40	0.004	0.005	0.027	0.0036	0.25	0.15	0.03	0.015	1.67	2.49	0.95	0.00

【0072】

20

30

40

50

【表 2】

鋼No.	区分	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	Nb	V	Sn	B	Ca	Mg	Zr	REM	Cu/Ni	Y1	Y2	A
C1	美加例	0.61	0.25	0.31	0.005	0.004	0.048	0.0029	0.51	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.25	2.18	1.65	1.02
C2	美加例	0.62	0.25	0.83	0.006	0.003	0.032	0.0038	0.17	0.06	-	-	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-	2.83	4.38	1.67	1.03
C3	美加例	0.65	1.68	0.35	0.008	0.004	0.040	0.0026	0.60	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	2.47	1.73	0.91
C4	美加例	0.82	0.20	0.75	0.005	0.005	0.015	0.0025	0.25	0.16	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.56	4.22	1.72	0.88
C5	美加例	0.85	0.15	0.35	0.009	0.012	0.028	0.0035	0.40	0.16	0.25	-	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-	2.50	3.06	1.79	0.92
C6	美加例	0.87	0.21	0.42	0.004	0.008	0.039	0.0025	0.25	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.67	2.50	1.77	0.88
C7	美加例	0.92	0.25	0.75	0.007	0.004	0.031	0.0032	0.25	0.20	-	-	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-	1.25	4.20	1.76	0.82
C8	美加例	1.05	0.22	0.31	0.012	0.008	0.059	0.0035	0.16	0.09	-	-	0.006	-	-	-	-	-	-	-	-	1.78	1.80	1.69	0.62
C9	美加例	1.12	0.25	0.45	0.006	0.007	0.034	0.0037	0.21	0.07	-	-	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	2.53	1.43	0.28
C10	美加例	0.87	0.92	0.50	0.008	0.005	0.029	0.0040	0.30	0.16	0.08	-	0.015	-	-	0.0009	-	-	-	-	-	1.88	3.20	0.96	0.00
C11	美加例	0.87	0.95	0.40	0.008	0.005	0.038	0.0045	0.45	0.10	-	-	0.008	-	-	0.0012	-	-	-	-	-	4.50	2.55	1.73	0.76
C12	美加例	0.92	1.05	0.35	0.006	0.004	0.008	0.0059	0.30	0.08	-	-	0.015	-	-	0.0015	-	-	-	-	-	3.75	2.13	1.57	0.54
C13	美加例	0.97	1.21	0.40	0.008	0.006	0.036	0.0038	0.12	0.10	0.06	-	0.019	-	-	0.0008	-	-	-	-	-	1.20	2.40	1.09	0.00
C14	美加例	0.98	1.28	0.35	0.005	0.004	0.025	0.0031	0.25	0.15	0.03	-	0.012	-	-	0.0012	-	-	-	-	-	1.67	2.24	1.11	0.00
C15	美加例	0.71	0.22	0.41	0.006	0.010	0.036	0.0028	0.25	0.20	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.25	2.95	1.71	0.98
C16	美加例	0.82	0.25	0.35	0.008	0.009	0.005	0.0032	0.22	0.18	-	0.05	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	2.75	2.05	1.46	0.61
C17	美加例	0.82	0.23	0.40	0.007	0.005	0.025	0.0026	0.25	0.10	-	-	-	0.015	-	-	-	-	-	-	-	2.50	2.35	1.75	0.91
C18	美加例	0.81	0.25	0.39	0.006	0.004	0.030	0.0038	0.20	0.12	-	-	0.008	-	0.05	-	-	-	-	-	-	1.67	2.27	1.35	0.52
C19	美加例	0.80	0.22	0.38	0.006	0.008	0.045	0.0042	0.34	0.10	-	-	0.010	-	-	0.15	-	-	-	-	-	3.40	2.34	1.28	0.46
C20	美加例	0.80	0.21	0.32	0.006	0.004	0.033	0.0028	0.25	0.15	-	-	-	-	-	-	0.0016	-	-	-	-	1.67	2.00	1.80	0.98
C21	美加例	0.81	0.24	0.36	0.005	0.002	0.028	0.0030	0.28	0.20	-	-	0.015	-	-	-	0.0016	-	-	-	-	1.40	2.28	0.83	0.00
C22	美加例	0.80	0.20	0.38	0.004	0.005	0.046	0.0031	0.21	0.10	-	-	0.045	-	-	-	-	0.0012	-	-	-	2.10	2.21	0.82	0.00
C23	美加例	0.84	0.26	0.51	0.006	0.009	0.035	0.0029	0.35	0.15	-	-	0.024	-	-	-	-	-	0.050	-	-	2.33	3.05	0.87	0.00
C24	美加例	0.82	0.23	0.38	0.004	0.005	0.046	0.0031	0.30	0.16	-	-	0.016	-	-	-	-	-	-	-	0.0039	1.88	2.36	0.84	0.00
D1	比較例	0.82	0.91	0.51	0.006	0.005	0.025	0.0025	0.21	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.70	3.06	1.79	0.88
D2	比較例	0.84	0.21	0.45	0.006	0.005	0.019	0.0027	0.25	0.35	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.71	2.91	1.81	0.95
D3	比較例	0.97	0.19	0.25	0.004	0.006	0.031	0.0036	0.21	0.07	-	-	0.009	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	1.53	1.34	0.35
D4	比較例	0.97	0.91	0.85	0.005	0.008	0.028	0.0042	0.45	0.30	0.10	-	0.012	-	-	-	-	-	-	-	-	1.50	5.30	1.31	0.25
D5	比較例	0.92	0.95	0.75	0.003	0.004	0.028	0.0048	0.35	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.75	4.30	2.70	1.68
D6	比較例	0.86	0.21	0.41	0.005	0.008	0.025	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.05	1.79	0.91
D7	比較例	0.82	0.24	0.40	0.005	0.010	0.035	0.0038	0.08	0.06	0.06	-	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	1.33	2.32	1.67	0.82
D8	比較例	0.88	0.90	0.38	0.007	0.005	0.029	0.0041	-	0.10	0.15	-	0.010	-	-	-	0.0009	-	-	-	-	-	2.45	1.39	0.42
D9	比較例	0.87	0.80	0.45	0.005	0.007	0.032	0.0046	0.80	0.16	-	-	0.008	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	3.21	1.75	0.80
D10	比較例	0.82	0.20	0.65	0.005	0.008	0.036	0.0026	0.21	0.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.30	4.16	1.75	0.91
D11	比較例	0.87	0.89	0.48	0.007	0.006	0.035	0.0041	0.35	-	0.08	-	0.004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.99	1.99	1.03
D12	比較例	0.51	0.21	0.70	0.004	0.007	0.036	0.0028	0.30	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.50	4.00	1.51	0.98
D13	比較例	1.18	0.87	0.45	0.005	0.004	0.030	0.0029	0.25	0.15	-	-	0.009	-	-	-	-	-	-	-	-	1.67	2.65	1.37	0.10
D14	比較例	0.87	1.95	0.60	0.006	0.007	0.029	0.0035	0.30	0.15	-	-	0.012	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00	3.45	1.07	0.01
D15	比較例	0.88	0.20	0.98	0.006	0.005	0.045	0.0040	0.21	0.07	-	-	0.008	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00	5.18	1.49	0.59
D16	比較例	0.82	0.25	0.39	0.025	0.005	0.035	0.0026	0.24	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00	2.31	1.76	0.91
D17	比較例	0.82	0.21	0.35	0.006	0.041	0.030	0.0031	0.30	0.15	-	-	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00	2.20	1.62	0.78
D18	比較例	0.86	0.90	0.37	0.005	0.004	<0.001	0.0030	0.27	0.14	-	-	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-	1.93	2.26	1.70	0.75
D19	比較例	0.82	0.30	0.60	0.009	0.008	0.098	0.0038	0.35	0.30	-	-	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-	1.17	3.65	1.88	1.03
D20	比較例	0.86	0.88	0.45	0.004	0.006	0.030	0.0084	0.35	0.30	-	-	0.012	-	-	-	-	-	-	-	-	1.17	2.90	2.67	1.72
D21	比較例	0.92	0.22	0.48	0.008	0.008	0.026	0.0035	0.34	0.16	-	-	0.120	-	-	-	-	-	-	-	-	2.13	2.90	0.94	0.00
D22	比較例	0.97	1.19	0.51	0.006	0.009	0.032	0.0041	0.35	0.28	0.40	-	0.010	-	-	-	0.0010	-	-	-	-	1.25	4.38	1.51	0.42

10

20

30

40

【0073】

化学成分が同等である鋼を用いて、引張強さ又は長手方向における表層硬度のばらつきが異なる線材を造り分けるため、表3に示す試験No. a0、a1、a0-1~a0-4、試験No. b0、b1、b0-1~b0-4の製造条件によって線材を圧延した。

【0074】

【表 3】

試験No.	鋼No.	実施例区分	線材製造条件				
			鋳片加熱温度 (°C)	鋳片加熱時間 (hr)	線材圧延加熱温度 (°C)	線材圧延加熱時間 (分)	仕上げ圧延温度 (°C)
a0	A0	実施例	1280	24	1105	60	921
a1	A1	比較例	<u>1200</u>	<u>4</u>	1102	60	920
a0-1	A0	比較例	1280	24	<u>1180</u>	60	915
a0-2	A0	比較例	1280	24	1100	<u>180</u>	919
a0-3	A0	比較例	1280	24	1106	60	<u>830</u>
a0-4	A0	比較例	1280	24	1120	60	<u>960</u>
b0	B0	実施例	1280	24	1100	60	900
b1	B1	比較例	<u>1200</u>	<u>4</u>	1100	60	898
b0-1	B0	比較例	1280	24	<u>1185</u>	60	905
b0-2	B0	比較例	1280	24	1107	<u>150</u>	895
b0-3	B0	比較例	1280	24	1107	60	<u>820</u>
b0-4	B0	比較例	1280	24	1107	60	<u>965</u>

【0075】

[線材及び鋼線の製造(1)]

表1に示す化学成分の鋼No. A0、A1、B0、B1を溶製した。鋼No. A0とA1、鋼No. B0とB1はほぼ同等成分であるが、引張強さ又は長手方向における表層硬度のばらつきが異なる線材を造り分けるために、試験No. a0とb0については、それぞれ鋼No. A0とB0の化学成分の鋳片を用いて、鋼片へ分塊圧延を行う前に、鋳片を1280に加熱し、24hr保持する加熱処理を行い、122mm角に分塊圧延した鋼片を圧延用素材とした。

試験No. a1とb1については、それぞれ鋼No. A1とB1の鋳片を用い、鋼片へ分塊圧延を行う前に、1260以上の温度で加熱を行わず、通常条件である1200で4hr保持する加熱を行い、122mm角に分塊圧延した鋼片を圧延用素材とした。次いで、それぞれの鋼片を1100で60分間加熱した後、線材に圧延した。この際、仕上げ圧延温度は表3に示す通りであり、仕上げ圧延後、線材コイルに捲き取った。捲き取った線材コイルは、そのまま550に保持した溶融ソルト浴に直接浸漬して等温変態処理を行った後、300以下まで水冷して線材を得た。

【0076】

試験No. a0-1～a0-4は鋼No. A0の鋳片を、試験No. b0-1～b0-4は鋼No. B0の鋳片をそれぞれ用い、鋼片へ分塊圧延を行う前に、鋳片を1280に加熱し、24hr保持する加熱処理を行い、122mm角に分塊圧延した鋼片を圧延用素材として用いた。同じ成分の鋼であっても、引張強さ又は長手方向の表層硬度ばらつきが異なる線材を造り分けるため、圧延条件を表3に示すように変化させた。具体的には、試験No. a0-1、b0-1は、線材圧延の際の加熱温度を1150以上とし、試験No. a0-2、b0-2は線材圧延の際の加熱の保持時間を90分以上とした。また、試験No. a0-3、b0-3は線材圧延の仕上げ圧延温度を850以下として圧延し、試験No. a0-4、b0-4は、線材圧延の仕上げ圧延温度を950以上で圧延した。その他は表3に示す圧延条件とし、仕上げ圧延後、線材コイルに捲き取った。捲き取った線材コイルは、そのまま550に保持した溶融ソルト浴に直接浸漬して等温変態処理を行った後、300以下まで水冷して線材を得た。

【0077】

10

20

30

40

50

次いで、それぞれの線材を伸線加工し、鋼線を製造した。具体的には、それぞれの線材を酸洗処理してスケールを除去した後、潤滑性を向上させるため、表面に化成処理によってりん酸亜鉛皮膜を形成させ、超硬ダイスを用いて伸線加工を行った。伸線加工は各ダイスでの加工減面率が20%前後となるように調整したパススケジュールで線径5.2mmとなるまで伸線加工(この条件による伸線加工を「伸線加工A」と称する場合がある。)を行った。次いで、伸線加工した鋼線を400 に加熱した鉛浴に30sec浸漬させ、水冷した。

【0078】

[評価(1)]

上述の方法によって得られた試験No. a0、a1、a0-1~a0-4、試験No. b0、b1、b0-1~b0-4の線材及び鋼線について、線材の金属組織、線材及び鋼線の引張強さ、線材の表層硬度のばらつき、線材の耐食性、線材及び鋼線の耐水素脆化特性、並びに鋼線の捻回特性を評価した。その結果を表4Aに示す。パーライト以外の金属組織としては、初析フェライト及び疑似パーライトの一方又は両方が観察された。

【0079】

【表4A】

試験No.	鋼No.	実施例区分	線材特性							鋼線特性					
			表層硬度			線径 (mm)	金属組織 パーライト 面積率 (%)	引張強度 (MPa)	耐食性 腐食体積 減少率 (%)	耐水素脆化 特性 FIP破断 時間(hr)	線径 (mm)	伸線減面 率(%)	引張強度 (MPa)	耐水素脆化 特性 FIP破断 時間(hr)	捻回特性
			Hvslave	Hvsimax	Y3										
a0	A0	実施例	381	401	20	11.0	95.1	1305	15.9	129	5.2	77.7	1811	65	良好
a1	A1	比較例	385	446	61	11.0	94.8	1310	15.6	51	5.2	77.7	1805	27	良好
a0-1	A0	比較例	395	451	56	11.0	92.5	1330	16.1	55	5.2	77.7	1825	24	デラミ発生
a0-2	A0	比較例	391	445	54	11.0	86.1	1323	15.4	45	5.2	77.7	1840	20	デラミ発生
a0-3	A0	比較例	372	415	43	11.0	84.2	1285	15.4	69	5.2	77.7	1778	24	デラミ発生
a0-4	A0	比較例	396	456	60	11.0	90.4	1335	15.1	41	5.2	77.7	1854	19	デラミ発生
b0	B0	実施例	397	420	23	11.0	93.1	1391	18.5	110	5.2	77.7	1875	58	良好
b1	B1	比較例	401	453	52	11.0	91.5	1395	16.4	34	5.2	77.7	1864	21	良好
b0-1	B0	比較例	390	435	45	11.0	88.9	1361	16.7	58	5.2	77.7	1845	23	デラミ発生
b0-2	B0	比較例	380	431	51	11.0	90.6	1340	14.8	42	5.2	77.7	1832	25	デラミ発生
b0-3	B0	比較例	375	426	51	11.0	82.1	1316	15.4	48	5.2	77.7	1791	19	デラミ発生
b0-4	B0	比較例	382	435	53	11.0	90.2	1345	16.7	41	5.2	77.7	1825	24	デラミ発生

【0080】

試験No. a0、a0-1、a0-4の線材について、任意の位置において線材の長手方向に50mmの間隔をあけてそれぞれ25mm長さで採取した8個の各サンプルについて表層硬度を測定した。結果を表4Bに示す。表4Bにおいて線材の表層硬度以外の項目は表4Aと同様である。

【0081】

【表4B】

試験No.	鋼No.	実施例区分	線材特性							鋼線特性					
			表層硬度			線径 (mm)	金属組織 パーライト 面積率 (%)	引張強度 (MPa)	耐食性 腐食体積 減少率 (%)	耐水素脆化 特性 FIP破断 時間(hr)	線径 (mm)	伸線減面 率(%)	引張強度 (MPa)	耐水素脆化 特性 FIP破断 時間(hr)	捻回特性
			Hvslave	Hvsimax	Y3										
a0	A0	実施例	379	396	17	11.0	95.1	1305	15.9	129	5.2	77.7	1811	65	良好
a0-1	A0	比較例	391	443	52	11.0	92.5	1330	16.1	55	5.2	77.7	1825	24	デラミ発生
a0-4	A0	比較例	399	453	54	11.0	90.4	1335	15.1	41	5.2	77.7	1854	19	デラミ発生

【0082】

[線材及び鋼線の製造(2)]

本開示における化学成分の効果を確認するため、表2に示した化学成分の鋼No. C1~C24、及び鋼No. D1~D22を電気炉にて溶製した。鋼No. C1~C24は本開示の要件を満足する実施例、鋼No. D1~D22は本開示の要件のうち、いずれか一つ以上を満足していない比較例の鋼である。

鋼片へ分塊圧延を行う前に、鋼No. C1~C24、及び鋼No. D1~D22の鋼片

をそれぞれ 1280 狙いで加熱し、24hr 保持する加熱処理を行い、続いて 122mm 角に分塊圧延した鋼片を圧延用素材とした。

次いで、鋼片をそれぞれ 1080 狙いの加熱温度で 60 分間加熱した後、線径 8.0 ~ 12.5 mm の線材に圧延した。この際、仕上げ圧延温度は 900 狙いとし、線材コイルに巻き取った。巻き取った線材コイルは、そのまま 550 に保持した溶融ソルト浴に直接浸漬して等温変態処理を行い、300 以下まで水冷して線材を得た。

【0083】

それぞれの線材を伸線加工し、鋼線を製造した。具体的には、前述の伸線加工 A と同じ方法で線径 3.8 ~ 5.2 mm の鋼線となるように、伸線加工を行った。次いで、伸線加工した鋼線を 400 に加熱した鉛浴に 30 sec 浸漬させ、水冷した。

10

【0084】

[評価(2)]

上述の方法によって得られた試験 No. c1 ~ c24、及び試験 No. d1 ~ d22 の線材、及び鋼線について、既述の方法により、線材の金属組織、線材及び鋼線の引張強さ、線材の表層硬度のばらつき、線材の耐食性、線材及び鋼線の耐水素脆化特性、並びに鋼線の捻回特性をそれぞれ評価した。その結果を表 5 に示す。パーライト以外の金属組織としては、マルテンサイト、ベイナイト、初析フェライトおよび疑似パーライトが観察された。

【0085】

20

30

40

50

【表 5】

試験No.	綱No.	実施例区分	線材特性							鋼線特性					
			表層硬度			線径 (mm)	金属組織 パーライト 面積率 (%)	引張強度 (MPa)	耐食性 腐食体積 減少率 (%)	耐水素脆 化特性 FIP破断 時間(hr)	線径 (mm)	伸線減面 率(%)	引張強度 (MPa)	耐水素脆 化特性 FIP破断 時間(hr)	捻回特性
			Hvsiave	Hvsi max	Y3										
c1	C1	実施例	319	363	44	11.5	91.6	1098	11.1	196	3.8	89.1	1803	64	良好
c2	C2	実施例	323	363	40	11.5	92.5	1110	19.0	200	3.8	89.1	1801	66	良好
c3	C3	実施例	362	387	25	11.0	90.4	1255	13.8	194	4.8	81.0	1759	58	良好
c4	C4	実施例	371	411	40	11.0	94.2	1274	16.9	124	4.8	81.0	1816	59	良好
c5	C5	実施例	380	413	33	11.0	93.5	1305	13.2	120	4.8	81.0	1885	46	良好
c6	C6	実施例	382	395	13	11.0	93.8	1325	16.4	125	5.2	77.7	1837	45	良好
c7	C7	実施例	388	419	31	11.0	95.2	1358	16.9	116	5.2	77.7	1888	48	良好
c8	C8	実施例	417	448	31	10.0	96.5	1489	18.5	98	5.2	73.0	2007	39	良好
c9	C9	実施例	436	458	22	10.0	97.1	1521	19.0	88	5.2	73.0	1999	37	良好
c10	C10	実施例	401	441	40	10.0	92.5	1378	15.4	106	5.2	73.0	1849	53	良好
c11	C11	実施例	406	441	35	9.0	91.2	1420	14.3	98	4.8	71.6	1910	40	良好
c12	C12	実施例	407	445	38	9.0	90.5	1478	18.5	85	4.8	71.6	1967	36	良好
c13	C13	実施例	434	459	25	8.0	91.2	1501	15.9	85	4.2	72.4	1951	45	良好
c14	C14	実施例	438	474	36	10.0	91.3	1486	16.4	105	4.8	77.0	1984	38	良好
c15	C15	実施例	350	384	34	11.0	92.5	1193	16.9	189	4.8	81.0	1745	70	良好
c16	C16	実施例	375	400	25	11.0	92.1	1289	19.5	158	4.8	81.0	1853	58	良好
c17	C17	実施例	360	382	22	11.0	93.5	1301	19.0	178	4.8	81.0	1841	52	良好
c18	C18	実施例	375	403	28	11.0	92.5	1293	19.5	135	4.8	81.0	1825	60	良好
c19	C19	実施例	380	400	20	11.0	92.1	1256	16.4	145	4.8	81.0	1786	65	良好
c20	C20	実施例	375	415	40	11.0	94.2	1298	16.9	108	4.8	81.0	1796	61	良好
c21	C21	実施例	371	398	27	11.0	91.9	1299	16.4	151	4.8	81.0	1820	54	良好
c22	C22	実施例	368	399	31	11.0	92.7	1290	16.4	154	4.8	81.0	1790	69	良好
c23	C23	実施例	384	413	29	11.0	93.2	1310	15.4	130	4.8	81.0	1834	51	良好
c24	C24	実施例	382	409	27	11.0	92.4	1306	14.8	125	4.8	81.0	1844	58	良好
d1	D1	比較例	395	427	32	11.0	88.1	1325	19.0	119	5.2	77.7	1794	25	デラミ発生
d2	D2	比較例	381	416	35	11.0	90.2	1289	15.9	135	4.8	81.0	1864	28	デラミ発生
d3	D3	比較例	405	449	44	11.0	95.7	1420	17.4	50	5.2	77.7	1951	25	良好
d4	D4	比較例	421	488	67	11.0	95.7	1453	14.0	30	5.2	77.7	1898	9	デラミ発生
d5	D5	比較例	409	451	42	11.0	90.1	1421	15.4	24	5.2	77.7	1951	12	デラミ発生
d6	D6	比較例	376	395	19	11.0	93.8	1311	34.2	80	5.2	77.7	1821	23	良好
d7	D7	比較例	370	400	30	11.0	93.9	1275	31.3	93	4.8	81.0	1867	29	良好
d8	D8	比較例	406	423	17	9.0	91.2	1399	35.1	51	3.8	82.2	2035	15	良好
d9	D9	比較例	399	458	59	11.0	80.6	1373	10.0	41	-	-	-	-	-
d10	D10	比較例	376	445	69	11.0	83.5	1289	11.6	35	5.2	77.7	1795	10	デラミ発生
d11	D11	比較例	411	431	20	11.0	92.5	1384	-	-	-	-	-	-	-
d12	D12	比較例	285	299	14	12.5	82.3	978	17.4	195	3.2	93.4	1869	15	デラミ発生
d13	D13	比較例	446	502	56	11.0	94.7	1558	19.0	15	5.2	77.7	2094	8	デラミ発生
d14	D14	比較例	415	460	45	11.0	83.6	1431	14.0	42	5.2	77.7	1921	20	デラミ発生
d15	D15	比較例	405	489	84	11.0	82.9	1410	19.5	25	5.2	77.7	1854	15	デラミ発生
d16	D16	比較例	369	390	21	11.0	92.5	1284	19.5	43	4.8	81.0	1832	23	良好
d17	D17	比較例	371	393	22	11.0	94.5	1278	21.6	81	4.8	81.0	1840	26	デラミ発生
d18	D18	比較例	386	410	24	11.0	93.8	1315	19.0	75	5.2	77.7	1839	20	良好
d19	D19	比較例	375	431	56	11.0	93.1	1279	19.0	64	4.8	81.0	1821	21	デラミ発生
d20	D20	比較例	399	427	28	9.0	94.5	1370	14.0	127	3.8	82.2	1921	28	デラミ発生
d21	D21	比較例	403	460	57	11.0	91.6	1364	19.5	42	5.2	77.7	1894	24	デラミ発生
d22	D22	比較例	432	496	64	8.0	81.2	1512	15.9	10	-	-	-	-	-

10

20

30

【 0 0 8 6 】

図 1 に本開示の実施例で得られた、線材の引張強さと耐水素脆化特性の指標である F I P 破断時間の関係を示す。

40

図 2 に本開示の実施例で得られた、伸線加工後の鋼線の引張強さと耐水素脆化特性の指標である F I P 破断時間の関係を示す。

【 0 0 8 7 】

表 4 A 及び表 4 B から、本開示の実施例である試験 No . a 0、 b 0 は、本開示における化学成分とその他の要件を満足し、かつ線材の製造条件が適切であることから、いずれも線材の耐食性の評価指標である腐食体積減少率が 2 5 % 未満、耐水素脆化特性の指標である F I P の破断時間が 1 0 0 h r 以上であり、耐食性と耐水素脆化特性に優れた線材が得られている。さらに、試験 No . a 0、 b 0 で得られた伸線加工後の鋼線においても、引張強さが 1 7 0 0 M P a 以上であり、 F I P 破断時間が 3 0 h r 以上、捻回試験におい

50

てもデラミネーションが発生しておらず、耐水素脆化特性に優れた鋼線が得られている。

また、表層部におけるビッカース硬さは、1リングの長さを想定した600mm間隔でサンプルを採取して測定した場合に限らず、50mmの間隔でサンプルを採取して測定した場合でも、「 $HV_{SiMax} - HV_{SiAve} \geq 50$ 」の関係を満たせば有効であることがわかる。

【0088】

これに対し、試験No. a1と試験No. a0-1~a0-4は、それぞれ試験No. a0とほぼ同じ化学成分である鋼A1又は同じ化学成分である鋼No. A0を用い、また、試験No. b1と試験No. b0-1~b0-4は、それぞれ試験No. b0とほぼ同じ化学成分である鋼No. B1又は同じ化学成分である鋼No. B0を用いて線材を圧延したが、線材の製造条件が適切でなかったために、表層硬度のばらつき又はパーライト組織の面積率が本開示の要件を満足していない。そのため、線材の耐水素脆化特性が劣っており、伸線加工後の鋼線の耐水素脆化特性が劣っている。また、試験No. a0-1~a0-4、試験No. b0-1~b0-4では、伸線加工後の鋼線の捻回試験でデラミネーションが発生しており、捻回特性にも劣っている。

10

【0089】

表5から、本開示の実施例である試験No. c1~c24は、いずれも化学成分と本開示の要件を満足し、かつ鋼材の製造条件が適切であることから、引張強さがいずれも1000MPa~1650MPaの範囲であり、耐食性及び、同等の引張強さで比較した場合に耐水素脆化特性が優れている。

20

【0090】

試験No. d1、d2は $[Cu]/[Ni] < 1.00$ であり、さらにd2はY2も1.81以上であり、伸線加工後の鋼線においてデラミネーションが発生しており、捻回特性が悪い。また、鋼線での耐水素脆化特性も実施例における同等レベルの引張強さの鋼線と比べて、劣っている。

試験No. d3はY1の値が1.70未満であり、線材の耐水素脆化特性及び伸線加工後の鋼線の耐水素脆化特性が劣っている。

試験No. d4はY1の値が4.50を超えており、線材の耐水素脆化特性及び伸線加工後の鋼線の耐水素脆化特性、捻回特性が劣っている。

試験No. d5はY2の値が1.81以上であり、線材の耐水素脆化特性及び伸線加工後の鋼線の耐水素脆化特性、捻回特性が劣っている。

30

試験No. d6、d7、d8、d10、d12~d21については、本開示における化学成分のいずれかが本開示の範囲外、又は、Y2の値が1.81以上であり、線材の耐水素脆化特性及び/又は伸線加工後の鋼線の耐水素脆化特性、捻回特性が劣っている。

試験No. d9、d22は化学成分が本開示の範囲外であり、伸線加工する段階で断線が生じたことから、鋼線の引張強さ、耐水素脆化特性、捻回特性を調査しなかった。

試験No. d11は化学成分が本開示の範囲外(Y2も1.81以上)であり、線材を圧延した段階で、大きな表面疵が現れていたことから、線材の耐食性、耐水素脆化特性を調査せず、さらに伸線加工を行わなかった。

【0091】

本開示に係る線材の用途等は、上述した実施形態及び実施例に限定されない。例えば、本開示に係る線材は、引張強さが1700MPa以上の鋼線の素材に限定されず、要求される引張強さが1700MPa未満である鋼線の素材として用いてもよい。

40

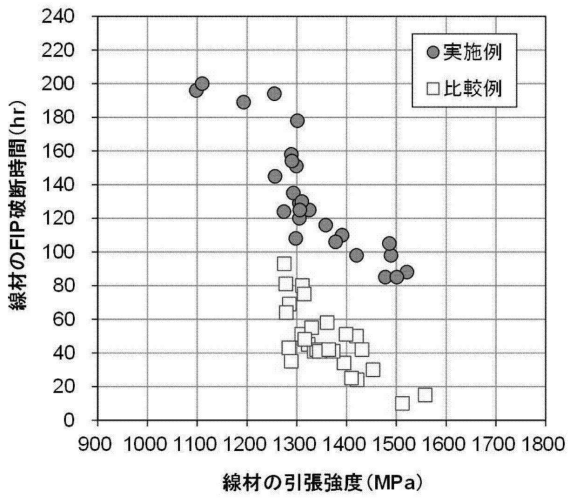
【0092】

2019年6月19日に出願された日本特許出願2019-113720の開示はその全体が参照により本明細書に取り込まれる。本明細書に記載された全ての文献、特許出願、および技術規格は、個々の文献、特許出願、および技術規格が参照により取り込まれることが具体的かつ個々に記された場合と同程度に、本明細書中に参照により取り込まれる。

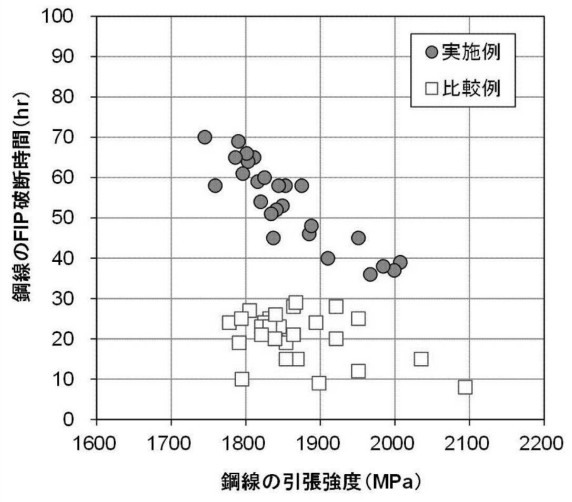
50

【 図面 】

【 図 1 】



【 図 2 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

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

審査官 岡田 真理

- (56)参考文献 特開2009-280836(JP,A)
特開2017-025369(JP,A)
特開2017-025370(JP,A)
特開2003-193183(JP,A)
特開2014-177691(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C22C 38/00 - 38/60
C21D 8/06