

(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1月2日(02.01.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/004570 A1

- (51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) C21D 9/52 (2006.01)
C22C 38/54 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/025662
- (22) 国際出願日: 2019年6月27日(27.06.2019)
- (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 2018-124644 2018年6月29日(29.06.2018) 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: 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). 大羽 浩 (OOBA, Hiroshi); 〒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). 磯 新 (ISO, Arata); 〒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). 篠原 康浩 (SHINOHARA, Yasuhiro); 〒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). 原 卓也 (HARA, Takuya); 〒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). 小山 陽平 (KOYAMA, Yohei); 〒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: 萩原 康司, 外 (HAGIWARA, Yasushi et al.); 〒1620065 東京都新宿区住吉町1-2-0 角張ビル 曙国際特許事務所 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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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).

(54) Title: FLAT STEEL WIRE, AND WIRE ROD FOR FLAT STEEL WIRE

(54) 発明の名称: 平鋼線および平鋼線用線材

(57) Abstract: Provided is a flat steel wire containing, in mass%, 0.35-0.60% of C, more than 1.50% and less than 2.00% of Si, more than 0.65% and less than 1.50% of Mn, 0.010% or less of S, 0.010% or less of P, 0.005-0.60% of Cr, 0.005-0.080% of Al, 0.0020-0.0080% of N, 0.0002-0.0050% of Ca, 0.05-0.80% of Cu, and 0.05-0.60% of Ni, with the remainder comprising Fe and impurities, wherein Y1 represented by expression <1> satisfies expression <2>, expressions <5> and <6> are satisfied, the tensile strength is 1000-1350 MPa, the longitudinal tensile residual stress is 300 MPa or less, and the width/thickness ratio is 2.5-10.

(57) 要約: 質量%で、C: 0.35~0.60%、Si: 1.50%を超え、2.00%未満、Mn: 0.65%を超え、1.50%未満、S: 0.010%以下、P: 0.010%以下、Cr: 0.005~0.60%、Al: 0.005~0.080%、N: 0.0020~0.0080%、Ca: 0.0002~0.0050%、Cu: 0.05~0.80%、Ni: 0.05~0.60%を含有し、残部はFe及び不純物からなり、式<1>で表されるY1が式<2>を満足し、式<5>および式<6>を満足し、引張強度が1000MPa以上1350MPa以下、長手方向の引張残留応力が300MPa以下、幅/厚み比が2.5以上10以下であることを特徴とする平鋼線。

WO 2020/004570 A1

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：平鋼線および平鋼線用線材

技術分野

[0001] 本発明は、平鋼線および平鋼線用線材に関する。

本願は、2018年6月29日に、日本に出願された特願2018-124644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] 天然ガス、原油等の高圧流体輸送用のフレキシブルパイプには、補強材として平鋼線が用いられている。海底油田の開発は、石油需要の増大と共に、採掘深度が深遠化する傾向にあり、フレキシブルパイプの補強材には、高強度化の要望が高まっている。また、フレキシブルパイプは硫化水素を含むサワー環境下で使用されることから、補強材に使用される平鋼線には水素誘起割れ (Hydrogen Induced Cracking; HIC) をしない特性である耐水素誘起割れ性、及び硫化物応力腐食割れ (Sulfide Stress Corrosion Cracking; SSC) をしない特性である耐硫化物応力腐食割れ性が必要である。しかし、一般的に高強度線になるほど水素誘起割れや硫化物応力腐食割れが発生しやすいため、サワー環境で使用される、フレキシブルパイプのような部品への高強度線の適用を難しくさせている。これまで、このようなサワー環境で使用される高強度線を提供する技術が提案されている。

[0003] 特許文献1には、質量%で、C:0.25~0.60%、Si:0.50を超え、2.0%未満、Mn:0.20~1.50%、S:0.015%以下、P:0.015%以下、Cr:0.005~1.50%、Al:0.005~0.080%及びN:0.0020~0.0080%を含有し、さらにCa:0~0.0050%及びMg:0~0.0050%のうち、1種または2種を $[Ca] + [Mg] > 0.20 \times [S]$ を満足するように含有し、引張強度が1000MPa以上、かつ長手方向に垂直な断面において測定され

るHv硬さの平均値が320以上450未満、測定値の標準偏差 σ Hvが15以下であって、幅／厚み比が1.5以上10以下であることを特徴とする、耐水素誘起割れ性に優れた高強度平鋼線が提案されている。

[0004] 特許文献2には、質量%で、C：0.85%以上1.00%以下、Si：0.80%以上1.30%以下、Mn：0.30%以上0.90%以下、P：0.017%以下、S：0.010%以下、Cu：0.20%以下、Al：0%以上0.10%以下、Ti：0%以上0.05%以下、B：0%以上0.0040%以下、N：0%以上0.0060%以下、Cr：0%以上0.5%以下、V：0%以上0.50%以下を含有し、長手方向に垂直な断面で見た場合に角丸矩形である平鋼線であって、前記断面の短辺が2mm以上7mm以下、前記断面の長辺が8mm超56mm以下、前記短辺に対する前記長辺の比が4超8以下であり、引張強度で得られる降伏強度又は0.2%耐力が1600MPa以上2000MPa以下、引張強度が1900MPa以上、破断伸びが2%以上であり、チャック間距離を500mmとする条件での捻回試験で得られる捻回値が12回以上であることを特徴とする平鋼線が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：WO2017/154930
特許文献2：日本国特許第6116680号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 特許文献1に開示されている技術では、引張強度が1000MPaを超えても、pH5.5未満のサワー環境で水素誘起割れを起こさない平鋼線である。

[0007] 特許文献2に開示されている技術では、引張強度が1900MPa以上の高強度で二次加工性に優れた平鋼線が得られる。

[0008] 本発明は、引張強度が1000～1350MPaの高強度平鋼線であって、pH5.5未満である厳しいサワー環境であっても、平鋼線の表面に被覆処理などを施すことなく、水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れが発生せず、採掘深度が深いフレキシブルパイプ等の補強線材として使用できる平鋼線とその製造に適した平鋼線用線材を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明者らは、前記した課題を解決するために水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れに及ぼす添加元素の影響などについて種々の検討を実施し、下記(a)～(d)の知見を得た。

[0010] (a) 平鋼線の水素誘起割れ及び耐硫化物応力腐食割れ性は、平鋼線に含まれる粗大な硫化物を起点に発生する。特に、MnSなどの硫化物が粗大である場合、熱間圧延した線材から平鋼線へ成形する工程として必要な1次伸線加工や1次伸線加工後の平圧加工を行った際に粗大な硫化物の周囲に空隙が生じ、pH5.5未満の厳しいサワー環境において水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れを促進する要因となる。そのため、線材に不可避免的に含有される硫化物をなるべく微細化する必要がある。硫化物の微細化にはCaを添加し、Caを一部固溶したMnSまたはCaSとすることが効果的である。

[0011] (b) 1000MPaを超える引張強度の高強度平鋼線において、耐水素誘起割れ性だけでなく、耐硫化物応力腐食割れ性も同時に改善するには、Siを1.50%を超えて含有し、マトリックス中に多量のSiを固溶させたうえで、Cu:0.05～0.80%及びNi:0.05～0.60%をCu/Ni>1を満足する範囲で合計で0.10～1.0%を含有させることが必要である。

[0012] (c) 1次伸線加工やその後の平鋼線に平圧加工する際に、鋼材に割れが生じず、かつpH5.5未満のサワー環境で水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れを発生させないようにするためには、下記式<1>で表されるY1が式<2>を満足する範囲でC、Si、Mn、Cr、Cu、Niを含有しなければならない。

$$Y1 = 10 \times \sqrt{[C] \{ (1 + 0.8 \times [Si]) \times (1 + 3 \times [Mn]) \times (1 + 2 \times [Cr]) \times (1 + 0.8 \times [Cu]) \times (1 + 0.7 \times [Ni]) \}} \dots <1>$$

$$12 \times D < Y1 < 30 \times D \dots <2>$$

ここで、上記式<1><2>における[C]、[Si]、[Mn]、[Cr]、[Cu]、[Ni]は、それぞれの元素の質量%での含有量を表し、Dは平鋼線の厚み(mm)を表す。

[0013] (d) 線材から平鋼線へは、例えば圧延された線材を1次伸線加工した後、異形伸線加工や冷間圧延機による冷間圧延によって加工される。このような工程で製造される平鋼線は冷間加工に伴う加工歪によって、平鋼線の表面の長手方向に引張残留応力が発生する。特に引張強度が1000MPaを超える平鋼線では、表面の引張残留応力が硫化物応力腐食割れを誘発するため、極力小さくしなければならない。

[0014] 本発明は、上記の知見に基づいて完成されたものであり、その要旨は、下記(1)～(6)に示す平鋼線および下記(7)に示す平鋼線用線材である。

[0015] (1)

質量%で、

C : 0.35～0.60%、

Si : 1.50%を超え、2.00%未満、

Mn : 0.65%を超え、1.50%未満、

S : 0.010%以下、

P : 0.010%以下、

Cr : 0.005～0.60%、

Al : 0.005～0.080%、

N : 0.0020～0.0080%、

Ca : 0.0002～0.0050%、

Cu : 0.05～0.80%、

Ni : 0.05～0.60%、

Ti : 0~0.100%、

Nb : 0~0.050%、

V : 0~0.50%、

Mo : 0~1.00%、

B : 0~0.0100%、

REM : 0~0.1000%、

Zr : 0~0.100%、及び

Mg : 0~0.0050%

を含有し、残部はFe及び不純物からなり、

下記式<1>で表されるY1が下記式<2>を満足し、

下記式<5>および下記式<6>を満足し、

引張強度が1000MPa以上1350MPa以下であり、

長手方向の引張残留応力が300MPa以下であり、

幅／厚み比が2.5以上10以下であることを特徴とする平鋼線。

$$Y1 = 10 \times \sqrt{[C] \{ (1 + 0.8 \times [Si]) \times (1 + 3 \times [Mn]) \times (1 + 2 \times [Cr]) \times (1 + 0.8 \times [Cu]) \times (1 + 0.7 \times [Ni]) \}} \dots \text{式<1>}$$

$$12 \times D < Y1 < 30 \times D \dots \text{式<2>}$$

$$[Cu] / [Ni] > 1 \dots \text{式<5>}$$

$$0.10 \leq [Cu] + [Ni] \leq 1.00 \dots \text{式<6>}$$

ただし、上記式<1><2><5><6>における[C]、[Si]、[Mn]、[Cr]、[Cu]、[Ni]は、それぞれの元素の質量%での含有量を表し、Dは平鋼線の厚み(mm)を表す。

(2)

質量%で、

Ti : 0.001~0.100%、

Nb : 0.001~0.050%、

V : 0.01~0.50%、

から選択される1種または2種以上を含有することを特徴とする、(1)に記載の平鋼線。

(3)

質量%で、

Mo : 0.01~1.00%、

B : 0.0002~0.0100%、

から選択される1種または2種を含有することを特徴とする、(1)または(2)に記載の平鋼線。

(4)

質量%で、

REM : 0.0002~0.1000%、

Zr : 0.0002~0.100%、

Mg : 0.0002~0.0050%、

から選択される1種または2種以上を含有することを特徴とする、(1)~(3)のいずれか一項に記載の平鋼線。

(5)

焼き戻しマルテンサイト組織を含むことを特徴とする、(1)~(4)のいずれか一項に記載の平鋼線。

(6)

パーライト組織を含むことを特徴とする、(1)~(4)のいずれか一項に記載の平鋼線。

(7)

質量%で、

C : 0.35~0.60%、

Si : 1.50%を超え、2.00%未満、

Mn : 0.65%を超え、1.50%未満、

S : 0.010%以下、

P : 0.010%以下、

Cr : 0.005 ~ 0.60%、
Al : 0.005 ~ 0.080%、
N : 0.0020 ~ 0.0080%、
Ca : 0.0002 ~ 0.0050%、
Cu : 0.05 ~ 0.80%、
Ni : 0.05 ~ 0.60%、
Ti : 0 ~ 0.100%、
Nb : 0 ~ 0.050%、
V : 0 ~ 0.50%、
Mo : 0 ~ 1.00%、
B : 0 ~ 0.0100%、
REM : 0 ~ 0.1000%、
Zr : 0 ~ 0.100%、及び
Mg : 0 ~ 0.0050%

を含有し、残部はFe及び不純物からなり、

下記式<5>および下記式<6>を満足することを特徴とする平鋼線用線材

。

$$[Cu] / [Ni] > 1 \quad \dots \quad \text{式<5>}$$

$$0.10 \leq [Cu] + [Ni] \leq 1.00 \quad \dots \quad \text{式<6>}$$

ただし、上記式<5><6>における[Cu]、[Ni]は、それぞれの元素の質量%での含有量を表す。

[0016] なお、残部としての「Fe及び不純物」における「不純物」とは、意図せずに鋼材中に含有される成分の他、本発明の効果を損なわない範囲で含有される他の成分を包含する概念であり、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が含まれる。

発明の効果

[0017] 本発明の平鋼線は、1000MPa以上の高い引張強度を有しながら、p

H5. 5未満の厳しいサワー環境であっても、水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れを起こしにくいいため、フレキシブルパイプの張力補強材として使用することが出来る。本発明の平鋼線用線材は、かかる平鋼線の製造に適している。

発明を実施するための形態

[0018] (A) 化学成分について：

以下、化学成分についての％は質量％である。

[0019] C：0.35～0.60％

Cは、鋼を強化する元素であり、0.35％以上含有させなくてはならない。優れた耐水素誘起割れ性と耐硫化物応力腐食割れ性を両立する目的で、平鋼線へ加工した後で行う焼入れ後の高温焼戻し処理や高温での加熱処理をしても十分に高い引張強度を確保するため、Cの含有量は0.35％以上でなければならない。さらに強度を高めたい場合はCの含有量を0.38％以上とすることが好ましく、さらには0.40％以上であることが好ましい。しかし、Cの含有量が0.60％を超えると、平鋼線同士を溶接で接合した場合に接合部の強度が不足する。また、偏析によって平鋼線に成形する前の段階で鋼材の組織にばらつきが生じ、平鋼線に平圧加工する際、線材に割れを生じさせる。したがって、適切なCの含有量は0.35～0.60％である。溶接性を確保するとともに平鋼線断面内での偏析を極力少なくし、平鋼線の加工性を高めたい場合は0.55％以下とすることが好ましく、さらに耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性を改善するには0.50％以下とすることが望ましい。

[0020] Si：1.50％を超え、2.00％未満

Siはマトリックスに固溶し、平鋼線の強度を向上させるとともに、耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性の向上に有効な元素である。1000MPaを超える引張強度の高強度平鋼線において耐水素誘起割れ性と同時に、耐硫化物応力腐食割れ性を改善するためには、Siは1.50％を超えて含有させなくてはならない。しかし、2.00％以上を含有させると平

鋼線の形状に平圧加工する際、線材に割れが生じるなどの問題が生じる。よって、S_iの含有量は1.50%を超え、2.00%未満である。より強度を高めたい場合や耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性を向上させたい場合には、S_iは1.60%以上含有させればよく、1.70%以上含有させれば一層好ましい。平鋼線へ加工する際に線材の割れを抑制したい場合には、1.80%以下とすることが好ましい。

[0021] Mn : 0.65%を超え、1.50%未満

Mnは、鋼の焼入れ性を高め、高強度化に必要な元素である。高いS_iを含有する平鋼線において、焼入れなどの熱処理を行う際に平鋼線の曲がりなどを抑制し、表面に高い引張残留応力を発生させないためには、0.65%を超えて含有させなくてはならない。しかし、Mnの含有量が1.50%以上になると、線材の強度が高くなりすぎてしまい、平鋼線へ加工する際に線材に割れが発生するなどの問題が生じる。そのため、本発明におけるMnの含有量は0.65%を超え、1.50%未満である。なお、さらに平鋼線の焼入れ性を高め、線材の曲がり抑制したい場合や高強度化する場合には、Mnは0.70%以上含有させればよく、0.75%以上含有させることが一層好ましい。平鋼線へ加工する際に線材の割れを抑制したい場合には、Mnは1.30%以下とすることが好ましく、1.10%以下であればより一層好ましい。

[0022] P : 0.010%以下

Pは、不純物として含有される。但し、Pの含有量が0.010%を超えると、水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れが発生しやすくなり、1000MPaを超える引張強度の平鋼線では、pH5.5未満の厳しいサワー環境において水素誘起割れや硫化物応力腐食割れを抑制することができない。耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性を改善する観点からPの含有量は、0.008%以下であれば好ましく、0.005%未満であればより一層好ましい。P含有量の下限値は特に限定されないが、過剰に低減することは製造コストの増加につながるため、P含有量の下限値を0.0005%と

してもよい。

[0023] S : 0.010%以下

Sは、不純物として含有される。但し、Sの含有量が0.010%を超えると、MnSが粗大な形態となり、耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性を低下させる。1000MPaを超える引張強度の平鋼線で耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性を改善するには、Sと結合して硫化物を生成しやすい元素とのバランスを考え、Caを含有させなければならない。耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性を改善する観点からSの含有量は、0.008%以下であれば好ましく、0.005%未満であればより一層好ましい。S含有量の下限値は特に限定されないが、過剰に低減することは製造コストの増加につながるため、S含有量の下限値を0.0005%としてもよい。

[0024] Cr : 0.005~0.60%

Crは、Mnと同様に、鋼の焼入れ性を高め、高強度化に必要な元素であり、0.005%以上含有させなくてはならない。しかし、Crの含有量が0.60%を超えると、線材の強度が高くなりすぎてしまい、平鋼線へ平圧加工する際に線材に割れが発生するなどの問題が生じる。そのため、本発明における適正なCrの含有量は0.005~0.60%である。なお、さらに平鋼線の焼入れ性を高める場合や高強度化する場合には、Crは0.05%以上含有させればよく、0.10%以上含有させれば一層好ましい。平鋼線へ平圧加工する際に線材の割れを抑制したい場合には、0.50%以下とすることが好ましく、0.40%以下であればより一層好ましい。

[0025] Al : 0.005~0.080%

Alは脱酸作用を有するだけでなく、Nと結合してAlNを形成し、そのピンニング効果により熱間圧延時のオーステナイト粒を微細化する効果があり、平鋼線の耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性を改善する効果がある。このため、Alは0.005%以上含有させなくてはならない。耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性を改善する観点から、Alの含

有量を0.015%以上とするのが望ましく、さらには0.020%以上含有させることが望ましい。一方、Alの含有量が0.080%を超えると、その効果が飽和するだけでなく、粗大なAlNが生成し、平鋼線の耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性をかえって低下させる。よって、Alの含有量は0.060%以下であることが好ましく、さらには0.050%以下であることが一層好ましい。

[0026] N : 0.0020~0.0080%

Nはマトリックスに固溶し、平鋼線の強度を向上する効果がある。また、AlやTiなどと結合して窒化物や炭窒化物を生成し、熱間圧延時のオーステナイト粒を微細化する効果があり、平鋼線の耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性を改善する効果がある。これらの効果を得るために、Nは0.0020%以上含有させなければならず、さらには0.0030%以上含有させることが好ましい。しかし、過剰に含有させてもその効果が飽和するばかりではなく、鋼を鑄造する際に割れを発生させるなど製造性を悪化させることから、Nの含有量は0.0080%以下とする必要がある。安定した製造性を確保するには0.0060%以下とするのが好ましく、さらには0.0050%以下とするのがより一層好ましい。

[0027] Ca : 0.0002~0.0050%

Caは、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、1000MPaを超える引張強度の平鋼線であっても耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性を改善することが出来る。Caによってこれらの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良い。しかし、Caの含有量が0.0050%を超えても、その効果は飽和するし、AlやSiとともに鋼中の酸素と反応して生成する酸化物が粗大となり、かえって耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性の低下を招く。したがって、含有させる場合の適正なCaの含有量は、0.0050%以下である。耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性を向上させる

観点から、Caの含有量は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。

[0028] 本発明の耐水素誘起割れ性及び耐硫化物腐食割れ性に優れた平鋼線では、Cu:0.05~0.80%、Ni:0.05~0.60%、かつCu/Ni>1を満足する範囲でCu及びNiを合計で0.10~1.00%含有しなければならない(式<5>、式<6>)。

[0029] Cu:0.05~0.80%

Cuは、1000MPaを超える引張強度の平鋼線の耐硫化物応力腐食割れ性を改善する効果があり、本発明において必須の添加元素である。また、鋼の焼入れ性を高める効果もある。耐硫化物応力腐食割れ性を改善する効果を得るためには、0.05%以上含有させなくてはならない。しかし、Cuの含有量が0.80%を超えると、平鋼線へ加工する際に線材に割れが発生するなどの問題が生じる。したがって、Cuの含有量は0.05~0.80%である。耐硫化物応力腐食割れ性を改善する観点から含有させるCuの含有量は0.10%以上であることが好ましく、0.20%以上含有させれば一層好ましい。なお、平鋼線への加工性を考慮して、Cuの含有量は0.70%以下とすることが好ましく、0.50%以下であればより一層好ましい。なお、本発明においてCuはNiとともに含有させなくてはならず、Niが0.05%未満でCuを単独に含有させた場合、線材を製造するための熱間圧延の工程で表面疵が生じやすくなり、その後の1次伸線加工や平鋼線への平圧加工時に割れ発生の要因となり、平鋼線への成形が難しくなる。

[0030] Ni:0.05~0.60%

Niは、1000MPaを超える引張強度の平鋼線の耐硫化物応力腐食割れ性を改善する効果があり、本発明において必須の添加元素である。また、鋼の焼入れ性を高める効果もある。耐硫化物応力腐食割れ性を改善する効果を得るためには、0.05%以上含有させなくてはならない。しかし、Niの含有量が0.60%を超えると、線材の強度が高くなりすぎてしまい、平鋼線へ平圧加工する際に線材に割れが発生しやすくなる。また、加工できた

としても、硫化物応力腐食割れが発生しやすくなるなどの問題が生じる。したがって、Niの含有量は0.05～0.60%である。耐硫化物応力腐食割れ性を改善する観点からNiの含有量は0.07%以上であることが好ましく、0.10%以上含有させれば一層好ましい。なお、平鋼線への加工性や耐硫化物腐食割れ性を考慮して、Niの含有量は0.50%以下とすることが好ましく、0.40%以下であればより一層好ましい。なお、NiはCuとともに含有させなくてはならず、Cuが0.05%未満でNiを単独に含有させた場合、硫化水素を含むpH5.5未満のサワー環境下において、平鋼線の表面に引張応力が加えられると平鋼線の表面に微細な割れが生じやすくなり、耐硫化物応力腐食割れ性が低下する。

[0031] Cu及びNiは $Cu/Ni > 1$ を満足する範囲で含有することで、硫化物応力腐食割れを抑制する効果が得られる（式<5>）。

[0032] Cu/Ni 比が1以下、すなわちNiの含有量がCuの含有量以上である場合、硫化水素を含むサワー環境下において、平鋼線の表面に引張応力が加えられると平鋼線の表面に微細な割れが生じやすくなり、耐硫化物応力腐食割れ性が低下する。そのため、Cu及びNiは $Cu/Ni > 1$ を満足しなければならない。平鋼線の耐硫化物応力腐食割れ性を高めるために、 Cu/Ni 比は1.5以上であることが好ましく、2以上であれば、さらに好ましい。Cu及びNiは $Cu/Ni > 1$ を満足すればよく、 Cu/Ni 比の上限は限定されないが、線材を製造するための熱間圧延の工程での表面疵の発生や平鋼線への加工性を考慮した場合、 Cu/Ni 比は5以下であることが好ましい。

[0033] さらに、Cu及びNiは合計で0.10～1.00%の範囲で含有することで、硫化物応力腐食割れを抑制する効果が得られる（式<6>）。これは硫化水素を含むサワー環境下において、平鋼線の表面に引張応力が加えられても、平鋼線の表面に被膜が生成し、水素侵入を抑制する効果があるためと考えられる。

[0034] Cu及びNiの含有量の合計が0.10%未満である場合、上述のような

効果は得られない。一方、Cu及びNiの含有量の合計が1.00%を超える場合、鋼材の強度が高くなり過ぎ、平鋼線へ平圧加工する際に線材に割れが発生したり、硫化水素を含むpH5.5未満のサワー環境下において、平鋼線の表面に引張応力が加えられると平鋼線の表面に微細な割れが生じやすくなり、耐硫化物応力腐食割れ性が低下する。耐硫化物応力腐食割れ性を改善する観点から、Cu及びNiの含有量の合計は0.20以上であることが好ましく、0.40以上であれば一層好ましい。一方、平鋼線の製造時における線材への割れ発生や応力腐食割れによる微細なき裂発生を抑制したい場合には、Cu及びNiの含有量の合計は、0.80%以下であることが好ましく、0.50%以下であればより一層好ましい。

[0035] 本発明の耐水素誘起割れ性及び耐硫化物腐食割れ性に優れた平鋼線では、式<1>で表されるY1値が式<2>を満足する必要がある。

$$Y1 = 10 \times \sqrt{[C] \{ (1 + 0.8 \times [Si]) \times (1 + 3 \times [Mn]) \times (1 + 2 \times [Cr]) \times (1 + 0.8 \times [Cu]) \times (1 + 0.7 \times [Ni]) \}} \quad \dots \text{式<1>}$$

$$12 \times D < Y1 < 30 \times D \quad \dots \text{式<2>}$$

上記式<1>~<2>における[C]、[Si]、[Mn]、[Cr]、[Cu]、[Ni]は、それぞれの元素の質量%での含有量を表し、Dは平鋼線の厚み(mm)を表す。

[0036] Y1は、1000MPaを超える引張強度の平鋼線として使用可能な範囲で、平鋼線へ平圧加工する際に線材に割れが生じず、十分な強度を得るための焼入れ性を与えるために必要なパラメータである。

[0037] 具体的には、Y1は平鋼線を製造するにあたって、厚みがD(mm)の平鋼線をAc₃点以上の温度まで加熱し、焼入れ処理をした場合に、平鋼線の中心部であるD/2(mm)位置において得られるマルテンサイト組織の分率に影響するパラメータである。焼入れ・焼戻し処理によって平鋼線の引張強度を調整する際、均一な焼き戻しマルテンサイト組織とするために、Y1の値は平鋼線の厚みD(mm)を用いて表される、12×Dを超えることが必

要となる。なお、油冷による焼入れ処理の冷却速度は平鋼線の厚みDによっても変わるが、一般的に $30\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ 程度である。また、焼入れ・焼戻し処理を行わずに、1次伸線加工や平圧加工によって引張強度を調整する場合は、線材段階でパテンティング処理を行い、中心部まで均一な微細パーライト組織にする必要があり、 $Y1$ の値は $12\times D$ を超えなければならない。また、 $Y1$ が $30\times D$ を超えると、平鋼線へ加工する前の線材の段階でマルテンサイトが含まれるようになり、冷間加工によって平鋼線へ加工する際に割れが生じる。

[0038] (B) 特性及び製造方法について：

サワー環境下では、鋼の強度が高ければ高いほど、水素誘起割れや硫化物応力腐食割れを発生しやすいが、本発明における平鋼線は耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性に優れており、引張強度が 1000 MPa 以上であっても $\text{pH}5.5$ 未満の厳しいサワー環境で水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れを抑制することができる。さらに厳格に介在物や成分の調整を行って製造条件を最適化すれば、さらに高い引張強度であっても水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れが発生しにくくなる。一定のサワー環境下で水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れを起こさない範囲であれば、平鋼線の引張強度は 1100 MPa 以上であることが好ましい。ただし、引張強度が 1350 MPa を超える場合には、水素誘起割れが発生しない場合であっても、硫化物応力腐食割れが発生する。

[0039] 本発明は、鋼を溶製する段階での成分調整や介在物の制御、圧延および加熱条件の制御により、線材の長手方向に垂直な断面内での成分偏析を制御する。また、本発明は、平鋼線へ加工する際に付与される加工歪みを熱処理によって除去して、平鋼線の表面の長手方向に生じる引張残留応力を小さくする。

[0040] 引張残留応力を小さくする理由は、平鋼線の長手方向において測定される引張残留応力が 300 MPa 以上である場合、硫化物応力腐食割れが発生するためである。そこで、 $\text{pH}5.5$ 未満の厳しいサワー環境で、硫化物応力

腐食割れを抑制したい場合、長手方向の引張残留応力は250MPa以下であることが望ましく、100MPa以下であれば、より一層好ましい。

[0041] すなわち、本発明では、硫化物応力腐食割れを抑制するために、鋼を溶製する段階での化学成分だけでなく、圧延および加熱条件等の制御により、介在物を制御し、また、線材長手方向に垂直な断面内での成分偏析を抑える。また、本発明では、平鋼線へ加工した後に熱処理を加えるなど、平鋼線の製造条件をコントロールし、平鋼線の長手方向において測定される引張残留応力を制御する。

[0042] 本発明の要件を満たせば、平鋼線の製造方法によらず、本発明の効果を得ることが出来るが、例えば、下記に示す製造方法によって、線材（平鋼線用線材）を製造し、それを素材として平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発明の範囲内である平鋼線が得られた場合、その平鋼線が本発明に含まれる。

[0043] 具体的には、C、Si、Mn等の化学成分を調整し、転炉や電気炉等によって溶製、鋳造された鋼塊や鋳片は、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、あるいはその前の段階で、鋳造された鋼片は1250℃以上の温度で、12hr以上の加熱処理をする。これにより、MnSの一部が固溶して微細化するし、製品圧延後の線材の成分偏析を抑えることが出来る。

[0044] その後、鋼片を再加熱して熱間で製品圧延し、所定の径の棒鋼や線材に最終的に仕上げる。

[0045] 圧延した線材（平鋼線用線材）は、1次伸線加工を行った後、平鋼線に加工する。このとき、圧延した線材から平鋼線へ加工したときの総加工減面率は80%以下であることが望ましい。平鋼線は、冷間圧延機を用いて、1次伸線した線材を冷間圧延することで所定のサイズに整える。冷間圧延したままの状態では、平鋼線の長手方向に生じる引張残留応力が大きいため、平鋼線を加熱処理する。このとき、オーステナイト域へ再加熱した後、油焼入れ

を行い、460℃以上の温度で焼戻しする、焼入れ・焼戻し処理を行えばよい。この場合、焼き戻しマルテンサイト組織を含む平鋼線が製造される。また、焼入れ処理は行わず、加熱温度を460℃以上、 A_1 点以下の温度とする加熱処理を行っても良い。この場合、パーライト組織を含む平鋼線が製造される。

[0046] なお、平鋼線は伸線加工した丸棒から冷間圧延によって仕上げると、厚み方向の両端面が平行で、幅方向の両端面は長手方向垂直断面がそれぞれ半楕円状または円弧状となる。異形ダイスを用いた伸線加工で同じ形状に仕上げてもよい。平鋼線の幅方向の最大幅と厚みの比、幅／厚み比が2.5未満の場合、平鋼線の幅に対する厚みが大きいため、平鋼線を曲げた際に表面に発生する曲げ応力が大きくなり、硫化物応力腐食割れが発生しやすい。さらにフレキシブルパイプに組み込む加工のときに、平鋼線の曲げ加工が困難となり、割れが生じるなど問題も生じる。一方、平鋼線の幅／厚み比が10を超える場合、平鋼線へ冷間圧延を行った後や平鋼線を熱処理した後に、平鋼線に反りが生じ、フレキシブルパイプに組み込むことが出来なくなったり、引張残留応力が大きくなって硫化物応力腐食割れが発生する。また線材から平鋼線に平圧加工する際に鋼材に割れが発生しやすいなどの問題が生じる。

[0047] (C) 任意成分について：

本発明の高強度平鋼線は、必要に応じて、Ti：0～0.100%、Nb：0～0.050%、V：0～0.50%、Mo：0～1.00%、B：0～0.0100%、REM：0～0.1000%、Zr：0～0.100%、及びMg：0～0.0050%から選択される1種または2種以上の元素を含有させてもよい。以下、任意元素であるTi、Nb、V、Mo、B、REM、Zr、Mgの作用効果と、含有量の限定理由について説明する。任意成分についての%は質量%である。

[0048] Ti：0～0.100%

Tiは、NやCと結合して、炭化物、窒化物又は炭窒化物を形成し、それらのピンニング効果によって熱間圧延時にオーステナイト粒を微細化する効

果があり、平鋼線の耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性を改善する効果があるため、含有させても良い。この効果を得るためには、Tiは0.001%以上含有させればよい。耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性を改善する観点から、Tiの含有量を0.005%以上とするのが望ましく、さらには0.010%以上含有させることが望ましい。一方、Tiの含有量が0.100%を超えると、その効果が飽和するだけでなく、粗大なTiNが多数生成し、かえって平鋼線の耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性を低下させる。よって、Tiの含有量は0.050%以下であることが好ましく、さらには0.035%以下であることが一層好ましい。

[0049] Nb : 0~0.050%

Nbは、NやCと結合して、炭化物、窒化物又は炭窒化物を形成し、それらのピンニング効果によって熱間圧延時にオーステナイト粒を微細化する効果があり、平鋼線の耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性を改善する効果があるため、含有させても良い。この効果を得るためには、Nbは0.001%以上含有させればよい。耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性を改善する観点から、Nbの含有量を0.005%以上とするのが望ましく、さらには0.010%以上含有させることが望ましい。一方、Nbの含有量が0.050%を超えると、その効果が飽和するだけでなく、鋼塊や鋳片を分塊圧延する工程で鋼片に割れが生じるなど鋼の製造性に悪影響を及ぼす。よって、Nbの含有量は0.035%以下であることが好ましく、さらには0.030%以下であることが一層好ましい。

[0050] V : 0~0.50%

VはC及びNと結合して、炭化物、窒化物又は炭窒化物を形成し、平鋼線の強度を高めることが出来る。この目的で、0.01%以上のVを含有させてもよいが、Vの含有量が0.50%を超えると、析出する炭化物や炭窒化物によって平鋼線の強度が増大し、かえって耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性が低下する。平鋼線の水素誘起割れや硫化物応力腐食割れを抑制する観点から、含有させる場合のVの量は0.20%以下であることが好

ましく、0.10%以下であれば一層好ましい。なお、前述したVの効果を安定して得るためには、Vの量は0.02%以上含有させることが好ましい。

[0051] Mo : 0 ~ 1.00%

Moは、鋼の焼入れ性を高める元素であり、含有させても良い。ただし、焼入れ性を高める効果を得るためには、0.01%以上含有させればよい。しかし、Moの含有量が1.00%を超えると、線材の強度が高くなりすぎてしまい、平鋼線へ加工する際に線材に割れが発生するなどの問題が生じる。したがって、含有させる場合のMoの含有量は0.01~1.00%である。焼入れ性を向上させる観点から含有させる場合のMoの含有量は0.02%以上であることが好ましく、0.05%以上含有させればより一層好ましい。なお、平鋼線への加工性を考慮して、含有させる場合のMoの含有量は0.50%以下とすることが好ましく、0.30%以下であればより一層好ましい。

[0052] B : 0 ~ 0.0100%

Bは、微量添加することで鋼の焼入れ性を高めるのに有効であり、効果を得たい場合には0.0002%以上含有させても良い。0.0100%を超えて含有させても効果が飽和するだけでなく、粗大な窒化物が生成するので、水素誘起割れや硫化物応力腐食割れが発生しやすくなる。したがって、含有させる場合のBの含有量は0.0002~0.0100%である。さらに焼入れ性を高めたい場合には、Bの含有量を0.0005%以上とすればよく、0.0010%以上であればより一層好ましい。なお、水素誘起割れや硫化物応力腐食割れを考慮して、含有させる場合のBの含有量は0.0050%以下とすることが好ましく、0.0030%以下であればより一層好ましい。

[0053] REM : 0 ~ 0.1000%

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や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、耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性を改善することが出来るため、添加してもよい。水素誘起割れや硫化物応力腐食割れを抑制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良い。しかし、REMの含有量が0.1000%を超えても、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、耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性の低下を招く。したがって、含有させる場合のREMの含有量は、0.1000%以下である。耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性を向上させる観点から、REMの含有量は0.0500%以下であることが好ましく、0.030%以下であれば一層好ましい。

[0054] Zr : 0~0.100%

Zrは、Oと反応して酸化物を生成し、微量に添加すれば酸化物を微細に分散し、水素誘起割れや硫化物応力腐食割れを抑制する効果があり、その効果を得たい場合に添加しても良い。水素誘起割れや硫化物応力腐食割れを抑制する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良い。しかし、Zrの含有量が0.100%を超えて含有させた場合、その効果は飽和するし、鋼中のNやSと反応し、粗大な窒化物や硫化物を生成するため、かえって耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性の低下を招く。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。耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ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。

[0055] 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る。MnSを微細に分散することで、高強度の平鋼線であっても耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性を改善することが出来る。Mgは含有しなくても良

いが (Mg : 0%)、Mg によって水素誘起割れや硫化物応力腐食割れを抑制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良い。しかし、Mg の含有量が 0.0050% を超えても、その効果は飽和するし、Al や Ca とともに鋼中の酸素と反応して生成する酸化物が粗大となり、かえって耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性の低下を招く。したがって、含有させる場合の適正な Mg の含有量は、0.0050% 以下である。耐水素誘起割れ性や耐硫化物応力腐食割れ性を向上させる観点から、Mg の含有量は 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。

[0056] 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の他、本発明の効果を損なわない範囲で含有される他の成分を包含する概念であり、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が含まれる。

実施例

[0057] 以下に実施例によって本発明を具体的に説明する。

具体的には、表 1、表 2 に示す化学成分の鋼を溶製し、鋼片を熱間圧延して製造した線材（平鋼線用線材）を、以下の方法で平鋼線とした。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。

[0058] 表 1 に示す化学成分の鋼 A、B を電気炉にて溶製し、得た鋼塊を 1250℃ で 12hr 加熱後、122mm 角の鋼片に分塊圧延した鋼片を圧延用素材とした。次いで圧延用素材を 1050℃ で加熱して直径 12mm の線材に圧延した。線材圧延は、仕上げ圧延後にオーステナイト単相の温度域でコイル状に捲き取った後、550℃ に保持した塩浴炉へ直接浸漬するパテンティング処理を行った。圧延した線材は、1次伸線のために表面を潤滑処理した後、直径 11mm となるように 1次伸線加工を行った。その後、伸線加工した線材を冷間圧延機で圧延し、平鋼線に成形した。

同成分でも引張強度や長手方向の引張残留応力が異なる平鋼線を造り分けるために、試験No. A1～A5、A7については、鋼Aを用いて幅15mm、厚み5mmに冷間圧延した平鋼線を950℃で10minの加熱を行った後、コールド油に浸漬して焼入れ処理を行い、450～600℃の温度で所定時間保持する焼戻し処理を行って引張強度が異なる平鋼線を作製した。試験No. A1～A5、A7は、焼き戻しマルテンサイト組織を含む平鋼線である。試験No. A6、A8については、焼入れ処理を行わず、冷間圧延後に450℃と580℃で所定時間保持する加熱処理を行った。また試験No. A9については、冷間圧延後に熱処理を行わなかった。試験No. A6、A8、A9は、パーライト組織を含む平鋼線である。

試験No. B1～B5については、鋼Bを圧延した線材を用い、1次伸線加工後に平鋼線へ冷間圧延する際の幅と厚みを変化させて、形状の異なる平鋼線を作製した。試験No. B1～B4については、幅と厚みが異なる平鋼線に加工した後、950℃で10minの加熱を行った後、コールド油に浸漬して焼入れ処理を行い、485℃の温度で焼戻し処理を行い、引張強度がほぼ同等で幅と厚みが異なる平鋼線を作製した。試験No. B5は幅18mm、厚み1.7mmの平鋼線を作製し、950℃で10minの加熱後、コールド油に浸漬して焼入れ処理をしたが、平鋼線の長手方向に大きな反りが生じたため、以降の試験を中止した。なお、冷間圧延後の熱処理条件を表3に示す。

[0059] 表2に示す化学成分の試験No. 1～48を電気炉にて溶製し、得た鋼塊を1250℃で12hr加熱した後、122mm角の鋼片に分塊圧延した鋼片を圧延用素材とした。次いで圧延用素材を1050℃で加熱して直径12mmの線材（平鋼線用線材）に圧延した。圧延後、線材の表面を潤滑処理した後、直径11mmの線材となるよう1次伸線加工を行った。その後、伸線加工した線材を冷間圧延機で圧延し、幅15mm、厚み4mmまたは幅15mm、厚み5mm及び幅15mm、厚み3mmの平鋼線に成形した。試験No. 1～26、27、29、31、33、34、36、37、39、41、

42、45～48については、成形した平鋼線について、冷間圧延後に950℃で10minの加熱を行った後、コールド油に浸漬して焼入れ処理を行い、430～540℃の温度で60min保持する焼戻し処理を行った。試験No. 28、30、32、35、38、40、44は鋼の化学成分のいずれかが、本発明の範囲外であり、平鋼線に冷間圧延した際に、平鋼線に割れが生じたため、熱処理を行わずに、以降の試験を中止した。なお、表2中、アンダーラインは成分組成が本発明範囲から外れていることを示す。

[0060]

[表1]

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	N	Ca	Cu	Ni	Ti	Nb	V	Mo	B	REM	Zr	Mg	Cu+Ni	Cu/Ni	Y1値
A	0.42	1.61	0.76	0.008	0.003	0.01	0.030	0.0031	0.0018	0.30	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	3.00	65.8
B	0.41	1.67	0.75	0.009	0.003	0.05	0.030	0.0035	0.0016	0.29	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.44	1.93	72.8

[0061] [表2]

試験 No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	N	Ca	Cu	Ni	Ti	Nb	V	Mo	B	REM	Zr	Mg	Cu+Ni	Cu/Ni	Y1値
1	0.36	1.51	0.75	0.008	0.003	0.04	0.095	0.0036	0.0012	0.30	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	3.00	61.7
2	0.36	1.55	0.72	0.004	0.003	0.01	0.091	0.0030	0.0017	0.20	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	0.30	2.00	53.8
3	0.40	1.65	0.70	0.007	0.003	0.00	0.035	0.0028	0.0022	0.52	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	0.77	2.08	90.8
4	0.42	1.78	1.02	0.004	0.002	0.21	0.045	0.0039	0.0019	0.21	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.36	1.40	116.9
5	0.55	1.82	0.74	0.003	0.003	0.15	0.042	0.0034	0.0021	0.32	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	0.42	3.20	102.5
6	0.41	1.95	0.75	0.004	0.003	0.15	0.030	0.0038	0.0023	0.45	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	0.75	1.50	114.0
7	0.40	1.55	1.45	0.003	0.003	0.08	0.086	0.0040	0.0025	0.30	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	0.41	2.73	117.4
8	0.42	1.72	0.67	0.004	0.004	0.20	0.037	0.0041	0.0016	0.21	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	0.31	2.10	81.1
9	0.41	1.60	0.70	0.004	0.003	0.49	0.040	0.0035	0.0015	0.20	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35	1.33	114.9
10	0.42	1.70	0.84	0.003	0.003	0.46	0.088	0.0031	0.0018	0.25	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	1.67	137.1
11	0.42	1.65	0.68	0.003	0.004	0.01	0.030	0.0042	0.0016	0.75	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.95	3.75	85.0
12	0.41	1.85	0.69	0.004	0.003	0.08	0.039	0.0042	0.0011	0.08	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	0.13	1.60	62.3
13	0.42	1.67	0.75	0.004	0.003	0.12	0.046	0.0031	0.0020	0.35	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	0.65	1.17	94.5
14	0.41	1.64	0.83	0.008	0.002	0.08	0.039	0.0032	0.0012	0.31	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.46	2.07	82.6
15	0.40	1.81	0.75	0.003	0.007	0.03	0.025	0.0038	0.0017	0.35	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.55	1.75	77.8
16	0.42	1.71	0.78	0.004	0.004	0.02	0.015	0.0032	0.0019	0.30	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45	2.00	73.0
17	0.42	1.75	0.70	0.003	0.003	0.10	0.031	0.0055	0.0019	0.30	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45	2.00	79.3
18	0.41	1.65	0.69	0.004	0.003	0.05	0.035	0.0032	0.0018	0.30	0.10	0.018	-	-	-	-	-	-	-	0.40	3.00	66.6
19	0.41	1.67	0.70	0.004	0.003	0.03	0.030	0.0035	0.0025	0.35	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45	2.00	71.5
20	0.42	1.65	0.70	0.004	0.003	0.06	0.032	0.0036	0.0024	0.30	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45	2.07	82.1
21	0.42	1.68	0.72	0.004	0.004	0.12	0.031	0.0028	0.0016	0.33	0.15	-	0.021	-	-	-	-	-	-	0.48	2.17	74.4
22	0.41	1.65	0.70	0.003	0.003	0.08	0.030	0.0036	0.0015	0.33	0.15	-	-	-	0.06	-	-	-	-	0.45	2.00	74.0
23	0.41	1.68	0.70	0.004	0.004	0.08	0.036	0.0034	0.0021	0.30	0.15	-	-	-	0.0015	-	-	-	-	0.46	1.88	67.3
24	0.42	1.62	0.66	0.003	0.003	0.05	0.038	0.0030	0.0016	0.20	0.16	-	-	-	-	0.0025	-	-	-	0.46	1.88	73.2
25	0.42	1.65	0.69	0.003	0.003	0.08	0.038	0.0038	0.0014	0.25	0.20	-	-	-	-	-	0.030	-	-	0.45	1.25	73.2
26	0.40	1.59	0.80	0.004	0.004	0.15	0.035	0.0035	0.0019	0.31	0.20	-	-	-	-	-	-	0.0015	-	0.51	1.55	90.4
27	0.36	1.51	0.66	0.009	0.003	0.01	0.030	0.0035	0.0014	0.10	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18	1.25	45.9
28	0.42	1.86	1.10	0.004	0.005	0.30	0.030	0.0034	0.0019	0.30	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	3.00	147.2
29	0.41	1.67	0.75	0.009	0.003	0.05	0.030	0.0035	0.0016	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	2.00	54.7
30	0.40	1.81	0.95	0.004	0.005	0.25	0.025	0.0031	0.0020	0.38	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	0.39	38.00	117.4
31	0.42	1.90	0.85	0.004	0.004	0.21	0.036	0.0030	0.0018	0.02	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	0.37	0.06	104.1
32	0.38	1.58	0.72	0.005	0.004	0.02	0.039	0.0038	0.0014	1.08	0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	1.53	2.40	112.4
33	0.40	1.85	0.75	0.004	0.005	0.12	0.039	0.0030	0.0020	0.20	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45	0.80	86.2
34	0.37	1.60	0.70	0.004	0.006	0.15	0.040	0.0029	0.0025	0.25	0.70	-	-	-	-	-	-	-	-	0.95	0.36	99.9
35	0.42	1.65	0.85	0.004	0.004	0.05	0.032	0.0036	0.0024	0.65	0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	1.10	1.44	117.4
36	0.30	1.55	0.75	0.004	0.005	0.10	0.032	0.0033	0.0017	0.31	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	0.61	1.03	72.3
37	0.65	1.75	0.80	0.005	0.005	0.15	0.038	0.0042	0.0016	0.30	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	3.00	113.5
38	0.46	2.18	0.68	0.003	0.003	0.15	0.030	0.0034	0.0015	0.35	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.51	1.55	93.9
39	0.36	1.30	0.95	0.003	0.006	0.20	0.035	0.0040	0.0012	0.31	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45	1.25	156.6
40	0.40	1.75	1.60	0.003	0.004	0.15	0.030	0.0033	0.0015	0.25	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45	1.25	156.6
41	0.43	1.86	0.45	0.006	0.008	0.45	0.038	0.0040	0.0021	0.30	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	0.65	1.17	102.1
42	0.39	1.65	0.75	0.015	0.007	0.20	0.035	0.0031	0.0022	0.35	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	0.38	1.33	165.4
44	0.42	1.80	0.80	0.005	0.006	0.20	0.032	0.0039	0.0020	0.20	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35	1.11	113.5
45	0.45	1.79	0.85	0.005	0.005	0.25	0.035	0.0036	0.0018	0.20	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	0.75	1.14	108.1
46	0.41	1.87	0.81	0.008	0.007	0.10	0.039	0.0113	0.0016	0.40	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	0.55	1.75	93.5
47	0.40	1.78	0.79	0.007	0.005	0.12	0.034	0.0041	-	0.35	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.46	1.88	86.0
48	0.41	1.82	0.75	0.006	0.017	0.11	0.030	0.0035	0.0018	0.30	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	0.46	1.88	86.0

[0062] 上記方法で作製した平鋼線のY1値と幅と厚み、幅／厚み比、引張強度、平鋼線の長手方向表面の引張残留応力、耐水素誘起割れ性、耐硫化物応力腐食割れ性について調査した結果を表3、表4に示す。なお、表3、4中、ア

ンダーラインは特性が本発明範囲から外れていることを示し、「-」は平鋼線へ加工する際などに割れが生じるなどしたために、各種特性を調査する試験を行わなかったことを示している。

[0063] 平鋼線の引張強度、長手方向表面の引張残留応力、耐水素誘起割れ性及び耐硫化物応力腐食割れ性は、それぞれ下記に記載する方法によって調査した。

[0064] 〈1〉平鋼線の引張強度の調査：

平鋼線の引張強度は、JIS G 3546 (2012)に記載の破断試験によって測定した。標点距離は30mmとして室温で破断試験を実施し、引張強度を求めた。なお、平鋼線の断面積 (S (mm²)) は下記式〈3〉を用いて算出し、試験片が破断に至るまでの最大試験力を断面積で除して求めた。

$$S = w \times t - 0.215 t^2 \quad \dots \quad \langle 3 \rangle$$

ここで、 w ：平鋼線の幅 (mm)、 t ：平鋼線の厚さ (mm) である。

[0065] 〈2〉長手方向表面の残留応力の調査：

ここで「長手方向」とは圧延された平鋼線の厚み、幅方向と垂直方向に延伸した長さ方向を指し、「表面」とは、平鋼線の表面から厚み中心に向かって50 μ m深さまでの範囲を指す。残留応力は、既知のX線法で測定され、具体的には、JIS B 2711 (2013)に準拠して、X線回折を利用したX線応力測定法を用いる。測定は特性X線の種類：MnK α 線、Crフィルタ、基準回折角 2θ ：152.0°、 η 角：14.0°、X線応力定数 K ：-336MPa/°を用い、平鋼線表面の幅方向の中央位置を中心として、長手方向と平行にX線を照射して回折パターンを得た。また、測定位置の間隔が長手方向に少なくとも450mm以上離れた平鋼線の表面で、6箇所の残留応力を測定し、その平均値を求めた。

[0066] 〈3〉耐水素誘起割れ性の調査：

150mm長さに切断した平鋼線を用いて耐水素誘起割れ性を評価した。5%NaCl + CH₃COOH溶液にHClを用いてpHを調整し、pH5.

0とした。窒素ガスで脱気後、硫化水素（ H_2S ）＋二酸化炭素（ CO_2 ）混合ガスを導入し、溶液中に平鋼線を浸漬して割れの発生を調査した。このとき、硫化水素の分圧は0.01MPa、試験温度は25℃であり、試験時間は96時間である。試験後、平鋼線の厚み方向に対して超音波探傷試験（UST：Ultra-sonic Test）によって割れ発生の有無を確認した。超音波探傷によって割れが生じたと判定される割れ発生部の面積の合計を画像解析によって求め、下記式〈4〉を用いて水素誘起割れ発生率（ χ （%））を求めた。

[数1]

$$\chi = \left(\frac{A_f}{(w \times L)} \right) \times 100 \quad \dots \langle 4 \rangle$$

ここで、 A_f ：USTで測定された割れ発生部の合計面積（ mm^2 ）、 w ：平鋼線の幅（ mm ）、 L ：平鋼線の長さ（ mm ）である。

[0067] 〈4〉耐硫化物応力腐食割れの調査：

耐硫化物応力腐食割れ性は150mm長さに切断した平鋼線に4点曲げ治具を用いて、曲げ応力を負荷し、耐水素誘起割れ性の調査で用いたのと同じ条件で調整した溶液中に、平鋼線を固定した4点曲げ治具ごと浸漬して割れ発生の有無を調査した。具体的には、平鋼線表面の3箇所に歪みゲージを取り付け、治具を用いて曲げ歪みを負荷し、3箇所に貼りつけた歪みゲージで読み取られる曲げ歪みの最大値が平鋼線の降伏強度の90%の引張応力に相当する歪みとなった時点で、治具に固定した。溶液は5%NaCl＋ CH_3COOH 溶液にHClを用いてpHを調整し、pH5.0とした。窒素ガスで脱気後、硫化水素（ H_2S ）＋二酸化炭素（ CO_2 ）混合ガスを導入し、溶液中に平鋼線を固定した4点曲げ治具ごと浸漬して割れの発生有無を調査した。このとき、硫化水素の分圧は0.01MPa、試験温度は25℃であり、試験時間は96時間である。試験後、平鋼線の割れ発生の有無は目視で判定

した。さらに、目視で割れが確認されなかった試験材も、硫化物応力腐食割れに伴う表面の微小なき裂発生の有無を確認するため、曲げ歪みが最大となった位置の長手方向の断面を樹脂埋めし、鏡面研磨を行い、光学顕微鏡で平鋼線表面の微小なき裂の発生有無を調査した。20 μm 深さ以上の微小なき裂が平鋼線の表面で確認された場合に、硫化物応力腐食割れが発生していると判断した。

[0068]

[表3]

	試験No	鋼	Y1値	厚み × 幅 (mm × mm)	12D (mm)	30D (mm)	幅/厚み	焼入れ温 度(°C)	焼戻し (°C)	加熱時間 (min)	引張強度 (MPa)	残留応力 (MPa)	水素誘起 割れ発生 率X(%)	硫化物応 力腐食割 れ発生
発明例	A1	A	65.8	5.0 × 15.0	60.0	150.0	3.0	950	520	60	1063	63	0.0	割れ無し
発明例	A2	A	65.8	5.0 × 15.0	60.0	150.0	3.0	950	500	60	1098	24	0.0	割れ無し
発明例	A3	A	65.8	5.0 × 15.0	60.0	150.0	3.0	950	600	1	1155	65	0.0	割れ無し
発明例	A4	A	65.8	5.0 × 15.0	60.0	150.0	3.0	950	485	60	1217	32	0.0	割れ無し
発明例	A5	A	65.8	5.0 × 15.0	60.0	150.0	3.0	950	465	60	1285	58	0.0	割れ無し
発明例	A6	A	65.8	5.0 × 15.0	60.0	150.0	3.0	-	580	10	1135	65	0.0	割れ無し
比較例	A7	A	65.8	5.0 × 15.0	60.0	150.0	3.0	950	450	60	1375	87	0.0	割れ
比較例	A8	A	65.8	5.0 × 15.0	60.0	150.0	3.0	-	450	2	1242	355	20.0	割れ
比較例	A9	A	65.8	5.0 × 15.0	60.0	150.0	3.0	-	-	-	1289	310	75.0	割れ
発明例	B1	B	72.8	5.0 × 15.0	60.0	150.0	3.0	950	485	60	1224	31	0.0	割れ無し
発明例	B2	B	72.8	2.5 × 18.0	30.0	75.0	7.2	950	485	60	1235	89	0.0	割れ無し
発明例	B3	B	72.8	4.0 × 16.0	48.0	120.0	4.0	950	485	60	1219	30	0.0	割れ無し
比較例	B4	B	72.8	6.0 × 13.0	72.0	180.0	2.2	950	485	60	1231	94	0.0	割れ
比較例	B5	B	72.8	1.7 × 18.0	20.4	51.0	10.6	950	-	-	-	-	-	-

[0069] 表3から、本発明例である試験No. A1～A6、B1～B3は、いずれも化学成分と本発明要件を満足し、かつ鋼材の製造条件が適切であることから、引張強度がいずれも1000MPa以上であって、水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れが発生しておらず、問題ない。

[0070] これに対して、試験No. A7は引張強度が本発明の範囲を外れており、硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. A8は焼入れ処理を行わず、加熱処理のみを行い、試験No. A9は平鋼線へ加工後に熱処理を行わなかった。いずれも引張残留応力が300MPaを超えており、水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. B4は、平鋼線の幅／厚み比が本発明の範囲を外れており、硫化物応力腐食割れが発生している。また、試験No. B5は焼入れ処理を行った際に平鋼線の長手方向に大きな反りが生じたため、引張試験等の試験を行わなかった。

[0071]

[表4]

	試験 No	Y1値	厚み × 幅 (mm × mm)	12D (mm)	30D (mm)	幅/厚み	焼入れ温度(°C)	焼戻し温度(°C)	加熱時間 (min)	引張強度 (MPa)	残留応力 (MPa)	水素誘起割れ発生率(%)	硫化物応力腐食割れ発生
発明例	1	61.7	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1175	50	0.0	割れ無し
発明例	2	53.8	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	465	60	1274	55	0.0	割れ無し
発明例	3	90.8	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1208	84	0.0	割れ無し
発明例	4	116.9	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1235	29	0.0	割れ無し
発明例	5	102.5	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	520	60	1224	92	0.0	割れ無し
発明例	6	114.0	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1164	28	0.0	割れ無し
発明例	7	117.4	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1230	69	0.0	割れ無し
発明例	8	81.1	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1271	44	0.0	割れ無し
発明例	9	114.9	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	520	60	1195	43	0.0	割れ無し
発明例	10	137.1	5.0 × 15.0	60.0	150.0	3.0	950	485	60	1332	26	0.0	割れ無し
発明例	11	85.0	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1092	41	0.0	割れ無し
発明例	12	62.3	3.0 × 15.0	36.0	90.0	5.0	950	485	60	1229	36	0.0	割れ無し
発明例	13	94.5	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1220	89	0.0	割れ無し
発明例	14	82.6	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1240	56	0.0	割れ無し
発明例	15	77.8	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1231	53	0.0	割れ無し
発明例	16	73.0	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1255	46	0.0	割れ無し
発明例	17	79.3	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1243	76	0.0	割れ無し
発明例	18	66.6	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1205	76	0.0	割れ無し
発明例	19	69.5	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1215	53	0.0	割れ無し
発明例	20	71.5	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1239	50	0.0	割れ無し
発明例	21	82.1	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	520	60	1255	50	0.0	割れ無し
発明例	22	74.4	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1219	26	0.0	割れ無し
発明例	23	74.0	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1105	30	0.0	割れ無し
発明例	24	67.3	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1207	85	0.0	割れ無し
発明例	25	73.2	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1233	57	0.0	割れ無し
発明例	26	90.4	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1242	91	0.0	割れ無し
比較例	27	45.9	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	465	60	1265	95	0.0	割れ
比較例	28	147.2	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	-	-	-	-	-	-	-
比較例	29	54.7	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1102	86	0.0	割れ
比較例	30	117.4	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	-	-	-	-	-	-	-
比較例	31	104.1	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1206	56	0.0	割れ
比較例	32	112.4	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	-	-	-	-	-	-	-
比較例	33	86.2	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1198	44	0.0	割れ
比較例	34	99.9	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1184	45	0.0	割れ
比較例	35	117.4	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	-	-	-	-	-	-	-
比較例	36	72.3	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	430	60	1254	165	0.0	割れ
比較例	37	113.5	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	540	60	1287	95	25.0	割れ
比較例	38	107.3	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	-	-	-	-	-	-	-
比較例	39	93.9	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1245	92	0.0	割れ
比較例	40	156.6	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	-	-	-	-	-	-	-
比較例	41	109.3	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1285	54	0.0	割れ
比較例	42	102.1	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	485	60	1232	50	0.0	割れ
比較例	44	165.4	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	-	-	-	-	-	-	-
比較例	45	113.5	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1219	35	50.0	割れ
比較例	46	108.1	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1267	85	0.0	割れ
比較例	47	93.5	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1251	78	50.0	割れ
比較例	48	86.0	4.0 × 15.0	48.0	120.0	3.8	950	500	60	1245	80	75.0	割れ

[0072] 表4 から、本発明例である試験 No. 1～26 は、いずれも化学成分と本発明要件を満足し、かつ鋼材の製造条件が適切であることから、引張強度がいずれも1000MPa～1350MPaの範囲であり、水素誘起割れ及び硫化物腐食割れも発生していない。

[0073] 試験 No. 27、29、31、33、34、36、37、39、41～42、45～48については、化学成分、式<5>、式<6>のいずれか、またはY1の値が式<2>を満足していないために、水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. 28、30、32、35、38、40、44は鋼の化学成分、式<5>、式<6>のいずれか、またはY1の値が式<2>を満足しておらず、本発明の範囲外であり、平鋼線に冷間圧延した際に、平鋼線に割れが生じたため、熱処理を行わずに、以降の試験を中止している。

試験No. 27は化学成分は本発明の範囲内であるが、Y1の値が式<2>を満足しておらず、硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. 28は化学成分は本発明の範囲内であるが、Y1の値が式<2>を満足しておらず、平鋼線へ加工する際に割れが発生し、熱処理以降の試験を中止している。

試験No. 29はCu、Niが本発明の範囲外であり、硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. 30はNiが本発明の範囲外であり、平鋼線へ加工する際に割れが発生し、熱処理以降の試験を中止している。

試験No. 31はCuが本発明の範囲外であり、硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. 32はCuが本発明の範囲外であり、平鋼線へ加工する際に割れが発生し、熱処理以降の試験を中止している。

試験No. 33はCu/Ni比が本発明の範囲外であり、硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. 34はNiが本発明の範囲外であり、硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. 35はCuとNiの合計が本発明の範囲外であり、平鋼線へ加工する際に割れが発生し、熱処理以降の試験を中止している。

試験No. 36、37はCの含有量が本発明の範囲外であり、硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. 38はSiが本発明の範囲外であり、平鋼線へ加工する際に割れが発生し、熱処理以降の試験を中止している。

試験No. 39はSiの含有量が本発明の範囲外であり、硫化物応力腐食

割れが発生している。

試験No. 40はMnが本発明の範囲外であり、Y1の値も式<2>を満足しておらず、平鋼線へ加工する際に割れが発生し、熱処理以降の試験を中止している。

試験No. 41はMnの含有量が本発明の範囲外であり、硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. 42はPの含有量が本発明の範囲外であり、硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. 44はCrが本発明の範囲外であり、Y1の値も式<2>を満足しておらず、平鋼線へ加工する際に割れが発生し、熱処理以降の試験を中止している。

試験No. 45はAlの含有量が本発明の範囲外であり、水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. 46はNの含有量が本発明の範囲外であり、水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. 47はCaの含有量が本発明の範囲外であり、水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れが発生している。

試験No. 48はSの含有量が本発明の範囲外であり、水素誘起割れ及び硫化物応力腐食割れが発生している。

請求の範囲

[請求項1]

質量%で、

C : 0.35 ~ 0.60%、

Si : 1.50%を超え、2.00%未満、

Mn : 0.65%を超え、1.50%未満、

S : 0.010%以下、

P : 0.010%以下、

Cr : 0.005 ~ 0.60%、

Al : 0.005 ~ 0.080%、

N : 0.0020 ~ 0.0080%、

Ca : 0.0002 ~ 0.0050%、

Cu : 0.05 ~ 0.80%、

Ni : 0.05 ~ 0.60%、

Ti : 0 ~ 0.10%、

Nb : 0 ~ 0.050%、

V : 0 ~ 0.50%、

Mo : 0 ~ 1.00%、

B : 0 ~ 0.0100%、

REM : 0 ~ 0.1000%、

Zr : 0 ~ 0.100%、及び

Mg : 0 ~ 0.0050%

を含有し、残部はFe及び不純物からなり、

下記式<1>で表されるY1が下記式<2>を満足し、

下記式<5>および下記式<6>を満足し、

引張強度が1000MPa以上1350MPa以下であり、

長手方向の引張残留応力が300MPa以下であり、

幅/厚み比が2.5以上10以下であることを特徴とする平鋼線。

$$Y1 = 10 \times \sqrt{[C] \{ (1 + 0.8 \times [Si]) \times (1 + 3 \times [M$$

$$n]) \times (1 + 2 \times [Cr]) \times (1 + 0.8 \times [Cu]) \times (1 + 0.7 \times [Ni]) \} \dots \text{式<1>}$$

$$12 \times D < Y1 < 30 \times D \dots \text{式<2>}$$

$$[Cu] / [Ni] > 1 \dots \text{式<5>}$$

$$0.10 \leq [Cu] + [Ni] \leq 1.0$$

$$0 \dots \text{式<6>}$$

ただし、上記式<1><2><5><6>における [C]、[Si]、[Mn]、[Cr]、[Cu]、[Ni] は、それぞれの元素の質量%での含有量を表し、Dは平鋼線の厚み (mm) を表す。

[請求項2]

質量%で、

Ti : 0.001 ~ 0.100%、

Nb : 0.001 ~ 0.050%、

V : 0.01 ~ 0.50%、

から選択される1種または2種以上を含有することを特徴とする、請求項1に記載の平鋼線。

[請求項3]

質量%で、

Mo : 0.01 ~ 1.00%、

B : 0.0002 ~ 0.0100%、

から選択される1種または2種を含有することを特徴とする、請求項1または2に記載の平鋼線。

[請求項4]

質量%で、

REM : 0.0002 ~ 0.1000%、

Zr : 0.0002 ~ 0.100%、

Mg : 0.0002 ~ 0.0050%、

から選択される1種または2種以上を含有することを特徴とする、請求項1 ~ 3のいずれか一項に記載の平鋼線。

[請求項5]

焼き戻しマルテンサイト組織を含むことを特徴とする、請求項1 ~ 4のいずれか一項に記載の平鋼線。

[請求項6] パーライト組織を含むことを特徴とする、請求項1～4のいずれか一項に記載の平鋼線。

[請求項7] 質量%で、

C : 0.35～0.60%、

Si : 1.50%を超え、2.00%未満、

Mn : 0.65%を超え、1.50%未満、

S : 0.010%以下、

P : 0.010%以下、

Cr : 0.005～0.60%、

Al : 0.005～0.080%、

N : 0.0020～0.0080%、

Ca : 0.0002～0.0050%、

Cu : 0.05～0.80%、

Ni : 0.05～0.60%、

Ti : 0～0.100%、

Nb : 0～0.050%、

V : 0～0.50%、

Mo : 0～1.00%、

B : 0～0.0100%、

REM : 0～0.1000%、

Zr : 0～0.100%、及び

Mg : 0～0.0050%

を含有し、残部はFe及び不純物からなり、

下記式<5>および下記式<6>を満足することを特徴とする平鋼線用線材。

$$[Cu] / [Ni] > 1 \quad \dots \quad \text{式<5>}$$

$$0.10 \leq [Cu] + [Ni] \leq 1.00 \quad \dots \quad \text{式<6>}$$

ただし、上記式<5><6>における[Cu]、[Ni]は、それ

その元素の質量%での含有量を表す。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/025662

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. C22C38/00(2006.01)i, C22C38/54(2006.01)i, C21D9/52(2006.01)n		
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) Int.Cl. C22C38/00-38/60, C21D9/52		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Published examined utility model applications of Japan		1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan		1971-2019
Registered utility model specifications of Japan		1996-2019
Published registered utility model applications of Japan		1994-2019
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.
<u>X</u> A	WO 2017/154930 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) 14 September 2017, test example no. 7 & US 2019/0048445 A1, invention example 7 & EP 3415654 A1	7 1-6
A	JP 2001-279381 A (KOBE STEEL, LTD.) 10 October 2001 (Family: none)	1-6
A	JP 2016-069705 A (KOBE STEEL, LTD.) 09 May 2016 & US 2017/0219000 A1 & EP 3202937 A1	1-6
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance		"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date		"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
"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)		"&" document member of the same patent family
"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		
Date of the actual completion of the international search 12 September 2019 (12.09.2019)		Date of mailing of the international search report 24 September 2019 (24.09.2019)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. C22C38/00(2006.01)i, C22C38/54(2006.01)i, C21D9/52(2006.01)n

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））
 Int.Cl. C22C38/00-38/60, C21D9/52

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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
X A	WO 2017/154930 A1（新日鐵住金株式会社）2017.09.14, 試験No. 7 & US 2019/0048445 A1, INVENTION EXAMPLE 7 & EP 3415654 A1	7 1-6
A	JP 2001-279381 A（株式会社神戸製鋼所）2001.10.10（ファミリーなし）	1-6
A	JP 2016-069705 A（株式会社神戸製鋼所）2016.05.09 & US 2017/0219000 A1 & EP 3202937 A1	1-6

☐ 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	の日の後に公表された文献
「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	「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「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	「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
「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）	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 12.09.2019	国際調査報告の発送日 24.09.2019
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 太田 一平 電話番号 03-3581-1101 内線 3435
	4K 3841