

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年9月19日(19.09.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/190874 A1

(51) 国際特許分類:

C22C 38/00 (2006.01) *C21D 8/06* (2006.01)
B21C 23/00 (2006.01) *C21D 9/52* (2006.01)
B21C 23/01 (2006.01) *C22C 38/14* (2006.01)
B21C 37/00 (2006.01) *C22C 38/58* (2006.01)
C21D 3/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/010018

(22) 国際出願日: 2024年3月14日(14.03.2024)

(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 2023-041287 2023年3月15日(15.03.2023) JP

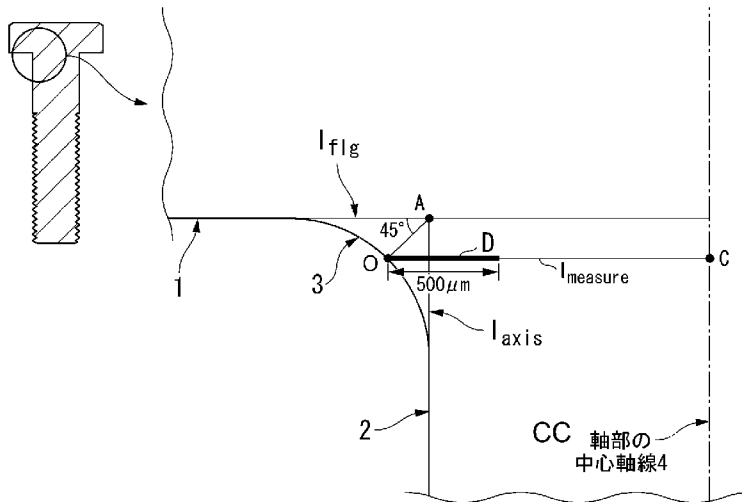
(71) 出願人: 日本製鉄株式会社 (NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 新貝 康晴 (SHINKAI Yasuharu); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP). 小此木 真 (OKONOGI Makoto); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP). 平上 大輔 (HIRAKAMI Daisuke); 〒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). 根石 豊 (NEISHI Yutaka); 〒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).

(54) Title: BOLT

(54) 発明の名称: ボルト

〔図2〕



CC Center axis 4 of shaft

(57) **Abstract:** This bolt has a prescribed chemical composition, and at least 95% of the metal structure at the D/4 position, where D is the shaft diameter, is a hard structure. The bolt has a tensile strength of 800 to 1700 MPa and has a ratio β_{MAX}/β_C of not more than 1.50, where β_C is the full width at half maximum of the X-ray diffraction peak corresponding to the (211) plane of the ferrite phase at the shaft center of the connecting part between the bolt head and the shaft, and β_{MAX} is the maximum value of the full width at half maximum of the X-ray

[続葉有]

(74) 代理人: 松沼 泰史, 外(MATSUNUMA Yasushi 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, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

diffraction peak corresponding to the (211) plane of the ferrite phase in the region from the surface of the connecting part to a depth of 500 μm towards the center axis of the shaft.

(57) 要約: このボルトは、所定の化学組成を有し、軸部直径をDとして、 $D/4$ 位置における金属組織の95%以上が硬質組織であり、ボルト頭部と前記軸部との接続部の軸部中心におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅 β_C と、前記接続部の表面から軸部の中心軸線に向かう深さ500 μm までの領域におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅の最大値 β_{MAX} との比 β_{MAX}/β_C が1.50以下であり、引張強さが800~1700MPaである。

明 細 書

発明の名称： ボルト

技術分野

[0001] 本発明は、ボルトに関する。本発明に係るボルトは、特に、非調質ボルトに関する。

本願は、2023年3月15日に、日本に出願された特願2023-041287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] 自動車等の各種機械や土木・建築分野において、軽量化や小型化、コスト低減等の観点から800MPa以上の引張強さを有する高強度ボルトが使用されている。しかし、一般に高強度ボルトでは、水素脆化が生じ易くなることが知られており、ボルトの高強度化を達成するためには、強度と共に耐水素脆化特性を向上させる必要がある。

[0003] 高強度ボルトのような高強度部品の耐水素脆化特性を向上させる方法として、組織をパーライト組織やベイナイト組織とし、伸線加工によって組織を強化する手法が知られており、これまでに多くの提案がなされている（例えば、特許文献1～5）。

[0004] しかし、一層のスペースの効率化のために、ボルトの更なる高強度化が望まれており、特に非調質ボルトの高強度化に対応していくためには、従来の技術のみでは十分でない可能性がある。

[0005] 引張強さが800MPa以上の高強度ボルトを製造する方法としては、例えば、Cr、Mo、V等の合金元素を添加した合金鋼の鋼線を、所定の形状に成形した後に、焼入れ焼戻し処理を行うことで高強度ボルトを製造する方法がある。しかし、この方法では熱処理コストがかかり製造コストの面で不利である。

[0006] 一方で、製造コストを低減するために、成形後の焼入れ焼戻しを省略し、急速冷却、析出強化等によって強度を高めた線材に伸線加工を加えることで

、所定の強度を付与した高強度ボルトを製造する方法が知られている。この方法により製造されたボルトは非調質ボルトと呼ばれている。

[0007] 例えば、パーライト組織またはベイナイト組織を伸線加工して強化した鋼線を冷間加工して製造した非調質ボルトにおいては、パーライト組織またはベイナイト組織の内部におけるセメンタイト相とフェライト相との界面で水素を捕捉するため、鋼材内部への水素の侵入が抑制され、耐水素脆化特性が向上すると考えられる。しかし、この技術だけで耐水素脆化特性を十分に向上させることは容易ではなく、更なる向上が望まれている。

[0008] 非調質ボルトの製造方法として、特許文献6には、棒状の金属材料を予備成形することにより、押圧側が膨出したボルト予備成形材を形成し、次いで、ボルト予備成形材の軸部体積を、ボルト仕上げ成形材の軸部体積よりも大きくするように成形するボルトの圧造方法が記載されている。しかし、特許文献6の方法によって製造されたボルトであっても、耐水素脆化特性は不十分である。

先行技術文献

特許文献

- [0009] 特許文献1：日本国特開平11-315348号公報
特許文献2：日本国特開2001-348618号公報
特許文献3：日本国特開2005-281860号公報
特許文献4：国際公開第2016/121820号
特許文献5：国際公開第2017/122830号
特許文献6：日本国特開2007-136460号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0010] 本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、引張強さが800MPa～1700MPaで、耐水素脆化特性に優れたボルトを提供することである。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明の要旨は以下の通りである。

[1] 化学組成が、質量%で、
C : 0.18 ~ 0.80%、
Si : 0.01 ~ 1.50%、
Mn : 0.50 ~ 2.00%、
Al : 0.005 ~ 0.080%、
P : 0.030%以下、
S : 0.030%以下、
Ti : 0.005 ~ 0.100%、
B : 0.0003 ~ 0.0050%、
N : 0.0150%以下、
O : 0.0100%以下、
残部 : Fe 及び不純物からなり、

軸部直径をDとして、 $D/4$ 位置における金属組織の95%以上が硬質組織であり、

ボルト頭部と前記軸部との接続部の軸部中心におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅 β_c と、前記接続部の表面から軸部の中心軸線に向かう深さ500 μm までの領域におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅の最大値 β_{MAX} との比 $\beta_{\text{MAX}}/\beta_c$ が1.50以下であり、引張強さが800 ~ 1700MPaである、ボルト。

[2] 化学組成が、質量%で、
C : 0.18 ~ 0.80%、
Si : 0.01 ~ 1.50%、
Mn : 0.50 ~ 2.00%、
Al : 0.005 ~ 0.080%、
P : 0.030%以下、

S : 0.030%以下、

Ti : 0.005~0.100%、

B : 0.0003~0.0050%、

N : 0.0150%以下、

O : 0.0100%以下、を含有し、

更に、下記A群、B群及びC群からなる群から選択される1種又は2種以上を含有し、

残部：Fe及び不純物からなり、

軸部直径をDとして、 $D/4$ 位置における金属組織の95%以上が硬質組織であり、

ボルト頭部と前記軸部との接続部の軸部中心におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅 β_c と、前記接続部の表面から軸部の中心軸線に向かう深さ500 μ mまでの領域におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅の最大値 β_{MAX} との比 β_{MAX}/β_c が1.50以下であり、

引張強さが800~1700MPaである、ボルト。

[A群] Cr : 1.50%以下、Mo : 0.50%以下、Nb : 0.050%以下、V : 0.20%以下、W : 0.20%以下からなる群から選択される1種又は2種以上。

[B群] Cu : 0.50%以下、Ni : 0.50%以下からなる群から選択される1種又は2種。

[C群] Ca : 0.0100%以下、Mg : 0.0100%以下、Ce : 0.020%以下、Sn : 0.0400%以下からなる群から選択される1種又は2種以上。

[3] 質量%で、前記A群を含有する化学組成を有する[2]に記載のボルト。

[4] 質量%で、前記B群を含有する化学組成を有する[2]に記載のボルト。

〔５〕 質量％で、前記Ｃ群を含有する化学組成を有する〔２〕に記載のボルト。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、引張強さが８００ＭＰａ～１７００ＭＰａで、耐水素脆化特性に優れたボルトを提供できる。

図面の簡単な説明

[0013] [図１]図１は、本発明の実施形態であるボルトの鋼の硬質組織の面積率の測定位置を説明する軸部の断面模式図。

[図２]図２は、本発明の実施形態であるボルトの変形例１の β_{MAX}/β_C の測定位置を示す図であって、ボルト頭部と軸部との接続部近傍の軸部中心軸を含む断面模式図。

[図３]図３は、本発明の実施形態であるボルトの β_{MAX}/β_C の測定位置を示す図であって、ボルト頭部と軸部との接続部近傍の軸部中心軸を含む断面模式図。

[図４]図４は、本発明の実施形態であるボルトの変形例２の β_{MAX}/β_C の測定位置を示す図であって、ボルト頭部と軸部との接続部近傍の軸部中心軸を含む断面模式図。

[図５]図５は、本発明の実施形態であるボルトの製造方法の工程１を説明する工程図。

[図６]図６は、本発明の実施形態であるボルトの製造方法の工程２を説明する工程図。

[図７]図７は、本発明の実施形態であるボルトの製造方法の工程３を説明する工程図。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明の実施形態に係るボルトについて、詳細に説明する。

本発明の実施形態に係るボルトは、化学組成が、質量％で、Ｃ：０．１８～０．８０％、Ｓｉ：０．０１～１．５０％、Ｍｎ：０．５０～２．００％、Ａｌ：０．００５～０．０８０％、Ｐ：０．０３０％以下、Ｓ：０．０３

0%以下、Ti : 0.005~0.100%、B : 0.0003~0.0050%、N : 0.0150%以下、O : 0.0100%以下、残部 : Fe 及び不純物からなり、軸部直径をDとして、 $D/4$ 位置における金属組織の95%以上が硬質組織であり、ボルト頭部と軸部との接続部の軸部中心におけるフェライトの(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅 β_c と、接続部の表面から軸部の中心軸線に向かう深さ500 μ mまでの領域におけるフェライトの(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅の最大値 β_{MAX} との比 β_{MAX}/β_c が1.50以下であり、引張強さが800~1700MPaである、ボルトである。

熱処理を行ったボルトの場合、ボルト頭部や、ボルト頭部と軸部との接続部周辺では、どの位置で測定をしてもフェライトの(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅が変わらない(ただし、熱処理を行った後に転造によりねじ部を形成するボルトの場合、ねじ部周辺でフェライトの(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅が変化することがある)。本開示のボルトは、加工の影響により、測定する位置によって、フェライトの(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅が変わる。

[0015] <<化学組成>>

以下、本発明の実施形態に係るボルトの鋼の化学組成について説明する。以下の説明において、化学組成の各元素の含有量の「%」表示は、「質量%」を意味する。また、「~」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。なお、「~」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。

[0016] [C : 0.18%~0.80%]

Cは、引張強さを確保するために必要な元素である。C含有量が0.18%未満の場合、所望とする引張強さを得ることが困難である。よって、C含有量の下限を0.18%以上とする。好ましくは0.20%以上である。ま

た、C含有量が0.80%超である場合、冷間加工性が劣化する。よって、C含有量の上限を0.80%以下とする。好ましくは0.75%以下である。

[0017] [Si : 0.01 ~ 1.50 %]

Si（珪素）は、脱酸元素であると共に、固溶強化により引張強さを高める元素である。Si含有量が0.010%未満である場合、Siの含有効果が十分に発現しない。よって、Si含有量の下限を0.01%以上とする。好ましくは0.05%以上である。また、Si含有量が1.50%超である場合、Siの含有効果が飽和すると共に、熱間圧延時の延性が劣化して表面疵が発生し易くなる。この表面疵に起因して、冷間加工性が低下する場合がある。よって、Si含有量の上限を1.50%以下とする。好ましくは1.00%以下である。

[0018] [Mn : 0.50 ~ 2.00 %]

Mn（マンガン）は、硬質組織への変態（ベイナイト変態）を促進し、鋼の引張強さを高める元素である。Mn含有量が0.50%未満である場合、Mnの含有効果が十分に発現しない。よって、Mn含有量の下限を0.50%以上とする。好ましくは0.60%以上である。また、Mn含有量が2.00%超である場合、局所的にマルテンサイト組織が生成し、冷間加工性が劣化する場合がある。よって、Mn含有量の上限を2.00%以下とする。好ましくは1.50%以下である。

[0019] [Al : 0.005 ~ 0.080 %]

Al（アルミニウム）は、脱酸元素であると共に、ピン止め粒子として機能するAlNを形成する元素である。AlNは結晶粒を細粒化し、これにより冷間加工性を高める。また、Alは、固溶Nを低減して動的ひずみ時効を抑制する作用、及び、耐水素脆化特性を高める作用を有する元素である。従って、Al含有量は0.005%以上とする。好ましくは0.010%以上である。また、Al含有量が0.080%超である場合、上述の効果が飽和すると共に、 Al_2O_3 などの粗大な酸化物が形成されて、疲労破壊の原因と

なる場合がある。よって、A l 含有量の上限を0.080%以下とする。好ましくは0.060%以下である。

[0020] [P : 0.030%以下]

P (リン) は、不可避免的に鋼に混入する不純物元素であり、結晶粒界に偏析して耐水素脆化特性を劣化させると共に、冷間加工性を劣化させる元素である。本実施形態に係るボルトはPを含有する必要がないので、P含有量の下限値は0%である。但し、製造コスト（脱リンコスト）の低減の観点から、P含有量は0%超であってもよく、0.002%以上であってもよく、0.005%以上であってもよい。P含有量が0.030%超の場合、耐水素脆化特性の劣化、及び、冷間加工性の劣化が顕著となる。よってP含有量は0.030%以下に制限する。好ましくは0.015%以下である。

[0021] [S : 0.030%以下]

S (硫黄) は、Pと同様に不可避免的に鋼に混入する不純物元素であり、結晶粒界に偏析して耐水素脆化特性を劣化させると共に、冷間加工性を劣化させる元素である。従って、本実施形態に係るボルトはSを含有する必要がないので、S含有量の下限値は0%である。但し、製造コスト（脱硫コスト）の低減の観点から、S含有量は0%超であってもよく、0.002%以上であってもよく、0.005%以上であってもよい。S含有量が0.030%超では、耐水素脆化特性の劣化、及び、冷間加工性の劣化が顕著となる。従って、S含有量は0.030%以下に制限する。好ましくは0.015%以下であり、より好ましくは0.010%以下である。

[0022] [Ti : 0.005~0.100%]

Ti (チタン) は、脱酸元素であるとともに、ピン止め粒子として機能するTiNを形成する元素である。また、Tiは、固溶Nを低減して動的ひずみ時効を抑制する作用、及び、耐水素脆化特性を高める作用を有する元素である。また、鋼中のBNの生成を抑制する効果がある。Ti含有量が0.005%未満である場合、動的ひずみ時効による冷間加工性の劣化、耐水素脆化特性の劣化、鋼中のBNの過剰生成が発生する場合がある。よって、Ti

含有量の下限を0.005%以上とする。好ましくは0.007%以上、より好ましくは0.0010%以上である。一方、Ti含有量が0.100%超である場合、上述の効果が飽和すると共に、熱間圧延の際に疵が発生し易くなる。従ってTi含有量は0.100%以下とする。好ましくは0.080%以下であり、より好ましくは0.040%以下である。

[0023] [B : 0.0003~0.0050%]

B（硼素）は、硬質組織への変態（ベイナイト変態）を促進させ、引張強さを高める元素である。B含有量が0.0003%未満である場合、硬質組織への変態（ベイナイト変態）が促進されず、恒温変態処理時に初析フェライト組織やパーライト組織が過剰に生成する場合がある。よって、B含有量の下限を0.0003%以上とする。好ましくは0.0005%以上であり、より好ましくは0.0007%以上である。一方、B含有量が0.0050%を超えると、鋼中にBNやFe₂₃(BC)₆などが生成し、冷間加工性が劣化する場合がある。従って、B含有量は0.0050%以下とする。好ましくは0.0030%以下である。

[0024] [N : 0.0150%以下]

N（窒素）は、動的ひずみ時効により冷間加工性を劣化させる元素である。本実施形態に係るボルトはNを含有する必要がないので、N含有量の下限値は0%である。但し、製造コスト（脱窒コスト）の低減の観点から、N含有量は0%超であってもよく、0.0002%以上であってもよく、0.0005%以上であってもよい。N含有量が0.0150%超の場合、動的ひずみ時効による冷間加工性の劣化が顕著である。よってN含有量は0.0150%以下に制限する。好ましくは0.0040%以下である。

[0025] [O : 0.0100%以下]

O（酸素）は、不可避免的に鋼に混入する不純物元素であり、鋼中にAl及びTi等の酸化物として存在する。本実施形態に係るボルトはOを含有する必要がないので、O含有量の下限値は0%である。但し、製造コスト（脱酸コスト）の低減の観点から、O含有量は、0%超であってもよく、0.00

0.2%以上であってもよく、0.0005%以上であってもよい。O含有量が0.0100%を超える場合、粗大な酸化物が鋼中に生成して、疲労破壊が生じ易い。従ってO含有量は0.0100%以下とする。好ましくは0.0050%以下である。

[0026] [残部：Fe及び不純物]

本実施形態のボルトの鋼の化学組成において、上述した各元素を除いた残部は、Fe及び不純物である。ここで、不純物とは、原材料に含まれる成分、又は、製造の工程で混入する成分であって、意図的に鋼に含有させたものではない成分を指す。

[0027] なお、本実施形態のボルトの鋼の化学組成は、Feの一部に代えて、下記A群、B群およびC群からなる群から選択される1種又は2種以上を含有してもよい。

[A群] Cr：1.50%以下、Mo：0.50%以下、Nb：0.050%以下、V：0.20%以下、W：0.20%以下からなる群から選択される1種又は2種以上。

[B群] Cu：0.50%以下、Ni：0.50%以下からなる群から選択される1種又は2種。

[C群] Ca：0.0100%以下、Mg：0.0100%以下、Ce：0.020%以下、Sn：0.0400%以下からなる群から選択される1種又は2種以上。

[0028] [A群] について

本実施形態のボルトの鋼の化学組成は、Feの一部に代えて、質量%で、Cr、Mo、Nb、V、Wの1種又は2種以上を含有してもよい。これらの元素は、硬質組織への変態（ベイナイト変態）を促進させ、引張強さを高める元素である。

[0029] [Cr：1.50%以下]

Cr（クロム）は、任意の元素であり、硬質組織への変態（ベイナイト変態）を促進させ、鋼の引張強さを高める元素である。Crの含有効果を発現

するためには、より好ましくは0.02%以上であり、更に好ましくは0.03%以上であり、更に好ましくは0.05%以上であり、特に好ましくは0.10%以上である。一方、Cr含有量が1.50%超である場合、局所的にマルテンサイト組織が生成し、冷間加工性が劣化する場合がある。従ってCr含有量は1.50%以下とする。好ましくは1.30%以下であり、より好ましくは1.00%以下である。

[0030] [Mo : 0.50%以下]

Mo（モリブデン）は、任意の元素であり、Crと同様に硬質組織への変態（ベイナイト変態）を促進させ、鋼の引張強さを高める元素である。Moの含有効果を発現するためには、より好ましくは0.02%以上であり、更に好ましくは0.03%以上であり、更に好ましくは0.05%以上であり、特に好ましくは0.10%以上である。一方、Mo含有量が0.50%超である場合、局所的にマルテンサイトが生成し、冷間加工性が劣化する場合がある。従ってMo含有量は0.50%以下とする。好ましくは0.40%以下であり、より好ましくは0.35%以下である。

[0031] [Nb : 0.050%以下]

Nb（ニオブ）は、任意の元素であり、硬質組織への変態（ベイナイト変態）を促進させ、引張強さを高める元素である。Nbの含有効果を発現するためには、好ましくは0.002%以上である。一方、Nb含有量が0.050%超である場合、鋼の熱間延性が低下し、線材圧延時に表面疵が発生しやすくなる。この表面疵に起因して、冷間加工性が低下する場合がある。従ってNb含有量は0.050%以下とする。好ましくは0.040%以下である。

[0032] [V : 0.20%以下]

V（バナジウム）は、任意の元素であり、硬質組織への変態（ベイナイト変態）を促進させ、引張強さを高める元素である。これらの効果を得る観点から、V含有量は好ましくは0%超または0.02%以上であり、より好ましくは0.04%以上である。一方、V含有量が0.20%超である場合、

鋼の熱間延性が低下し、線材圧延時に表面疵が発生しやすくなる。この表面疵に起因して、冷間加工性が低下する場合がある。したがって、V含有量は0.20%以下とする。好ましくは0.15%以下である。

[0033] [W : 0.20%以下]

W（タングステン）は、任意の元素であり、硬質組織への変態（ベイナイト変態）を促進させ、引張強さを高める元素である。これらの効果を得る観点から、Wの含有量は好ましくは0%超または0.02%以上であり、より好ましくは0.04%以上である。一方、Wの含有量が0.20%超である場合、鋼の熱間延性が低下し、線材圧延時に表面疵が発生しやすくなる。この表面疵に起因して、冷間加工性が低下する場合がある。したがって、Wの含有量は0.20%以下とする。好ましくは0.15%以下である。

[0034] [B群] について

また、本実施形態のボルトの鋼の化学組成は、Feの一部に代えて、Cu、Niの1種又は2種を含有してもよい。

[0035] [Cu : 0.50%以下]

Cu（銅）は、任意の元素であり、耐水素脆化特性を向上させたいときに含有させてもよい。Cuは、0%超でもよく、0.02%以上でもよい。一方、Cu含有量が0.50%を超えると、鋼の熱間延性が低下し、線材圧延時に表面疵が発生しやすくなる。この表面疵に起因して、冷間加工性が低下する場合がある。よって、Cu含有量は0.50%以下とする。好ましくは0.35%以下である。

[0036] [Ni : 0.50%以下]

Ni（ニッケル）は、任意の元素である。Niは、Cuを含有する場合に、Cuによる鋼材の熱間延性の低下を抑制するために含有させてもよい。Niは、0%超でもよく、0.02%以上でもよい。一方、Ni含有量が0.50%を超えると、鋼の熱間延性が低下し、線材圧延時に表面疵が発生しやすくなる。この表面疵に起因して、冷間加工性が低下する場合がある。よって、Ni含有量は0.50%以下とする。好ましくは0.35%以下である。

。

[0037] [C群] について

また、本実施形態のボルトの鋼の化学組成は、Feの一部に代えて、Ca、Mg、Snの1種又は2種以上を含有してもよい。

[0038] [Ca : 0.0100%以下]

Ca（カルシウム）は、任意の元素である。Caは脱酸元素であり、鋼中のMnSの形状を球状化し、冷間加工性や被削性を向上させる効果があるため、これらの特性を向上させたい場合は含有してもよい。Caは、0%超でもよく、0.0002%以上でもよく、0.0005%以上でもよい。一方、Ca含有量が0.0100%を超えると、Ca系介在物が鋼中に混入しやすくなり、冷間加工性が低下する場合がある。よって、Ca含有量は0.0100%以下とする。好ましくは0.0050%以下である。

[0039] [Mg : 0.0100%以下]

Mg（マグネシウム）は、任意の元素である。Mgは脱酸元素であり、鋼材中のMnSの形状を球状化し、冷間加工性や被削性を向上させる効果があるため、これらの特性を向上させたい場合は添加してもよい。Mgは、0%超でもよく、0.0002%以上でもよく、0.0005%以上でもよい。一方、Mg含有量が0.0100%を超えると、Mg系介在物が鋼中に混入しやすくなり、冷間加工性が低下する場合がある。よって、Mg含有量は0.0100%以下とする。好ましくは0.0050%以下である。

[0040] [Ce : 0.020%以下]

Ce（セリウム）は、任意の元素である。Ceは脱酸元素であり、鋼材中のMnSの形状を球状化し、冷間加工性や被削性を向上させる効果があるため、これらの特性を向上させたい場合は添加してもよい。Ceは、0%超でもよく、0.002%以上でもよく、0.005%以上でもよい。一方、Ce含有量が0.020%を超えると、Ce系介在物が鋼中に混入しやすくなり、冷間加工性が低下する場合がある。よって、Ce含有量は0.020%以下とする。好ましくは0.015%以下である。

[0041] [S n : 0. 0 4 0 0 %以下]

S n (錫) は、任意の元素である。S n は耐食性を向上させる効果があるため、耐食性を向上させたい場合は含有してもよい。S n は、0 %超でもよく、0. 0 0 0 2 %以上でもよく、0. 0 0 0 5 %以上でもよい。一方、S n 含有量が0. 0 4 0 0 %を超えると、鋼の熱間延性が低下し、線材圧延時に表面疵が発生しやすくなる。この表面疵に起因して、冷間加工性が低下する場合がある。よって、S n 含有量は0. 0 4 0 0 %以下とする。好ましくは0. 0 2 0 0 %以下である。

[0042] ≪金属組織≫

次に、金属組織について説明する。本実施形態に係るボルトの鋼の金属組織は、軸部のC断面（軸部の中心軸に対して垂直な断面）において、ボルトの軸部直径をDとした場合の軸部表面からの深さD / 4 位置における金属組織の9 5 %以上が硬質組織である。

[0043] 更に、本実施形態に係るボルトは、軸部中心におけるフェライトの（2 1 1）面に対応するX線回折ピークの半価幅 β_c と、軸部表層から5 0 0 μ mまでの領域におけるフェライトの（2 1 1）面に対応するX線回折ピークの半価幅の最大値 β_{MAX} との比 β_{MAX} / β_c は1. 5 0 以下とする。

[0044] （硬質組織）

硬質組織は、過冷変態組織であって、恒温変態処理によって得られる組織である。硬質組織は走査電子顕微鏡で観察した時に炭化物相が分散したフェライト相からなる組織として観察される。硬質組織は、ベイナイト組織と称される場合もある。硬質組織は、炭化物相とフェライト相のラメラ組織であるパーライト組織を有さない。また、マルテンサイト組織は本発明において硬質組織に含まれない。

なお、本実施形態の鋼材のミクロ組織において、マルテンサイト組織、初析フェライト組織及びパーライト組織以外の組織を「硬質組織」と定義したとき、ミクロ組織中の硬質組織の面積率が9 5 %以上であって、かつ、ボルトの鋼の引張強さが8 0 0 ~ 1 7 0 0 MP aであれば、そのボルトの鋼のミ

クロ組織は実質的に硬質組織である。

[0045] 硬質組織は、高強度と優れた加工性とを有する。これにより、ボルトの鋼の強度及び冷間加工性が向上する。本実施形態に係るボルトの鋼の金属組織は、熱間圧延後に連続冷却された後、恒温変態処理されるため、硬質組織以外に、初析フェライト組織とパーライト組織を含む場合がある。初析フェライト組織とパーライト組織は走査電子顕微鏡による観察で硬質組織と明確に識別される。初析フェライト組織とパーライト組織の面積率が5%超の場合、金属組織が不均一になるので、ボルトの形状に圧造する際に割れが発生しやすくなる。よって、初析フェライト組織とパーライト組織は、5%以下であることが望ましく、1%以下がさらに好ましく、0%でもよい。また、マルテンサイト組織が金属組織に含まれる場合、ボルトの形状に圧造する際に割れが発生しやすくなる。よって、金属組織にマルテンサイト組織を含んではならない。マルテンサイトは走査電子顕微鏡で白色の組織として観察され、硬質組織と明確に識別される。

[0046] (硬質組織の面積率の測定方法)

本明細書において、硬質組織の面積率(%)は、以下の手順によって求められた値を指す。

[0047] ボルトの軸部のC断面(ボルト軸方向に垂直な断面)を、ピクラル(エタノール100mlに対しピクリン酸4gの混合溶液)を用いて10秒間エッチングし、金属組織を現出させる。組織の判別が困難である場合は、さらに10秒以内のエッチングを追加してもよい。

次いで、図1に示すように、エッチング後の軸部のC断面における軸部表面からの深さD/4位置(即ち、円周状の位置)から、円周方向に90°おきに4箇所の観察位置を選び、各々の観察位置について、FE-SEM(電界放出型走査電子顕微鏡: Field Emission - Scanning Electron Microscope)を用いて倍率1000倍のSEM写真を撮影する。

[0048] 得られた4つのSEM写真において、硬質組織以外の組織(初析フェライ

ト組織、パーライト組織）を目視でマーキングし、金属組織全体に対する硬質組織以外の組織の面積率（％）を画像解析によって求める。得られた硬質組織以外の組織の面積率（％）を100％から差し引くことにより、硬質組織の面積率（％）を得ることができる。なお、ボルトの軸部のC断面の位置は、ボルト座面からボルト軸方向に沿って7mm離れた位置の軸部のC断面とする。硬質組織以外の組織が見当たらない場合は、硬質組織の面積率を100％としてよい。

[0049] (β_{MAX}/β_C)

本実施形態に係るボルトでは、ボルト頭部と軸部との接続部の軸部中心におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅 β_C と、接続部の表面から軸部の中心軸線に向かう深さ500 μ mまでの領域におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅の最大値 β_{MAX} との比 β_{MAX}/β_C が1.50以下とする。本発明者らは、ボルトの耐水素脆化特性を向上させるため、鋭意検討した結果、フェライト相のX線回折ピークの半価幅と耐水素脆化特性との相関を見出した。より具体的には、 β_{MAX}/β_C が1.50以下であるときに、ボルトの耐水素脆化特性が優れることを見出した。

[0050] β_{MAX}/β_C が1.50超の場合、ボルトの耐水素脆化特性が十分でなく、水素脆化による破断が生じやすくなる。好ましくは1.40以下であり、より好ましくは1.35以下である。一方、 β_{MAX}/β_C の下限は特に規定されないが、製造性の面から、0.50以上であることが好ましい。また、 β_{MAX}/β_C の下限は、0.70以上であってもよく、0.80以上であってもよい。

[0051] (X線回折ピークの半価幅の測定位置及び測定方法)

β_{MAX}/β_C の分母である半価幅 β_C は、ボルト頭部と軸部との接続部の軸部中心において測定する。また、 β_{MAX}/β_C の分子である β_{MAX} は、ボルト頭部と軸部との接続部の表面から軸部の中心軸線に向かう深さ500 μ mまでの領域の複数箇所においてX線回折ピークの半価幅を測定し、その中の最大値

とする。本実施形態に係るボルトは、いわゆる非調質ボルトであって、ボルト形状に仕上げるための冷間加工時に導入される歪がボルトに残存する。そのため、測定位置によってX線回折ピークの半価幅が大きく変化する。X線回折ピークの半価幅の比を接続部において測定する理由は、ボルト頭部と軸部との接続部は、応力集中を受けやすい箇所であって、水素脆化による遅れ破壊の起点となりやすいためであり、この接続部のX線回折ピークの半価幅の比を制御することで、耐水素脆化特性を向上することが可能になることを見出したためである。以下、図面を参照して測定位置を説明する。

[0052] 図2は、半価幅 β_{MAX} 及び半価幅 β_C の測定位置を説明する断面模式図である。図2には、ボルト頭部と軸部との接続部近傍の断面であって、軸部の中心軸を含むL断面（ボルト軸方向に平行な断面）を示している。

[0053] まず図2において、符号1は、L断面におけるボルトの座面の輪郭線であり、符号2は、L断面における円筒部の輪郭線であり、符号3は、ボルト頭部と軸部との接続部の表面の輪郭線である。なお、全ねじボルトの場合の円筒部の輪郭線は不完全ねじ部の輪郭をとる。ボルト頭部の下面の輪郭線1と、軸部の表面の輪郭線2とは、相互に交差する方向を向いている。ここで、ボルトの座面とは、ねじ部品の締付けのとき直接力を受ける面の部分をいう（ただし、ねじのフランク面を除く）。円筒部はおねじ部品の頭部とねじ部との間にある円筒部分をいう。図2の例では、輪郭線1と軸部の表面の輪郭線2とはほぼ直交しているが、後述する別例に示すように、必ずしも直交している必要はない。また、ボルト頭部の下面と軸部の表面との接続部分は微小なR面となっているため、接続部の表面の輪郭線3は、交差方向に延在する輪郭線1、2を結ぶように凹曲線で近似的に表すことができる。

[0054] ここで、ボルト頭部の下面の輪郭線1の延長線を l_{flg} とし、軸部の表面の輪郭線2の延長線を l_{axis} とし、延長線 l_{flg} と延長線 l_{axis} との交点をAとする。

[0055] 次に、図2に示すように、交点Aから、接続部の表面の輪郭線3に向けて線分を描き、線分と輪郭線3との交点をOとする。交点Aから輪郭線3に向

けて描く線分は、延長線 l_{fig} とのなす角が 45° になるような線分である。

[0056] 次に、図2に示すように、交点Oから、軸部の中心軸線4に向けて、延長線 l_{fig} と平行な延長線 $l_{measure}$ を延ばす。延長線 $l_{measure}$ と中心軸線4との交点をCとする。

[0057] そして図2に示すように、交点Cを半価幅 β_C の測定位置とする。また、図2に示すように、交点Oから延長線 $l_{measure}$ に沿って深さ $500\mu m$ までの領域Dを、半価幅 β_{MAX} の測定領域とする。

[0058] 図2に示したように、ボルト頭部と軸部との接続部近傍の断面であって、ボルトの中心軸を含む接続部のL断面を、後述するように鏡面仕上げにする。そして、図2の交点CにおいてX線回折測定を行い、交点Cにおいて、フェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅(半価幅は、FWHM: Full Width Half Maximum (半値全幅)を意味する)を測定する。X線回折測定は5回行う。5回の測定によって得られた5つの半価幅の平均値を半価幅 β_C とする。

[0059] また、図2に示すように延長線 $l_{measure}$ に沿って深さ $500\mu m$ までの領域Dから、5点の測定位置を設定する。例えば、交点Oから $100\mu m$ 、 $200\mu m$ 、 $300\mu m$ 、 $400\mu m$ 、 $500\mu m$ だけ離れた5点を測定位置とし、各測定位置において、フェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅(半価幅は、FWHM: Full Width Half Maximum (半値全幅)を意味する)を測定する。X線回折測定は各測定点においてそれぞれ5回行い、5回の平均をそれぞれの測定位置における半価幅とする。そして、5箇所の測定位置で得られた半価幅のうち、最大の半価幅を半価幅 β_{MAX} とする。

[0060] そして、半価幅 β_C と半価幅の最大値 β_{MAX} との比 β_{MAX}/β_C を求める。

[0061] 測定対象であるフェライト相は、主に硬質組織に含まれるものであり、体心立方構造を有する $\alpha-Fe$ を指す。より詳細には、硬質組織を構成する炭化物以外の部分(ベイニティックフェライトと呼ばれることもある)である。また、フェライト相の(211)面に対するX線回折ピークは、下記条件

でX線回折測定を行った場合に $150^{\circ} \sim 170^{\circ}$ の範囲内にピーク位置が存在するX線回折ピークである。

[0062] X線回折測定で得られた回折プロファイルは、次の手順で前処理する。以下では、X線回折測定の測定区間内にフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピーク以外のX線回折ピークが含まれていないことを前提とする。

得られた回折プロファイルに対して、Savitzky-Golayの方法 (A. Savitzky and M. J. E. Golay, Anal. Chem., 36 (1964), p. 1627-1639.) により平滑化処理を行う。平滑化点数 (Savitzky and Golay (1964) における $2m+1$ の値に相当) は7とする。

続いて、X線回折測定の走査開始角度と走査終了角度における強度を用いて、測定開始角度と測定終了角度の間を直線で結び、その直線をバックグラウンドとして平滑化した回折プロファイルから差し引く。バックグラウンドを差し引いた回折プロファイルに対して、Rachingerの方法 (Rachinger, W. A., J. Sci. Instrum., 25 (1948), p. 254-255.) を適用し、バックグラウンドを差し引いた回折プロファイル中のフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークから $K\alpha_2$ 線に対応するX線回折ピークを除去する。 $K\alpha_1$ 線に対応するX線回折ピークと $K\alpha_2$ 線に対応するX線回折ピークの強度比は2:1とした。以上の手順から求めた回折プロファイルから、FWHMを求め、これを当該測定位置におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅とする。

[0063] なお、下記測定条件のうち、回折装置を除く条件が満たされればよいので、X線回折装置はRigaku製と同等の装置を用いてもよい。

[0064] (X線回折の測定条件)

X線回折装置: Rigaku AutoMATE

X線ターゲット: CrK α

加速電圧：40 kV

加速電流：40 mA

コリメータ径： $\phi 150 \mu\text{m}$

X線走査範囲（走査開始角度～走査終了角度）： $146^{\circ} \sim 165^{\circ}$

[0065] なお、X線回折測定を行う場合、ボルトの軸部のL断面を、以下に説明するように処理した後に、測定を行うとよい。

具体的には、ボルトの軸部のL断面を、まず#400から#1500のエメリー紙（炭化珪素耐水研磨紙）で湿式研磨する。その後ダイヤモンド懸濁液（粒度1～6 μm のダイヤモンドパウダーをアルコール等の希釈液や純水に分散させた液体）を染み込ませた琢磨布で試験片を琢磨することにより、試験片を鏡面に仕上げる。その後、コロイダルシリカ琢磨により、試験片表層の加工変質層を除去する。そして、軸部中心、および接続部の表面から500 μm までの領域内（例えば表層から100 μm 、200 μm 、300 μm 、400 μm 、500 μm の5点）において、フェライト相の（211）面に対応するX線回折ピークの半価幅を測定する。

[0066] また、ボルトの軸部の表層に電気亜鉛めっき等の皮膜が存在する場合、皮膜部分の表層を測定の起点とせず、地鉄部分の表層を測定の起点とする。また、測定の起点におけるX線の照射領域（コリメータ径と同じ直径の円領域）内に地鉄以外の領域が含まれないように、測定の起点を設定する。すなわち、測定の起点におけるX線の照射領域が地鉄部分の表層部分に外接するように、測定の起点を設定する。

[0067] 更にボルトの別の例として、例えば、図3に示すように、軸部の頭部側の端部がテーパ形状になっているボルトがある。図3において、符号1は、L断面におけるボルトの座面の輪郭線であり、符号2は、L断面における円筒部の輪郭線であり、符号3は、ボルト頭部と軸部との接続部の表面の輪郭線である。さらにこの例では、輪郭線2、3の間に、軸部に設けられたテーパ形状の輪郭線2aがある。

[0068] ボルト頭部の下面の輪郭線1と、テーパ形状の輪郭線2aとは、相互に

交差する方向を向いている。図3では、軸部のテーパ部分の輪郭線2 aは、テーパ形状の分だけ、軸部の輪郭線2に対して傾いており、また、輪郭線1とは直交していない。また、ボルト頭部の下面と軸部の表面との接続部分は微小なR面となっているため、接続部の表面の輪郭線3は、交差方向に延在する輪郭線1、2 aを結ぶように凹曲線で近似的に表される。

[0069] このように、テーパ形状を有するボルトの場合、図3に示すように、ボルト頭部の下面の輪郭線1の延長線を l_{fig} とし、軸部のテーパ部分の輪郭線2 aの延長線を l_{axis} とし、延長線 l_{fig} と延長線 l_{axis} との交点をAとする。次いで、交点Aから、輪郭線3に向けて線分を描き、線分と輪郭線3との交点をOとする。交点Aから輪郭線3に向けて描く線分は、延長線 l_{fig} とのなす角が 45° になるような線分である。次いで、交点Oから、軸部の中心軸線4に向けて、延長線 l_{fig} と平行な延長線 $l_{measure}$ を延ばす。延長線 $l_{measure}$ と中心軸線4との交点をCとする。そして、交点Cを半価幅 β_C の測定位置とする。また、交点Oから延長線 $l_{measure}$ に沿って深さ500 μm までの領域Dを、半価幅 β_{MAX} の測定領域とする。

[0070] 更に、図4に示すように、ボルトの更に別の例として、軸部と頭部の接続部分において、頭部の下面がアンダーカットされているボルトがある。図4において、符号1は、L断面におけるボルトの座面の輪郭線であり、符号2は、L断面における円筒部の表面の輪郭線であり、符号3 aは、ボルト頭部と軸部との接続部の表面の輪郭線である。輪郭線3 aは、アンダーカットされた形状の輪郭線になっている。軸部の輪郭線2と、アンダーカット形状の輪郭線3 aとの接続点である点Bは、頭部の下面よりも図中、低い位置にある。また、頭部の下面の輪郭線1と、軸部の輪郭線2 aとは、相互に直交する方向を向いている。接続部の表面の輪郭線3 aは、アンダーカットの形状を反映しつつ、交差方向に延在する輪郭線1、2 aを結ぶように凹曲線で近似的に表される。

[0071] このように、アンダーカットを有するボルトの場合、図4に示すように、ボルト頭部の下面の輪郭線1の延長線を l_{fig} とし、軸部の輪郭線2の延長線

を l_{axis} とし、延長線 l_{flg} と延長線 l_{axis} との交点を A とする。次いで、交点 A から、輪郭線 3 a に向けて線分を描き、線分と輪郭線 3 a との交点を O とする。交点 A から輪郭線 3 a に向けて描く線分は、延長線 l_{flg} とのなす角が 45° になるような線分である。次いで、交点 O から、軸部の中心軸線 4 に向けて、延長線 l_{flg} と平行な延長線 $l_{measure}$ を延ばす。延長線 $l_{measure}$ と中心軸線 4 との交点を C とする。そして、交点 C を半価幅 β_c の測定位置とする。また、交点 O から延長線 $l_{measure}$ に沿って深さ $500\mu m$ までの領域 D を、半価幅 β_{MAX} の測定領域とする。

[0072] <<引張強さ>>

本実施形態に係るボルトの引張強さは $800 \sim 1700 MPa$ の範囲とする。本実施形態に係るボルトは、引張強さが $800 MPa$ 以上のボルトでありながら、優れた耐水素脆化特性を有する。また、引張強さが $1700 MPa$ 以下であることにより、ボルトの製造適性に優れる。

[0073] 本明細書において、ボルトの鋼の引張強さは、JIS B 1051 : 2014 に記載の試験方法に準拠して測定された値を意味する。

[0074] 次に、本実施形態に係るボルトの製造方法を説明する。本実施形態のボルトは、線材及び鋼線を製造する段階と、得られた鋼線からボルトを製造する段階からなる。

[0075] <線材および鋼線の製造>

本発明の実施形態に係るボルトと同一の化学組成を有する鋼片を加熱し、仕上げ圧延温度 $900^\circ C$ 超で熱間圧延する。熱間圧延の後、巻取り終了温度から $500^\circ C$ までの温度区間を、 $10^\circ C / 秒$ 以上の平均冷却速度（巻取り終了温度から $500^\circ C$ までの温度区間における冷却速度の時間算術平均）で冷却する。次いで、恒温保持（恒温変態処理）を行って線材を得る。

[0076] 具体的には、熱間圧延後の巻取終了後に、直ちに線材を $350 \sim 500^\circ C$ の熔融塩槽に浸漬させ、そのまま恒温保持を行う。線材の十分な温度保持と生産性の観点から、熔融塩槽への浸漬時間は $5 \sim 150$ 秒とする。なお、熔融塩槽に所定時間保持した後の冷却は、水冷でも放冷でもよい。なお、浸漬

槽として、溶融塩槽ではなく、鉛浴槽や流動床などの設備を使用しても、同様の効果が得られる。

[0077] その後、伸線加工を行うことによって、鋼線を製造する。このとき、単一のパスあるいは複数のパスで伸線を行い、総減面率を15～65%とする。

[0078] 単一のパスあるいは複数のパスのどちらで伸線するかにかかわらず、総減面率は15%以上とする。総減面率が低過ぎる場合、耐水素脆化特性が低下する場合がある。また、十分な引張強さが得られない場合がある。

[0079] 単一のパスあるいは複数のパスのどちらで伸線するかにかかわらず、総減面率が高過ぎる場合、鋼線からボルトを製造する際（冷間鍛造）に加工割れが発生しやすくなるため、総減面率は65%以下とする。

[0080] なお、製造される鋼線の直径は、特に制限はなく、本発明の実施形態に係るボルトの寸法に応じて、適切な直径が選択されればよいが、例えば10.0mm以下としてもよい。ボルトの軸部直径も同様に10.0mm以下としてもよい。

[0081] 次に、得られた鋼線を冷間加工（冷間鍛造）することにより、ボルトの形状に加工する。冷間鍛造工程は、剪断工程、前方押出し工程、ボルト頭部予備成形工程、ボルト頭部仕上げ工程からなる。各工程について、図5～図7を参照しつつ説明する。

[0082] 本実施形態のボルトは、下記の製造方法によって製造されたものに限られるものではなく、下記の製造方法以外の製造方法によって製造されたボルトであっても、化学組成、金属組織、およびX線回折ピークの半価幅の比（比 β_{MAX}/β_C ）が本発明の範囲を満足するものであれば、本発明のボルトに含まれる。

[0083] 剪断工程では、得られた鋼線を切断し、必要な長さを有するブランク材に加工する。

前方押出し工程では、図5に示すように、ブランク材1に対して前方押出し加工を施すことにより、ブランク材1の一部を絞り、押出加工材1aとする。押出加工材1aの絞り部2（前方押出し加工部）には、フランジ付六角

ボルトの形状に仕上げられたときの首下部に相当する部分が含まれる。その後、ボルト頭部予備成形工程、ボルト頭部仕上げ工程を経てボルト頭部を成形する（工程１）。

[0084] 前方押し出し工程における減面比 R を、例えば、 0.10 以上とすればよい。減面比 R は、押し出し加工材 1 a の大径部 3 の断面積を A_0 、押し出し加工材 1 a の絞り部 2 の断面積を A_1 としたとき、 $(A_0 - A_1) / A_0$ と定義される。前方押し出し工程により、ボルトの歪分布が調整され、ボルト頭部と軸部との接続部における X 線回折ピークの半価幅の比（比 β_{MAX} / β_C ）を 1.50 以下とすることができる。

[0085] ボルト頭部予備成形工程では、図 6 に示すように、前方押し出し加工した押し出し加工材 1 a の大径部 3（前方押し出し加工が施されていない部分）を据込むことで、据込み加工を受けた大径部 1 3 を有する予備成形材 1 b とする。予備成形材 1 b は、押し出し加工材 1 a の大径部 3 に対し、大径部 1 3 の外径が拡大されるとともに大径部 1 3 の高さが小さくなったものとなる（工程 2）。

[0086] ボルト頭部仕上げ工程では、図 7 に示すように、ボルト頭部予備成形工程後の予備成形材 1 b を仕上げ成形ダイス孔型 2 1 に挿入し、パンチ 2 0 で据込むことによって、最終的なボルトの形状に加工する。このとき、予備成形材 1 b の下にロックアウト 2 2 を配置することにより、予備成形材 1 b を位置決めする。予備成形材 1 b を仕上げ成形ダイス孔型 2 1 に挿入する際には、予備成形材 1 b の大径部 1 3（据込み加工部）の下端 1 3 a と仕上げ成形ダイス孔型 2 1 の上端 2 1 a が接触しないように配置する（工程 3）。なお、パンチ 2 0 には、成形するボルト頭部形状に応じた適切な型孔が形成されていてもよい。例えばフランジ付六角ボルトを成形する場合、六角形の型孔が形成されたパンチを使用する。

[0087] 大径部 1 3（据込み加工部）の下端 1 3 a と仕上げ成形ダイス孔型 2 1 の上端 2 1 a の間の距離は、 (ΔL) mm 以上、 $(\Delta L + r)$ mm 以下であることが望ましい。ここで、 ΔL は下記式によって求めることができる。

[0088] $\Delta L = L_2 \times [(S_2 / S_1) - 1]$

[0089] 上記式において、 S_1 ：予備成形材1bの軸部断面積、 S_2 ：ボルト頭部仕上げ工程後の軸部断面積、 L_2 ：ボルト頭部仕上げ工程後の軸部長さ、 r ：ボルト頭部仕上げ工程後の軸部半径である。

[0090] 下端13aと上端21aの距離が (ΔL) mm未満の場合、X線回折ピークの半価幅の

比 β_{MAX}/β_C が1.50超となる可能性があり、 $(\Delta L + r)$ mm超の場合は、ボルト頭部仕上げ工程で座屈が生じる可能性がある。よって、下端13aと上端21aの距離は (ΔL) mm以上、 $(\Delta L + r)$ mm以下がよい。

[0091] このようにしてボルト頭部予備成形工程およびボルト頭部仕上げ工程を設計することで、ボルト頭部と軸部との接続部におけるX線回折ピークの半価幅の比 β_{MAX}/β_C を1.50以下とすることができる。

[0092] 冷間鍛造工程の後、転造によりボルトの軸部にねじ部を形成する。

[0093] 本実施形態に係るボルトは、このままでも高強度であるが、降伏強度や降伏比、延性等の、ボルトとして必要な他の機械的特性を向上させるために、ボルト形状に仕上げた後に200～600℃に10～300分保持し、その後、冷却してもよい。なお、この熱処理は調質のための熱処理には該当しない。

[0094] また、防錆のため、電気亜鉛めっき等の皮膜処理を行ってもよい。また、前述の防錆皮膜処理によりボルト中に水素が侵入する場合は、水素をボルト外部に放出するための熱処理として、150～250℃に60～480分保持し、その後、冷却してもよい。なお、この熱処理は調質のための熱処理には該当しない。

[0095] このように、本実施形態では、本発明に係る化学組成を有する鋼線に対して、前述のような、剪断工程、前方押出し工程、ボルト頭部予備成形工程、ボルト頭部仕上げ工程に沿って冷間鍛造し、ボルトの形状に成形することで、ボルト頭部と軸部との接続部におけるX線回折ピークの半価幅の比 β_{MAX}/β_C を1.50以下にすることが可能になり、水素脆化を原因とする接続部を起点とする遅れ破壊を防止できるようになる。

実施例

[0096] <ボルトの製造>

最初に、表 1 A～表 2 B に示す化学組成の鋼片を用い、鋼線を次のような手順で製造した。表 1 A～表 2 B 中の各鋼種の化学組成において、表 1 A～表 2 B に示した元素以外の残部は、F e 及び不純物である。なお、鋼線の化学組成は、鋼片の化学組成と同一であると見なせる。その理由は、次の手順に含まれる熱間圧延、恒温変態処理、水冷、風冷、伸線加工は、いずれも鋼線の化学組成に影響を及ぼさないためである。

[0097]

[表1A]

番号	化学組成(単位は質量%、残部はFe及び不純物)									
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	B	N	O
1	0.18	0.25	1.26	0.010	0.012	0.031	0.019	0.0014	0.0036	0.0016
2	0.80	0.12	1.15	0.009	0.009	0.039	0.014	0.0013	0.0030	0.0020
3	0.63	0.01	1.07	0.010	0.012	0.028	0.016	0.0013	0.0034	0.0019
4	0.22	1.42	0.88	0.011	0.008	0.038	0.012	0.0012	0.0039	0.0019
5	0.69	0.30	0.54	0.011	0.008	0.029	0.017	0.0018	0.0038	0.0019
6	0.27	0.08	1.91	0.008	0.008	0.038	0.016	0.0020	0.0026	0.0027
7	0.46	0.19	0.97	0.028	0.009	0.032	0.015	0.0011	0.0019	0.0021
8	0.60	0.09	0.93	0.009	0.028	0.028	0.014	0.0020	0.0026	0.0018
9	0.51	0.17	1.03	0.009	0.011	0.008	0.018	0.0014	0.0045	0.0020
10	0.56	0.14	0.86	0.008	0.008	0.076	0.017	0.0014	0.0038	0.0023
11	0.47	0.09	0.86	0.010	0.001	0.044	0.005	0.0018	0.0015	0.0018
12	0.38	0.08	1.12	0.009	0.010	0.035	0.095	0.0016	0.0027	0.0010
13	0.52	0.07	0.96	0.005	0.009	0.041	0.018	0.0003	0.0024	0.0013
14	0.58	0.15	0.97	0.008	0.011	0.033	0.018	0.0048	0.0024	0.0017
15	0.63	0.16	0.81	0.011	0.010	0.032	0.017	0.0016	0.0143	0.0023
16	0.48	0.07	0.95	0.011	0.009	0.028	0.018	0.0010	0.0037	0.0095
17	0.49	0.07	0.51	0.010	0.007	0.024	0.020	0.0015	0.0053	0.0025
18	0.42	0.05	0.57	0.004	0.008	0.039	0.022	0.0015	0.0034	0.0015
19	0.61	0.09	0.90	0.008	0.006	0.038	0.016	0.0013	0.0024	0.0028
20	0.38	0.13	0.86	0.012	0.002	0.039	0.018	0.0008	0.0022	0.0010
21	0.40	0.10	0.82	0.008	0.007	0.041	0.017	0.0010	0.0025	0.0013
22	0.59	0.11	0.71	0.012	0.006	0.028	0.015	0.0015	0.0029	0.0025
23	0.46	0.16	1.06	0.008	0.005	0.029	0.019	0.0020	0.0030	0.0017
24	0.68	0.09	0.94	0.009	0.008	0.036	0.013	0.0015	0.0046	0.0017
25	0.39	0.12	0.85	0.009	0.006	0.040	0.017	0.0012	0.0024	0.0011
26	0.73	0.23	0.91	0.009	0.010	0.039	0.016	0.0013	0.0030	0.0024
27	0.49	0.07	0.79	0.010	0.011	0.038	0.020	0.0014	0.0029	0.0014
28	0.70	0.13	0.77	0.010	0.009	0.024	0.012	0.0018	0.0027	0.0017
29	0.58	0.10	0.65	0.010	0.007	0.042	0.017	0.0018	0.0037	0.0018
30	0.65	0.25	1.04	0.009	0.003	0.030	0.023	0.0010	0.0033	0.0023
31	0.68	0.19	0.83	0.009	0.006	0.032	0.014	0.0014	0.0037	0.0028
32	0.65	0.16	1.01	0.010	0.005	0.046	0.017	0.0010	0.0029	0.0025
33	0.51	0.15	0.82	0.008	0.003	0.038	0.015	0.0017	0.0045	0.0017
34	0.53	0.26	0.88	0.011	0.000	0.034	0.015	0.0020	0.0031	0.0021
35	0.71	0.15	1.05	0.010	0.007	0.029	0.017	0.0015	0.0037	0.0017
36	0.59	0.15	0.97	0.011	0.009	0.038	0.020	0.0015	0.0015	0.0021
37	0.69	0.15	0.72	0.010	0.009	0.033	0.016	0.0015	0.0039	0.0019
38	0.44	0.20	0.70	0.010	0.012	0.029	0.015	0.0016	0.0041	0.0032
39	0.59	0.20	0.71	0.013	0.003	0.025	0.013	0.0017	0.0029	0.0013
40	0.35	0.33	1.01	0.011	0.012	0.022	0.024	0.0011	0.0024	0.0019
41	0.67	0.18	0.97	0.012	0.011	0.028	0.011	0.0016	0.0014	0.0023

[0098]

[表1B]

番号	化学組成(単位は質量%、残部はFe及び不純物)									
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	B	N	O
42	<u>0.15</u>	0.12	1.26	0.008	0.008	0.041	0.015	0.0017	0.0030	0.0013
43	<u>0.84</u>	0.27	0.91	0.011	0.009	0.033	0.015	0.0007	0.0044	0.0024
44	0.66	<u>1.53</u>	1.29	0.011	0.009	0.034	0.020	0.0012	0.0031	0.0018
45	0.70	0.11	<u>2.02</u>	0.012	0.006	0.038	0.012	0.0013	0.0008	0.0026
46	0.60	0.17	0.98	<u>0.032</u>	0.007	0.038	0.014	0.0014	0.0035	0.0027
47	0.56	0.20	0.77	0.009	<u>0.033</u>	0.042	0.018	0.0016	0.0031	0.0020
48	0.71	0.08	0.93	0.010	0.004	0.018	<u>0.002</u>	0.0013	0.0046	0.0033
49	0.46	0.30	1.02	0.009	0.011	0.033	<u>0.103</u>	0.0013	0.0026	0.0021
50	0.65	0.11	0.68	0.011	0.011	0.036	0.023	<u>0.0002</u>	0.0030	0.0019
51	0.65	0.18	1.01	0.009	0.013	0.036	0.013	<u>0.0055</u>	0.0030	0.0019
52	0.46	0.41	0.94	0.012	0.010	0.034	0.014	0.0015	<u>0.0156</u>	0.0024
53	0.60	0.16	1.04	0.012	0.009	0.023	0.018	0.0019	0.0020	<u>0.0105</u>
54	0.58	0.17	1.24	0.012	0.010	0.024	0.014	0.0012	0.0021	0.0021
55	0.62	0.15	1.07	0.009	0.010	0.032	0.016	0.0013	0.0021	0.0027
56	0.60	0.37	1.20	0.011	0.005	0.032	0.018	0.0013	0.0037	0.0019
57	0.69	0.14	0.95	0.014	0.006	0.030	0.015	0.0012	0.0040	0.0018
58	0.70	0.13	0.96	0.013	0.010	0.035	0.017	0.0015	0.0035	0.0019
59	0.68	0.15	0.99	0.010	0.006	0.032	0.015	0.0014	0.0033	0.0030
60	0.59	0.26	1.05	0.008	0.007	0.041	0.017	0.0015	0.0030	0.0020
61	0.71	0.21	1.00	0.010	0.008	0.018	0.017	0.0014	0.0032	0.0013
62	0.67	0.23	0.91	0.011	0.009	0.035	0.018	0.0018	0.0037	0.0015
63	0.63	0.22	0.89	0.010	0.010	0.027	0.014	0.0012	0.0023	0.0023
64	0.69	0.20	0.87	0.010	0.008	0.036	0.014	0.0019	0.0028	0.0019
65	0.46	0.33	0.98	0.012	0.006	0.027	0.020	0.0014	0.0040	0.0016
66	0.65	0.15	1.12	0.013	0.006	0.028	0.014	0.0018	0.0023	0.0025
67	0.56	0.11	1.11	0.009	0.004	0.035	0.017	0.0012	0.0030	0.0015
68	0.28	0.11	1.11	0.011	0.009	0.035	0.016	0.0010	0.0026	0.0021

※下線部は、本発明の範囲から外れることを意味する。

[0099]

[表2A]

番号	化学組成 (単位は質量%、残部はFe及び不純物)										
	A群					B群		C群			
	Cr	Mo	Nb	V	W	Cu	Ni	Ca	Mg	Ce	Sn
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17	1.44										
18		0.48									
19			0.049								
20				0.20							
21					0.18						
22						0.47	0.41				
23								0.0097			
24									0.0098		
25										0.019	
26											0.0350
27	0.07	0.04									
28	0.12		0.010								
29		0.11		0.06							
30						0.02	0.01				
31								0.0011	0.0009		
32								0.0015			0.0005
33	0.11					0.01					
34			0.015			0.03	0.02				
35						0.02	0.02		0.0014		
36						0.04	0.03				0.0004
37		0.06		0.04							0.0006
38	0.20							0.0014			
39	0.13					0.02	0.01	0.0012			
40											
41											

[表2B]

番号	化学組成 (単位は質量%、残部はFe及び不純物)										
	A群					B群		C群			
	Cr	Mo	Nb	V	W	Cu	Ni	Ca	Mg	Ce	Sn
42											
43											
44											
45											
46											
47											
48											
49											
50											
51											
52											
53											
54	<u>1.53</u>										
55		<u>0.52</u>									
56			<u>0.054</u>								
57				<u>0.26</u>							
58					<u>0.35</u>						
59						<u>0.55</u>					
60								<u>0.0103</u>			
61									<u>0.0105</u>		
62										<u>0.060</u>	
63											<u>0.0562</u>
64											
65											
66											
67											
68											

※下線部は、本発明の範囲から外れることを意味する。

[0101] 水準 1 ～ 6 3、6 5 ～ 6 8 では、鋼片に対し、表 2 に示す条件の熱間圧延を施し、巻取り終了温度から 5 0 0℃までの温度区間を、1 0℃／秒以上の平均冷却速度で冷却して、表 2 に示す線材径の線材を得た。次いで、恒温変態処理、水冷、及び表 3 A および表 3 B に示す条件の伸線加工を順次施すことにより、鋼線を得た。なお、いずれの水準も単一のパスで伸線した水準である。

[0102] 水準 6 4 では、鋼片に対し、表 3 B に示す条件の熱間圧延を施し、恒温変態処理を行わずに、放冷した。その後、表 3 B に示す条件の伸線加工を施す

ことにより、鋼線を得た。

[0103] 次に、各水準の鋼線を表 3 A および表 3 B に示す条件で冷間加工（冷間鍛造）することにより、呼び径が 8.0 mm または 4.0 mm であるフランジ付六角ボルトの形状（JIS B 1189 : 2015 に規定される M8、M4 フランジ付六角ボルト）に加工した。

[0104] 表 3 A および表 3 B における「圧造 1」は、以下に説明する冷間加工を行う条件とした。すなわち、剪断工程、前方押出し工程、ボルト頭部予備成形工程およびボルト頭部仕上げ工程を行った。剪断工程では、鋼線を切断してブランク材とした。前方押出し工程では、図 5 に示すように、ブランク材 1 を前方押出し加工して、絞り部 2 および大径部 3 を有する押出加工材 1 a とした。減面比は 0.12 とした。ボルト頭部予備成形工程では、図 6 に示すように、押出加工材 1 a の大径部 3 を据込むことで、据込み加工を受けた大径部 1 3 を有する予備成形材 1 b とした。ボルト頭部仕上げ工程では、図 7 に示すように、予備成形材 1 b を仕上げ成形ダイス孔型 2 1 に挿入し、六角形の型孔が形成されたパンチ 2 0 で据込むことによって、最終的なフランジ付六角ボルトの形状に加工した。加工時に、予備成形材 1 b の大径部 1 3 の下端 1 3 a が仕上げ成形ダイス孔型 2 1 の上端 2 1 a に接触しないように配置した。大径部 1 3（据込み加工部）の下端 1 3 a と仕上げ成形ダイス孔型 2 1 の上端 2 1 a の間の距離は、0.45 mm とした。なお、「圧造 1」において $\Delta L = 0.30 \text{ mm}$ であった。 $\Delta L + r$ は 0.45 mm 超であった。

[0105] 表 3 A および表 3 B における「圧造 2」は、ボルト頭部仕上げ工程において、予備成形材 1 b の大径部 1 3 の下端 1 3 a を仕上げ成形ダイス孔型 2 1 の上端 2 1 a に接触させるように配置した。すなわち、大径部 1 3（据込み加工部）の下端 1 3 a と仕上げ成形ダイス孔型 2 1 の上端 2 1 a の間の距離は、0 mm であり、 ΔL 未満だった。それ以外の条件は、「圧造 1」と同様にした。

[0106] 表 3 A および表 3 B における「圧造 3」は、前方押出し工程における減面比が 0.11 であること、ボルト頭部仕上げ工程における大径部 1 3（据込

み加工部) の下端 1 3 a と仕上げ成形ダイス孔型 2 1 の上端 2 1 a の間の距離が 0. 4 2 m m である以外は、「圧造 1」と同様の冷間加工を行った。なお、「圧造 3」において $\Delta L = 0. 4 1 \text{ m m}$ であった。 $\Delta L + r$ は 0. 4 2 m m 超であった。

[0107] なお、ボルトの鋼の化学組成は、鋼線の化学組成と同一と見なせる。その理由は、上記の冷間加工（冷間鍛造）及び熱処理は、ボルトの鋼の化学組成に影響を及ぼさないためである。即ち、ボルトの鋼の化学組成は、鋼片の化学組成と同一と見なせる。

[0108]

[表3A]

番号	線材径 (mm)	鋼線の製造条件						非調質ボルトの 製造条件
		熱間圧延		恒温変態処理		水冷	伸線加工	圧造
		加熱温度 (°C)	仕上げ圧 延温度 (°C)	溶融塩槽 温度 (°C)	溶融塩槽 浸漬時間 (s)	水冷終了 温度 (°C)	総減面率 (%)	
1	10.0	1094	861	456	63	219	27.8	圧造1
2	10.0	1083	864	459	63	224	27.8	圧造1
3	10.0	1091	855	463	63	196	27.8	圧造1
4	10.0	1095	864	458	63	226	27.8	圧造1
5	10.0	1090	859	457	63	214	27.8	圧造1
6	10.0	1102	857	470	63	208	27.8	圧造1
7	10.0	1087	858	457	63	233	27.8	圧造1
8	10.0	1097	845	466	63	235	27.8	圧造1
9	10.0	1099	865	463	63	242	27.8	圧造1
10	10.0	1090	848	468	63	223	27.8	圧造1
11	10.0	1086	862	455	63	226	27.8	圧造1
12	10.0	1090	855	459	63	208	27.8	圧造1
13	10.0	1092	872	463	63	220	27.8	圧造1
14	10.0	1095	851	461	63	224	27.8	圧造1
15	10.0	1083	853	457	63	215	27.8	圧造1
16	10.0	1081	845	457	63	205	27.8	圧造1
17	10.0	1104	863	464	63	224	27.8	圧造1
18	10.0	1109	864	468	63	221	27.8	圧造1
19	10.0	1123	868	461	63	226	27.8	圧造1
20	10.0	1106	866	460	63	220	27.8	圧造1
21	10.0	1100	869	462	63	210	27.8	圧造1
22	10.0	1098	863	461	63	230	27.8	圧造1
23	10.0	1087	858	460	63	218	27.8	圧造1
24	10.0	1092	859	452	63	217	27.8	圧造1
25	10.0	1099	870	461	63	208	27.8	圧造1
26	10.0	1086	870	463	63	226	27.8	圧造1
27	10.0	1101	852	465	63	214	27.8	圧造1
28	10.0	1098	864	458	63	216	27.8	圧造1
29	10.0	1079	867	453	63	227	27.8	圧造1
30	10.0	1114	866	457	63	206	27.8	圧造1
31	10.0	1088	858	460	63	226	27.8	圧造1
32	10.0	1108	863	460	63	204	27.8	圧造1
33	10.0	1089	872	459	63	213	27.8	圧造1
34	10.0	1113	851	454	63	221	27.8	圧造1
35	10.0	1089	850	460	63	193	27.8	圧造1
36	10.0	1102	835	468	63	223	27.8	圧造1
37	10.0	1096	865	452	63	239	27.8	圧造1
38	10.0	1089	855	452	63	224	27.8	圧造1
39	10.0	1095	853	467	63	208	27.8	圧造1
40	5.0	1085	880	459	63	225	29.4	圧造3
41	5.0	1097	866	453	63	242	29.4	圧造3

[表3B]

番号	線材径 (mm)	鋼線の製造条件						非調質ボルトの 製造条件
		熱間圧延		恒温変態処理		水冷	伸線加工	圧造
		加熱温度 (°C)	仕上げ圧 延温度 (°C)	溶融塩槽 温度 (°C)	溶融塩槽 浸漬時間 (s)	水冷終了 温度 (°C)	総減面率 (%)	
42	10.0	1097	871	460	63	215	27.8	圧造1
43	10.0	1094	860	456	63	210	27.8	圧造1
44	10.0	1086	852	454	63	222	27.8	圧造1
45	10.0	1097	865	460	63	254	27.8	圧造1
46	10.0	1086	865	455	63	207	27.8	圧造1
47	10.0	1083	853	459	63	214	27.8	圧造1
48	10.0	1098	848	459	63	216	27.8	圧造1
49	10.0	1093	857	458	63	239	27.8	圧造1
50	10.0	1087	870	471	63	204	27.8	圧造1
51	10.0	1096	854	451	63	251	27.8	圧造1
52	10.0	1088	860	464	63	238	27.8	圧造1
53	10.0	1098	850	461	63	212	27.8	圧造1
54	10.0	1100	856	464	63	184	27.8	圧造1
55	10.0	1088	851	454	63	228	27.8	圧造1
56	10.0	1081	844	458	63	221	27.8	圧造1
57	10.0	1067	880	465	63	244	27.8	圧造1
58	10.0	1071	875	468	63	232	27.8	圧造1
59	10.0	1085	862	458	63	229	27.8	圧造1
60	10.0	1082	837	462	63	219	27.8	圧造1
61	10.0	1089	851	467	63	210	27.8	圧造1
62	10.0	1090	864	466	63	209	27.8	圧造1
63	10.0	1087	855	455	63	248	27.8	圧造1
64	10.0	1088	860	(放冷)	—	—	27.8	圧造1
65	10.0	1099	864	463	4	255	27.8	圧造1
66	10.0	1099	861	458	63	236	27.8	圧造2
67	10.0	1086	849	467	63	209	27.8	圧造2
68	8.7	1101	878	469	63	224	8.5	圧造1

※下線部は、好ましい製造条件の範囲外であることを示す。

[0110] <ボルトにおける測定>

各水準のボルトについて、前述した方法により、D／4 位置における硬質組織（ベイナイト組織）の面積率の測定、D／4 位置における硬質組織（ベイナイト組織）以外の残部の確認、X線回折ピークの半価幅の測定、引張強さの測定、をそれぞれ行った。

[0111] <X線回折ピークの半価幅の測定>

各水準のボルトについて、フェライト相の（2 1 1）面に対応するX線回折ピークの半価幅の最大値 β_{MAX} との比 β_{MAX} / β_C を、前述した測定方法に

よって測定した。半価幅の算出には、X線回折装置（R i g a k u A u t o M A T E）に付属するソフトウェアを用いた。

[0112] <ボルトの引張強さの測定>

各水準のボルトについて、引張強さを、前述した測定方法によって測定した。引張試験時のクロスヘッド変位速度は3.0mm/minとした。

[0113] <ボルトの耐水素脆化特性の評価>

得られたボルトについて、以下の方法により、耐水素脆化特性を測定した。ま

ず、ボルトを電界水素チャージすることにより、0.5ppmの拡散性水素をボルトに含有させた。電解水素チャージ方法は、ISO16573に準拠した。次に、試験中に水素が機械部品から大気中に放出することを防ぐために、試料にCdめっきを施した。次に、大気中で、そのボルトの最大引張荷重の90%の荷重をボルトに負荷し、この状態で100時間以上保持した。

[0114] その結果、100時間経過時において破断が生じなかった場合を耐水素脆化特性が良好であると判断し、100時間経過時において破断が生じた場合を耐水素脆化特性が不良であると判断した。

[0115] 以上の結果を表4Aおよび表4Bに示す。

[0116]

[表4A]

番号	非調質ボルトの金属組織			β_{MAX}/β_C (-)	特性			備考
	炭素量 (%)	硬質組織 面積率 (%)	残部 組織		引張強さ (MPa)	冷間 加工性	耐水素 脆化特性	
1	0.18	96	F	1.19	805	良好	良好	本発明例
2	0.80	100	-	1.27	1580	良好	良好	本発明例
3	0.63	100	-	1.20	1290	良好	良好	本発明例
4	0.22	95	F	1.13	900	良好	良好	本発明例
5	0.69	98	F	1.24	1279	良好	良好	本発明例
6	0.27	98	F	1.16	1046	良好	良好	本発明例
7	0.46	100	-	1.23	1075	良好	良好	本発明例
8	0.60	100	-	1.30	1224	良好	良好	本発明例
9	0.51	100	-	1.32	1145	良好	良好	本発明例
10	0.56	96	F	1.24	1162	良好	良好	本発明例
11	0.47	98	F	1.20	1049	良好	良好	本発明例
12	0.38	100	-	1.18	1015	良好	良好	本発明例
13	0.52	100	-	1.22	1130	良好	良好	本発明例
14	0.58	98	F	1.22	1218	良好	良好	本発明例
15	0.63	99	F	1.25	1238	良好	良好	本発明例
16	0.48	96	F	1.16	1073	良好	良好	本発明例
17	0.49	98	F	1.29	1342	良好	良好	本発明例
18	0.42	100	-	1.18	1095	良好	良好	本発明例
19	0.61	99	F	1.23	1232	良好	良好	本発明例
20	0.38	96	F	1.18	1033	良好	良好	本発明例
21	0.40	97	F	1.20	1035	良好	良好	本発明例
22	0.59	99	F	1.19	1163	良好	良好	本発明例
23	0.46	100	-	1.26	1094	良好	良好	本発明例
24	0.68	100	-	1.20	1326	良好	良好	本発明例
25	0.39	97	F	1.19	1028	良好	良好	本発明例
26	0.73	95	F	1.23	1402	良好	良好	本発明例
27	0.49	100	-	1.17	1143	良好	良好	本発明例
28	0.70	96	F	1.17	1342	良好	良好	本発明例
29	0.58	100	-	1.30	1236	良好	良好	本発明例
30	0.65	100	-	1.14	1335	良好	良好	本発明例
31	0.68	97	F	1.23	1319	良好	良好	本発明例
32	0.65	100	-	1.20	1318	良好	良好	本発明例
33	0.51	100	-	1.20	1128	良好	良好	本発明例
34	0.53	96	F	1.26	1147	良好	良好	本発明例
35	0.71	99	F	1.22	1396	良好	良好	本発明例
36	0.59	99	F	1.24	1221	良好	良好	本発明例
37	0.69	100	-	1.23	1365	良好	良好	本発明例
38	0.44	95	F	1.24	1042	良好	良好	本発明例
39	0.59	99	F	1.24	1202	良好	良好	本発明例
40	0.35	97	F	0.91	962	良好	良好	本発明例
41	0.67	100	-	0.98	1339	良好	良好	本発明例

[0117]

[表4B]

番号	非調質ボルトの金属組織			β_{MAX}/β_C (-)	特性			備考
	炭素量 (%)	硬質組織 面積率 (%)	残部 組織		引張強さ (MPa)	冷間 加工性	耐水素 脆化特性	
42	0.15	97	F	1.19	<u>748</u>	良好	良好	比較例
43	0.84	99	F	1.27		不良	-	比較例
44	0.66	98	F	1.33	-	不良	-	比較例
45	0.70	95	M	1.16	-	不良	-	比較例
46	0.60	96	F	1.21	1370	良好	不良	比較例
47	0.56	100	-	1.18	1292	良好	不良	比較例
48	0.71	100	-	1.12	-	不良	-	比較例
49	0.46	100	-	1.20	-	不良	-	比較例
50	0.65	<u>84</u>	F	1.26	-	不良	-	比較例
51	0.65	96	F	1.16	-	不良	-	比較例
52	0.46	100	-	1.25	-	不良	-	比較例
53	0.60	97	F	1.17	-	不良	-	比較例
54	0.58	95	F,M	1.31	-	不良	-	比較例
55	0.62	96	M	1.15	-	不良	-	比較例
56	0.60	100	-	1.20	-	不良	-	比較例
57	0.69	100	-	1.18	-	不良	-	比較例
58	0.70	100	-	1.22	-	不良	-	比較例
59	0.68	100	-	1.30	-	不良	-	比較例
60	0.59	98	F	1.22	-	不良	-	比較例
61	0.71	98	F	1.23	-	不良	-	比較例
62	0.67	100	-	1.25	-	不良	-	比較例
63	0.63	99	F	1.29	-	不良	-	比較例
64	0.69	<u>0</u>	F	1.28	-	不良	-	比較例
65	0.46	<u>24</u>	F,M	1.25	-	不良	-	比較例
66	0.65	98	F	<u>1.52</u>	1459	良好	不良	比較例
67	0.56	99	F	<u>1.51</u>	1344	良好	不良	比較例
68	0.28	100	-	1.16	<u>791</u>	良好	良好	比較例

※残部組織欄において、F及びMは、それぞれ、初析フェライト、マルテンサイトを意味する。

※下線部は本発明範囲から外れるか、または、好ましい特性から外れることを意味する。

[0118] 本発明の実施例である水準 1 ～ 4 1 のボルトは、いずれも良好な耐水素脆化特性を有していた。

[0119] 水準 4 2 ～ 6 3 のボルトは、本発明の化学組成から外れた。そのため、以下に示すように、水準 4 2 ～ 6 3 のボルトは、引張強さ、冷間加工性及び耐水素脆化特性が満足するものではなかった。

[0120] 水準 4 2 のボルトは、Cの含有量が本発明の化学組成から外れたため、本発明が対象とするボルトの引張強さから外れた。

[0121] 水準 4 3 のボルトは、Cの含有量が本発明の化学組成から外れたため、圧

造時に割れが生じてしまい、引張強さ及び耐水素脆化特性の評価を行うことができなかった。

[0122] 水準44、48、49、51、52、53、56～63のボルトは、Si、Ti、B、N、O、Nb、V、Ce、Cu、Ca、Mg、Sn、Wの含有量が本発明の化学組成から外れたため、圧造時に割れが生じてしまい、引張強さ及び耐水素脆化特性の評価を行うことができなかった。

[0123] 水準50のボルトは、Bの含有量が本発明の化学組成から外れたため、軸部表面からの深さD/4位置における硬質組織の面積率が95%未満となり、硬質組織にフェライトが混在した不均一な組織となったため、圧造時に割れが生じてしまい、引張強さ及び耐水素脆化特性の評価を行うことができなかった。

[0124] 水準45、54、55のボルトは、Mn、Cr、Moの含有量が本発明の化学組成から外れたため、局所的に生成したマルテンサイトに起因して圧造時に割れが生じてしまい、引張強さ及び耐水素脆化特性の評価を行うことができなかった。

[0125] 水準46、47のボルトは、P、Sの含有量が本発明の化学組成から外れたため、十分な耐水素脆化特性を有していなかった。

[0126] 水準64のボルトは、恒温変態処理を行わず、放冷としたため、軸部表面からの深さD/4位置における硬質組織の面積率が95%未満となり、圧造時に割れが生じてしまい、引張強さ及び耐水素脆化特性の評価を行うことができなかった。

[0127] 水準65のボルトは、恒温変態処理時の溶融塩槽への浸漬時間が不十分だったため、恒温変態処理後の水冷処理時にマルテンサイトが生成し、圧造時に割れが生じてしまい、引張強さ及び耐水素脆化特性の評価を行うことができなかった。

[0128] 水準66、67のボルトは、予備成形したボルトを仕上げ成形ダイス孔型に挿入したときに、予備成形したボルトの膨張部の下端と仕上げ成形ダイス孔型の上端が接触するように工程設計した冷間鍛造工程を行ったため、X線

回折ピークの半価幅の比 β_{MAX}/β_C が1.50超となり、十分な耐水素脆化特性を有していなかった。

[0129] 水準68のボルトは、伸線加工条件が好ましい条件ではなかったため、本発明の引張強さから外れた。

産業上の利用可能性

[0130] 本開示のボルトは、引張強さが800MPa～1700MPaで、耐水素脆化特性に優れているので産業上の利用可能性が高い。

請求の範囲

[請求項1]

化学組成が、質量%で、

C : 0.18 ~ 0.80 %、

Si : 0.01 ~ 1.50 %、

Mn : 0.50 ~ 2.00 %、

Al : 0.005 ~ 0.080 %、

P : 0.030 %以下、

S : 0.030 %以下、

Ti : 0.005 ~ 0.100 %、

B : 0.0003 ~ 0.0050 %、

N : 0.0150 %以下、

O : 0.0100 %以下、

残部 : Fe 及び不純物からなり、

軸部直径をDとして、 $D/4$ 位置における金属組織の95%以上が硬質組織であり、

ボルト頭部と前記軸部との接続部の軸部中心におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅 β_c と、前記接続部の表面から軸部の中心軸線に向かう深さ500 μ mまでの領域におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅の最大値 β_{MAX} との比 β_{MAX}/β_c が1.50以下であり、引張強さが800 ~ 1700 MPaである、ボルト。

[請求項2]

化学組成が、質量%で、

C : 0.18 ~ 0.80 %、

Si : 0.01 ~ 1.50 %、

Mn : 0.50 ~ 2.00 %、

Al : 0.005 ~ 0.080 %、

P : 0.030 %以下、

S : 0.030 %以下、

Ti : 0.005 ~ 0.100%、

B : 0.0003 ~ 0.0050%、

N : 0.0150%以下、

O : 0.0100%以下、を含有し、

更に、下記A群、B群及びC群からなる群から選択される1種又は2種以上を含有し、

残部 : Fe 及び不純物からなり、

軸部直径をDとして、 $D/4$ 位置における金属組織の95%以上が硬質組織であり、

ボルト頭部と前記軸部との接続部の軸部中心におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅 β_c と、前記接続部の表面から軸部の中心軸線に向かう深さ500 μ mまでの領域におけるフェライト相の(211)面に対応するX線回折ピークの半価幅の最大値 β_{MAX} との比 β_{MAX}/β_c が1.50以下であり、引張強さが800 ~ 1700MPaである、ボルト。

[A群] Cr : 1.50%以下、Mo : 0.50%以下、Nb : 0.050%以下、V : 0.20%以下、W : 0.20%以下からなる群から選択される1種又は2種以上。

[B群] Cu : 0.50%以下、Ni : 0.50%以下からなる群から選択される1種又は2種。

[C群] Ca : 0.0100%以下、Mg : 0.0100%以下、Ce : 0.020%以下、Sn : 0.0400%以下からなる群から選択される1種又は2種以上。

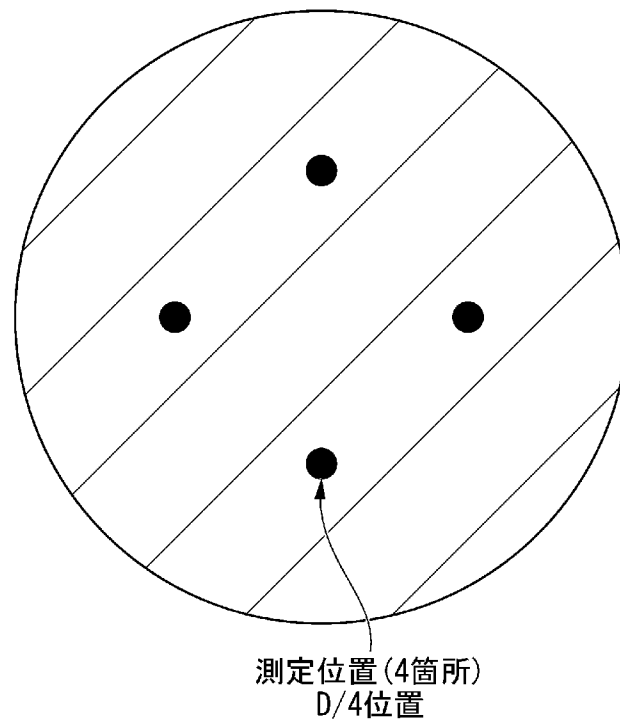
[請求項3] 質量%で、前記A群を含有する化学組成を有する請求項2に記載のボルト。

[請求項4] 質量%で、前記B群を含有する化学組成を有する請求項2に記載のボルト。

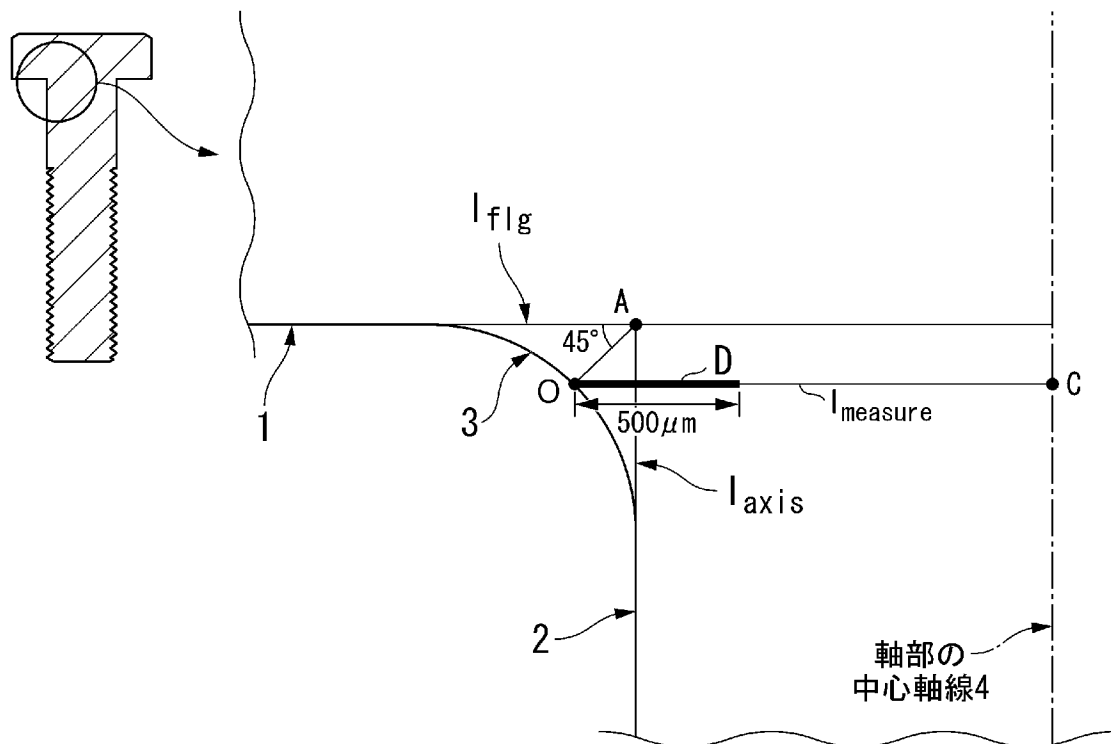
[請求項5] 質量%で、前記C群を含有する化学組成を有する請求項2に記載の

ボルト。

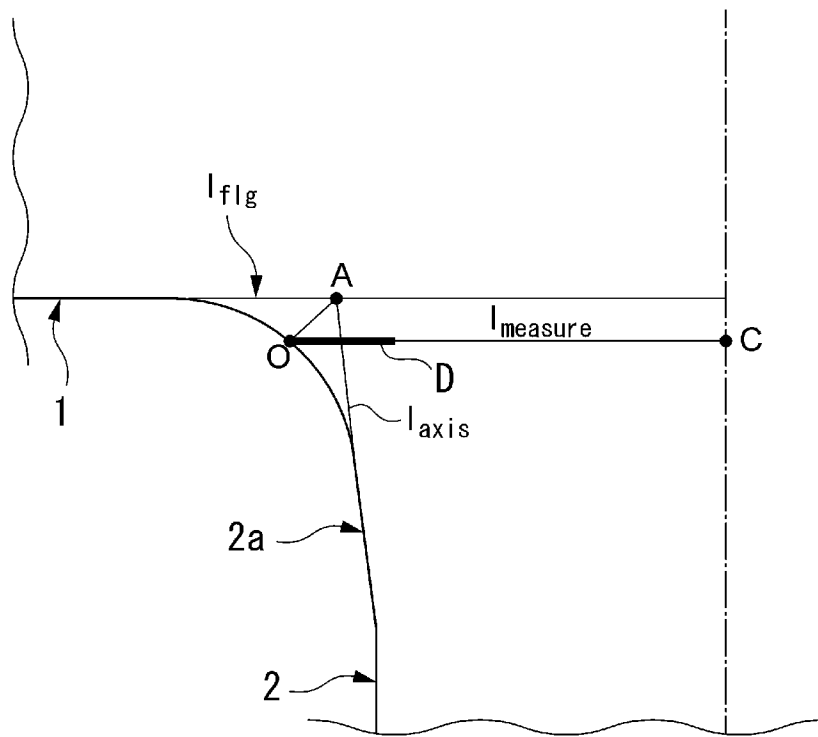
[図1]



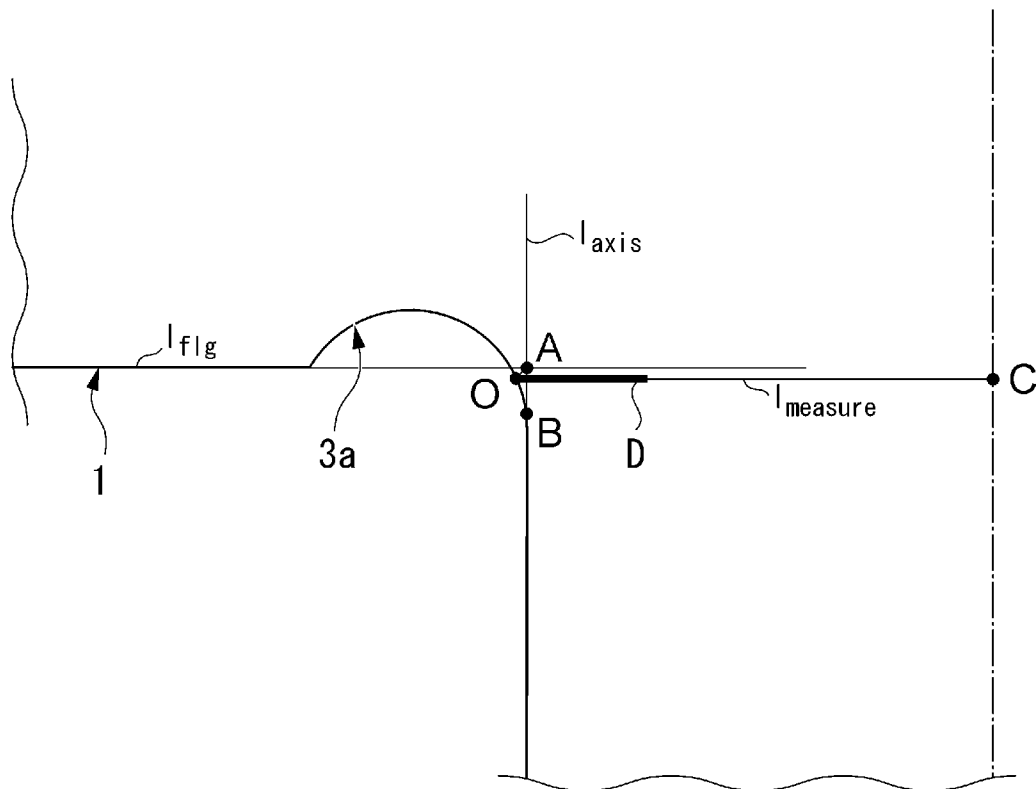
[図2]



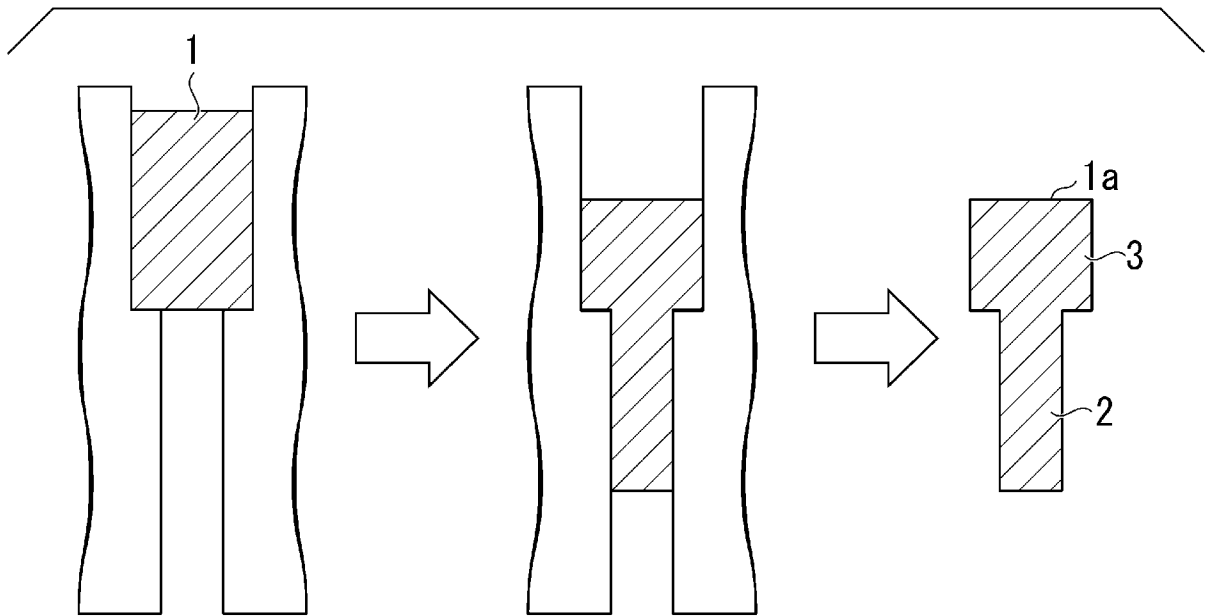
[図3]



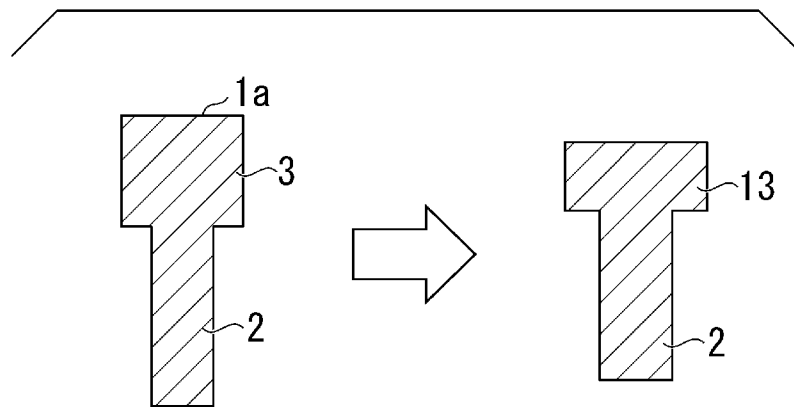
[図4]



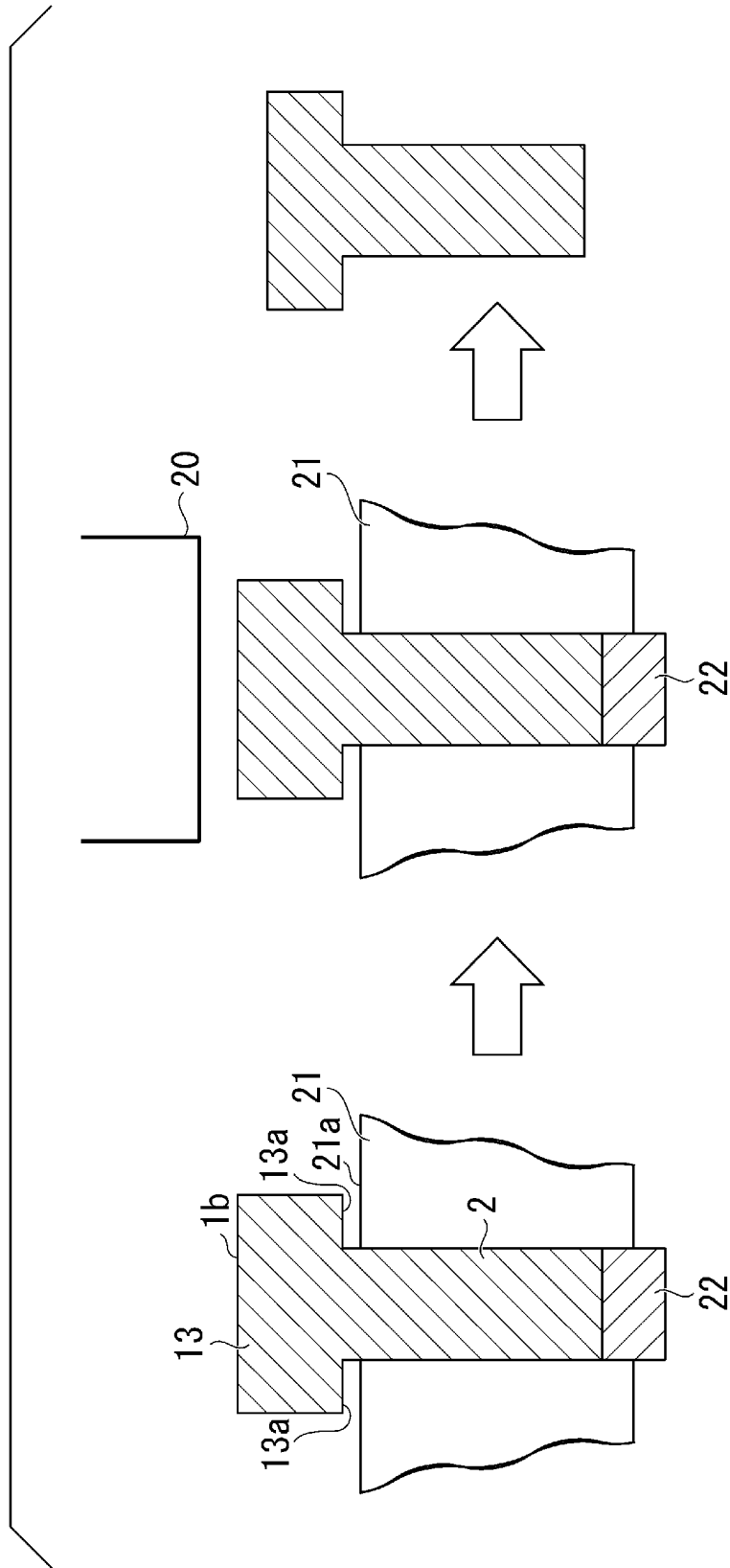
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/010018

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C 38/00(2006.01)i; **B21C 23/00**(2006.01)i; **B21C 23/01**(2006.01)i; **B21C 37/00**(2006.01)i; **C21D 3/06**(2006.01)i; **C21D 8/06**(2006.01)i; **C21D 9/52**(2006.01)i; **C22C 38/14**(2006.01)i; **C22C 38/58**(2006.01)i

FI: C22C38/00 301Z; C22C38/14; C22C38/58; C21D8/06 A; C21D9/52 103B; C21D3/06; B21C23/00 A; B21C23/01 Z; B21C37/00 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)

C22C38/00-38/60; B21C23/00; B21C23/01; B21C37/00; C21D3/06; C21D8/06; C21D9/52

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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 2021-183710 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 02 December 2021 (2021-12-02) entire text, all drawings	1-5
A	JP 2021-155816 A (NIPPON STEEL CORPORATION) 07 October 2021 (2021-10-07) entire text, all drawings	1-5
A	WO 2020/090149 A1 (JFE STEEL CORPORATION) 07 May 2020 (2020-05-07) entire text	1-5
A	WO 2015/083599 A1 (KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO) 11 June 2015 (2015-06-11) entire text	1-5



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
“D” document cited by the applicant in the international application
“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

24 May 2024

Date of mailing of the international search report

04 June 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/010018

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2021-183710	A	02 December 2021	(Family: none)	
JP	2021-155816	A	07 October 2021	(Family: none)	
WO	2020/090149	A1	07 May 2020	US 2021/0404030	A1
				entire text	
				KR 10-2021-0060528	A
				CN 112969808	A
WO	2015/083599	A1	11 June 2015	US 2017/0159693	A1
				entire text	
				EP 3078758	A1
				CN 105793456	A
				KR 10-2016-0088372	A
				JP 2015-105428	A

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
C22C 38/00(2006.01)i; B21C 23/00(2006.01)i; B21C 23/01(2006.01)i; B21C 37/00(2006.01)i;
C21D 3/06(2006.01)i; C21D 8/06(2006.01)i; C21D 9/52(2006.01)i; C22C 38/14(2006.01)i;
C22C 38/58(2006.01)i
FI: C22C38/00 301Z; C22C38/14; C22C38/58; C21D8/06 A; C21D9/52 103B; C21D3/06; B21C23/00 A; B21C23/01
Z; B21C37/00 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））
C22C38/00-38/60; B21C23/00; B21C23/01; B21C37/00; C21D3/06; C21D8/06; C21D9/52
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
日本国実用新案公報 1922-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2024年
日本国実用新案登録公報 1996-2024年
日本国登録実用新案公報 1994-2024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 2021-183710 A（日本製鉄株式会社）02.12.2021（2021-12-02） 全文、全図	1-5
A	JP 2021-155816 A（日本製鉄株式会社）07.10.2021（2021-10-07） 全文、全図	1-5
A	WO 2020/090149 A1（JFEスチール株式会社）07.05.2020（2020-05-07） 全文	1-5
A	WO 2015/083599 A1（株式会社神戸製鋼所）11.06.2015（2015-06-11） 全文	1-5

☐ 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
“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献
“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 24.05.2024 国際調査報告の発送日 04.06.2024

名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号 権限のある職員（特許庁審査官）

河口 展明 4K 3770

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

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/JP2024/010018

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2021-183710	A	02.12.2021	(ファミリーなし)	
JP	2021-155816	A	07.10.2021	(ファミリーなし)	
WO	2020/090149	A1	07.05.2020	US 2021/0404030	A1
				全文	
				KR 10-2021-0060528	A
				CN 112969808	A
WO	2015/083599	A1	11.06.2015	US 2017/0159693	A1
				全文	
				EP 3078758	A1
				CN 105793456	A
				KR 10-2016-0088372	A
				JP 2015-105428	A