

(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
2017 年 10 月 5 日(05.10.2017)



(10) 国際公開番号

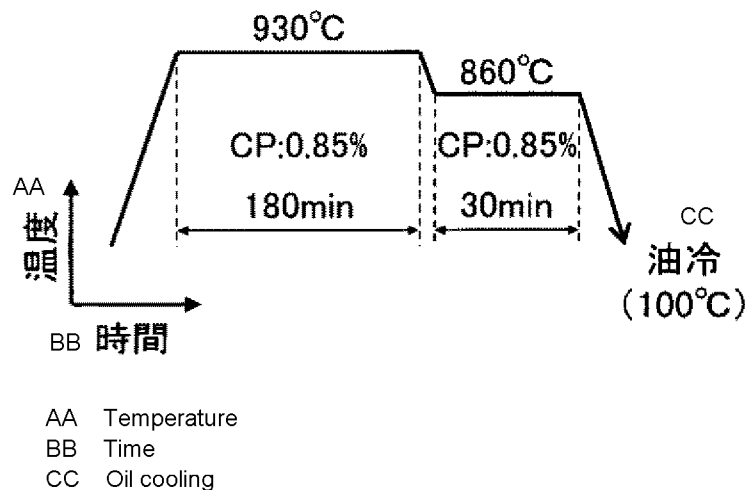
WO 2017/170127 A1

- (51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) C21D 1/06 (2006.01)
C22C 38/28 (2006.01) C21D 8/06 (2006.01)
C22C 38/50 (2006.01) C21D 9/32 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/011733
- (22) 国際出願日: 2017 年 3 月 23 日(23.03.2017)
- (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 2016-063334 2016 年 3 月 28 日(28.03.2016) JP
- (71) 出願人: 株式会社神戸製鋼所(KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBELCO STEEL, LTD.))
[JP/JP]; 〒6518585 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目 2 番 4 号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者: 酒道 武浩(SHUDO, Takehiro).
- (74) 代理人: 鮫島 睦, 外(SAMEJIMA, Mutsumi et al.);
〒5300017 大阪府大阪市北区角田町 8 番 1 号梅田阪急ビルオフィスタワー青山特許事務所
Osaka (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, 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).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: CASE HARDENED STEEL

(54) 発明の名称: 肌焼鋼

【図3】



(57) Abstract: A case hardened steel which contains, in mass%, 0.15-0.25% of C, 0.4-1% of Si, 0.3-0.6% of Mn, more than 0% but 0.03% or less of P, more than 0% but 0.03% or less of S, 1.2-2% of Cr, 0.3-0.5% of Mo, 0.01-0.08% of Al, more than 0% but 0.02% or less of N, more than 0% but 0.005% or less of Ti, and more than 0% but 0.005% or less of Nb, with the balance made up of iron and unavoidable impurities, and wherein the Z value represented by formula (1) is more than 0 but 1.0×10^{-4} or less. Z value = $[Ti]/48 + [Nb]/93$ (1)

(57) 要約: 質量%で、C: 0.15~0.25%、Si: 0.4~1%、Mn: 0.3~0.6%、P: 0%超、0.03%以下、S: 0%超、0.03%以下、Cr: 1.2~2%、Mo: 0.3~0.5%、Al: 0.01~0.08%、N: 0%超、0.02%以下、Ti: 0%超、0.005%以下、およびNb: 0%超、0.005%以下を含む、残部が鉄および不純物からなり、下記式(1)で表されるZ値が0超、 1.0×10^{-4} 以下である肌焼鋼。Z値 = $[Ti]/48 + [Nb]/93$ (1)

WO 2017/170127 A1

明 細 書

発明の名称：肌焼鋼

技術分野

[0001] 本開示は、肌焼鋼に関する。本開示の肌焼鋼は、例えば、歯車、シャフトなどの等速ジョイント部品、軸受、無段変速機トランスミッション（Continuously Variable Transmission；CVT）プーリーなどの動力伝達部品の素材に好適に用いられる。

背景技術

[0002] 動力伝達部品には、面疲労損傷に対する耐久寿命（以下、面疲労寿命という）および曲げ折損に対する耐久寿命（以下、曲げ疲労寿命）が一般的に求められる。面疲労損傷とは、部品同士の摺動面で発生した亀裂が進展して剥離に至る損傷（ピッチング損傷）および部品表層で発生した亀裂が進展して剥離に至る損傷（スポーリング損傷）の総称である。曲げ折損とは、部品同士が繰り返し接触し、受けた繰り返し曲げ応力により、部品の表面から亀裂が発生、進展し、最終的に破断に至る現象である。上記動力伝達部品の素材には、JIS G4053で規定される機械構造用合金鋼鋼材が従来から用いられている。

[0003] 近年、動力源の高出力化および動力伝達ユニットの小型化が進んでおり、これに伴って各部品への負荷荷重は増大している。そのため、上記機械構造用合金鋼鋼材を用いた場合には、十分な部品寿命が得られなくなっている。

[0004] 高面圧が負荷される場合においても優れた転動疲労特性を得ることができる浸炭材が、特許文献1に開示されている。特許文献1に記載の浸炭材は、Nbを0.005～0.04%含有し、浸炭層のオーステナイト結晶粒度が7番以上であり、表面の炭素含有量が0.9～1.5%であり、表面の残留オーステナイト量が25～40%を満足している。上記特許文献1には、Nbは、鋼中のCおよびNと結び付いてNb（C、N）を形成し、浸炭加熱の際に、結晶粒の微細化、及び結晶粒の粗大化抑制に有効であることが記載さ

れている。

- [0005] また、球状化焼鈍後の面疲労強度を優れたものとして耐ピッチング性および耐摩耗性を良好にした肌焼用鋼材が、特許文献2に開示されている。特許文献2に記載の肌焼用鋼は、Nbを0.02%未満（0%を含まない）含有し、金属組織の面積分率が適切に制御され、フェライト結晶粒度番号が7～9を満足している。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開2000-54069号公報
特許文献2：特開2014-185389号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] 上記特許文献1では、浸炭材の転動疲労特性を改善しているが、面疲労寿命については考慮されていない。一方、上記特許文献2では、球状化焼鈍後の面疲労強度を改善しているが、曲げ疲労寿命については考慮されていない。

- [0008] 本発明の実施形態は上記の様な事情に着目してなされたものであって、その目的は、面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善した部品を製造する素材となる肌焼鋼を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0009] 上記課題を解決することのできた本発明の実施形態に係る肌焼鋼とは、質量%で、C：0.15～0.25%、Si：0.4～1%、Mn：0.3～0.6%、P：0%超、0.03%以下、S：0%超、0.03%以下、Cr：1.2～2%、Mo：0.3～0.5%、Al：0.01～0.08%、N：0%超、0.02%以下、Ti：0%超、0.005%以下、およびNb：0%超、0.005%以下を含有し、残部が鉄および不可避不純物からなり、下記式（1）で表されるZ値が0超、 1.0×10^{-4} 以下である点に

要旨を有する。下記式（１）中、〔 〕は、各元素の含有量（質量％）を示す。

$$Z \text{ 値} = [Ti] / 4.8 + [Nb] / 9.3 \cdots (1)$$

[0010] 上記肌焼鋼は、更に、他の元素として、質量％で、Cu：０％超、１％以下、およびNi：０％超、２％以下から選択される少なくとも１種等を含含有してもよい。

[0011] 前記肌焼鋼は、軸方向に垂直な断面において、面積が $3 \mu m^2$ 以上のチタン窒化物および面積が $3 \mu m^2$ 以上のニオブ炭窒化物の個数の合計が、 $2 \times 10^5 \mu m^2$ あたり５個以下であればよい。

発明の効果

[0012] 本発明の実施形態によれば、成分組成のうち、特に、TiおよびNbをそれぞれ０．００５％以下に抑え、且つTiとNbの含有量が所定の関係を満足するように制御している。その結果、面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善した部品を製造する素材となる肌焼鋼を提供できる。

図面の簡単な説明

[0013] [図１]図１は、試験片の形状を示す模式図である。

[図２]図２は、試験片の形状を示す模式図である。

[図３]図３は、実施例で行った浸炭熱処理条件を示すパターン図である。

[図４]図４は、面疲労寿命を測定したときの様子を示した模式図である。

[図５]図５は、曲げ疲労寿命を測定したときの様子を示した模式図である。

発明を実施するための形態

[0014] 本発明者は、動力伝達等に用いられる部品の面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善するために、鋭意検討を重ねた。その結果、部品を製造する素材として用いる肌焼鋼の成分のうち、特に、TiおよびNb量を適切に調整すれば、応力集中源となる窒化物系介在物を低減できるため、部品の面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善できることを見出し、本発明を完成した。

[0015] 即ち、肌焼鋼の製造過程で、アルミ窒化物、チタン窒化物、およびニオブ

炭窒化物などの窒素系介在物が生成する。例えば、ニオブ炭窒化物は、上記特許文献 1 に記載されているように、結晶粒の微細化および結晶粒の粗大化抑制に有効に作用することが知られている。

[0016] しかし、本発明者が窒素系介在物と、部品の疲労寿命（面疲労寿命および曲げ疲労寿命）との関係について検討したところ、AlN は、圧延および浸炭時の加熱温度で殆ど固溶するため、部品の疲労寿命に影響を及ぼさないが、粗大なチタン窒化物およびニオブ炭窒化物は、部品の疲労寿命に悪影響を及ぼすこと、部品に含まれる粗大なチタン窒化物およびニオブ炭窒化物量を低減するには、部品の素材として Ti および Nb 量を厳密に制御した肌焼鋼を用いればよいとの知見を得た。このような観点から、本発明の実施形態では、部品の面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善するために、成分組成のうち、特に、Ti 量を 0% 超、0.005% 以下、Nb 量を 0% 超、0.005% 以下に厳密に制御し、且つ Ti 量と Nb 量に基づいて算出される上記 Z 値を 0 超、 1.0×10^{-4} 以下に制御している。

[0017] 以下、本発明の実施形態に係る肌焼鋼の成分組成について説明した後、上記 Z 値について説明する。

なお、成分組成について単位の%表示は、すべて質量%を意味する。

[0018] 本発明の実施形態に係る肌焼鋼は、基本成分として、C: 0.15~0.25%、Si: 0.4~1%、Mn: 0.3~0.6%、P: 0% 超、0.03% 以下、S: 0% 超、0.03% 以下、Cr: 1.2~2%、Mo: 0.3~0.5%、Al: 0.01~0.08%、N: 0% 超、0.02% 以下、Ti: 0% 超、0.005% 以下、および Nb: 0% 超、0.005% 以下を含有する。

[0019] C は、部品の芯部硬さを確保するために必要な元素であり、C 量が 0.15% を下回ると部品の芯部硬さを確保できず、面疲労寿命および曲げ疲労寿命が低下する。従って本発明の実施形態では、C 量は、0.15% 以上とする。C 量は、好ましくは 0.17% 以上、より好ましくは 0.18% 以上である。しかし、C を過剰に含有すると、靱性が低下し、曲げ疲労寿命が低下

する。従って本発明の実施形態では、C量は、0.25%以下とする。C量は、好ましくは0.23%以下、より好ましくは0.20%以下である。

[0020] Siは、浸炭後の軟化抵抗を高める元素である。Si量が0.4%を下回ると浸炭後の軟化抵抗が低下し、面疲労寿命を改善できない。従って本発明の実施形態では、Si量は、0.4%以上とする。Si量は、好ましくは0.43%以上、より好ましくは0.45%以上である。しかし、Siを過剰に含有すると、部品形状への加工性が悪化する。また、鋼材の炭素原子の活量を下げて浸炭不良を引き起こす。従って本発明の実施形態では、Si量は、1%以下とする。Si量は、好ましくは0.9%以下、より好ましくは0.8%以下である。

[0021] Mnは、Sと結合してMnSを生成し、熱間加工時の割れを防止するのに作用する元素である。また、Mnは、部品形状への加工性を悪化させるFeSの生成を抑制する元素である。こうした効果を発揮させるために、Mn量は、0.3%以上とする。Mn量は、好ましくは0.35%以上、より好ましくは0.40%以上である。しかし、Mnを過剰に含有すると、部品形状への加工性が低下する。従って本発明の実施形態では、Mn量は0.6%以下とする。Mn量は、好ましくは0.55%以下、より好ましくは0.50%以下である。

[0022] Pは、不可避免的に含まれる元素であり、結晶粒界に偏析して面疲労寿命および曲げ疲労寿命を低下させるため、できるだけ低減する必要がある。こうした観点からP量は、0.03%以下とする。P量は、好ましくは0.025%以下、より好ましくは0.020%以下である。P量は、できるだけ低減することが好ましいが、純度を高めるには製造コストが増加する。こうした観点からP量は、好ましくは0.003%以上、より好ましくは0.005%以上である。

[0023] Sは、不可避免的に含まれる元素であり、Mnと結合して形成したMnS系介在物は、面疲労寿命を低下させる。従って本発明の実施形態では、S量は0.03%以下とする。S量は、好ましくは0.025%以下、より好まし

くは0.020%以下である。しかし、少量のSは、被削性を向上させる作用を有する。また、純度を高めるには製造コストが増加する。こうした観点からS量は、好ましくは0.003%以上、より好ましくは0.005%以上である。

[0024] Crは、鋼材の焼入れ性を高め、曲げ疲労寿命および面疲労寿命を向上させる元素である。従って本発明の実施形態では、Cr量は1.2%以上とする。Cr量は、好ましくは1.3%以上、より好ましくは1.35%以上である。しかし、過剰に含有すると、部品形状への加工性を悪化させたり、浸炭不良を引き起こすことがある。従って本発明の実施形態では、Cr量は2%以下とする。Cr量は、好ましくは1.8%以下、より好ましくは1.7%以下である。

[0025] Moは、浸炭時に軟質な不完全焼入れ組織が形成されるのを抑制し、軟化抵抗を高め、面疲労寿命を改善する元素である。従って本発明の実施形態では、Mo量は0.3%以上とする。Mo量は、好ましくは0.33%以上、より好ましくは0.35%以上である。しかし、Moを過剰に含有すると、部品形状への加工性が悪化する。また、コスト高となる。こうした観点からMo量は、0.5%以下とする。Mo量は、好ましくは0.47%以下、より好ましくは0.45%以下である。

[0026] Alは、不可避免的に含まれる元素であるが、脱酸剤として作用する元素である。また、AlNを形成して浸炭窒化処理時に結晶粒が粗大化するのを抑制する元素である。こうした効果を発揮させるために、Al量は0.01%以上とする。Al量は、好ましくは0.015%以上、より好ましくは0.020%以上である。しかし、Alを過剰に含有すると、熱間加工性が悪化する。従って本発明の実施形態では、Al量は、0.08%以下とする。Al量は、好ましくは0.06%以下、より好ましくは0.05%以下である。

[0027] Nは、鋼中のAlと結合して微細な炭窒化物を形成し、ピンニング効果によって浸炭処理時に結晶粒が粗大化するのを抑制する元素である。こうした効果を有効に発揮させるには、N量は、好ましくは0.001%以上、より

好ましくは0.003%以上である。しかし、Nを過剰に含有すると、TiおよびNbの粗大な介在物が形成され、曲げ疲労寿命および面疲労寿命を改善できない。従って本発明の実施形態では、N量は、0.02%以下とする。N量は、好ましくは0.019%以下、より好ましくは0.018%以下である。

[0028] Tiは、鑄造時にチタン窒化物を不可避免的に生成し、曲げ疲労寿命および面疲労寿命を低下させる元素である。従って本発明の実施形態では、Ti量は、0.005%以下とする。Ti量は、好ましくは0.0045%以下、より好ましくは0.0040%以下である。Ti量はできるだけ低減することが好ましいが、工業生産上、0%とすることは困難である。

[0029] Nbは、鑄造時にニオブ炭窒化物を不可避免的に生成し、曲げ疲労寿命および面疲労寿命を低下させる元素である。従って本発明の実施形態では、Nb量は、0.005%以下とする。Nb量は、好ましくは0.0045%以下、より好ましくは0.0040%以下である。Nb量はできるだけ低減することが好ましいが、工業生産上、0%とすることは困難である。

[0030] 上記肌焼鋼の基本成分は、上述した通りであり、残部は、実質的に鉄である。但し、原材料、資材、製造設備等から持ち込まれる不可避不純物が鋼中に含まれることは当然に許容される。

[0031] 上記肌焼鋼は、上記基本成分に加え、更に、他の元素として、Cu：0%超、1%以下、およびNi：0%超、2%以下から選択される少なくとも1種、等を含含有してもよい。

[0032] Cu、およびNiは、焼入性を高めて面疲労寿命を向上させる元素である。Cu、およびNiは、単独で、あるいは2種を併用できる。こうした効果を有効に発揮させるには、Cu量は、好ましくは0.01%以上、より好ましくは0.05%以上、更に好ましくは0.10%以上である。Ni量は、好ましくは0.01%以上、より好ましくは0.1%以上、更に好ましくは0.3%以上である。しかし、CuおよびNiを過剰に含有するとコスト高となる。こうした観点から、Cu量は、好ましくは1%以下、より好ましく

は0.7%以下、更に好ましくは0.5%以下である。Ni量は、好ましくは2%以下、より好ましくは1.9%以下、更に好ましくは1.8%以下である。

[0033] 以上、本発明の実施形態に係る肌焼鋼の成分組成について説明した。

[0034] 本発明の実施形態に係る肌焼鋼は、Ti量を0%超、0.005%以下、およびNb量を0%超、0.005%以下に制御するだけでは不充分であり、下記式(1)で表されるZ値が0超、 1.0×10^{-4} 以下を満足する必要がある。下記式(1)中、[]は、各元素の含有量(質量%)を示す。

$$Z \text{ 値} = [\text{Ti}] / 48 + [\text{Nb}] / 93 \cdots (1)$$

[0035] Ti量およびNb量が上記範囲を満足していても、上記Z値が、 1.0×10^{-4} を超えると、粗大なチタン窒化物およびニオブ炭窒化物が casting 過程で生成し、これらの窒素系介在物が応力集中源となり、亀裂の発生および進展が促進される。その結果、面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善できない。TiおよびNbは、不純物レベルで含有する場合があるが、不純物レベルであってもTi量とNb量に基づいて算出される上記Z値が所定の範囲を外れると、面疲労寿命および曲げ疲労寿命を改善できない。

[0036] 従って本発明の実施形態では、上記Z値を 1.0×10^{-4} 以下とする。上記Z値は、好ましくは 9.0×10^{-5} 以下、より好ましくは 8.0×10^{-5} 以下である。TiおよびNbは、不可避免的に含まれる元素であるため、上記Z値の下限は、0超である。

[0037] 本発明の実施形態に係る肌焼鋼は、面積が $3 \mu\text{m}^2$ 以上のチタン窒化物および面積が $3 \mu\text{m}^2$ 以上のニオブ炭窒化物の個数の合計(以下、個数密度ということがある。)が、 $2 \times 10^5 \mu\text{m}^2$ あたり5個以下であればよい。

上記個数は、例えば肌焼鋼の形状が棒鋼の場合、軸方向に垂直な断面において、直径の1/4位置で測定すればよい。

[0038] 直径の1/4位置は、肌焼鋼の特性を代表するために設定した。

[0039] チタン窒化物およびニオブ炭窒化物のうち、応力集中源となる面積が $3 \mu\text{m}^2$ 以上の粗大なチタン窒化物およびニオブ炭窒化物の個数密度を制御するこ

とによって、面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善できる。従って本発明の実施形態では、 $2 \times 10^5 \mu\text{m}^2$ あたりの個数密度は、好ましくは5個以下、より好ましくは4.0個以下、更に好ましくは3.5個以下である。最も好ましくは0個である。

[0040] 上記粗大なチタン窒化物およびニオブ炭窒化物の個数の合計は、例えば、光学顕微鏡を用い、観察視野数を5視野以上として観察し、平均値を求めればよい。

[0041] なお、上記チタン窒化物は、TiNの他、化学量論比が外れたTiとNの化合物も含む意味である。

[0042] また、上記ニオブ炭窒化物は、NbCNの他、化学量論比が外れたNbとCとNの化合物も含む意味である。

[0043] 上記粗大なチタン窒化物およびニオブ炭窒化物の個数密度は、肌焼鋼の成分組成を適切に制御することによって調整できる。なお、上記個数密度は、肌焼鋼を部品形状に加工し、浸炭処理等を行っても変化しないことを確認している。

[0044] 次に、本発明の実施形態に係る肌焼鋼の製造方法について説明する。

[0045] 本発明の実施形態に係る肌焼鋼は、常法に従って溶製した鋼を、常法に従って鋳造、分塊圧延、および仕上げ圧延して製造できる。具体的には、鋳造して得られた鋳片を、 $1100 \sim 1300^\circ\text{C}$ で30分間～5時間加熱保持した後、分塊圧延すればよい。分塊圧延後の鋼片は、例えば、平均冷却速度を $0.01 \sim 5^\circ\text{C}/\text{秒}$ としてA1点以下の温度に冷却し、更に $850 \sim 1100^\circ\text{C}$ に加熱保持した状態で仕上げ圧延を行ない、更に平均冷却速度を $0.01 \sim 5^\circ\text{C}/\text{秒}$ として室温まで冷却することにより本発明の実施形態の肌焼鋼が得られる。

[0046] 本発明の実施形態に係る肌焼鋼の形状は、例えば、棒鋼であり、直径は、例えば、 $20 \sim 50\text{mm}$ である。

[0047] 上記肌焼鋼を、常法に従って切削、冷間鍛造、および熱間鍛造よりなる群から選ばれる1種以上の方法で加工して中間品とし、この中間品に浸炭処理

を施すことにより浸炭部品を製造できる。

[0048] 上記肌焼鋼は、中間品に加工する前に、必要に応じて常法に従って焼鈍処理を施してもよい。また、上記中間品に、必要に応じて常法に従って焼鈍処理を施してもよい。上記焼鈍処理の条件は特に限定されないが、例えば、600～950℃で、30分～10時間保持すればよい。

[0049] 上記浸炭処理は、浸炭処理のほか、浸炭窒化処理または高濃度浸炭処理も含む意味である。浸炭処理の後には、常法に従って焼入れ焼戻し処理してもよい。

[0050] 上記浸炭処理の条件は特に限定されず公知の条件を適用できる。具体的には、カーボンポテンシャルCPを0.5～1.0質量%とし、850～1000℃で、30分間～6時間保持して行えばよい。浸炭処理後は、常法に従って焼入れし、更に100～300℃に加熱して30分間～3時間保持して焼戻しを行えばよい。

[0051] 上記浸炭窒化処理の条件は特に限定されず公知の条件を適用できる。具体的には、カーボンポテンシャルCPが0.5～1.0質量%で、NH₃を体積分率で2～15%含むプロパンガス雰囲気、800～1000℃で、30分間～6時間保持して行えばよい。浸炭窒化処理後は、常法に従って焼入れし、更に100～300℃に加熱して30分間～3時間保持して焼戻しを行えばよい。

[0052] 上記浸炭窒化処理は、浸炭処理してから浸炭窒化処理してもよい。例えば、浸炭処理として、カーボンポテンシャルCPを0.5～1.0質量%とし、850～1000℃で、30分間～3時間保持してから、浸炭窒化処理として、カーボンポテンシャルCPを0.5～1.0質量%とし、NH₃を体積分率で2～15%含むプロパンガス雰囲気、800～900℃で、30分間～3時間保持してもよい。

[0053] 上記高濃度浸炭処理は、カーボンポテンシャルCPを1.0～1.5質量%として850～1000℃で、30分間～6時間保持して行えばよい。浸炭処理後は、常法に従って焼入れし、更に100～300℃に加熱して30

分間～3時間保持して焼戻しを行えばよい。

[0054] なお、上記浸炭処理、上記浸炭窒化処理および上記高濃度浸炭処理は、2回以上に分けて行ってもよい。

[0055] 上記浸炭処理または上記高濃度浸炭処理の温度に加熱するときの雰囲気は、浸炭雰囲気とすればよく、上記浸炭窒化処理の温度に加熱するときの雰囲気は、浸炭窒化雰囲気とすればよい。

[0056] 上記浸炭方法は特に限定されず、例えば、ガス浸炭、真空浸炭など公知の方法を採用できる。浸炭ガスとしては、例えば、RXガス（変性ガス）とプロパンガスの混合ガスを用いることができる。

[0057] 上記浸炭窒化方法は特に限定されず、例えば、ガス浸炭窒化、真空浸炭窒化、高濃度浸炭窒化など公知の方法を採用できる。

[0058] 真空浸炭または真空浸炭窒化するときの真空度は、例えば、0.01MPa程度以下とすればよい。

[0059] 上記浸炭処理後、浸炭窒化処理後および高濃度浸炭処理後は、必要に応じて常法に従って研磨、潤滑被膜処理、またはショットピーニング処理などを行ってもよい。

[0060] 上記浸炭処理、浸炭窒化処理、または高濃度浸炭処理して得られた部品は、例えば、歯車、軸受、シャフト、CVTプーリー等の動力伝達部品などに好適に用いることができる。

実施例

[0061] 以下、実施例を挙げて本発明の実施形態をより具体的に説明するが、本発明は下記実施例によって制限を受けるものではなく、前記および後記の趣旨に適合し得る範囲で変更を加えて実施することも勿論可能であり、それらはいずれも本発明の技術的範囲に包含される。

[0062] 下記表1に示す成分組成を満足し、残部は、鉄および不可避不純物からなる鋼を小型溶解炉で溶製し、インゴットを製造した。下記表1において、「—」は検出されなかったことを意味する。下記表1に示したTi量およびNb量と、上記式(1)に基づいてZ値を算出し、結果を下記表2に示す。下

記表 2 において、 $\alpha E - \beta$ は、 $\alpha \times 10^{-\beta}$ を意味する。

[0063] 次に、得られたインゴットを、 $1100 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ で 10 分間～2 時間加熱保持した後、熱間鍛造して $\phi 32\text{ mm}$ の棒鋼を製造した。熱間鍛造は、圧延を模擬している。

[0064] 得られた $\phi 32\text{ mm}$ の棒鋼を、軸方向に垂直な方向に切断し、切断面を観察できるように樹脂に埋め、切断面を研磨した。棒鋼の直径に対して $1/4$ 位置を、光学顕微鏡で、倍率 400 倍で、任意の 5 視野について観察した。撮影した写真を画像解析し、各視野で観察されるチタン窒化物およびニオブ炭窒化物の面積をそれぞれ算出した。画像解析には、日鉄住金テクノロジー株式会社製の「粒子解析 III (ソフト名)」を用い、介在物の面積を 1 画素ごとにカウントしてチタン窒化物およびニオブ炭窒化物の面積を算出した。

[0065] チタン窒化物およびニオブ炭窒化物はピンク色で、角ばった形状であるのに対し、チタン窒化物以外の窒化物、ニオブ炭窒化物以外の炭窒化物、並びに硫化物および酸化物等の他の介在物とは、色および形状に基づいて区別できる。

[0066] 面積が $3\text{ }\mu\text{ m}^2$ 以上のチタン窒化物およびニオブ炭窒化物の個数を測定し、観察視野 $2 \times 10^5\text{ }\mu\text{ m}^2$ あたりの個数密度を算出した。算出結果を下記表 2 に示す。

[0067] 本発明の実施形態では、面積が $3\text{ }\mu\text{ m}^2$ 以上のチタン窒化物およびニオブ炭窒化物の合計個数を、観察視野 $2 \times 10^5\text{ }\mu\text{ m}^2$ あたりに換算したとき、5 個以下 [$5\text{ 個} / (2 \times 10^5\text{ }\mu\text{ m}^2)$ 以下] を合格と評価する。

[0068] 次に、得られた $\phi 32\text{ mm}$ の棒鋼を、図 1 および図 2 に示す形状の試験片に加工した。

[0069] 次に、得られた試験片をガス浸炭炉にて、図 3 に示す浸炭熱処理パターンで浸炭処理した。具体的には、まず、カーボンポテンシャル CP を 0.85 質量%として 930°C で 180 分間保持した後、 860°C に降温し、カーボンポテンシャル CP は 0.85 質量%のまま 30 分間保持した直後に油焼入

れを行った。浸炭ガスは、R Xガスとプロパンガスの混合ガスを用いた。油浴の温度は100℃である。油焼入れ後、更に170℃に加熱して3時間保持してから放冷することにより焼戻しを行った。なお、図1に示した試験片については、浸炭処理後の焼入れ焼戻しにおける熱処理歪みを除くため、 $\phi 24\text{ mm}$ のつかみ部を研磨した。

[0070] 次に、浸炭処理後に焼入れ焼戻しして得られた試験片を用い、面疲労寿命および曲げ疲労寿命を評価した。

[0071] [面疲労寿命]

面疲労寿命は、図1に示した形状の試験片を用い、コマツエンジニアリング株式会社製の「RP-201型ローラーピッチング試験機」を用いて測定した。図4に、試験時の様子を示す。図4に示すように、試験中は、試験片1と荷重ローラー2が接触し、すべりながら転動する。図4の3は摺動部を示している。荷重ローラー2としてはJIS G4805で規定される高炭素クロム鋼SUJ2、試験油として市販のオートマチック油を用いた。試験条件は、面圧：3.3 GPa、すべり率：-40%、回転数：2000 rpmとした。剥離損傷によって試験機が停止するまでの回転数を測定し、この回転数を面疲労寿命とした。各鋼種2本ずつ試験を行ない、平均値を求めた。結果を下記表2に示す。下記表2において、 $\alpha E + \beta$ は、 $\alpha \times 10^\beta$ を意味する。

[0072] 本発明の実施形態では、上記回転数が1.00E+06回以上を合格とし、面疲労寿命に優れると評価した。

[0073] [曲げ疲労寿命]

曲げ疲労寿命は、図2に示した形状の試験片を用い、4点曲げ試験で測定した。図5に、試験時の様子を示す。図5に示すように、上記図2に示した形状の試験片を4点支持した状態で、該試験片に繰り返し応力を加え、試験片が破断するまでの繰り返し回数を測定した。図5において、11は試験片、12は治具、13は荷重の方向をそれぞれ示している。加えた応力は955 MPaで、周波数は20 Hz、応力比は0.1とした。応力比とは、最大応

力に対する最小応力の比を意味する。

[0074] 試験片が破断するまでの繰返し回数を曲げ疲労寿命とした。各鋼種 2 本ずつ試験を行ない、平均値を求めた。結果を下記表 2 に示す。下記表 2 において、 $\alpha E + \beta$ は、 $\alpha \times 10^\beta$ を意味する。

[0075] 本発明の実施形態では、上記回転数が $1.00E + 05$ 回以上を合格とし、曲げ疲労寿命に優れると評価した。

[0076] 下記表 2 に基づいて、次のように考察できる。

[0077] No. 1～17 は、本発明の実施形態で規定する要件を満足する例であり、成分組成のうち、特に、Ti と Nb 量を厳密に制御しているため、面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善できている。

[0078] これに対し、No. 18～29 は、本発明の実施形態で規定するいずれかの要件を満足しない例であり、面疲労寿命または曲げ疲労寿命の少なくとも一方を改善できていない。詳細は次の通りである。

[0079] No. 18 は、本発明の実施形態で規定する成分組成を満足しているが、Ti と Nb 量が式 (1) の関係を満足しなかった例であり、面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善できなかった。

[0080] No. 19～22 は、Ti および Nb 量の少なくとも一方が本発明の実施形態で規定する範囲を外れており、且つ Ti と Nb 量が式 (1) の関係を満足しなかった例であり、面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善できなかった。

[0081] No. 23 は、C 量が多すぎた例であり、曲げ疲労寿命を改善できなかった。

[0082] No. 24 は、C 量が少なすぎた例であり、面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善できなかった。

[0083] No. 25 は、Si 量が少なすぎる例であり、面疲労寿命を改善できなかった。

[0084] No. 26 は、P 量が多すぎる例であり、面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善できなかった。

[0085] N o. 27 は、C 量およびS 量が多すぎた例であり、面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善できなかった。

[0086] N o. 28 は、C r 量が少なすぎる例であり、面疲労寿命および曲げ疲労寿命の両方を改善できなかった。

[0087] N o. 29 は、M o 量が少なすぎる例であり、面疲労寿命および曲げ疲労寿命を改善できなかった。

[0088]

[表1]

No.	成分組成(質量%)																
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	N	Ti	Nb	Cu	Ni				
1	0.18	0.50	0.35	0.023	0.014	1.61	0.48	0.049	0.0144	0.0029	0.0010	-	-				
2	0.16	0.94	0.36	0.014	0.011	1.44	0.47	0.027	0.0106	0.0035	0.0010	-	-				
3	0.19	0.77	0.42	0.018	0.017	1.31	0.46	0.030	0.0093	0.0010	0.0015	-	-				
4	0.16	0.87	0.49	0.017	0.012	1.52	0.44	0.042	0.0087	0.0018	0.0043	-	-				
5	0.24	0.89	0.35	0.013	0.014	1.58	0.48	0.067	0.0114	0.0010	0.0027	-	-				
6	0.23	0.87	0.45	0.014	0.019	1.89	0.48	0.070	0.0103	0.0019	0.0013	-	-				
7	0.16	0.89	0.37	0.008	0.019	1.63	0.48	0.066	0.0150	0.0024	0.0029	-	-				
8	0.16	0.47	0.31	0.012	0.022	1.71	0.42	0.032	0.0119	0.0017	0.0020	-	-				
9	0.24	0.73	0.37	0.009	0.007	1.81	0.46	0.055	0.0121	0.0025	0.0020	-	-				
10	0.18	0.48	0.48	0.017	0.015	1.88	0.43	0.045	0.0104	0.0033	0.0016	-	-				
11	0.17	0.65	0.33	0.016	0.008	1.35	0.48	0.036	0.0102	0.0020	0.0033	-	-				
12	0.20	0.77	0.38	0.017	0.013	1.26	0.44	0.021	0.0141	0.0011	0.0019	-	-				
13	0.24	0.60	0.52	0.022	0.011	1.24	0.44	0.025	0.0095	0.0012	0.0018	-	-				
14	0.18	0.90	0.32	0.022	0.013	1.39	0.44	0.028	0.0084	0.0014	0.0025	-	-				
15	0.22	0.74	0.35	0.020	0.020	1.38	0.43	0.059	0.0080	0.0019	0.0022	-	-				
16	0.24	0.59	0.47	0.018	0.013	1.46	0.46	0.051	0.0116	0.0033	0.0011	0.23	-				
17	0.19	0.61	0.32	0.018	0.008	1.82	0.48	0.030	0.0080	0.0026	0.0030	-	0.51				
18	0.21	0.62	0.37	0.005	0.018	1.69	0.43	0.046	0.0154	0.0044	0.0043	-	-				
19	0.17	0.75	0.48	0.005	0.006	1.36	0.34	0.062	0.0137	0.0235	0.0015	-	-				
20	0.24	0.50	0.51	0.019	0.022	1.39	0.33	0.065	0.0103	0.0021	0.0300	-	-				
21	0.20	0.73	0.51	0.013	0.008	1.75	0.48	0.031	0.0136	0.0370	0.0480	-	-				
22	0.22	0.65	0.33	0.019	0.016	1.52	0.46	0.042	0.0083	0.0072	0.0080	-	-				
23	0.29	0.66	0.37	0.009	0.005	1.72	0.46	0.050	0.0120	0.0028	0.0033	-	-				
24	0.12	0.57	0.32	0.014	0.018	1.34	0.32	0.064	0.0158	0.0021	0.0022	-	-				
25	0.22	0.25	0.39	0.020	0.021	1.78	0.42	0.026	0.0141	0.0039	0.0011	-	-				
26	0.21	0.64	0.51	0.046	0.019	1.90	0.39	0.049	0.0139	0.0033	0.0016	-	-				
27	0.26	0.94	0.38	0.012	0.058	1.54	0.35	0.018	0.0109	0.0014	0.0035	-	-				
28	0.19	0.81	0.48	0.008	0.020	0.88	0.39	0.038	0.0119	0.0025	0.0014	-	-				
29	0.20	0.89	0.43	0.010	0.015	1.91	0.16	0.055	0.0122	0.0036	0.0014	-	-				

[0089]

[表2]

No.	Z値	個数密度 (個/($2 \times 10^5 \mu\text{m}^2$))	面疲労寿命 (回)	曲げ疲労寿命 (回)
1	7.12E-05	2.2	2.55E+06	2.26E+05
2	8.37E-05	3.4	4.59E+06	1.79E+05
3	3.70E-05	2.0	3.74E+06	1.51E+05
4	8.70E-05	3.3	3.97E+06	1.64E+05
5	4.99E-05	1.2	4.83E+06	1.45E+05
6	5.36E-05	3.1	4.52E+06	1.42E+05
7	8.12E-05	1.1	4.71E+06	1.97E+05
8	5.69E-05	1.5	1.52E+06	1.80E+05
9	7.36E-05	2.4	3.83E+06	1.52E+05
10	8.60E-05	2.2	1.98E+06	1.58E+05
11	7.72E-05	1.6	2.77E+06	1.80E+05
12	4.33E-05	2.8	3.48E+06	1.40E+05
13	4.44E-05	3.5	2.18E+06	1.25E+05
14	5.60E-05	2.8	4.31E+06	1.34E+05
15	6.32E-05	3.2	3.29E+06	1.16E+05
16	8.06E-05	1.4	2.34E+06	1.53E+05
17	8.64E-05	3.0	2.85E+06	1.91E+05
18	1.38E-04	7.4	2.88E+05	4.34E+04
19	4.95E-04	20.1	2.17E+05	2.74E+04
20	3.66E-04	10.8	5.00E+04	1.98E+04
21	1.29E-03	31.2	4.93E+05	7.85E+04
22	2.36E-04	7.3	3.77E+05	6.28E+04
23	5.07E-05	2.5	1.25E+06	2.49E+04
24	6.74E-05	3.5	1.05E+05	4.48E+04
25	9.31E-05	2.1	2.40E+04	1.79E+05
26	8.60E-05	3.3	2.43E+05	3.99E+04
27	6.68E-05	1.4	4.07E+05	9.07E+03
28	6.71E-05	3.5	3.46E+05	3.74E+04
29	9.01E-05	1.8	1.80E+05	2.24E+04

[0090] 本出願は、出願日が2016年3月28日である日本国特許出願、特願第2016-063334号を基礎出願とする優先権主張を伴う。特願第2016-063334号は参照することにより本明細書に取り込まれる。

符号の説明

- [0091] 1 試験片
- 2 荷重ローラー
- 3 摺動部
- 1 1 試験片
- 1 2 治具
- 1 3 荷重の方向

請求の範囲

[請求項1]

質量%で、

C : 0.15 ~ 0.25 %、

Si : 0.4 ~ 1 %、

Mn : 0.3 ~ 0.6 %、

P : 0 %超、0.03 %以下、

S : 0 %超、0.03 %以下、

Cr : 1.2 ~ 2 %、

Mo : 0.3 ~ 0.5 %、

Al : 0.01 ~ 0.08 %、

N : 0 %超、0.02 %以下、

Ti : 0 %超、0.005 %以下、および

Nb : 0 %超、0.005 %以下を含有し、

残部が鉄および不可避不純物からなり、

下記式(1)で表されるZ値が0超、 1.0×10^{-4} 以下であることを特徴とする肌焼鋼。

$$Z \text{ 値} = [\text{Ti}] / 48 + [\text{Nb}] / 93 \cdots (1)$$

[式(1)中、[]は、各元素の含有量(質量%)を示す。]

[請求項2]

更に、他の元素として、質量%で、

Cu : 0 %超、1 %以下、および

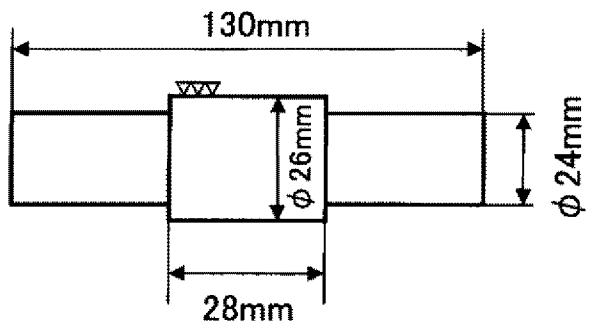
Ni : 0 %超、2 %以下から選択される少なくとも1種を含有する

請求項1に記載の肌焼鋼。

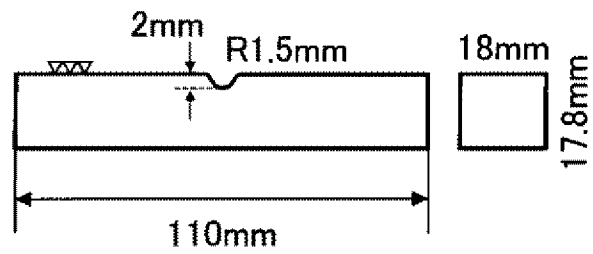
[請求項3]

軸方向に垂直な断面において、面積が $3 \mu\text{m}^2$ 以上のチタン窒化物および面積が $3 \mu\text{m}^2$ 以上のニオブ炭窒化物の個数の合計が、 $2 \times 10^5 \mu\text{m}^2$ あたり5個以下である請求項1または2に記載の肌焼鋼。

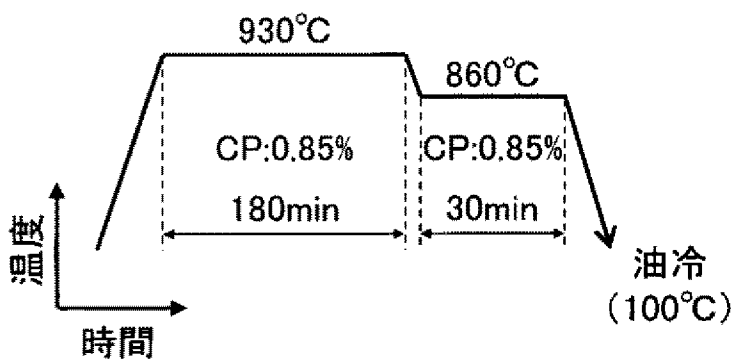
[図1]



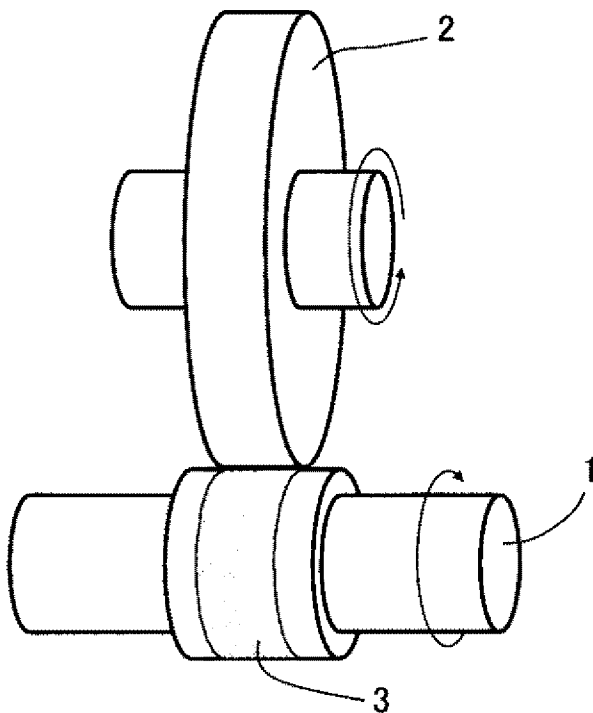
[図2]



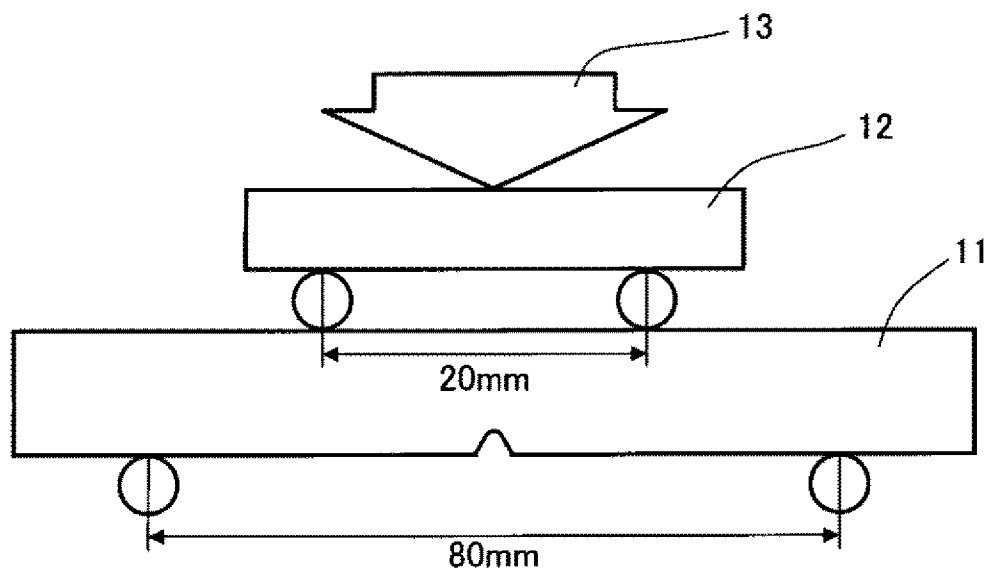
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/011733

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C38/00(2006.01)i, C22C38/28(2006.01)i, C22C38/50(2006.01)i, C21D1/06(2006.01)n, C21D8/06(2006.01)n, C21D9/32(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)

C22C38/00-38/60, C21D1/06, C21D8/06, C21D9/32

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 2015-140482 A (Daido Steel Co., Ltd.), 03 August 2015 (03.08.2015), & US 2016/0333432 A1	1-3
A	JP 2015-127434 A (Kobe Steel, Ltd.), 09 July 2015 (09.07.2015), (Family: none)	1-3
A	JP 2011-174176 A (JFE Steel Corp.), 08 September 2011 (08.09.2011), & EP 2530178 A1	1-3
A	JP 2011-208262 A (JFE Steel Corp.), 20 October 2011 (20.10.2011), (Family: none)	1-3



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
13 June 2017 (13.06.17)

Date of mailing of the international search report
20 June 2017 (20.06.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/011733

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-028206 A (Daido Steel Co., Ltd.), 12 February 2015 (12.02.2015), & US 2015/0000795 A1	1-3
A	JP 2009-052062 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 12 March 2009 (12.03.2009), (Family: none)	1-3
A	JP 2010-270348 A (Kobe Steel, Ltd.), 02 December 2010 (02.12.2010), (Family: none)	1-3

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, C22C38/28(2006.01)i, C22C38/50(2006.01)i, C21D1/06(2006.01)n, C21D8/06(2006.01)n, C21D9/32(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, C21D1/06, C21D8/06, C21D9/32

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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 2015-140482 A (大同特殊鋼株式会社) 2015.08.03, & US 2016/0333432 A1	1-3
A	JP 2015-127434 A (株式会社神戸製鋼所) 2015.07.09, (ファミリーなし)	1-3
A	JP 2011-174176 A (JFEスチール株式会社) 2011.09.08, & EP 2530178 A1	1-3

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と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

「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

13.06.2017

国際調査報告の発送日

20.06.2017

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

4 K

3841

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

C (続き) . 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 2011-208262 A (J F E スチール株式会社) 2011. 10. 20, (ファミリーなし)	1-3
A	JP 2015-028206 A (大同特殊鋼株式会社) 2015. 02. 12, & US 2015/0000795 A1	1-3
A	JP 2009-052062 A (住友金属工業株式会社) 2009. 03. 12, (ファミリーなし)	1-3
A	JP 2010-270348 A (株式会社神戸製鋼所) 2010. 12. 02, (ファミリーなし)	1-3