(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
2014 年 2 月 20 日(20.02.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/027463 A1

(51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) *C22C 38/58* (2006.01)
C22C 38/38 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2013/004855

(22) 国際出願日: 2013 年 8 月 14 日(14.08.2013)

(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 2012-180340 2012 年 8 月 16 日(16.08.2012) JP

(71) 出願人: 新日鐵住金株式会社(NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL 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: 山本　隼也(YAMAMOTO, Junya); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 根石　豊(NEISHI, Yutaka); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 安倍　秀貴(AMBAI, Hidetaka); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 東田　真志(HIGASHIDA, Masashi); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 松本　斉(MATSUMOTO, Hitoshi); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 松井　直樹(MATSUI, Naoki); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目６番１号新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人　森道雄特許事務所(M. MORI PATENT FIRM); 〒6600892 兵庫県尼崎市東難波町五丁目１７番２３号 Hyogo (JP).

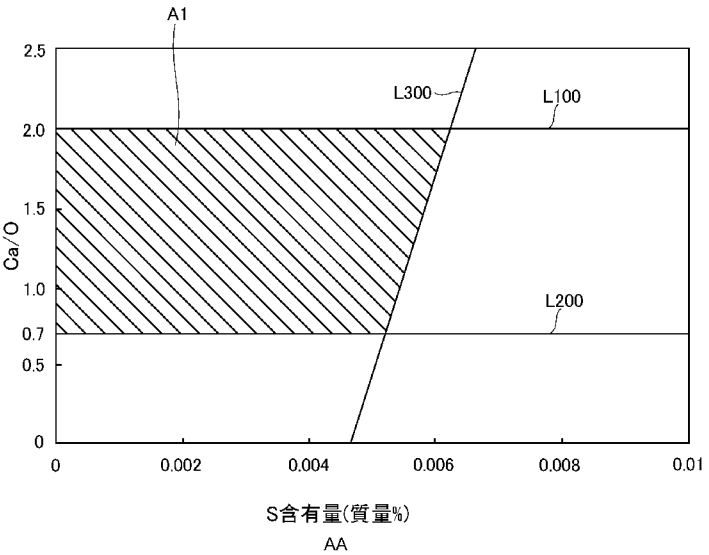
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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.

[続葉有]

(54) **Title**: STEEL MATERIAL FOR HIGH FREQUENCY INDUCTION HARDENING

(54) 発明の名称 : 高周波焼入れ用鋼材

FIG.1



(57) **Abstract**: Provided is a steel material for high frequency induction hardening, which has excellent rolling fatigue life after high frequency induction hardening. A steel material for high frequency induction hardening according to one embodiment of the present invention has a chemical composition that contains, in mass%, 0.4-0.6% of C, 0.03-1.0% of Si, 0.2-2.0% of Mn, 0.05% or less of P, less than 0.010% of S, 0.05-0.50% of Cr, 0.01-0.10% of Al, 0.0003-0.0030% of Ca, 0.0030% or less of O, 0.003-0.030% of N, 0-1.0% of Cu, 0-3.0% of Ni, 0-0.15% of Mo, 0-0.30% of V, 0-0.10% of Nb, 0-0.0030% of B and 0-0.10% of Ti, with the balance made up of Fe and impurities, while satisfying formula (1) and formula (2). $0.7 \leq Ca/O \leq 2.0$ (1) $Ca/O \geq 1250S - 5.8$ (2) In this connection, the atomic symbols in formula (1) and formula (2) are substituted by the respective contents (mass%) of the corresponding elements.

(57) 要約: 高周波焼入れ後に優れた転動疲労寿命を示す高周波焼入れ用鋼材を提供する。本実施形態の高周波焼入れ用鋼材は、質量％で、Ｃ：０．４～０．６％、Ｓｉ：０．０３～１．０％、Ｍｎ：０．２～２．０％、Ｐ：０．０５％以下、Ｓ：０．０１０％未満、Ｃｒ：０．０５～０．５０％、Ａｌ：０．０１～０．１０％、Ｃａ：０．０００３～０．００３０％、Ｏ：０．００３０％以下、Ｎ：０．００３～０．０３０％、Ｃｕ：０～１．０％、Ｎｉ：０～３．０％、Ｍｏ：０～０．１５％、Ｖ：０～０．３０％、Ｎｂ：０～０．１０％、Ｂ：０～０．００３０％、及び、Ｔｉ：０～０．１０％を含有し、残部はＦｅおよび不純物からなり、式（１）及び式（２）を満たす化学組成を有する。　０．７≦Ｃａ／Ｏ≦２．０・・・（１）　Ｃａ／Ｏ≧１２５０Ｓ－５．８・・・（２）　ここで、式（１）及び式（２）中の元素記号には、対応する元素の含有量（質量％）が代入される。

WO 2014/027463 A1

(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, 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)）

明　細　書

発明の名称 ： 高周波焼入れ用鋼材

技術分野

[0001] 本発明は、鋼材に関し、さらに詳しくは、高周波焼入れ用鋼材に関する。

背景技術

[0002] 自動車用部品の中でも、等速ジョイントやハブユニットといった部品には、高い面圧が繰返し作用する。したがって、これらの部品では、優れた転動疲労特性が要求される。これらの部品の素材には、主としてＪＩＳ　Ｇ　４０５１（２００９）に記載の「機械構造用炭素鋼鋼材」が用いられる。これらの部品のうち、転動疲労特性が要求される部位は、高周波焼入れ処理によって硬化される。

[0003] 高周波焼入れは、必要な部位のみを硬化することができる。また、高周波焼入れ装置が製造ライン上に配置される場合、いわゆるインラインで高周波焼入れを実施できる。そのため、バッチ式での表面処理を利用する場合と比較して、高周波焼入れを利用する場合、製造工程の自由度が高くなる。

[0004] 転動疲労特性は鋼中の非金属介在物（以下、単に「介在物」ともいう。）、特に、酸化物と硫化物とにより、低下することが知られている。そのため、従来は、製鋼プロセスによって鋼中のＯ（酸素）及びＳ（硫黄）の含有量を少なくして、転動疲労寿命を高めていた。

[0005] 近年、例えば、エンジンの高出力化や部品の軽量化の要求により、上記部品の使用環境がますます高面圧化、高温化している。そのため、部品の素材となる高周波焼入れ用鋼材は、さらなる転動疲労寿命の向上を求められている。

[0006] しかしながら、単に鋼中の酸素（Ｏ）及び硫黄（Ｓ）の含有量を低減するだけでは良好な転動疲労寿命が得られにくい。そこで、鋼中の酸化物及び硫化物のサイズを小さくすることにより、転動疲労寿命を改善することを目的とした高周波焼入れ用鋼が特開平１１－１７４９号公報（特許文献１）に提

案されている。

[0007] 特許文献１に開示された高周波焼入れ用鋼は、線状または棒状の圧延鋼材である。そして、圧延鋼材の軸心を通る縦断面において、軸心と平行で且つ軸心から（１／４）×Ｄ（「Ｄ」は圧延鋼材の直径を表す。）離れた仮想線を中心線として含む被検面積１００ｍｍ^{2}中に存在する、酸化物系と硫化物系からなる平均粒径１０μｍ以上の複合介在物の個数が２０個以下である。特許文献１の高周波焼入れ鋼の化学組成は、質量％にて、Ｃ：０．３％を超えて０．７％以下、Ｍｎ：０．３～２．５％、Ｓｉ：２％以下（０％を含む）、Ｐ：０．０３％以下（０％を含む）、Ｓ：０．１％以下（０％を含む）、Ａｌ：０．０１５～０．０５％およびＯ：０．００２％以下（０％を含む）を含有し、必要に応じてさらに、（ａ）特定量のＣｕ、Ｎｉ、ＣｒおよびＭｏよりなる群から選択される少なくとも１種、（ｂ）特定量のＶ、ＮｂおよびＴｉよりなる群から選択される少なくとも１種、（ｃ）特定量のＣａ、Ｐｂ、Ｔｅ、ＢｉおよびＺｒよりなる群から選択される少なくとも１種、（ｄ）特定量のＢとＮ、の４元素群のうちの少なくとも１つの元素群から選ばれる元素を含み、残部がＦｅおよび不可避不純物からなる。

[0008] 特許文献１では、次の事項が記載されている。平均粒径が１０μｍ以上の酸化物系及び硫化物系の粗大複合介在物を極力少なく抑えれば、曲げ疲労特性と転動疲労特性とが向上する。そして、粗大複合介在物を低減させるために、Ａｌ、Ｓ及びＯの含有量を適正範囲に制御して、さらに、鋳片の冷却速度、圧延時の加熱条件及び圧延条件を制御する。

[0009] また、高周波焼入れ用鋼ではないが、Ｃａ系介在物の形態を制御することにより疲労特性を改善することを目的とした電縫鋼管が国際公開第２０１０／１１０４９０号（特許文献２）に開示されている。

[0010] 特許文献２に開示された電縫鋼管は、質量％で、Ｃ：０．１５～０．５５％、Ｓｉ：０．０１～０．３０％、Ｍｎ：０．５～１．５％、Ｃａ：０．００１０～０．００３０％、Ｓ：０．０００５～０．００５０％、Ｏ：０．０００５～０．００５０％を含有する。さらに、鋼中のＣａ、Ｏ及びＳの含有

量が、０．１０≦［Ｃａ］（１－１２４［Ｏ］）／１．２５［Ｓ］≦２．５０を満足する。さらに、母材および電縫溶接部に存在するＣａ系介在物の平均粒径が１．０～１０μｍであり、Ｃａ系介在物の密度が３～３００個／ｍｍ^{2}である。さらに、電縫溶接部の最高硬さと母材部の平均硬さとの差ΔＨｖが１００～５００である。

[0011] 特許文献２では、上述の式を満たすことにより、カルシウム系の酸化物（ＣａＯ）及び硫化物（ＣａＳ）の平均粒径及び分布密度が適正な範囲になり、疲労特性が高まる、と記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0012] 特許文献1：特開平１１－１７４９号公報

特許文献2：国際公開第２０１０／１１０４９０号

[0013] しかしながら、特許文献１では、酸化物及び硫化物の組成制御については全く考慮されていない。そのため、ＡｌやＯの含有量が少ない場合でも、粗大な酸化物が出現し、優れた転動疲労寿命が得られない場合がある。

[0014] 特許文献２はそもそも、電縫鋼管に関するものであり、転動疲労寿命を考慮したものではない。また、電縫鋼管は、熱間鍛造及び高周波焼入れを実施することを前提としない。さらに、特許文献２でも、酸化物及び硫化物の組成制御については考慮されていない。

発明の概要

[0015] 本発明の目的は、高周波焼入れ後に優れた転動疲労寿命を示す高周波焼入れ用鋼材を提供することである。

[0016] 本実施の形態による高周波焼入れ用鋼材は、質量％で、Ｃ：０．４～０．６％、Ｓｉ：０．０３～１．０％、Ｍｎ：０．２～２．０％、Ｐ：０．０５％以下、Ｓ：０．０１０％未満、Ｃｒ：０．０５～０．５０％、Ａｌ：０．０１～０．１０％、Ｃａ：０．０００３～０．００３０％、Ｏ：０．００３０％以下、Ｎ：０．００３～０．０３０％、Ｃｕ：０～１．０％、Ｎｉ：０～３．０％、Ｍｏ：０～０．１５％、Ｖ：０～０．３０％、Ｎｂ：０～０．

１０％、Ｂ：０～０．００３０％、及び、Ｔｉ：０～０．１０％を含有し、残部はＦｅおよび不純物からなり、式（１）及び式（２）を満たす化学組成を有する。

０．７≦Ｃａ／Ｏ≦２．０・・・（１）

Ｃａ／Ｏ≧１２５０Ｓ－５．８・・・（２）

ここで、式（１）及び式（２）中の元素記号には、対応する元素の含有量（質量％）が代入される。

[0017] 本実施形態による高周波焼入れ用鋼材は、優れた転動疲労寿命を有する。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]図１は、鋼中のＣａ／Ｏ及びＳ量が、粗大な酸化物及び点列状の酸化物の形成に及ぼす影響を説明するための図である。

[図2A]図２Ａは、実施例で用いたスラスト型転動疲労試験片の平面図である。

[図2B]図２Ｂは、図２Ａに示す試験片に対する高周波焼入れ処理を説明するための模式図である。

発明を実施するための形態

[0019] 一般に、転動疲労のメカニズムは、次のとおり理解されている。鋼材中に存在する介在物に繰返し荷重が加わり、応力集中によって鋼材に亀裂が生じる。その後、繰返し荷重によって亀裂が徐々に進展し、最終的に鋼材の一部が剥離する。

[0020] 本発明者らは、鋼中の介在物の組成と形態とに着目して検討を行った。その結果、本発明者らは、（Ａ）～（Ｄ）の知見を得た。

[0021] （Ａ）硫化物の組成を制御することができる。具体的には、例えば、溶鋼中にＣａを添加して、（Ｍｎ、Ｃａ）Ｓ及びＣａＳを生成する。（Ｍｎ、Ｃａ）Ｓ及びＣａＳの生成により、硫化物の径が小さくなり、かつ分散する。そのため、転動疲労の応力集中源となる粗大な硫化物が低減する。

[0022] （Ｂ）鋼中の酸素（Ｏ）の含有量を低減させた場合でも、酸化物がAl_2O_3を主体とする化学組成である場合、Al_2O_3主体酸化物が凝集及び合体して

粗大な介在物として存在する場合がある。粗大なAl_2O_3主体酸化物が形成されれば、良好な転動疲労寿命が得られない可能性がある。

[0023] （Ｃ）アルミキルド鋼（以下、「Ａｌキルド鋼」という。）の溶鋼にＣａを添加すれば、脱酸生成物であるAl_2O_3はＣａと反応して、低融点組成酸化物の（Ａｌ、Ｃａ）Ｏに変化する。この変化により、溶鋼中の酸化物は球状化する。そのため、酸化物の凝集及び粗大化が抑制される。

[0024] （Ｄ）上記（Ｃ）項の溶鋼中のＣａは、溶鋼中のＳ、及び、Ａｌキルド鋼の脱酸生成物であるAl_2O_3と反応する。この２つの反応は競合する。そのため、溶鋼中のＳ含有量によって、Al_2O_3と反応可能なＣａの量は変化する。したがって、溶鋼中で酸化物の組成を適切に変化させて酸化物の粗大化を抑制するためには、鋼中のＣａ、Ｏ及びＳの含有量を適正な関係に制御する必要がある。

[0025] 本発明者らは、Ｃａ含有量が鋼中の酸化物及び硫化物の組成及び形態に及ぼす影響を調査した。その結果、本発明者はさらに、（Ｅ）および（Ｆ）の知見を得た。

[0026] （Ｅ）鋼中の酸化物の組成（鋼中で生成される酸化物の種類）は、鋼中のＯ含有量に対するＣａ含有量の比（Ｃａ／Ｏ）に依存する。Ｃａ／Ｏが式（１）を満たす場合、鋼中において（Ａｌ、Ｃａ）Ｏが多数生成され、粗大な酸化物（Al_2O_3及び／又はＣａＯを主体とする酸化物）の形成が抑制される。

０．７≦Ｃａ／Ｏ≦２．０・・・（１）

[0027] （Ｆ）鋼中のＳ含有量が高すぎれば、ＣａはＯだけでなく、Ｓとも反応する。このため、鋼中のＳ含有量が高ければ、鋼中のＣａ含有量及びＯ含有量が式（１）を満たしても、粗大な酸化物が生じる場合がある。鋼中のＣａ含有量、Ｏ含有量及びＳ含有量が、式（１）及び次の式（２）を満たせば、粗大な酸化物及び／又は点列状の酸化物の生成が抑制される。

Ｃａ／Ｏ≧１２５０Ｓ－５．８・・・（２）

[0028] 以上の知見に基づいて完成された本実施形態の高周波焼入れ用鋼材は、次

のとおりである。

[0029] 本実施形態による高周波焼入れ用鋼材は、質量%で、Ｃ：０．４～０．６%、Ｓｉ：０．０３～１．０%、Ｍｎ：０．２～２．０%、Ｐ：０．０５%以下、Ｓ：０．０１０%未満、Ｃｒ：０．０５～０．５０%、Ａｌ：０．０１～０．１０%、Ｃａ：０．０００３～０．００３０%、Ｏ：０．００３０%以下、Ｎ：０．００３～０．０３０%、Ｃｕ：０～１．０%、Ｎｉ：０～３．０%、Ｍｏ：０～０．１５%、Ｖ：０～０．３０%、Ｎｂ：０～０．１０%、Ｂ：０～０．００３０%、及び、Ｔｉ：０～０．１０%を含有し、残部はＦｅおよび不純物からなり、式（１）及び式（２）を満たす化学組成を有する。

０．７≦Ｃａ／Ｏ≦２．０・・・（１）

Ｃａ／Ｏ≧１２５０Ｓ－５．８・・・（２）

ここで、式（１）及び式（２）中の元素記号には、対応する元素の含有量（質量%）が代入される。

[0030] 上記高周波焼入れ用鋼材の化学組成は、Ｃ：０．４８～０．６%を含有してもよい。上記高周波焼入れ用鋼材の化学組成は、Ｃ：０．５０～０．６%を含有してもよい。

[0031] 上記高周波焼入れ用鋼材の化学組成は、Ｎ：０．００５０%超～０．０３０%を含有してもよい。

[0032] 上記高周波焼入れ用鋼材の化学組成は、Ｃｕ：０．０５～１．０%、Ｎｉ：０．０５～３．０%、及び、Ｍｏ：０．０２～０．１５%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。

[0033] 上記高周波焼入れ用鋼材の化学組成は、Ｖ：０．０１～０．３０%、及び、Ｎｂ：０．０１～０．１０%からなる群から選択される１種又は２種を含有してもよい。

[0034] 上記高周波焼入れ用鋼材の化学組成は、Ｂ：０．０００５～０．００３０%、及び、Ｔｉ：０．０１～０．１０%を含有してもよい。

[0035] 本実施形態の高周波焼入れ用鋼材は、近年の転動部材の過酷な使用環境下

においても、転動疲労による破損に対して良好な耐久性を有する。そのため、高周波焼入れ後の転動疲労寿命に優れる。本実施形態の高周波焼入れ用鋼材は、自動車部品として使用される「等速ジョイント」や「ハブユニット」といった高周波焼入れが実施される部品の素材として好適に用いることができる。

[0036] 以下、上述の高周波焼入れ用鋼材について詳しく説明する。各元素の含有量の「％」は「質量％」を意味する。

[0037] 本実施形態による高周波焼入れ用鋼材の化学組成は、以下の元素を含有する。

[0038] Ｃ：０．４～０．６％

炭素（Ｃ）は、高周波焼入れ後に部品の転動部の硬さを高める。Ｃ含有量が低すぎれば、上記効果が得られない。一方、Ｃ含有量が高すぎれば、鋼材の硬さが高くなりすぎ、鋼材の鍛造性が低下する。さらに、鋼材を切削する工具の寿命が低下する。Ｃ含有量が高すぎればさらに、高周波焼入れ部の靭性が低下し、転動疲労寿命が低下する場合がある。したがって、Ｃ含有量は０．４～０．６％である。Ｃ含有量の好ましい下限は０．４２％であり、さらに好ましくは０．４８％であり、さらに好ましくは０．５０％である。Ｃ含有量の好ましい上限は０．５８％である。

[0039] Ｓｉ：０．０３～１．０％

シリコン（Ｓｉ）は、鋼材の焼入れ性を高め、高周波焼入れ後に転動部に硬化層を形成する。Ｓｉ含有量が低すぎれば、十分な深さの硬化層が形成されない。一方、Ｓｉ含有量が高すぎれば、鋼材の硬さが高くなりすぎ、鋼材の鍛造性が低下する。さらに、鋼材を切削する工具の寿命が低下する。したがって、Ｓｉ含有量は０．０３～１．０％である。Ｓｉ含有量の好ましい下限は０．１％であり、さらに好ましくは０．１２％である。Ｓｉ含有量の好ましい上限は０．８％である。

[0040] Ｍｎ：０．２～２．０％

マンガン（Ｍｎ）は、鋼材の焼入れ性を高め、高周波焼入れ後に転動部の

硬さを高める。Ｍｎ含有量が低すぎれば、上記効果が得られない。一方、Ｍｎ含有量が高すぎれば、鋼材の硬さが高くなりすぎ、鋼材の鍛造性が低下する。さらに、鋼材を切削する工具の寿命が低下する。したがって、Ｍｎ含有量は０．２～２．０％である。Ｍｎ含有量の好ましい下限は０．３％であり、さらに好ましくは０．５％である。Ｍｎ含有量の好ましい上限は１．５％であり、さらに好ましくは１．０％である。

[0041] Ｐ：０．０５％以下

燐（Ｐ）は、不純物である。Ｐは、結晶粒界に偏析して鋼材の転動疲労寿命を低下する。したがって、Ｐ含有量はなるべく低い方が好ましい。したがって、Ｐ含有量は０．０５％以下である。好ましいＰ含有量は０．０３％以下であり、さらに好ましくは０．０２％以下である。

[0042] Ｓ：０．０１０％未満

硫黄（Ｓ）は、不純物である。Ｓは、粗大な硫化物を形成して鋼材の転動疲労寿命を低下する。したがって、Ｓ含有量はなるべく低い方が好ましい。したがって、Ｓの含有量は０．０１０％未満である。好ましいＳ含有量は０．００６％以下であり、さらに好ましくは０．００２％以下である。Ｓ含有量はさらに、式（２）を満たす。

[0043] Ｃｒ：０．０５～０．５０％

クロム（Ｃｒ）は、鋼材の焼入れ性を高め、高周波焼入れ後に転動部に硬化層を形成する。Ｃｒ含有量が低すぎれば、十分な深さの硬化層が形成されない。一方、Ｃｒ含有量が高すぎれば、高周波熱処理の場合、鋼材の焼入れ性が低下する。さらに、鋼材を切削する工具の寿命も低下する。したがって、Ｃｒ含有量は０．０５～０．５０％である。Ｃｒ含有量の好ましい下限は０．１０％である。Ｃｒ含有量の好ましい上限は０．４０％であり、さらに好ましくは０．３０％である。

[0044] Ａｌ：０．０１～０．１０％

アルミニウム（Ａｌ）は、鋼を脱酸する。Ａｌはさらに、Ｎと結合してＡｌＮを形成し、鋼材の焼入れ部分の結晶粒の粗大化を抑制する。Ａｌ含有量

が低すぎれば、この効果が得られない。一方、ＡｌＩ含有量が高すぎれば、鋼材の高周波焼入れ性が低下する。したがって、ＡｌＩ含有量は０．０１～０．１０％である。ＡｌＩ含有量の好ましい下限は０．０１５％である。ＡｌＩ含有量の好ましい上限は０．０８％であり、さらに好ましくは０．０５０％である。

[0045] 本実施形態においてＡｌＩ含有量とは、全ＡｌＩの含有量を意味する。

[0046] Ｃａ：０．０００３～０．００３０％

カルシウム（Ｃａ）は、酸化物として、適量の（ＡｌＩ、Ｃａ）Ｏを形成する。（ＡｌＩ、Ｃａ）Ｏが形成されれば、マトリクスと介在物との間の界面エネルギが低下して酸化物の凝集力が低下する。そのため、鋼中の酸化物の粗大化が抑制され、転動疲労寿命が高まる。Ｃａはさらに、硫化物中に固溶して（Ｍｎ、Ｃａ）Ｓ及びＣａＳを形成する。（Ｍｎ、Ｃａ）Ｓ及びＣａＳは延伸されにくく、粗大化しにくい。（Ｍｎ、Ｃａ）Ｓ及びＣａＳはさらに、ＭｎＳとは異なる晶出形態であるため、これらの硫化物系介在物はＭｎＳよりも鋼中に均一に分散する。そのため、転動疲労寿命が高まる。Ｃａ含有量が低すぎれば上記効果は得られない。一方、Ｃａ含有量が高すぎれば、酸化物が粗大化して転動疲労寿命が低下する。したがって、Ｃａ含有量は０．０００３～０．００３０％である。Ｃａ含有量の好ましい下限は０．０００５％である。Ｃａ含有量の好ましい上限は０．００２５％である。Ｃａ含有量はさらに、式（１）及び式（２）を満たす。

[0047] Ｏ：０．００３０％以下

酸素（Ｏ）は不純物である。Ｏは、鋼中に粗大な酸化物を形成し、鋼材の転動疲労寿命を低下する。したがって、Ｏ含有量はなるべく低い方が好ましい。Ｏ含有量は、０．００３０％以下である。好ましいＯ含有量は０．００２５％以下であり、さらに好ましくは０．００２０％以下である。Ｏ含有量はさらに式（１）及び式（２）を満たす。

[0048] Ｎ：０．００３～０．０３０％

窒素（Ｎ）は、鋼中のＡｌＩと結合してＡｌＩＮを形成して、鋼材の焼入れ部

分の結晶粒の粗大化を抑制する。Ｎ含有量が低すぎれば、上記効果が得られない。一方、Ｎ含有量が高すぎれば、粗大な窒化物が生成し、鋼材の転動疲労寿命が低下する。したがって、Ｎの含有量は０．００３～０．０３０％である。Ｎ含有量の好ましい下限は０．００４０％であり、さらに好ましくは、０．００５０％を超える。

[0049] 焼入れ部の結晶粒の粗大化をさらに抑制するために任意元素であるＶ及び／又はＮｂを含有する場合、Ｎ含有量の好ましい下限は０．００５％である。

[0050] 高周波焼入れ時の焼入れ性をさらに高めるためにＢ及びＴｉを含有する場合、ＢがＮと結合するのを抑制できる方が好ましい。したがって、Ｂ及びＴｉを含有する場合、Ｎ含有量の好ましい上限は０．０３０％未満であり、さらに好ましくは０．０１０％未満であり、さらに好ましくは０．００８％である。

[0051] ［式（１）について］

本実施形態の高周波焼入れ用鋼材の化学組成はさらに、Ｏ含有量に対するＣａ含有量の比（Ｃａ／Ｏ）が式（１）を満たす。

０．７≦Ｃａ／Ｏ≦２．０・・・（１）

ここで、式（１）中の元素記号には、対応する元素の含有量（質量％）が代入される。

[0052] Ｃａ／Ｏは、Ｃａを添加した後の鋼中の酸化物組成の指標である。Ｃａ／Ｏが０．７未満の場合、Al_2O_3は（Ａｌ、Ｃａ）Ｏに完全に変化せず、特定Ａｌ酸化物（Al_2O_3を主体とした粗大なスピネル状及び／又は点列状のAl_2O_3の酸化物群）を形成する。特定Ａｌ酸化物は、転動疲労寿命を低下する。

[0053] 一方、Ｃａ／Ｏが２．０を上回るときは、特定Ｃａ酸化物（ＣａＯを主体とする高融点の粗大な酸化物及び／又は点列状のＣａＯの酸化物）が形成される。特定Ｃａ酸化物は、転動疲労寿命を低下する。

[0054] Ｃａ／Ｏが式（１）を満たし、かつ、式（２）を満たす場合、鋼中におい

て（ＡｌＣａ）Ｏが適量生成され、特定ＡｌＯ酸化物の及び特定Ｃａ酸化物の生成が低減される。

[0055] ［式（２）について］

本実施形態の高周波焼入れ用鋼材の化学組成はさらに、Ｃａ／Ｏが式（２）を満たす。

Ｃａ／Ｏ≧１２５０Ｓ－５．８・・・（２）

ここで、式（２）中の元素記号には、対応する元素の含有量（質量％）が代入される。

[0056] Ｃａは鋼中のＯだけでなく、鋼中のＳとも反応する。そのため、Ｃａ／Ｏが式（１）を満たしても、特定ＡｌＯ酸化物の生成が抑制されない場合がある。

[0057] より具体的には、Ｃａ／Ｏが１２５０Ｓ－５．８よりも小さい場合、Ｓと結合するＣａ量が多くなり、（ＡｌＣａ）Ｏに使用されるＣａ量が不足する。そのため、特定ＡｌＯ酸化物が生成し、転動疲労寿命が低下する。

[0058] Ｃａ／Ｏが式（１）を満たし、かつ、１２５０Ｓ－５．８以上であれば、Ｓと結合するＣａ量が抑えられ、適切な量のＣａを（ＡｌＣａ）Ｏの生成に利用できる。そのため、特定ＡｌＯ酸化物及び特定Ｃａ酸化物の生成を抑え、転動疲労寿命が高まる。

[0059] 図１は、上述のＣａ／ＯとＳ含有量と、式（１）及び式（２）を満たす範囲との関係を模式的に示す図である。図中の縦軸は、Ｃａ含有量のＯ含有量に対する比（Ｃａ／Ｏ）である。横軸は、鋼材中のＳ含有量（質量％）である。直線Ｌ１００は、Ｃａ／Ｏ＝２．０を示す。直線Ｌ２００は、Ｃａ／Ｏ＝０．７を示す。Ｌ３００は、一次関数Ｃａ／Ｏ＝１２５０Ｓ－５．８を示す。

[0060] 図１中でハッチングされた領域Ａ１は、直線Ｌ１００、Ｌ２００及びＬ３００で囲まれる。Ｃａ／Ｏ及びＳ含有量が領域Ａ１内である場合、（ＡｌＣａ）Ｏが生成され、特性ＡｌＯ酸化物及び特定Ｃａ酸化物の生成が抑制される。そのため、鋼材の転動疲労寿命が高くなる。

[0061] 本実施形態の高周波焼入れ用鋼材の残部は、Ｆｅおよび不純物からなる。ここで、不純物とは、鋼材を工業的に製造する際に、原料としての鉱石、スクラップ、または製造環境などから混入されるものであって、本実施形態の高周波焼入用鋼材に悪影響を与えない範囲で許容されるものを意味する。

[0062] ［任意元素について］

本実施形態の高周波焼入れ用鋼材は、Ｃｕ、Ｎｉ、及び、Ｍｏ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。Ｃｕ、Ｎｉ及びＭｏはいずれも、高周波焼入れ後の部品の転動部の硬さをさらに高める。

[0063] Ｃｕ：０～１．０％

銅（Ｃｕ）は任意元素であり、含有されなくてもよい。含有される場合、Ｃｕは、Ｃ及びＭｎと同様に、高周波焼入れ後の部品の転動部の硬さを高める。しかしながら、Ｃｕ含有量が高すぎれば、鋼材の疲労強度が低下し、熱間加工性も低下する。したがって、Ｃｕ含有量は、０～１．０％である。上記効果をより安定して得るためのＣｕ含有量の好ましい下限は０．０５％であり、さらに好ましくは０．０７％である。Ｃｕ含有量の好ましい上限は０．５％である。

[0064] Ｎｉ：０～３．０％

ニッケル（Ｎｉ）は任意元素であり、含有されなくてもよい。含有される場合、ＮｉはＣやＭｎと同様に、高周波焼入れ後の部品の転動部の硬さを高める。しかしながら、Ｎｉ含有量が高すぎれば、鋼材の疲労強度の低下が低下する。したがって、Ｎｉ含有量は、０～３．０％である。上記効果をより安定して得るためのＮｉ含有量の好ましい下限は０．０５％であり、さらに好ましくは０．０７％である。Ｎｉ含有量の好ましい上限は２．０％である。

[0065] Ｍｏ：０～０．１５％

モリブデン（Ｍｏ）は任意元素であり、含有されなくてもよい。含有される場合、Ｍｏは、ＣやＭｎと同様に、高周波焼入れ後の部品の転動部の硬さを高める。しかしながら、Ｍｏ含有量が高すぎれば、この効果は飽和し、製

造コストが高まる。したがって、Ｍｏ含有量は０～０．１５％である。上記効果をより安定して得られるためのＭｏ含有量の好ましい下限は０．０２％であり、さらに好ましくは０．０３％である。Ｍｏ含有量の好ましい上限は０．１２％である。

[0066] 上記のとおり、本実施形態の高周波焼入れ用鋼材は、Ｃｕ、Ｎｉ及びＭｏからなる群から選択される１種又は２種以上を含有できる。これらの元素が複合して含有される場合、その合計量の上限は、４．１５％である。

[0067] 本実施形態の高周波焼入れ用鋼材はさらに、Ｖ及びＮｂからなる群から選択される１種又は２種を含有してもよい。Ｖ及びＮｂは任意元素である。高周波加熱処理において、鋼材は短時間といえども高温まで加熱される。Ｖ及びＮｂはいずれも、鋼材の焼入れ部分の結晶粒の粗大化を抑制する。

[0068] Ｖ：０～０．３０％

バナジウム（Ｖ）は任意元素であり、含有されなくてもよい。含有される場合、Ｖは、Ｎと結合して窒化物を形成する。形成された窒化物は、鋼材の焼入れ部分の結晶粒の粗大化を抑制する。Ｖはさらに、Ｃと結合して鋼材の強度を高める。しかしながら、Ｖ含有量が高すぎれば、焼入れ部分の結晶粒の粗大化を抑制する効果が飽和する。さらに、鋼材の強度が高くなりすぎて被削性が低下する。したがって、Ｖ含有量は０～０．３０％である。上記効果をより安定して得るためのＶ含有量の好ましい下限は、０．０１％であり、さらに好ましくは０．０１５％である。Ｖ含有量の好ましい上限は０．２０％である。

[0069] Ｎｂ：０～０．１０％

ニオブ（Ｎｂ）は任意元素であり、含有されなくてもよい。含有される場合、Ｎｂは、Ｎと結合して窒化物を形成する。形成された窒化物は、鋼材の焼入れ部分の結晶粒の粗大化を抑制する。Ｎｂはさらに、Ｃと結合して鋼材の強度を高める。しかしながら、Ｎｂ含有量が高すぎれば、焼入れ部分の結晶粒の粗大化を抑制する効果が飽和する。さらに、鋼材の強度が高くなりすぎて被削性が低下する。したがって、Ｎｂ含有量は０～０．１０％である。

上記効果をより安定して得るためのＮｂ含有量の好ましい下限は０．０１％であり、さらに好ましくは０．０１２％である。Ｎｂ含有量の好ましい上限は０．０８％である。

[0070] 上述のとおり、本実施形態の高周波焼入れ用鋼材は、Ｖ及びＮｂからなる群から選択される１種又は２種を含有することができる。これらの元素を複合して含有させる場合の合計量の上限は、０．４０％である。

[0071] 本実施形態の高周波焼入れ用鋼材はさらに、Ｂ及びＴｉを含有してもよい。Ｂ及びＴｉは任意元素である。

[0072] Ｂ：０～０．００３０％

ボロン（Ｂ）は任意元素であり、含有しなくてもよい。含有される場合、Ｂは、鋼の焼入れ性を高める。そのため、高周波焼入れ後の部品の転動部の硬化層の深さをさらに大きくすることができる。しかしながら、Ｂ含有量が高すぎれば、その効果は飽和する。そのため、Ｂ含有量は０～０．００３０％である。上記効果をより安定して得るためのＢ含有量の好ましい下限は０．０００５％であり、さらに好ましくは０．０００７％である。Ｂ含有量の好ましい上限は０．００２０％である。

[0073] Ｔｉ：０～０．１０％

チタン（Ｔｉ）は任意元素であり、含有されなくてもよい。固溶したＢは鋼材の焼入れ性を高める。しかしながら、ＢがＮと結合したＢＮは、鋼材の焼入れ性を高めない。したがって、Ｂを含有する場合、ＢよりもＮとの親和力が大きく窒化物を形成しやすいＴｉも含有する。しかしながら、Ｔｉ含有量が高すぎれば、粗大なＴｉＮが多数生成し、鋼材の転動疲労寿命が低下する。したがって、Ｔｉ含有量は０～０．１０％である。上記効果をより安定して得るためのＴｉ含有量の好ましい下限は、０．０１％であり、さらに好ましくは０．０１５％である。Ｔｉ含有量の好ましい上限は０．０５％である。

[0074] ［製造方法］

上述の高周波焼入れ用鋼材の製造方法を説明する。本実施の形態では、一

例として、高周波焼入れ用鋼材である棒鋼の製造方法と、高周波焼入れ用鋼材（棒鋼）を用いた熱間鍛造品の製造工程とを説明する。熱間鍛造品は例えば、自動車及び産業機械等に利用される部品であり、より具体的には、例えば、等速ジョイントやハブユニットといった部品である。

[0075] 上述の化学組成と、式（１）及び式（２）とを満たす溶鋼を製造する。溶鋼を製造するとき、溶鋼に対してＡｌで脱酸処理を実施する。その後、Ｃａ－Ｓｉ合金を溶鋼に含有して、鋼材のＣａ含有量を調整する。

[0076] 製造された溶鋼を用いて、鋳造法により鋳片にする。溶鋼を造塊法によりインゴット（鋼塊）にしてもよい。鋳片又はインゴットを熱間加工して、ビレット（鋼片）を製造する。ビレットを熱間加工して、棒鋼を製造する。熱間加工は、熱間圧延でもよいし、熱間鍛造でもよい。以上の製造工程により、高周波焼入れ用鋼材が製造される。

[0077] 製造された高周波焼入れ用鋼材は、熱間鍛造される。熱間鍛造された高周波焼入れ用鋼材に対して、必要に応じて焼準処理を実施する。さらに、必要に応じて、熱間鍛造された高周波焼入れ用鋼材に対して機械加工を実施し、所定の形状にする。機械加工された高周波焼入れ用鋼材に対して調質処理を実施してもよい。

[0078] 以上の工程を経た高周波焼入れ用鋼材に対して、高周波焼入れが実施される。本実施形態の高周波焼入れ用鋼材は、高周波焼入れが実施された後、優れた転動疲労寿命を有する。

実施例

[0079] 真空溶解炉を用いて、表１に示す化学組成を有する鋼１～３０の溶鋼を製造した。溶鋼を製造するとき、溶鋼に対してＡｌで脱酸処理を実施した。その後、Ｃａ－Ｓｉ合金を溶鋼に含有して鋼材のＣａ含有量を調整した。製造された溶鋼を用いて、１５０ｋｇ鋼塊を製造した。

[0080]

[表1]

TABLE1

区分	鋼	化学組成(単位は質量%、残部はFeおよび不純物)																	Ca／O	1250S−5.8
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ca	O	N	Cu	Ni	Mo	V	Nb	B	Ti		
本発明例	1	0.60	0.20	0.80	0.015	0.0016	0.15	0.032	0.0022	0.0024	0.0079	−	−	−	−	−	−	−	0.92	−3.80
	2	0.44	0.32	1.45	0.012	0.0019	0.21	0.025	0.0025	0.0013	0.0080	−	−	−	−	−	−	−	1.92	−3.43
	3	0.57	0.71	0.64	0.021	0.0011	0.25	0.035	0.0005	0.0007	0.0058	−	−	−	−	−	−	−	0.71	−4.43
	4	0.53	0.15	0.54	0.026	0.0059	0.12	0.028	0.0014	0.0008	0.0093	−	−	−	−	−	−	−	1.75	1.58
	5	0.56	0.20	0.78	0.012	0.0004	0.15	0.034	0.0028	0.0018	0.0091	−	−	−	−	−	−	−	1.56	−5.30
	6	0.46	0.17	0.76	0.019	0.0010	0.13	0.031	0.0008	0.0010	0.0069	0.12	−	−	−	−	−	−	0.80	−4.55
	7	0.52	0.20	0.81	0.014	0.0012	0.14	0.028	0.0012	0.0011	0.0077	−	0.16	−	−	−	−	−	1.09	−4.30
	8	0.55	0.20	0.80	0.020	0.0009	0.27	0.030	0.0015	0.0019	0.0082	−	−	0.08	−	−	−	−	0.79	−4.68
	9	0.52	0.21	0.84	0.020	0.0022	0.20	0.031	0.0018	0.0013	0.0044	−	−	−	−	−	0.0012	0.027	1.38	−3.05
	10	0.49	0.23	0.73	0.016	0.0006	0.19	0.033	0.0014	0.0008	0.0142	−	−	−	−	0.016	−	−	1.75	−5.05
	11	0.52	0.18	0.77	0.013	0.0015	0.14	0.028	0.0007	0.0008	0.0177	−	−	−	0.030	−	−	−	0.88	−3.93
	12	0.54	0.20	0.78	0.018	0.0017	0.17	0.031	0.0007	0.0009	0.0048	−	0.14	−	−	−	0.0016	0.030	0.78	−3.68
	13	0.49	0.21	0.80	0.013	0.0012	0.22	0.033	0.0014	0.0012	0.0130	0.14	0.11	−	−	0.012	−	−	1.17	−4.30
	14	0.53	0.23	0.76	0.014	0.0010	0.15	0.030	0.0017	0.0012	0.0066	−	−	−	0.037	−	0.0013	0.035	1.42	−4.55
	15	0.52	0.24	0.78	0.014	0.0013	0.16	0.027	0.0013	0.0013	0.0054	−	−	−	−	−	0.0011	0.022	1.00	−4.18
	16	0.55	0.20	0.79	0.017	0.0018	0.21	0.033	0.0013	0.0009	0.0068	−	0.18	−	−	−	0.0013	0.028	1.44	−3.55
	17	0.51	0.19	1.47	0.015	0.0013	0.14	0.024	0.0027	0.0014	0.0081	−	−	−	−	−	−	−	1.93	−4.18
	18	0.49	0.25	0.69	0.020	0.0015	0.17	0.029	0.0009	0.0012	0.0076	0.14	−	−	−	−	−	−	0.75	−3.93
比較例	19	0.48	0.23	0.91	0.018	0.0009	0.18	0.034	0.0018	0.0008	0.0085	−	−	−	−	−	−	−	* 2.25	−4.68
	20	0.54	0.20	0.78	0.012	0.0008	0.15	0.031	0.0011	0.0021	0.0089	−	−	−	−	−	−	−	* 0.52	−4.80
	21	0.55	0.19	0.79	0.011	0.0053	0.15	0.029	0.0016	0.0022	0.0066	−	−	−	−	−	−	−	0.73	* 0.83
	22	0.55	0.20	0.79	0.013	0.0012	0.15	0.035	* 0.0038	0.0013	0.0075	−	−	−	−	−	−	−	* 2.92	−4.30
	23	0.57	0.19	0.80	0.014	0.0011	0.15	0.030	* 0.0001	0.0011	0.0066	−	−	−	−	−	−	−	* 0.09	−4.43
	24	0.50	0.26	0.68	0.021	0.0023	0.17	0.031	0.0029	* 0.0041	0.0072	−	−	−	−	−	−	−	0.71	−2.93
	25	0.54	0.20	0.80	0.012	* 0.0220	0.25	0.028	0.0010	0.0012	0.0068	−	−	−	−	−	−	−	0.83	* 21.70
	26	0.58	0.17	0.66	0.013	0.0022	* 1.03	0.033	0.0020	0.0011	0.0074	−	−	−	−	−	−	−	1.82	−3.05
	27	* 0.71	0.24	0.94	0.025	0.0006	0.15	0.031	0.0015	0.0009	0.0069	−	−	−	−	−	−	−	1.67	−5.05
	28	* 0.27	0.34	0.82	0.019	0.0014	0.24	0.028	0.0012	0.0013	0.0075	−	−	−	−	−	−	−	0.92	−4.05
	29	0.52	0.23	0.81	0.014	0.0012	0.14	0.026	0.0019	0.0007	0.0072	0.13	0.05	−	−	−	−	−	* 2.71	−4.30
	30	0.55	0.19	0.76	0.013	0.0015	0.14	0.031	0.0006	0.0013	0.0130	−	−	−	−	0.013	−	−	* 0.46	−3.93

*印は本実施形態で規定する条件から外れていることを示す。

[0081] 表１中の「Ｃａ／Ｏ」欄には、各鋼１～３０のＣａ含有量のＯ含有量に対する比が記載されている。「１２５０Ｓ－５．８」欄には、式（２）の右辺が開示されている。

表１中の鋼１～１８の化学組成は、本実施形態の高周波焼入れ用鋼材の化学組成の範囲内であった。鋼１９～鋼３０の化学組成は、本実施形態の高周波焼入れ用鋼材の化学組成の範囲から外れていた。

[0082] 各鋼塊を一旦室温まで冷却した後、各鋼塊を化学組成に応じて１２００～１３００℃の温度域の温度に加熱した。そして、加熱された鋼塊に対して熱間鍛造を実施して、直径８０ｍｍの丸棒を製造した。熱間鍛造時の仕上げ温度はいずれも１０００℃以上であった。熱間鍛造後の丸棒は、大気中で常温まで放冷した。

[0083] 製造された各丸棒に対して、焼準処理を実施した。具体的には、各丸棒を、８５０℃で３０分加熱し、その後、大気中で常温まで放冷した。

[0084] ［転動疲労試験］

以上の工程で得られた鋼１～３０の丸棒を用いて、次に示す転動疲労試験を実施した。

[0085] 図２Ａは転動疲労試験に利用した試験片の素材（試験素材）１の平面図である。図２Ａに示すとおり、各丸棒の中心部から、直径Ｄ１が６０ｍｍ、厚さ１０ｍｍの円盤状の試験素材１を作製した。試験素材１の中心軸は、丸棒の中心軸と一致した。試験素材１の表面のうち、環状領域１０の内径Ｄ２は３５ｍｍであり、外径Ｄ３は４５ｍｍであった。

[0086] 試験素材１の表面の中心からの半径が１７．５～２２．５ｍｍの環状領域１０に対して、高周波焼入れを実施した。図２Ｂに示すように、環状領域１０の形状に合わせて形成された円環状のコイル２を環状領域１０の真上に配置した。試験素材１を図２Ｂの矢印の方向に回転しながら、高周波加熱を実施した。高周波加熱時の周波数は３０ｋＨｚ、出力は１００ｋＷ、加熱時間は１．７秒であった。加熱後の試験素材１を水焼入れした。焼入れ後の試験素材１に対して、焼戻しを実施した。具体的には、試験素材１を１５０℃で

１時間加熱し、その後、大気中で放冷した。

[0087] さらに、焼戻し後の試験素材１において、高周波焼入れが実施された表面と反対側の表面を研削した。さらに、高周波焼入れが実施された表面を鏡面加工して、厚さ５．０ｍｍの転動疲労試験片を作製した。

[0088] 転動疲労試験片の表面のうち、鏡面加工した表面が試験面となるようにして、転動疲労試験を実施した。

[0089] 転動疲労試験は、森式スラスト型転動疲労試験機を用いた。最大接触面圧５２３０ＭＰａ、繰返し速度１８００ｃｐｍ（ｃｙｃｌｅ ｐｅｒ ｍｉｎｕｔｅ）の条件で試験を実施した。試験部は、試験面の中心から半径１９．２５ｍｍの環状領域とした。鋼球（相手玉）として、ＪＩＳ Ｇ ４８０５（２００８）に規定されたＳＵＪ２調質材を用いた。転動疲労試験では、剥離までの応力繰り返し数を測定した。表２に、転動疲労試験の詳細条件を示す。

[0090] [表2]

TABLE2

試験機	スラスト型転動疲労試験機
繰り返し速度	1800cpm
最大接触面圧	5230MPa
相手玉	種類:SUJ2の焼入れ－焼戻し玉 直径:9．52mm 個数:3個
潤滑油	クリセフオイルF8(商品名)

[0091] 転動疲労試験結果をワイブル分布確率紙上にプロットし、１０％破損確率を示すL_{10}寿命を「転動疲労寿命」として評価した。L_{10}寿命が５．０×10^6以上を満足した場合、転動疲労寿命に優れると評価した。

[0092] [試験結果]

表３に、上記試験で得られたL_{10}寿命を示す。

[0093]

[表3]

TABLE3

区分	試験番号	鋼	L_{10}寿命（$\times 10^6$）
本発明例	1	1	13.8
	2	2	7.12
	3	3	6.54
	4	4	5.34
	5	5	5.67
	6	6	10.4
	7	7	11.2
	8	8	8.38
	9	9	10.7
	10	10	8.57
	11	11	11.2
	12	12	11.3
	13	13	12.0
	14	14	12.8
	15	15	14.2
	16	16	13.4
	17	17	8.9
	18	18	12.5
比較例	19	19	2.93
	20	20	1.20
	21	21	3.36
	22	22	1.46
	23	23	1.31
	24	24	0.920
	25	25	0.765
	26	26	3.25
	27	27	2.02
	28	28	1.14
	29	29	2.21
	30	30	1.36

[0094] 表３中の「L_{10}寿命」欄の数値は、各試験番号のL_{10}寿命（$\times 10^6$）が記載されている。表１及び表３を参照して、試験番号１～１８の鋼１～１８の化学組成は適切であり、Ｃａ／Ｏが式（１）及び式（２）を満たした。そのため、L_{10}寿命は５．３４$\times 10^6$以上であり、優れた転動疲労寿命が得られた。

[0095] 一方、試験番号１９では、鋼１９のＣａ／Ｏが２．２５と高く、式（１）の上限を超えた。そのため、粗大な酸化物または点列状の酸化物が形成されやすくなり、L_{10}寿命が５．０$\times 10^6$未満（２．９３$\times 10^6$）であった。

[0096] 試験番号２０では、鋼２０のＣａ／Ｏが０．５２と低く、式（１）の下限

未満であった。そのため、特定ＡＩ酸化物が生成しやすくなり、L_{10}寿命が５．０×１０^{6}未満（１．２０×１０^{6}）であった。

[0097] 試験番号２１では、鋼２１のＣａ／Ｏが０．７３であって、１２５０Ｓ－５．８が０．８３であるため、Ｃａ／Ｏが１２５０Ｓ－５．８よりも小さく、式（２）を満たさなかった。そのため、鋼中の酸化物が粗大化しやすくなり、L_{10}寿命は５．０×１０^{6}未満（３．３６×１０^{6}）であった。

[0098] 試験番号２２では、鋼２２のＣａ含有量が０．００３８％と高すぎた。そのため、粗大な酸化物及び／又は点列状の酸化物が形成されやすくなり、L_{10}寿命は５．０×１０^{6}未満（１．４６×１０^{6}）であった。

[0099] 試験番号２３では、鋼２３のＣａ含有量が０．０００１％と低すぎた。そのため、酸化物は高融点の凝集しやすいものとなり、その結果粗大化し、L_{10}寿命は５．０×１０^{6}未満（１．３１×１０^{6}）であった。

[0100] 試験番号２４では、鋼２４のＯ含有量が０．００４１％と高すぎた。そのため、粗大な酸化物が多く生成しやすくなり、L_{10}寿命は５．０×１０^{6}未満（０．９２０×１０^{6}）であった。

[0101] 試験番号２５では、鋼２５のＳ含有量が０．０２２０％と高すぎた。そのため、粗大な硫化物が多く生成しやすく、また、多くのＣａおよびＳがＣａＳを形成しやすいため、Al_2O_3と反応するＣａは少なくなりやすかった。そのため、L_{10}寿命は５．０×１０^{6}未満（０．７６５×１０^{6}）であった。

[0102] 試験番号２６では、鋼２６のＣｒ含有量が１．０３％と高すぎた。そのため、高周波焼入れ部が均一に硬化せず、L_{10}寿命は５．０×１０^{6}未満（３．２５×１０^{6}）であった。

[0103] 試験番号２７では、鋼２７のＣ含有量が０．７１％と高すぎた。そのため、高周波焼入れ部の靭性が低下し、L_{10}寿命は５．０×１０^{6}未満（２．０２×１０^{6}）であった。

[0104] 試験番号２８では、鋼２８のＣ含有量が０．２７％と低すぎた。そのため、高周波焼入れ部で十分な硬さが得られず、L_{10}寿命は５．０×１０^{6}未満（１．１４×１０^{6}）であった。

[0105] 試験番号２９では、高周波焼入れ後の転動部の硬さを高めるために鋼２９がＣｕ及びＮｉを含有したものの、Ｃａ／Ｏが２．７１と高く、式（１）の上限を超えた。そのため、粗大な酸化物または点列状の酸化物が形成されやすくなり、L_{10}寿命は５．０×１０^{6}未満（２．２１×１０^6）であった。

[0106] 試験番号３０では、焼入れ部の結晶粒の粗大化を抑える目的で鋼３０がＮｂを含有したものの、Ｃａ／Ｏが０．４６と低く、式（１）の下限未満であった。そのため、酸化物が粗大化しやすく、L_{10}寿命は５．０×１０^{6}未満（１．３６×１０^6）であった。

[0107] 以上、本発明の実施の形態を説明した。上述した実施の形態は本発明を実施するための例示に過ぎない。したがって、本発明は上述した実施の形態に限定されることなく、その趣旨を逸脱しない範囲内で上述した実施の形態を適宜変形して実施することが可能である。

産業上の利用可能性

[0108] 本実施形態の高周波焼入れ用鋼材は、近年の転動部材の過酷な使用環境下においても、転動疲労による破損に対して良好な耐久性を有し、優れた転動疲労寿命を有する。そのため、本実施形態の高周波焼入れ用鋼材は、優れた転動疲労寿命が求められる用途に広く適用可能であり、特に、自動車部品として使用される「等速ジョイント」や「ハブユニット」といった高周波焼入れが実施される転動部材の素材として好適に用いることができる。

請求の範囲

［請求項1］ 質量％で、

Ｃ：０．４～０．６％、

Ｓｉ：０．０３～１．０％、

Ｍｎ：０．２～２．０％、

Ｐ：０．０５％以下、

Ｓ：０．０１０％未満、

Ｃｒ：０．０５～０．５０％、

Ａｌ：０．０１～０．１０％、

Ｃａ：０．０００３～０．００３０％、

Ｏ：０．００３０％以下、

Ｎ：０．００３～０．０３０％、

Ｃｕ：０～１．０％、

Ｎｉ：０～３．０％、

Ｍｏ：０～０．１５％、

Ｖ：０～０．３０％、

Ｎｂ：０～０．１０％、

Ｂ：０～０．００３０％、及び、

Ｔｉ：０～０．１０％を含有し、

残部はＦｅおよび不純物からなり、

式（１）及び式（２）を満たす化学組成を有する、高周波焼入れ用鋼材。

０．７≦Ｃａ／Ｏ≦２．０・・・（１）

Ｃａ／Ｏ≧１２５０Ｓ－５．８・・・（２）

ここで、式（１）及び式（２）中の元素記号には、対応する元素の含有量（質量％）が代入される。

［請求項2］ 請求項１に記載の高周波焼入れ用鋼材であって、

前記化学組成は、

Ｃ：０．４８～０．６％を含有する、高周波焼入れ用鋼材。

［請求項3］ 請求項２に記載の高周波焼入れ用鋼材であって、

前記化学組成は、

Ｃ：０．５０～０．６％を含有する、高周波焼入れ用鋼材。

［請求項4］ 請求項１～請求項３のいずれか１項に記載の高周波焼入れ用鋼材であって、

前記化学組成は、

Ｎ：０．００５０％超～０．０３０％を含有する、高周波焼入れ用鋼材。

［請求項5］ 請求項１～請求項４のいずれか１項に記載の高周波焼入れ用鋼材であって、

前記化学組成は、

Ｃｕ：０．０５～１．０％、

Ｎｉ：０．０５～３．０％、及び、

Ｍｏ：０．０２～０．１５％からなる群から選択される１種又は２種以上を含有する、高周波焼入れ用鋼材。

［請求項6］ 請求項１～請求項５のいずれか１項に記載の高周波焼入れ用鋼材であって、

前記化学組成は、

Ｖ：０．０１～０．３０％、及び、

Ｎｂ：０．０１～０．１０％からなる群から選択される１種又は２種を含有する、高周波焼入れ用鋼材。

［請求項7］ 請求項１～請求項６のいずれか１項に記載の高周波焼入れ用鋼材であって、

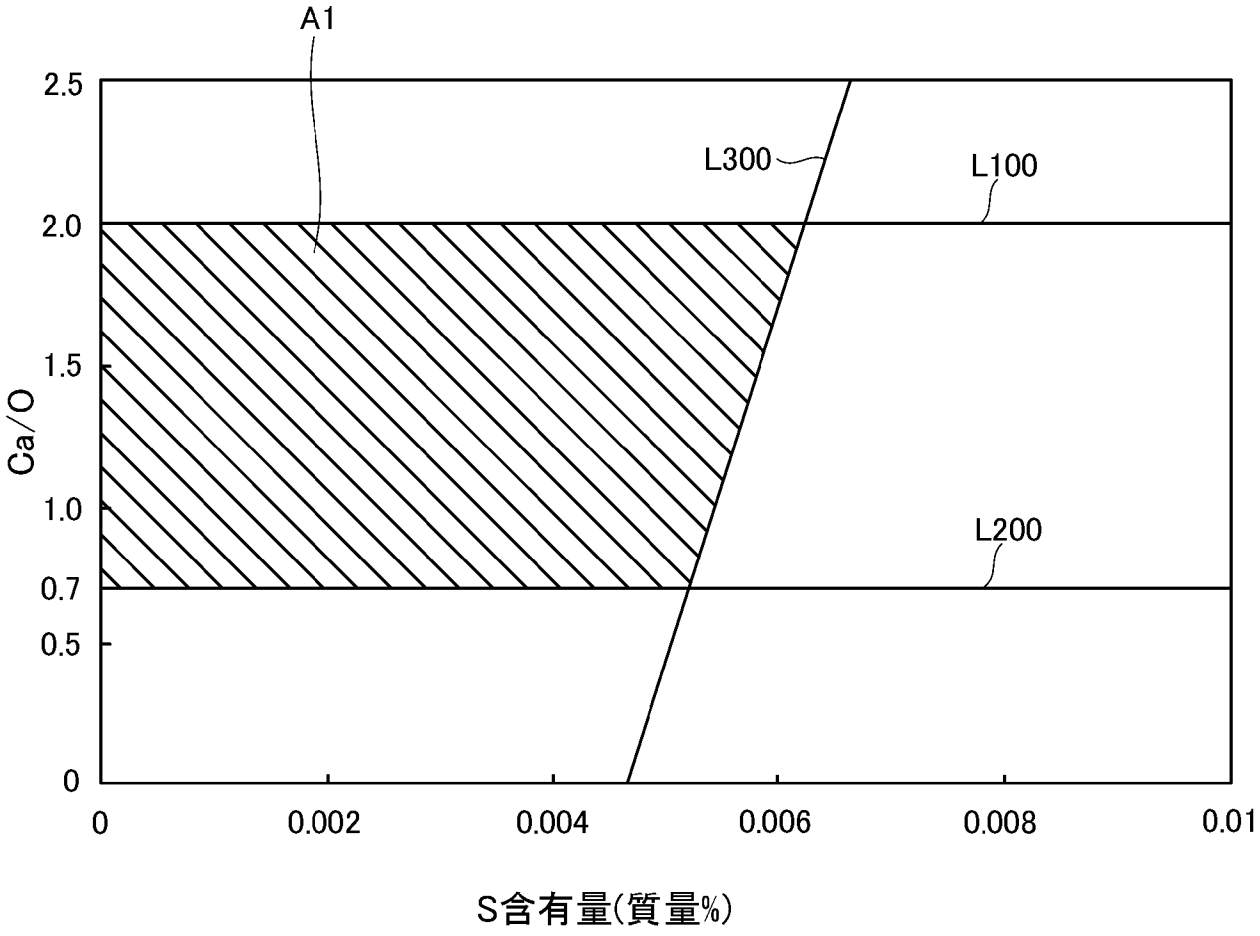
前記化学組成は、

Ｂ：０．０００５～０．００３０％、及び、

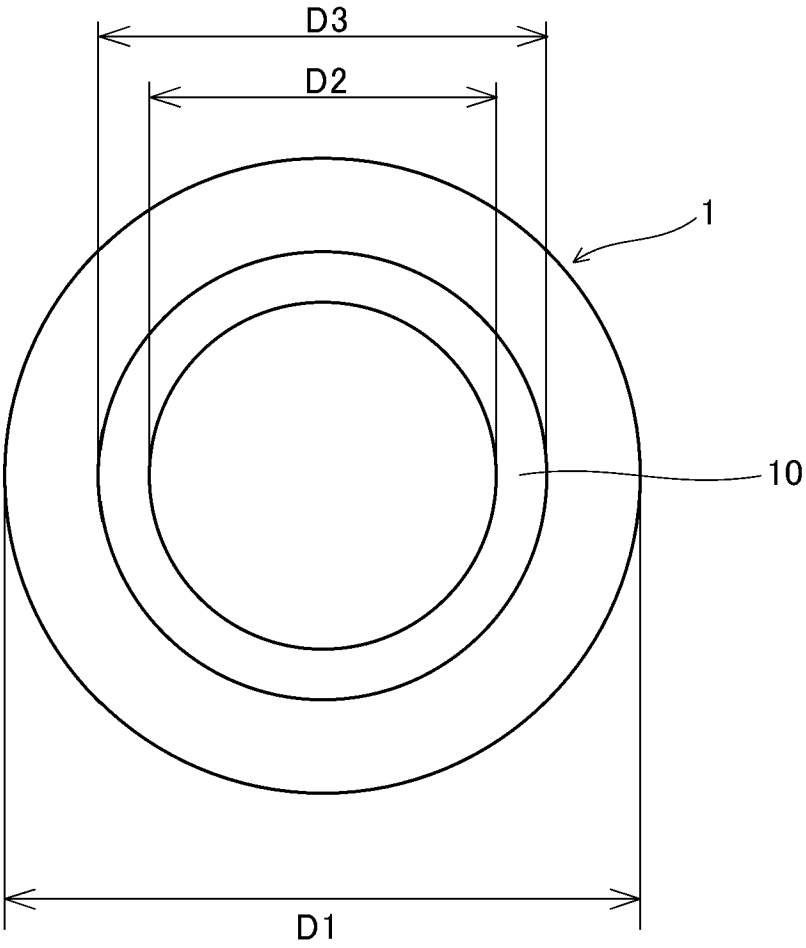
Ｔｉ：０．０１～０．１０％を含有する、高周波焼入れ用鋼材。

[図1]

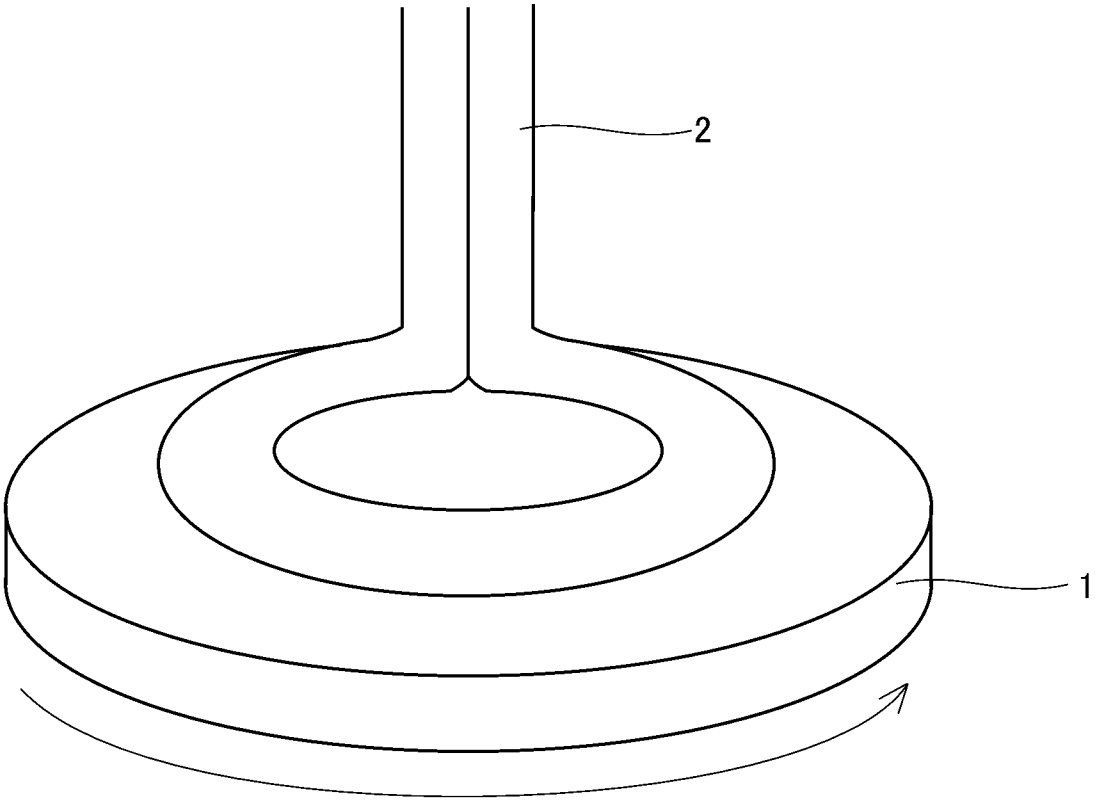
FIG.1


A1
L300
L100
L200
2.5
2.0
1.5
1.0
0.7
0.5
0
Ca/O
0
0.002
0.004
0.006
0.008
0.01
S含有量(質量%)

[図2A]
FIG.2A



[図2B]
FIG.2B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/004855

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C22C38/00(2006.01)i, *C22C38/38*(2006.01)i, *C22C38/58*(2006.01)i

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, C22C38/38, C22C38/58

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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.
X A	JP 2000-328193 A (Kobe Steel, Ltd.), 28 November 2000 (28.11.2000), table 2 (Family: none)	1,4,6 2-3,5,7
A	JP 2010-001525 A (Kobe Steel, Ltd.), 07 January 2010 (07.01.2010), table 1 & US 2011/0091348 A1 & WO 2009/154235 A1 & KR 10-2011-0009252 A & CN 102046826 A	1-7
A	JP 2008-133530 A (JFE Steel Corp.), 12 June 2008 (12.06.2008), table 2 & KR 10-2008-0039284 A	1-7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
04 October, 2013 (04.10.13)	15 October, 2013 (15.10.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/004855

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 2008-075177 A (Kobe Steel, Ltd.), 03 April 2008 (03.04.2008), table 1 (Family: none)	1-7
A	JP 2002-069577 A (Nippon Steel Corp.), 08 March 2002 (08.03.2002), tables 1, 2 (Family: none)	1-7

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／００４８５５

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, C22C38/38(2006.01)i, C22C38/58(2006.01)i

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, C22C38/38, C22C38/58

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	１９７１－２０１３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１３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	JP 2000-328193 A (株式会社神戸製鋼所) 2000.11.28, 【表２】（ファミリーなし）	1,4,6 2-3,5,7
A	JP 2010-001525 A (株式会社神戸製鋼所) 2010.01.07, 【表１】 & US 2011/0091348 A1 & WO 2009/154235 A1 & KR 10-2011-0009252 A & CN 102046826 A	1-7

☑　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	国際調査報告の発送日
０４．１０．２０１３	１５．１０．２０１３

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　４Ｋ　３４４０
小谷内　章
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 2008-133530 A（ＪＦＥスチール株式会社）2008.06.12, 【表２】 & KR 10-2008-0039284 A	1-7
A	JP 2008-075177 A（株式会社神戸製鋼所）2008.04.03, 【表１】（ファミリーなし）	1-7
A	JP 2002-069577 A（新日本製鐵株式会社）2002.03.08, 【表１】、【表２】（ファミリーなし）	1-7