

(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
2016年7月14日(14.07.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/111292 A1

- (51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) F16F 1/02 (2006.01)
C22C 38/38 (2006.01) C21D 8/10 (2006.01)
C22C 38/58 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/050134
- (22) 国際出願日: 2016年1月5日(05.01.2016)
- (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 2015-001710 2015年1月7日(07.01.2015) JP
特願 2015-001711 2015年1月7日(07.01.2015) 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). 神鋼メタルプロダクツ株式会社(SHINKO METAL PRODUCTS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒8000007 福岡県北九州市門司区小森江2丁目2番1号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者: 高知 琢哉(KOCHI, Takuya). 畑野 等(HATANNO, Hitoshi). 豊武 孝太郎(Toyotake, Kotaro).
- (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, 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, KN, KP, KR, 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

[続葉有]

(54) Title: HOLLOW SEAMLESS STEEL PIPE FOR SPRING

(54) 発明の名称: ばね用中空シームレス鋼管

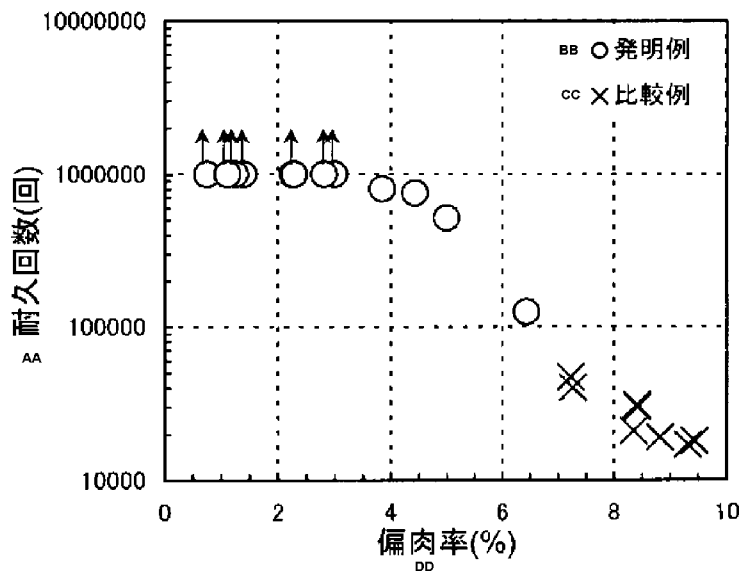


FIG. 5:
AA Number of endurances (times)
BB Example of present invention
CC Comparative example
DD Uneven thickness rate

(57) Abstract: Provided is a hollow seamless steel pipe for spring which contains, by mass%, C: 0.2-0.7%, Si: 0.5-3%, Mn: 0.1-2%, Cr: over 0% but not greater than 3%, Al: over 0% but not greater than 0.1%, P: over 0% but not greater than 0.02%, S: over 0% but not greater than 0.02%, and N: over 0% but not greater than 0.02%, and the remainder which comprises iron and unavoidable impurities, wherein the uneven thickness rate calculated using formula (1) is equal to or less than 7.0%. Uneven thickness rate = (maximum thickness-minimum thickness)/(average thickness) × 100 (1)

(57) 要約: 質量%で、C: 0.2~0.7%、Si: 0.5~3%、Mn: 0.1~2%、Cr: 0%超、3%以下、Al: 0%超、0.1%以下、P: 0%超、0.02%以下、S: 0%超、0.02%以下及びN: 0%超、0.02%以下を含有し、残部が鉄及び不可避不純物である中空シームレス鋼管であって、下記(1)式で算出される偏肉率が7.0%以下であるばね用中空シームレス鋼管である。偏肉率=(最大肉厚-最小肉厚)/(平均肉厚) × 100 (1)



ロシア (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：ばね用中空シームレス鋼管

技術分野

[0001] 本発明は、ばね用中空シームレス鋼管に関し、特に自動車などに使用される中空形状の鋼製懸架ばねなどの製造に適した高強度ばね用中空シームレス鋼管に関する。

背景技術

[0002] 近年、排ガス低減および燃費改善を目的とする自動車の軽量化や高出力化の要請が高まるにつれて、サスペンション、エンジン、クラッチ等に使われる懸架ばね、弁ばね、クラッチばね等においても高応力設計が志向されている。そのため、これらのばねは高強度化、細径化していく方向にあり、負荷応力がさらに増大する傾向にある。こうした傾向に対応するため、耐疲労性や耐へたり性においても一段と高性能なばね鋼が強く望まれている。

[0003] また、耐疲労性や耐へたり性を維持しつつ軽量化を実現するために、ばねの素材としてこれまで用いられている棒状の線材、すなわち中実の線材を使用する代わりに、中空にしたパイプ状の鋼材であって溶接継ぎ目のない鋼管（以下、中空シームレス鋼管）がばねの素材として用いられるようになってきている。このような中空シームレス鋼管を製造するための技術はこれまでに様々な提案されている。

[0004] 例えば、特許文献１には、ばね鋼鋼材からなる素材を、穿孔圧延機の代表であるマンネスマン穿孔し、その後マンドレルミルによる延伸圧延を行い、さらに８２０～９４０℃で１０～３０分再加熱し、その後仕上げ圧延する技術が提案されている。また特許文献２では、円筒状のビレットを熱間静水圧押出し加工してシームレス鋼管中間体を製造し、前記シームレス鋼管中間体を加熱した後、加熱後の前記シームレス鋼管中間体をピルガーミル圧延および引き抜き加工のうち少なくとも一つ行って、例えば抽伸などを行って伸展させ、伸展させた前記シームレス鋼管中間体を加熱する技術が開示されてい

る。特許文献3でも、特許文献2と同様に、押出用中空ビレットを加熱した後、熱間押出を行って、冷間加工などを行ってシームレス鋼管を製造している。更に、特許文献4は、熱間圧延によって棒材を製造した後、ガンドリルで穿孔し、冷間での圧延や抽伸（冷間加工）してシームレスパイプを製造することによって、穿孔や押出し時における加熱を回避し、脱炭を軽減する技術が開示されている。

[0005] これらの従来技術は、脱炭の低減および疵低減により疲労特性を向上しようとしているが、現在では従来の要求レベルよりもより高度な疲労強度が求められている。従って、これまで提案されているような技術では、要求される疲労強度を満足できず、耐久性の点で不十分である。特に、より高い応力域下では、これまで提案されてきた技術では耐久性向上に限界があり、他の要因についても検討する必要がある。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開平1－247532号公報

特許文献2：特許第4705456号公報

特許文献3：特開2012－111979号公報

特許文献4：特許第5324311号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明は、こうした状況の下になされたものであって、その目的は成形されるばねが十分な疲労強度を確保できるような高強度ばね用中空シームレス鋼管を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を達成した本発明は、鋼管の肉厚のばらつきを低減した点に特徴を有する。すなわち、本発明のばね用中空シームレス鋼管は、
質量%で、

C : 0.2~0.7%、

Si : 0.5~3%、

Mn : 0.1~2%、

Cr : 0%超、3%以下、

Al : 0%超、0.1%以下、

P : 0%超、0.02%以下、

S : 0%超、0.02%以下及び

N : 0%超、0.02%以下を含有し、残部が鉄及び不可避不純物である中空シームレス鋼管であって、

下記(1)式で算出される偏肉率が7.0%以下である点に要旨を有する

。

$$\text{偏肉率} = (\text{最大肉厚} - \text{最小肉厚}) / (\text{平均肉厚}) / 2 \times 100 \quad (1)$$

[0009] 本発明のばね用中空シームレス鋼管は、好ましくは、その全長に亘って、下記(2)式で算出される偏肉率の最大値が7.0%以下であり、内面疵深さが50 μ m以下であり、かつ内面トータル脱炭深さが100 μ m以下である。

$$\text{偏肉率} = (\text{最大肉厚} - \text{最小肉厚}) / \{ (\text{最大肉厚} + \text{最小肉厚}) / 2 \} / 2 \times 100 \quad (2)$$

[0010] 本発明のばね用中空シームレス鋼管は、必要に応じて、更に質量%で、以下の(a)~(f)の少なくともいずれかを含有することが好ましい。

(a) B : 0%超、0.015%以下

(b) V : 0%超、1%以下、Ti : 0%超、0.3%以下及びNb : 0%超、0.3%以下よりなる群から選択される1種以上

(c) Ni : 0%超、3%以下及びCu : 0%超、3%以下よりなる群から選択される1種以上

(d) Mo : 0%超、2%以下

(e) Ca : 0%超、0.005%以下、Mg : 0%超、0.005%以

下及びREM：0%超、0.02%以下よりなる群から選択される1種以上
(f)Zr：0%超、0.1%以下、Ta：0%超、0.1%以下及びHf：0%超、0.1%以下よりなる群から選択される1種以上

発明の効果

[0011] 本発明によれば、鋼管の肉厚のばらつきの指標である偏肉率が7.0%以下と高度に低減されているため、疲労強度が高く耐久性に優れた高強度中空ばね用のシームレス鋼管を提供できる。本発明の効果は、特に高応力域でその効果を顕著に発揮できる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]鋼管の肉厚 t の外径 D に対する比 t/D と、偏肉による内面応力の変動比の関係を示すグラフである。

[図2]鋼管の肉厚 t の外径 D に対する比 t/D と軽量化率の関係を示すグラフである。

[図3]肉厚公差0.1mmの時の偏肉率を、肉厚ごとにプロットしたグラフである。

[図4]後記する実施例において、ねじり疲労試験に用いた試験片の形状を表す図である。

[図5]後記する実施例1において、偏肉率とねじり疲労試験の耐久回数との関係を示したグラフである。

[図6]後記する実施例2において、鋼管の全長に亘る偏肉率の最大値と、ねじり疲労試験の耐久回数との関係を示したグラフである。

発明を実施するための形態

[0013] 高強度中空ばねにおいては、ショットピーニングを施すことのできない内面の疲労強度の向上が課題であり、これまでは内面の脱炭抑制および疵低減などが検討されてきた。これに対し、本発明者らは別の影響因子として鋼管の肉厚の影響について鋭意研究を行った。その結果、中空の鋼管の偏肉率が疲労強度に影響を与えることが判明した。

[0014] 上記した特許文献1～4のような従来技術においては疵や脱炭の改善が重

要な課題であり、偏肉率については何ら考慮されていなかった。しかし、本発明者らが偏肉率に着目して検討した結果、偏肉率の疲労特性への影響は大きく、特に偏肉率を7.0%以下とすることで、シームレス鋼管の疲労強度を向上できることが明らかになった。偏肉率は5.0%以下が好ましく、より好ましくは3.0%以下である。偏肉率は小さければ小さいほど良いが、その下限は通常0.5%程度である。

更に、鋼管の全長に亘り肉厚は均一でなく、偏肉率も異なるため、安定的な疲労強度を得るためには全長にわたって肉厚のばらつきを抑制することが好ましいと考えた。すなわち、本発明の好ましい1つの実施形態では鋼管の全長に亘って偏肉率の最大値を7.0%以下とすることで、シームレス鋼管の疲労強度を向上できることを明らかにした。鋼管の全長に亘る偏肉率の最大値は5.0%以下がより好ましく、更により好ましくは3.0%以下である。鋼管の全長に亘る偏肉率は小さければ小さいほど良いが、その下限は通常0.5%程度である。

[0015] 本発明において、偏肉率は下記(1)式で与えられる。

$$\text{偏肉率} = (\text{最大肉厚} - \text{最小肉厚}) / (\text{平均肉厚}) / 2 \times 100 \quad (1)$$

ここで、最大肉厚および最小肉厚は、それぞれ、同一断面内において、例えば90°毎に測定した4箇所のように複数箇所で測定した肉厚の最大値および最小値を意味し、平均肉厚は前記複数箇所で測定した肉厚の平均値を意味する。

[0016] また、鋼管の全長に亘る偏肉率は下記(2)式で与えられる。

$$\text{偏肉率} = (\text{最大肉厚} - \text{最小肉厚}) / \{ (\text{最大肉厚} + \text{最小肉厚}) / 2 \} / 2 \times 100 \quad (2)$$

ここで、最大肉厚および最小肉厚は、それぞれ、1つの部分で例えば超音波プローブ等により鋼管の全周で測定した肉厚の最大値および最小値を意味する。この(2)式を用いた偏肉率の測定を鋼管の全長に亘り実施し、得られた偏肉率の最大値を「鋼管の全長に亘る偏肉率」とする。

[0017] なお、本発明に係るばね用中空シームレス鋼管において、「(1)式で算出される偏肉率が7.0%以下である」とは、実質的には概ね鋼管の全長に亘り偏肉率が7.0%以下であることが期待されている。従って、例えば管端部等の任意の部分から採取した断面において(1)式で算出される偏肉率が7.0%以下である場合が多い。このため、1つの断面の結果により(1)式で算出される偏肉率を求めたらよい。

[0018] 実際、上記特許文献1～4では偏肉率は良好とは言えない。例えば、特許文献1では中空鋼管を製造するためにマンネスマン穿孔を用いており、マンネスマン穿孔は高生産性ではあるものの、他の中空化手法に比べて、中空加工時すなわち穿孔時の材料および工具の拘束が弱いためズレが生じやすく、良好な偏肉率を得ることは難しい。特に、高強度ばね用の鋼材は変形抵抗が高く、高精度な加工は困難である。また特許文献2、3では、機械加工した中空ピレットを熱間静水圧押出し加工している。機械加工しているため、ピレットの加工精度は高く、静水圧によって均等に加工されるため、特許文献1に比べれば偏肉率は改善されやすい。しかしながら、後述の実施例に示す通り、特許文献2、3に開示されている方法では、耐久性の観点から十分な偏肉率が得られない。また特許文献4では、中空化手法として、ガンドリル加工を採用している。この方法も加工精度は比較的良好であるはずだが、後述の実施例に示す通り、十分な偏肉率が得られない。

[0019] また本発明の好ましい1つの実施形態では、上記した偏肉率を制御することに加えて、内面疵及びトータル脱炭もパイプ全長に亘って調整しているため、より安定的な疲労特性が得られる。パイプ全長に亘る内面疵深さは好ましくは $50\mu\text{m}$ 以下であり、トータル脱炭深さは好ましくは $100\mu\text{m}$ 以下である。

[0020] 本発明で対象とする中空シームレス鋼管は、外径 D が $8\sim 22\text{mm}$ 程度で、肉厚 t が $0.8\sim 7.7\text{mm}$ 程度であり、肉厚 t の外径 D に対する比 t/D が約 $0.10\sim 0.35$ である。

[0021] 図1は肉厚 t の外径 D に対する比 t/D と、偏肉による内面応力の変動比

の関係を、3%、7%、10%の各偏肉率ごとにプロットしたグラフである。前記内面応力の変動比とは、偏肉がない時の内面応力を σ_1 、偏肉がある時の内面応力を σ_2 とした時、 σ_2/σ_1 で与えられる値である。図1からも分かる通り、偏肉が生じた際の内面応力変動比は、 t/D が高いほど大きくなる。また内面応力の変動比は、 t/D が低い場合には偏肉率が変化してもその差が小さいが、 t/D が高い場合には偏肉率が内面応力の変動比に与える影響が顕著になる。従来技術のように、偏肉率が7.0%を超える場合には、特に t/D が0.15以上となる場合に、偏肉率が内面応力の変動比に与える影響が大きく、すなわち t/D が0.15以上である場合に、特に本発明が有効である。

[0022] また、図2は t/D と軽量化率の関係を表すグラフである。図2からも分かる通り、 t/D が大きくなるほど軽量化率が低下し、高強度中空ばねでは、25%以上の軽量化が求められることがある。よって、 t/D は0.25以下とするのが好ましい。

[0023] 図3は、肉厚公差、すなわち最大肉厚と最小肉厚の差が0.1mmの時の偏肉率を、肉厚ごとにプロットしたグラフである。図3からも分かる通り、例えば肉厚が0.5mmである場合には、たった0.1mmの公差であっても、偏肉率に換算すると10%にも相当し、また実際に従来技術では偏肉率が7.0%を超えていたことから、薄い肉厚での偏肉率の改善は非常に困難である。

[0024] 本発明者らは、中空シームレス鋼管の偏肉率を7.0%以下とするための製造方法として、特に、下記(1)又は(2)の方法により、中空の素管を製造し、この素管に更に冷間圧延、抽伸加工、焼鈍等を行うことによって、中空シームレス鋼管を得る方法について検討した。

(1) 素ビレットから機械加工によって中空ビレットを得て、該中空ビレットを用いて熱間押出しする方法

(2) 素ビレットから熱間圧延により棒鋼を製造した後、ガンドリル加工により中空化する方法

[0025] 前記（１）の熱間押出しの方法では、中空ビレットの寸法を変化させることで偏肉率が変化し、中空ビレット内径を３８ｍｍとすることで、最終的に得られるシームレス鋼管の偏肉率が７．０％以下となるような素管が実現できた。一方、上記した特許文献２、３では、中空ビレット内径は４０ｍｍまたは５２ｍｍであり、７．０％以下の偏肉率は達成できない。また、前記（２）のガンドリルを用いる方法では、棒鋼の寸法及びガンドリル加工寸法によって偏肉率が変化し、直径４０ｍｍの棒鋼に直径２０ｍｍのガンドリル加工を施すことで、最終的に得られるシームレス鋼管の偏肉率が７．０％以下となるような素管が実現できた。一方、上記した特許文献４では、直径２５ｍｍの棒鋼に直径１２ｍｍのガンドリル加工を施しており、７．０％以下の偏肉率は実現できない。

[0026] なお、上記（１）の方法では、熱間押出前の加熱温度は例えば１０００～１１００℃とすればよい。また上記（２）の方法では、熱間圧延時の加熱温度は例えば９５０～１１００℃程度、最低圧延温度は８００～９００℃とすれば良く、また熱間圧延後から６５０～７５０℃までの平均冷却速度は１．５～５℃／秒程度とし、その後５００℃以下までの平均冷却速度を０．３～１．０℃／秒として冷却すれば良い。上記（１）、（２）のいずれの方法においても、得られた素管を例えば９００～１０００℃で５～３０分焼鈍し、冷間圧延及び抽伸を行った後、更に６００～１０００℃程度で焼鈍すれば良い。

[0027] 全長に亘って、より確実に偏肉率を７％以下に低減するためには、上記（１）の方法において、押出前の加熱における中空ビレット長手方向の温度差、すなわち偏熱を低減することが重要であると知見した。熱間押出前の加熱時間は比較的短時間であり、偏熱が生じやすい。そこで、加熱前に均熱加熱することで偏熱が低減し、全長に亘る偏肉率を低減できる。但し、均熱加熱温度が低すぎる又は均熱加熱時間が短すぎると偏肉率低減の効果がないどころか、偏肉率が増大する。また、均熱加熱温度が高すぎる又は均熱加熱時間が長すぎると脱炭が生じ、全長に亘って内面トータル脱炭を１００μｍ以下

にできない。そこで均熱加熱温度は900～950℃、均熱加熱時間は300～2400秒とするのが好ましい。均熱加熱温度は、920℃以上が好ましく、940℃以下が好ましい。また、均熱加熱時間は600秒以上が好ましく、より好ましくは1000秒以上であり、2000秒以下が好ましく、1500秒以下がより好ましい。

[0028] 更に押出前の加熱温度は、1100℃以上が好ましい。該加熱温度が1100℃未満であると、内面疵の発生頻度が上がり、全長に亘って内面疵を50μm以下にするのが困難となる。これは、温度が高い方が押出し時の延性が高く、疵が生じにくいためと考えられる。該加熱温度の上限は特に限定されないが、例えば1200℃程度とすれば良い。

[0029] なお、得られた素管は例えば900～1000℃で5～30分焼鈍し、冷間圧延及び抽伸を行った後、更に900～1000℃程度で焼鈍してよい。

[0030] 本発明では、上述の方法で7.0%以下の偏肉率を実現できたが、本発明の中空シームレス鋼管の製造方法は上述の方法に限定されない。

[0031] 次に、本発明の高強度ばね用中空シームレス鋼管の化学成分について説明する。なお、本願明細書において示す化学成分組成は、全て質量%を意味する。

[0032] C : 0.2～0.7%

Cは、強度を確保するのに必要な元素であり、C量は0.2%以上とする必要がある。C量は、好ましくは0.30%以上であり、より好ましくは0.35%以上である。しかしながら、C量が過剰になると、延性の確保が困難となる。そこでC量を0.7%以下と定めた。C量は0.65%以下が好ましく、より好ましくは0.60%以下である。

[0033] Si : 0.5～3%

Siは、ばねに必要な耐へたり性の向上に有効な元素であり、本発明で対象とする強度レベルのばねに必要な耐へたり性を得るには、Si量を0.5%以上とする必要がある。Si量は、好ましくは1.0%以上であり、より好ましくは1.5%以上である。しかしながら、Siは脱炭を促進させる元

素でもあるため、S i を過剰に含有させると鋼材表面の脱炭層形成を促進させる。その結果、脱炭層削除のためのピーリング工程が必要となるので、製造コストの面で不都合である。こうしたことから、S i 量は3%以下と定めた。S i 量は、好ましくは2.5%以下であり、より好ましくは2.2%以下である。

[0034] Mn : 0.1~2%

Mn は、脱酸元素として利用されると共に、鋼材中の有害元素であるSとMnSを形成してSを無害化できる有益な元素である。このような効果を有効に発揮させるため、Mn量は0.1%以上とする必要がある。Mn量は、好ましくは0.15%以上であり、より好ましくは0.20%以上である。しかしながら、Mn量が過剰になると、偏析帯が形成されて材質のばらつきが生じる。従って、Mn量は2%以下と定めた。Mn量は好ましくは1.5%以下であり、より好ましくは1.0%以下である。

[0035] Cr : 0%超、3%以下

Cr は、焼戻し後の強度確保や耐食性向上に有効な元素であり、特に高レベルの耐食性が要求される懸架ばねに重要な元素である。こうした効果は、Cr量が増大するにつれて大きくなり、こうした効果を有効に発揮させるためには、Crは0.2%以上含有させることが好ましく、より好ましくは0.5%以上である。しかしながら、Cr量が過剰になると過冷組織が発生しやすくなると共に、セメンタイトに濃化して塑性変形能を低下させ、冷間加工性の劣化を招く。また、Cr量が過剰になると、セメンタイトとは異なるCr炭化物が形成されやすくなり、強度と延性のバランスが悪くなる。こうしたことから、Cr量を3%以下と定めた。Cr量は、2.0%以下が好ましく、より好ましくは1.7%以下である。

[0036] Al : 0%超、0.1%以下

Al は、主に脱酸元素として添加される。また、NとAlNを形成して固溶Nを無害化すると共に、組織の微細化にも寄与する。特に固溶NをAlNとして固定させるには、N含有量の2倍を超えるようAlを含有させること

が好ましい。Al量は、好ましくは0.001%以上であり、より好ましくは0.01%以上、更に好ましくは0.025%以上である。しかしながら、AlはSiと同様に脱炭を促進させる元素でもあるため、Siを多く含有する鋼ではAlの添加量を抑える必要がある。そこで、Al量は0.1%以下と定めた。Al量は、好ましくは0.07%以下であり、より好ましくは0.05%以下である。

[0037] P：0%超、0.02%以下

Pは、鋼材の靱性や延性を劣化させる有害な元素であるため、極力低減することが重要である。そこで、P量を0.02%以下と定めた。P量は、好ましくは0.010%以下、より好ましくは0.008%以下である。なお、Pは鋼材に不可避免的に含まれる不純物であるため、その量を0%とすることは工業生産上困難であり、通常0.001%程度含まれる。

[0038] S：0%超、0.02%以下

Sは、Pと同様に鋼材の靱性や延性を劣化させる有害元素であるため、極力低減することが重要である。そこで、S量は0.02%以下と定めた。S量は、好ましくは0.010%以下であり、より好ましくは0.008%以下である。なお、Sは鋼材に不可避免的に含まれる不純物であるため、その量を0%とすることは工業生産上困難であり、通常0.001%程度含まれる。

[0039] N：0%超、0.02%以下

Nは、Al、Ti等が存在すると窒化物を形成して組織を微細化させる効果があるが、固溶状態で存在すると、鋼材の靱延性及び耐水素脆化特性を劣化させる。そこで、N量は0.02%以下と定めた。N量は、好ましくは0.010%以下であり、より好ましくは0.005%以下である。なお、Nは鋼材に不可避免的に含まれる元素であるため、その量を0%とすることは工業生産上困難であり、通常0.001%程度含まれる。

[0040] 本発明のシームレス鋼管の基本成分は上記の通りであり、残部は実質的に鉄である。但し、原材料、資材、製造設備等の状況によって持ち込まれる不

可避不純物が鋼中に含まれることは当然に許容される。なお、本明細書において、残部の不可避不純物は、上述の個々の元素毎に含有量を規定した不可避的に含まれる不純物を除いた不可避不純物を意味する。

さらに本発明では、必要に応じて以下の任意元素を含有していても良い。

[0041] B : 0 % 超、0.015 % 以下

B は、鋼材の焼入れ、焼戻し後において、旧オーステナイト粒界からの破壊を抑制する効果がある。このような効果を発現させるには、B 量は 0.001 % 以上が好ましく、より好ましくは 0.0015 % 以上である。しかしながら、B 量が過剰になると粗大な炭硼化物を形成して鋼材の特性を害し、圧延材の疵の発生原因にもなる。こうしたことから、B 量は 0.015 % 以下が好ましい。B 量は、より好ましくは 0.010 % 以下、更に好ましくは 0.005 % 以下である。

[0042] V : 0 % 超、1 % 以下、Ti : 0 % 超、0.3 % 以下及び Nb : 0 % 超、0.3 % 以下よりなる群から選択される 1 種以上

V、Ti 及び Nb は、C、N、S と炭化物、窒化物及び炭窒化物（以下、炭・窒化物）、あるいは硫化物を形成して、これら C、N、S を無害化する作用を有する。また、上記炭・窒化物は組織を微細化する効果も発揮する。更に、V、Ti 及び Nb は耐遅れ破壊特性を改善するという効果も有する。V 量は、好ましくは 0.05 % 以上であり、より好ましくは 0.1 % 以上であり、更に好ましくは 0.13 % 以上である。Ti 量及び Nb 量はいずれも、0.03 % 以上が好ましく、より好ましくは 0.04 % 以上であり、更に好ましくは 0.05 % 以上である。

[0043] しかしながら、これら V、Ti 及び Nb 量が過剰になると、粗大な炭・窒化物が形成されて靱性や延性が劣化する場合がある。そこで、V 量は 1 % 以下、Ti 量は 0.3 % 以下、Nb 量は 0.3 % 以下とすることが好ましい。より好ましくは、V 量は 0.5 % 以下、Ti 量は 0.1 % 以下、Nb 量は 0.1 % 以下である。更に、コスト低減の観点から、V 量は 0.3 % 以下、Ti 量は 0.05 % 以下、Nb 量は 0.05 % 以下が好ましい。

[0044] Ni : 0 %超、3 %以下及びCu : 0 %超、3 %以下よりなる群から選択される1種以上

Niは、コスト低減を考慮した場合には、添加を控えるためその下限を特に設けないが、表層脱炭の抑制や耐食性の向上を行う場合には、0.1 %以上含有させることが好ましい。しかしながら、Ni量が過剰になると圧延材において、過冷組織の発生や、焼入れ後の残留オーステナイトの存在により、鋼材の特性が劣化する場合がある。こうしたことから、Niを含有させる場合には、その上限を3 %以下とすることが好ましい。コスト低減の観点からは、Ni量は2.0 %以下が好ましく、より好ましくは1.0 %以下である。

[0045] Cuは、Niと同様に表層脱炭を抑制したり耐食性を向上するのに有効な元素である。このような効果を有効に発揮させるため、Cuを0.1 %以上含有させることが好ましく、より好ましくは0.15 %以上、更に好ましくは0.20 %以上である。しかしながら、Cu量が過剰になると過冷組織や熱間加工時の割れが生じる場合がある。こうしたことから、Cuを含有させる場合には、Cu量を3 %以下とすることが好ましい。コスト低減の観点からは、Cu量は2.0 %以下が好ましく、より好ましくは1.0 %以下である。

[0046] Mo : 0 %超、2 %以下

Moは、焼戻し後の強度確保、韌性向上に有効な元素である。このような効果を発揮させるためには、Mo量は0.1 %以上が好ましく、より好ましくは0.2 %以上であり、更に好ましくは0.3 %以上である。しかしながら、Mo量が過剰になると韌性が劣化する。こうしたことから、Mo量は2 %以下とすることが好ましい。Mo量は、より好ましくは1 %以下であり、更に好ましくは0.5 %以下である。

[0047] Ca : 0 %超、0.005 %以下、Mg : 0 %超、0.005 %以下及びREM : 0 %超、0.02 %以下よりなる群から選択される1種以上

Ca、Mg及びREM (Rare Earth Metal、希土類元素)

は、いずれも硫化物を形成し、MnSの伸長を防ぐことで靱性を改善する効果を有し、要求特性に応じて添加することができる。このような効果を有効に発揮させるため、Ca量、Mg量はいずれも0.0005%以上が好ましく、より好ましくは0.0010%以上であり、更に好ましくは0.0015%以上である。REM量は、0.0005%以上が好ましく、より好ましくは0.0010%以上であり、更に好ましくは0.0012%以上である。しかしながら、Ca、Mg及びREM量が過剰になると、かえって靱性を劣化させる。そこでCa量及びMg量はいずれも0.005%以下が好ましく、より好ましくは0.004%以下であり、更に好ましくは0.003%以下である。REM量は0.02%以下が好ましく、より好ましくは0.01%以下であり、更に好ましくは0.005%以下である。なお、本発明においてREMとは、LaからLnまでの15のランタノイド元素と、Sc及びYを含む意味である。

[0048] Zr: 0%超、0.1%以下、Ta: 0%超、0.1%以下及びHf: 0%超、0.1%以下よりなる群から選択される1種以上

Zr、Ta及びHfは、Nと結びついて窒化物を形成し、それにより加熱時のオーステナイト粒径の成長を抑制し、最終的な組織を微細化し、靱性を改善する効果がある。このような効果を有効に発揮させるためには、Zr量は0.01%以上が好ましく、より好ましくは0.03%以上であり、更に好ましくは0.05%以上である。Ta量及びHf量はいずれも0.01%以上が好ましく、より好ましくは0.02%以上であり、更に好ましくは0.03%以上である。しかしながら、Zr、Ta及びHf量が過剰になると、窒化物が粗大化し、疲労特性を劣化させるため好ましくない。こうしたことから、Zr量は0.1%以下が好ましく、より好ましくは0.09%以下であり、更に好ましくは0.05%以下であり、特に0.025%以下が好ましい。Ta量及びHf量はいずれも0.1%以下が好ましく、より好ましくは0.08%以下であり、更に好ましくは0.05%以下であり、特に0.025%以下が好ましい。

実施例

[0049] 以下、実施例を挙げて本発明をより具体的に説明する。本発明は以下の実施例によって制限を受けるものではなく、前記、後記の趣旨に適合し得る範囲で適当に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。

[0050] 表1に示す化学成分組成の溶鋼を、通常の溶製法によって溶製し、この溶鋼を鑄造して分塊圧延し、断面形状が155mm×155mmの素ビレットとした。なお、表1におけるREMは、Laを50%程度とCeを25%程度含有するミッシュメタルの形態で添加した。

[0051]

[0052] 中空ビレットを用いて熱間押出する方法では、上記素ビレットから円筒状の中空ビレットを機械加工により作成し、熱間押出しを行って素管を得た。その後、冷間圧延、抽伸加工を施し、外径 16 mm、内径 8 mm、長さ 3000 mm の中空シームレス鋼管を作成した。詳細な製造方法は表 2 の A ～ D に示す通りである。

[0053] 熱間圧延により棒鋼を製造した後、ガンドリル加工により中空化する方法では、上記素ビレットから表 2 の E、F に記載の条件にて熱間圧延を行い、棒鋼を得て、ガンドリル加工により中空化して素管を得た。その後、冷間圧延、抽伸加工を施し、外径 16 mm、内径 8 mm、長さ 3000 mm の中空シームレス鋼管を作成した。

[0054] なお、表 2 の C は上記特許文献 3 に開示される製造方法であり、D は上記特許文献 2、E は上記特許文献 4 に開示されている方法である。

[0055]

[表2]

製造条件	製造方法
A	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間鍛造及び切削により、外径143mm、内径38mmの円筒状中空ビレットを作製。加熱温度を1000～1100℃として熱間静水圧押し出しを行い、外径54mm×内径38mmの中空素管を得た。この中空素管は、950℃で10分焼鈍後に、圧延及び抽伸を繰り返し行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形し、最終抽伸後に950℃で10分の焼鈍を行い、中空シームレス鋼管とした。
B	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間鍛造及び切削により、外径143mm、内径52mmの円筒状中空ビレットを作製。加熱温度を1100℃として熱間静水圧押し出しを行い、外径54mm×内径38mmの中空素管を得た。この中空素管は、950℃で10分焼鈍後に、圧延及び抽伸を繰り返し行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形し、最終抽伸後に950℃で10分の焼鈍を行い、中空シームレス鋼管とした。
C	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間鍛造及び切削により、外径143mm、内径40mmの円筒状中空ビレットを作製。加熱温度を1000℃として熱間静水圧押し出しを行い、外径54mm×内径38mmの中空素管を得た。この中空素管は、950℃で10分焼鈍後に、圧延及び抽伸を繰り返し行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形し、最終抽伸後に950℃で10分の焼鈍を行い、中空シームレス鋼管とした。
D	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間鍛造及び切削により、外径143mm、内径52mmの円筒状中空ビレットを作製。加熱温度を1100℃として熱間静水圧押し出しを行い、外径54mm×内径38mmの中空素管を得た。この中空素管は、680℃で16時間焼鈍後に、圧延及び抽伸を繰り返し行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形し、最終抽伸後に750℃で30分の焼鈍を行い、中空シームレス鋼管とした。
E	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間圧延及び冷却により直径25mmの棒鋼を得た。熱間圧延時の加熱温度は1000℃、最低圧延温度は850℃とした。熱間圧延後の冷却では、720℃までの平均冷却速度を2℃/秒とし、500℃までの平均冷却速度を0.5℃/秒とした。得られた棒鋼の内部を、ガンドリルを用いて、内径12mmの穿孔を行った。その後、冷間圧延を行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形した。更に650℃で焼鈍して、中空シームレス鋼管とした。
F	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間圧延及び冷却により直径40mmの棒鋼を得た。熱間圧延時の加熱温度は1000℃、最低圧延温度は850℃とした。熱間圧延後の冷却では、720℃までの平均冷却速度を2℃/秒とし、500℃までの平均冷却速度を0.5℃/秒とした。得られた棒鋼の内部を、ガンドリルを用いて、内径20mmの穿孔を行った。その後、冷間圧延を行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形した。更に650℃で焼鈍して、中空シームレス鋼管とした。

[0056] このようにして得られた中空シームレス鋼管を以下の方法で測定及び評価した。

[0057] (1) 偏肉率の測定

前記中空シームレス鋼管の管端部の肉厚を、マイクロメータで90°毎に4箇所測定し、下記(1)式により偏肉率を算出した。

$$\text{偏肉率} = (\text{最大肉厚} - \text{最小肉厚}) / (\text{平均肉厚}) / 2 \times 100 \quad (1)$$

[0058] (2) 疲労特性の評価

前記中空シームレス鋼管を、下記の条件で焼入れ・焼戻し処理した。

焼入れ条件：925℃で10分間保持した後、油冷

焼戻し条件：390℃で40分間保持した後、水冷

[0059] 前記焼入れ・焼戻し後の中空シームレス鋼管を、図4に示す円筒形試験片1に加工した。図4(a)は正面図であり、(b)は試験片の端面を表す側面図である。該円筒試験片1を用いてねじり疲労試験を行った。試験片の内径は約8.0mm、拘束部1aの外径は16mm、中央部1bの外径は12mm、中央部の外表面応力で表される負荷応力は 550 ± 375 MPaであった。破断するまでの回数を耐久回数として測定し、 10^6 回でも破断しなかったものは試験を停止した。

[0060] 結果を表3、図5に示す。図5は、本発明の発明例及び比較例について、偏肉率とねじり疲労試験の耐久回数との関係を示したグラフである。

[0061]

[表3]

No.	鋼種 No.	製造 条件	熱間押出前 加熱温度 (°C)	加熱 時間 (sec)	鋼管				ねじり疲労 耐久回数 (回)
					最大肉厚 (mm)	最小肉厚 (mm)	平均肉厚 (mm)	偏肉率 (%)	
1	A1	A	1100	60	4.12	3.88	4.00	3.0	100万回で停止
2	A1	B	1100	60	4.28	3.62	3.95	8.4	21,000
3	A1	C	1000	60	4.28	3.70	3.99	7.3	40,000
4	A1	D	1100	60	4.38	3.67	4.03	8.8	19,000
5	A1	E	—	—	4.35	3.60	3.98	9.4	18,000
6	A1	F	—	—	4.20	3.80	4.00	5.0	519,000
7	A2	A	1050	60	4.01	3.90	3.96	1.4	100万回で停止
8	A3	A	1000	60	4.08	3.98	4.03	1.2	100万回で停止
9	A4	A	1000	60	4.05	3.99	4.02	0.7	100万回で停止
10	A4	B	1100	60	4.38	3.70	4.04	8.4	30,000
11	A4	C	1000	60	4.30	3.72	4.01	7.2	47,000
12	A4	D	1100	60	4.40	3.65	4.03	9.3	17,000
13	A4	E	—	—	4.32	3.65	3.99	8.4	31,000
14	A4	F	—	—	4.30	3.78	4.04	6.4	125,000
15	A5	A	1000	60	4.10	4.01	4.06	1.1	100万回で停止
16	A6	A	1000	60	4.08	3.90	3.99	2.3	100万回で停止
17	A7	A	1100	60	4.02	3.80	3.91	2.8	100万回で停止
18	A8	A	1100	60	4.05	3.75	3.90	3.8	801,000
19	A9	A	1000	60	4.03	3.85	3.94	2.3	100万回で停止
20	A10	A	1100	60	4.24	3.88	4.06	4.4	753,000

[0062] 偏肉率が7.0%以下であった表3のNo. 1、6～9、14～20は、図5の丸印に相当し、ねじり疲労試験の耐久回数が105回以上であり、良好な耐久性を示した。特に、偏肉率が5.0%以下であったNo. 1、6～9、15～20では、耐久回数が 5×10^5 回以上であり、更に偏肉率が3.0%以下であったNo. 1、7～9、15～17、19では耐久回数が 10^6 回

以上であった。一方、偏肉率が7.0%を超えたNo. 2~5、10~13は、図5の×印で示される通り、耐久回数が 10^5 回未満であった。この中でNo. 3~5、11~13は、上記特許文献2~4に相当する製造条件C~Eで製造した例であり、偏肉率が7.0%を超える結果となっている。

[0063] 2. 実施例2

実施例1の表1に示す化学成分組成の溶鋼を、通常の溶製法によって溶製し、この溶鋼を鋳造して分塊圧延し、断面形状が155mm×155mmの素ビレットとした。なお、表1におけるREMは、Laを50%程度とCeを25%程度含有するミッシュメタルの形態で添加した。

[0064] 表4に記載のA~Gの条件で、素ビレットから中空素管を得て、その後冷間圧延及び抽伸加工を施すことによって外径16mm、内径8mm、長さ3000mmの中空シームレス鋼管を作成した。条件A~Fは、素ビレットから機械加工により中空ビレットを得て、これを熱間押出して中空素管を得る方法であり、条件Gは素ビレットから熱間圧延により棒鋼を得て、これにガンドリル加工することにより中空素管を得る方法である。条件Eは上記特許文献3に開示される製造方法であり、Fは上記特許文献2、Gは上記特許文献4に開示されている方法である。

[0065]

[表4]

製造条件	製造方法
A	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間鍛造及び切削により、外径143mm、内径38mmの円筒状中空ビレットを作製。均熱加熱:900~950℃で300~2400秒、押出前加熱温度:1000~1200℃として熱間静水圧押出しを行い、外径54mm×内径38mmの中空素管を得た。この中空素管は、950℃で10分焼鈍後に、圧延及び抽伸を繰り返し行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形し、最終抽伸後に950℃で10分の焼鈍を行い、中空シームレス鋼管とした。
B	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間鍛造及び切削により、外径143mm、内径38mmの円筒状中空ビレットを作製。均熱加熱:900℃で10秒もしくは3600秒、押出前加熱温度:1000~1100℃として熱間静水圧押出しを行い、外径54mm×内径38mmの中空素管を得た。この中空素管は、950℃で10分焼鈍後に、圧延及び抽伸を繰り返し行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形し、最終抽伸後に950℃で10分の焼鈍を行い、中空シームレス鋼管とした。
C	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間鍛造及び切削により、外径143mm、内径38mmの円筒状中空ビレットを作製。均熱加熱をすることなく、押出前加熱温度:1000~1100℃として熱間静水圧押出しを行い、外径54mm×内径38mmの中空素管を得た。この中空素管は、950℃で10分焼鈍後に、圧延及び抽伸を繰り返し行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形し、最終抽伸後に950℃で10分の焼鈍を行い、中空シームレス鋼管とした。
D	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間鍛造及び切削により、外径143mm、内径52mmの円筒状中空ビレットを作製。均熱加熱をすることなく、押出前加熱温度:1100℃として熱間静水圧押出しを行い、外径54mm×内径38mmの中空素管を得た。この中空素管は、950℃で10分焼鈍後に、圧延及び抽伸を繰り返し行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形し、最終抽伸後に950℃で10分の焼鈍を行い、中空シームレス鋼管とした。
E	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間鍛造及び切削により、外径143mm、内径40mmの円筒状中空ビレットを作製。均熱加熱をすることなく、押出前加熱温度を1000℃として熱間静水圧押出しを行い、外径54mm×内径38mmの中空素管を得た。この中空素管は、950℃で10分焼鈍後に、圧延及び抽伸を繰り返し行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形し、最終抽伸後に950℃で10分の焼鈍を行い、中空シームレス鋼管とした。
F	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間鍛造及び切削により、外径143mm、内径52mmの円筒状中空ビレットを作製。均熱加熱をすることなく、押出前加熱温度を1100℃として熱間静水圧押出しを行い、外径54mm×内径38mmの中空素管を得た。この中空素管は、680℃で16時間焼鈍後に、圧延及び抽伸を繰り返し行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形し、最終抽伸後に750℃で30分の焼鈍を行い、中空シームレス鋼管とした。
G	断面形状が155mm×155mmの素ビレットから熱間圧延及び冷却により直径25mmの棒鋼を得た。熱間圧延時の加熱温度は1000℃、最低圧延温度は850℃とした。熱間圧延後の冷却では、720℃までの平均冷却速度を2℃/秒とし、500℃までの平均冷却速度を0.5℃/秒とした。得られた棒鋼の内部を、ガンドリルを用いて、内径12mmの穿孔を行った。その後、冷間圧延を行い、外径16mm×内径8mm×長さ3000mmに成形した。更に650℃で焼鈍して、中空シームレス鋼管とした。

[0066] このようにして得られた中空シームレス鋼管を以下の方法で測定及び評価した。

[0067] (1) 偏肉率の測定

前記中空シームレス鋼管について、以下の要領で肉厚を測定した。

(1-a) 管端部の肉厚測定

最終的に得られた中空シームレス鋼管について、管端部の肉厚を、マイクロメータで90°毎に4箇所測定し、下記(1)式により偏肉率を算出した。

$$\text{偏肉率} = (\text{最大肉厚} - \text{最小肉厚}) / (\text{平均肉厚}) / 2 \times 100 \quad (1)$$

(1-b) 全長の肉厚測定

前記中空シームレス鋼管について、鋼管を回転させつつ、鋼管の外表面に接触させた超音波プローブを、鋼管の長手方向に走査させることによって、パイプ全周及び全長に肉厚を測定した。得られた肉厚測定結果から、プローブが鋼管を一周したときの最大肉厚と最小肉厚から下記(2)式により偏肉率を算出した。全長に亘り、同様にして偏肉率を測定し、最大の偏肉率を求めた。

この際、全長、全周を隈なく検査できるように、超音波センサの走査速度、パイプの回転速度、測定ピッチを調整した。また、定量性を担保するため、検査前に超音波測定の校正を行った。具体的には、鋼管端部をマイクロメータで測定し、その結果から超音波測定の校正を行った。

$$\text{偏肉率} = (\text{最大肉厚} - \text{最小肉厚}) / \{ (\text{最大肉厚} + \text{最小肉厚}) / 2 \} / 2 \times 100 \quad (2)$$

[0068] (2) 内面疵の測定

上記(1-b)の全長の肉厚測定と同様に、超音波プローブによってパイプ全周及び全長の内面疵深さを測定した。また定量性を担保するため、サイズが既知である人口疵を内面に有した標準パイプを用いてオフラインで検査して、校正を行った。

[0069] (3) 内面トータル脱炭の測定

脱炭は断面観察にて評価した。長手方向の脱炭のばらつきを評価するため、鋼管を10分割して10サンプルを採取した。サンプルの切断面を樹脂に

埋め込んで鏡面研磨した後、ナイトールエッチングして光学顕微鏡を用いて倍率200倍で観察し、10サンプルの内面トータル脱炭深さの最大深さを測定した。

[0070] (4) 疲労特性の評価

前記中空シームレス鋼管を、下記の条件で焼入れ・焼戻し処理した。

焼入れ条件：925℃で10分間保持した後、油冷

焼戻し条件：390℃で40分保持した後、水冷

[0071] 前記焼入れ・焼戻し後の中空シームレス鋼管を、図4に示す円筒形試験片1に加工した。図4(a)は正面図であり、(b)は試験片の端面を表す側面図である。該円筒試験片1を各試験No.につき10本ずつ用いてねじり疲労試験を行った。試験片の内径は約8.0mm、拘束部1aの外径は16mm、中央部1bの外径は12mm、中央部1bの外表面応力で表される負荷応力は 550 ± 375 MPaであった。破断するまでの回数を耐久回数として測定し、106回でも破断しなかったものは試験を停止した。10本のうち、最短の耐久回数を各試験No.の耐久回数として表3に示した。

[0072] (1)～(4)の測定結果を表5及び図6に示す。図6は本発明の発明例及び比較例について、中空シームレス鋼管の全長に亘る偏肉率の最大値と、ねじり疲労試験の耐久回数との関係を示したグラフである。

[0073]

[表5]

No.	鋼種 No.	製造 条件	予熱 温度 (°C)	予熱 時間 (sec)	熱間 押出前 加熱温度 (°C)	最終パイプ管端部肉厚測定結果				最終パイプ全長肉厚測定結果				内面 トータル 脱炭	内面疵	ねじり疲労 耐久回数 (回)
						最大 肉厚 (mm)	最小 肉厚 (mm)	平均 肉厚 (mm)	偏肉率 (%)	最大肉 厚 (mm)	最小肉 厚 (mm)	(最大肉 厚+最小 肉厚)/2 (mm)	偏肉率 最大値 (%)			
1	A1	A	900	1200	1100	4.12	3.90	4.01	2.7	4.17	3.86	4.02	3.9	○	○	510,000
2	A1	B	900	10	1100	4.10	3.89	4.00	2.6	4.30	3.73	4.02	7.1	○	○	46,000
3	A1	B	900	3600	1100	4.07	3.90	3.99	2.1	4.15	3.85	4.00	3.8	×	○	78,000
4	A1	C	-	-	1100	4.12	3.88	4.00	3.0	4.34	3.72	4.03	7.7	○	×	50,000
5	A1	D	-	-	1100	4.28	3.62	3.95	8.4	4.30	3.60	3.95	8.9	○	×	17,000
6	A1	E	-	-	1000	4.28	3.70	3.99	7.3	4.32	3.68	4.00	8.0	○	×	16,000
7	A1	F	-	-	1100	4.38	3.67	4.03	8.8	4.38	3.65	4.02	9.1	○	×	11,000
8	A1	G	-	-	-	4.35	3.60	3.98	9.4	4.36	3.60	3.98	9.5	○	○	14,000
9	A2	A	900	600	1000	4.01	3.93	3.97	1.0	4.03	3.92	3.98	1.4	○	×	42,000
10	A2	A	900	600	1100	4.02	3.90	3.96	1.5	4.07	3.90	3.99	2.1	○	○	100万回で停止
11	A3	A	900	1200	1050	4.03	3.95	3.99	1.0	4.05	3.90	3.98	1.9	○	×	91,000
12	A3	A	900	1200	1150	4.08	3.90	3.99	2.3	4.09	3.88	3.99	2.6	○	○	100万回で停止
13	A4	A	900	2400	1000	4.03	3.99	4.01	0.5	4.05	3.97	4.01	1.0	○	×	59,000
14	A4	A	900	2400	1200	4.06	3.92	3.99	1.8	4.07	3.94	4.01	1.6	○	○	100万回で停止
15	A4	B	900	10	1000	4.12	4.00	4.06	1.5	4.32	3.74	4.03	7.2	○	○	55,000
16	A4	C	900	3600	1000	4.08	3.98	4.03	1.2	4.13	3.95	4.04	2.2	×	×	75,000
17	A4	C	-	-	1000	4.05	3.99	4.02	0.7	4.28	3.70	3.99	7.3	○	○	51,000
18	A4	D	-	-	1100	4.38	3.70	4.04	8.4	4.40	3.65	4.03	9.3	○	○	17,000
19	A4	E	-	-	1000	4.30	3.72	4.01	7.2	4.32	3.68	4.00	8.0	○	○	26,000
20	A4	F	-	-	1100	4.40	3.65	4.03	9.3	4.42	3.63	4.03	9.8	○	○	11,000
21	A4	G	-	-	-	4.32	3.65	3.99	8.4	4.32	3.63	3.98	8.7	○	○	21,000
22	A5	A	950	300	1000	4.08	3.98	4.03	1.2	4.10	3.95	4.03	1.9	○	×	63,000
23	A5	A	950	300	1100	4.05	3.90	3.98	1.9	4.10	3.93	4.02	2.1	○	○	100万回で停止
24	A6	A	925	1200	1000	4.05	3.92	3.99	1.6	4.07	3.91	3.99	2.0	○	×	41,000
25	A6	A	925	1200	1150	4.08	3.93	4.01	1.9	4.09	3.90	4.00	2.4	○	○	100万回で停止
26	A7	A	900	1200	1100	4.01	3.78	3.90	3.0	4.02	3.75	3.89	3.5	○	○	841,000
27	A8	A	900	1200	1100	4.07	3.78	3.93	3.7	4.05	3.75	3.90	3.8	○	○	612,000
28	A9	A	900	1200	1000	4.01	3.82	3.92	2.4	4.02	3.80	3.91	2.8	○	×	31,000
29	A9	A	900	1200	1150	4.00	3.80	3.90	2.6	4.05	3.78	3.92	3.4	○	○	625,000
30	A10	A	900	1200	1100	4.21	3.85	4.03	4.5	4.24	3.85	4.05	4.8	○	○	477,000

[0074] 鋼管の全長に亘って、偏肉率が7.0%以下であり、内面疵深さが50 μ

m以下であり、内面トータル脱炭深さが100 μ m以下である表3のNo. 1、10、12、14、23、25～27、29、30は、図6の丸印に相当し、ねじり疲労試験の耐久回数が10⁵回以上であり、良好な耐久性を示した。特に、偏肉率は低いほど顕著に耐久回数が増加する傾向にあり、偏肉率が3.0%以下であるNo. 10、12、14、23、25では、いずれも耐久回数が10⁶回以上にまで達する。

[0075] 一方、偏肉率が7.0%を超えるNo. 2、4～8、15、17～21は、図6の×印に相当し、耐久回数が急激に低下している。但し、偏肉率が7.0%以下であっても、内面トータル脱炭深さ又は内面疵深さの少なくともいずれかが本発明の要件を満たしていないNo. 3、9、11、13、16、22、24、28では、図5の三角印で示した通り耐久回数が低い。なお、従来技術である製造条件E～Gで製造したNo. 6～8、19～21では、いずれも偏肉率が7.0%を超える結果となった。

[0076] 本出願は、出願日が2015年1月7日である日本国特許出願、特願第2015-001710号および出願日が2015年1月7日である日本国特許出願、特願第2015-001711号を基礎出願とする優先権主張と伴う。特願第2015-001710号および特願第2015-001711号は参照することにより本明細書に取り込まれる。

[0077] 本発明は以下の態様を含む。

態様1：

質量%で、

C : 0.2～0.7%、

Si : 0.5～3%、

Mn : 0.1～2%、

Cr : 0%超、3%以下、

Al : 0%超、0.1%以下、

P : 0%超、0.02%以下、

S : 0%超、0.02%以下及び

N : 0%超、0.02%以下を含有し、残部が鉄及び不可避不純物である中空シームレス鋼管であって、

下記(1)式で算出される偏肉率が7.0%以下であるばね用中空シームレス鋼管。

$$\text{偏肉率} = (\text{最大肉厚} - \text{最小肉厚}) / (\text{平均肉厚}) / 2 \times 100 \quad (1)$$

態様2:

鋼管の全長に亘って、前記(2)式で算出される偏肉率の最大値が7.0%以下であり、内面疵深さが50μm以下であり、かつ内面トータル脱炭深さが100μm以下である態様1に記載のばね用中空シームレス鋼管。

$$\text{偏肉率} = (\text{最大肉厚} - \text{最小肉厚}) / \{ (\text{最大肉厚} + \text{最小肉厚}) / 2 \} / 2 \times 100 \quad (2)$$

態様3:

質量%で、B : 0%超、0.015%以下を更に含有する態様1または2に記載の中空シームレス鋼管。

態様4:

質量%で、V : 0%超、1%以下、Ti : 0%超、0.3%以下及びNb : 0%超、0.3%以下よりなる群から選択される1種以上を更に含有する請求項1～3のいずれかに記載の中空シームレス鋼管。

態様5:

質量%で、Ni : 0%超、3%以下及びCu : 0%超、3%以下よりなる群から選択される1種以上を更に含有する態様1～4のいずれかに記載の中空シームレス鋼管。

態様6:

質量%で、Mo : 0%超、2%以下を更に含有する請求項1～5のいずれかに記載の中空シームレス鋼管。

態様7:

質量%で、Ca : 0%超、0.005%以下、Mg : 0%超、0.005

%以下及びREM：0%超、0.02%以下よりなる群から選択される1種以上を更に含有する請求項1～6のいずれかに記載の中空シームレス鋼管。

態様8：

質量%で、Zr：0%超、0.1%以下、Ta：0%超、0.1%以下及びHf：0%超、0.1%以下よりなる群から選択される1種以上を更に含有する請求項1～7のいずれかに記載の中空シームレス鋼管。

産業上の利用可能性

[0078] 本発明の中空シームレス鋼管を用いれば、疲労強度が高く耐久性に優れた高強度中空ばねを製造でき、本発明は例えば強度が1100MPa以上、好ましくは1200MPa以上、更に好ましくは1300MPa以上のばねに好適に用いることができる。よって、本発明によれば、懸架ばね、弁ばね、クラッチばねなどの部品の中空化を推進することができ、自動車などの車両の一層の軽量化を図ることができるため、産業上有用である。

符号の説明

- [0079] 1 円筒形試験片
- 1 a 拘束部
- 1 b 中央部
- 1 c 空洞

請求の範囲

[請求項1]

質量%で、

C : 0.2 ~ 0.7 %、

Si : 0.5 ~ 3 %、

Mn : 0.1 ~ 2 %、

Cr : 0 %超、3 %以下、

Al : 0 %超、0.1 %以下、

P : 0 %超、0.02 %以下、

S : 0 %超、0.02 %以下及び

N : 0 %超、0.02 %以下を含有し、残部が鉄及び不可避不純物である中空シームレス鋼管であって、

下記(1)式で算出される偏肉率が7.0 %以下であるばね用中空シームレス鋼管。

$$\text{偏肉率} = (\text{最大肉厚} - \text{最小肉厚}) / (\text{平均肉厚}) / 2 \times 100 \quad (1)$$

[請求項2]

鋼管の全長に亘って、下記(2)式で算出される偏肉率の最大値が7.0 %以下であり、内面疵深さが50 μm 以下であり、かつ内面トータル脱炭深さが100 μm 以下である請求項1に記載のばね用中空シームレス鋼管。

$$\text{偏肉率} = (\text{最大肉厚} - \text{最小肉厚}) / \{ (\text{最大肉厚} + \text{最小肉厚}) / 2 \} / 2 \times 100 \quad (2)$$

[請求項3]

質量%で、B : 0 %超、0.015 %以下を更に含有する請求項1または2に記載の中空シームレス鋼管。

[請求項4]

質量%で、V : 0 %超、1 %以下、Ti : 0 %超、0.3 %以下及びNb : 0 %超、0.3 %以下よりなる群から選択される1種以上を更に含有する請求項1または2に記載の中空シームレス鋼管。

[請求項5]

質量%で、Ni : 0 %超、3 %以下及びCu : 0 %超、3 %以下よりなる群から選択される1種以上を更に含有する請求項1または2に

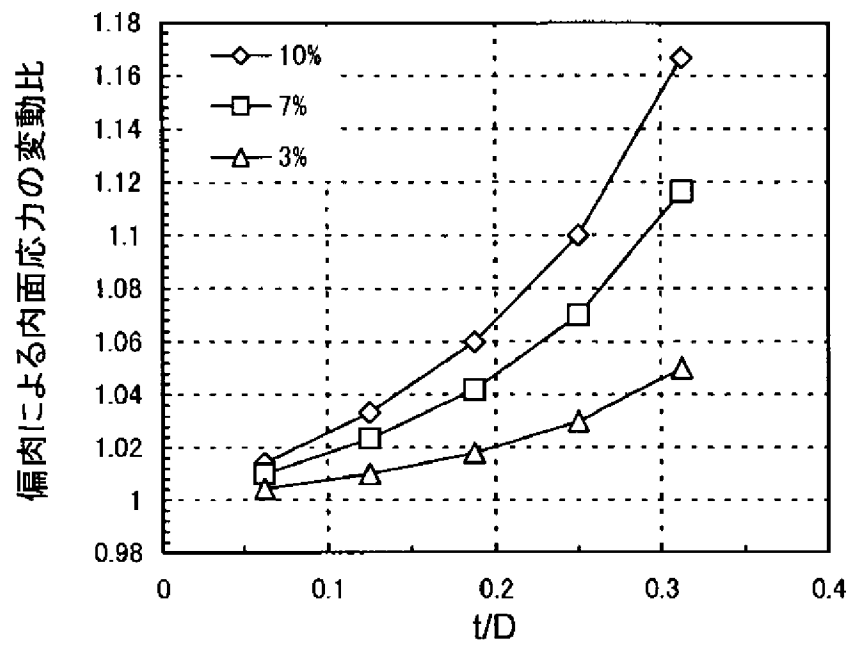
記載の中空シームレス鋼管。

[請求項6] 質量%で、M o : 0 %超、2 %以下を更に含有する請求項 1 または 2 に記載の中空シームレス鋼管。

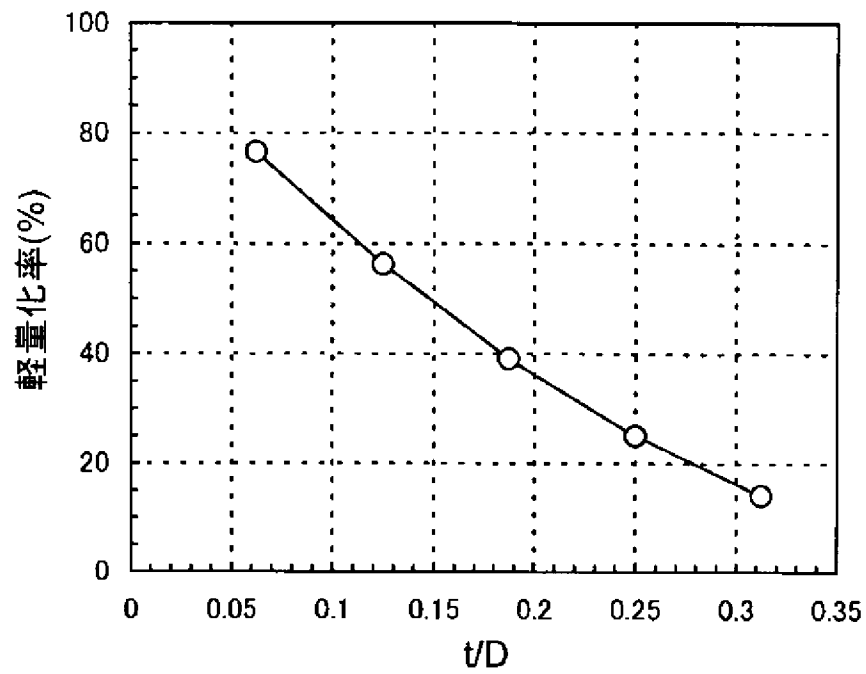
[請求項7] 質量%で、C a : 0 %超、0 . 0 0 5 %以下、M g : 0 %超、0 . 0 0 5 %以下及びR E M : 0 %超、0 . 0 2 %以下よりなる群から選択される 1 種以上を更に含有する請求項 1 または 2 に記載の中空シームレス鋼管。

[請求項8] 質量%で、Z r : 0 %超、0 . 1 %以下、T a : 0 %超、0 . 1 %以下及びH f : 0 %超、0 . 1 %以下よりなる群から選択される 1 種以上を更に含有する請求項 1 または 2 に記載の中空シームレス鋼管。

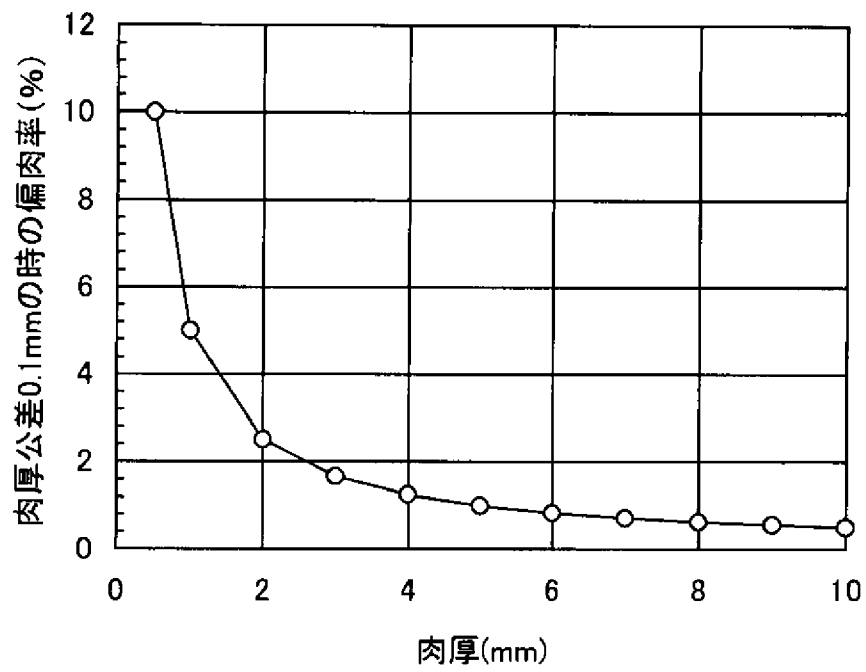
[図1]



[図2]

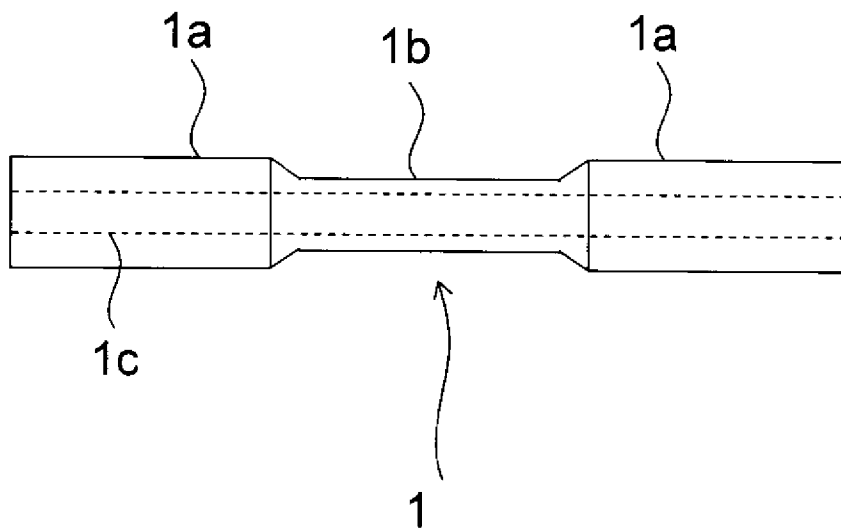


[図3]



[図4]

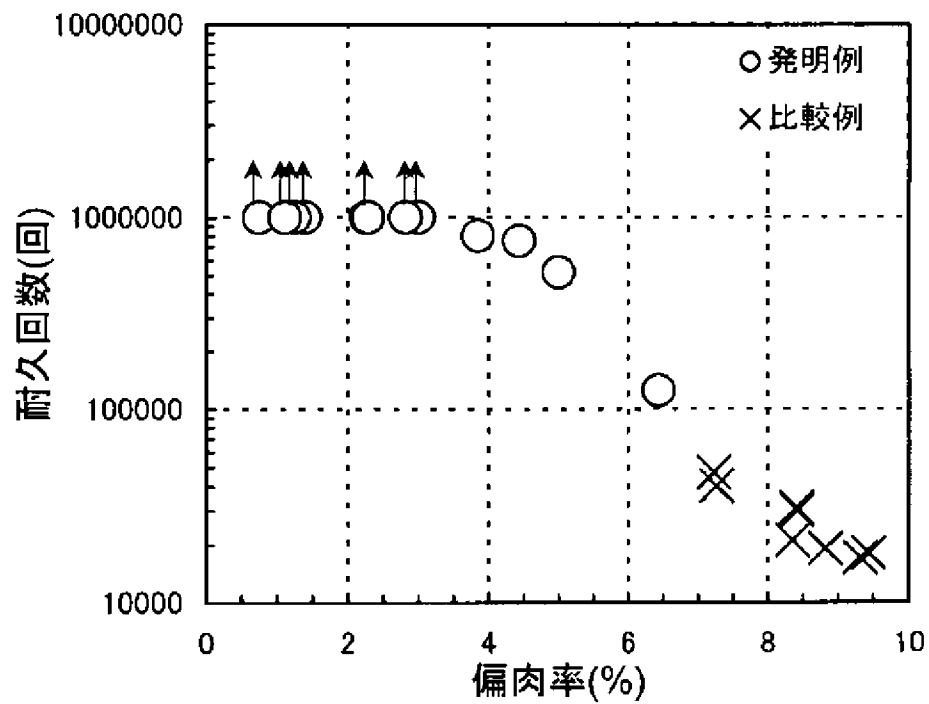
(a)



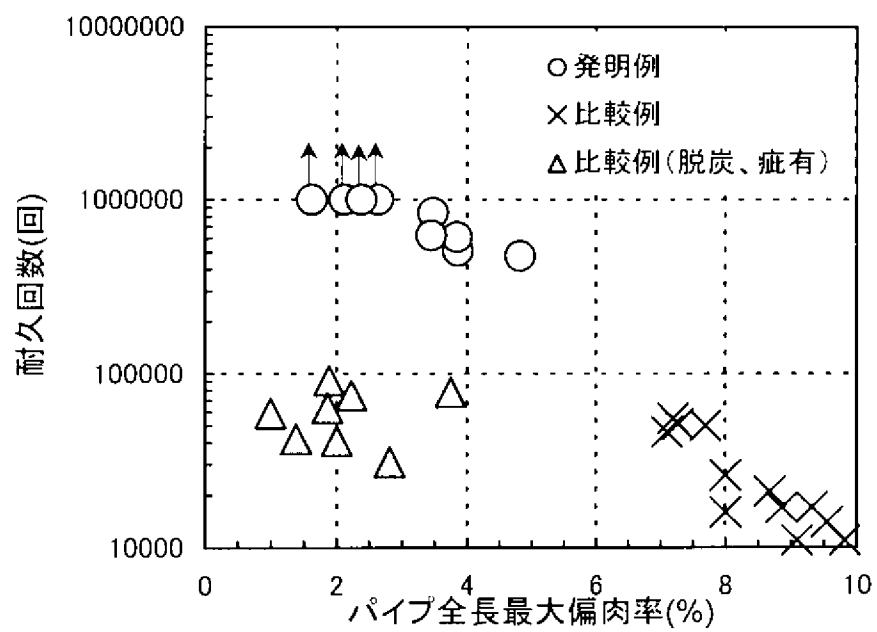
(b)



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/050134

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C38/00(2006.01)i, C22C38/38(2006.01)i, C22C38/58(2006.01)i, F16F1/02(2006.01)i, C21D8/10(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, C22C38/38, C22C38/58, F16F1/02, C21D8/10

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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	JP 2011-184704 A (Kobe Steel, Ltd.), 22 September 2011 (22.09.2011), paragraphs [0011] to [0055] & US 2012/0325364 A1 paragraphs [0014] to [0083] & EP 2543747 A1	1-8
X	JP 2012-111979 A (Kobe Steel, Ltd.), 14 June 2012 (14.06.2012), paragraphs [0010] to [0059] (Family: none)	1-8

☒ 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
28 March 2016 (28.03.16)

Date of mailing of the international search report
05 April 2016 (05.04.16)

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/JP2016/050134

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2010-265523 A (Kobe Steel, Ltd.), 25 November 2010 (25.11.2010), paragraphs [0010] to [0056] & US 2012/0070682 A1 paragraphs [0011] to [0098] & EP 2434028 A1	1-8
A	JP 2012-102378 A (NHK Spring Co., Ltd.), 31 May 2012 (31.05.2012), & US 2013/0240093 A1 & EP 2639328 A1	1-8
A	JP 2009-079280 A (Nisshin Steel Co., Ltd.), 16 April 2009 (16.04.2009), (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C22C38/00(2006.01)i, C22C38/38(2006.01)i, C22C38/58(2006.01)i, F16F1/02(2006.01)i, C21D8/10(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 (I P C))

Int.Cl. C22C38/00, C22C38/38, C22C38/58, F16F1/02, C21D8/10

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 6 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 6 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 6 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	JP 2011-184704 A (株式会社神戸製鋼所) 2011.09.22, 段落 [0011]-[0055] & US 2012/0325364 A1, 段落[0014]-[0083] & EP 2543747 A1	1-8
X	JP 2012-111979 A (株式会社神戸製鋼所) 2012.06.14, 段落 [0010]-[0059] (ファミリーなし)	1-8

☑ 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

2 8 . 0 3 . 2 0 1 6

国際調査報告の発送日

0 5 . 0 4 . 2 0 1 6

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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

3 8 4 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 3 5

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
X	JP 2010-265523 A (株式会社神戸製鋼所) 2010. 11. 25, 段落 [0010]-[0056] & US 2012/0070682 A1, 段落[0011]-[0098] & EP 2434028 A1	1-8
A	JP 2012-102378 A (日本発條株式会社) 2012. 05. 31, & US 2013/0240093 A1 & EP 2639328 A1	1-8
A	JP 2009-079280 A (日新製鋼株式会社) 2009. 04. 16, (ファミリーな し)	1-8