

(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
2011年9月9日(09.09.2011)

(10) 国際公開番号
WO 2011/108764 A1

PCT

- (51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/06 (2006.01)
C21D 8/10 (2006.01) C22C 38/58 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/055562
- (22) 国際出願日: 2011年3月3日(03.03.2011)
- (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 2010-049298 2010年3月5日(05.03.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 新日本製鐵株式会社 (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; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 坂本 真也 (SAKAMOTO, Shinya) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP). 朝日 均 (ASAHI, Hitoshi) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP). 岡本 潤一 (OKAMOTO, Junichi) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP). 石橋 精二 (ISHIBASHI, Seiji) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 青木 篤, 外 (AOKI, Atsushi et al.); 〒1058423 東京都港区虎ノ門三丁目5番1号 虎ノ門3 7森ビル青和特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, 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: HIGH-STRENGTH SEAMLESS STEEL PIPE FOR MECHANICAL STRUCTURE WHICH HAS EXCELLENT TOUGHNESS, AND PROCESS FOR PRODUCTION OF SAME

(54) 発明の名称: 韌性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管とその製造方法

(57) Abstract: Disclosed is a seamless steel pipe which can be produced at low cost, is as accelerate-cooled, and has high strength and high toughness. The seamless steel pipe is characterized by comprising, in mass%, 0.03-0.02% of C, 0.01-0.50% of Si, 0.80-3.00% of Mn, 0.020% or less of P, 0.0080% or less of S, 0.050% or less of Al, 0.0080% or less of N and 0.0050% or less, with the remainder being Fe and unavoidable impurities. The seamless steel pipe is also characterized in that β ($= 2.7C + 0.4Si + Mn + 0.45Ni + Mo$ (wherein each symbol represents the content [mass%] of an element represented by the symbol)) is 2.50-4.00, Pcm ($= C + Si/30 + (Mn + Cu)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10$) is 0.15-0.30, the structure is composed of fresh martensite, and prior austenite has an average particle diameter of 50-200 μm .

(57) 要約: 低コストで製造可能な、加速冷却ままで、高強度、高韌性を有するシームレス鋼管であって、質量%で、C: 0.03~0.20%、Si: 0.01~0.50%、Mn: 0.80~3.00%を含有し、P: 0.020%以下、S: 0.0080%以下、Al: 0.050%以下、N: 0.0080%以下、O: 0.0050%以下に制限し、残部がFe及び不純物からなり、 $\beta = 2.7C + 0.4Si + Mn + 0.45Ni + Mo$ (元素記号は各元素の含有量 [質量%]) が 2.50~4.00、 $Pcm = C + Si/30 + (Mn + Cu)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10$ が 0.15~0.30であり、組織がフレッシュマルテンサイトからなり、旧オーステナイトの平均粒径が50~200 μm であることを特徴とする。

WO 2011/108764 A1

明 細 書

発明の名称

靱性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管とその製造方法

技術分野

本発明は、特にシリンダー、ブッシュ、ブーム等の構造部材及びシャフト等の機械用部材に好適なシームレス鋼管及びその製造方法に関する。

背景技術

自動車や産業機械等に使用される機械部品の多くは、棒鋼を鍛造、切削加工して所定の形状とした後、調質熱処理により、所定の機械的性質が付与される。

近年では、部品の製造コスト低減のため、また、機械等の軽量化のため、部品に要求される機械的性質を有する鋼管を素材として中空形状部品を製造し、鍛造工程の短縮及び熱処理工程を省略する場合も増えている。

しかし、一般に、鋼管は、棒鋼よりも高価であり、特にシームレス鋼管は、製造コストが高い。そのため、鋼管を中空形状部品の素材として用いても、コストダウンの効果が十分ではない。

これまでに、要求される機械的性質を有し、かつ、製造コストを低減した安価な鋼管を提供するために、さまざまな検討がされている。

特許文献 1 には、特定の組成の素管に、特定の温度域で絞り圧延と傾斜圧延とを組み合わせた加工を施すことにより、ミクロ組織をフェライト粒径 $2\mu\text{m}$ 以下の微細かつ均一なフェライト、セメンタ

イト組織とし、高強度でかつ延性・韌性に優れる鋼管を製造する技術が開示されている。

特許文献 2 には、外表面からのみの加速冷却により、外面、内面の冷却速度の違いが生じる環境であっても、板厚方向全面に渡って、高強度、高韌性を両立できる最適な組織を生成する技術が開示されている。

特許文献 3 には、Al と Ti の添加量を最適化して粒内変態を活用し、さらに、シームレス圧延後の加速冷却により製造する、高強度、高韌性を両立できる微細な金属組織を有する鋼管が開示されている。しかし、この技術では、粒内変態を活用するために Al 量を低減する必要があり、脱酸のコストが高くなる。

特許文献 4 には、機械構造部材用鋼管を安価に製造することを目的として、主に Cr 添加鋼で、金属組織が、自己焼戻しマルテンサイト単独組織、又は、下部ベイナイトとの混合組織である鋼管が開示されている。自己焼戻しマルテンサイトとは、加速冷却中にオーステナイト相がマルテンサイト変態し、加速冷却停止後の放冷で微細なセメンタイトがラス内に析出した組織である。

近年の、機械構造用部品の用途拡大や、環境問題に対応した排気ガス削減の要請に伴い、要求される機械的性質を保ちつつ、さらに低コストなシームレス鋼管が求められている。しかし、従来の技術では、高強度、高韌性を維持し、かつ、低コスト化するには限界があった。

また、鋼管の焼入れ性を向上させるためには、通常、Cr を添加するが、Cr を添加すると、圧延時のロールやプラグとの焼付に起因する表面疵が発生するという問題があった。

先行技術文献

特許文献

特許文献 1 特開 2 0 0 0 - 3 1 2 9 0 7 号公報

特許文献 2 特開 2 0 0 8 - 2 6 6 7 0 0 号公報

特許文献 3 特開 2 0 0 9 - 5 2 1 0 6 号公報

特許文献 4 特開 2 0 0 7 - 2 6 2 4 6 8 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

本発明は、上記のような現状に鑑みてなされたものであり、特にシリンダー、ブッシュ、ブーム等の構造部材及びシャフト等の機械用部材に好適な、高強度、高靱性で、溶接性に優れ、かつ、表面疵の発生を抑えられる機械構造用シームレス鋼管の提供、及び、適正な熱処理によって機械構造用シームレス鋼管を安価に製造する方法の提供を課題とする。

課題を解決するための手段

本発明者らは、表面疵の発生を防ぐために、C r を添加しない成分組成の鋼管について、鋼管の熱処理工程の省略によるコスト低減の検討を行った。具体的には、加速冷却まま鋼管（加速冷却後、熱処理を施さずに製造される鋼管）に注目し、検討した。

加速冷却まま鋼管の組織の旧オーステナイトの粒径は $100\mu\text{m}$ 程度であり、焼入れ、焼戻し処理（以下「QT処理」という）を施した鋼管（以下「QT鋼管」という）では $20\sim 30\mu\text{m}$ 程度である。

なお、脱酸元素である A l 量を 0.010% 以下に低減して、T i を添加すれば、粒内変態を活用して粒径を微細にすることが可能である。しかし、本発明では、製造コストを低減するため、通常、

脱酸に必要とされる 0.010% 超の Al を添加する。

したがって、従来、加速冷却まま鋼管の組織の粒径は、QT 鋼管の組織の粒径と比較して粗大であり、QT 鋼管と同等又は同等以上の強度及び靱性は確保できないと考えられていた。

また、表面疵の発生を防ぐために Cr を添加しないと、焼入れ性が低下するので、強度確保はさらに困難であり、強度確保のために Cr 以外の金属を添加すると、コストが上昇すると考えられていた。

しかし、本発明者らが鋭意検討した結果、鋼管の成分組成を適正にすることで、靱性に有害な組織である上部ベイナイトの生成を抑制することができ、Cr を添加しない加速冷却まま鋼管でも、溶接性を損なうことなく、QT 鋼管と同等の強度及び靱性が得られることを見出した。

本発明は、上記知見に基づきなされたものであって、その要旨は以下のとおりである。

(1) 質量%で、

C : 0.03 ~ 0.20 %、

Si : 0.01 ~ 0.50 %、

Mn : 0.80 ~ 3.00 %、

Al : 0.010% 超、0.050% 以下

を含有し、

P : 0.020% 以下、

S : 0.0080% 以下、

N : 0.0080% 以下、

O : 0.0050% 以下

に制限し、残部が Fe 及び不可避免の不純物からなり、下記式 (1)

によって求められる β が 2.50 ~ 4.00、下記式 (2) によっ

て求められる P_{cm} が 0.15 ～ 0.30 であり、組織がフレッシュマルテンサイトからなり、旧オーステナイトの粒径が 50 ～ 200 μm であることを特徴とする韌性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管。

$$\beta = 2.7C + 0.4Si + Mn + 0.45Ni + Mo \quad \dots (1)$$

$$P_{cm} = C + Si / 30 + (Mn + Cu) / 20 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 \quad \dots (2)$$

ここで、C、Si、Mn、Ni、Cu、Mo、V は各元素の含有量 [質量%] である。

(2) さらに、前記鋼管が、質量%で、

$$B : 0.0001 \sim 0.0030 \%$$

を含有し、前記式 (1) に代えて下記式 (3) よって求められる β が 2.50 ～ 4.00、前記式 (2) に代えて下記式 (4) によって求められる P_{cm} が 0.15 ～ 0.30 であることを特徴とする前記 (1) の韌性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管。

$$\beta = 2.7C + 0.4Si + Mn + 0.45Ni + 2Mo \quad \dots (3)$$

$$P_{cm} = C + Si / 30 + (Mn + Cu) / 20 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5B \quad \dots (4)$$

ここで、C、Si、Mn、Ni、Cu、Mo、V、B は各元素の含有量 [質量%] である。

(3) さらに、前記鋼管が、質量%で、

$$Ni : 1.00 \% \text{以下、}$$

$$Cu : 1.00 \% \text{以下、}$$

$$Mo : 1.50 \% \text{以下}$$

の 1 種又は 2 種以上を含有することを特徴とする前記 (1) 又は (

2) の韌性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管。

(4) さらに、前記鋼管が、質量%で、

Ti : 0.050%以下、

Nb : 0.050%以下、

V : 0.050%以下

の1種又は2種以上を含有することを特徴とする前記(1)～(3)の韌性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管。

(5) さらに、前記鋼管が、質量%で、

Ca : 0.0040%以下、

Mg : 0.0010%以下、

REM : 0.005%以下

の1種又は2種以上を含有することを特徴とする前記(1)～(4)の韌性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管。

(6) 前記(1)～(5)のいずれかの機械構造用高強度シームレス鋼管の製造方法であって、

前記(1)～(5)のいずれかの成分を有する鋼をシームレス圧延し、その後、

開始温度750～950℃で、冷却速度が10～50℃/秒の加速冷却を施す

ことを特徴とする韌性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管の製造方法。

発明の効果

本発明によれば、加速冷却まま鋼管において、加速冷却時に上部ベイナイトの生成を抑制することが可能となる。その結果、QT処理を施すことなく、低コストで、QT鋼管と同等の韌性をもつ、加速冷却まま鋼管を製造することが可能となる。

発明を実施するための形態

本発明のシームレス鋼管は、加速冷却ままで、上部ベイナイトの生成を抑制して靱性を改善するために、焼入れ性の指標である β を適正な範囲に制御し、かつ、溶接性を確保するために、溶接性の指標である P_{cm} を適正な範囲に制御したものである。以下、本発明について詳細に説明する。

まず、本発明で、鋼管の化学成分を限定した理由を述べる。以下、「%」は、「質量%」を意味するものとする。

Cは、強度向上に極めて有効な元素である。目標とする強度を得るためには、0.03%以上のCを添加する必要がある。一方、0.20%超のCを添加すると、低温靱性が低下し、溶接時に割れを生じる。したがって、C量は、0.03~0.20%に限定する。強度を高めるには、C量は、0.07%以上が好ましい。一方、靱性を確保するためには、C量は、0.15%以下が好ましい。

Siは、脱酸元素であり、強度の向上に寄与する元素である。添加の効果を得るためには、0.01%以上のSiの添加が必要である。強度を向上させるには、Si量は、0.10%以上が好ましい。一方、Siを、0.50%を超えて添加すると、上部ベイナイトが生成し、低温靱性を損なうので、Si量の上限は0.50%に制限する。Si量の好ましい上限は0.25%である。

Mnは、低温変態組織の生成を促進する元素であり、強度と低温靱性のバランスを向上させるために有効である。この効果を得るには、0.80%以上のMnを添加することが必要である。しかし、Mn量が3.00%よりも多いと、低温靱性を損なうことがあるので、3.00%を上限とする。強度と低温靱性のバランスを向上させるために好ましいMn量の範囲は、1.50~2.40%である。

P 及び S は不純物であり、過剰に含有すると靱性が低下し、溶接性が低下する。よって、P 及び S の含有量の上限は、それぞれ、0.020% 及び 0.0080% とする。P 及び S の含有量は、靱性を確保するために、添加量が少ない方が好ましく、それぞれ、0.015% 以下及び 0.0050% 以下がより好ましい。P 及び S は含有しないことが好ましいので、下限値は規定しない。ただし、P 及び S の含有量を 0.0010% 未満にすると製造コストが増大するので、0.0010% を下限とすることが好ましい。

A1 は、強力な脱酸元素であり、脱酸のコストの観点から、0.010% 超を添加する。A1 を過剰に添加すると粗大な A1 酸化物が生成し、低温靱性が劣化するので、上限を 0.050% に制限する。靱性を高めるには、A1 量の上限を 0.035% にすることがより好ましい。

N は、不純物であり、0.0080% を超えると、粗大な TiN が生成し、靱性が低下するので上限を 0.0080% に制限する。N の含有量は、0.0060% 未満が好ましく、0.0050% 以下であれば、さらに好ましい。N は含有しないことが好ましいので、下限は特に規定しない。ただし、N の含有量を 0.0010% 未満とすると製造コストが増大するので、0.0010% を下限とすることが好ましい。

O は、0.0050% を超えて含有すると、粗大な酸化物が生成し、低温靱性を損なうので、上限を 0.0050% とする。O は含有しないことが好ましいので、下限は特に規定しない。ただし O の含有量を 0.0010% 未満とすると製造コストが増大するので、0.0010% を下限とすることが好ましい。

本発明の鋼には、さらに B を添加してもよい。B は、焼入れ性を高め、鋼の強靱化に寄与する元素である。その効果を得るためには

、0.0001%以上のBを添加することが好ましい。一方、Bの添加量が0.0030%より多いとBNなどの析出物を生じ、焼入れ性が低下することがある。より好ましいB量の範囲は、0.0010～0.0020%である。

さらに、Ni、Cu、Moの1種又は2種以上を添加してもよい。これらは、焼入れ性を高める元素であり、本発明の鋼の強靱化に寄与する。

Niは、低温靱性を劣化させることなく強度を向上させる元素でもあり、添加の効果を得るためには0.05%以上添加することが好ましい。1.00%を超えてNiを添加すると、偏析して組織が不均一になり、靱性が劣化することがあるため、Ni量の上限は1.00%とすることが好ましい。Niの添加量は0.80%未満が好ましく、0.50%以下がより好ましい。さらに好ましい範囲は、0.25～0.45%である。

Cu、及びMoは、強度を向上させる効果を得るために、それぞれ、0.05%以上を添加することが好ましい。Cu及びMoは、添加量がそれぞれ、1.00%、及び1.50%を超えると溶接性を損なうことがある。また、Cuを単独で添加すると表面疵が発生することがあるので、Cuは、Niと同時に添加することが好ましい。

さらに、Ti、Nb、Vの1種又は2種以上を添加してもよい。これらは、析出強化によって鋼の強度を向上させる元素である。

Tiは、鋼を析出強化させるために、0.005%以上含有させることが好ましい。また、不純物であるNを固定し、靱性を高めるには、0.010%以上のTiを添加することが好ましい。Ti量が、0.050%を超えると、粗大なTi酸化物の析出によって靱性が低下することがあるので、上限を0.050%とすることが好

ましい。また、Tiの粗大化を防止して低温靱性を向上させるには、Ti量の上限を0.035%以下とすることが好ましい。

Nbは、炭化物、窒化物等の析出物を生成し、圧延時のオーステナイトの再結晶を抑制し組織を微細化するだけでなく、焼入れ性を増大させ、鋼の強靱化に有効な元素である。Nb量が0.050%を超えると、粗大なNbの析出物が生成し、靱性が劣化することがあるので、上限を0.050%とする。Nb添加の効果を得るには、0.005%以上添加することが好ましい。

Vは、炭化物、窒化物を生成し、析出強化によって鋼の強度を向上させる元素であり、焼入れ性を高める効果も有する。V量が0.050%を超えると炭化物、窒化物が粗大化し、靱性を損なうことがあるので、V量の上限を0.050%とすることが好ましい。V添加の効果を得るには、0.005%以上添加することが好ましい。

さらに、Ca、Mg、REMの1種又は2種以上を添加してもよい。これらは、介在物の形状を調整し加工性を向上させる元素であり、さらに、硫化物、酸化物又は硫酸化物として析出し、鋼管の接合部の硬化を防止する作用をもつ。

Ca、Mg、及びREMの含有量は、それぞれ、0.0040%、0.0010%、及び0.005%を超えると、介在物が多くなりすぎ、延性が劣化するので、上限をそれぞれ、0.0040%、0.0010%、及び0.005%とする。熱間加工性を高めるには、Ca、Mg、及びREMの含有量の下限を、それぞれ、0.0005%、0.0005%、及び0.0001%とすることが好ましい。

上記の元素の残部は、Fe及び不可避的不純物である。不可避的不純物としては、スクラップから混入するSn、Bi等が挙げられ

る。また、脱酸時に必要に応じて添加される、Zr、Taなどを、本発明の特性を損なわない範囲で含有してもよい。

本発明のシームレス鋼管は、上部ベイナイトの生成を抑制し、靱性を改善した点が特徴である。上部ベイナイトの生成を抑制するためには、鋼材の焼入れ性を高めることが必要である。そこで、本発明では、個々の元素の組成の限定に加えて、さらに、下記式(1)で求められる β を、2.50～4.00の範囲に限定する。 β は鋼の焼入れ性の指標であり、式(1)の元素記号は、各元素の含有量(質量%)を表す。

$$\beta = 2.7C + 0.4Si + Mn + 0.45Ni + Mo \quad \dots \quad (1)$$

β が2.50よりも小さくなると、低温靱性が劣化する。また、 β が4.00を超えると、HAZ靱性、溶接性が悪化する。

さらに、下記式(2)で求められる P_{cm} を0.15～0.30に限定する。式(2)の元素記号は、各元素の含有量(質量%)を表す。

$$P_{cm} = C + Si/30 + (Mn + Cu)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 \quad \dots \quad (2)$$

P_{cm} が0.15よりも小さくなると、必要な強度が得られなくなり、さらに、溶接性が悪化する。 P_{cm} が0.30を超えると、低温靱性が劣化し、さらに、溶接性が悪化する。より好ましい P_{cm} の範囲は、0.20超～0.30である。

式(1)、式(2)に含まれる選択元素を添加しないときは、その元素の含有量は0として計算する。

鋼管がBを含有するときは、上記式(1)、式(2)に代えて、下記式(3)、式(4)を用いて、 β 及び P_{cm} を求める。式(3)及び式(4)の元素記号は、各元素の含有量(質量%)を表す。

$$\beta = 2.7C + 0.4Si + Mn + 0.45Ni + 2Mo \quad \dots \quad (3)$$

$$P_{cm} = C + Si/30 + (Mn + Cu)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B \quad \dots \quad (4)$$

式(3)、式(4)に含まれる選択元素を添加しないときは、式(1)、式(2)の場合と同様に、その元素の含有量は0として計算する。

式(1)及び式(3)によって定義される β は、鋼の焼入れ性に及ぼす各元素の影響を重み付けした経験式である。式(1)と式(3)との相違点は、Moの係数である。これは、Moを単独で含有する場合と比較して、MoとBとを同時に含有する場合は、相乗効果によって、焼入れ性を高めるMoの効果が高まることを意味する。

本発明のシームレス鋼管の金属組織は、フレッシュマルテンサイトからなる。フレッシュマルテンサイトは、ラス状の組織であり、光学顕微鏡による観察ではセメンタイトが見られない点で、焼戻しマルテンサイトやベイナイトとは異なる。本発明のシームレス鋼管は、冷却ままで製造されるので、焼戻しマルテンサイトは含まれない。また、本発明のシームレス鋼管は、靱性を低下させる相の生成を抑制したものであり、上部ベイナイトも含まれない。

フレッシュマルテンサイトは、冷却によってオーステナイトが変態した組織であり、旧オーステナイトの粒径が大きいほど、靱性が低下する。しかし、シームレス鋼管を製造する場合、一般に、鋼片の加熱温度が高く、穿孔及び圧延によって導入される累積ひずみ量を確保できないので、旧オーステナイトを微細にすることが困難である。

本発明では、旧オーステナイトの粒径を $50\mu m$ 以上とする。こ

れは、QT処理を施すことなく旧オーステナイトの粒径を $50\mu\text{m}$ 未満にするには、低温で穿孔及び圧延を行う必要があり、製造コストが高くなるためである。

一方、旧オーステナイトの粒径が粗大であると靱性が低下するので、本発明では、靱性を確保するために、旧オーステナイトの粒径を $200\mu\text{m}$ 以下とする。

旧オーステナイトの粒径は、JIS G 0551に準拠して測定することができる。

本発明のシームレス鋼管は、成分、特に、焼入れ性指標 β 及び溶接性指標 P_{cm} を適正な範囲とすることにより、金属組織をフレッシュマルテンサイトとし、旧オーステナイトの粒径を $50\sim 200\mu\text{m}$ とするものである。そして、本発明によれば、特に製造コストが上昇することなく、強度と靱性のバランスに優れたシームレス鋼管を提供することができる。なお、本発明の機械構造用シームレス鋼管の好ましい特性は、例えば、引張強度が 780MPa 以上、さらに好ましくは 980MPa 以上であり、かつ -20°C でのシャルピー吸収エネルギーが 100J 以上である。

次に、本発明のシームレス鋼管の製造方法について説明する。

本発明の鋼管は、熱間で約 $1100\sim 1300^{\circ}\text{C}$ で加熱した鋼片を穿孔し、圧延して製造されるシームレス鋼管であり、シームレス圧延後に延伸工程を経ることもある。結晶粒微細化による高靱性化の観点からは、穿孔、圧延で累積ひずみ量を増加させることが好ましい。

シームレス圧延後、必要に応じて、磨管、定型工程を経て、その後、所定の温度まで再加熱する。なお、再加熱前に、鋼管の温度が 600°C 未満になると、部分的に変態が生じ、再加熱後、異常粒成長によって、局所的に粗大な結晶粒を生じることがある。また、再

加熱前の冷却時に析出物を生じ、焼入れ性を高める元素の固溶量が減少して焼入れ性が低下することがあるので、鋼管の温度を600℃未満にすることなく再加熱することが好ましい。

再加熱後、必要に応じて絞り圧延を施し、鋼管を加速冷却する。加速冷却を開始する際の鋼管の温度は、高すぎるとオーステナイト粒が粗大化し、靱性が低下することがあるので、950℃以下とし、900℃以下が好ましい。また、結晶粒界からのフェライト変態を抑制するため、加速冷却を開始する際の鋼管の温度は750℃以上とする。

加速冷却の冷却速度が遅すぎると、上部ベイナイトが生成する。上部ベイナイトは、比較的高温で生じるベイナイトであり、局所的な脆化相である島状マルテンサイトを多く含有するので、靱性の低下を招く。また、冷却速度が速すぎると、均一な冷却が困難となり、冷却後、鋼管が大きく変形する原因となる。したがって、加速冷却の速度は10～50℃/秒とする。加速冷却の速度とは、加速冷却の開始から冷却停止までの、平均の冷却速度をいう。

冷却停止温度が高すぎても上部ベイナイトが生成することがあり、400℃以下で加速冷却を停止することが好ましい、より好ましくは250℃以下である。

冷却方法は、水を鋼管の外表面に直接当てる方法、鋼管外周の接線方向に当てる方法、ミスト冷却などから任意に選定できる。

本発明の成分組成を有する鋼管を、適切な冷却速度で加速冷却することにより、上部ベイナイトの生成が抑制された、フレッシュマルテンサイトからなる金属組織が得られる。また、本発明の成分組成を有する鋼管は、旧オーステナイトの粒径が50～200μmであるから、圧延温度を低くしたり、粒内変態を活用したりする必要がない。したがって、本発明によれば、コストを上昇させることな

く、強度及び靱性に優れた鋼管を製造することが可能である。

実施例

表 1 に記載の成分組成を有する鋼を溶製し、転炉、連続鑄造プロセスにより直径 1 0 0 ～ 1 7 0 mm の鋼片を鑄造した。これらの鋼片を 1 1 0 0 ～ 1 2 5 0 ℃ に加熱し、マンネスマンープラグミル方式により穿孔、圧延し、9 0 0 ～ 1 0 0 0 ℃ に再加熱後、表 2 に示す条件で加速冷却を行った。加速冷却は、水を鋼管の外表面に直接当てて方法によって行った。製造後、鋼管の表面疵の有無を目視で確認した。

表 1

(mass%)

鋼	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O	B	Ni	Cu	Cr	Mo	Ti	Nb	V	Ca	Mg	REM	β	Pcm	備考
A	0.06	0.10	2.40	0.015	0.0050	0.035	0.0030	0.0025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.60	0.183	発明例
B	0.10	0.15	2.25	0.007	0.0055	0.025	0.0035	0.0020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.58	0.218	
C	0.10	0.12	2.30	0.006	0.0050	0.030	0.0032	0.0020	0.0020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.62	0.229	
D	0.06	0.12	1.95	0.008	0.0040	0.043	0.0027	0.0015	0.0011	0.44	-	-	0.28	0.019	0.031	-	-	-	-	2.92	0.193	
E	0.08	0.11	2.12	0.007	0.0051	0.021	0.0030	0.0014	0.0015	0.45	0.20	-	0.51	0.021	0.033	0.020	-	-	-	3.60	0.251	
F	0.10	0.10	2.13	0.007	0.0048	0.021	0.0030	0.0012	0.0016	0.45	-	-	0.50	0.021	0.030	-	-	-	-	3.64	0.259	
G	0.10	0.10	2.15	0.007	0.0050	0.023	0.0034	0.0015	0.0015	0.46	-	-	0.30	0.024	0.030	-	-	-	-	3.27	0.246	
H	0.12	0.11	1.50	0.006	0.0055	0.020	0.0030	0.0010	0.0020	0.40	-	-	0.45	-	0.025	-	0.0030	-	-	2.95	0.245	
I	0.15	0.10	2.00	0.005	0.0050	0.025	0.0032	0.0015	-	-	-	-	0.20	-	-	-	-	0.0005	0.0030	2.65	0.267	
J	0.10	0.25	0.95	0.010	0.0045	0.045	0.0035	0.0020	0.0010	0.25	0.30	0.85	0.40	0.025	-	0.030	-	-	-	2.91	0.252	比較例
K	0.02	0.10	2.20	0.015	0.0050	0.025	0.0035	0.0020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.29	0.133	
L	0.10	0.10	1.80	0.007	0.0055	0.020	0.0030	0.0020	0.0040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.11	0.213	
M	0.25	0.15	1.20	0.008	0.0045	0.025	0.0032	0.0028	0.0016	-	-	-	0.20	0.020	0.030	-	-	-	-	2.64	0.351	
N	0.15	0.10	1.35	0.008	0.0045	0.025	0.0030	0.0025	0.0008	0.25	-	-	1.05	0.020	0.030	-	-	-	-	4.01	0.299	

下線は本発明の範囲外であることを意味する。

表 2

条件	鋼	鋼管サイズ		シームレス圧延後の加速冷却条件		
		外径 (mm)	肉厚 (mm)	冷却開始温度 (℃)	冷却速度 (℃/s)	冷却停止温度 (℃)
1	A	76	10	881	20	225
2	B	76	10	885	21	230
3	C	76	12	884	18	235
4	D	76	12	880	17	229
5	E	120	12	889	15	235
6	F	120	12	878	16	230
7	G	120	10	880	19	232
8	H	146	12	881	18	235
9	I	146	12	879	18	230
10	G	120	10	753	20	230
11	G	120	10	920	19	235
12	G	120	10	870	48	240
13	G	120	10	875	21	395
14	J	76	12	885	18	240
15	K	120	10	880	18	231
16	L	76	10	875	21	240
17	M	146	12	885	15	228
18	N	120	10	870	20	240
19	G	120	10	745	18	235
20	G	120	10	955	15	240
21	G	120	10	880	8	245

製造した鋼管のサイズは、表 2 に示したとおりである。製造した鋼管の長手方向及び肉厚方向の中央部近傍から試料を採取し、光学顕微鏡を用いて金属組織を観察し、金属組織を、フレッシュマルテンサイト、上部ベイナイト、下部ベイナイト、パーライト、フェライトに分類した。また、旧オーステナイトの粒径は、J I S G 0 5 5 1 に準拠して測定した。

旧オーステナイトの粒径とは、マルテンサイトに変態する前の組織（高温での組織）の粒径のことをいう。旧オーステナイトの粒径は、マルテンサイトに変態した後も変わらないので、変態後でも測定可能である。

引張試験は円弧状の J I S 1 2 号引張試験片を用いて行い、降伏強度と引張強度を測定した。靱性の評価は、J I S Z 2 2 4 2 に準拠し、2 mm V ノッチフルサイズ試験片を用いて、- 2 0 ℃でシャルピー試験を実施し、吸収エネルギーを測定した。

表 3 に結果を示す。

表 3

鋼	製造条件	表面疵	旧オーステナイトの 平均粒径 (μm)	金属組織	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	vE-20 (J)	備考
A	1	○	180	M	865	1070	125	発明例
B	2	○	160	M	940	1170	120	
C	3	○	120	M	945	1175	125	
D	4	○	65	M	870	1065	155	
E	5	○	60	M	930	1120	140	
F	6	○	55	M	950	1185	130	
G	7	○	55	M	950	1180	120	
H	8	○	110	M	960	1200	130	
I	9	○	130	M	975	1290	115	
G	10	○	53	M	860	1060	135	
G	11	○	150	M	970	1295	115	
G	12	○	120	M	960	1200	120	
G	13	○	70	M	900	1150	130	
J	14	×	60	M	945	1180	130	比較例
K	15	○	185	<u>BL+BU</u>	590	780	45	
L	16	○	165	<u>BU+P</u>	570	700	35	
M	17	○	90	M	1200	1570	12	
N	18	○	120	M	1300	1400	15	
G	19	○	100	<u>BU+F</u>	700	800	40	
G	20	○	<u>210</u>	M	1280	1650	10	
G	21	○	<u>40</u>	<u>P+F</u>	480	600	100	

○：表面疵なし ×：表面疵あり

M：フレッシュマルテンサイト，BL：下部ベイナイト，BU：上部ベイナイト，

P：パーライト，F：フェライト

下線は本発明の範囲外であることを意味する。

本発明で既定する成分組成、 β 、及びP c mを満たす鋼A～Iを用いて、本発明で規定する製造方法で製造した鋼管は、組織がフレッシュマルテンサイトであり、旧オーステナイトの粒径が50～200 μ mとなる。

その結果、機械構造用鋼管として必要な強度を有し、さらに、シャルピー衝撃試験の-20℃における吸収エネルギー（ $v E - 20$ ）が115 J以上と高い値を示しており、靱性も優れている。

鋼Gを用いて、本発明の範囲内で冷却開始温度や冷却速度を変えて製造した鋼管（No. 7、10～13）は、いずれも適正な金属組織を有し、また、機械構造用鋼管として必要な強度を有する。さらに、シャルピー衝撃試験の-20℃における吸収エネルギー（ $v E - 20$ ）が115 J以上と高い値を示しており、靱性も優れている。

No. 14は、Crを含有するため、シームレス圧延によって鋼管に表面疵が発生した。

No. 15は、Cが本発明で規定する下限を下回っており、 β が2.29と焼入れ性が劣っている。そのため、加速冷却後の金属組織は上部ベイナイトと下部ベイナイトとなり、その結果、強度が弱く、靱性も劣っている。

No. 16は、Bが本発明で規定する上限を超えており、 β が2.11と焼入れ性が劣っている。加速冷却後の金属組織は上部ベイナイトとパーライトとなり、その結果、強度が弱く、靱性も劣っている。

No. 17は、Cが本発明で規定する上限を超えているので、加速冷却後の金属組織はフレッシュマルテンサイトであるが、強度が高くなりすぎ、靱性が低下した。

No. 18は、個々の元素の組成は本発明の範囲内であるが、 β

が 4.01 と大きい。その結果、加速冷却後の金属組織はフレッシュマルテンサイトであるが、強度が高くなりすぎ、韌性が低下した。

No. 19 は、成分組成、 β 、及び P c m が本発明の範囲内である鋼 G を用いて製造した鋼管であるが、冷却開始温度が高いので、金属組織が上部ベイナイトとフェライトとなり、強度が弱く、韌性も劣っている。

No. 20 は、鋼 G を用いて製造した鋼管であるが、冷却開始温度が高いので、旧オーステナイトの平均粒径が大きくなり、その結果、韌性が低下した。

No. 21 は、鋼 G を用いて製造した鋼管であるが、冷却速度が遅いので、金属組織がパーライトとフェライトとなり、さらに、旧オーステナイトの平均粒径が小さくなり、その結果、強度が弱く、韌性もやや劣っている。

以上示したとおり、本発明で規定する成分組成、 β 、及び P c m を満たす鋼を、本発明の製造方法で製造することにより、QT 鋼管と同等の韌性をもつ、QT 処理を施さない加速冷却まま鋼管を製造することが可能となる。

産業上の利用可能性

本発明によれば、特にシリンダー、ブッシュ、ブーム等の構造部材及びシャフト等の機械用部材に好適な、QT 鋼管と同等又は同等以上の韌性をもつシームレス鋼管を、低コストで、製造することが可能となるので、自動車産業、機械産業等への貢献は大きい。

請 求 の 範 囲

請 求 項 1

質量%で、

C : 0.03 ~ 0.20 %、

Si : 0.01 ~ 0.50 %、

Mn : 0.80 ~ 3.00 %、

Al : 0.010 % 超、0.050 % 以下

を含有し、

P : 0.020 % 以下、

S : 0.0080 % 以下、

N : 0.0080 % 以下、

O : 0.0050 % 以下

に制限し、残部が Fe 及び不可避免の不純物からなり、下記式 (1) によって求められる β が 2.50 ~ 4.00、下記式 (2) によって求められる Pcm が 0.15 ~ 0.30 であり、組織がフレッシュマルテンサイトからなり、旧オーステナイトの粒径が 50 ~ 200 μm であることを特徴とする韌性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管。

$$\beta = 2.7C + 0.4Si + Mn + 0.45Ni + Mo \quad \dots (1)$$

$$Pcm = C + Si / 30 + (Mn + Cu) / 20 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 \quad \dots (2)$$

ここで、C、Si、Mn、Ni、Cu、Mo、V は各元素の含有量 [質量%] である。

請 求 項 2

さらに、前記鋼管が、質量%で、

B : 0.0001 ~ 0.0030 %

を含有し、前記式(1)に代えて下記式(3)によって求められる β が2.50 ~ 4.00、前記式(2)に代えて下記式(4)によって求められる P_{cm} が0.15 ~ 0.30であることを特徴とする請求項1に記載の靱性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管。

$$\beta = 2.7C + 0.4Si + Mn + 0.45Ni + 2Mo \quad \dots (3)$$

$$P_{cm} = C + Si / 30 + (Mn + Cu) / 20 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5B \quad \dots (4)$$

ここで、C、Si、Mn、Ni、Cu、Mo、V、Bは各元素の含有量〔質量%〕である。

請求項3

さらに、前記鋼管が、質量%で、

Ni : 1.00 % 以下、

Cu : 1.00 % 以下、

Mo : 1.50 % 以下

の1種又は2種以上を含有することを特徴とする請求項1又は2に記載の靱性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管。

請求項4

さらに、前記鋼管が、質量%で、

Ti : 0.050 % 以下、

Nb : 0.050 % 以下、

V : 0.050 % 以下

の1種又は2種以上を含有することを特徴とする請求項1 ~ 3のいずれか1項に記載の靱性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管。

請求項5

さらに、前記鋼管が、質量％で、

C a : 0 . 0 0 4 0 % 以下、

M g : 0 . 0 0 1 0 % 以下、

R E M : 0 . 0 0 5 % 以下

の 1 種又は 2 種以上を含有することを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の靱性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管。

請求項 6

請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の機械構造用高強度シームレス鋼管の製造方法であって、

請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の成分を有する鋼をシームレス圧延し、その後、

開始温度 7 5 0 ～ 9 5 0 ℃で、冷却速度が 1 0 ～ 5 0 ℃／秒の加速冷却を施す

ことを特徴とする靱性に優れた機械構造用高強度シームレス鋼管の製造方法。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/055562

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C38/00(2006.01)i, C21D8/10(2006.01)i, C22C38/06(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)

C22C38/00-38/60, 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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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 10-140250 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 26 May 1998 (26.05.1998), claims 1, 3; examples (Family: none)	1-6
A	JP 10-140238 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 26 May 1998 (26.05.1998), claim 5; examples (Family: none)	1-6
A	JP 2003-201543 A (JFE Steel Corp.), 18 July 2003 (18.07.2003), claim 1; paragraph [0011]; examples (Family: none)	1-6



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

20 May, 2011 (20.05.11)

Date of mailing of the international search report

31 May, 2011 (31.05.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/055562

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 2001-355046 A (Kawasaki Steel Corp.), 25 December 2001 (25.12.2001), claim 1; paragraph [0021]; examples & US 2003/0051782 A1 & EP 1293581 A1 & WO 2001/96625 A1 & CN 1388835 A	1-6

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, C21D8/10(2006.01)i, C22C38/06(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（I P C））

Int.Cl. C22C38/00-38/60, 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 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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 10-140250 A（住友金属工業株式会社）1998.05.26, 請求項 1, 請求項 3, 実施例（ファミリーなし）	1 - 6
A	JP 10-140238 A（住友金属工業株式会社）1998.05.26, 請求項 5, 実施例（ファミリーなし）	1 - 6
A	JP 2003-201543 A（J F E スチール株式会社）2003.07.18, 請求項 1, 【0011】欄, 実施例（ファミリーなし）	1 - 6

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「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 0 . 0 5 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

3 1 . 0 5 . 2 0 1 1

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）

本多 仁

4 K

3 4 4 7

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
A	JP 2001-355046 A (川崎製鉄株式会社) 2001. 12. 25, 請求項 1, 【0021】欄, 実施例 & US 2003/0051782 A1 & EP 1293581 A1 & WO 2001/96625 A1 & CN 1388835 A	1 - 6