

(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 3 月 6 日(06.03.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/034150 A1

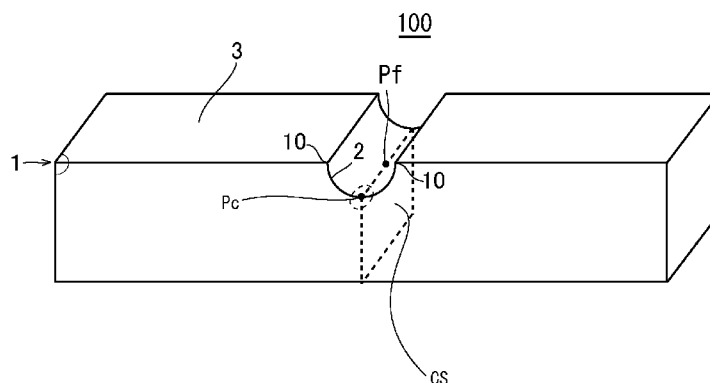
- (51) 国際特許分類:
C22C 38/00 (2006.01) C21D 9/32 (2006.01)
C21D 1/06 (2006.01) C22C 38/60 (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01) C23C 8/22 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/005181
- (22) 国際出願日: 2013 年 9 月 2 日(02.09.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-192752 2012 年 9 月 3 日(03.09.2012) 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: 藤堂 尚二(TOUDOU, Shouji); 〒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). 大橋 徹也(OHASHI, Tetsuya); 〒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). 今高 秀樹(IMATAKA, Hideki); 〒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). 末野 秀和(SUENO, Hidekazu); 〒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 1 7 番 2 3 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.
- (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,

[続葉有]

(54) Title: CARBURIZED COMPONENT

(54) 発明の名称: 浸炭部品

FIG. 1



(57) Abstract: The present invention provides a carburized component that is manufactured by vacuum carburization and demonstrates exceptional bending fatigue strength in an edge section and a flat section. This carburized component is manufactured by vacuum carburizing steel. The outer surface of the carburized component includes a top section, the edge section, and the flat section. The steel contains 0.10 to 0.30% of C, 0.05 to 0.8% of Si, 0.3 to 2.0% of Mn, 0.06% or less of P, 0.006 to 0.1% of S, 0.5 to 3.0% of Cr, 0.01 to 0.1% of Al, 0.025% or less of N, 0 to 0.5% of Cu, 0 to 0.5% of Ni, and 0 to 1.0% of Mo, the remainder comprising Fe and impurities (all amounts representing percentage by mass). The carbon concentration in a flat surface layer section down to 0.05 mm from the flat section is 0.7% to less than 1.0% by mass, and an edge surface layer section down to 80 μ m from the edge section contains one or more cementites having a length of 3.0 μ m or less, the cementite fraction in the edge section being 5 to 15%.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/034150 A1



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))

真空浸炭処理を実施して製造され、エッジ部及び平坦部の曲げ疲労強度に優れた浸炭部品を提供する。本実施形態の浸炭部品は、鋼材に対して真空浸炭処理を実施して製造される。浸炭部品の表面は、頂点部と、エッジ部と、平坦部とを含む。鋼材は、質量%で、C : 0.10~0.30%、Si : 0.05~0.8%、Mn : 0.3~2.0%、P : 0.06%以下、S : 0.006~0.1%、Cr : 0.5~3.0%、Al : 0.01~0.1%、N : 0.025%以下、Cu : 0~0.5%、Ni : 0~0.5%、及び、Mo : 0~1.0%を含有し、残部はFe及び不純物からなる。平坦部から0.05mmの深さまでの平坦表層部における炭素濃度は、質量%で、0.7%以上1.0%未満であり、エッジ部から80 μ mの深さまでのエッジ表層部は、3.0 μ m以下の長さを有する1又は複数のセメントタイトを含有し、エッジ部のセメントタイト分率は5~15%である。

明 細 書

発明の名称： 浸炭部品

技術分野

[0001] 本発明は、浸炭部品に関し、さらに詳しくは、真空浸炭処理を実施することにより製造される浸炭部品に関する。

背景技術

[0002] 機械部品の曲げ疲労強度や耐摩耗性を向上するために、機械部品に対して表面硬化処理が実施される。たとえば、自動車の変速機として使用される歯車やベルト式無段変速機（CVT）用プーリでは、表面硬化処理として、浸炭焼入れ処理が実施される場合がある。

[0003] 浸炭焼入れ処理として、従来、ガス浸炭焼入れ処理が多く利用されている。しかしながら、最近では、真空浸炭焼入れ処理が普及し始めている。真空浸炭焼入れ処理では、ガス浸炭焼入れ処理よりも減圧された雰囲気内で、炭化水素ガスを用いて浸炭処理を実施する。真空浸炭焼入れ処理では、真空炉と同じ構造の熱処理炉を利用する。そのため、ガス浸炭焼入れ処理と比較して、浸炭温度を高くすることができ、処理時間を短くすることができる。また、減圧下で浸炭処理するため、粒界酸化が抑制され、高い疲労強度が得られやすい。さらに、炭素収率が高いため、炭酸ガスの排出量を抑えることができる。

[0004] しかしながら、真空浸炭処理により製造された浸炭部品では、各部での炭素濃度がばらつく場合がある。特に、コーナ角部を含むエッジ部の炭素濃度は、平坦部と比較して高くなりやすい。このように、炭素濃度が高くなる現象を過剰浸炭という。過剰浸炭が発生したエッジ部では、粗大なセメントイトが残存しやすい。粗大なセメントイトは割れの起点となりやすいため、エッジ部の曲げ疲労強度が低下する場合がある。

[0005] 国際公開第2009/131202号（特許文献1）、特開2007-291486号公報（特許文献2）、特開2006-349055号公報（特

許文献3)、特開2000-129418号公報(特許文献4)、特開2008-81781号公報(特許文献5)及び特開2009-57597号公報(特許文献6)は、真空浸炭処理の改善策を提案する。

[0006] 具体的には、特許文献1は、浸炭部品のほぼ全面の表面炭素濃度のばらつきを抑えることを目的とする。特許文献1に開示された真空浸炭処理では、平坦部の炭素濃度が 0.65 ± 0.1 質量%の範囲内となる浸炭条件で、真空浸炭処理を実施する。その後、浸炭部品を冷却ガス中において徐冷する。その後、浸炭部品に対して高周波加熱を実施し、水焼入れを実施する。

[0007] 特許文献2は、エッジ部における過剰浸炭を抑制することを目的とする。特許文献2に開示された真空浸炭処理では、鋼材の化学組成が、質量%で、 $Si: 0.5 \sim 3.0\%$ 、 $Ni: 0.01 \sim 3.0\%$ 、 $Cu: 0.01 \sim 1.00\%$ 及び $Cr: 0.3 \sim 1.0\%$ を含有し、 $[Si\%] + [Ni\%] + [Cu\%] - [Cr\%] > 0.5$ を満たす。要するに、特許文献2では、 Si 含有量を高くし、 Cr 含有量を低くして、エッジ部の過剰浸炭を抑制する。

[0008] 特許文献3は、真空浸炭処理を実施しても、歯車の面部と角部とにおける表面炭素濃度の差異が小さくなる歯車を提案する。特許文献3では、歯元近傍に位置する応力集中部分に対して面取り加工を実施し、その後、真空浸炭処理を実施する。

[0009] 特許文献4は、浸炭むらの発生を抑制することを目的とする。特許文献4では、真空浸炭処理を実施した後、 A_{r3} 変態点以下まで鋼部品を冷却する。その後、オーステナイト化温度域まで鋼部品を再加熱して、焼入れを実施する。特許文献4の図2では、上記冷却時の冷却速度は $2^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ である。

[0010] 特許文献5は、結晶粒の粗大化を改善して所定の物性値を有する被処理物を得ることを目的とする。特許文献5では、拡散工程と焼入れ工程との間において、被処理物(work piece)の温度を第1の温度から所定温度まで降下させる(焼ならし工程)。次に、被処理物を所定温度に保持する。その後、被処理物の温度を第2の温度まで上昇させる。特許文献5の図4及

び図6では、焼ならし工程時における冷却速度は1.5℃/秒である。

[0011] 特許文献6は、粗大なセメントの残留を抑制して耐ピッチング性を高めた歯車を提供することを目的とする。特許文献6では、歯車の化学組成は、質量%でC:0.10~0.30%、Si:1.0~1.5%、Mn:0.20~1.5%、Cr:0.31%以下、Mo:0.1~1.0%を含有し、残部はFe及び不可避免的不純物からなる。上記歯車をA_{c3}点以上に加熱して真空浸炭処理を実施して、歯車の表層に1質量%以上の炭素濃度を有する浸炭層を形成する。その後、歯車をA_{r1}点以下の温度に冷却する。

先行技術文献

特許文献

[0012] 特許文献1: 国際公開第2009/131202号

特許文献2: 特開2007-291486号公報

特許文献3: 特開2006-349055号公報

特許文献4: 特開2000-129418号公報

特許文献5: 特開2008-81781号公報

特許文献6: 特開2009-57597号公報

特許文献7: 特開2008-223060号公報

[0013] しかしながら、特許文献1の真空浸炭処理で製造された浸炭部品の炭素濃度は低いため、曲げ疲労強度が低い場合がある。また、特許文献2に開示された化学組成のように、Si含有量が高すぎたり、Cr含有量が低すぎたりすれば、曲げ疲労強度が低くなる場合がある。また、特許文献3に開示されたような、歯元近傍の面取り加工は非常に困難である。さらに、面取り加工を実施した場合であっても、曲げ疲労強度が低い場合がある。

さらに、特許文献4及び特許文献5の真空浸炭処理を実施した場合、セメントが粗大になり、曲げ疲労強度が低い場合がある。

[0014] 特許文献6の歯車は、Si含有量が高すぎるため、曲げ疲労強度が低い場合がある。

発明の概要

[0015] 本発明の目的は、真空浸炭処理を実施して製造され、エッジ部及び平坦部の曲げ疲労強度に優れた浸炭部品を提供することである。

[0016] 本実施の形態による浸炭部品は、鋼材に対して真空浸炭処理を実施して製造される。浸炭部品の表面は、頂点部と、エッジ部と、平坦部とを含む。頂点部は、3以上の面により形成される頂点と、頂点から1mm以内の表面部分とを含む。エッジ部は、上記頂点から1mmよりも離れ、かつ、表面の辺から1mm以内の表面部分のうち、辺と垂直な断面において辺を中心とした半径1mmの仮想円と重複する部分の面積 OA (mm^2)と、重複する部分における浸炭部品の表面長さ SL (mm)とが式(1)を満たす表面部分である。平坦部は、上記表面のうち、頂点部及びエッジ部以外の表面部分である。鋼材は、質量%で、 $C: 0.10 \sim 0.30\%$ 、 $Si: 0.05 \sim 0.8\%$ 、 $Mn: 0.3 \sim 2.0\%$ 、 $P: 0.06\%$ 以下、 $S: 0.006 \sim 0.1\%$ 、 $Cr: 0.5 \sim 3.0\%$ 、 $Al: 0.01 \sim 0.1\%$ 、及び、 $N: 0.025\%$ 以下、 $Cu: 0 \sim 0.5\%$ 、 $Ni: 0 \sim 0.5\%$ 、及び、 $Mo: 0 \sim 1.0\%$ を含有し、残部は Fe 及び不純物からなる。平坦部から0.05mmの深さまでの平坦表層部における炭素濃度は、質量%で、0.7%以上1.0%未満である。エッジ部から80 μm の深さまでのエッジ表層部内のセメンタイトの長さは、3.0 μm 以下である。エッジ表層部のセメンタイト分率は5～15%である。

$$OA/SL \leq 0.7 \quad (1)$$

[0017] 本実施の形態による浸炭部品では、エッジ部及び平坦部の曲げ疲労強度に優れる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]図1は、本実施の形態による浸炭部品の斜視図である。

[図2]図2は、図1中の浸炭部品の断面図である。

[図3]図3は、浸炭部品の一例である歯車の歯部分の斜視図である。

[図4]図4は、図1中の浸炭部品のエッジ表層部内のセメンタイトの長さと4点曲げ疲労強度との関係を示す図である。

[図5]図5は、図1中の浸炭部品の平坦表層部の炭素濃度と小野式回転曲げ疲労強度との関係を示す図である。

[図6]図6は、本実施形態による真空浸炭処理及び焼入れ処理の処理パターンを示す模式図である。

[図7]図7は、実施例で用いた小野式回転曲げ試験片の側面図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、図面を参照し、本発明の実施の形態を詳しく説明する。図中同一又は相当部分には同一符号を付してその説明は繰り返さない。

[0020] 本発明者は、真空浸炭処理を実施して製造された浸炭部品の曲げ疲労強度について調査及び研究を行い、以下の知見を得た。

[0021] (A) 真空浸炭処理を実施された浸炭部品の表面が頂点部と、平坦部と、エッジ部とを含む場合、エッジ部に過剰浸炭が発生しやすい。

[0022] 浸炭部品の表面において、頂点部は、3以上の面により形成される頂点と、頂点から1mm以内の表面部分とを含む。

[0023] 浸炭部品の表面におけるエッジ部は、次のとおり定義される。浸炭部品の表面のうち、上記頂点部以外であって（つまり、頂点から1mmよりも離れて）、かつ、表面の辺から1mm以内の表面部分に注目する。この表面部分を、「縁表面部分」という。縁表面部分のうち、辺上の任意の点を含み、辺と垂直な断面を想定する。この断面において、浸炭部品の上記辺上の点を中心とした半径1mmの仮想円を想定する。そして、 $F I$ (mm)を次の式で定義する。

$$F I = \text{仮想円と重複する断面部分の面積 } O A \text{ (mm}^2\text{)} / \text{仮想円と重複する断面部分の表面長さ } S L \text{ (mm)}$$

[0024] 縁表面部分のうち、下記式(1)を満たす表面部分を、「エッジ部」と定義する。

$$F I = O A / S L \leq 0.7 \quad (1)$$

[0025] 浸炭部品の表面のうち、頂点部及びエッジ部以外の部分を、「平坦部」と定義する。たとえば、縁表面部分であっても、 $F I$ が0.7mmよりも大き

い場合、その部分は平坦部である。

[0026] 図1に示すとおり、浸炭部品100が4点曲げ試験片である場合を想定する。浸炭部品100の表面のうち、頂点10から1mmよりも離れ、切り欠き部分の辺2から1mm以内の表面部分（縁表面部分）に注目する。

[0027] 縁表面部分のうち、辺2上の任意の点を「点Pc」と定義する。点Pcは、3以上の面により形成された頂点10から1mmよりも離れた辺上に位置する。

[0028] 図1において、点Pcにおける辺と垂直な断面CSを想定する。図2は、断面CSの模式図である。断面CSにおいて、コーナの点Pcを中心とした半径1mmの仮想円VCを想定する。断面CSうち、点Pcを中心とした仮想円VCと重複する領域を、部分領域Acと定義する。部分領域Acの面積OA（mm²）を求める。本例では、部分領域Acの面積 $OA = \pi / 4$ （mm²）である。さらに、部分領域Ac内の表面長さSL（mm）を求める。本例では、部分領域Acは、点Pcを頂点とした2辺を表面に持つ。そのため、部分領域Acの表面長さ $SL = 2$ （mm）である。したがって、FIは、次のとおり計算される。

$$FI = OA / SL = \pi / 8 = 0.39 \text{ (mm)} \leq 0.7 \text{ (mm)}$$

したがって、図1中の点Pcを含む縁表面部分は「エッジ部」である。

[0029] 以上の方法により、縁表面部分のうち式（1）を満たす複数の点の集合で構成される辺から1mm以内の部分、エッジ部と定義できる。

[0030] また、図1における頂点部1は、3つの面により形成される頂点と、頂点から1mm以内の表面部分とを含む。頂点部及びエッジ部以外の表面部分を「平坦部」と定義する（図1中の符号3）。

[0031] 図3は、浸炭部品の一例である歯車の歯近傍部分の斜視図である。歯車は外歯車であっても、内歯車であってもよい。図3に示す歯において、歯先には頂点10を含む4つの頂点部がある。また、頂点10から歯底に向かって辺2が延びる。辺2は歯元で湾曲している。頂点10から1mmよりも離れており、かつ、辺2から1mm以内の領域である縁表面部分に注目する。辺

2上の任意の点 P_c を含み、辺2と垂直な断面CSにおいて、式(1)が満たされる。そのため、点 P_c を含む縁表面部分はエッジ部である。縁表面部分の辺2のうち、式(1)が満たされる点で構成される辺部分から1mm以内の領域が、「エッジ部」に該当する。

[0032] 図3の浸炭部品のうち、4つの頂点部と、エッジ部以外の表面部分は、平坦部3に該当する。

[0033] 以上の方法により、浸炭部品の表面において、頂点部、平坦部、及びエッジ部を区分することができる。

[0034] 過剰浸炭が発生したエッジ部を含む表層部分（エッジ表層部という）では炭素濃度が高いため、セメンタイトが析出及び成長し、粗大になりやすい。粗大なセメンタイトは、割れ発生の起点になりやすい。そのため、浸炭部品の特にエッジ表層部において、曲げ疲労強度が低下する。

[0035] (B) 浸炭部品全体の炭素含有量を低くすれば、エッジ表層部における過剰浸炭が発生しにくくなる。しかしながらこの場合、平坦部を含む表層部分（以下、平坦表層部という）の炭素濃度も低下するため、平坦表層部の曲げ疲労強度が低下する。したがって、エッジ表層部の炭素濃度を低下するのではなく、エッジ表層部での粗大なセメンタイトの発生を抑制する方が、浸炭部品の曲げ疲労強度の向上には有効である。

[0036] (C) 微細なセメンタイトは、曲げ疲労強度に影響しにくい。エッジ表層部に析出するセメンタイトを微細化すれば、粗大なセメンタイトの発生を抑制でき、曲げ疲労強度も高くすることができる。

[0037] 図4は、浸炭部品のエッジ表層部内のセメンタイトの長さ(μm)と、4点曲げ疲労強度(MPa)との関係を示す図である。図4は、後述の実施例に記載された4点曲げ疲労試験により得られた結果に基づく。図4中の領域200の点はいずれも、エッジ表層部中のセメンタイトの長さが $5.0\mu\text{m}$ 以上である場合の試験結果である。

[0038] 4点曲げ疲労強度は、浸炭部品のうち、エッジ表層部の曲げ疲労強度の指標となる。ここで、エッジ表層部を、エッジ部から $80\mu\text{m}$ の深さまでの範

囲と定義する。図4を参照して、エッジ表層部でのセメントタイトの長さが3.0 μm 以下である場合、エッジ表層部でのセメントタイト長さが3.0 μm を超える場合（領域200の点の場合）と比較して、4点曲げ疲労強度が顕著に高くなる。したがって、エッジ表層部のセメントタイトを微細化することにより、浸炭部品のエッジ表層部の曲げ疲労強度は高くなる。

[0039] (D) エッジ表層部でのセメントタイト長さが3.0 μm 以下であり、セメントタイトが微細であっても、セメントタイトの析出量が少なすぎれば、エッジ表層部の曲げ疲労強度が低い場合がある。セメントタイトの析出量が少なすぎれば、マトリクス中の炭素濃度が高い。炭素濃度が高すぎれば、炭素が粒界に偏析して粒界強度を低くする。そのため、エッジ表層部の曲げ疲労強度が低下する。したがって、セメントタイト長さが3 μm 以下の微細なセメントタイトが多く析出する方が好ましい。

[0040] 具体的には、エッジ表層部でのセメントタイト分率が5～15%であれば、マトリクスの炭素濃度が十分に低下し、エッジ表層部の曲げ疲労強度が高くなる。ここで、セメントタイト分率は、次のとおり定義される。上述の方法で特定された断面CS内のエッジ部を含むエッジ表層部内の任意の5つの視野（領域）を観察する。観察には、倍率を10000倍に設定した走査型電子顕微鏡（SEM）を用いる。各視野において、セメントタイトの面積率（＝セメントタイトの総面積／視野の総面積×100）を測定する。測定されたセメントタイトの面積率の平均値（つまり、5つのセメントタイト面積率の平均）をセメントタイト分率（%）と定義する。

[0041] (E) 平坦部を含む部分の曲げ疲労強度を高めるために、平坦部から0.05 mm深さまでの表層部（以下、平坦表層部という）の炭素濃度を質量%で0.7%以上1.0%未満にする。図5は、平坦表層部の炭素濃度（%）と小野式回転曲げ疲労強度（MPa）との関係を示す図である。図5は、後述の実施例に記載された小野式回転曲げ疲労試験により得られた結果に基づく。

[0042] 小野式回転曲げ疲労強度は、平坦表層部の曲げ疲労強度の指標となる。図

5を参照して、平坦表層部の炭素濃度が0.7%以上の場合、平坦表層部の炭素濃度が0.7%未満である場合と比較して、曲げ疲労強度が顕著に高くなる。したがって、平坦表層部の炭素濃度を0.7%以上1.0%未満とすることにより、平坦表層部の曲げ疲労強度を高くすることができる。

[0043] (F) 平坦表層部の炭素濃度を0.7%以上1.0%未満とし、かつ、エッジ表層部のセメンタイトの長さを $3.0\mu\text{m}$ 以下にするために、真空浸炭処理の拡散工程後の冷却工程において、浸炭部品の冷却速度を $3.5^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上にする。この冷却速度とすることにより、浸炭部品の組織が変態してパーライト、ベイナイト、又はマルテンサイトが形成される。

[0044] さらに、真空浸炭処理後（つまり、冷却工程後）において、浸炭部品を再加熱して焼入れする。このとき、焼入れ温度を $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ と低くする。エッジ表層部のミクロ組織がパーライト又はベイナイトである場合、再加熱時において、鋼中のセメンタイトが溶解し始め、セメンタイトが分断される。そのため、エッジ部に微細なセメンタイトが形成される。エッジ部のミクロ組織がマルテンサイトである場合、マルテンサイトが変態して、微細なセメンタイトが生成される。

[0045] 以上のとおり、拡散工程後の冷却速度を $3.5^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上とし、さらに、焼入れ工程での焼入れ温度を $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ とすることにより、粗大なセメンタイトの生成が抑制され、エッジ表層部のセメンタイトの長さが $3.0\mu\text{m}$ 以下になる。さらに、適切な化学組成であれば、上記冷却速度に基づいて、エッジ表層部のセメンタイト分率が適切な量となる。

[0046] 以上の知見に基づいて完成された本実施形態の浸炭部品について詳述する。

[0047] [浸炭部品の構成]

本実施形態による浸炭部品は、鋼材に対して真空浸炭処理を実施することにより製造される。

[0048] [鋼材の化学組成]

鋼材は、次の化学組成を有する。

[0049] C : 0.10 ~ 0.30 %

炭素 (C) は、浸炭部品の芯部の強度を高める。C 含有量が低すぎれば、上記効果が有効に得られない。一方、C 含有量が高すぎれば、熱間加工 (熱間圧延、熱間鍛造等) 後の鋼材の強度が過剰に高くなり、被削性が低下する。したがって、C 含有量は 0.10 ~ 0.30 % である。C 含有量の好ましい下限は 0.10 % よりも高く、さらに好ましくは 0.12 % であり、さらに好ましくは 0.15 % であり、さらに好ましくは 0.17 % である。C 含有量の好ましい上限は 0.30 % 未満であり、さらに好ましくは 0.26 % であり、さらに好ましくは 0.24 % である。

[0050] Si : 0.05 ~ 0.8 %

シリコン (Si) は、鋼材の焼入れ性及び焼戻し軟化抵抗を高め、曲げ疲労強度及び面疲労強度を高める。Si 含有量が低すぎれば、上記効果が有効に得られない。一方、Si 含有量が高すぎれば、浸炭処理後の鋼材の過剰浸炭部におけるセメントタイトの析出が抑制され、マトリクスの炭素濃度が高まる。その結果、鋼材の曲げ疲労強度が低下する。したがって、Si 含有量は 0.05 ~ 0.8 % である。Si 含有量の好ましい下限は 0.05 % よりも高く、さらに好ましくは 0.1 % であり、さらに好ましくは 0.15 % である。Si 含有量の好ましい上限は 0.8 % 未満であり、さらに好ましくは 0.55 % であり、さらに好ましくは 0.35 % である。

[0051] Mn : 0.3 ~ 2.0 %

マンガン (Mn) は、鋼材の焼入れ性及び焼戻し軟化抵抗を高め、曲げ疲労強度を高める。Mn 含有量が低すぎれば、上記効果が有効に得られない。一方、Mn 含有量が高すぎれば、熱間加工後の鋼材の強度が過剰に高くなり、被削性が低下する。したがって、Mn 含有量は 0.3 ~ 2.0 % である。Mn 含有量の好ましい下限は 0.3 % よりも高く、さらに好ましくは 0.4 % 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 2.0 % 未満であり、さらに好ましくは 1.5 % であり、さらに好ましくは 1.1 % である。

[0052] P : 0.06%以下

燐 (P) は、不純物である。P は、粒界に偏析して粒界を脆化する。そのため、P は、鋼材の曲げ疲労強度及び面疲労強度を低下する。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0.06%以下である。好ましいP 含有量は0.06%未満であり、さらに好ましくは0.03%以下である。

[0053] S : 0.006~0.1%

硫黄 (S) は、Mn と結合してMnSを形成し、鋼材の被削性を高める。S 含有量が低すぎれば、上記効果が得られにくい。一方、S 含有量が高すぎれば、粗大なMnSが形成され、鋼材の曲げ疲労強度及び面疲労強度が低下する。したがって、S 含有量は0.006~0.1%である。S 含有量の好ましい下限は0.006%よりも高く、さらに好ましくは0.01%である。S 含有量の好ましい上限は0.1%未満であり、さらに好ましくは0.06%であり、さらに好ましくは0.03%である。

[0054] Cr : 0.5~3.0%

クロム (Cr) は、鋼材の焼入れ性及び焼戻し軟化抵抗を高め、鋼材の曲げ疲労強度及び面疲労強度を高める。Cr はさらに、微細なセメンタイトの析出を促進する。Cr 含有量が低すぎれば、上記効果が得られにくい。一方、Cr 含有量が高すぎれば、高温浸炭時に浸炭部品のエッジ表層部が過剰に浸炭される。さらに、熱間加工後（熱間圧延及び熱間鍛造）の鋼材の強度が過剰に高くなり、被削性が低下する。したがって、Cr 含有量は0.5~3.0%である。Cr 含有量の好ましい下限は0.5%よりも高く、さらに好ましくは1.0%である。Cr 含有量の好ましい上限は、3.0%未満であり、さらに好ましくは2.5%であり、さらに好ましくは2.0%である。

[0055] Al : 0.01~0.1%

アルミニウム (Al) は、鋼材を脱酸する。Al はさらに、N (窒素) と結合してAlNを形成し、結晶粒を微細化する。Al 含有量が低すぎれば、上記効果が得られにくい。一方、Al 含有量が高すぎれば、硬質な酸化物系

介在物が生成しやすい。これらの酸化物系介在物は、鋼材の曲げ疲労強度を低下する。したがって、Al含有量は0.01~0.1%である。Al含有量の好ましい下限は0.01%よりも高く、さらに好ましくは0.02%である。Al含有量の好ましい上限は0.1%未満であり、さらに好ましくは0.05%であり、さらに好ましくは0.04%である。本明細書におけるAl含有量は、酸可溶Al (sol. Al) の含有量である。

[0056] N : 0.025%以下

窒素(N)は、不可避免的に鋼中に含有される。Nは、Alと結合してAlNを形成し、結晶粒を微細化する。しかしながら、N含有量が高すぎれば、鋼材の熱間鍛造性及び衝撃特性が低下する。したがって、N含有量は0.025%以下である。N含有量の好ましい下限は0.010%であり、さらに好ましくは0.014%である。N含有量の好ましい上限は0.025%未満であり、さらに好ましくは0.020%であり、さらに好ましくは0.018%である。

[0057] 本実施形態の鋼材の残部は、Fe及び不純物である。ここでいう不純物は、鋼材の原料として利用される鉱石やスクラップ、又は製造過程の環境等から混入する元素をいう。

[0058] 本実施の形態による鋼材はさらに、Feの一部に替えて、Cu及びNiからなる群から選択される1種以上を含有してもよい。これらの元素は任意元素である。これらの元素はいずれも、鋼材の過剰浸炭を抑制し、靱性を高める。

[0059] Cu : 0~0.5%

銅(Cu)は任意元素である。Cuは、鋼材の過剰浸炭を抑制し、さらに、鋼材の靱性を高める。Cuが少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。一方、Cu含有量が高すぎれば、鋼材の熱間加工性が低下する。したがって、Cu含有量は0~0.5%である。Cu含有量が0.1%以上含有されれば、上記効果が顕著に得られる。Cu含有量の好ましい上限は、0.5%未満であり、さらに好ましくは0.3%である。

[0060] Ni : 0 ~ 0.5 %

ニッケル (Ni) は任意元素である。Ni は、鋼材の過剰浸炭を抑制し、さらに、鋼材の靱性を高める。Ni が少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。一方、Ni 含有量が高すぎれば、鋼材の製造コストが上昇する。したがって、Ni 含有量は 0 ~ 0.5 % である。Ni 含有量が 0.1 % 以上含有されれば、上記効果が顕著に得られる。Ni 含有量の好ましい上限は 0.5 % 未満であり、さらに好ましくは 0.2 % である。

[0061] 本実施形態による鋼材はさらに、Fe の一部に替えて、Mo を含有してもよい。Mo は任意元素である。

[0062] Mo : 0 ~ 1.0 %

モリブデン (Mo) は、鋼材の焼入れ性及び焼戻し軟化抵抗を高め、鋼材の曲げ疲労強度及び面疲労強度を高める。Mo が少しでも含有されれば、上記効果がある程度得られる。一方、Mo 含有量が高すぎれば、熱間加工後の鋼材の強度が高くなりすぎ、鋼材の被削性が低下する。したがって、Mo 含有量は 0 ~ 1.0 % である。Mo 含有量が 0.03 % 以上であれば、上記効果が顕著に得られる。Mo 含有量の好ましい下限は、0.06 % であり、さらに好ましくは 0.10 % である。Mo 含有量の好ましい上限は、0.5 % 未満であり、さらに好ましくは 0.36 % である。

[0063] [浸炭部品]

本実施の形態による浸炭部品は、上記化学組成を有する鋼材に対して真空浸炭処理を実施して製造される。浸炭部品は、上述の定義により区分される頂点部と、平坦部と、エッジ部とを含む。たとえば、浸炭部品が歯車やプーリである場合も、上記定義に基づいて、浸炭部品は頂点部と、平坦部と、エッジ部とを含む。

[0064] [浸炭部品の平坦表層部の炭素濃度]

平坦部から 0.05 mm の深さまでの表層部 (平坦表層部) における炭素濃度は、質量 % で、0.7 % 以上 1.0 % 未満である。

[0065] 平坦表層部の炭素濃度は、次の方法により測定される。平坦表層部を切削

加工等により切り出し、その切粉を用いて炭素濃度を定量する。又は、平坦表層部の炭素濃度をE P M A（電子線マイクロアナライザ）により分析する。

[0066] 平坦表層部の炭素濃度が低すぎれば、表面硬度が低くなり、曲げ疲労強度が低下する。一方、平坦表層部の炭素濃度が高すぎれば、エッジ表層部において炭素濃度が過剰に高くなり、粗大セメントイトが析出する。その結果、エッジ表層部の曲げ疲労強度が低下する。したがって、平坦表層部の炭素濃度は、0.7%以上1.0%未満である。平坦表層部の炭素濃度の好ましい下限は、0.7%よりも高く、さらに好ましくは0.73%である。平坦表層部の炭素濃度の好ましい上限は、0.9%であり、さらに好ましくは0.86%である。

[0067] 後述の真空浸炭処理において、真空浸炭条件を調整することにより、平坦表層部の炭素濃度を0.7%以上1.0%未満にすることができる。なお、平坦表層部の炭素濃度が0.7%以上1.0%未満である場合、平坦表層部の曲げ疲労強度は高くなる。

[0068] [エッジ表層部のセメントイトの最大長さ]

浸炭部品100のエッジ表層部は、複数のセメントイトを含有する。本実施の形態による浸炭部品100では、エッジ部から80 μ mの深さまでの範囲のエッジ表層部におけるセメントイトの長さは、3.0 μ m以下である。

[0069] エッジ表層部内のセメントイトの長さは次の方法で測定される。断面C S内のエッジ部をナイタル等で腐食する。その後、エッジ部から80 μ mの深さまでの範囲（エッジ表層部）を観察する。観察には、倍率を2000倍に設定した走査型電子顕微鏡（SEM）を用いる。上記範囲内のうち、セメントイトの長さが最大のものを特定し、その長さを測定する。各セメントイトの界面の任意の2点の間の距離のうち、最大の距離を、そのセメントイトの長さとして定義する。

[0070] 粗大なセメントイトは、疲労破壊の起点となり、浸炭部品のエッジ表層部の曲げ疲労強度を低下する。しかしながら、セメントイトの長さが小さけれ

ば、つまり、セメンタイトが微細であれば、セメンタイトは疲労破壊の起点となりにくい。セメンタイトの長さが $3.0\mu\text{m}$ 以下であれば、セメンタイトが十分に微細であるため、エッジ表層部の曲げ疲労強度が高くなる。

[0071] [エッジ表層部のセメンタイト分率]

エッジ表層部のセメンタイト分率は $5\sim 15\%$ である。セメンタイト分率は、上述の定義に基づいて求めることができる。

[0072] セメンタイトが微細であっても、セメンタイトの析出量が少なすぎれば、エッジ表層部のマトリクス中の炭素濃度が高すぎる場合がある。この場合、粒界に炭素が偏析して粒界割れが発生しやすくなる。その結果、エッジ表層部の曲げ疲労強度が低下する。

[0073] エッジ表層部のセメンタイト分率が 5% 以上であれば、セメンタイトの析出量が十分に多い。そのため、マトリクス中の炭素濃度が十分に低く抑えられ、曲げ疲労強度の低下が抑制される。

[0074] セメンタイト分率の上限は、曲げ疲労強度に特に影響を与えない。しかしながら、本実施形態の化学組成の場合、エッジ表層部でのセメンタイト分率は 15% を超えにくい。したがって、エッジ表層部でのセメンタイト分率の上限は 15% である。セメンタイト分率の好ましい下限は 5% である。

[0075] [製造方法]

本実施の形態による浸炭部品の製造方法の一例を説明する。

[0076] 上述の化学組成を満たす鋼材を製造する。たとえば、上記化学組成の溶鋼を製造し、溶鋼を用いて、連続鑄造法により鑄片（スラブ又はブルーム）を製造する。溶鋼を用いて造塊法によりインゴット（鋼塊）を製造してもよい。鑄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、棒鋼又は線材を製造する。熱間加工は、熱間圧延でもよいし、熱間鍛造でもよい。製造された棒鋼又は線材を冷間鍛造や機械加工して、頂点部、平坦部及びエッジ部を含む所定の形状の鋼材を製造する。機械加工は例えば、切削や穿孔であり、頂上部、平坦部及びエッジ部は周知の方法により形成される。

[0077] 製造された鋼材に対して、真空浸炭処理を実施する。さらに、真空浸炭処理後、鋼材を再加熱して焼入れ処理を実施する。真空浸炭処理及び焼入れ処理を実施することにより、平坦表層部の炭素濃度が0.7%以上1.0%未満となる。さらに、エッジ表層部に微細なセメンタイトが析出し、適切なセメンタイト分率も得られる。以下、真空浸炭処理及び焼入れ処理について詳述する。

[0078] [真空浸炭処理]

図6に本実施形態における真空浸炭処理及び焼入れ処理の処理パターン例を示す。図中の左側の縦軸及び実線のグラフは、熱処理温度（浸炭温度及び焼入れ温度）を示す。右側の縦軸及び破線のグラフは、炉圧を示す。横軸は、時間を示す。

[0079] 図6を参照して、真空浸炭処理は、加熱工程S1と、均熱工程S2と、浸炭工程S3と、拡散工程S4と、冷却工程S5とを含む。加熱工程S1では、炉内に装入された鋼材を浸炭温度 T_s (°C)まで加熱する。均熱工程S2では、浸炭温度 T_s で鋼材を均熱する。浸炭工程S3では、均熱工程後、鋼材を浸炭処理する。拡散工程S4では、浸炭工程後、鋼材に侵入した炭素を鋼中で拡散する。冷却工程S5では、拡散工程後の鋼材を冷却速度 V_c (°C/秒)で500°C以下に冷却する。

[0080] 浸炭工程S3と拡散工程S4とは、2回以上繰り返してもよい。たとえば、浸炭工程S3、拡散工程S4を行った後、再度浸炭工程S3を実施し、その後、拡散工程S4を実施してもよい。また、浸炭工程S3と拡散工程S4とは、それぞれ1回のみ実施してもよい。

[0081] 真空浸炭処理では、加熱工程S1において炉内を減圧し、炉内を略真空（たとえば $P_v = 10\text{ Pa}$ 以下）にする。排気しながら窒素ガスを入れて、1 Torr（約133 Pa）程度にしてもよい。また、100~700 hPa窒素雰囲気に対流加熱を実施してもよい。対流加熱の場合、昇温速度を高めることができる。なお、図6中の炉圧 P_{ref} は大気圧以下である。炉内を略真空にして均熱工程S2を実施した後、浸炭工程S3において、炉内に炭

化水素ガスを導入し、炉内を所定のガス圧（浸炭ガス圧） P_s （kPa）にして、浸炭処理を実施する。さらに、拡散工程S4では炉内を減圧して略真空（ P_v ）に戻す。

[0082] 真空浸炭処理における各条件は次のとおりである。

[0083] 浸炭温度 T_s ：980～1200℃

浸炭温度 T_s は、浸炭工程S3及び拡散工程S4後のエッジ部の炭素の固溶度を高めるために、高い方が好ましい。浸炭温度 T_s が低すぎれば、エッジ部の炭素の固溶度が低くなり、粗大なセメンタイトが析出する。一方、浸炭温度 T_s が高すぎれば、上記効果が飽和し、加熱のコストも高くなる。したがって、浸炭温度 T_s は980～1200℃である。浸炭温度 T_s の好ましい下限は980℃よりも高く、さらに好ましくは1000℃であり、さらに好ましくは1020℃である。浸炭温度 T_s の好ましい上限は1200℃よりも低く、さらに好ましくは1100℃であり、さらに好ましくは1050℃である。

[0084] 浸炭ガス圧 P_s ：10kPa以下

上述のとおり、浸炭ガスは炭化水素ガスである。炭化水素ガスはたとえば、アセチレン、プロパン、エチレン等である。浸炭ガス圧 P_s が高すぎれば、炉内に煤が発生しやすくなる。したがって、浸炭ガス圧 P_s は10kPa以下である。好ましい浸炭ガス圧 P_s は、1kPa以下である。

[0085] 冷却速度 V_c ：3.5℃/秒以上

冷却工程S5での冷却速度 V_c が小さすぎれば、エッジ表層部のセメンタイトが微細化しにくく、セメンタイトの長さが3.0μmを超えることがある。したがって、冷却速度 V_c は3.5℃/秒以上である。ここでいう冷却速度 V_c は、鋼材の表面温度の冷却速度（℃/秒）を意味し、さらに具体的には、冷却工程S5において、浸炭温度 T_s から500℃に至るまでの平均の冷却速度（℃/秒）を意味する。

[0086] 本実施形態において、冷却工程S5ではガス冷却を実施する。冷却ガスはたとえば、窒素である。ただし、冷却速度が3.5℃/秒以上となれば、他

の冷却方法により冷却してもよい。

[0087] 好ましい冷却速度は $4^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上であり、さらに好ましくは $5^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上である。この場合、セメントイトがさらに微細化される。

[0088] 冷却停止温度 T_{cs} ： 500°C 以下

冷却工程 $S5$ において、好ましくは、鋼材を 500°C 以下に冷却する。つまり、冷却停止温度 T_{cs} は 500°C 以下にする。これにより、エッジ部の鋼組織が変態してセメントイトが析出する。冷却停止温度 T_{cs} は常温（ 25°C ）でもよい。要するに、セメントイトが析出する温度であれば、冷却停止温度 T_{cs} は特に制限されない。

[0089] 上記冷却速度で冷却停止温度 T_{cs} まで冷却した後の冷却方法は、特に限定されない。放冷であってもよいし、他の冷却方法であってもよい。

[0090] [浸炭工程 $S3$ 及び拡散工程 $S4$ の所定時間の決定]

浸炭工程 $S3$ の時間 T_{IS} 及び拡散工程 $S4$ の時間 T_{ID} は、たとえば、真空浸炭シミュレーションにより設定する。真空浸炭シミュレーションは、たとえば、次の方法により実施される。

[0091] $Fick$ の第2法則に基づく下記の拡散方程式を差分法を用いて解き、真空浸炭熱処理後の鋼材の各部の炭素濃度分布を求める。

$$\delta C / \delta t = -\nabla J$$

$$J = -D \nabla C$$

ここで、 D は拡散定数、 t は時間（ sec ）、 C は炭素濃度（質量％）を表す。上記拡散方程式は、炭素のオーステナイト中における拡散方程式である。

[0092] 上記拡散方程式の算出において、浸炭工程時の鋼材表面は、黒鉛と平衡するまで炭素濃度が上昇すると仮定する。平衡相及び平衡組成は、市販の熱力学計算ソフト（たとえば、商品名 $Thermo-Calc$ （商標））を使用して求めればよい。

[0093] 以上の条件に基づいて求めた炭素濃度分布において、平坦表層部の炭素濃度が 0.7% 以上 1.0% 未満になるように、浸炭工程時間 T_{IS} 、拡散工

程時間 T_{ID} 及び浸炭温度 T_s （ただし、浸炭温度 T_s は $980 \sim 1200$ ℃）を決定する。たとえば、予め定めた浸炭工程時間 T_{IS} 、拡散工程時間 T_{ID} 及び浸炭温度 T_s に基づいて、上記拡散方程式を解き、平坦表層部の炭素濃度を求める。炭素濃度が 0.7% 以上 1.0% 未満の範囲内であれば、予め定めた浸炭工程時間 T_{IS} 、拡散工程時間 T_{ID} 及び浸炭温度 T_s で、実際の真空浸炭処理を実施する。求めた炭素濃度が上記範囲外となった場合、浸炭工程時間 T_{IS} 、拡散工程時間 T_{ID} 、浸炭温度 T_s を変更して、再度拡散方程式を解き、平坦表層部の炭素濃度を求める。要するに、平坦表層部の炭素濃度が 0.7% 以上 1.0% 未満になるまで拡散方程式の解を求め、浸炭工程時間 T_{IS} 、拡散工程時間 T_{ID} 及び浸炭温度 T_s を決定する。

[0094] また、上記真空浸炭シミュレーションに替えて、所望の形状の浸炭部品用の鋼材を用いて実際に真空浸炭処理試験を繰り返し実施して、平坦表層部の炭素濃度が 0.7% 以上 1.0% 未満になる浸炭工程時間 T_{IS} 、拡散工程時間 T_{ID} 及び浸炭温度 T_s を決定してもよい。

[0095] 上記真空浸炭シミュレーションと実際の真空浸炭処理試験とをともに実施して、浸炭工程時間 T_{IS} 、拡散工程時間 T_{ID} 及び浸炭温度 T_s を決定してもよい。たとえば、真空浸炭シミュレーション結果で平坦表層部の炭素濃度が 0.80% となる条件で実際に真空浸炭処理を実施した結果、平坦表層部の炭素濃度が 0.75% となった場合、浸炭条件を、実際の真空浸炭処理での結果に基づいて補正してもよい。

[0096] 上述のとおり、真空浸炭シミュレーション及び／又は実機による事前試験により、平坦表層部の炭素濃度を上記範囲内とする条件（浸炭工程時間 T_{IS} 、拡散工程時間 T_{ID} 及び浸炭温度 T_s ）を決定する。そして、決定された条件を用いて、真空浸炭処理を実施する。これにより、平坦表層部の炭素濃度を 0.7% 以上 1.0% 未満にすることができる。

[0097] [焼入れ処理]

真空浸炭処理後の鋼材に対して焼入れ温度 T_q まで再加熱し、焼入れ処理

を実施する。焼入れ処理により、浸炭部品の芯部の硬度を高め、浸炭部品の強度を高める。さらに、冷却工程 S 5 により析出したセメンタイトが、再加熱時において溶解し始めて分断され、微細なセメンタイトになる。ミクロ組織がマルテンサイトを含む場合はさらに、微細なセメンタイトが析出する。そのため、エッジ表層部に微細なセメンタイトが形成され、粗大なセメンタイトが形成されるのを抑制できる。

[0098] 焼入れ温度 T_q が低すぎれば、芯部の組織がオーステナイト単相にならず、焼入れ後の強度が高くない。さらに、セメンタイトが溶解しにくく、分断されにくいため、エッジ表層部のセメンタイトが微細になりにくい。一方、焼入れ温度 T_q が高すぎれば、エッジ表層部のセメンタイトがほぼ全て溶解する。そのため、エッジ表層部のセメンタイト分率が低くなり、焼入れ後のエッジ表層部のマトリクスの炭素濃度が高くなる。その結果、曲げ疲労強度が低下する。したがって、焼入れ温度 T_q は $800 \sim 900^{\circ}\text{C}$ である。ここでいう焼入温度は、浸炭部品の表面温度を意味する。つまり、焼入れ処理において、浸炭部品の表面温度が $800 \sim 900^{\circ}\text{C}$ になるように保持する。

[0099] 焼入れ温度 T_q での保持時間が少なければ、鋼材が均一に加熱されない。したがって、焼入れ温度での好ましい保持時間は 10 分以上である。

[0100] 鋼材を上記焼入れ温度 T_q で上記保持時間保持した後、鋼材を焼入れする。このとき、鋼材を水冷して焼入れしてもよいし、油冷して焼入れしてもよい。なお、焼入れ後に焼戻し処理を実施してもよい。

[0101] 以上の工程により、本実施形態による浸炭部品が製造される。

実施例

[0102] 種々の化学組成を有する複数の鋼材を用いて複数の浸炭部品を製造した。製造された複数の浸炭部品の曲げ疲労強度を調査した。

[0103] [試験方法]

表 1 に示す鋼 A ～ I の化学組成を有する溶鋼を製造した。製造された溶鋼を用いて、インゴットを製造した。

[0104] [表1]

TABLE1

鋼	化学組成(単位は質量%、残部はFe及び不純物)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	N	Cu	Ni	Mo
A	0.19	0.49	0.99	0.014	0.015	0.61	0.028	0.0158	-	-	-
B	0.19	0.49	0.99	0.015	0.014	1.20	0.032	0.0160	-	-	-
C	0.19	0.49	0.99	0.014	0.012	1.79	0.032	0.0167	-	-	-
D	0.28	0.05	0.39	0.015	0.014	0.60	0.035	0.0178	0.1	0.1	0.35
E	0.20	0.25	1.77	0.015	0.015	1.09	0.030	0.0172	0.1	0.1	-
F	0.15	0.75	0.49	0.016	0.014	1.81	0.026	0.0144	0.1	0.1	-
G	0.18	0.72	0.40	0.013	0.016	2.90	0.033	0.0173	-	-	-
H	0.21	0.15	0.65	0.013	0.014	1.03	0.031	0.0142	-	-	0.35
I	0.18	0.97	0.62	0.014	0.015	0.65	0.032	0.0153	-	-	0.35

[0105] 表1を参照して、鋼A～Hはいずれも、上述の本実施形態の鋼材の化学組成の範囲内であった。しかしながら、鋼IのSi含有量は本実施形態のSi

含有量の上限よりも高かった。製造された各インゴットを熱間鍛造して直径 35 mm の複数の丸棒素材を製造した。さらに、各丸棒素材を機械加工して、直径 30 mm、長さ 70 mm の複数の丸棒を製造した。

[0106] [エッジ表層部及び平坦表層部の曲げ疲労強度の評価方法]

エッジ表層部及び平坦表層部の曲げ疲労強度は、次の方法で評価した。エッジ表層部の曲げ疲労強度は、4点曲げ疲労試験結果に基づいて評価した。具体的には、平坦部とエッジ部とを含む4点曲げ疲労試験片に対して後述の真空浸炭処理及び焼入れ処理を実施して、浸炭部品を製造した。製造された4点曲げ疲労試験片を用いて4点曲げ疲労試験を実施して、得られた曲げ疲労強度をエッジ表層部の曲げ疲労強度の指標とした。

[0107] 一方、平坦表層部の曲げ疲労強度は、小野式回転曲げ試験結果に基づいて評価した。小野式回転曲げ疲労試験片では、ノッチ底に大きな応力が掛かる。ノッチ底には、エッジ部が存在せず、平坦部が存在する。そこで、平坦部の曲げ疲労強度に関しては、小野式回転曲げ疲労試験で評価した。

[0108] [4点曲げ疲労試験片の作製]

製造された丸棒から、図1に示す形状の複数の4点曲げ疲労試験片を採取した。4点曲げ疲労試験片は、高さ及び幅が共に13 mmであり、長さが100 mmであった。4点曲げ疲労試験片は、長さ中央に、断面形状が半円弧の切り欠きが形成された。切り欠きの半径は2 mmであった。

[0109] [小野式回転曲げ疲労試験片の作製]

製造された丸棒のR/2部より、図7に示す小野式回転曲げ疲労試験片を採取した。R/2部とは、丸棒の横断面（円形状）の中心と外周との間を2等分する部分である。回転曲げ疲労試験片の形状は、JIS Z 2274（1974）に準拠した。回転曲げ疲労試験片は、横断面が円形状であり、中央部に直径10 mmの平行部を有していた。平行部の中央には、半径R1 = 1 mmの環状半円溝が形成された。図7中の各数値は、寸法（単位はmm）を示す。

[0110] [真空浸炭処理及び焼入れ処理]

各鋼 A ～ I の複数の 4 点曲げ疲労試験片及び小野式回転曲げ疲労試験片に対して、表 2 に示す条件、浸炭温度 T_s (°C)、浸炭工程時間 T_{IS} (min)、浸炭時の浸炭ガス圧 P_s (kPa)、拡散工程時間 T_{ID} (min)、冷却速度 V_c (°C/秒)、及び、焼入れ温度 T_q (°C) で、試験番号 1 ～ 25 の試験片（各試験番号ごとに複数の 4 点曲げ疲労試験片及び小野式回転曲げ疲労試験片）に対して真空浸炭処理、焼入れ及び焼戻し処理を実施した。

[0111]

[表2]

TABLE2

マーク	鋼 条件	真空浸炭					焼入れ	4点曲げSP				小野式SP		FS4 (MPa)	FS0 (MPa)
		Ts (°C)	TIS (min)	Ps (kPa)	TID (min)	Vc (°C/sec)		Tq (°C)	Cc (%)	Lce (μm)	Rce (%)	Cc (%)			
1	A	I	1040	9	0.08	25	5	860	0.82	2.7	6.7	0.84	965	580	
2	B	I	1040	7.5	0.08	25	5	860	0.80	1.6	8.9	0.82	1079	590	
3	C	I	1040	6.5	0.08	25	5	860	0.81	2	10.2	0.81	1081	620	
4	D	I	1040	6	0.08	16	5	860	0.85	2.9	7.3	0.87	981	590	
5	E	I	1040	14	0.08	23	5	860	0.83	2.2	8.5	0.87	1042	600	
6	F	I	1040	10	0.08	30	5	860	0.78	1.3	10.2	0.82	1023	630	
7	G	I	1040	6	0.08	31	5	860	0.74	2.2	12.2	0.80	1105	600	
8	B	I	980	17	0.05	50	5	860	0.75	2.8	8.5	0.79	923	610	
9	H	I	1040	6.5	0.08	23	5	860	0.81	1.3	9.1	0.80	1073	630	
10	C	I	1040	7.5	0.08	25	3.5	860	0.79	2.9	8.3	0.79	986	600	
11	C	I	1040	7.5	0.08	25	4	860	0.82	2.4	8.5	0.81	1023	610	
12	C	I	1040	7.5	0.08	25	7	860	0.83	1.2	9.1	0.82	1098	610	
13	G	I	1040	7	0.08	28	5	800	0.86	2.4	14.8	0.89	1113	580	
14	B	I	950	28	0.03	70	5	860	0.74	>5	8.0	0.81	652	630	
15	B	I	930	40	0.03	85	5	860	0.74	>5	11.0	0.82	585	560	
16	A	I	1040	7	0.08	38	5	860	0.65	無	無	0.65	922	490	
17	B	I	1040	5	0.08	41	5	860	0.63	無	無	0.62	932	510	
18	C	I	1040	4.5	0.08	41	5	860	0.62	無	無	0.63	938	500	
19	B	I	1040	7	0.08	24	0.5	860	0.77	>5	7.0	0.79	735	590	
20	B	II	950	28	0.03	48	—	860	0.74	>5	10.0	0.81	695	580	
21	D	I	1040	6	0.08	16	2	860	0.82	6.0	7.5	0.81	801	580	
22	I	I	1040	13	0.08	26	5	860	0.83	1.2	3.1	0.84	831	560	
23	B	I	980	36	0.05	17	5	860	1.07	>5	13.6	1.05	697	540	
24	B	I	1040	7.5	0.08	25	5	920	0.74	1.5	4.8	0.72	785	520	
25	B	I	1040	7.5	0.08	25	5	780	0.81	3.5	12.8	0.80	820	500	

[0112] 表2中の条件Iでは、次の条件で真空浸炭処理、焼入れ及び焼戻しを実施した。均熱工程S2では、表2に示す浸炭温度 T_s (°C)で、試験片を60分均熱した。均熱工程S2を実施後、浸炭工程S3を実施した。浸炭工程時間 T_{IS} (min)及び浸炭工程時の浸炭ガス圧 P_s (kPa)は表2に示すとおりであった。浸炭工程S3後、拡散工程S4を実施した。拡散工程時間 T_{ID} (min)は表2に示すとおりであった。浸炭工程S3及び拡散工程S4は、それぞれ1回実施した。拡散工程後、表2に示す冷却速度 V_c で、500°Cまでガス冷却を実施した。冷却ガスには窒素ガスを利用した。500°C以下となった後もガス冷却を続け、合計のガス冷却時間が20分となるまで冷却を継続した。ガス冷却時間が20分を経過した後、冷却を停止した。

[0113] 冷却後、各試験片に対して次の条件で焼入れ及び焼戻し処理を実施した。鋼材を再び焼入れ温度 T_q (表2参照)まで加熱した。この時の炉内雰囲気は窒素ガスであった。その後、焼入れ温度 T_q (°C)で30分均熱した。均熱後、鋼材を油焼入れした。焼入れ後、鋼材に対して焼戻しを実施した。焼戻し温度は170°Cであり、焼戻し温度での保持時間は2時間であった。

[0114] 表2中の条件IIでは、次の条件で真空浸炭処理、焼入れ及び焼戻し処理を実施した。均熱工程S2では、950°Cの浸炭温度 T_s で60分均熱した。均熱工程S2を実施後、浸炭工程S3を実施した。浸炭工程時間 T_{IS} (min)及び浸炭ガス圧 P_v (kPa)は表2に示すとおりであった。浸炭工程S3後、拡散工程S4を実施した。拡散工程時間 T_{ID} (min)は表2に示すとおりであった。浸炭工程S3及び拡散工程S4は、それぞれ1回実施した。拡散工程後、鋼材を860°Cまで炉冷(徐冷)した。したがって、条件IIではガス冷却を実施しなかった。

[0115] 鋼材温度を860°Cまで炉冷した後、鋼材を860°Cで30分均熱し、油焼入れを実施した。焼入れ後、鋼材に対して焼戻しを実施した。焼戻し温度は170°Cであり、焼戻し温度での保持時間は2時間であった。

[0116] 以上の工程により真空浸炭処理された試験片(各試験番号ごとに複数の4

点曲げ疲労試験片及び複数の小野式回転曲げ疲労試験片)を製造した。

[0117] [平坦表層部の炭素濃度測定試験]

真空浸炭処理、焼入れ及び焼戻し処理がされた複数の試験片のうち、各試験番号ごとに1つの4点曲げ疲労試験片及び1つの小野式回転曲げ疲労試験片を用いて、各試験片の平坦表層部の炭素濃度を測定した。具体的には、4点曲げ疲労試験片では、図1に示す点P fを含む平坦部において、E P M A (電子線マイクロアナライザ)により平坦表層部の炭素濃度C c (%)を測定した。

[0118] 同様に、小野式回転曲げ疲労試験片の環状半円溝の溝底の任意の点を含む部分領域において、E P M A (電子線マイクロアナライザ)により平坦表層部の炭素濃度C c (%)を測定した。表2中の「4点曲げS P」欄の「C c (%)」欄に4点曲げ疲労試験片の平坦表層部の炭素濃度(%)を示し、「小野式S P」欄の「C c (%)」欄に小野式回転曲げ疲労試験片の平坦表層部の炭素濃度(%)を示す。

[0119] [エッジ表層部の組織観察試験]

製造された4点曲げ疲労試験片の浸炭部品を用いて、上述の方法により、エッジ表層部のセメントタイトの長さL c e (μ m)及びセメントタイト分率R c e (%)を求めた。なお、粗大なセメントタイトが析出している場合、1000倍の光学顕微鏡で上記視野を観察し、セメントタイト分率を求めた。

[0120] [4点曲げ疲労試験]

各試験番号の複数の4点曲げ疲労試験片のうち、上記平坦表層部の炭素濃度測定試験及びエッジ表層部の組織観察試験に用いられなかった他の4点曲げ疲労試験片の浸炭部品を用いて、4点曲げ疲労試験を実施した。試験には、サーボ型疲労試験機を用いた。4点曲げ疲労試験片の支点間距離は45 mmであった。最大負荷応力は1373 MPaであり、最大負荷応力と最小負荷応力との応力比は0.1であった。周波数は10 Hzであった。応力負荷繰り返し回数が 1×10^4 回での破断強度を、4点曲げ疲労強度F S 4 (MPa)と評価した。

[0121] [小野式回転曲げ疲労試験]

各試験番号の複数の小野式回転曲げ疲労試験片のうち、上記平坦表層部の炭素濃度測定試験に用いられなかった他の小野式回転曲げ疲労試験片に対して、JIS Z 2274 (1974) に準拠して、小野式回転曲げ疲労試験を室温 (25℃)、大気中で、回転数 3400 rpm の条件で実施した。そして、応力付加繰返し回数が 1×10^7 回において破断しない最大の応力 (MPa) を、小野式回転曲げ疲労強度 F_{SO} (MPa) と定義した。

[0122] [試験結果]

表 2 に試験結果を示す。

[0123] 試験番号 1 ~ 13 の浸炭部品の化学組成は適切であり、浸炭温度 T_s (℃)、浸炭ガス圧 P_s (kPa)、冷却速度 V_c (℃/秒) 及び焼入れ温度 T_q (℃) も適切であり、各試験片の平坦部の炭素濃度も 0.7% 以上 1.0% 未満の範囲内であった。そのため、試験番号 1 ~ 13 の浸炭部品 (4 点曲げ疲労試験片) のエッジ表層部のセメンタイトの長さ L_{ce} は $3.0 \mu m$ 以内であり、セメンタイト分率 R_{ce} は 5% 以上であった。そのため、エッジ部の曲げ疲労強度の指標である 4 点曲げ疲労強度 F_{S4} は、850 MPa 以上と高かった。さらに、平坦部の曲げ疲労強度の指標である小野式回転曲げ疲労強度 F_{SO} も、520 MPa 以上と高かった。

[0124] 一方、試験番号 14、15 及び 20 では、浸炭温度 T_s が低すぎ、エッジ表層部のセメンタイトの長さ L_{ce} が $5 \mu m$ を超えた。そのため、試験番号 14、15 及び 20 の 4 点曲げ疲労強度 F_{S4} は低かった。

[0125] 試験番号 16 ~ 18 では、浸炭工程時間 T_{IS} 及び／又は拡散工程時間 T_{ID} が不適切であった。具体的には、試験番号 16 の浸炭時間は、試験番号 1 よりも短かった。同様に、試験番号 17 の浸炭工程時間 T_{IS} は、試験番号 2 よりも短く、試験番号 18 の浸炭工程時間 T_{IS} は、試験番号 3 よりも短かった。そのため、試験番号 16 ~ 18 の平坦表層部の炭素濃度は 0.7% 未満であった。その結果、小野式回転曲げ疲労試験で得られた曲げ疲労強度は 520 MPa 未満であり、平坦部の曲げ疲労強度 F_{SO} が低かった。さ

らに、試験番号 16～18 では、平坦表層部の炭素濃度が低すぎたため、エッジ表層部で過剰浸炭が発生しなかった。そのため、エッジ表層部にセメントタイトが析出しなかった。

[0126] 試験番号 19 では、真空浸炭処理でのガス冷却速度 V_c が $3.5^\circ\text{C}/\text{秒}$ 未満であった。そのため、エッジ表層部に粗大なセメントタイトが析出し、セメントタイトの長さ L_{ce} が $5\mu\text{m}$ を超えた。そのため、4 点曲げ疲労強度 FS_4 が低かった。

[0127] 試験番号 21 では、冷却速度 V_c が低すぎた。そのため、セメントタイトの長さ L_{ce} が $5\mu\text{m}$ を超えた。そのため、4 点曲げ疲労強度 FS_4 が低かった。

[0128] 試験番号 22 では、各製造条件は適切であったものの、 Si 含有量が高すぎた。そのため、エッジ部のセメントタイト分率 R_{ce} が低すぎた。そのため、4 点曲げ疲労強度 FS_4 が低かった。

[0129] 試験番号 23 では、浸炭工程時間 T_{IS} 及び／又は拡散工程時間 T_{ID} が不適切であったため、平坦表層部の炭素濃度が 1.0% 以上であった。そのため、エッジ部に粗大なセメントタイトが生成され、セメントタイトの長さ L_{ce} が $3.0\mu\text{m}$ を超えた。そのため、4 点曲げ疲労強度 FS_4 が低かった。

[0130] 試験番号 24 では、焼入れ温度 T_q が高すぎた。そのため、エッジ部の多くのセメントタイトが溶解してしまい、セメントタイト分率 R_{ce} が低かった。そのため、4 点曲げ疲労強度 FS_4 が低かった。

[0131] 試験番号 25 では、焼入れ温度 T_q が低すぎた。そのため、エッジ部のセメントタイトが溶解せず、分断されなかった。そのため、セメントタイトの長さ L_{ce} が $3.0\mu\text{m}$ を超え、4 点曲げ疲労強度 FS_4 が低かった。

[0132] 以上、本発明の実施の形態を説明したが、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。よって、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。

符号の説明

[0133] A c エッジ部

A f 平坦部

V c 仮想円

請求の範囲

- [請求項1] 鋼材に対して真空浸炭処理を実施して製造される浸炭部品であって、
- 、
- 前記浸炭部品の表面は、
- 3以上の面により形成される頂点と、前記頂点から1mm以内の表面部分とを含む頂点部と、
- 前記頂点から1mmよりも離れ、かつ、前記表面の辺から1mm以内の表面部分のうち、前記辺と垂直な断面において前記辺を中心とした半径1mmの仮想円と重複する部分の面積 OA (mm^2)と、前記重複する部分における前記浸炭部品の表面長さ SL (mm)とが式(1)を満たす表面部分であるエッジ部と、
- 前記頂点部及び前記エッジ部以外の表面部分である平坦部とを含み、
- 、
- 前記鋼材は、質量%で、
- $C: 0.10 \sim 0.30\%$ 、
- $Si: 0.05 \sim 0.8\%$ 、
- $Mn: 0.3 \sim 2.0\%$ 、
- $P: 0.06\%$ 以下、
- $S: 0.006 \sim 0.1\%$ 、
- $Cr: 0.5 \sim 3.0\%$ 、
- $Al: 0.01 \sim 0.1\%$ 、
- $N: 0.025\%$ 以下、
- $Cu: 0 \sim 0.5\%$ 、
- $Ni: 0 \sim 0.5\%$ 、及び、
- $Mo: 0 \sim 1.0\%$ を含有し、残部は Fe 及び不純物からなり、
- 前記平坦部から0.05mmの深さまでの平坦表層部における炭素濃度は、質量%で、0.7%以上1.0%未満であり、
- 前記エッジ部から80 μm の深さまでのエッジ表層部内のセメンタ

イトの長さは $3.0\mu\text{m}$ 以下であり、

前記エッジ表層部のセメンタイト分率は $5\sim 15\%$ である、浸炭部品。

$$\text{OA} / \text{SL} \leq 0.7 \quad (1)$$

[請求項2]

請求項1に記載の浸炭部品であって、

前記鋼材は、

$\text{Cu} : 0.1\sim 0.5\%$ 、及び、

$\text{Ni} : 0.1\sim 0.5\%$ 以下からなる群から選択される1種以上を含有する、浸炭部品。

[請求項3]

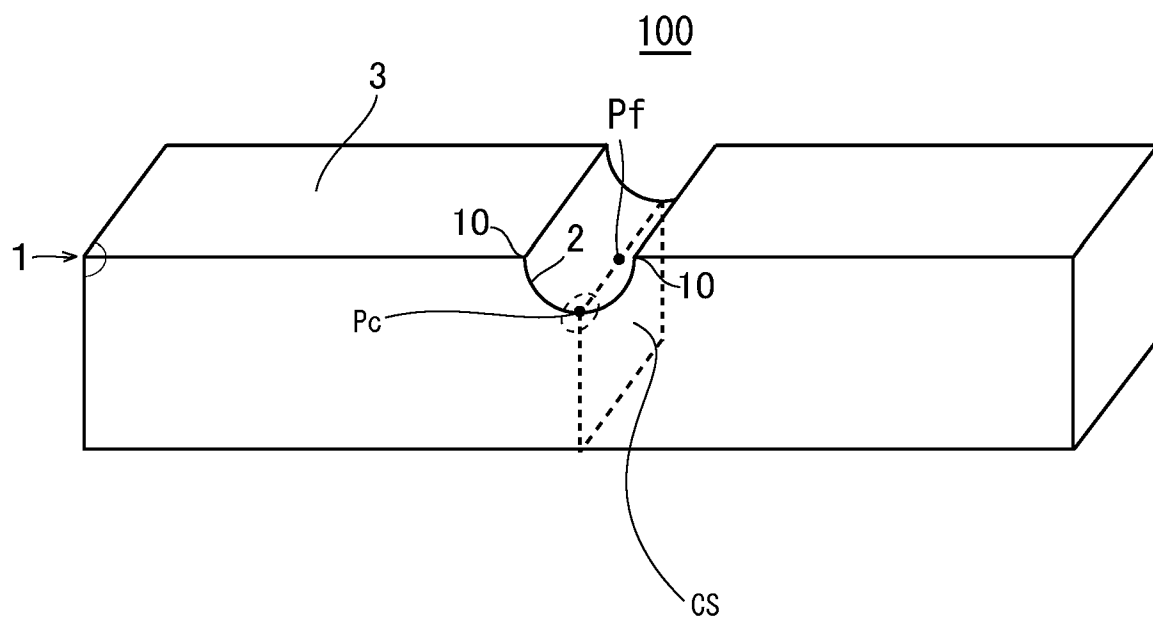
請求項1又は請求項2に記載の浸炭部品であって、

前記鋼材は、

$\text{Mo} : 0.03\sim 1.0\%$ 以下を含有する、浸炭部品。

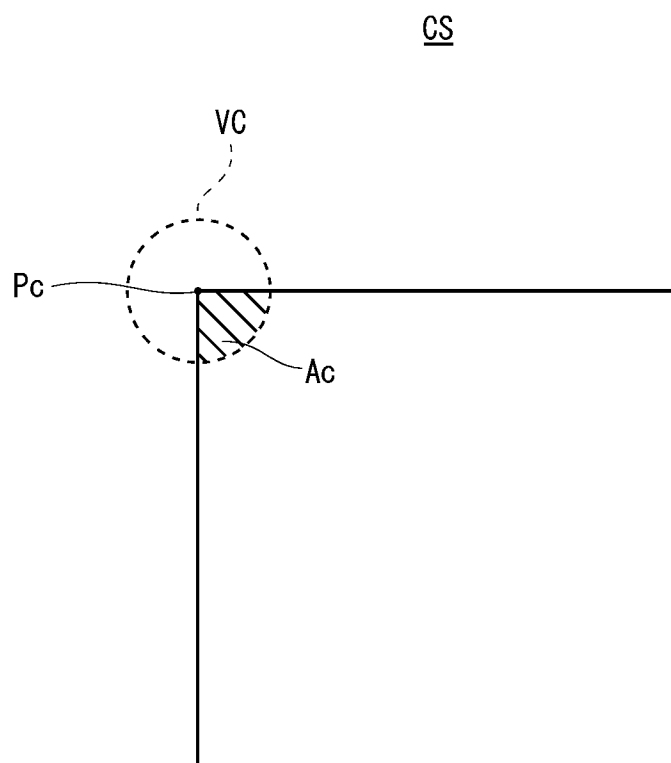
[図1]

FIG. 1



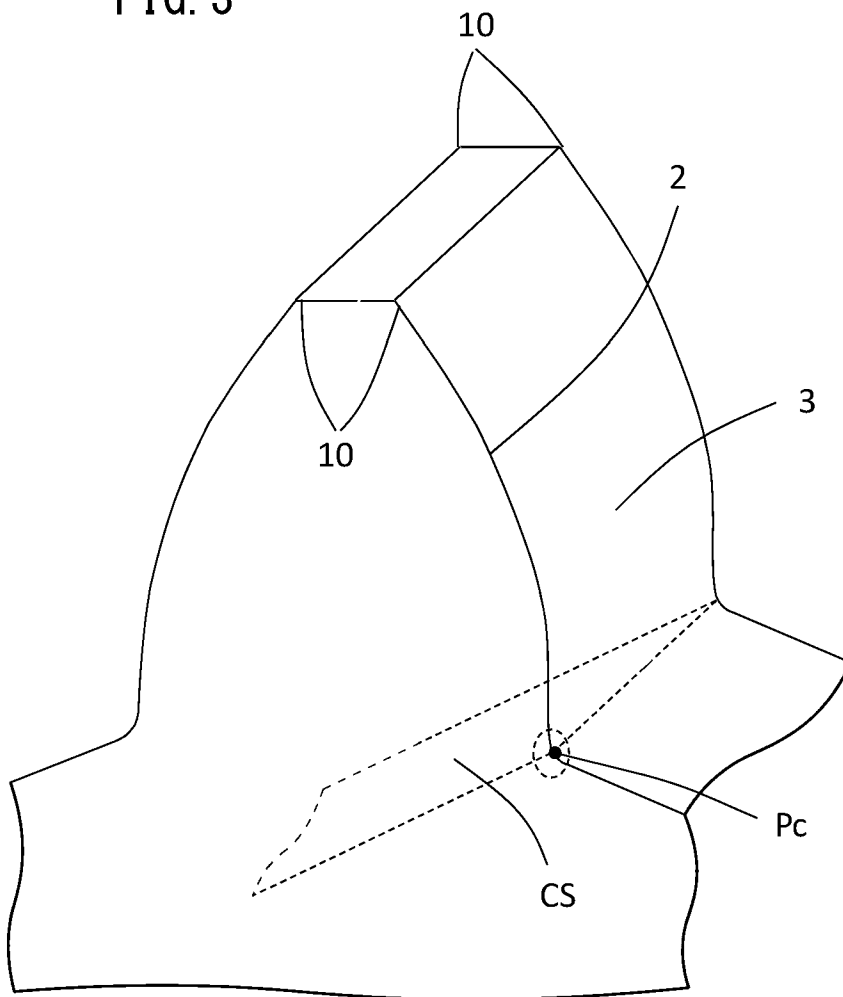
[図2]

FIG. 2



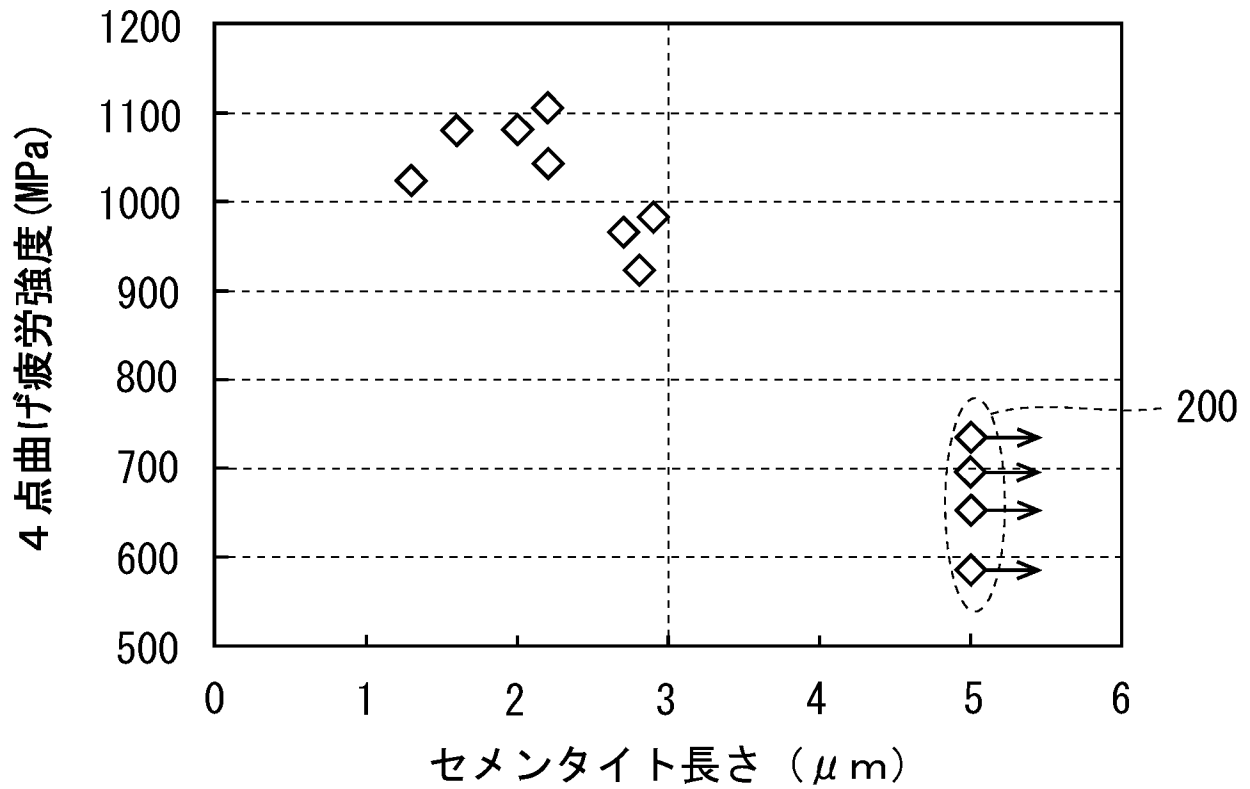
[図3]

FIG. 3



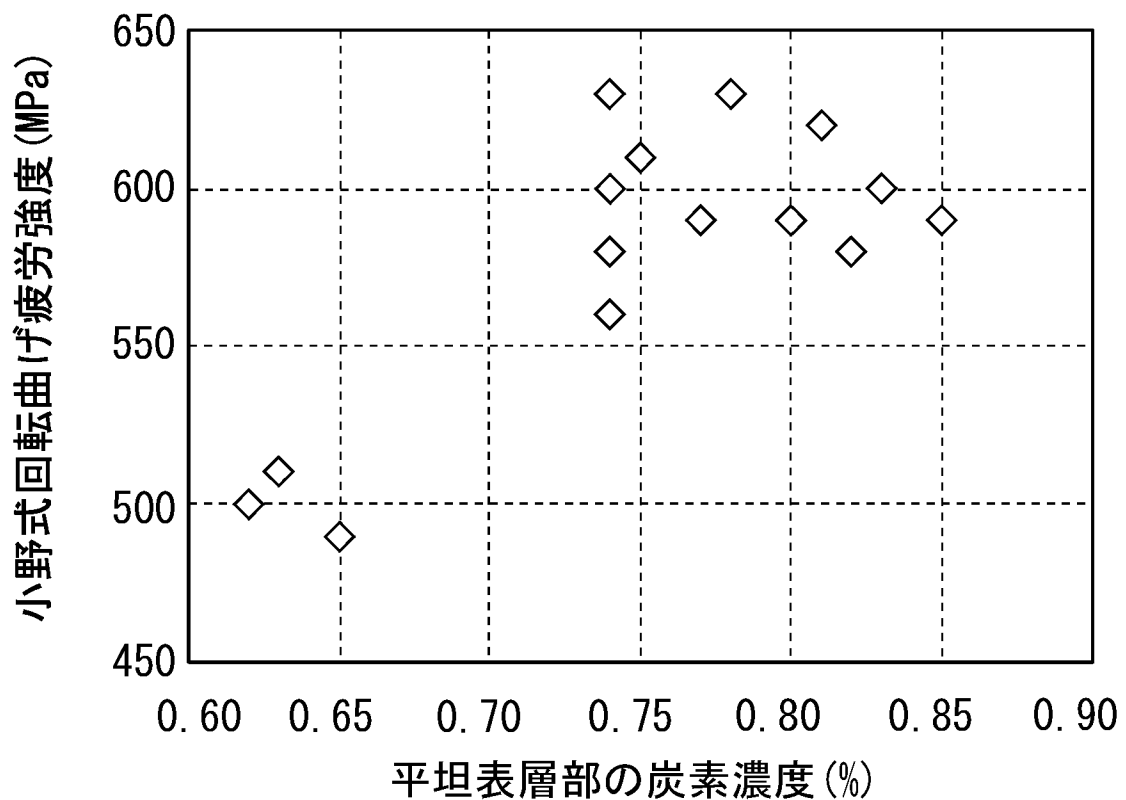
[図4]

FIG. 4

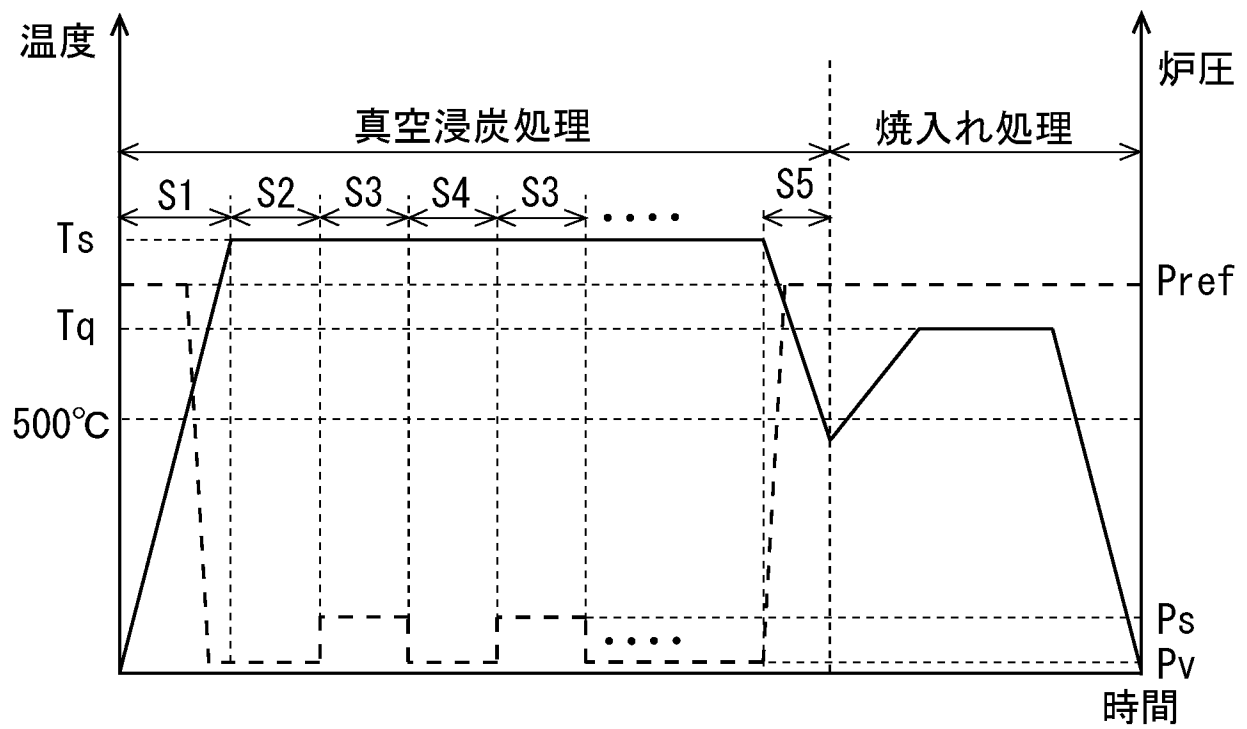


[図5]

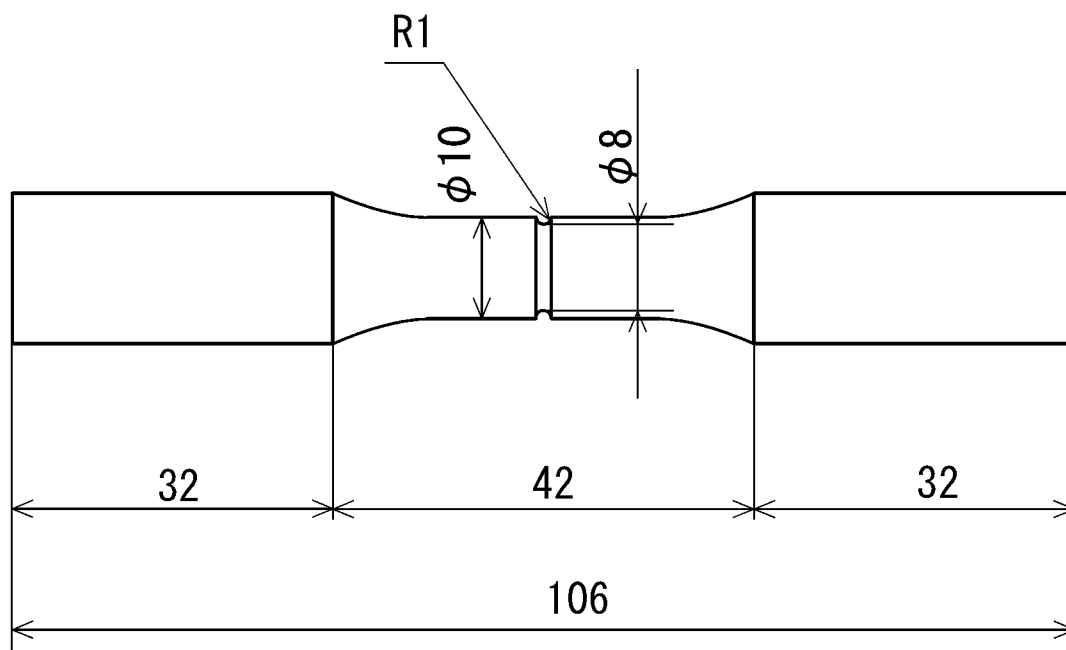
FIG. 5



[図6]
FIG. 6



[図7]
FIG. 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/005181

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C38/00(2006.01)i, C21D1/06(2006.01)i, C21D6/00(2006.01)i, C21D9/32(2006.01)i, C22C38/60(2006.01)i, C23C8/22(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, C21D1/06, C21D6/00, C21D9/32, C22C38/60, C23C8/22

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.
A	JP 2004-76125 A (Komatsu Ltd.), 11 March 2004 (11.03.2004), claims; paragraphs [0051] to [0054]; example 4; fig. 6 & US 2004/0035499 A1	1-3
A	JP 2007-291486 A (Daido Steel Co., Ltd.), 08 November 2007 (08.11.2007), claims; paragraph [0008] & US 2007/0044866 A1 & EP 1757711 A2 & CN 101033536 A	1-3
A	JP 8-3720 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 09 January 1996 (09.01.1996), claims; tables 1, 2 (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
18 October, 2013 (18.10.13)

Date of mailing of the international search report
29 October, 2013 (29.10.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/005181

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 2007-308772 A (Kobe Steel, Ltd.), 29 November 2007 (29.11.2007), claims; paragraphs [0049] to [0056]; tables 1 to 3 (Family: none)	1-3
A	WO 2011/132722 A1 (Nippon Steel Corp.), 27 October 2011 (27.10.2011), claims & US 2012/0318408 A1 & EP 2562283 A1 & CN 103097561 A & KR 10-2013-0004307 A	1-3

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, C21D1/06(2006.01)i, C21D6/00(2006.01)i, C21D9/32(2006.01)i,
C22C38/60(2006.01)i, C23C8/22(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, C21D1/06, C21D6/00, C21D9/32, C22C38/60, C23C8/22

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 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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 2004-76125 A（株式会社小松製作所）2004.03.11, 特許請求の範囲, [0051]-[0054], 実施例 4, 図 6 & US 2004/0035499 A1	1-3
A	JP 2007-291486 A（大同特殊鋼株式会社）2007.11.08, 特許請求の範囲, [0008] & US 2007/0044866 A1 & EP 1757711 A2 & CN 101033536 A	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

1 8 . 1 0 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 9 . 1 0 . 2 0 1 3

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）

田口 裕健

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

4 K

4 6 6 3

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 8-3720 A (住友金属工業株式会社) 1996. 01. 09, 特許請求の範囲, 表 1, 2 (ファミリーなし)	1-3
A	JP 2007-308772 A (株式会社神戸製鋼所) 2007. 11. 29, 特許請求の範囲, [0049]-[0056], 表 1-3 (ファミリーなし)	1-3
A	WO 2011/132722 A1 (新日本製鐵株式会社) 2011. 10. 27, 請求の範囲 & US 2012/0318408 A1 & EP 2562283 A1 & CN 103097561 A & KR 10-2013-0004307 A	1-3