

(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  
2019年3月7日(07.03.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/044971 A1

- (51) 国際特許分類:  
C22C 38/00 (2006.01) C22C 38/14 (2006.01)  
C21D 1/06 (2006.01) C22C 38/58 (2006.01)  
C21D 9/46 (2006.01) C22C 38/60 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/032112
- (22) 国際出願日: 2018年8月30日(30.08.2018)
- (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 2017-167206 2017年8月31日(31.08.2017) 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: 橋本 元仙(HASHIMOTO, Motonori); 〒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). 匹田 和夫(HIKIDA, Kazuo); 〒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). 戸田 由梨(TODA, Yuri); 〒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: 亀谷 美明, 外(KAMEYA, Yoshiaki et al.); 〒1600004 東京都新宿区四谷3-1-3 第一富澤ビル はづき国際特許事務所 四谷オフィス 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: STEEL SHEET FOR CARBURIZING, AND PRODUCTION METHOD FOR STEEL SHEET FOR CARBURIZING

(54) 発明の名称: 浸炭用鋼板、及び、浸炭用鋼板の製造方法

(57) Abstract: Provided are a steel sheet for carburizing having excellent ductility, and a production method therefor. This steel sheet contains, by mass%, 0.02% to less than 0.30% C, 0.005% to less than 0.5% Si, 0.01% to less than 3.0% Mn, not more than 0.1% P, not more than 0.1% S, 0.0002% to 3.0% sol. Al, not more than 0.2% N, and 0.010% to 0.150% Ti, with the remainder comprising Fe and impurities. The number of carbides per 1,000  $\mu\text{m}^2$  is not more than 100. The percentage of carbides having an aspect ratio of 2.0 or less is 10% or more relative to all carbides. The average circle equivalent diameter of the carbides is not more than 5.0  $\mu\text{m}$ , and the average crystal grain size of ferrite is not more than 10.0  $\mu\text{m}$ .

(57) 要約: 延性により優れた浸炭用鋼板とその製造方法を提供する。本発明の鋼板は、質量%で、C: 0.02%以上0.30%未満、Si: 0.005%以上0.5%未満、Mn: 0.01%以上3.0%未満、P: 0.1%以下、S: 0.1%以下、sol. Al: 0.0002%以上3.0%以下、N: 0.2%以下、Ti: 0.010%以上0.150%以下を含有し、残部が、Fe及び不純物からなり、1000 $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数が、100個以下であり、アスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合が、全炭化物に対して10%以上であり、炭化物の平均円相当直径が、5.0 $\mu\text{m}$ 以下であり、フェライトの平均結晶粒径が、10 $\mu\text{m}$ 以下である。

WO 2019/044971 A1

## 明 細 書

発明の名称：浸炭用鋼板、及び、浸炭用鋼板の製造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、浸炭用鋼板、及び、浸炭用鋼板の製造方法に関する。

### 背景技術

[0002] 近年、自動車のギヤー、クラッチプレート、ダンパー等の機械構造部品には、耐久性が高いことに加えて、安価に製造可能であることが要求されている。一般に、これら部品の製造方法として、熱間鍛造材を用いた切削及び浸炭処理が行われてきた。しかしながら、コストダウンの要求が高まっていることを受けて、熱間圧延鋼板や冷間圧延鋼板を素材とし、冷間加工して部材の形状に成形した後に、浸炭処理を行う技術の開発が進められている。

[0003] かかる技術を適用する際、鋼板には、冷間加工性と浸炭熱処理後の焼入れ性がともに求められる。一般的に、焼入れ性を高めるためには、浸炭用鋼板の引張強度は高いほど好ましい。しかしながら、鋼板の強度を高めることにより、冷間加工性が劣化する。そのため、これら相反する特性を両立する技術が要求される。

[0004] 冷間加工では、素材を打ち抜き、続いて曲げ加工、絞り加工、穴広げ加工等を経て部材を成形する。トルクコンバーターのダンパー部品等といった複雑な形状の部材への成形は、種々の変形モードの組み合わせで構成される。そのため、曲げ性や穴広げ性等といった伸びフランジ成形性を改善可能な方法、又は、鋼板の延性を著しく向上させることが可能な方法によって、冷間加工性を高めることができる。かかる観点から、近年、各種の技術が提案されている。

[0005] 例えば、以下の特許文献1では、熱間圧延鋼板の組織をフェライトとパーライトから構成し、その後、球状化焼鈍を施して炭化物を球状化する技術が提案されている。

[0006] また、以下の特許文献2では、炭化物の粒径を制御した上で、フェライト

粒内の炭化物の個数に対するフェライト粒界の炭化物の個数の比率を制御し、更に、母相であるフェライトの結晶粒径を制御することにより、浸炭後の部材の衝撃特性を向上させる技術が提案されている。

[0007] また、以下の特許文献3では、炭化物の粒径及びアスペクト比、並びに、母相であるフェライトの結晶粒径を制御した上で、更にフェライトのアスペクト比を制御することにより、冷間加工性を向上させる技術が提案されている。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0008] 特許文献1：特許第3094856号公報

特許文献2：国際公開第2016/190370号

特許文献3：国際公開第2016/148037号

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0009] 上述したような機械構造部品は、強度を高めるために焼入れ性が求められる。すなわち、複雑な形状を有する部材を冷間加工で成形するためには、焼入れ性を維持しつつも、成形性を確保することが求められる。

[0010] しかしながら、上記特許文献1で提案されている炭化物の形態制御を主とするミクロ組織制御では、得られる鋼板の延性に乏しく、複雑な形状の部材へと加工することは困難である。また、上記特許文献2で提案されている、炭化物とフェライトのミクロ組織制御を主体とする製造方法では、得られる鋼板の成形性は改善されるものの、複雑な形状の部材へと加工するために必要な延性を確保することは困難である。更に、上記特許文献3で提案されている方法では、得られる鋼板の成形性は改善されるものの、やはり、複雑な形状の部材へと加工するために必要な延性を確保することは困難である。このように、従来提案されている技術では、浸炭用鋼板の延性を高めることは困難であり、そのため、特にトルクコンバーターのダンパー部品等といった

複雑な形状の部品への焼入れ性の高い鋼板の適用が限定されていた。

[0011] そこで、本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、本発明の目的とするところは、延性により優れた浸炭用鋼板とその製造方法を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0012] 本発明者らは、上記課題を解決する方法について、鋭意検討を行った。その結果、以下で詳述するように、鋼板内に生成される炭化物の個数密度を低減させ、かつ、鋼板内におけるフェライトの結晶粒を微細化することで、焼入れ性を維持しつつ、延性により優れた浸炭用鋼板を実現することが可能であると の着想を得て、本発明を完成するに至った。

かかる着想に基づき完成された本発明の要旨は、以下の通りである。

[0013] [1] 質量%で、C：0.02%以上0.30%未満、Si：0.005%以上0.5%未満、Mn：0.01%以上3.0%未満、P：0.1%以下、S：0.1%以下、sol. Al：0.0002%以上3.0%以下、N：0.2%以下、Ti：0.010%以上0.150%以下を含有し、残部が、Fe及び不純物からなり、1000 $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数が、100個以下であり、アスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合が、全炭化物に対して10%以上であり、炭化物の平均円相当直径が、5.0 $\mu\text{m}$ 以下であり、フェライトの平均結晶粒径が、10 $\mu\text{m}$ 以下である、浸炭用鋼板。

[2] 残部のFeの一部に換えて、質量%で、Cr：0.005%以上3.0%以下、Mo：0.005%以上1.0%以下、Ni：0.010%以上3.0%以下、Cu：0.001%以上2.0%以下、Co：0.001%以上2.0%以下、Nb：0.010%以上0.150%以下、V：0.0005%以上1.0%以下、B：0.0005%以上0.01%以下の1種又は2種以上を更に含有する、[1]に記載の浸炭用鋼板。

[3] 残部のFeの一部に換えて、質量%で、Sn：1.0%以下、W：1.0%以下、Ca：0.01%以下、REM：0.3%以下の1種又は2種

以上を更に含有する、[1]又は[2]に記載の浸炭用鋼板。

[4] [1]～[3]の何れか1つに記載の浸炭用鋼板を製造する方法であって、[1]～[3]の何れか1つに記載の化学組成を有する鋼材を加熱し、熱間仕上圧延を、800℃以上920℃未満の温度域で終了した後、熱間仕上圧延終了時の温度から冷却停止温度までの温度域を50℃/s以上250℃/s以下の平均冷却速度で冷却して、700℃以下の温度で巻取る熱間圧延工程と、前記熱間圧延工程により得られた鋼板、又は、前記熱間圧延工程後に冷間圧延が施された鋼板を、窒素濃度を体積分率で25%未満に制御した焼鈍雰囲気にて、1℃/h以上100℃/h以下の平均加熱速度で、下記式(1)で定義されるAc<sub>1</sub>点以下の温度域まで加熱し、当該Ac<sub>1</sub>点以下の温度域で1h以上100h以下保持する第一焼鈍工程と、前記第一焼鈍工程を経た鋼板を、前記1℃/h以上100℃/h以下の平均加熱速度で、下記式(1)で定義されるAc<sub>1</sub>点超790℃以下の温度域まで加熱し、当該Ac<sub>1</sub>点超790℃以下の温度域で1h以上100h以下保持する第二焼鈍工程と、前記第二焼鈍工程での焼鈍後の鋼板に対して、前記第二焼鈍工程での焼鈍終了時の温度から550℃までの温度域における平均冷却速度を1℃/h以上100℃/h以下とする冷却を施す冷却工程と、を含む、浸炭用鋼板の製造方法。

[5] 前記熱間圧延工程と前記第一焼鈍工程との間に、前記熱間圧延工程により得られた鋼板を、大気中、40℃以上70℃以下の温度で、72h以上350h以下保持する保持工程を更に含む、[4]に記載の浸炭用鋼板の製造方法。

[0014] [数1]

$$Ac_1 = 750.8 - 26.6[C] + 17.6[Si] - 11.6[Mn] - 22.9[Cu] - 23[Ni] + 24.1[Cr] + 22.5[Mo] - 39.7[V] - 5.7[Ti] + 232.4[Nb] - 169.4[Al] - 894.7[B]$$

・・・式(1)

[0015] ここで、上記式(1)において、[X]との表記は、元素Xの含有量(単

位：質量％）を表し、該当する元素を含有しない場合は、ゼロを代入するものとする。

### 発明の効果

[0016] 以上説明したように本発明によれば、焼入れ性、成形性及び延性により優れた浸炭用鋼板を提供することが可能となる。

### 発明を実施するための形態

[0017] 以下に、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。

[0018] (本発明者らが行った検討の内容及び得られた着想について)

本発明に係る浸炭用鋼板及びその製造方法について説明するに先立ち、上記課題を解決するために本発明者らが行った検討の内容について、以下で詳細に説明する。

かかる検討に際し、本発明者らは、延性を向上させるための方法について、検討を行った。

[0019] 延性は、均一伸びと、局部伸びと、から構成される特性である。従来、上記のような延性の二つの観点のうち、主として均一伸びを改善させる技術が各種提案されている。しかしながら、複雑な形状の部品を成形するためには、均一伸びだけでなく、局部伸びも同時に向上させることが重要である。均一伸びと局部伸びとでは、改善に向けたミクロ組織制御指針が異なる。そのため、本発明者らは、これら2種類の伸びを同時に改善可能な組織制御方法について、鋭意検討した。その結果、均一伸び及び局部伸びの双方を共に向上させるためには、炭化物の個数密度を低減させ、加えて、Tiの含有によりフェライトの結晶粒を微細化することが有効である、との知見を得るに至った。

[0020] 上記特許文献1～特許文献3で提案されている技術も含め、従来、加工性の向上を目的として均一伸びを向上させる場合、フェライトの粒径は大きければ大きいほど好ましい故に、細粒化効果の高いTiの含有は、積極的には行われてこなかった。本発明では、以下で説明するように、本発明に係る浸炭用鋼板を製造する際に2段階焼鈍を行うことを特徴とする。ここで、従来

のように、鋼板成分としてTiを所定量含有させなかった場合、2段階焼鈍を行うことで粗粒化が促進してしまい、延性のうち局部伸びの劣化は避けられなかった。しかしながら、本発明者らが鋭意検討した結果、均一伸び及び局部伸びの双方を共に向上させることが可能な組織制御方法に関する知見を得ることができた。以下、かかる知見について、詳細に説明する。

[0021] まず、均一伸びを向上させるためには、引張変形中のボイドの発生を抑制することが有効である。引張変形では、硬質組織と軟質組織との界面からボイドが発生しやすく、浸炭用鋼板では、フェライトと炭化物との界面において、ボイドの発生が助長される。そのため、本発明者らは、鋼板内に存在する炭化物の個数密度を低減させることによりフェライトと炭化物との界面の総面積が減少するため、ボイドの発生を抑制することが可能になるとの着想を得るに至った。

[0022] かかる着想に基づき、本発明者らが鋭意検討を重ねた結果、球状化焼鈍の加熱条件を2段階とすることで、炭化物の個数密度を低減させることを達成することができた。具体的には、本発明者らは、球状化焼鈍工程において、熱間圧延工程を経た鋼板を、 $A_{c1}$ 点以下の温度域まで加熱し、かかる $A_{c1}$ 点以下の温度域で1h以上100h以下保持する1段目の焼鈍を施し、次いで、1段目の焼鈍を経た鋼板を、 $A_{c1}$ 点超790℃以下まで加熱し、かかる $A_{c1}$ 点超790℃以下の温度域で1h以上100h以下保持する2段目の焼鈍を施すことにより、炭化物の個数密度を低減させることに成功した。

[0023] このメカニズムとしては、まず、第一段階の加熱保持を $A_{c1}$ 点以下で実施することにより、炭素の拡散を促進させて、熱間圧延工程において生成したプレート状の炭化物を球状化させる。この第一段階では、鋼板組織は、主として、フェライトと炭化物から構成されており、鋼板組織中に、微細な炭化物や粗大な炭化物が混在する。次に、第二段階の加熱保持を $A_{c1}$ 点超で実施することにより、微細な炭化物を溶解させて、炭化物の個数密度を低減させる。この $A_{c1}$ 点超の温度域では、炭化物のオストワルド成長が起るため、微細な炭化物の溶解を促進させて、炭化物の個数密度を低減させることがで

きると考えられる。

[0024] 次に、局部伸びを向上させるためには、ボイドの連結を抑制することが重要であり、ボイドの連結抑制には、母相であるフェライトの細粒化が有効である。本発明者らは、細粒化により粒界が増加すると、炭化物とフェライトとの界面で発生したボイドが連結しにくくなるとの着想を得るに至った。本発明者らは、かかる着想に基づき鋭意検討を重ねた結果、フェライトの平均結晶粒径を $10\mu\text{m}$ 以下に制御すれば、ボイドの連結抑制効果が得られることを見出した。

[0025] そこで、本発明者らは、フェライトを細粒化させる製法について更なる検討を重ねた結果、Tiを0.010%以上含有させた鋼板を熱間圧延に供することにより、変態前のオーステナイトを細粒化することができ、加えて、熱間仕上圧延直後に $50^\circ\text{C}/\text{s}$ 以上の平均冷却速度で鋼板を冷却して巻き取ることにより、オーステナイトの粒成長を抑制したまま、フェライトへの相変態を開始させることができることを見出した。これにより、フェライトの核生成サイトが増加し、フェライト粒を微細化することが可能になる。

[0026] 以上説明したような、2つの観点からのミクロ組織制御により、均一伸びと局部伸びの双方を共に向上させることができ、その結果、焼入れ性を維持しながら、延性により優れた浸炭用鋼板を得ることに成功した。かかる浸炭用鋼板は、延性により優れる結果、より優れた成形性が発現する。

[0027] なお、上述した延性（均一伸び及び局部伸び）の向上は、焼入れ性が高い鋼板であるほど、その効果が高い。例えば、引張強度が $340\text{MPa}$ 級、 $440\text{MPa}$ 級といった、引張強度が $340\text{MPa}$ 以上の高強度鋼板において、延性が顕著に向上する。そのため、上記に概略を示したような組織制御により、焼入れ性を維持しつつ、延性を向上させることが可能となる。かかる浸炭用鋼板は、延性により優れる結果、より優れた成形性が発現する。

[0028] 以下で詳述する本発明の実施形態に係る浸炭用鋼板とその製造方法は、上記のような知見に基づき完成されたものである。以下では、かかる知見に基づき完成された、本実施形態に係る浸炭用鋼板とその製造方法について、詳

細に説明する。

[0029] (浸炭用鋼板について)

まず、本発明の実施形態に係る浸炭用鋼板について、詳細に説明する。

本実施形態に係る浸炭用鋼板は、以下で詳述するような所定の化学成分を有している。加えて、本実施形態に係る浸炭用鋼板は、 $1000\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数が、 $100$ 個以下であり、アスペクト比が $2.0$ 以下である炭化物の個数割合が、全炭化物に対して $10\%$ 以上であり、炭化物の平均円相当直径が、 $5.0\mu\text{m}$ 以下であり、かつ、フェライトの平均結晶粒径が、 $10\mu\text{m}$ 以下であるという、特定のミクロ組織を有している。これにより、本実施形態に係る浸炭用鋼板は、焼入れ性を維持しつつ、より優れた延性及び成形性を示すようになる。

[0030] <浸炭用鋼板の化学成分について>

まず、本実施形態に係る浸炭用鋼板の有する化学成分について、詳細に説明する。なお、以下の説明において、化学成分に関する「%」は、特に断りのない限り「質量%」を意味する。

[0031] [C :  $0.02\%$ 以上 $0.30\%$ 未満]

C (炭素) は、最終的に得られる浸炭部材における板厚中央部の強度を確保するために必要な元素である。また、浸炭用鋼板においては、Cは、フェライトの粒界に固溶して粒界の強度を上昇させ、局部伸びの向上に寄与する元素である。

[0032] Cの含有量が $0.02\%$ 未満である場合には、上記のような局部伸びの向上効果が得られない。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板において、Cの含有量は、 $0.02\%$ 以上とする。Cの含有量は、好ましくは $0.05\%$ 以上である。一方、Cの含有量が $0.30\%$ 以上となる場合には、浸炭用鋼板中に生成される炭化物の平均円相当直径が $5.0\mu\text{m}$ を超え、均一伸びが劣化してしまう。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板において、Cの含有量は、 $0.30\%$ 未満とする。Cの含有量は、好ましくは $0.20\%$ 以下である。また、均一伸び及び局部伸び、並びに、焼入れ性のそれぞれのバラ

ンスを考慮すると、Cの含有量は、0.10%以下であることがより好ましく、0.10%未満であることがより一層好ましい。

[0033] [Si : 0.005%以上0.5%未満]

Si (ケイ素) は、溶鋼を脱酸して鋼を健全化する作用をなす元素である。Siの含有量が0.005%未満である場合には、溶鋼を十分に脱酸することができない。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板において、Siの含有量は、0.005%以上とする。Siの含有量は、好ましくは0.01%以上である。一方、Sの含有量が0.5%以上となる場合には、炭化物に固溶したSiが炭化物を安定化させ、焼鈍の第一段目において、炭化物の溶解を阻害して炭化物の個数密度が低減されず、均一伸びが損なわれる。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板において、Siの含有量は、0.5%未満とする。Siの含有量は、好ましくは0.3%未満であり、より好ましくは0.1%未満である。

[0034] [Mn : 0.01%以上3.0%未満]

Mn (マンガン) は、溶鋼を脱酸して鋼を健全化する作用をなす元素である。Mnの含有量が0.01%未満である場合には、溶鋼を十分に脱酸することができない。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板において、Mnの含有量は、0.01%以上とする。Mnの含有量は、好ましくは0.1%以上である。一方、Mnの含有量が3.0%以上となる場合には、炭化物に固溶したMnが炭化物を安定化させ、焼鈍の第一段目において、炭化物の溶解を阻害して炭化物の個数密度が低減されず、均一伸びが損なわれる。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板において、Mnの含有量は、3.0%未満とする。Mnの含有量は、好ましくは2.0%未満であり、より好ましくは1.0%未満である。

[0035] [P : 0.1%以下]

P (リン) は、フェライトの粒界に偏析し、脆性破壊を助長して延性を劣化させる元素である。Pの含有量が0.1%を超える場合には、フェライトの粒界の強度が著しく低下し、均一伸びが劣化する。そのため、本実施形態

に係る浸炭用鋼板において、Pの含有量は、0.1%以下とする。Pの含有量は、好ましくは0.050%以下であり、より好ましくは0.020%以下である。なお、Pの含有量の下限は、特に限定しない。ただし、Pの含有量を0.0001%未満まで低減させると、脱Pコストが大幅に上昇して、経済的に不利になる。そのため、実用鋼板上、Pの含有量は、0.0001%が実質的な下限となる。

[0036] [S : 0.1%以下]

S（硫黄）は、介在物を形成し、延性を劣化させる元素である。Sの含有量が0.1%を超える場合には、粗大な介在物が生成して均一伸びが劣化する。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板において、Sの含有量は、0.1%以下とする。Sの含有量は、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。Sの含有量の下限は、特に限定しない。ただし、Sの含有量を0.0005%未満まで低減させると、脱Sコストが大幅に上昇し、経済的に不利になる。そのため、実用鋼板上、Sの含有量は、0.0005%が実質的な下限となる。

[0037] [sol. Al : 0.0002%以上3.0%以下]

Al（アルミニウム）は、溶鋼を脱酸して鋼を健全化する作用をなす元素である。Alの含有量が0.0002%未満である場合には、溶鋼を十分に脱酸することができない。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板において、Alの含有量（より詳細には、sol. Alの含有量）は、0.0002%以上とする。Alの含有量は、好ましくは0.0010%以上である。一方、Alの含有量が3.0%を超える場合には、粗大な酸化物が生成して均一伸びが損なわれる。そのため、Alの含有量は、3.0%以下とする。Alの含有量は、好ましくは2.5%以下であり、より好ましくは1.0%以下であり、更に好ましくは0.5%以下であり、より一層好ましくは0.1%以下である。

[0038] [N : 0.2%以下]

本実施形態に係る浸炭用鋼板において、N（窒素）の含有量は、0.2%

以下である必要がある。Nの含有量が0.2%を超える場合には、粗大な窒化物が生成して局部伸びが著しく低下する。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板において、Nの含有量は、0.2%以下とする。Nの含有量は、好ましくは0.1%以下であり、より好ましくは0.05%以下であり、更に好ましくは0.01%以下である。Nの含有量の下限は、特に限定しない。ただし、Nの含有量を0.0001%未満まで低減させると、脱Nコストが大幅に上昇し、経済的に不利になる。そのため、実用鋼板上、Nの含有量は、0.0001%が実質的な下限となる。

[0039] [Ti : 0.010%以上0.150%以下]

Ti (チタン) は、熱間圧延工程において、旧オーステナイト粒を微細化することによりフェライトの細粒化に寄与し、局部伸びの向上に寄与する元素である。かかるフェライトの微粒化効果を得るために、本実施形態に係る浸炭用鋼板では、Tiの含有量を、0.010%以上とする。Tiの含有量は、好ましくは0.015%以上である。一方、炭化物や窒化物の生成の影響を考慮すると、局部伸びの向上効果を得るために、Tiの含有量は、0.150%以下とする。Tiの含有量は、好ましくは0.075%以下である。

[0040] [Cr : 0.005%以上3.0%以下]

Cr (クロム) は、最終的に得られる浸炭部材において、焼入れ性を高める効果を持つ元素であるとともに、浸炭用鋼板においては、フェライトの結晶粒を微細化して局部伸びの更なる向上に寄与する元素である。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板においては、必要に応じて、Crを含有させてもよい。Crを含有させる場合、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Crの含有量を0.005%以上とすることが好ましい。Crの含有量は、より好ましくは0.010%以上である。また、炭化物や窒化物の生成の影響を考慮すると、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Crの含有量は、3.0%以下とすることが好ましい。Crの含有量は、より好ましくは2.0%以下であり、更に好ましくは1.5%以下である。

## [0041] [Mo : 0.005%以上1.0%以下]

Mo（モリブデン）は、最終的に得られる浸炭部材において、焼入れ性を高める効果を持つ元素であるとともに、浸炭用鋼板においては、フェライトの結晶粒を微細化して局部伸びの更なる向上に寄与する元素である。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板においては、必要に応じて、Moを含有させてもよい。Moを含有させる場合、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Moの含有量を0.005%以上とすることが好ましい。Moの含有量は、より好ましくは0.010%以上である。また、炭化物や窒化物の生成の影響を考慮すると、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Moの含有量は、1.0%以下とすることが好ましい。Moの含有量は、より好ましくは0.8%以下である。

## [0042] [Ni : 0.010%以上3.0%以下]

Ni（ニッケル）は、最終的に得られる浸炭部材において、焼入れ性を高める効果を持つ元素であるとともに、浸炭用鋼板においては、フェライトの結晶粒を微細化して局部伸びの更なる向上に寄与する元素である。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板においては、必要に応じて、Niを含有させてもよい。Niを含有させる場合、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Niの含有量を0.010%以上とすることが好ましい。Niの含有量は、より好ましくは0.050%以上である。また、Niが粒界に偏析する影響を考慮すると、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Niの含有量は、3.0%以下とすることが好ましい。Niの含有量は、より好ましくは2.0%以下であり、更に好ましくは1.0%以下であり、より一層好ましくは0.5%以下である。

## [0043] [Cu : 0.001%以上2.0%以下]

Cu（銅）は、最終的に得られる浸炭部材において、焼入れ性を高める効果を持つ元素であるとともに、浸炭用鋼板においては、フェライトの結晶粒を微細化して局部伸びの更なる向上に寄与する元素である。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板においては、必要に応じて、Cuを含有させてもよ

い。Cuを含有させる場合、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Cuの含有量を0.001%以上とすることが好ましい。Cuの含有量は、より好ましくは0.010%以上である。また、Cuが粒界に偏析する影響を考慮すると、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Cuの含有量は、2.0%以下とすることが好ましい。Cuの含有量は、より好ましくは0.80%以下であり、更に好ましくは0.50%以下である。

[0044] [Co : 0.001%以上2.0%以下]

Co（コバルト）は、最終的に得られる浸炭部材において、焼入れ性を高める効果を持つ元素であるとともに、浸炭用鋼板においては、フェライトの結晶粒を微細化して局部伸びの更なる向上に寄与する元素である。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板においては、必要に応じて、Coを含有させてもよい。Coを含有させる場合、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Coの含有量を0.001%以上とすることが好ましい。Coの含有量は、より好ましくは0.010%以上である。また、Coが粒界に偏析する影響を考慮すると、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Coの含有量は、2.0%以下とすることが好ましい。Coの含有量は、より好ましくは0.80%以下である。

[0045] [Nb : 0.010%以上0.150%以下]

Nb（ニオブ）は、結晶粒を微細化して局部伸びの更なる向上に寄与する元素である。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板においては、必要に応じて、Nbを含有させてもよい。Nbを含有させる場合、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Nbの含有量を0.010%以上とすることが好ましい。Nbの含有量は、より好ましくは0.035%以上である。また、炭化物や窒化物の生成の影響を考慮すると、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Nbの含有量は、0.150%以下とすることが好ましい。Nbの含有量は、より好ましくは0.120%以下であり、更に好ましくは0.100%以下であり、より一層好ましくは0.050%以下である。

[0046] [V : 0.0005%以上1.0%以下]

V (バナジウム) は、フェライトの結晶粒を微細化して局部伸びの更なる向上に寄与する元素である。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板においては、必要に応じて、Vを含有させてもよい。Vを含有させる場合、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Vの含有量を0.0005%以上とすることが好ましい。Vの含有量は、より好ましくは0.0010%以上である。また、炭化物や窒化物の生成の影響を考慮すると、局部伸びの更なる向上効果を得るためには、Vの含有量は、1.0%以下とすることが好ましい。Vの含有量は、より好ましくは0.80%以下であり、更に好ましくは0.10%以下であり、より一層好ましくは0.050%以下である。

[0047] [B : 0.0005%以上0.01%以下]

B (ホウ素) は、フェライトの粒界に偏析することで粒界の強度を向上させて、均一伸びを更に向上させる元素である。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板では、必要に応じて、Bを含有させてもよい。Bを含有させる場合、均一伸びの更なる向上効果を得るためには、Bの含有量を0.0005%以上とすることが好ましい。Bの含有量は、より好ましくは0.0010%以上である。また、Bを0.01%を超えて含有させたとしても、上記のような均一伸びの更なる向上効果は飽和するため、Bの含有量は、0.01%以下とすることが好ましい。Bの含有量は、より好ましくは0.0075%以下であり、更に好ましくは0.0050%以下であり、より一層好ましくは0.0030%以下である。

[0048] [S<sub>n</sub> : 1.0%以下]

S<sub>n</sub> (スズ) は、溶鋼を脱酸して鋼を更に健全化する作用をなす元素である。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板においては、必要に応じて、1.0%を上限としてS<sub>n</sub>を含有させてもよい。S<sub>n</sub>の含有量は、より好ましくは、0.5%以下である。

[0049] [W : 1.0%以下]

W (タングステン) は、溶鋼を脱酸して鋼を更に健全化する作用をなす元素である。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板においては、必要に応じ

て、1.0%を上限としてWを含有させてもよい。Wの含有量は、より好ましくは、0.5%以下である。

[0050] [Ca : 0.01%以下]

Ca (カルシウム) は、溶鋼を脱酸して鋼を更に健全化する作用をなす元素である。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板においては、必要に応じて、0.01%を上限としてCaを含有させてもよい。Caの含有量は、より好ましくは0.005%以下である。

[0051] [REM : 0.3%以下]

REM (希土類金属) は、溶鋼を脱酸して鋼を更に健全化する作用をなす元素である。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板においては、必要に応じて、0.3%を上限としてREMを含有させてもよい。

[0052] なお、REMは、Sc (スカンジウム)、Y (イットリウム) 及びランタノイド系列の元素からなる合計17元素の総称であり、REMの含有量は、上記元素の合計量を意味する。REMは、ミッシュメタルを用いて含有させる場合が多いが、La (ランタン) やCe (セリウム) の他に、ランタノイド系列の元素を複合で含有させる場合がある。かかる場合も、本実施形態に係る浸炭用鋼板は、焼入れ性及び成形性のみならず、延性にも優れるという効果を発揮する。また、金属LaやCeなどの金属REMを含有させたとしても、本実施形態に係る浸炭用鋼板は、優れた延性を示す。

[0053] [残部 : Fe 及び不純物]

板厚中央部の成分組成の残部は、Fe 及び不純物である。不純物としては、鋼原料もしくはスクラップから、及び/又は、製鋼過程で不可避免的に混入し、本実施形態に係る浸炭用鋼板の特性を阻害しない範囲で許容される元素が例示される。

[0054] 以上、本実施形態に係る浸炭用鋼板の有する化学成分について、詳細に説明した。

[0055] <浸炭用鋼板のミクロ組織について>

次に、本実施形態に係る浸炭用鋼板を構成するミクロ組織について、詳細

に説明する。

本実施形態に係る浸炭用鋼板のミクロ組織は、実質的に、フェライトと炭化物とで構成される。より詳細には、本実施形態に係る浸炭用鋼板のミクロ組織において、フェライトの面積率は、例えば85～95%の範囲内であり、炭化物の面積率は、例えば5～15%の範囲内であって、かつ、フェライトと炭化物の合計面積率が100%を超えないように構成される。

[0056] 上記のようなフェライト及び炭化物の面積率は、浸炭用鋼板の幅方向に垂直な断面を観察面として採取したサンプルを用いて測定する。サンプルの長さは、測定装置にもよるが、10mm～25mm程度で良い。サンプルは、観察面を研磨した後、ナイトールエッチングする。ナイトールエッチングした観察面の、板厚1/4位置（浸炭用鋼板の表面から鋼板の厚さ方向に鋼板の厚さの1/4の位置を意味する。）、板厚3/8位置、及び、板厚1/2位置の範囲を、サーマル電界放射型走査電子顕微鏡（例えば、J E O L 製 J S M - 7 0 0 1 F）で観察する。

[0057] 各サンプルの観察対象範囲について、 $2500\mu\text{m}^2$ の範囲を10視野観察し、各視野において、視野面積中におけるフェライト及び炭化物の占める面積の割合を測定する。そして、フェライトの占める面積の割合の全視野での平均値、及び、炭化物の占める面積の割合の全視野での平均値を、それぞれ、フェライトの面積率、及び、炭化物の面積率とする。

[0058] ここで、本実施形態に係るミクロ組織における炭化物は、主として、鉄と炭素の化合物であるセメンタイト ( $\text{Fe}_3\text{C}$ )、及び、 $\epsilon$ 系炭化物 ( $\text{Fe}_{2\sim3}\text{C}$ ) 等の鉄系炭化物である。また、ミクロ組織における炭化物は、上述した鉄系炭化物に加えて、セメンタイト中のFe原子をMn、Cr等で置換した化合物や、合金炭化物 ( $\text{M}_{23}\text{C}_6$ 、 $\text{M}_6\text{C}$ 、 $\text{MC}$ 等であり、Mは、Fe及びその他の金属元素であるか、又は、Fe以外の金属元素である。)を含むこともある。本実施形態に係るミクロ組織における炭化物は、そのほとんどが鉄系炭化物により構成される。そのため、上記のような炭化物について、以下で詳述するような個数に着目した場合、その個数は、上記のような各種炭化

物の合計個数であってもよいし、鉄系炭化物のみの個数であってもよい。すなわち、以下で詳述するような炭化物の個数割合は、鉄系炭化物を含む各種炭化物を母集団とするものであってもよいし、鉄系炭化物のみを母集団とするものであってもよい。鉄系炭化物は、例えば、試料に対してディフラクション解析やEDS (Energy dispersive X-ray spectrometry) を用いて特定することができる。

[0059] 先だって説明したように、浸炭用鋼板の延性を向上させるためには、炭化物の個数密度を低減させ、更に、Tiの含有によりフェライトの結晶粒を微細化することが重要である。

[0060] 延性は、上記のように、均一伸びと局部伸びとから構成される。従来、延性の二つの観点のうち、主として均一伸びを改善させる技術が各種提案されているが、複雑な形状の部品を成形するためには、均一伸びだけでなく、局部伸びも同時に向上させることが重要である。均一伸びと局部伸びとでは、改善に向けたミクロ組織制御指針が異なるため、本発明者らは、これら2種類の伸びを同時に改善可能な組織制御手段について、鋭意検討した。その結果、以下のような知見を得ることができた。

[0061] まず、均一伸びを向上させるためには、引張変形中のボイドの発生を抑制することが有効である。引張変形では、硬質組織と軟質組織との界面からボイドが発生しやすく、浸炭用鋼板では、フェライトと炭化物との界面でボイドの発生が助長される。そのため、本発明者らは、鋭意検討した結果、炭化物の個数密度を低減させることでフェライトと炭化物との界面の総面積を減少させて、ボイドの発生を抑制することを見出した。

[0062] 次に、局部伸びの向上には、ボイドの連結を抑制することが重要であり、ボイドの連結抑制には、母相であるフェライトの細粒化が有効である。本発明者らは、細粒化により粒界が増加すると、炭化物とフェライトとの界面で発生したボイドが連結しにくくなるとの着想に至った。本発明者らは、かかる着想に基づき鋭意検討を重ねた結果、フェライトの平均結晶粒径を10 $\mu$ m以下に制御することで、ボイドの連結を抑制することを見出した。

以下、本実施形態に係る浸炭用鋼板を構成するミクロ組織の限定理由について、詳細に説明する。

[0063] [1000  $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数：100個以下]

本実施形態における炭化物は、上記のように、セメンタイト ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) 及び  $\epsilon$  系炭化物 ( $\text{Fe}_{2\sim 3}\text{C}$ ) 等の鉄系炭化物により主に構成される。本発明者らによる検討の結果、1000  $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数が100個以下であれば、良好な均一伸びを得ることができることが明らかとなった。従って、本実施形態に係る浸炭用鋼板において、1000  $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数は、100個以下とする。ここで、以下に示す測定方法からも明らかのように、本実施形態における「1000  $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数」は、浸炭用鋼板の板厚1/4位置において、1000  $\mu\text{m}^2$ の広さを有する任意の領域での炭化物の平均個数となっている。1000  $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数は、好ましくは90個以下である。なお、1000  $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数の下限は、特に限定するものではない。ただし、実操業において、1000  $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数を5個未満とすることは困難であるため、5個が実質的な下限となる。

[0064] [全炭化物のうちアスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合：10%以上]

本発明者らによる検討の結果、全炭化物のうち、アスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合が10%以上であれば、良好な均一伸びを得ることができると明らかとなった。全炭化物のうちアスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合が10%未満である場合には、引張変形時に亀裂の発生が助長されて、良好な均一伸びを得ることができない。そのため、本実施形態に係る浸炭用鋼板においては、全炭化物のうちアスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合を、10%以上とする。全炭化物のうち、アスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合は、均一伸びの更なる向上を目的として、好ましくは20%以上である。全炭化物のうちアスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合の上限は、特に限定するものではない

。ただし、実操業において98%以上とすることは困難であるため、98%が実質的な上限となる。

[0065] [炭化物の平均円相当直径：5.0  $\mu\text{m}$ 以下]

本実施形態に係る浸炭用鋼板のミクロ組織において、炭化物の平均円相当直径は、5.0  $\mu\text{m}$ 以下である必要がある。炭化物の平均円相当直径が5.0  $\mu\text{m}$ を超える場合には、引張変形時に割れが発生し、良好な均一伸びを得ることができない。炭化物の平均円相当直径が小さい程、均一伸びは良好であり、炭化物の平均円相当直径は、好ましくは1.0  $\mu\text{m}$ 以下である。炭化物の平均円相当直径の下限は、特に限定するものではない。ただし、実操業において、炭化物の平均円相当直径を0.01  $\mu\text{m}$ 以下とすることは困難であるため、0.01  $\mu\text{m}$ が実質的な下限となる。

[0066] [フェライトの平均結晶粒径：10  $\mu\text{m}$ 以下]

本実施形態に係る浸炭用鋼板のミクロ組織において、フェライトの平均結晶粒径は、10  $\mu\text{m}$ 以下である必要がある。フェライトの平均結晶粒径が10  $\mu\text{m}$ を超える場合には、引張変形時に亀裂の伸展が助長されて、良好な局部伸びを得ることができない。フェライトの平均結晶粒径が小さい程、局部伸びは良好であり、フェライトの平均結晶粒径は、好ましくは8.0  $\mu\text{m}$ 以下である。フェライトの平均結晶粒径の下限は、特に限定するものではない。ただし、実操業において、フェライトの平均結晶粒径を0.1  $\mu\text{m}$ 以下とすることは困難であるため、0.1  $\mu\text{m}$ が実質的な下限となる。

[0067] 続いて、ミクロ組織における炭化物の個数及び個数割合、炭化物の平均円相当直径、並びに、フェライトの平均結晶粒径の測定方法について、詳細に説明する。

まず、浸炭用鋼板からその表面に垂直な断面（板厚断面）が観察できるようにサンプルを切り出す。サンプルの長さは、測定装置にもよるが、10 mm程度で良い。断面を研磨及び腐食して、炭化物の個数密度、アスペクト比、平均円相当直径、及び、フェライトの平均結晶粒径を測定する。研磨は、例えば、粒度600から粒度1500の炭化珪素ペーパーを使用して測定面

を研磨した後、粒径が $1\ \mu\text{m}$ から $6\ \mu\text{m}$ のダイヤモンドパウダーをアルコール等の希釈液や純水に分散させた液体を使用して、鏡面に仕上げれば良い。腐食は、炭化物とフェライトとの界面、又は、フェライト粒界を優先的に腐食する手法であれば、特に制限されるものではなく、例えば、3%硝酸-アルコール溶液によるエッチングを行っても良いし、炭化物と地鉄の粒界を腐食する手段として、非水溶媒系電解液による定電位電解エッチング法（黒澤文夫ら、日本金属学会誌、43、1068、（1979））等により、地鉄を数マイクロメートル程度除去して炭化物のみを残存させる方法を採用してもよい。

- [0068] 炭化物の個数密度は、サーマル電界放射型走査電子顕微鏡（例えば、JEOL製JSM-7001F）を用いて、サンプルの板厚 $1/4$ 位置を、 $2500\ \mu\text{m}^2$ の範囲を、板圧方向に $20\ \mu\text{m}$ 、圧延方向に $50\ \mu\text{m}$ の範囲を撮影し、画像解析ソフト（例えば、Media Cybernetics製Image-Pro Plus）を用いて、撮影した視野における炭化物の個数を測定する。同様の解析を5視野で行い、5視野の平均値を、 $1000\ \mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数とする。
- [0069] 炭化物のアスペクト比の算出は、サーマル電界放射型走査電子顕微鏡（例えば、JEOL製JSM-7001F）を用いて、サンプルの板厚 $1/4$ 位置を、 $2500\ \mu\text{m}^2$ の範囲を観察して行う。観察した視野に含まれる全ての炭化物について、長軸と短軸を測定してアスペクト比（長軸/短軸）を算出し、その平均値を求める。上記観察を5視野で実施し、5視野の平均値を、サンプルの炭化物のアスペクト比とする。得られた炭化物のアスペクト比を参考に、アスペクト比が2.0以下である炭化物の全個数と、上記5視野中に存在した炭化物の合計数と、から、全炭化物のうちアスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合を算出する。
- [0070] 炭化物の平均円相当直径は、サーマル電界放射型走査電子顕微鏡（例えば、JEOL製JSM-7001F）を用いて、サンプルの板厚 $1/4$ 位置を、 $600\ \mu\text{m}^2$ の範囲を4視野撮影することで行う。各視野について、画像解

析ソフト（例えば、Media Cybernetics製 Image-Pro Plus）を用いて、写り込んだ炭化物の長軸と短軸をそれぞれ測定する。視野中の各炭化物について、得られた長軸と短軸の平均値を当該炭化物の直径とし、視野中に写り込んだ炭化物の全てについて、得られた直径の平均値を算出する。このようにして得られた、4視野における炭化物の直径の平均値を更に視野数で平均して、炭化物の平均円相当直径とする。

[0071] フェライトの平均結晶粒径は、サーマル電界放射型走査電子顕微鏡（例えば、JEOL製JSM-7001F）を用いて、サンプルの板厚1/4位置を、 $2500\mu\text{m}^2$ の範囲を撮影し、得られた画像に対して線分法を適用して算出する。

[0072] 以上、本実施形態に係る浸炭用鋼板が有するミクロ組織について、詳細に説明した。

[0073] <浸炭用鋼板の板厚について>

本実施形態に係る浸炭用鋼板の板厚については、特に限定するものではないが、例えば、2mm以上とすることが好ましい。浸炭用鋼板の板厚を2mm以上とすることで、コイル幅方向の板厚差をより小さくすることが可能となる。浸炭用鋼板の板厚は、より好ましくは、2.3mm以上である。また、浸炭用鋼板の板厚は、特に限定するものではないが、6mm以下とすることが好ましい。浸炭用鋼板の板厚を6mm以下とすることで、プレス成形時の荷重を低くして、部品への成形をより容易なものとすることができる。浸炭用鋼板の板厚は、より好ましくは、5.8mm以下である。

[0074] 以上、本実施形態に係る浸炭用鋼板について、詳細に説明した。

[0075] （浸炭用鋼板の製造方法について）

次に、以上説明したような本実施形態に係る浸炭用鋼板を製造するための方法について、詳細に説明する。

[0076] 以上説明したような本実施形態に係る浸炭用鋼板を製造するための製造方法は、（A）先だって説明したような化学組成を有する鋼材を用いて、所定の条件に則して熱間圧延鋼板を製造する熱間圧延工程と、（B）得られた熱

間圧延鋼板、又は、熱間圧延工程後に冷間圧延が施された鋼板に対して、所定の熱処理条件に則して、第一段階目の焼鈍処理を施す第一焼鈍工程と、（C）第一焼鈍工程を経た鋼板に対して、所定の熱処理条件に則して、第二段階目の焼鈍処理を施す第二焼鈍工程と、（D）第二焼鈍工程での焼鈍後の鋼板を、所定の冷却条件に則して冷却する冷却工程と、を含む。

以下、上記の熱間圧延工程、第一焼鈍工程、第二焼鈍工程、及び、冷却工程について、詳細に説明する。

[0077] <熱間圧延工程について>

以下で詳述する熱間圧延工程は、所定の化学組成を有する鋼材を用いて、所定の条件に則して熱間圧延鋼板を製造する工程である。

[0078] ここで、熱間圧延に供する鋼片（鋼材）は、常法で製造した鋼片であればよく、例えば、連続鋳造スラブ、薄スラブキャスター等の一般的な方法で製造した鋼片を用いることができる。

[0079] より詳細には、先だって説明したような化学組成を有する鋼材を用い、かかる鋼材を加熱して熱間圧延に供し、熱間仕上圧延を、 $800^{\circ}\text{C}$ 以上 $920^{\circ}\text{C}$ 未満の温度域で終了した後、熱間仕上圧延終了時の温度から冷却停止温度までの温度域を $50^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上 $250^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下の平均冷却速度で冷却して、 $700^{\circ}\text{C}$ 以下の温度で巻取り熱間圧延鋼板とする。

[0080] [熱間仕上圧延の圧延温度： $800^{\circ}\text{C}$ 以上 $920^{\circ}\text{C}$ 未満]

本実施形態に係る熱間圧延工程では、熱間仕上圧延の圧延を、 $800^{\circ}\text{C}$ 以上の圧延温度で行う必要がある。熱間仕上圧延時の圧延温度（すなわち、仕上圧延温度）が $800^{\circ}\text{C}$ 未満となって低温化した場合には、フェライト変態開始温度も低下するため、析出する炭化物が粗大化してしまい、均一伸びが劣化する。従って、本実施形態に係る熱間圧延工程では、仕上圧延温度を $800^{\circ}\text{C}$ 以上とする。仕上圧延温度は、好ましく $830^{\circ}\text{C}$ 以上である。一方、仕上圧延温度が $920^{\circ}\text{C}$ 以上となった場合には、オーステナイト粒の粗大化が著しくなり、フェライトの各生成サイトが減少した結果、フェライト粒の粗大化を招き、局部伸びが劣化する。従って、本実施形態に係る熱間圧延工

程では、仕上圧延温度を920℃未満とする。仕上圧延温度は、好ましくは900℃未満である。

[0081] [熱間仕上圧延終了後の平均冷却速度：50℃/s以上250℃/s以下]

本実施形態に係る熱間圧延工程では、熱間仕上圧延終了後に、鋼板を50℃/s以上250℃/s以下の平均冷却速度で冷却する。平均冷却速度が50℃/s未満である場合には、オーステナイトの粒成長が進みすぎて、フェライトの細粒化効果を得ることができなくなり、局部伸びの劣化を招く。熱間仕上圧延後の平均冷却速度は、好ましくは60℃/s以上であり、より好ましくは100℃/s以上である。一方、平均冷却速度が250℃/sを超える場合には、フェライトへの変態が抑制され、浸炭用鋼板において、フェライトの結晶粒径を10μm以下に制御することが難しくなる。熱間仕上圧延後の平均冷却速度は、好ましくは、170℃/s以下である。

[0082] [巻取り温度：700℃以下]

製造する浸炭用鋼板のミクロ組織を、先だって説明したようなミクロ組織に制御するためには、後段の焼鈍工程（より詳細には、球状化焼鈍）に供される前の鋼板組織（熱延鋼板）を、主として、面積率で10%以上80%以下のフェライトと、面積率で10%以上60%以下のパーライトとを、面積率の合計が100%以下となるように含有し、残部は、ベイナイト、マルテンサイト、焼き戻しマルテンサイト、及び、残留オーステナイトの少なくとも何れかから構成されることが好ましい。

[0083] 本実施形態に係る熱間圧延工程において、巻取り温度が700℃を超える場合には、フェライト変態が過度に促進する結果パーライトの生成が抑制されてしまい、焼鈍後の浸炭用鋼板において、全炭化物のうちアスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合を10%以上に制御することが困難となる。そのため、本実施形態に係る熱間圧延工程では、巻取り温度の上限を700℃とする。本実施形態に係る熱間圧延工程の巻取り温度について、下限は特に規定するものではない。ただし、実操業上、室温以下で巻き取ることは困難であるため、室温が実質的な下限となる。本実施形態に係る熱間圧延

工程の巻取り温度は、後段の焼鈍工程後での炭化物の個数密度をより低減させるという観点から、400℃以上であることが好ましい。

[0084] なお、上記のような熱間圧延工程で巻き取った鋼板（熱間圧延鋼板）を巻き戻して酸洗し、冷間圧延を施してもよい。酸洗により鋼板表面の酸化物を除去することで、穴広げ性の更なる向上などを図ることができる。なお、酸洗は、一回でもよいし、複数回に分けて行ってもよい。冷間圧延は、通常の圧下率（例えば、30～90%）で行う冷間圧延でよい。熱間圧延鋼板及び冷間圧延鋼板には、熱間圧延及び冷間圧延されたままのもの以外にも、通常の条件で調質圧延を施した鋼板も含まれる。

[0085] 本実施形態に係る熱間圧延工程では、以上のようにして、熱間圧延鋼板が製造される。製造された熱間圧延鋼板、又は、熱間圧延工程後に冷間圧延が施された鋼板に対して、更に、以下で詳述するような2つの焼鈍工程により、特定の焼鈍処理を施すとともに、以下で詳述するような冷却工程により、特定の冷却処理を施すことで、本実施形態に係る浸炭用鋼板を得ることができる。

[0086] <第一焼鈍工程について>

以下で詳述する第一焼鈍工程は、上記の熱間圧延工程により得られた熱間圧延鋼板、又は、熱間圧延工程後に冷間圧延が施された鋼板に対して、加熱温度が $A_{c1}$ 点以下となる特定の熱処理条件に則して、一段目の焼鈍処理（球状化焼鈍処理）を施す工程である。

[0087] より詳細には、本実施形態に係る第一焼鈍工程では、上記のようにして得られた熱間圧延鋼板、又は、熱間圧延工程後に冷間圧延が施された鋼板を、窒素濃度を体積分率で25%未満に制御した焼鈍雰囲気にて、 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以上 $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以下の平均加熱速度で、下記式（101）で定義される $A_{c1}$ 点以下の温度域まで加熱し、 $A_{c1}$ 点以下の温度域で1h以上100h以下保持する。

ここで、下記式（101）において、 $[X]$ との表記は、元素Xの含有量（単位：質量%）を表し、該当する元素を含有しない場合はゼロを代入する

ものとする。

[0088] [数2]

$$A_{c_1} = 750.8 - 26.6[C] + 17.6[Si] - 11.6[Mn] - 22.9[Cu] - 23[Ni] + 24.1[Cr] \\ + 22.5[Mo] - 39.7[V] - 5.7[Ti] + 232.4[Nb] - 169.4[Al] - 894.7[B] \\ \dots \text{式 (101)}$$

[0089] [焼鈍雰囲気：窒素濃度を体積分率で25%未満に制御した雰囲気]

上記のような第一焼鈍工程において、焼鈍雰囲気は、窒素濃度を体積分率で25%未満に制御した雰囲気とする。窒素濃度が体積分率で25%以上となる場合には、鋼板中に粗大な炭窒化物が形成し、均一伸びの劣化を招くため、好ましくない。かかる窒素濃度は、低ければ低いほど望ましい。ただし、窒素濃度を体積分率で1%以下に制御することは、コスト上不利であるため、体積分率1%が実質的な下限となる。

[0090] 雰囲気ガスは、例えば、窒素、水素等のガス、又は、アルゴン等の不活性ガスの中から少なくとも一種を適宜選択し、焼鈍工程に用いる加熱炉内の窒素濃度が所望の濃度となるように、上記の各種ガスを用いればよい。また、少量であれば、雰囲気ガスに酸素等のガスが含まれても問題ない。また、雰囲気ガスは、水素濃度が高いほど好ましく、例えば水素濃度を60%以上とすることにより、焼鈍装置内の熱伝導性を高めることができ、製造コストを削減することができる。より具体的には、焼鈍雰囲気として、水素濃度を体積分率で95%以上とし、残部を窒素としてもよい。加熱炉内の雰囲気ガスは、例えば、上述したガスを導入しつつ加熱炉内のガス濃度を適宜計測することにより、制御することが可能である。

[0091] [平均加熱速度：1℃/h以上100℃/h以下]

本実施形態に係る第一焼鈍工程では、平均加熱速度を、1℃/h以上100℃/h以下として、上記式(101)で定める $A_{c_1}$ 点以下の温度域まで加熱する必要がある。平均加熱速度が1℃/h未満である場合には、炭化物の粗大化が助長されてしまい、炭化物の平均円相当直径が5.0μmを超えて

、均一伸びが劣化する。第一焼鈍工程における平均加熱速度は、好ましくは $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以上である。一方、平均加熱速度が $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ を超える場合には、炭化物の球状化が十分に促進されずに、全炭化物のうちアスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合を10%以上に制御することが困難となる。第一焼鈍工程における平均加熱速度は、好ましくは、 $90^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以下である。

[0092] [加熱温度： $A_{c_1}$ 点以下]

また、上記のように、本実施形態に係る第一焼鈍工程における加熱温度は、上記式(101)で定める $A_{c_1}$ 点以下とする必要がある。加熱温度が $A_{c_1}$ 点を超える場合には、炭化物の球状化が十分に促進されずに、全炭化物のうちアスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合を10%以上に制御することが困難となる。なお、第一焼鈍工程における加熱温度の温度域の下限は、特に規定するものではない。ただし、加熱温度の温度域が $600^{\circ}\text{C}$ 未満であると、第一焼鈍処理における保持時間が長くなり、製造コストが不利になる。そのため、加熱温度の温度域は、 $600^{\circ}\text{C}$ 以上とすることが好ましい。炭化物の状態をより適切に制御するために、本実施形態に係る第一焼鈍工程における加熱温度の温度域は、 $630^{\circ}\text{C}$ 以上とすることがより好ましい。また、炭化物の状態をより適切に制御するために、本実施形態に係る第一焼鈍工程における加熱温度の温度域は、 $670^{\circ}\text{C}$ 以下とすることがより好ましい。

[0093] [保持時間： $A_{c_1}$ 点以下の温度域で1h以上100h以下]

本実施形態に係る第一焼鈍工程において、上記のような $A_{c_1}$ 点以下（好ましくは、 $600^{\circ}\text{C}$ 以上 $A_{c_1}$ 点以下）の温度域を、1h以上100h以下保持する必要がある。保持時間が1h未満である場合には、炭化物の球状化が十分に促進されずに、全炭化物のうちアスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合を10%以上に制御することが困難となる。本実施形態に係る第一焼鈍工程における $A_{c_1}$ 点以下（好ましくは、 $600^{\circ}\text{C}$ 以上 $A_{c_1}$ 点以下）の温度域の保持時間は、好ましくは10h以上である。一方、 $A_{c_1}$ 点以下（

好ましくは、 $600^{\circ}\text{C}$ 以上 $A_{c_1}$ 点以下)の温度域の保持時間が $100\text{h}$ を超える場合には、炭化物の粗大化が助長されてしまい、炭化物の平均円相当直径が $5.0\mu\text{m}$ を超えて、均一伸びが劣化する。本実施形態に係る第一焼鈍工程における $A_{c_1}$ 点以下(好ましくは、 $600^{\circ}\text{C}$ 以上 $A_{c_1}$ 点以下)の温度域の保持時間は、好ましくは、 $90\text{h}$ 以下である。

[0094] 以上説明したような第一焼鈍工程に続いて、以下で詳述する第二焼鈍工程が実施される。ここで、第一焼鈍工程と、第二焼鈍工程と、の間の時間間隔は、なるべく短くすることが好ましく、隣り合うように設けられた2つの加熱炉を使用するなどして、第一焼鈍工程及び第二焼鈍工程を連続して行うことが、より好ましい。

[0095] <第二焼鈍工程について>

以下で詳述する第二焼鈍工程は、上記の第一焼鈍工程を経た鋼板に対し、加熱温度が $A_{c_1}$ 点超となる特定の熱処理条件に則して、二段目の焼鈍処理(球状化焼鈍処理)を施す工程である。

[0096] より詳細には、本実施形態に係る第二焼鈍工程は、上記のような第一焼鈍工程を経た鋼板を、 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以上 $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以下の平均加熱速度で、上記式(101)で定義される $A_{c_1}$ 点超 $790^{\circ}\text{C}$ 以下の温度域まで加熱し、 $A_{c_1}$ 点超 $790^{\circ}\text{C}$ 以下の温度域で $1\text{h}$ 以上 $100\text{h}$ 以下保持する工程である。ここで、第二焼鈍工程における焼鈍雰囲気の状態は、第一焼鈍工程における焼鈍雰囲気と同じ条件とすればよい。

[0097] [平均加熱速度： $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以上 $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以下]

本実施形態に係る第二焼鈍工程では、平均加熱速度を、 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以上 $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以下として、上記式(101)で定める $A_{c_1}$ 点超 $790^{\circ}\text{C}$ 以下の温度域まで加熱する必要がある。平均加熱速度が $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 未満である場合には、炭化物の粗大化が助長されてしまい、炭化物の平均円相当直径が $5.0\mu\text{m}$ を超えて、均一伸びが劣化する。第二焼鈍工程における平均加熱速度は、好ましくは $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以上である。一方、平均加熱速度が $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ を超える場合には、炭化物の球状化が十分に促進されずに、全炭化物のうちアスペ

クト比が2.0以下である炭化物の個数割合を10%以上に制御することが困難となる。第二焼鈍工程における平均加熱速度は、好ましくは、90℃/h以下である。

[0098] [加熱温度：Ac<sub>1</sub>点超790℃以下]

また、上記のように、本実施形態に係る第二焼鈍工程における加熱温度は、上記式(101)で定めるAc<sub>1</sub>点超790℃以下である必要がある。加熱温度がAc<sub>1</sub>点以下である場合には、炭化物の溶解が十分進まずに、1000μm<sup>2</sup>あたりの炭化物の個数を100個以下に制限することができなくなる。ここで、第二焼鈍工程における加熱温度は、より高い方が炭化物の溶解は促進されるものの、第二焼鈍工程における加熱温度が790℃を超える場合には、第一焼鈍工程において球状化させた炭化物が溶解してしまい、全炭化物のうちアスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合を10%以上に制御することが難しくなる。従って、本実施形態に係る第二焼鈍工程において、加熱温度は、790℃以下とする。第二焼鈍工程における加熱温度は、好ましくは780℃以下である。

[0099] [保持時間：Ac<sub>1</sub>点超790℃以下の温度域で1h以上100h以下]

本実施形態に係る第二焼鈍工程において、上記のようなAc<sub>1</sub>点超790℃以下の温度域を、1h以上100h以下保持する必要がある。保持時間が1h未満である場合には、炭化物の溶解が十分進まずに、1000μm<sup>2</sup>あたりの炭化物の個数を100個以下に制限することができなくなる。Ac<sub>1</sub>点超790℃以下の温度域の保持時間は、好ましくは10h以上である。一方、Ac<sub>1</sub>点超790℃以下の温度域の保持時間が100hを超える場合には、炭化物の粗大化が助長されてしまい、炭化物の平均円相当直径が5.0μmを超えて、均一伸びが劣化する。Ac<sub>1</sub>点超790℃以下の温度域の保持時間は、好ましくは、90h以下である。

[0100] <冷却工程について>

以下で詳述する冷却工程は、第二焼鈍工程の焼鈍後の鋼板を、特定の冷却条件に則して冷却する工程である。

[0101] より詳細には、本実施形態に係る冷却工程では、第二焼鈍工程での焼鈍後の鋼板に対して、第二焼鈍工程での焼鈍終了時の温度から550℃までの温度域における平均冷却速度を1℃/h以上100℃/h以下とする冷却を施す。

[0102] [冷却条件：1℃/h以上100℃/h以下の平均冷却速度で550℃以下まで冷却]

本実施形態に係る冷却工程では、第二焼鈍工程における保持終了後の鋼板を、1℃/h以上100℃/h以下の平均冷却速度で550℃以下まで冷却する。平均冷却速度が1℃/h未満である場合には、炭化物の粗大化が助長されてしまい、炭化物の平均円相当直径が5.0μmを超えて、均一伸びが劣化する。平均冷却速度は、好ましくは5℃/h以上である。一方、平均冷却速度が100℃/hを超える場合には、炭化物の溶解が十分進まずに、1000μm<sup>2</sup>あたりの炭化物の個数を100個以下に制限することができなくなる。平均冷却速度は、好ましくは90℃/h以下である。

[0103] また、冷却停止温度が550℃を超える場合には、炭化物の粗大化が助長されてしまい、炭化物の平均円相当直径が5.0μmを超えて、均一伸びが劣化する。従って、本実施形態に係る冷却工程において、冷却停止温度は、550℃以下とする。冷却停止温度は、好ましくは500℃である。なお、冷却停止温度の下限は、特に規定するものではない。ただし、室温以下まで冷却することは、実作業上困難であるため、室温が実質的な下限となる。また、550℃未満の温度域における平均冷却速度は、特に規定するものではなく、任意の平均冷却速度で冷却を施せばよい。

[0104] 以上、本実施形態に係る第一焼鈍工程、第二焼鈍工程及び冷却工程について、詳細に説明した。

以上説明したような熱間圧延工程、第一焼鈍工程、第二焼鈍工程及び冷却工程を実施することで、先だって説明したような、本実施形態に係る浸炭用鋼板を製造することができる。

[0105] なお、以上説明したような熱間圧延工程の後、第一焼鈍工程を実施する前

に、熱間圧延後の鋼板に対して、保持工程の一例としてのクラスター化処理を施すことが好ましい。クラスター化処理は、フェライト結晶粒内に固溶する炭素の凝集体（クラスター）を形成させるための処理である。かかる炭素の凝集体（クラスター）は、フェライトの結晶粒内において数原子の炭素が凝集したものであり、炭化物の前駆体として機能する。かかるクラスター化処理は、熱間圧延後の鋼板を、例えば、大気中、40℃以上70℃以下の温度域で、72h以上350h以下保持することで行われる。このような炭素の凝集体を形成させることで、後段の焼鈍工程において炭化物の形成がより促進される。その結果、焼鈍後の鋼板において転移の易動度をより向上させて、焼鈍後の鋼板の成形性をより向上させることができる。

[0106] かかるクラスター化処理において、保持温度が40℃未満である場合、又は、保持時間が72h未満である場合には、炭素の拡散が起こりにくいため、クラスター化が促進されない可能性がある。一方、保持温度が70℃を超える場合、又は、保持時間が350hを超える場合には、クラスター化が促進され過ぎて凝集状態から炭化物への遷移が起こりやすくなり、第一焼鈍工程及び第二焼鈍工程において炭化物のサイズが大きくなりすぎて、成形性が低下する可能性が高くなる。

[0107] また、以上のようにして得られた浸炭用鋼板に対して、例えば、後工程として冷間加工が施され得る。また、冷間加工された上記の浸炭用鋼板に対しては、例えば、炭素ポテンシャルが0.4～1.0質量%の範囲で、浸炭熱処理が施され得る。浸炭熱処理の条件は、特に限定されるものではなく、所望の特性が得られるように適宜調整することが可能である。例えば、浸炭用鋼板をオーステナイト単相域温度まで加熱し、浸炭処理した後、そのまま室温まで冷却してもよいし、一旦室温まで冷却した後に、再加熱し、急速冷却してもよい。更に、強度の調整を目的として、部材の全て又は一部に対して、焼き戻し処理を施してもよい。また、防錆効果を得ることを目的として、鋼板表面にめっきを施してもよいし、疲労特性の向上を目的として、鋼板表面にショットピーニングを施してもよい。

## 実施例

[0108] 次に、本発明の実施例について説明する。なお、実施例での条件は、本発明の実施可能性及び効果を確認するために採用した一条件例であり、本発明は、この一条件例に限定されるものではない。本発明は、本発明の要旨を逸脱せず、本発明の目的を達成する限りにおいて、種々の条件を採用し得るものである。

[0109] (試験例1)

以下の表1に示す化学組成を有する鋼材を、以下の表2に示す条件で熱間圧延（及び冷間圧延）した後、焼鈍を施して、浸炭用鋼板を得た。本試験例では、熱間圧延工程と第一焼鈍工程との間で、上記のクラスター化処理は実施しなかった。なお、以下の表1及び表2において、下線は、本発明の範囲外であることを示す。また、以下の表2に示した「冷却工程」における「平均冷却速度」は、第二焼鈍終了時の温度から550℃までの温度域における平均冷却速度である。

[0110]

[表1-1]

母材鋼板の化学成分 (mass%, 残部はFe及び不純物である。)

No.	C	Si	Mn	P	S	solAl	N	Ti	Cr	Mo	Ni	Cu	Co	Nb	V	B	Sn	W	Ca	REM	Ac <sub>1</sub> (°C)	備考
1	0.03	0.010	0.17	0.014	0.0036	0.0130	0.0050	0.019	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	746	
2	0.07	0.007	0.40	0.017	0.0055	0.0150	0.0046	0.043	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	742	
3	0.15	0.010	0.68	0.012	0.0042	0.0110	0.0057	0.011	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	738	
4	0.06	0.100	1.58	0.013	0.0016	0.0570	0.0034	0.075	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	723	
5	0.23	0.050	2.50	0.008	0.0120	0.0320	0.0100	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	711	比較鋼
6	0.25	0.260	0.46	0.007	0.0052	0.0290	0.0162	0.011	1.089	0.610	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	776	
7	0.01	0.010	0.58	0.018	0.0050	0.0180	0.0040	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	741	比較鋼
8	0.08	0.020	0.65	0.015	0.0042	0.0130	0.0051	0.073	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	739	
9	0.16	0.020	0.62	0.017	0.0051	0.0130	0.0039	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	737	
10	0.28	0.030	0.63	0.015	0.0060	0.0140	0.0045	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	734	
11	0.39	0.020	0.49	0.015	0.0059	0.0130	0.0042	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	733	比較鋼
12	0.08	0.001	0.58	0.014	0.0050	0.0140	0.0041	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	740	比較鋼
13	0.05	1.220	0.48	0.019	0.0053	0.0160	0.0046	0.073	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	762	比較鋼
14	0.05	0.030	3.43	0.016	0.0054	0.0120	0.0043	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	708	比較鋼
15	0.08	0.010	0.008	0.016	0.0046	0.0130	0.0046	0.077	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	746	比較鋼
16	0.08	0.030	0.39	0.018	0.0041	0.0110	0.0049	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	743	比較鋼
17	0.08	0.030	0.39	0.018	0.0041	0.0110	0.0049	0.195	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	742	比較鋼
18	0.07	0.010	0.38	0.016	0.0054	0.0190	0.0044	0.057	1.210	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	770	
19	0.06	0.020	0.38	0.017	0.0049	0.0130	0.0044	0.027	0.000	0.620	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	757	
20	0.09	0.020	0.39	0.019	0.0059	0.0170	0.0044	0.049	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	741	
21	0.08	0.010	0.55	0.016	0.0055	0.0110	0.0046	0.025	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	740	
22	0.08	0.030	0.37	0.017	0.0051	0.0120	0.0048	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.610	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	743	
23	0.07	0.020	0.45	0.018	0.0046	0.0110	0.0047	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	749	
24	0.08	0.010	0.36	0.015	0.0052	0.0140	0.0041	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0310	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	741	
25	0.06	0.030	0.37	0.018	0.0053	0.0130	0.0048	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	742	
26	0.07	0.020	0.57	0.014	0.0048	0.0160	0.0043	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.1900	0.0000	0.0000	0.0000	740	
27	0.08	0.020	0.46	0.016	0.0051	0.0180	0.0050	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	741	
28	0.08	0.020	0.44	0.017	0.0056	0.0150	0.0039	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	741	
29	0.07	0.030	0.49	0.015	0.0051	0.0140	0.0051	0.076	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0300	741	



[0112] [表2-1]

No.	鋼No.	熱間圧延			冷間圧延 冷間 圧延率 (%)	焼鈍雰囲気 の窒素濃度 (%)	第一焼鈍工程			第二焼鈍工程			冷却工程		備考		
		仕上 圧延温度 (°C)	平均 冷却速度 (°C/s)	巻取り温度 (°C)			平均 加熱速度 (°C/h)	加熱温度 (°C)	保持時間 (h)	平均 加熱速度 (°C/h)	加熱温度 (°C)	保持時間 (h)	平均 冷却速度 (°C/h)	板厚 (mm)			
1	1	905	81	545	—	7	31	655	33	751	33	31	751	33	34	5.3	実施例
2	2	842	94	584	—	6	15	656	20	753	20	15	753	20	17	5.3	実施例
3	3	852	90	555	—	6	26	638	48	749	48	26	749	48	34	5.3	実施例
4	4	841	86	565	—	4	30	646	37	736	37	30	736	37	36	4.3	実施例
5	5	872	93	570	—	6	11	654	0	755	4	11	755	4	54	5.2	比較例
6	6	890	45	510	—	5	99	705	36	760	10	5	760	10	10	5.2	比較例
7	7	857	71	520	—	2	20	658	43	768	43	20	768	43	40	5.0	比較例
8	8	846	78	678	—	6	44	658	71	777	71	44	777	71	29	5.1	実施例
9	9	837	83	641	—	7	32	644	84	750	84	32	750	84	33	5.4	実施例
10	10	896	74	615	—	5	31	641	79	772	79	31	772	79	21	5.0	実施例
11	11	848	96	608	—	6	21	641	68	762	68	21	762	68	29	4.7	比較例
12	12	852	87	596	—	5	44	658	63	768	63	44	768	63	28	5.5	比較例
13	13	865	79	630	—	7	35	676	30	760	30	35	760	30	40	4.3	比較例
14	14	905	91	535	—	3	38	615	20	764	20	38	764	20	44	4.2	比較例
15	15	886	101	628	—	6	24	680	47	756	47	24	756	47	26	4.8	比較例
16	16	855	82	618	—	6	24	652	30	762	30	24	762	30	32	4.8	比較例
17	17	855	82	618	—	6	24	652	30	762	30	24	762	30	32	4.8	比較例
18	18	846	91	575	—	4	33	678	80	776	80	33	776	80	34	3.9	実施例
19	19	881	90	573	—	5	15	667	83	767	83	15	767	83	40	5.3	実施例
20	20	847	76	660	—	6	26	606	63	764	63	26	764	63	28	4.2	実施例
21	21	844	89	658	—	4	15	636	21	776	21	15	776	21	21	5.1	実施例
22	22	869	86	677	—	5	20	648	79	752	79	20	752	79	23	3.9	実施例
23	23	866	75	621	—	2	28	674	33	769	33	28	769	33	16	4.4	実施例
24	24	891	100	593	—	5	28	646	29	779	29	28	779	29	36	5.0	実施例
25	25	838	84	604	—	5	22	656	85	756	85	22	756	85	31	5.5	実施例
26	26	847	75	550	—	4	24	653	59	774	59	24	774	59	43	5.1	実施例
27	27	835	87	566	—	4	35	650	56	773	56	35	773	56	35	5.2	実施例
28	28	860	78	541	—	3	31	653	19	778	19	31	778	19	39	4.3	実施例
29	29	898	87	558	—	4	43	661	60	775	60	43	775	60	31	5.4	実施例
30	30	847	96	572	—	8	31	656	57	763	57	41	763	57	29	5.1	実施例
31	31	847	94	591	—	6	28	660	56	784	56	44	784	56	34	5.5	実施例
32	32	840	94	598	—	5	30	650	57	755	57	26	755	57	40	5.4	実施例
33	33	832	102	567	—	10	12	661	54	750	54	21	750	54	44	5.3	実施例
34	34	835	90	583	—	6	33	667	54	770	54	12	770	54	43	5.4	実施例

表 2-1

[0113] [表2-2]

No.	鋼No.	熱間圧延		冷間圧延	焼鈍雰囲気中の窒素濃度 (%)	第一焼鈍工程			第二焼鈍工程			冷却工程 平均冷却速度 (°C/h)	備考	
		仕上圧延温度 (°C)	平均冷却速度 (°C/s)			巻取り温度 (°C)	冷間圧延率 (%)	平均加熱速度 (°C/h)	加熱温度 (°C)	保持時間 (h)	平均加熱速度 (°C/h)			加熱温度 (°C)
35	35	833	92	580	-	10	42	649	55	32	750	45	14	実施例
36	36	839	94	585	-	6	36	560	60	25	733	33	54	実施例
37	37	841	97	602	-	10	38	658	47	38	762	34	53	実施例
38	38	843	85	604	-	7	18	657	42	30	762	45	16	実施例
39	39	844	103	583	-	5	42	667	46	34	751	35	53	実施例
40	40	837	90	586	-	6	11	661	55	39	751	29	40	実施例
41	41	832	90	580	-	8	25	668	46	38	785	27	20	実施例
42	42	848	103	565	-	4	29	650	46	30	752	23	49	実施例
43	43	851	94	594	-	10	35	662	53	32	770	36	40	実施例
44	44	851	97	581	-	5	28	671	58	21	767	17	44	実施例
45	45	851	88	595	-	9	39	673	40	18	758	24	50	実施例
46	46	838	104	600	-	6	18	668	56	14	756	49	24	実施例
47	47	837	102	565	-	6	32	669	57	43	744	27	44	実施例
48	48	850	92	579	-	5	30	673	56	42	749	29	54	実施例
49	49	850	87	577	-	4	27	658	58	19	768	27	16	実施例
50	50	835	85	602	-	10	21	663	43	18	771	33	31	実施例
51	51	845	100	566	-	6	18	664	51	15	785	20	39	実施例
52	52	851	91	567	-	9	42	671	42	36	758	34	43	実施例
53	53	832	92	567	-	7	13	659	55	25	764	33	44	実施例
54	54	851	97	577	-	9	38	676	58	42	746	23	39	実施例
55	55	846	84	578	-	4	44	659	58	35	755	31	29	実施例
56	56	838	96	591	-	6	44	674	49	25	749	48	21	実施例
57	57	852	87	591	-	10	22	650	51	38	750	26	53	実施例
58	58	841	86	566	-	5	16	666	40	31	752	24	42	実施例
59	2	941	82	597	-	7	42	671	26	42	766	26	44	比較例
60	2	881	75	621	-	4	34	663	51	34	756	51	15	実施例
61	2	782	105	574	-	6	29	652	45	29	751	45	30	比較例
62	2	888	281	607	-	4	29	652	45	29	752	45	30	比較例
63	2	871	152	645	-	4	29	652	45	29	762	45	30	実施例
64	2	865	76	655	-	3	29	652	45	29	750	45	30	実施例
65	2	898	42	574	-	3	29	652	45	29	755	45	30	比較例
66	2	904	102	761	-	6	23	657	61	23	760	61	42	比較例
67	2	874	89	542	-	2	24	653	22	24	754	22	32	実施例

[0114] [表2-3]

表 2-3

No.	鋼No.	熱間圧延			冷間圧延	焼鈍雰囲気中の窒素濃度 (%)	第一焼鈍工程			第二焼鈍工程			冷却工程		備考
		仕上圧延温度 (°C)	平均冷却速度 (°C/s)	巻取り温度 (°C)			圧延率 (%)	平均加熱速度 (°C/h)	加熱温度 (°C)	保持時間 (h)	平均加熱速度 (°C/h)	加熱温度 (°C)	保持時間 (h)	平均冷却速度 (°C/h)	
68	2	884	98	636	51	6	34	651	50	34	755	50	25	2.8	実施例
69	2	874	80	520	-	7.6	29	654	37	29	775	37	27	4.3	比較例
70	2	882	93	561	-	5	40	670	45	40	757	45	22	4.4	実施例
71	2	879	79	616	-	6	124	656	75	33	765	75	33	4.6	比較例
72	2	900	101	643	-	2	33	654	80	21	754	80	20	3.9	実施例
73	2	862	85	673	-	2	0.5	668	70	31	758	70	41	4.6	比較例
74	2	864	71	554	-	5	19	771	56	19	772	56	34	4.5	比較例
75	2	860	75	570	-	6	42	681	74	42	767	74	18	4.2	実施例
76	2	889	76	555	-	4	35	670	151	35	769	35	31	5.5	比較例
77	2	870	83	562	-	2	24	661	67	24	753	67	31	5.2	実施例
78	2	882	82	686	-	4	23	654	0.1	23	776	31	27	5.4	比較例
79	2	858	76	685	-	2	25	666	75	15.5	771	75	33	4.6	比較例
80	2	837	86	565	-	6	21	654	80	36	772	80	20	3.9	実施例
81	2	852	101	669	-	4	2	665	70	0.3	753	70	41	4.6	比較例
82	2	877	77	546	-	7	19	654	56	19	815	56	34	4.5	比較例
83	2	904	86	597	-	5	42	652	74	42	764	74	18	4.2	実施例
84	2	904	86	597	-	5	42	652	74	6	658	74	18	4.2	比較例
85	2	889	72	674	-	6	32	614	68	32	758	68	22	4.5	実施例
86	2	881	91	588	-	2	35	670	55	35	758	166	31	5.5	比較例
87	2	904	82	635	-	5	24	661	67	24	756	67	31	5.2	実施例
88	2	904	78	535	-	3	23	654	51	23	776	0.4	27	5.4	比較例
89	2	894	102	681	-	2	32	652	82	32	765	82	147	4.4	比較例
90	2	881	83	629	-	4	20	655	44	20	762	44	34	4.6	実施例
91	2	869	84	642	-	6	19	666	37	19	755	37	0.8	5.2	比較例
92	2	880	83	623	-	5	18	655	45	20	755	36	38	4.6	実施例
93	2	858	70	567	-	7	46	730	66	50	776	76	28	4.3	実施例
94	2	874	88	558	-	2	15	644	89	38	763	58	40	5.4	実施例
95	2	874	81	569	-	2	21	658	4	27	756	63	35	5.3	実施例
96	2	905	83	590	-	7	41	645	76	41	785	78	17	4.4	実施例
97	2	901	85	607	-	7	35	645	69	61	749	74	25	4.2	実施例
98	2	903	82	639	-	6	17	659	61	40	760	92	26	5.1	実施例
99	2	905	80	636	-	6	30	661	58	23	746	3	26	5.0	実施例
100	2	860	69	579	-	7	44	659	69	45	778	72	94	4.2	実施例

[0115] 得られた浸炭用鋼板のそれぞれについて、(1)炭化物の個数密度、(2)全炭化物のうちアスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合、(3)炭化物の平均円相当直径、及び、(4)フェライトの平均結晶粒径について、先だって説明した方法により測定した。

[0116] また、得られたそれぞれの浸炭用鋼板の均一伸び及び局部伸びを評価するために、引張試験を実施した。引張試験は、鋼板の表裏面を同量ずつ研削して、板厚を2mmとした後、JIS Z 2201に記載の5号試験片を作製し、JIS Z 2241に記載の試験方法に従って実施し、引張強度、均一伸び、局部伸びを測定した。なお、降伏点伸び発生した場合は、均一伸びから降伏点伸びを差し引いた数値を、均一伸びとした。

[0117] また、参考として、浸炭後の焼入れ性を表す指標である理想臨界直径を算出した。理想臨界直径 $D_i$ は、鋼板の成分から算出される指標であり、Grossmann/Hollomon, Jaffeの方法を用いて以下の式(201)に従って算出することができる。理想臨界直径 $D_i$ の値が大きいほど、焼入れ性に優れることを示す。

[0118] [数3]

$$D_i = (6.77 \times [C]^{0.5}) \times (1 + 0.64 \times [Si]) \times (1 + 4.1 \times [Mn]) \times (1 + 2.83 \times [P]) \times (1 - 0.62 \times [S]) \\ \times (1 + 0.27 \times [Cu]) \times (1 + 0.52 \times [Ni]) \times (1 + 2.33 \times [Cr]) \times (1 + 3.14 \times [Mo]) \times X$$

$$[B] = 0 \text{ の場合 : } X = 1$$

$$[B] > 0 \text{ の場合 : } X = 1 + 1.5 \times (0.9 - [C])$$

・・・式(201)

[0119] 本試験例では、浸炭用鋼板の引張強度×均一伸び(MPa・%)が6500以上であり、かつ、引張強度×局部伸び(MPa・%)が7000以上である場合を、延性に優れるとして、「実施例」とした。

[0120] 以下の表3に、得られたそれぞれの浸炭用鋼板のミクロ組織及び特性を、まとめて示した。

[0121]

[表3-1]

No.	No.	マイクロ組織					機械的特性					焼入れ性 理想境界 直径(-)	備考
		鋼板1000 $\mu\text{m}^2$ あたりの 炭化物の個数 (個)	アスペクト比2.0以下の 炭化物の個数割合(%)	炭化物の 平均円相当直径 ( $\mu\text{m}$ )	フェライトの 平均結晶粒径 ( $\mu\text{m}$ )	引張強度 (MPa)	均一伸び (%)	局部伸び (%)	引張強度 $\times$ 均一伸び (MPa%)	引張強度 $\times$ 局部伸び (MPa%)			
1	1	32	33	2.4	5.1	330	21	22	7167	8142	5.2	実施例	
2	2	76	40	1.8	5.1	330	21	25	7115	7680	11.7	実施例	
3	3	78	44	1.9	6.5	365	20	23	6711	7211	22.9	実施例	
4	4	83	40	0.9	5.8	395	19	21	7431	7780	32.3	実施例	
5	5	145	73	0.6	40.0	652	8	8	4891	5019	36.3	比較例	
6	6	76	22	0.9	19.3	390	17	13	6736	5180	235.9	比較例	
7	7	21	37	1.6	5.1	251	30	16	7507	4109	2.4	比較例	
8	8	65	36	2.0	4.5	341	22	25	7537	8370	7.4	実施例	
9	9	77	30	0.9	4.6	379	18	19	6694	7154	10.1	実施例	
10	10	91	24	2.5	8.7	571	12	13	6914	7491	13.6	実施例	
11	11	95	29	6.9	5.0	691	7	10	4519	7034	13.4	比較例	
12	12	129	42	1.1	6.9	332	12	24	4125	7964	6.7	比較例	
13	13	61	20	12.5	5.9	351	11	22	3965	7872	8.4	比較例	
14	14	154	23	0.8	9.1	353	13	22	4682	7916	24.2	比較例	
15	15	64	36	16.2	6.5	356	10	22	3478	7803	2.1	比較例	
16	16	62	21	2.5	17.2	356	21	16	7592	5542	5.3	比較例	
17	17	62	21	7.8	5.9	356	16	21	5873	7528	5.3	比較例	
18	18	77	37	2.5	9.0	368	20	21	7432	7683	18.3	実施例	
19	19	74	35	0.6	7.0	389	20	22	7724	8459	13.2	実施例	
20	20	77	42	1.7	7.9	344	20	24	7040	8201	5.7	実施例	
21	21	78	33	0.9	8.6	332	24	23	7817	7638	6.6	実施例	
22	22	66	34	1.2	6.4	330	22	24	7184	7794	5.1	実施例	
23	23	66	43	1.9	4.5	387	19	20	7177	7642	5.4	実施例	
24	24	77	38	1.4	5.9	353	22	22	7790	7643	5.0	実施例	
25	25	75	21	2.3	5.8	391	20	22	7986	8490	10.1	実施例	
26	26	74	33	1.7	9.5	372	21	21	7905	7952	6.3	実施例	
27	27	61	20	0.8	6.1	393	19	21	7404	8320	5.8	実施例	
28	28	80	45	0.8	6.9	340	22	23	7632	7801	5.7	実施例	
29	29	63	33	1.4	9.3	367	22	22	7898	7948	5.7	実施例	
30	30	98	42	1.4	5.5	394	17	20	6898	7900	4.8	実施例	
31	31	80	38	1.9	4.6	386	23	19	8801	7334	2.2	実施例	
32	32	96	45	1.4	5.5	391	17	25	6647	9795	24.4	実施例	
33	33	79	34	1.9	5.0	409	18	18	7280	7362	7.5	実施例	
34	34	72	43	1.5	5.0	379	20	19	7504	7201	5.1	実施例	

表 3-1

[0122] [表3-2]

No.	鋼No.	ミクロ組織				機械的特性				焼入れ性 理論臨界 直径(-)	備考	
		鋼板1000 $\mu\text{m}^2$ あたりの 炭化物の個数 (個)	アスペクト比2.0以下の 炭化物の個数割合(%)	炭化物の 平均相当直径 ( $\mu\text{m}$ )	フェライトの 平均結晶粒径 ( $\mu\text{m}$ )	引張強度 (MPa)	均一伸び (%)	局部伸び (%)	引張強度 $\times$ 均一伸び (MPa $\cdot$ %)			引張強度 $\times$ 局部伸び (MPa $\cdot$ %)
35	35	75	40	2.1	5.6	359	24	20	8544	7180	6.1	実施例
36	36	72	39	1.8	4.6	383	17	23	6511	8828	6.5	実施例
37	37	79	30	2.1	5.6	384	21	27	7987	10368	5.0	実施例
38	38	74	44	1.6	4.7	394	22	18	8589	7092	6.1	実施例
39	39	80	44	2.0	4.6	391	19	18	7351	7038	7.3	実施例
40	40	79	37	1.9	5.0	393	24	19	9353	7467	5.4	実施例
41	41	77	45	1.6	5.0	414	21	18	8611	7452	57.2	実施例
42	42	77	41	1.8	4.8	398	20	20	7880	7960	5.3	実施例
43	43	80	42	2.0	5.0	410	18	19	7298	7790	8.2	実施例
44	44	80	30	1.9	4.7	369	18	21	6568	7749	5.9	実施例
45	45	77	30	1.6	5.5	396	22	19	8633	7524	10.7	実施例
46	46	72	34	2.0	5.5	384	19	22	7219	8448	5.2	実施例
47	47	76	40	1.6	5.1	389	21	20	8091	7780	5.0	実施例
48	48	79	37	2.2	4.8	392	24	21	9330	8232	5.8	実施例
49	49	79	33	1.5	5.2	400	20	19	7920	7600	4.7	実施例
50	50	75	39	1.8	5.6	399	19	21	7501	8379	4.8	実施例
51	51	73	35	1.8	5.5	380	20	20	7524	7600	6.2	実施例
52	52	80	45	2.0	5.4	371	21	22	7717	8162	4.7	実施例
53	53	75	42	2.2	5.6	384	18	19	6835	7296	5.7	実施例
54	54	76	45	2.2	5.3	388	25	19	9700	7391	11.8	実施例
55	55	78	41	1.5	4.7	403	18	18	7173	7254	4.9	実施例
56	56	74	36	2.1	4.8	387	21	19	8050	7353	5.2	実施例
57	57	72	40	1.4	5.1	382	22	19	8328	7258	5.2	実施例
58	58	74	33	2.2	5.3	405	21	19	8424	7695	4.8	実施例
59	2	80	36	1.7	14.6	338	21	19	7239	6436	11.7	比較例
60	2	61	37	1.2	6.0	392	18	21	7164	8193	11.7	比較例
61	2	64	35	6.6	6.9	384	15	20	5897	7549	11.7	比較例
62	2	69	31	1.9	12.9	396	18	17	7245	6542	11.7	比較例
63	2	67	28	2.5	7.1	363	20	21	7246	7737	11.7	比較例
64	2	66	30	1.2	7.6	392	19	21	7556	8048	11.7	比較例
65	2	62	44	1.7	11.9	402	19	17	7651	6694	11.7	比較例
66	2	71	4	2.1	4.9	352	17	23	6142	8000	11.7	比較例
67	2	80	29	0.7	7.7	366	22	21	7877	754	11.7	比較例

表 3-2

[0123] [表3-3]

表 3-3

No.	鋼No.	ミクロ組織					機械的特性					焼入れ性 理想臨界 直径(μ)	備考
		鋼板 1000 μm <sup>2</sup> あたりの 炭化物の個数 (個)	アスペクト比2.0以下の 炭化物の個数割合(%)	炭化物の 平均円相当直径 (μm)	フェライトの 平均結晶粒径 (μm)	引張強度 (MPa)	均一伸び (%)	局部伸び (%)	引張強度×均一伸び (MPa·%)	引張強度×局部伸び (MPa·%)			
68	2	75	43	2.1	8.0	370	21	21	7612	7644	11.7	実施例	
69	2	72	42	1.4	8.9	390	15	21	5971	8333	11.7	比較例	
70	2	66	41	2.2	4.7	333	22	25	7380	8230	11.7	実施例	
71	2	65	2	1.6	7.5	357	12	22	4456	7862	11.7	比較例	
72	2	61	32	1.0	4.8	358	21	22	7443	7733	11.7	実施例	
73	2	64	30	8.2	4.8	392	13	20	4986	7768	11.7	比較例	
74	2	68	2	0.7	5.0	371	15	21	5638	7811	11.7	比較例	
75	2	65	38	1.4	7.5	353	22	21	7917	7557	11.7	実施例	
76	2	64	44	9.2	9.1	354	14	24	4962	8470	11.7	比較例	
77	2	72	31	1.5	8.9	386	20	20	7669	7536	11.7	実施例	
78	2	72	6	0.6	4.9	331	18	23	5999	7646	11.7	比較例	
79	2	71	8	1.3	5.2	400	16	21	6221	8214	11.7	比較例	
80	2	66	24	0.7	7.1	387	20	22	7739	8432	11.7	実施例	
81	2	65	30	6.9	4.6	403	16	20	6321	8065	11.7	比較例	
82	2	80	6	1.2	8.4	372	16	22	5988	8018	11.7	比較例	
83	2	79	33	1.2	4.5	355	22	23	7731	8049	11.7	実施例	
84	2	166	33	1.2	4.5	355	17	23	5964	8220	11.7	比較例	
85	2	72	38	2.5	7.2	393	19	20	7414	7757	11.7	実施例	
86	2	64	5	2.3	9.5	335	19	23	6222	7642	11.7	比較例	
87	2	62	27	1.2	6.1	335	22	24	7386	8014	11.7	実施例	
88	2	126	41	0.7	8.1	390	16	21	6147	8250	11.7	比較例	
89	2	115	20	2.5	8.0	333	19	24	6344	8079	11.7	比較例	
90	2	67	23	1.5	9.5	405	18	19	7489	7841	11.7	実施例	
91	2	71	20	5.6	8.3	405	16	21	6422	8414	11.7	比較例	
92	2	70	24	1.8	9.1	395	18	21	7230	8324	11.7	実施例	
93	2	79	12	1.8	5.5	380	18	25	6840	9519	11.7	実施例	
94	2	75	40	4.8	5.0	393	17	25	6681	9845	11.7	実施例	
95	2	80	14	1.8	4.7	391	17	21	6647	8231	11.7	実施例	
96	2	79	18	2.0	4.7	376	18	24	6768	9043	11.7	実施例	
97	2	89	37	1.6	5.5	379	18	22	6822	8357	11.7	実施例	
98	2	75	35	4.5	5.6	400	17	24	6800	9620	11.7	実施例	
99	2	95	40	1.4	5.3	384	17	25	6528	9619	11.7	実施例	
100	2	91	31	1.8	5.5	381	18	24	6858	9144	11.7	実施例	

[0124] 上記表3から明らかなように、本発明の実施例に該当する浸炭用鋼板は、引張強度×均一伸び（MPa・%）が6500以上となり、かつ、引張強度×局部伸び（MPa・%）が7000以上となり、優れた延性を有していることが明らかとなった。また、参考として記載した理想臨界直径も5以上となり、本発明の実施例に該当する浸炭用鋼板は、優れた焼入れ性も兼ね備えていることがわかる。

[0125] 一方、上記表3から明らかなように、本発明の比較例に該当する浸炭用鋼板は、引張強度×均一伸び、及び、引張強度×局部伸びの少なくとも何れかが基準値未満となり、優れた延性を有していないことが明らかとなった。

[0126]（試験例2）

以下の表4に示す化学組成を有する鋼材を、以下の表5に示す条件で熱間圧延（及び冷間圧延）した後、焼鈍を施して、浸炭用鋼板を得た。本試験例では、熱間圧延工程と第一焼鈍工程との間で、上記のクラスター化処理を実施した浸炭用鋼板と、実施しなかった浸炭用鋼板とのそれぞれについて、検証を行った。なお、以下の表5に示した「冷却工程」における「平均冷却速度」は、第二焼鈍終了時の温度から550℃までの温度域における平均冷却速度である。また、クラスター化処理は、熱間圧延後の鋼板を、大気中、55℃で105時間保持することで実施した。以下の表5から明らかなように、クラスター化処理の有無以外は、ほぼ同じ条件となるように、各処理工程を実施した。

[0127]

[表4]

表 4  
母材鋼板の化学成分 (mass%, 残部はFe及び不純物である。)

No.	C	Si	Mn	P	S	solAl	N	Ti	Cr	Mo	Ni	Cu	Co	Nb	V	B	Sn	W	Ca	REM	Ag <sub>1</sub>	
																					(°C)	
39	0.07	0.007	0.40	0.017	0.0055	0.0150	0.0046	0.043	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	742

[0128] [表5]

表 5

No.	網No.	熱間圧延		クラスタタービ 処理の有無	冷間圧延		焼鈍雰囲気 中の酸素濃度 (%)	第一焼鈍工程			第二焼鈍工程			冷却工程		備考
		仕上 圧延温度 (°C)	平均 冷却速度 (°C/s)		巻取り温度 (°C)	冷間圧延 圧延率 (%)		平均 加熱速度 (°C/h)	加熱温度 (°C)	保持時間 (h)	平均 加熱速度 (°C/h)	加熱温度 (°C)	保持時間 (h)	平均 冷却速度 (°C/h)	板厚 (mm)	
101	58	840	65	571	×	—	6	12	660	26	16	749	32	20	5.2	実施例
102		835	91	588	○	—	6	14	654	32	19	755	35	22	5.2	実施例

- [0129] 得られた浸炭用鋼板のそれぞれについて、上記試験例1と同様に各種評価を行った。また、本試験例では、ミクロ組織中の炭化物について、試験例1における項目に加えて、炭化物の平均円相当直径の最大値、最小値、最大値と最小値の差のそれぞれについても測定した。また、本試験例では、得られたそれぞれの浸炭用鋼板の冷間加工性を評価するために、試験例1における評価項目に加えて、JIS Z 2256（金属材料の穴広げ試験方法）に則して、穴広げ試験を行った。穴広げ率は、得られたそれぞれの浸炭用鋼板の任意の位置から試験片を採取し、JIS Z 2256に規定されている試験方法及び計算式に従って、算出した。本試験例では、得られた穴広げ率が80%以上である場合を極限変形能に優れるとして、「実施例」とした。
- [0130] 以下の表6に、得られたそれぞれの浸炭用鋼板のミクロ組織及び特性を、まとめて示した。
- [0131]

[表6]

No.	鋼No.	鋼板1000 $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数(個)				アスペクト比2.0以下の炭化物の個数割合(%)	炭化物の平均円相当直径( $\mu\text{m}$ )				機械的特性						焼入れ性	備考	
		鋼板1000 $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数(個)	鋼板1000 $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数(個)	鋼板1000 $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数(個)	鋼板1000 $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数(個)		平均円相当直径	最大値	最小値	最大値と最小値の差	フェライトの平均結晶粒径( $\mu\text{m}$ )	引張強度(MPa)	均一伸び(%)	局部伸び(%)	引張強度 $\times$ 均一伸び(MPa $\cdot$ %)	引張強度 $\times$ 局部伸び(MPa $\cdot$ %)			穴広げ率(%)
101	59	77				36	2.8	1.2	4.4	3.2	4.9	342	22	24	7524	8208	116	11.7	実施例
102		74				41	2.3	2.1	2.6	0.5	4.8	346	23	25	7958	8667	149	11.7	実施例

表 6

[0132] 上記表6から明らかなように、熱間圧延工程と第一焼鈍工程との間にクラスタ化処理を実施することで、得られた炭化物の大きさが均一化し、クラスタ化処理を施した浸炭用鋼板の穴広げ率が一層向上していることがわかる。

[0133] 以上、本発明の好適な実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

## 請求の範囲

## [請求項1]

質量%で、

C : 0.02%以上0.30%未満

Si : 0.005%以上0.5%未満

Mn : 0.01%以上3.0%未満

P : 0.1%以下

S : 0.1%以下

sol. Al : 0.0002%以上3.0%以下

N : 0.2%以下

Ti : 0.010%以上0.150%以下

を含有し、残部が、Fe及び不純物からなり、

1000 $\mu\text{m}^2$ あたりの炭化物の個数が、100個以下であり、

アスペクト比が2.0以下である炭化物の個数割合が、全炭化物に対して10%以上であり、

炭化物の平均円相当直径が、5.0 $\mu\text{m}$ 以下であり、

フェライトの平均結晶粒径が、10 $\mu\text{m}$ 以下である、浸炭用鋼板。

## [請求項2]

残部のFeの一部に換えて、質量%で、

Cr : 0.005%以上3.0%以下

Mo : 0.005%以上1.0%以下

Ni : 0.010%以上3.0%以下

Cu : 0.001%以上2.0%以下

Co : 0.001%以上2.0%以下

Nb : 0.010%以上0.150%以下

V : 0.0005%以上1.0%以下

B : 0.0005%以上0.01%以下

の1種又は2種以上を更に含有する、請求項1に記載の浸炭用鋼板。

## [請求項3]

残部のFeの一部に換えて、質量%で、

Sn : 1.0%以下

W : 1.0%以下

Ca : 0.01%以下

REM : 0.3%以下

の1種又は2種以上を更に含有する、請求項1又は2に記載の浸炭用鋼板。

[請求項4]

請求項1～3の何れか1項に記載の浸炭用鋼板を製造する方法であって、

請求項1～3の何れか1項に記載の化学組成を有する鋼材を加熱し、熱間仕上圧延を、800℃以上920℃未満の温度域で終了した後、熱間仕上圧延終了時の温度から冷却停止温度までの温度域を50℃/s以上250℃/s以下の平均冷却速度で冷却して、700℃以下の温度で巻取る熱間圧延工程と、

前記熱間圧延工程により得られた鋼板、又は、前記熱間圧延工程後に冷間圧延が施された鋼板を、窒素濃度を体積分率で25%未満に制御した焼鈍雰囲気にて、1℃/h以上100℃/h以下の平均加熱速度で、下記式(1)で定義される $A_{c1}$ 点以下の温度域まで加熱し、当該 $A_{c1}$ 点以下の温度域で1h以上100h以下保持する第一焼鈍工程と、

前記第一焼鈍工程を経た鋼板を、前記1℃/h以上100℃/h以下の平均加熱速度で、下記式(1)で定義される $A_{c1}$ 点超790℃以下の温度域まで加熱し、当該 $A_{c1}$ 点超790℃以下の温度域で1h以上100h以下保持する第二焼鈍工程と、

前記第二焼鈍工程での焼鈍後の鋼板に対して、前記第二焼鈍工程での焼鈍終了時の温度から550℃までの温度域における平均冷却速度を1℃/h以上100℃/h以下とする冷却を施す冷却工程と、

を含む、浸炭用鋼板の製造方法。

ここで、下記式(1)において、[X]との表記は、元素Xの含有

量（単位：質量％）を表し、該当する元素を含有しない場合はゼロを代入するものとする。

[数1]

$$\begin{aligned} A_{c_1} = & 750.8 - 26.6[C] + 17.6[Si] - 11.6[Mn] - 22.9[Cu] - 23[Ni] + 24.1[Cr] \\ & + 22.5[Mo] - 39.7[V] - 5.7[Ti] + 232.4[Nb] - 169.4[Al] - 894.7[B] \end{aligned}$$

・・・式（1）

[請求項5] 前記熱間圧延工程と前記第一焼鈍工程との間に、前記熱間圧延工程により得られた鋼板を、大気中、40℃以上70℃以下の温度で、72h以上350h以下保持する保持工程を更に含む、請求項4に記載の浸炭用鋼板の製造方法。

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2018/032112

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int.Cl. C22C38/00(2006.01)i, C21D1/06(2006.01)i, C21D9/46(2006.01)i,  
C22C38/14(2006.01)i, C22C38/58(2006.01)i, C22C38/60(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)

Int.Cl. C22C38/00, C21D1/06, C21D9/46, C22C38/14, C22C38/58, C22C38/60

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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	WO 2016/148037 A1 (KOBE STEEL, LTD.) 22 September 2016, claim 1, paragraphs [0042]-[0046], [0077], [0079], tables 1-3 & JP 2016-169433 A	1-5

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

- |   |  |
|---|--|
| * Special categories of cited documents:  | "I" 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  |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  | "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   |
| "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date   | "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 |
| "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) | "&" document member of the same patent family  |
| "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  |  |

Date of the actual completion of the international search  
16 November 2018 (16.11.2018)

Date of mailing of the international search report  
27 November 2018 (27.11.2018)

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/JP2018/032112

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2016/190370 A1 (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) 01 December 2016, claims, paragraphs [0094]-[0096], [0100], [0141]-[0157], [0166]-[0168], tables 1-4 & EP 3305929 A1, claims, paragraphs [0094]-[0096], [0100], [0141]-[0157], [0166], [0167], tables 1-4 & US 2018/0230582 A1 & CN 107614727 A & KR 10-2017-0138508 A & TW 201708569 A & MX 2017015016 A	1-5
A	JP 2013-18999 A (NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) 31 January 2013, claim 1, paragraphs [0002], [0099]-[0105], tables 1, 2 (Family: none)	1-5

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））</p> <p>Int.Cl. C22C38/00(2006.01)i, C21D1/06(2006.01)i, C21D9/46(2006.01)i, C22C38/14(2006.01)i, C22C38/58(2006.01)i, C22C38/60(2006.01)i</p>												
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））</p> <p>Int.Cl. C22C38/00, C21D1/06, C21D9/46, C22C38/14, C22C38/58, C22C38/60</p>												
<p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2018年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2018年	日本国実用新案登録公報	1996-2018年	日本国登録実用新案公報	1994-2018年		
日本国実用新案公報	1922-1996年											
日本国公開実用新案公報	1971-2018年											
日本国実用新案登録公報	1996-2018年											
日本国登録実用新案公報	1994-2018年											
<p>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）</p>												
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>WO 2016/148037 A1（株式会社神戸製鋼所）2016.09.22, 請求項1, [0042]～[0046], [0077], [0079], 表1～表3 &amp; JP 2016-169433 A</td> <td>1-5</td> </tr> </tbody> </table>			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	WO 2016/148037 A1（株式会社神戸製鋼所）2016.09.22, 請求項1, [0042]～[0046], [0077], [0079], 表1～表3 & JP 2016-169433 A	1-5				
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	WO 2016/148037 A1（株式会社神戸製鋼所）2016.09.22, 請求項1, [0042]～[0046], [0077], [0079], 表1～表3 & JP 2016-169433 A	1-5										
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>												
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <table border="0"> <tr> <td>「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</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「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</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「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）</td> <td>「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</td> </tr> <tr> <td>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&amp;」 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</td> <td></td> </tr> </table>			「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	「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	「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	「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	「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）	「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	「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献	「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	
「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	「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											
「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	「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											
「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）	「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											
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献											
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願												
<p>国際調査を完了した日</p> <p>16.11.2018</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>27.11.2018</p>											
<p>国際調査機関の名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁（I S A / J P）</p> <p>郵便番号100-8915</p> <p>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>特許庁審査官（権限のある職員）</p> <p>守安 太郎</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3435</p>	<p>4K 9347</p>										

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	WO 2016/190370 A1 (新日鐵住金株式会社) 2016. 12. 01, 請求の範囲, [0094]~[0096], [0100], [0141]~[0157], [0166]~[0168], 表 1~表 4 & EP 3305929 A1, Claims, [0094] to [0096], [0100], [0141] to [0157], [0166], [0167], Table 1 to Table 4 & US 2018/0230582 A1 & CN 107614727 A & KR 10-2017-0138508 A & TW 201708569 A & MX 2017015016 A	1-5
A	JP 2013-18999 A (新日鐵住金株式会社) 2013. 01. 31, 請求項 1, [0002], [0099]~[0105], 表 1, 表 2 (ファミリーなし)	1-5