

(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
2012 年 9 月 27 日(27.09.2012)



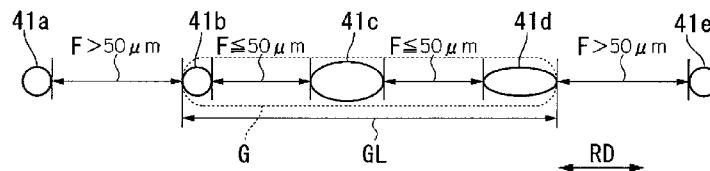
(10) 国際公開番号
WO 2012/128228 A1

- (51) 国際特許分類:
C22C 38/14 (2006.01) C21D 8/02 (2006.01)
C22C 38/58 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/056927
- (22) 国際出願日: 2012 年 3 月 16 日(16.03.2012)
- (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 2011-060909 2011 年 3 月 18 日(18.03.2011) JP
特願 2011-064633 2011 年 3 月 23 日(23.03.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 新日本製鐵株式会社(NIPPON STEEL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 高橋 雄三 (TAKAHASHI Yuzo) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP). 土師 純治(HAJI Junji) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP). 河野 治 (KAWANO Osamu) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 新日本製鐵株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外(SHIGA Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: HOT-ROLLED STEEL SHEET AND PROCESS FOR PRODUCING SAME

(54) 発明の名称: 熱延鋼板及びその製造方法

[図4A]



(57) Abstract: A hot-rolled steel sheet which contains chemical components including at least one element selected from Ti, REM, and Ca and which has a metallographic structure comprising ferrite as the main phase, martensite and/or retained austenite as the second phase, and a plurality of inclusions, wherein the total rolling-direction length of inclusion groups that each have a rolling-direction length of 30 μm or longer and independent inclusions that each have a rolling-direction length of 30 μm or longer is 0.025 mm per mm².

(57) 要約: 熱延鋼板であって、化学成分が、Ti、REM、Ca、から選択された少なくとも1つを含有し、金属組織が、主相としてフェライトと、第二相としてマルテンサイト及び残留オーステナイトのうちの少なくとも一つと、複数の介在物と、を含み、圧延方向の長さが30 μm以上である介在物群と、圧延方向の長さが30 μm以上である独立介在物との、圧延方向の長さの総和が、1 mm²当たり、0 mm以上0.25 mm以下である。

WO 2012/128228 A1

明 細 書

発明の名称：熱延鋼板及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、成形性及び破壊特性に優れた高強度複合組織熱延鋼板及びその製造方法に関する。

本願は、2011年3月18日に日本に出願された特願2011-060909号と、2011年3月23日に日本に出願された特願2011-064633号とに基づき優先権を主張し、これらの内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 近年、自動車の軽量化を目的として鋼板を高強度化する試みが進められている。一般に、鋼板の高強度化は穴広げ性等の成形性の劣化を招き、そして、軽量化を目的として板厚を薄くした際には疲労寿命の低下を招く。従って、自動車の軽量化を可能とする高強度鋼板を開発するためには、鋼板の高強度化とともに、穴広げ性等の成形性と疲労特性との改善を図ることが重要となる。

[0003] 従来より、フェライト及びマルテンサイトからなる複合組織鋼とすることにより優れた疲労寿命を得ることができていることが知られている。このような複合組織鋼を基に穴広げ性の改善を図った高強度鋼板として、特許文献1においては、フェライト、マルテンサイト及び残留オーステナイトの混合組織からなる鋼のミクロ組織の分率を適正に制御した高強度熱延鋼板が開示されている。この技術によって得られる鋼板の特性値は、引張強度で590MPa以上、穴広げ率で50%程度となっている。

[0004] 特許文献2においては、Ti又はNbの炭化物により析出強化されたフェライトとマルテンサイトとの混合組織からなる高強度熱延鋼板が開示されている。この開示技術によって得られる鋼板の特性値は、引張強度で780MPa以上、穴広げ率で50%程度となっている。

[0005] しかしながら、例えば自動車の足回り部材等として用いられる鋼板では、

その特性値について引張強度で590MPa以上、穴広げ率で60%以上と、更に引張強度と穴広げ性とのバランスに優れた鋼板の提案が望まれていた。特に、引張強度が590MPa以上780MPa未満である場合、穴広げ率が90%以上であり、また、引張強度が780MPa以上980MPa以下である場合、穴広げ率が60%以上である鋼板が望まれていた。

[0006] また、この穴広げ率は、測定毎のばらつきが比較的大きいことから、穴広げ性を改善する上で、その穴広げ率の平均値 λ_{ave} のみならず、ばらつきを表す指標となる穴広げ率の標準偏差 σ を低減させることが必要となる。上述のような、自動車の足回り部材等として用いられる鋼板では、穴広げ率の標準偏差 σ が15%以下、更に望ましくは、穴広げ率の標準偏差 σ が10%以下の鋼板の提案が望まれていた。

[0007] また、自動車が縁石に乗り上げるなどして強い衝撃荷重が足回り部品に負荷された場合に、その足回り部品の打ち抜き面を起点として破壊が生じる恐れがある。特に高強度の鋼板ほど切り欠き感受性が高いため、その打ち抜き端面からの破壊がより強く懸念される。このため、このような足回り部品等の構造用部材として用いられる鋼板については、その破壊特性を向上させる必要がある。この破壊特性を表す指標としては、ノッチ付三点曲げ試験によって得られる特性値である亀裂発生抵抗値 J_c （単位： J/m^2 ）及び亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ （*Tearing Modulus*）（単位： J/m^3 ）や、シャルピー衝撃試験によって得られる破面遷移温度 $vTrs$ （単位： $^{\circ}C$ ）及びシャルピー吸収エネルギー E （単位： J ）が挙げられる。この亀裂発生抵抗値 J_c は、衝撃荷重が加わった際の構造用部材を構成する鋼板からの亀裂の発生（破壊の開始）に対する抵抗を表す。一方、上記亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ は、構造用部材を構成する鋼板の大規模な破壊（破壊の進展）に対する抵抗を表す。衝撃荷重が加わった際に構造用部材の安全性を損なわないためには、これら両方の特性を改善することが重要である。

[0008] 従来においては、これらのような特性値、特にノッチ付三点曲げ試験によって得られる特性値である亀裂発生抵抗値 J_c 及び亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$

に着目して、これら特性値の改善を図ったという趣旨の技術が開示されていない。

[0009] また、自動車用足回り部品には繰り返し応力が加わる。そのため、疲労破壊が起きることが懸念され、足回り部品等の構造用部材として用いられる鋼板については疲労特性が優れていることが合わせて求められる。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：日本国特開平6－145792号公報

特許文献2：日本国特開平9－125194号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] 本発明は、上述した問題点に鑑みて案出された。本発明は、引張特性と成形性とのバランスに優れており、更に、破壊特性と疲労特性とにも優れた熱延鋼板及びその製造方法を提供することを目的とする。

[0012] 具体的には、引張特性として、引張強度 TS が 590MPa 以上、 n 値（加工硬化指数）が 0.13 以上であり、成形性として、穴広げ率の平均値 λ_{ave} が 60% 以上、穴広げ率の標準偏差 σ が 15% 以下であり、破壊特性として、亀裂発生抵抗値 J_c が 0.5MJ/m^2 以上、亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ が 600MJ/m^3 以上、破面遷移温度 vT_{rs} が -13°C 以下、シャルピー吸収エネルギー E が 16J 以上であり、疲労特性として、平面曲げ疲労寿命が 40 万回以上である特性を有する高強度複合組織熱延鋼板を提供することを目的とする。

[0013] 特に、引張強度 TS が 590MPa 以上 780MPa 未満である場合、上記特性の内、穴広げ率の平均値 λ_{ave} が 90% 以上、亀裂発生抵抗値 J_c が 0.9MJ/m^2 以上、シャルピー吸収エネルギー E が 35J 以上となる熱延鋼板を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0014] 本発明の要旨は、以下の通りである。

[0015] (1) 本発明の一実施態様に係る熱延鋼板は、化学成分が、質量％で、C : 0.03%~0.1%、Mn : 0.5%~3.0%、を含有し、Si及びAlのうちの少なくとも1つが、 $0.5\% \leq Si + Al \leq 4.0\%$ の条件を満たすように含有し、P : 0.1%以下、S : 0.01%以下、N : 0.02%以下、に制限し、Ti : 0.001%~0.3%、Rare Earth Metal : 0.0001%~0.02%、Ca : 0.0001%~0.01%、から選択された少なくとも1つを含有し、残部がFe及び不可避免的不純物からなり、前記化学成分中の各元素の質量％で示した含有量が、下記の式1を満足し；金属組織が、主相としてフェライトと、第二相としてマルテンサイト及び残留オーステナイトのうちの少なくとも一つと、複数の介在物と、を含み、前記フェライトの平均結晶粒径が $2\mu m$ 以上 $10\mu m$ 以下であり、前記主相の面積分率が、90%以上99%以下であり、前記第二相である前記マルテンサイトと前記残留オーステナイトとの面積分率が、合計で、1%以上10%以下であり、鋼板の板幅方向が法線となる断面を $0.0025mm^2$ の視野で30回観察したとき、前記各視野での前記介在物の長径／短径比の最大値を平均した値が、1.0以上8.0以下であり、前記介在物間の圧延方向の間隔が $50\mu m$ 以下でそれぞれの長径が $3\mu m$ 以上である前記介在物の集合体を介在物群とし、前記間隔が $50\mu m$ 超である前記介在物を独立介在物としたとき、圧延方向の長さが $30\mu m$ 以上である前記介在物群と、圧延方向の長さが $30\mu m$ 以上である前記独立介在物との、圧延方向の長さの総和が、前記断面の $1mm^2$ 当たり、0mm以上0.25mm以下であり；集合組織が、圧延面と平行な $\{211\}$ 面のX線ランダム強度比で1.0以上2.4以下であり；引張強度が590MPa以上980MPa以下である。

$$12.0 \leq (Ti/48) / (S/32) + \{ (Ca/40) / (S/32) + (Rare\ Earth\ Metal/140) / (S/32) \} \times 15 \leq 150 \quad \cdots \quad (式1)$$

(2) 上記(1)に記載の熱延鋼板では、前記化学成分が、更に、質量%で、Nb: 0.001%~0.1%、B: 0.0001%~0.0040%、Cu: 0.001%~1.0%、Cr: 0.001%~1.0%、Mo: 0.001%~1.0%、Ni: 0.001%~1.0%、V: 0.001%~0.2%、のうちの少なくとも1つを含有してもよい。

(3) 上記(1)又は(2)に記載の熱延鋼板では、前記化学成分が、質量%で、Rare Earth Metal: 0.0001%~0.02%、Ca: 0.0001%~0.01%、のうちの少なくとも1つを含有するとき、前記Tiの含有量を、Ti: 0.001%~0.08%未満、としてもよい。

(4) 上記(1)~(3)のいずれか一項に記載の熱延鋼板では、前記化学成分中の各元素の質量%で示した含有量が、下記の式2を満足し；前記各視野での前記介在物の前記長径/短径比の前記最大値を平均した前記値が、1.0以上3.0以下であってもよい。

$$0.3 \leq (\text{Rare Earth Metal} / 140) / (\text{Ca} / 40) \quad \dots \quad (\text{式} 2)$$

(5) 上記(1)~(4)のいずれか一項に記載の熱延鋼板では、前記金属組織で、ベイナイト及びパーライトの面積分率が、合計で、0%以上5.0%未満であってもよい。

(6) 上記(1)~(5)のいずれか一項に記載の熱延鋼板では、長径が3 μm 以上である前記介在物の合計個数に対して、長径が3 μm 以上であるMnS析出物及びCaS析出物の個数が、合計で、0%以上70%未満であってもよい。

(7) 上記(1)~(6)のいずれか一項に記載の熱延鋼板では、前記第二相の平均結晶粒径が0.5 μm 以上8.0 μm 以下であってもよい。

(8) 上記(1)~(7)のいずれか一項に記載の熱延鋼板の製造方法は、上記(1)~(4)に記載の前記化学成分からなる鋼片を1200℃以上1400℃以下に加熱する加熱工程と；前記加熱工程後に前記鋼片に対して、

1150℃超1400℃以下の温度域で、累積圧下率が10%以上70%以下となる粗圧延を行う一次粗圧延工程と；前記一次粗圧延工程後に、1070℃超1150℃以下の温度域で、累積圧下率が10%以上25%以下となる粗圧延を行う二次粗圧延工程と；前記二次粗圧延工程後に、開始温度が1000℃以上1070℃以下、終了温度が $A_r3 + 60^\circ\text{C}$ 以上 $A_r3 + 200^\circ\text{C}$ 以下となる仕上圧延を行って熱延鋼板を得る仕上圧延工程と；前記仕上圧延工程後に前記熱延鋼板に対して、前記終了温度から、冷却速度が $20^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以上 $150^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以下である冷却を行う一次冷却工程と；前記一次冷却工程後に、 650°C 以上 750°C 以下の温度域で、冷却速度が $1^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以上 $15^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以下、及び、冷却時間が1秒以上10秒以下である冷却を行う二次冷却工程と；前記二次冷却工程後に、 0°C 以上 200°C 以下の温度域まで、冷却速度が $20^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以上 $150^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以下である冷却を行う三次冷却工程と；前記三次冷却工程後に、前記熱延鋼板を巻き取る巻取工程とを備える。

(9) 上記(8)に記載の熱延鋼板の製造方法では、前記一次粗圧延工程で、前記累積圧下率が10%以上65%以下となる前記粗圧延を行ってもよい。

発明の効果

[0016] 本発明の上記態様によれば、引張特性と成形性とのバランスに優れており、更に、破壊特性と疲労特性とも優れた鋼板を得ることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]疲労特性評価のための試験片寸法を示す平面図である。

[図2A]ノッチ付三点曲げ試験についての説明図である。

[図2B]ノッチ付三点曲げ試験前のノッチ付試験片であって、鋼板の板幅方向が法線となるノッチを含む断面図である。

[図2C]ノッチ付三点曲げ試験後に強制破壊をしたノッチ付試験片であって、ノッチを含む破面である。

[図3A]ノッチ付三点曲げ試験により得られる荷重変位曲線である。

[図3B]亀裂伝搬量 Δa と 1 m^2 当たりの加工エネルギー J との関係を示すグラフである。

[図4A]介在物の集合体である介在物群の模式図である。

[図4B]単独で存在する独立介在物の模式図である。

[図4C]圧延方向長さが $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上である介在物が含まれる介在物群の模式図である。

[図5]介在物の圧延方向長さの総和 M と介在物の長径／短径比の最大値の平均値と穴広げ率の平均値 λ_{ave} との関係を示す図である。

[図6]介在物の圧延方向長さの総和 M と介在物の長径／短径比の最大値の平均値と穴広げ率の標準偏差 σ との関係を示す図である。

[図7]介在物の圧延方向長さの総和 M と亀裂伝搬抵抗値 T, M との関係を示す図である。

[図8]S含有量、Ti含有量、REM含有量、及び、Ca含有量と、介在物の圧延方向長さの総和 M との関係を示す図である。

[図9A]一次粗圧延工程での累積圧下率と介在物の圧延方向長さの総和 M との関係を示す図である。

[図9B]一次粗圧延工程での累積圧下率と介在物の長径／短径比の最大値の平均値との関係を示す図である。

[図9C]二次粗圧延工程での累積圧下率と $\{211\}$ 面のX線ランダム強度比との関係を示す図である。

[図9D]二次粗圧延工程での累積圧下率とフェライトの平均結晶粒径との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明の好適な実施形態について説明する。ただ、本発明は本実施形態に開示の構成のみに限定されることなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲に置いて種々の変更が可能である。

[0019] まず、本発明を完成するに至った基礎的研究結果について説明する。初めに、本実施形態に係る熱延鋼板に要求される特性値の測定方法について説明

する。

[0020] 引張特性は、以下の条件の引張試験から求めた。供試鋼板の板幅が 1 / 2 の部分より、引張方向が供試鋼板の板幅方向と平行となるように試験片を製作した。この試験片を用いて、引張試験を行なった。そして、引張強度 (T S : T e n s i l e S t r e n g t h) と降伏点 (Y P : Y i e l d P o i n t) とを求めた。なお、明確な降伏点が観察されない場合は、0. 2 %耐力を降伏点とした。また、n 値 (加工硬化指数) は、この引張試験から算出した真応力及び真歪みに基づき n 乗硬化則近似値として求めた。ここで n 値を求める際の歪の範囲は、公称歪で、3 % ~ 1 2 % の範囲とした。

[0021] 穴広げ性は、以下の条件の穴広げ試験から評価した。供試鋼板の板幅が 1 / 2 の部分より、圧延方向長さが 1 5 0 m m、板幅方向長さが 1 5 0 m m である試験片を、ひとつの供試鋼板につき 2 0 本製作した。これらの試験片を用いて、下記の条件の穴広げ試験を行なった。穴広げ性の評価は、2 0 回の試験結果を算術平均して求めた穴広げ率の平均値 λ_{ave} (単位 : %) と、下記の式 1 から求めた標準偏差 σ (単位 : %) とで行った。なお、下記式 1 における λ_i は、合計 2 0 回の試験での i 回目の穴広げ率を表す。

$$\sigma^2 = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} (\lambda_i - \lambda_{ave})^2 \quad \dots (式1)$$

[0022] 上記穴広げ試験の条件は、以下である。試験片に、直径 1 0 m m の打ち抜きパンチを用い、打ち抜きパンチとダイ穴との隙間を試験片の板厚で除して得られる打ち抜きクリアランスを 1 2. 5 % として、初期穴径 D_0 が 1 0 m m となる打ち抜き穴を設けた。次に、この試験片の打ち抜き穴に、頂角 6 0 ° の円錐パンチを、打ち抜きパンチと同じ方向から押し込み、打ち抜き端面に発生した亀裂が試験片の板厚方向に貫通した時点での穴内径 D_f を測定した。そして、穴広げ率 λ_i (単位 : %) を下記の式 2 から求めた。ここで、亀裂の板厚貫通は目視で行った。

$$\lambda_i = \{ (D_f - D_0) / D_0 \} \times 100 \dots (式2)$$

[0023] 疲労特性は、以下の条件の疲労試験から評価した。熱延ままの供試鋼板より図1に示す寸法の試験片を製作した。図1中、11は疲労試験用の試験片、RD (Rolling Direction) は圧延方向、TD (Transverse Direction) は板幅方向を表す。この試験片の中央のくびれ部に、平面曲げの繰り返し応力を加え、試験片が疲労破壊するまでの繰り返し数である平面曲げ疲労寿命を測定した。上記疲労試験で試験片に加える繰り返し応力の条件は、完全両振りである。具体的には、応力振幅 $= \sigma_0$ とした場合に、時間に伴う応力変化が、最大応力 $= \sigma_0$ 、最小応力 $= -\sigma_0$ 、応力の平均値 $= 0$ の正弦波となるような疲労試験の条件とした。この応力振幅 σ_0 は、供試鋼板の引張強度 TS に対して、 $45\% \pm 10\text{MPa}$ の範囲内とした。また、疲労試験は、同じ応力振幅 σ_0 の条件で、少なくとも3回の試験を行い、各試験結果を算術平均して平面曲げ疲労寿命の平均値を求めた。この平面曲げ疲労寿命の平均値により、疲労特性を評価した。

[0024] 破壊特性は、後述のノッチ付三点曲げ試験によって得られる亀裂発生抵抗値 J_c (単位: J/m^2) 及び亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ (単位: J/m^3) と、シャルピー衝撃試験によって得られる破面遷移温度 $vTrs$ (単位: $^{\circ}\text{C}$) 及びシャルピー吸収エネルギー E (単位: J) とによって評価した。

[0025] 上記ノッチ付三点曲げ試験の条件は、以下である。試験片の長手方向が供試鋼板の板幅方向と平行となり、ノッチ付三点曲げ試験の変位方向が供試鋼板の圧延方向となるように、図2A及び図2Bに示すノッチ付試験片を、ひとつの供試鋼板から5本以上製作した。図2Aは、ノッチ付三点曲げ試験についての説明図である。図2A中、21はノッチ付三点曲げ試験用の試験片、21aはノッチ、22は荷重点、23は支持点、24は変位方向を表す。図2Bは、ノッチ付三点曲げ試験前のノッチ付試験片21であって、供試鋼板の板幅方向TDが法線となるノッチ21aを含む断面図である。図2B中、ND (Normal Direction) は板厚方向を表す。これらの図に示すように、試験片21の長手方向が20.8mm、試験片21の変位方向24の厚さが5.2mm、ノッチ21aの変位方向24の深さが2.6

mm、リガメントの変位方向24の厚さC（試験片21の変位方向24の厚さからノッチ21aの変位方向24の深さを引いた値）が2.6mm、そして、供試鋼板の板厚Bが2.9mmである。

[0026] 上記試験片21を用いて、図2Aに示すように、試験片21の長手方向の両端部を支持点23、その中央部を荷重点22として、荷重点の変位方向24への変位量（ストローク）を様々に変化させて、ノッチ付三点曲げ試験を行なった。ノッチ付三点曲げ試験後の試験片21を、大気中で250℃－30分保持し、そして、空冷する熱処理を施した。この熱処理により、ノッチ付三点曲げ試験により生じた破面が酸化着色される。上記熱処理後の試験片21を、液体窒素温度まで液体窒素により冷却し、そして、その温度で試験片21のノッチ21aから変位方向24に沿って亀裂が伸展するように試験片21を強制破壊した。図2Cに、ノッチ付三点曲げ試験後に強制破壊をしたノッチ付試験片21のノッチを含む破面を例示する。この破面では、上記酸化着色の結果、ノッチ付三点曲げ試験により生じた破面と、強制破壊により生じた破面とが明確に識別できる。図2C中、21bはノッチ付三点曲げ試験により生じた破面、21cは強制破壊により生じた破面、L1は供試鋼板の板厚が1/4の位置での破面21bの深さ、L2は供試鋼板の板厚が1/2の位置での破面21bの深さ、L3は供試鋼板の板厚が3/4の位置での破面21bの深さを表す。破面21bを観察し、L1、L2及びL3を計測し、そして、下記の式3から亀裂伝搬量 Δa （単位：m）を求めた。

$$\Delta a = (L1 + L2 + L3) / 3 \quad \cdots \text{(式3)}$$

[0027] 図3Aに、ノッチ付三点曲げ試験により得られる荷重変位曲線を例示する。図3Aに示すように、荷重変位曲線を積分することで、試験により試験片21に対して加えたエネルギーに相当する加工エネルギーA（単位：J）を求めた。そして、この加工エネルギーAと、ノッチ付三点曲げ試験前の供試鋼板の板厚B及びリガメントの変位方向24の厚さCとを用いて、下記の式4から、1m²当たりの加工エネルギーJ（単位：J/m²）を求めた。

$$J = (2 \times A) / (B \times C) \quad \cdots \text{(式4)}$$

[0028] 図3Bは、ノッチ付三点曲げ試験でストローク条件を様々に変化させたときの、亀裂伝搬量 Δa と、 1 m^2 当たりの加工エネルギー J との関係を表すグラフである。この図3Bに示すように、 Δa 及び J に対する一次回帰直線と、原点を通り傾きが $3 \times (Y P + T S) / 2$ である直線との交点を求めた。この交点における 1 m^2 当たりの加工エネルギー J の値を、供試鋼板の亀裂発生抵抗を表す値である亀裂発生抵抗値 J_c （単位： J / m^2 ）とした。また、上記一次回帰直線の勾配を、供試鋼板の亀裂伝搬抵抗を表す亀裂伝搬抵抗値 T, M （単位： J / m^3 ）とした。この亀裂発生抵抗値 J_c は、亀裂を発生させるために必要な加工エネルギーの程度を示す指標値となる。つまり、この亀裂発生抵抗値 J_c は、衝撃荷重が加わった際の構造用部材を構成する鋼板からの亀裂の発生（破壊の開始）に対する抵抗を表す。上記亀裂伝搬抵抗値 T, M は、亀裂を伸展させるために必要な加工エネルギーの程度を示す指標値となる。つまり、亀裂伝搬抵抗値 T, M は、構造用部材を構成する鋼板の大規模な破壊（破壊の進展）に対する抵抗を表す。これらの亀裂発生抵抗値 J_c と亀裂伝搬抵抗値 T, M とによって鋼板の破壊特性を評価した。

[0029] 上記シャルピー衝撃試験の条件は、以下である。試験片の長手方向が供試鋼板の板幅方向と平行となるように、Vノッチ試験片を製作した。試験片サイズは、試験片の長手方向の長さが 55 mm 、試験片の衝撃が加えられる方向の厚さが 10 mm 、試験片の長手方向及び衝撃方向と直交する方向の厚さが 2.5 mm 、Vノッチが深さ 2 mm で角度 45° である。この試験片を用いて、シャルピー衝撃試験を行い、破面遷移温度 $v T r s$ （単位： $^\circ\text{C}$ ）及びシャルピー吸収エネルギー E （単位： J ）を求めた。ここで、破面遷移温度 $v T r s$ は延性破面率が 50% となる温度とし、シャルピー吸収エネルギー E は試験温度を室温（ $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ）としたときに得られた値とした。これらの破面遷移温度 $v T r s$ とシャルピー吸収エネルギー E とによっても鋼板の破壊特性を評価した。

[0030] 本実施形態に係る熱延鋼板は、上記説明した特性値として、引張強度 $T S$

が590MPa以上、穴広げ率の平均値 λ_{ave} が60%以上、穴広げ率の標準偏差 σ が15%以下、平面曲げ疲労寿命が40万回以上、亀裂発生抵抗値 J_c が0.5MJ/m²以上、亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ が600MJ/m³以上、破面遷移温度 vT_{rs} が-13℃以下、シャルピー吸収エネルギー E が16J以上を満足する。

[0031] 次に、本実施形態に係る熱延鋼板の化学成分の測定方法及び金属組織の観察方法などについて説明する。

[0032] 鋼板の化学成分は、EPMA (Electron Probe Micro-Analyzer: 電子プローブX線マイクロ解析)、AAS (Atomic Absorption Spectrometry: 原子吸光分析)、ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry: 誘導結合プラズマ発光分光分析)、又はICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry: 誘導結合プラズマ質量分析) を用いて定量分析した。

[0033] 鋼板の金属組織の観察は、以下の方法で行った。鋼板の板幅が1/4の部分から、板幅方向を法線に持つ断面（以下、L断面）が観察面となるように金属組織観察用の試料を切り出した。そして、この試料を鏡面研磨した。鏡面研磨後の試料を用いて、上記L断面中の板厚中心部近傍を観察位置として、光学顕微鏡で400倍の倍率にて、金属組織に含まれる介在物を観察した。また、鏡面研磨後の試料に、ナイトール腐食、又はレペラー腐食を施して、フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト、ベイナイト、及び、パーライト等の金属相の観察を行った。

[0034] フェライトの平均結晶粒径は以下のように求めた。上記L断面中の板厚中心部を観察位置として、板厚方向が500μm、圧延方向が500μmの部分について、その結晶方位分布を1μmステップでEBSD (Electron Back-Scattered diffraction Pattern) 法にて測定した。そして、方位差が15°以上である点を結んで高傾

角粒界とし、この高傾角粒界により囲まれた各結晶粒の円相当径の算術平均値を求めて、フェライトの平均結晶粒径とした。このとき、EBSD法にて測定した各測定点のうち、I_Q (Image Quality) 値が100以上の結晶粒をフェライトとみなし、I_Q 値が100以下の結晶粒をフェライト以外の金属相であるとみなした。

- [0035] フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト、ベイナイト、及び、パーライト等の面積分率は、金属組織写真を画像解析することで求めた。
- [0036] また、上記介在物を調査するうえで、後述のように定義される介在物の圧延方向長さの総和M (単位: mm/mm²) を測定した。
- [0037] 介在物の存在は、鋼板の変形時にボイドを鋼中に形成して延性破壊を促進するので、穴広げ性を劣化させる要因となる。さらに言えば、介在物の形状が鋼板の圧延方向に長く延伸された形状であるほど、鋼板の塑性変形時に介在物近傍の応力集中が増大する。つまり、穴広げ性は、介在物の存在に加えて、介在物の形状にも大きく影響を受ける。従来より、単一の介在物の圧延方向長さが大きいほど、穴広げ性を大きく劣化させることが知られている。
- [0038] 本発明者は、延伸した介在物や球状の介在物などの複数の介在物が、亀裂伝搬方向である鋼板の圧延方向に、所定の間隔で分布して集合体を形成すると、単一で延伸した介在物と同じように、穴広げ性を劣化させることを見出した。これは、鋼板の変形時に上記集合体を構成する各介在物の近傍に導入される歪みの相乗効果により、上記集合体の近傍に大きな応力集中を生じさせるためと考えられる。定量的には、鋼板の圧延方向の直線上に隣り合う他の介在物に対して50 μm以下の間隔を空けて並んでいる長径が3 μm以上の介在物の集合体が、単独で存在する延伸した介在物と同じように、穴広げ性を劣化させることを見出した。以後、介在物間の圧延方向の間隔が50 μm以下で、それぞれの長径が3 μm以上である介在物の集合体を介在物群と呼ぶ。また、この介在物群に対して、介在物間の圧延方向の間隔が50 μm超となって単独に存在する介在物を独立介在物と呼ぶ。上記の長径とは、観察される介在物の断面形状において最も長い直径のことを意味しており、多

くの場合圧延方向の径である。

[0039] 上述のように、鋼板の穴広げ性を向上させるためには、以下に説明するような形状及び配置の介在物を制御することが重要である。

[0040] 図4 Aは、介在物の集合体である介在物群の模式図である。図4 A中、4 1 a～4 1 eはそれぞれが長径 $3\mu\text{m}$ 以上である介在物、Fは介在物間の圧延方向の間隔、Gは介在物群、GLは介在物群の圧延方向の長さを表す。図4 Aに示すように、鋼板の圧延方向RDに沿って、間隔Fが $50\mu\text{m}$ 以下となる介在物の集合体、具体的には、介在物4 1 bと介在物4 1 cと介在物4 1 dとを一つの集合体とみなして介在物群Gとする。この介在物群Gの圧延方向長さGLを測定する。この長さGLが $30\mu\text{m}$ 以上である介在物群Gが、鋼板の穴広げ性に影響を与える。圧延方向長さGLが $30\mu\text{m}$ 未満の介在物群Gは、穴広げ性に与える影響が小さい。また、長径が $3\mu\text{m}$ 未満である介在物は、たとえ間隔Fが $50\mu\text{m}$ 以下であっても、穴広げ性に与える影響が小さいので、介在物群Gの構成に含めない。なお、図4 A中で、介在物4 1 a及び介在物4 1 eは、それぞれ独立介在物となる。

[0041] 図4 Bは、独立介在物の模式図である。図4 B中、4 1 f～4 1 hはそれぞれが長径 $3\mu\text{m}$ 以上である介在物、Hは独立介在物、HLは独立介在物の圧延方向の長さを表す。図4 Bに示すように、鋼板の圧延方向RDに沿って、間隔Fが $50\mu\text{m}$ 超となる介在物、具体的には、介在物4 1 fと介在物4 1 gと介在物4 1 hとがそれぞれ独立介在物Hとなる。これらの独立介在物Hの圧延方向長さHLを測定する。この長さHLが $30\mu\text{m}$ 以上である独立介在物Hが、鋼板の穴広げ性に影響を与える。圧延方向長さHLが $30\mu\text{m}$ 未満の独立介在物Hは、穴広げ性に与える影響が小さい。

[0042] 図4 Cは、圧延方向長さが $30\mu\text{m}$ 以上である介在物が含まれる介在物群Gの模式図である。図4 C中、4 1 i～4 1 lはそれぞれが長径 $3\mu\text{m}$ 以上である介在物を表す。また、図4 C中、介在物4 1 jは圧延方向の長さ（長径）が $30\mu\text{m}$ 以上である。図4 Cでは、鋼板の圧延方向RDに沿って、間隔Fが $50\mu\text{m}$ 以下となる介在物である介在物4 1 jと介在物4 1 kとが一

つの集合体である介在物群Gとなり、介在物41iと介在物41lとがそれぞれ独立介在物Hとなる。このように、介在物41jの長径が $30\mu\text{m}$ 以上であっても、介在物41jと間隔Fが $50\mu\text{m}$ 以下となる介在物41kが存在するので、介在物41jは介在物群Gの一部であるとした。また、以後、介在物群Gに含まれず、かつ、圧延方向長さHLが $30\mu\text{m}$ 以上である独立介在物Hを、延伸介在物と呼ぶ。

[0043] 上記した介在物群Gの圧延方向長さGL及び延伸介在物（圧延方向長さHLが $30\mu\text{m}$ 以上である独立介在物H）の圧延方向長さHLを1観察視野中ですべて測定し、そして、この測定を複数視野について実施してGLとHLとの総和I（単位：mm）を求めた。この総和Iから下記の式5に基づいて、 1mm^2 面積あたりに換算した値である総和M（単位： mm/mm^2 ）を求めた。この総和Mが、鋼板の穴広げ性に影響を与える。なお、Sは、観察した視野の総面積（単位： mm^2 ）である。

$$M = I / S \quad \cdots \text{（式5）}$$

[0044] 上記した介在物の圧延方向長さの総和Iの平均値でなく、総和Iを 1mm^2 面積あたりに換算した値である総和Mを求めることとした理由は以下である。

[0045] 鋼板の金属組織中の介在物群G及び延伸介在物（圧延方向長さHLが $30\mu\text{m}$ 以上である独立介在物H）の個数が少ないと、鋼板の変形時に、上記介在物の周囲で生じたボイドが途切れながら亀裂が伝搬する。一方、上記介在物の個数が多いと、鋼板の変形時に、上記介在物の周囲でボイドが途切れることなく連結して長く連続的なボイドを形成し、延性破壊を促進すると考えられる。このような介在物の個数の影響は、上記の総和Iの平均値によって表せないが、上記の総和Mによって表せる。従って、この点から介在物群Gの圧延方向長さGL及び延伸介在物の圧延方向長さHLの 1mm^2 面積あたりの総和Mを求めた。このように、この総和Mが、鋼板の穴広げ性に影響を与える。

[0046] 上記総和Mは、上記の鋼板の穴広げ性に加えて、鋼板の破壊特性にも影響

を与える。鋼板の変形時、介在物群G及び延伸介在物（圧延方向長さHLが $30\mu\text{m}$ 以上である独立介在物H）に応力集中し、これら介在物を基点として亀裂の発生と伝播とが起きる。よって、上記総和Mの値が大きい場合、亀裂発生抵抗値 J_c と亀裂伝播抵抗値 $T.M.$ とが低下する。また、延性破壊する温度域での試験片の破壊に要するエネルギーであるシャルピー吸収エネルギーEは、亀裂発生抵抗値 J_c と亀裂伝播抵抗値 $T.M.$ との双方が影響する指標である。上記総和Mの値が大きい場合、同様に、シャルピー吸収エネルギーEも低下する。

[0047] さらに、上記総和Mは、鋼板の疲労特性にも影響を与える。この総和Mの値が大きくなるほど、疲労寿命が低下する傾向があることが判明した。これは、総和Mの値が大きくなるほど、疲労破壊の起点となる介在物群Gや延伸介在物の個数が多くなり、その結果、疲労寿命の低下を招くと考えられる。

[0048] 以上の観点から、上記した介在物の圧延方向長さの総和Mを測定し、これに基づき穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、亀裂発生抵抗値 J_c 、亀裂伝播抵抗値 $T.M.$ 、シャルピー吸収エネルギーE、疲労寿命などを評価した。

[0049] また、上記総和Mに加えて、介在物の調査として、介在物の長径／介在物の短径で表される介在物の長径／短径比について測定した。1観察視野中のすべての介在物についてそれぞれの長径／短径比を測定して、その中の最大値を求めた。この測定を異なる視野で30回実施した。そして、各視野で求めたそれぞれの長径／短径比の最大値を平均した値を求めた。具体的には、鋼板の板幅が $1/4$ の部分の板幅方向を法線に持つ断面（L断面）を鏡面研磨した後、電子顕微鏡を用いて、L断面内の板厚中心部近傍の任意の30箇所、1箇所が 0.0025mm^2 （ $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ ）の視野内の介在物を観察し、各々の視野内の介在物の長径／短径比の最大値を求め、その30視野分の平均値を求めた。

[0050] 介在物の長径／短径比を求めたのは、介在物の圧延方向長さの総和Mが同じ値である場合でも、一つ一つの介在物の形状が丸く長径／短径比の最大値の上記平均値が小さい場合、鋼板変形時に介在物の近傍での応力集中が低下

し、穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、亀裂発生抵抗値 J_c 、シャルピー吸収エネルギー E が更に良好なものになるためである。また、実験により介在物の長径／短径比の最大値の上記平均値と穴広げ率の標準偏差 σ との間に相関関係があることが見出されたので、穴広げ率の標準偏差 σ を評価する観点からこの長径／短径比の上記平均値を測定した。

[0051] 上述した鋼板の化学成分及び金属組織に加えて、鋼板の集合組織を測定した。集合組織の測定は、X線回折測定により行った。X線回折測定は、適切なX線管球を用いたディフラクトメーター法等を用いて行なった。X線回折測定用の試料として、鋼板の板幅が1／2の部分より、板幅方向に長さが20mm、圧延方向に長さが20mmである試験片を切り出した。この試験片を機械研磨によって、鋼板の板厚の1／2の位置が測定面となるように研磨した後、電解研磨等により歪みを除去した。このX線回折測定用試料と、特定の方位への集積を持たない標準試料とを同条件でX線回折法等により測定し、鋼板のX線強度を標準試料のX線強度で除した数値をX線ランダム強度比とした。なお、X線ランダム強度比は、極密度と同義である。また、上記X線回折測定に代わって、EBSD法やECP (Electron Channeling Pattern) 法を用いて、集合組織を測定してもよい。また、鋼板の集合組織として、 $\{211\}$ 面のX線ランダム強度比 ($\{211\}$ 面の極密度、又は $\{211\}$ 面強度と同義) を測定した。

[0052] 次に、本実施形態に係る熱延鋼板の特性が、例えば、穴広げ率の平均値 λ_{ave} が60%以上、穴広げ率の標準偏差 σ が15%以下、そして、亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ が $600MJ/m^3$ 以上を満足するための、上記総和 M 、及び、長径／短径比の上記平均値に関する数値限定範囲とその限定理由とについて説明する。

[0053] 図5は、介在物の圧延方向長さの総和 M と、介在物の長径／短径比の最大値の平均値と、穴広げ率の平均値 λ_{ave} との関係を示す図である。図6は、介在物の圧延方向長さの総和 M と、介在物の長径／短径比の最大値の平均値と、穴広げ率の標準偏差 σ との関係を示す図である。

[0054] 図5に示すように、介在物の圧延方向長さの総和Mの値が小さいほど、また、長径／短径比の最大値の平均値が小さいほど、鋼板の穴広げ率の平均値 λ_{ave} が向上することが分かる。また、図6に示すように、介在物の長径／短径比の最大値の平均値が小さいほど、穴広げ率の標準偏差 σ が向上することが分かる。なお、図5及び図6にプロットされている各データは、介在物の圧延方向長さの総和Mと長径／短径比の最大値の平均値とに関する構成以外、本実施形態に係る熱延鋼板の構成を満足するものを示している。

[0055] これら図5及び図6から、介在物の圧延方向長さの総和Mを 0 mm/mm^2 以上 0.25 mm/mm^2 以下、長径／短径比の最大値の平均値を 1.0 以上 8.0 以下とすることにより、穴広げ率の平均値 λ_{ave} で 60% 以上、標準偏差 σ を 15% 以下とすることができることがわかる。この理由は、上述したように、上記総和Mの値と、長径／短径比の上記平均値とが小さくなることで、鋼板の塑性変形中の介在物近傍への応力集中が緩和されたためであると考えられる。好ましくは、介在物の圧延方向長さの総和Mを 0 mm/mm^2 以上 0.20 mm/mm^2 以下とし、さらに好ましくは、介在物の圧延方向長さの総和Mを 0 mm/mm^2 以上 0.15 mm/mm^2 以下とする。また、好ましくは、長径／短径比の最大値の平均値を 1.0 以上 3.0 以下とすることにより、穴広げ率の平均値 λ_{ave} で 65% 以上、標準偏差 σ で 10% 以下とすることができることがわかる。さらに好ましくは、長径／短径比の最大値の平均値を 1.0 以上 2.0 以下とする。

[0056] 図7は、介在物の圧延方向長さの総和Mと亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ との関係を示す図である。この図より、介在物の圧延方向長さの総和Mが 0 mm/mm^2 以上 0.25 mm/mm^2 以下である場合、上記の穴広げ率の平均値 λ_{ave} と標準偏差 σ に加えて、亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ も 600 MJ/m^3 以上を満足することが分かる。一般に、構造用部材を構成する鋼板の破壊を防ぐためには、亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ を改善することが重要である。上述のように、亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ は、介在物の圧延方向長さの総和Mに依存する傾向があり、その総和Mを上記範囲内に制御することが重要であるこ

とが判明した。

[0057] このように、介在物の圧延方向長さの総和 M 、及び、介在物の長径／短径比の最大値の平均値を制御することで、穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、穴広げ率の標準偏差 σ 、及び、亀裂伝搬抵抗値 T 、 M などの特性を満足させることができる。また、上述したように、上記総和 M は、疲労特性も向上させる。以下に、これらの総和 M 、及び、長径／短径比の上記平均値を上記範囲内に制御する方法を説明する。

[0058] 本発明者は、介在物の圧延方向長さの総和 M や介在物の長径／短径比の最大値の平均値を増大させる要因となる介在物群 G や延伸介在物（圧延方向長さ HL が $30\mu m$ 以上である独立介在物 H ）が、圧延により延伸した MnS 析出物や、製鋼段階で脱硫のために投入した脱硫材の残存物であることを見出した。また、上記の MnS 析出物や脱硫材の残存物ほど影響は大きくないが、 REM （Rare Earth Metal）の酸化物や硫化物を核とせずに析出する CaS や、 CaO とアルミナの混合物であるカルシウムアルミネート等の析出物も、上記総和 M や長径／短径比の上記平均値を増大させる虞があることを見出した。これらの CaS やカルシウムアルミネート等の析出物は、圧延によって圧延方向に延伸した形状となる可能性があるため、鋼板の穴広げ性や破壊特性等を劣化させる虞がある。穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、穴広げ率の標準偏差 σ 、及び、亀裂伝搬抵抗値 T 、 M 等の特性を向上させるために、これら介在物を抑制する方法について検討した結果、以下が重要であることが判明した。

[0059] まず、 MnS 析出物を抑制するうえで、 Mn と結合する S 含有量を低減することが重要となる。この観点から、本実施形態に係る熱延鋼板では、鋼中の全体の S 含有量を低減するために、その上限値を、質量％で、 0.01% とする。

[0060] また、 Ti を添加すると、 MnS 生成温度域より高温で TiS 析出物が生成されるので、 MnS 析出物の析出量を低減させることができる。同様に、 REM 、 Ca を添加すると、 REM 、 Ca の硫化物が生成されるので、 Mn

S析出物の析出量を低減させることができる。このため、本実施形態に係る熱延鋼板では、質量%で、Ti : 0.001%~0.3%、REM : 0.0001%~0.02%、Ca : 0.0001%~0.01%、から選択された少なくとも1つを含有させる。Caを選択することで、MnS析出物の析出量を低減させることができるが、CaSやカルシウムアルミネート等の析出を抑制するため、Ca含有量の上限は、質量%で、0.01%とする。なお、熱延鋼板の化学成分の数値限定範囲とその限定理由については、詳しく後述する。

[0061] さらに、MnS析出物を抑制するうえでは、化学量論的にS含有量より多い割合で、Ti、REM、Caを含有させる必要がある。そこで、S含有量、Ti含有量、REM含有量、及び、Ca含有量と、介在物の圧延方向長さの総和Mとの関係について調査した。図8は、S含有量、Ti含有量、REM含有量、及び、Ca含有量と、介在物の圧延方向長さの総和Mとの関係を示す図である。 $(Ti/48)/(S/32) + \{(Ca/40)/(S/32) + (REM/140)/(S/32)\} \times 15$ の値が12.0以上15.0以下であれば、上記総和Mが0mm/mm²以上0.25mm/mm²以下となることが判明した。つまり、本実施形態に係る熱延鋼板は、化学成分中の各元素の質量%で示した含有量が、下記の式6を満足することが必要である。この式6を満足することにより、延伸したMnS析出物の生成が抑制されると考えられる。また、図示はしないが、下記の式6を満足する場合に、介在物の長径/短径比の最大値の平均値が1.0以上8.0以下となることが判明した。さらに、Ti、REM、及び、Caがすべて鋼中に同時に含有される場合でも、又は、Ti、REM、及び、Caから選択された少なくとも1つが鋼中に含有される場合でも、下記の式6を満足するとき、総和Mが0mm/mm²以上0.25mm/mm²以下となり、介在物の長径/短径比の最大値の平均値が1.0以上8.0以下となることが判明した。

$$12.0 \leq (Ti/48)/(S/32) + \{(Ca/40)/(S/32) + (REM/140)/(S/32)\} \times 15 \leq 15.0 \quad \dots (式6)$$

6)

[0062] なお、上記総和Mを 0 mm/mm^2 以上 0.25 mm/mm^2 以下とし、長径／短径比の上記平均値を 1.0 以上 8.0 以下とするためには、上記の式6を満たすと同時に、後述するように、一次粗圧延工程にて、 1150°C 超 1400°C 以下の温度域で累積圧下率を 10% 以上 70% 以下とする。なお、本実施形態に係る熱延鋼板の製造方法については、詳しく後述する。

[0063] 上述の構成により、上記総和Mと長径／短径比の上記平均値とを制御することが可能である。しかし、鋼板の特性をさらに向上させるには、上述したREMの酸化物や硫化物を核とせずに析出するCaSやカルシウムアルミネート等の析出物を低減させることが好ましい。これらの析出物を低減させるためには、化学成分中の各元素の質量％で示した含有量が、下記の式7を満足すればよい。下記の式7を満足するとき、介在物の長径／短径比の最大値の平均値が、 1.0 以上 3.0 以下となり好ましくなることが判明した。なお、Ti又はREMが鋼に添加される場合、Ca含有量を極力低減してもよいので、下記の式7に上限値はない。

$$0.3 \leq (\text{REM} / 140) / (\text{Ca} / 40) \quad \dots (\text{式7})$$

[0064] 上記の式7を満足するようにREMをCaより十分多く添加した場合、球形のREM酸化物やREM硫化物を核としてCaS等が、晶出又は析出する。一方、Caに対するREMの割合が減少して上記の式7を満足しないと、核となるREM酸化物やREM硫化物が減少するので、REM酸化物やREM硫化物を核としないCaS等が多く析出する。これらの介在物は圧延によって圧延方向に延伸した形状となる虞がある。このように、上記の式7を満足するとき、介在物の長径／短径比が好適に制御される。

[0065] なお、介在物の長径／短径比の最大値の平均値を 1.0 以上 3.0 以下とするためには、上記の式7を満たすと同時に、後述するように、一次粗圧延工程にて、 1150°C 超 1400°C 以下の温度域で累積圧下率を 10% 以上 65% 以下とすることが好ましい。本実施形態に係る熱延鋼板の製造方法については、詳しく後述する。

[0066] 続いて、本実施形態に係る熱延鋼板の基本成分について、数値限定範囲とその限定理由とについて説明する。ここで、記載する%は、質量%である。

[0067] C : 0.03%~0.1%

C（炭素）は、引張強度TSの向上に寄与する元素である。C含有量が少ないと、金属組織の粗大化により、破面遷移温度 vT_{rs} の上昇を招いてしまう。また、C含有量が少ないと、目的の面積分率のマルテンサイト及び残留オーステナイトを得にくくなる。一方、C含有量が多いと、穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、亀裂発生抵抗値 J_c 、シャルピー吸収エネルギーEの低下を招く。このため、C含有量は、0.03%以上0.1%以下とする。好ましくは、0.04%以上0.08%以下とする。さらに好ましくは、0.04%以上0.07%以下とする。

[0068] Mn : 0.5%~3.0%

Mn（マンガン）は、固溶強化元素として鋼板の引張強度TSの向上に寄与する元素である。目的とする引張強度TSを得るために、Mn含有量を0.5%以上とする。しかし、Mn含有量が3.0%超であると、熱間圧延時の割れが生じやすくなる。このため、Mn含有量は、0.5%以上3.0%以下とする。また、Mn含有量が3.0%超であると、フェライト変態を抑制して、マルテンサイト及び残留オーステナイトの面積分率が高くなる。主相であるフェライトと第二相であるマルテンサイト及び残留オーステナイトとの面積分率を好ましく制御するには、Mn含有量を0.8%以上2.0%以下とする。さらに好ましくは、1.0%以上1.5%以下とする。

[0069] $0.5\% \leq Si + Al \leq 4.0\%$

目的とする引張強度TS、フェライト面積分率を得るために、Si（シリコン）及びAl（アルミニウム）のうちの少なくとも1つを含有させる。上記効果を得るために、Si及びAlのうちの少なくとも1つを含有させて、 $Si + Al$ の含有量を0.5%以上とする。しかし、Si及びAlのうちの少なくとも1つを含有させて、 $Si + Al$ の含有量を4.0%超としても、穴広げ率の平均値 λ_{ave} の低下を招く。好ましくは、1.5%以上3.0

%以下とする。さらに好ましくは、1. 8%以上2. 6%以下とする。

[0070] Si : 0. 5%~2. 0%

Si (シリコン) は、鋼の引張強度TSの向上と、フェライト変態の促進とに寄与する元素である。目的とする引張強度TS、フェライトの面積分率を得るために、Si含有量を0. 5%以上とすることが好ましい。しかし、Si含有量を2. 0%超としても、強度が過度に高くなり穴広げ率の平均値 λ_{ave} の低下を招く虞がある。このため、Si含有量は、0. 5%以上2. 0%以下とすることが好ましい。

[0071] Al : 0. 005%~2. 0%

Al (アルミニウム) は、溶鋼の脱酸に必要な元素であり、引張強度TSの向上に寄与する元素である。この効果を十分に得るためにAl含有量を0. 005%以上とすることが好ましい。しかし、Al含有量を2. 0%超としても、強度が過度に高くなり穴広げ率の平均値 λ_{ave} の低下を招く虞がある。このため、Al含有量は、0. 005%以上2. 0%以下とすることが好ましい。

[0072] 本実施形態に係る熱延鋼板は、更に、Ti、REM、Caから選択された少なくとも1つを下記する含有量で含有する。

[0073] Ti : 0. 001%~0. 3%

Ti (チタニウム) は、TiCとして微細に析出することにより、鋼板の引張強度TSの向上に寄与する元素である。また、Tiは、TiSとして析出することにより、圧延時に延伸するMnSの析出を抑制する元素である。そのため、介在物の圧延方向長さの総和Mと介在物の長径/短径比の最大値の平均値とが低減する。上記効果を得るために、Ti含有量を0. 001%以上とする。しかし、Ti含有量が0. 3%超であると、強度が過度に高くなり、穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、亀裂発生抵抗値Jc、シャルピー吸収エネルギーEの低下を招く。このため、Ti含有量は、0. 001%以上0. 3%以下とする。好ましくは、0. 01%以上0. 3%以下とする。さらに好ましくは、0. 05%以上0. 18%以下とする。最も好ましくは、0.

0.8%以上0.15%以下とする。

[0074] REM: 0.0001%~0.02%

REM (Rare Earth Metal) は、鋼中のSと結合することにより、MnSの生成を抑制する元素である。また、MnS等の硫化物の形態を球形化させることにより、介在物の長径／短径比の最大値の平均値や、圧延方向長さの総和Mを低減させる元素である。REM含有量が0.0001%未満であると、MnSの生成を抑制する効果や、MnS等の硫化物の形態を球形化させる効果が十分得られない。また、REM含有量が0.02%超であると、REM酸化物を含む介在物を過多に生じ、穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、亀裂発生抵抗値 J_c 、シャルピー吸収エネルギーEの低下を招く可能性がある。このため、REM含有量は、0.0001%以上0.02%以下とする。好ましくは、0.0005%以上0.005%以下とする。さらに好ましくは、0.001%以上0.004%以下とする。

なお、REMとは原子番号が57のランタンから71のルテシウムまでの15元素に、原子番号が21のスカンジウムと原子番号が39のイットリウムとを加えた合計17元素の総称である。通常は、これらの元素の混合物であるミッシュメタルの形で供給され、鋼中に添加される。

[0075] Ca: 0.0001%~0.01%

Ca (カルシウム) は、鋼中のSと結合することにより、MnSの生成を抑制する元素である。また、MnS等の硫化物の形態を球形化させることにより、介在物の長径／短径比の最大値の平均値や、圧延方向長さの総和Mを低減させる元素である。Ca含有量が0.0001%未満であると、MnSの生成を抑制する効果や、MnS等の硫化物の形態を球形化させる効果が十分得られない。また、Ca含有量が0.01%超であると、延伸した形状の介在物となりやすいCaSやカルシウムアルミネートが多量に生じ、上記総和M及び長径／短径比の上記平均値を増大させてしまう恐れがある。このため、Ca含有量は、0.0001%以上0.01%以下とする。好ましくは、0.0001%以上0.005%以下とする。さらに好ましくは、0.0

0.1%以上0.003%以下とする。さらに好ましくは、0.0015%以上0.0025%以下とする。

[0076] 本実施形態に係る熱延鋼板は、上記したTi、REM、Caから選択された少なくとも1つを含有すると同時に、化学成分中の各元素の質量%で示した含有量が、下記の式8を満足する。なお、不純物Sについては、詳しく後述する。下記の式8を満たすことにより、鋼中のMnS析出物の析出量が低減して、介在物の長径／短径比の最大値の平均値と、介在物の圧延方向長さの総和Mとを低減する効果が得られる。これにより、介在物の圧延方向長さの総和Mが0mm/mm²以上0.25mm/mm²以下となり、介在物の長径／短径比の最大値の平均値が1.0以上8.0以下となる。その結果、鋼板の穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、標準偏差 σ 、亀裂発生抵抗値Jc、亀裂伝播抵抗値T.M.、シャルピー吸収エネルギーE、疲労寿命を改善する効果が得られる。下記の式8の値が12.0未満であると、上記効果が得られない恐れがある。好ましくは、30.0以上とする。また、不純物であるSは含有量を低減することが好ましいので、下記の式8に上限値はない。しかし、下記の式8が150以下である場合、好ましく上記効果を得ることができる。

$$12.0 \leq (Ti/48) / (S/32) + \{ (Ca/40) / (S/32) + (REM/140) / (S/32) \} \times 15 \leq 150 \quad \cdots (式8)$$

[0077] なお、Tiを上記範囲内で高含有量とすると、鋼板の引張強度TSが向上する。例えば、Ti含有量を0.08以上0.3%以下とすると、鋼板の引張強度TSを780MPa以上980MPa以下とすることが可能であり、このとき、平面曲げ疲労寿命が50万回以上となる。これは、TiCの析出強化に起因する。一方、Tiを添加しないか、または上記範囲内で低含有量とすると、鋼板の成形性と破壊特性とが向上する。例えば、Tiを添加しないか、またはTi含有量を0.001以上0.08%未満とすると、鋼板の引張強度TSが590MPa以上780MPa未満となるが、穴広げ率の平

均値 λ_{ave} が 90% 以上、亀裂発生抵抗値 J_c が 0.9 MJ/m^2 以上、シャルピー吸収エネルギー E が 35 J 以上とすることが可能である。これは、TiC の析出量が低減することに起因する。このように鋼板の目的に応じて、Ti 含有量を制御することが好ましい。Ti を添加しない際には、上記総和 M 及び長径／短径比の上記平均値を制御するために、REM、Ca のうちの少なくとも 1 つを含有させることが好ましい。また、Ti を上記範囲内で低含有量とする際には、上記総和 M 及び長径／短径比の上記平均値を制御するために、REM、Ca のうちの少なくとも 1 つを含有させることが好ましい。具体的には、REM : 0.0001% ~ 0.02%、Ca : 0.0001% ~ 0.01%、のうちの少なくとも 1 つを含有するとき、Ti の含有量を、Ti : 0.001% ~ 0.08% 未満とすることが好ましい。さらに好ましくは、REM : 0.0001% ~ 0.02%、Ca : 0.0001% ~ 0.005%、のうちの少なくとも 1 つを含有するとき、Ti の含有量を、Ti : 0.01% ~ 0.08% 未満とする。

[0078] また、Ca 及び REM は、介在物の長径／短径比の最大値の平均値を抑える観点から、下記の式 9 を満足するような含有量とすることが好ましい。下記の式 9 を満足するとき、介在物の長径／短径比の最大値の平均値が、1.0 以上 3.0 以下となるので好ましい。つまり、化学成分中の各元素の質量% で示した含有量が、下記の式 9 を満足し、介在物の長径／短径比の最大値を平均した前記値が、1.0 以上 3.0 以下となることが好ましい。さらに好ましくは、1.0 以上 2.0 以下とする。その結果、穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、穴広げ率の標準偏差 σ 、亀裂発生抵抗値 J_c 、シャルピー吸収エネルギー E などについて、更に優れた効果を得られる。これは、下記の式 9 を満足するように REM を Ca より十分多く添加した場合、球形の REM 酸化物や REM 硫化物を核として CaS 等が、晶出又は析出することに起因する。

$$0.3 \leq (\text{REM} / 140) / (\text{Ca} / 40) \quad \cdots (\text{式 } 9)$$

[0079] 本実施形態に係る熱延鋼板は、上記した基本成分の他に、不可避免の不純物

を含有する。ここで、不可避的不純物とは、スクラップ等の副原料や、製造工程から不可避的に混入する、P、S、N、O、Pb、Cd、Zn、As、Sb等の元素を意味する。この中で、P、S、及びNは、上記効果を好ましく発揮させるために、以下のように制限する。また、P、S、及びN以外の上記不可避的不純物は、それぞれ0.02%以下に制限することが好ましい。これらが、0.02%以下含まれても、上記効果を失するものではない。これらの不純物含有量の制限範囲には0%が含まれるが、工業的に安定して0%にすることが難しい。ここで、記載する%は、質量%である。

[0080] P : 0.1%以下

P（リン）は、不可避的に混入する不純物である。P含有量が0.1%超では、粒界でのP偏析量が増大し、穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、亀裂発生抵抗値 J_c 、シャルピー吸収エネルギーEの劣化を招く。このため、P含有量を0.1%以下に制限する。P含有量は少ないほど望ましいので、上記制限範囲に0%が含まれる。しかし、P含有量を0%にするのは、技術的に容易でなく、また、安定的に0.0001%未満とするにも、製鋼コストが高くなる。よって、P含有量の制限範囲は、0.0001%以上0.1%以下であることが好ましい。さらに好ましくは、0.001%以上0.03%以下とする。

[0081] S : 0.01%以下

S（硫黄）は、不可避的に混入する不純物である。S含有量が0.01%超では、鋼片加熱時に鋼中でMnSを多量に生成し、これが熱間圧延により延伸される。そのため、介在物の圧延方向長さの総和Mや介在物の長径／短径比の最大値の平均値の増大を招き、目的とする穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、標準偏差 σ 、亀裂発生抵抗値 J_c 、亀裂伝播抵抗値 $T.M.$ 、シャルピー吸収エネルギーE、疲労寿命等の特性が得られない。このため、S含有量を0.01%以下に制限する。S含有量は少ないほど望ましいので、上記制限範囲に0%が含まれる。しかし、S含有量を0%にするのは、技術的に容易でなく、また、安定的に0.0001%未満とするにも、製鋼コストが高くなる。

なる。よって、S含有量の制限範囲は、0.0001%以上0.01%以下であることが好ましい。また、二次精錬時に脱硫材を用いた脱硫を行わない場合、S含有量を0.003%未満にすることが困難である。この場合のSの含有量は0.003%以上0.01%以下とすることが好ましい。

[0082] N : 0.02%以下

N（窒素）は、不可避免的に混入する不純物である。N含有量が0.02%超では、Ti及びNbと析出物を形成して、TiCの析出量を減少させる。その結果、鋼板の引張強度TSが低下する。このため、N含有量を0.02%以下に制限する。N含有量は少ないほど望ましいので、上記制限範囲に0%が含まれる。しかし、N含有量を0%にするのは、技術的に容易でなく、また、安定的に0.0001%未満とするにも、製鋼コストが高くなる。よって、N含有量の制限範囲は、0.0001%以上0.02%以下であることが好ましい。また、引張強度TSの低下をより有効に抑えるためには、Nの含有量を0.005%以下とすることが好ましい。

[0083] 本実施形態に係る熱延鋼板は、上記した基本成分及び不純物元素の他に、更に、選択成分として、Nb、B、Cu、Cr、Mo、Ni、Vのうちの少なくとも1つを含有してもよい。以下に、選択成分の数値限定範囲とその限定理由とを説明する。ここで、記載する%は、質量%である。

[0084] Nb : 0.001%~0.1%

Nb（ニオブ）は、細粒化を通じて鋼の引張強度TSの向上に寄与する元素である。この効果を得るために、Nb含有量を0.001%以上とすることが好ましい。しかし、Nb含有量が0.1%超であると、熱間圧延時に動的再結晶が生じる温度範囲が狭くなる虞がある。そのため、{211}面のX線ランダム強度比を増大させる未再結晶状態の圧延集合組織が熱間圧延後に多く残存してしまう。なお、集合組織については、詳しく後述する。集合組織として、{211}面のX線ランダム強度比が過度に増大すると、穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、亀裂発生抵抗値Jc、シャルピー吸収エネルギーEの劣化を招いてしまう。このため、Nb含有量は0.001%以上0.1%

以下にすることが好ましい。さらに好ましくは、0.002%以上0.07%以下とする。最も好ましくは、0.002%以上0.02%未満とする。なお、Nb含有量が、0%~0.1%であれば、熱延鋼板の各特性値に悪影響を与えることはない。

[0085] B : 0.0001%~0.0040%

B (ホウ素) は、細粒化を通じて鋼の引張強度TSの向上に寄与する元素である。この効果を得るために、B含有量を0.0001%以上とすることが好ましい。しかし、B含有量が0.0040%超であると、熱間圧延時に動的再結晶が生じる温度範囲が狭くなる虞がある。そのため、{211}面のX線ランダム強度比を増大させる未再結晶状態の圧延集合組織が熱間圧延後に多く残存してしまう。集合組織として、{211}面のX線ランダム強度比が過度に増大すると、穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、亀裂発生抵抗値Jc、シャルピー吸収エネルギーEの劣化を招いてしまう。このため、B含有量は0.0001%以上0.0040%以下にすることが好ましい。さらに好ましくは、0.0001%以上0.0020%以下とする。最も好ましくは、0.0005%以上0.0015%以下とする。なお、B含有量が、0%~0.0040%であれば、熱延鋼板の各特性値に悪影響を与えることはない。

[0086] Cu : 0.001%~1.0%

Cuは、析出強化若しくは固溶強化により熱延鋼板の引張強度TSを向上させる効果がある元素である。しかしながら、Cu含有量が0.001%未満であると、この効果が得られない。一方、Cu含有量が1.0%超であると、強度が過度に高くなり穴広げ率の平均値 λ_{ave} の低下を招く虞がある。このため、Cu含有量は0.001%以上1.0%以下とすることが好ましい。さらに好ましくは、0.2%以上0.5%以下とする。なお、Cu含有量が、0%~1.0%であれば、熱延鋼板の各特性値に悪影響を与えることはない。

[0087] Cr : 0.001%~1.0%

C r は、同様に、析出強化若しくは固溶強化により熱延鋼板の引張強度 T S を向上させる効果がある元素である。しかしながら、C r 含有量が 0. 0 0 1 % 未満であると、この効果が得られない。一方、C r 含有量が 1. 0 % 超であると、強度が過度に高くなり穴広げ率の平均値 λ_{ave} の低下を招く虞がある。このため、C r 含有量は 0. 0 0 1 % 以上 1. 0 % 以下とすることが好ましい。さらに好ましくは、0. 2 % 以上 0. 5 % 以下とする。なお、C r 含有量が、0 % ~ 1. 0 % であれば、熱延鋼板の各特性値に悪影響を与えることはない。

[0088] M o : 0. 0 0 1 % ~ 1. 0 %

M o は、同様に、析出強化若しくは固溶強化により熱延鋼板の引張強度 T S を向上させる効果がある元素である。しかしながら、M o 含有量が 0. 0 0 1 % 未満であると、この効果が得られない。一方、M o 含有量が 1. 0 % 超であると、強度が過度に高くなり穴広げ率の平均値 λ_{ave} の低下を招く虞がある。このため、M o 含有量は 0. 0 0 1 % 以上 1. 0 % 以下とすることが好ましい。さらに好ましくは、0. 0 0 1 % 以上 0. 0 3 % 以下とする。さらに好ましくは、0. 0 2 % 以上 0. 2 % 以下とする。なお、M o 含有量が、0 % ~ 1. 0 % であれば、熱延鋼板の各特性値に悪影響を与えることはない。

[0089] N i : 0. 0 0 1 % ~ 1. 0 %

N i は、同様に、析出強化若しくは固溶強化により熱延鋼板の引張強度 T S を向上させる効果がある元素である。しかしながら、N i 含有量が 0. 0 0 1 % 未満であると、この効果が得られない。一方、N i 含有量が 1. 0 % 超であると、強度が過度に高くなり穴広げ率の平均値 λ_{ave} の低下を招く虞がある。このため、N i 含有量は 0. 0 0 1 % 以上 1. 0 % 以下とすることが好ましい。さらに好ましくは、0. 0 5 % 以上 0. 2 % 以下とする。なお、N i 含有量が、0 % ~ 1. 0 % であれば、熱延鋼板の各特性値に悪影響を与えることはない。

[0090] V : 0. 0 0 1 % ~ 0. 2 %

Vは、同様に、析出強化若しくは固溶強化により熱延鋼板の引張強度TSを向上させる効果がある元素である。しかしながら、V含有量が0.001%未満であると、この効果が得られない。一方、V含有量が0.2%超であると、強度が過度に高くなり穴広げ率の平均値 λ_{ave} の低下を招く虞がある。このため、V含有量は0.001%以上0.2%以下とすることが好ましい。さらに好ましくは、0.005%以上0.2%以下とする。さらに好ましくは、0.01%以上0.2%以下とする。最も好ましくは、0.01%以上0.15%以下とする。なお、V含有量が、0%~0.2%であれば、熱延鋼板の各特性値に悪影響を与えることはない。

[0091] また、本実施形態に係る熱延鋼板は、必要に応じて、Zr、Sn、Co、W、Mgを、合計0%以上1%以下含有していてもかまわない。

[0092] 次に、本実施形態に係る熱延鋼板の金属組織と集合組織とについて説明する。

[0093] 本実施形態に係る熱延鋼板の金属組織は、主相としてフェライトと、第二相としてマルテンサイト及び残留オーステナイトのうちの少なくとも一つと、複数の介在物と、を含む。このような混合組織とすることで、高い引張強度TSと伸び(n値)の両立を図ることが可能となる。この理由は、比較的軟質な主相であるフェライトにより延性が確保され、硬質の第二相により引張強度TSが得られるためと考えられる。また、上記混合組織とすることにより良好な疲労特性が得られる。この理由は、比較的硬質な第二相であるマルテンサイト及び残留オーステナイトにより疲労亀裂の成長が遅くなるためと推定される。上記効果を得るために、本実施形態に係る熱延鋼板の金属組織は、上記主相の面積分率が、90%以上99%以下とし、かつ、上記第二相であるマルテンサイトと残留オーステナイトとの面積分率が、合計で、1%以上10%以下とする。上記主相の面積分率が90%未満であると、金属組織が目的とする混合組織とならないため、上記効果を得ることができない。一方、上記主相の面積分率を99%超とすることは、技術的に困難である。また、第二相の面積分率が、合計で、10%超であると、延性破壊を促進

し、穴広げ値の平均値 λ_{ave} 、亀裂発生抵抗値 J_c 、シャルピー吸収エネルギー E を劣化させる。一方、第二相の面積分率が、合計で、1%未満であると、金属組織が目的とする混合組織とならないため、上記効果を得ることができない。好ましくは、上記主相の面積分率が、95%以上99%以下とし、かつ、上記第二相であるマルテンサイトと残留オーステナイトとの面積分率が、合計で、1%以上5%以下とする。

[0094] また、上記金属組織には、主相であるフェライト、上記第二相であるマルテンサイト又は残留オーステナイト、そして、複数の介在物の他に、ベイナイト、パーライト、又はセメントライトなどが僅かながら含まれる。上記金属組織で、ベイナイト及びパーライトの面積分率を、合計で、0%以上5.0%未満とすることが好ましい。この結果、金属組織が目的とする上記混合組織となり、上記効果が得られるので好ましい。

[0095] 主相である上記フェライトは、その平均結晶粒径を $2\mu m$ 以上 $10\mu m$ 以下とする。これは、主相であるフェライトの平均結晶粒径が $10\mu m$ 以下の場合に、目的とする破面遷移温度 v_{Trs} が得られるためである。また、主相であるフェライトの平均結晶粒径を $2\mu m$ 未満とするには、厳しい製造条件を選択する必要がある、製造設備への負荷が大きい。このため、主相であるフェライトの平均結晶粒径を $2\mu m$ 以上 $10\mu m$ 以下とする。好ましくは、 $2\mu m$ 以上 $7\mu m$ 以下とする。さらに好ましくは、 $2\mu m$ 以上 $6\mu m$ 以下とする。

[0096] 第二相である上記マルテンサイト及び上記残留オーステナイトは、平均結晶粒径が $0.5\mu m$ 以上 $8.0\mu m$ 以下であることが好ましい。第二相の平均結晶粒径が $8.0\mu m$ 超であると、第二相近傍で発生する応力集中が大きくなり、穴広げ率の平均値 λ_{ave} などの特性を低下させる虞がある。また、第二相の平均結晶粒径を $0.5\mu m$ 未満とするには、厳しい製造条件を選択する必要がある、製造設備への負荷が大きい。このため、第二相の平均結晶粒径を $0.5\mu m$ 以上 $8.0\mu m$ 以下とする。

[0097] 金属組織に含まれる上記介在物は、鋼板の板幅方向が法線となる L 断面を

0.0025 mm²の視野で30回観察したとき、各視野での介在物の長径／短径比の最大値を平均した値を、1.0以上8.0以下とする。これは、この長径／短径比の上記平均値が8.0超である場合、鋼板変形時に介在物の近傍での応力集中が増大し、目的とする穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、標準偏差 σ 、亀裂発生抵抗値 J_c 、シャルピー吸収エネルギー E が得られなくなるためである。一方、長径／短径比の上記平均値の下限値は、特に限定されるものでないが、技術的に1.0未満とすることは困難である。このため、長径／短径比の上記平均値は、1.0以上8.0以下とする。また、この長径／短径比の上記平均値は、1.0以上3.0以下であることが好ましい。長径／短径比の上記平均値が1.0以上3.0以下となるとき、穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、穴広げ率の標準偏差 σ 、亀裂発生抵抗値 J_c 、シャルピー吸収エネルギー E について、更に優れた効果が得られる。

[0098] また、金属組織に含まれる上記介在物は、介在物間の圧延方向の間隔 F が50 μ m以下でそれぞれの長径が3 μ m以上である介在物の集合体を介在物群 G とし、上記間隔 F が50 μ m超である介在物を独立介在物 H としたとき、圧延方向長さ GL が30 μ m以上である介在物群 G と、圧延方向長さ HL が30 μ m以上である独立介在物 H との、圧延方向の長さの総和 M が、鋼板の板幅方向が法線となる L 断面の1 mm²当たり、0 mm以上0.25 mm以下とする。介在物が上記条件を満足するとき、穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、穴広げ率の標準偏差 σ 、亀裂発生抵抗値 J_c 、亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ 、シャルピー吸収エネルギー E 、疲労特性について優れた効果が得られるためである。なお、この総和 M は、零であってもよい。好ましくは、上記総和 M が、鋼板の板幅方向が法線となる L 断面の1 mm²当たり、0 mm以上0.15 mm以下とする。

[0099] また、金属組織に含まれる上記介在物中、長径が3 μ m以上である介在物の合計個数に対して、長径が3 μ m以上である MnS 析出物及び CaS 析出物の個数が、合計で、0%以上70%未満であることが好ましい。上記介在物中に含まれる MnS 析出物及び CaS 析出物の個数が、合計で、0%以上

70%未満であると、上記総和M及び長径／短径比の上記平均値を好ましく制御することができる。なお、長径が3 μ m未満である介在物は、穴広げ率の平均値 λ_{ave} などの特性に与える影響が小さいので、考慮に含めない。

[0100] なお、ここでいう上記介在物は、主に、鋼中のMnS、CaS等の硫化物、CaO-Al₂O₃系化合物（カルシウムアルミネート）等の酸化物、及び、CaF₂等の脱硫材の残存物等のことをいう。

[0101] 本実施形態に係る熱延鋼板の集合組織は、{211}面のX線ランダム強度比（{211}面強度）が1.0以上2.4以下とする。{211}面強度が2.4超であると、鋼板の異方性が大きくなる。そして、穴広げ加工時に、板幅方向に引張歪みを受ける圧延方向端面において板厚減少が大きくなり、端面に高い応力が発生して亀裂が発生及び伝搬し易くなる。その結果、穴広げ率の平均値 λ_{ave} を劣化させる。また、{211}面強度が2.4超であると、亀裂発生抵抗値Jc、シャルピー吸収エネルギーEも劣化させる。一方、{211}面強度を1.0未満とすることは、技術的に困難である。このため、{211}面強度を1.0以上2.4以下とする。好ましくは、1.0以上2.0以下とする。なお、{211}面のX線ランダム強度比と、{211}面強度と、{211}面の極密度とは、同義である。なお、{211}面のX線ランダム強度比は、X線回折法によって測定することを基本とするが、EBSD法又はECP法によって測定しても測定結果に差が生じないので、EBSD法やECP法で測定してもよい。

[0102] なお、上記した化学成分、金属組織、集合組織の測定方法や、X線ランダム強度比、介在物の圧延方向長さの総和M、介在物の長径／短径比の最大値の平均値などの定義は上述の通りである。

[0103] 本実施形態に係る熱延鋼板は、上記した化学成分、金属組織、及び集合組織を満足することで、引張強度TSが590MPa以上980MPa以下となる。また、本実施形態に係る熱延鋼板は、上記した化学成分、金属組織、及び集合組織を満足することで、穴広げ率の平均値 λ_{ave} が60%以上、穴広げ率の標準偏差 σ が15%以下、平面曲げ疲労寿命が40万回以上、亀

裂発生抵抗値 J_c が 0.5 MJ/m^2 以上、亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ が 600 MJ/m^3 以上、破面遷移温度 $v T_{rs}$ が -13°C 以下、シャルピー吸収エネルギー E が 16 J 以上を満足する。

[0104] 本実施形態に係る熱延鋼板は、上述のように、鋼板の使用目的に応じて、 T_i 含有量を制御することで、引張強度 TS を制御することが好ましい。例えば、 T_i 含有量を 0.001 以上 0.08% 未満とすると、鋼板の引張強度 TS は 590 MPa 以上 780 MPa 未満となるが、上記特性の内、穴広げ率の平均値 λ_{ave} が 90% 以上、亀裂発生抵抗値 J_c が 0.9 MJ/m^2 以上、シャルピー吸収エネルギー E が 35 J 以上とすることが可能である。例えば、 T_i 含有量を 0.08 以上 0.3% 以下とすると、鋼板の引張強度 TS を 780 MPa 以上 980 MPa 以下とすることが可能であり、上記特性の内、平面曲げ疲労寿命を 50 万回以上とすることが可能である。このように、鋼板の使用目的に応じて、 T_i 含有量を制御するときは、上記総和 M 及び長径／短径比の上記平均値を目的の数値範囲とするために、上述のように、必要に応じて、 REM 及び Ca の含有量を制御すればよい。

[0105] 次に、本実施形態に係る熱延鋼板の製造方法について説明する。

[0106] 本実施形態に係る熱延鋼板の製造方法は、上記化学成分からなる鋼片を 1200°C 以上 1400°C 以下に加熱する加熱工程と、加熱工程後にこの鋼片に対して、 1150°C 超 1400°C 以下の温度域で、累積圧下率が 10% 以上 70% 以下となる粗圧延を行う一次粗圧延工程と、一次粗圧延工程後に、 1070°C 超 1150°C 以下の温度域で、累積圧下率が 10% 以上 25% 以下となる粗圧延を行う二次粗圧延工程と、二次粗圧延工程後に、開始温度が 1000°C 以上 1070°C 以下、終了温度が $A_r3 + 60^\circ\text{C}$ 以上 $A_r3 + 200^\circ\text{C}$ 以下となる仕上圧延を行って熱延鋼板を得る仕上圧延工程と、仕上圧延工程後にこの熱延鋼板に対して、上記終了温度から、冷却速度が $20^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以上 $150^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以下である冷却を行う一次冷却工程と、一次冷却工程後に、 650°C 以上 750°C 以下の温度域で、冷却速度が $1^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以上 $15^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以下、及び、冷却時間が 1 秒以上 10 秒以下である冷却を行う二次冷却

工程と、二次冷却工程後に、 0°C 以上 200°C 以下の温度域まで、冷却速度が $20^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上 $150^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下である冷却を行う三次冷却工程と、三次冷却工程後に、上記熱延鋼板を巻き取る巻取工程と、を備える。ここで、 A_{r3} とは、冷却時にフェライト変態が始まる温度である。

[0107] まず、加熱工程では、連続鑄造等により得られた上記化学成分からなる鋼片を加熱炉にて加熱する。この際の加熱温度は、目的とする引張強度 TS を得るうえで、 1200°C 以上 1400°C 以下に加熱する。 1200°C 未満であると、 Ti や Nb を含む析出物が鋼片中に十分に溶解せずに粗大化し、 Ti や Nb の析出物による析出強化能が得られない可能性がある。そのため、目的とする引張強度 TS が得られなくなる虞がある。加えて、 1200°C 未満であると、鋼片中の MnS が十分に溶解せず、 S を Ti 、 REM 、 Ca の硫化物として析出させることができない可能性がある。そのため、目的とする穴広げ値の平均値 λ_{ave} 、亀裂発生抵抗値 J_c 、シャルピー吸収エネルギー E が得られなくなる虞がある。一方、 1400°C 超に加熱しても、上記効果が飽和し、また、加熱コストが増大する。

[0108] 続いて、一次粗圧延工程では、加熱炉より取り出した鋼片に対して、粗圧延を行う。一次粗圧延では、 1150°C 超 1400°C 以下の高温の温度域で、累積圧下率が 10% 以上 70% 以下となるように粗圧延を行う。これは、この温度域での累積圧下率が 70% 超であると、介在物の圧延方向長さの総和 M と介在物の長径／短径比の最大値の平均値とが共に大きくなる可能性があるからである。そのため、穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、標準偏差 σ 、亀裂発生抵抗値 J_c 、亀裂伝搬抵抗値 $T.M.$ 、シャルピー吸収エネルギー E 、疲労寿命等の特性が劣化する。一方、一次粗圧延工程での累積圧下率の下限値は、特に限定されないが、次工程での生産効率等を考慮して 10% 以上とする。また、一次粗圧延工程での累積圧下率は 10% 以上 65% 以下とすることが好ましい。これにより、鋼片の組成が $0.3 \leq (REM/140) / (Ca/40)$ を満足する条件の下で、長径／短径比の上記平均値を 1.0 以上 3.0 以下とすることが可能となる。また、 1150°C 超 1400°C 以

下の温度範囲とすることで、上記効果を得ることができる。

[0109] 続いて、二次粗圧延工程では、 1070°C 超 1150°C 以下の低温の温度域で、累積圧下率が 10% 以上 25% 以下となるように粗圧延を行う。累積圧下率が 10% 未満の場合、金属組織の平均結晶粒径が大きくなり、目的とする $2\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下であるフェライトの平均結晶粒径が得られなくなる可能性がある。その結果、目的とする破面遷移温度 $vTrs$ が得られなくなる。一方、累積圧下率が 25% 超の場合、集合組織として $\{211\}$ 面強度が大きくなる可能性がある。その結果、目的とする穴広げ率の平均値 λ_{ave} 、亀裂発生抵抗値 Jc 、シャルピー吸収エネルギー E 等の特性が得られなくなる。また、 1070°C 超 1150°C 以下の温度範囲とすることで、上記効果を得ることができる。

[0110] ここで、一次粗圧延工程と、二次粗圧延工程とに関する、基礎的研究結果について説明する。下記の表1に示すような鋼成分aからなる供試鋼について、一次粗圧延と二次粗圧延とでの累積圧下率を様々に変化させて鋼板を製造し、その鋼板の特性を調査した。なお、一次粗圧延及び二次粗圧延の累積圧下率以外は、本実施形態に係る熱延鋼板の製造条件を満足している。

[0111] [表1]

鋼成分	化学組成 (単位: 質量%)										Ar3 ($^{\circ}\text{C}$)
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	REM	Ca	
a	0.040	1.25	1.25	0.007	0.001	0.025	0.0035	0.07	0.0025	0.002	798

[0112] 図9Aは、一次粗圧延工程での累積圧下率と介在物の圧延方向長さの総和 M との関係を示すグラフである。図9Bは、一次粗圧延工程での累積圧下率と介在物の長径／短径比の最大値の平均値と関係を示すグラフである。図9Cは、二次粗圧延工程での累積圧下率と $\{211\}$ 面強度との関係を示すグラフである。図9Dは、二次粗圧延工程での累積圧下率とフェライトの平均結晶粒径との関係を示すグラフである。なお、ここでいう累積圧下率とは、加熱工程後の鋼片の厚みを基準とした、一次粗圧延工程及び二次粗圧延工程での鋼片の圧下される割合を意味している。即ち、一次粗圧延工程での粗圧延の累積圧下率は、 $\{(1150^{\circ}\text{C}$ 超 1400°C 以下の温度域での最初の圧

下前の鋼片の厚み－1150℃超1400℃以下の温度域での最終の圧下後の鋼片の厚み)／加熱工程後の鋼片の厚み×100%}で定義される。二次粗圧延工程での粗圧延の累積圧下率は、{(1070℃超1150℃以下の温度域での最初の圧下前の鋼片の厚み－1070℃超1150℃以下の温度域での最終の圧下後の鋼片の厚み)／加熱工程後の鋼片の厚み×100%}で定義される。

[0113] 図9Aより、1150℃超1400℃以下の温度域での累積圧下率が70%超の場合、介在物の圧延方向長さの総和Mが大きくなり、目的とする範囲である0mm/mm²以上0.25mm/mm²以下の総和Mが得られないことが分かる。また、図9Bより、1150℃超1400℃以下の温度域での累積圧下率が70%超の場合、介在物の長径／短径比の最大値の平均値が大きくなり、目的とする範囲である1.0以上8.0以下の長径／短径比の上記平均値が得られないことが分かる。これらは、1150℃超1400℃以下のような高温の温度域で行なう粗圧延の累積圧下率が大きくなるほど、介在物が圧延により延伸しやすいためと考えられる。また、図9Bより、累積圧下率が65%以下の場合、1.0以上3.0以下の長径／短径比の上記平均値が得られることが分かる。

[0114] 図9Cより、1070℃超1150℃以下の温度域での累積圧下率が25%超の場合、{211}面強度が大きくなり、目的とする1.0以上2.4以下の{211}面強度が得られないことが分かる。これは、1070℃超1150℃以下のような比較的低温の温度域で行なう粗圧延の累積圧下率が大きすぎると、粗圧延後に再結晶が均一に進まなくなり、{211}面強度を増大させる原因となる未再結晶組織が仕上圧延後にも残存して、{211}面強度が高められると考えられる。

[0115] 図9Dより、1070℃超1150℃以下の温度域での累積圧下率が10%未満の場合、フェライトの平均結晶粒径が大きくなり、目的とする2μm以上10μm以下の平均結晶粒径が得られないことが分かる。これは、1070℃超1150℃以下のような低温の温度域で行なう粗圧延の累積圧下率

が小さくなるほど、再結晶後のオーステナイト粒径が大きくなり、鋼板のフェライトの平均結晶粒径も大きくなったためと考えられる。

[0116] 二次粗圧延工程後に、仕上圧延工程として、鋼片に対して仕上圧延を行って、熱延鋼板を得る。この仕上圧延工程では、その開始温度が 1000°C 以上 1070°C 以下となるようにする。これは、仕上圧延の開始温度を 1000°C 以上 1070°C 以下にすると、仕上圧延中の動的再結晶が促進されるためである。その結果、未再結晶状態である圧延集合組織が低減されて、目的とする 1.0 以上 2.4 以下の $\{211\}$ 面強度を得ることができる。

[0117] また、この仕上圧延工程では、その終了温度が $A r 3 + 60^{\circ}\text{C}$ 以上 $A r 3 + 200^{\circ}\text{C}$ 以下となるようにする。この終了温度を $A r 3 + 60^{\circ}\text{C}$ 以上としたのは、 $\{211\}$ 面強度を増大させる原因となる未再結晶状態の圧延集合組織が残存するのを避けて、目的とする 1.0 以上 2.4 以下の $\{211\}$ 面強度を得るためである。好ましくは、 $A r 3 + 100^{\circ}\text{C}$ 以上とする。また、この終了温度を $A r 3 + 200^{\circ}\text{C}$ 以下としたのは、結晶粒の過度の粗大化を防ぎ、目的とするフェライトの平均結晶粒径を得るためである。

[0118] なお、 $A r 3$ は、下記の式10から求められる。下記の式10では、化学成分中の各元素の質量%で示した含有量を用いて計算する。

$$A r 3 = 868 - 396 \times C + 25 \times Si - 68 \times Mn - 36 \times Ni - 21 \times Cu - 25 \times Cr + 30 \times Mo \quad \cdots (\text{式 } 10)$$

[0119] 続いて、仕上圧延工程により得られた熱延鋼板をランアウトテーブル等で冷却する。この熱延鋼板の冷却は、次に説明するような一次冷却工程～三次冷却工程とする。一次冷却工程では、仕上圧延の上記終了温度である熱延鋼板を、冷却速度が $20^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上 $150^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下として、 650°C 以上 750°C 以下の温度まで冷却を行う。続いて、二次冷却工程では、 650°C 以上 750°C 以下の温度域内で、冷却速度を $1^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上 $15^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下に変更し、冷却時間が 1 秒以上 10 秒以下となる冷却を行う。続いて、三次冷却工程では、再び、冷却速度を $20^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上 $150^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下に戻して、 0°C 以上 200°C 以下の温度域まで冷却を行なう。このように、二次冷却工程

で、一次冷却工程及び三次冷却工程よりも遅い冷却速度で熱延鋼板の冷却を行なうことにより、フェライト変態を促進することが可能となる。その結果、目的とする混合組織を有する熱延鋼板を得ることが可能となる。

[0120] 一次冷却工程での冷却速度が $20^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 未満であると、フェライト粒径が大きくなり破面遷移温度 vT_{rs} が劣化する可能性がある。また、一次冷却工程での冷却速度を $150^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 超とするのは、設備上の制約が大きく困難である。このため、一次冷却工程での冷却速度は $20^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上 $150^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下とする。

[0121] 二次冷却工程での冷却速度は、フェライト変態を促進し、第二相であるマルテンサイト及び残留オーステナイトを目的とする面積分率以下とするために、 $15^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下とする。また、二次冷却工程での冷却速度を $1^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 未満としても、上記効果が飽和する。このため、二次冷却工程での冷却速度は $1^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上 $15^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下とする。

[0122] また、二次冷却工程を行なう温度域は、フェライト変態を促進してマルテンサイト及び残留オーステナイトを目的とする面積分率以下とするために、フェライト変態が促進される 750°C 以下とする。また、二次冷却工程を行なう温度域が 650°C 未満であると、パーライト又はベイナイトの生成が促進されて、マルテンサイト及び残留オーステナイトの分率が過小になる可能性がある。このため、二次冷却工程を行なう温度域は 650°C 以上 750°C 以下とする。

[0123] また、二次冷却工程での冷却時間が 10 秒以上であると、引張強度 TS や疲労寿命の劣化の原因となるパーライトの生成が促進されて、マルテンサイト及び残留オーステナイトの分率が過小になる可能性があるためである。また、二次冷却工程での冷却時間は、フェライト変態を促進する観点から、 1 秒以上とする。このため、二次冷却工程での冷却時間は 1 秒以上 10 秒以下とする。

[0124] 三次冷却工程での冷却速度が $20^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 未満であると、パーライト、ベイナイトの生成が促進されて、マルテンサイト及び残留オーステナイトの分率

が過小になる可能性がある。また、三次冷却工程での冷却速度を $150^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 超とするのは、設備上の制約が大きく困難である。このため、三次冷却工程での冷却速度は $20^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上 $150^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下とする。

[0125] また、三次冷却工程での冷却終了温度が 200°C 超であると、次工程である巻取工程時に、ベイナイトの生成が促進されて、マルテンサイト及び残留オーステナイトの分率が過小になる可能性があるためである。三次冷却工程での冷却終了温度を 0°C 未満とすることは、設備上の制約が大きく困難である。このため、三次冷却工程での冷却終了温度を 0°C 以上 200°C 以下とする。

[0126] なお、 $20^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上の冷却速度は、例えば、水冷、ミストによる冷却等で実現される。また、 $15^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下の冷却速度は、例えば、空冷による冷却等で実現される。

[0127] 続いて、巻取工程として、上記熱延鋼板を巻き取る。

[0128] 以上が、本実施形態に係る熱間圧延工程の製造条件である。ただ、必要に応じて、可動転位の導入による延性の向上や鋼板の形状の矯正を図ることを目的として、スキンプラス圧延を行ってもよい。また、必要に応じて、熱延鋼板の表面に付着しているスケールの除去を目的として、酸洗を行ってもよい。また、必要に応じて、得られた熱延鋼板に対して、インライン若しくはオフラインでスキンプラス圧延、又は、冷間圧延をしてもよい。

[0129] また、必要に応じて、溶融めっき法によりめっき処理を行って、鋼板の耐食性を向上させてもよい。また、溶融めっきに加えて合金化処理を行ってもよい。

実施例 1

[0130] 実施例により本発明の一態様の効果を更に具体的に詳細に説明するが、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、種々の条件を採用し得る。

[0131] まず、表2～4に示すような鋼成分A～MMMMの溶鋼を得ることとした。各溶鋼は、転炉での溶製、二次精錬を行なうことによって溶製した。二次精錬はRH（Ruhrstahl-Hausen）真空脱ガス装置で行い、適宜CaO-CaF₂-MgO系の脱硫材を添加し、脱硫を行った。一部の鋼成分は、延伸した介在物となる脱硫材の残存を抑制するため、脱硫を行わず、転炉での一次精錬後のS含有量のまま製品を製造した。各溶鋼からは連続 casting を経て鋼片を得て、その後に、表5～7に示すような製造条件で熱間圧延を行った後に得られた鋼板を巻き取ることとした。得られた熱延鋼板は、その板厚が2.9mmとなるようにした。

[0132] 得られた熱延鋼板の金属組織、集合組織、介在物の特性値について表8～10に示す。得られた熱延鋼板の機械的性質について表11～13に示す。金属組織、集合組織、介在物の測定方法や機械的性質の測定方法は、上述の通りである。引張特性として、引張強度TSが590MPa以上、n値が0.13以上であり、成形性として、穴広げ率の平均値 λ_{ave} が60%以上、穴広げ率の標準偏差 σ が15%以下であり、破壊特性として、亀裂発生抵抗値Jcが0.5MJ/m²以上、亀裂伝搬抵抗値T.M.が600MJ/m³以上、破面遷移温度 vT_{rs} が-13℃以下、シャルピー吸収エネルギーEが16J以上であり、疲労特性として、平面曲げ疲労寿命が40万回以上である場合を合格とした。また、表中の下線付きデータは、本発明の範囲外を意味する。なお表中、化学成分中の各元素の質量%で示した含有量として、 $(Ti/48)/(S/32) + \{ (Ca/40)/(S/32) + (REM/140)/(S/32) \} \times 15$ の値を「※1」として表し、 $(REM/140)/(Ca/40)$ の値を「※2」として表す。

[0133] 表2～13に、上記製造結果及び評価結果を示す。実施例は、何れもが、本発明の範囲を満足し、引張特性と成形性と破壊特性と疲労特性とが優れた熱延鋼板となっている。一方、比較例は、本発明の範囲から外れた熱延鋼板である。

[0134] 比較例11は、C含有量が少ないために、主相の平均結晶粒径が粗大化し

た例である。そのため、鋼板の破壊特性が劣化している。

比較例 12 は、C 含有量が少ないために、主相の平均結晶粒径が粗大化し、第二相の面積分率が低下した例である。そのため、鋼板の引張特性と破壊特性とが劣化している。

比較例 26 は、S 含有量が過多であるために、介在物の圧延方向長さの総和 M の値が上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 27 は、※1 の値が小さいために、介在物の圧延方向長さの総和 M と介在物の長径／短径比の最大値の平均値とが上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 28 は、Mn 含有量が過多であるために、第二相の面積分率が上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 30 は、一次粗圧延工程での圧下率が高いために、介在物の圧延方向長さの総和 M と介在物の長径／短径比の最大値の平均値とが上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 32 は、二次粗圧延工程での圧下率が高いために、{211} 面強度が高くなった例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 35 は、二次粗圧延工程での圧下率が小さいために、主相の平均結晶粒径が粗大化した例である。そのため、鋼板の破壊特性が劣化している。

比較例 36 は、仕上圧延工程での開始温度が低いために、{211} 面強度が高くなった例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 37 は、仕上圧延工程での終了温度が低いために、{211} 面強度が高くなった例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 38 は、仕上圧延工程での終了温度が高いために、主相の平均結晶粒径が粗大化した例である。そのため、鋼板の破壊特性が劣化している。

比較例 39 は、一次冷却工程での冷却速度が遅いために、主相の平均結晶粒径が粗大化した例である。そのため、鋼板の破壊特性が劣化している。

比較例 40 は、三次冷却工程での冷却終了温度が高いために、第二相の面積分率が低下した例である。そのため、鋼板の引張特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 41 は、三次冷却工程での冷却速度が遅いために、第二相の面積分率が低下した例である。そのため、鋼板の引張特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 51 は、C 含有量が少ないために、主相の平均粒径が粗大化し、第二相の面積分率が低下した例である。そのため、鋼板の引張特性と破壊特性と疲労特性とが低下している。

比較例 67 は、※1 の値が小さいために、介在物の圧延方向長さの総和 M の値が上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 68 は、※1 の値が小さいために、介在物の圧延方向長さの総和 M と介在物の長径／短径比の最大値の平均値とが上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 69 は、Mn 含有量が過多であるために、第二相の面積分率が上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 70 は、加熱工程での加熱温度が低いために、引張強度が不足した例である。

比較例 71 は、一次粗圧延工程での圧下率が高いために、介在物の圧延方向長さの総和 M と介在物の長径／短径比の最大値の平均値とが上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 73 は、二次粗圧延工程での圧下率が高いために、{211} 面強度が高くなった例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 76 は、二次粗圧延工程での圧下率が小さいために、主相の平均結

晶粒径が粗大化した例である。そのため、鋼板の破壊特性が劣化している。

比較例 77 は、仕上圧延工程での開始温度が低いために、 $\{211\}$ 面強度が高くなった例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 78 は、仕上圧延工程での終了温度が低いために、 $\{211\}$ 面強度が高くなった例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 79 は、仕上圧延工程での終了温度が高いために、主相の平均結晶粒径が粗大化した例である。そのため、鋼板の破壊特性が劣化している。

比較例 80 は、三次冷却工程での冷却速度が遅いために、主相の平均結晶粒径が粗大化し、第二相の面積分率が低下した例である。そのため、鋼板の引張特性と破壊特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 81 は、三次冷却工程での冷却終了温度が高いために、第二相の面積分率が低下した例である。そのため、鋼板の引張特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 84 は、Ti、REM、Caのいずれもが含有されないために、介在物の圧延方向長さの総和Mと介在物の長径／短径比の最大値の平均値とが上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 85 は、二次冷却工程での冷却速度が速いために、第二相の面積分率が上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 86 は、※1の値が小さいために、介在物の圧延方向長さの総和Mの値が上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 91 は、二次冷却工程での冷却温度が高いために、第二相の面積分率が上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 9 2 は、二次冷却工程での冷却時間が長いために、主相の面積分率が低下して、パーライトの面積分率が高くなった例である。そのため、鋼板の引張特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 9 3 は、二次冷却工程での冷却時間が短いために、第二相の面積分率が高くなった例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 9 4 は、C 含有量が過多であるために、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化した例である。

比較例 9 5 は、Mn 含有量が少ないために、鋼板の引張特性が劣化した例である。

比較例 9 6 及び 9 7 は、Si + Al 含有量が過多であるために、鋼板の成形性が劣化した例である。

比較例 9 8 及び 9 9 は、Si + Al 含有量が少ないために、鋼板の引張特性と疲労特性とが劣化した例である。

比較例 1 0 0 は、P 含有量が過多であるために、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化した例である。

比較例 1 0 1 は、N 含有量が過多であるために、鋼板の引張特性が劣化した例である。

比較例 1 0 2 は、Ti 含有量が過多であるために、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化した例である。

比較例 1 0 3 は、REM 含有量が過多であるために、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化した例である。

比較例 1 0 4 は、Ca 含有量が過多であるために、介在物の圧延方向長さの総和 M と介在物の長径／短径比の最大値の平均値とが上昇した例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性と疲労特性とが劣化している。

比較例 1 0 5 は、Ti 含有量が少ないために、鋼板の成形性と破壊特性と疲労特性とが劣化した例である。

比較例 1 0 6 は、REM 含有量が少ないために、鋼板の成形性と破壊特性

と疲労特性とが劣化した例である。

比較例 107 は、C a 含有量が少ないために、鋼板の成形性と破壊特性と疲労特性とが劣化した例である。

比較例 108 は、N b 含有量が過多であるために、{2 1 1} 面強度が高くなった例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 109 は、B 含有量が過多であるために、{2 1 1} 面強度が高くなった例である。そのため、鋼板の成形性と破壊特性とが劣化している。

比較例 110 は、C u 含有量が過多であるために、鋼板の成形性が劣化した例である。

比較例 111 は、C r 含有量が過多であるために、鋼板の成形性が劣化した例である。

比較例 112 は、M o 含有量が過多であるために、鋼板の成形性が劣化した例である。

比較例 113 は、N i 含有量が過多であるために、鋼板の成形性が劣化した例である。

比較例 114 は、V 含有量が過多であるために、鋼板の成形性が劣化した例である。

[0135]

[表2]

		鋼成分														化学組成 (単位: 質量%)													
		C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	REM	Ca	※1	※2	Si+Al	他元素														
実施例	1	A	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	V=0.015%													
	2	B	0.055	1.35	1.85	0.008	0.0010	0.020	0.0025	0.13	0.0025	0.0020	119.24	0.36	1.37														
実施例	3	C	0.062	1.05	2.50	0.011	0.0040	0.029	0.0029	0.28	0.0000	0.0000	46.67	∞	1.08	V=0.03%													
実施例	4	D	0.057	1.95	1.35	0.009	0.0010	0.026	0.0021	0.12	0.0000	0.0000	80.00	∞	1.98														
実施例	5	E	0.065	1.35	1.70	0.010	0.0040	0.028	0.0020	0.25	0.0000	0.0003	42.57	0.00	1.38	-													
実施例	6	F	0.080	1.15	1.90	0.011	0.0010	0.025	0.0029	0.18	0.0000	0.0004	124.80	0.00	1.17														
実施例	7	G	0.061	0.50	1.85	0.012	0.0030	0.025	0.0027	0.13	0.0050	0.0000	34.60	∞	0.53	V=0.08%													
実施例	8	H	0.060	0.55	1.87	0.008	0.0035	0.028	0.0029	0.13	0.0050	0.0003	30.69	4.76	0.58														
実施例	9	I	0.058	1.36	2.00	0.011	0.0045	0.027	0.0028	0.14	0.0040	0.0034	32.86	0.34	1.39	Nb=0.019%													
実施例	10	J	0.059	1.17	1.86	0.012	0.0035	0.021	0.0026	0.08	0.0055	0.0050	37.39	0.31	1.19														
比較例	11	K	0.028	1.00	1.90	0.012	0.0040	0.023	0.0024	0.12	0.0040	0.0037	34.53	0.31	1.02	-													
	12	L	0.015	1.30	1.90	0.011	0.0040	0.021	0.0020	0.12	0.0400	0.0036	65.09	3.17	1.32														
実施例	13	M	0.065	1.09	1.91	0.006	0.0040	0.028	0.0029	0.13	0.0040	0.0037	36.20	0.31	1.12	B=0.0010%													
	14	N	0.068	1.13	1.90	0.005	0.0040	0.022	0.0025	0.14	0.0180	0.0000	38.76	∞	1.15														
実施例	15	O	0.060	1.27	1.70	0.011	0.0040	0.025	0.0022	0.13	0.0000	0.0050	36.67	0.00	1.30	-													
実施例	16	P	0.061	1.35	1.90	0.012	0.0040	0.027	0.0025	0.13	0.0000	0.0040	33.67	0.00	1.38														
実施例	17	Q	0.062	1.25	1.80	0.009	0.0040	0.021	0.0024	0.12	0.0010	0.0031	30.16	0.09	1.27	-													
実施例	18	R	0.055	1.23	1.90	0.011	0.0040	0.029	0.0023	0.11	0.0020	0.0042	32.65	0.14	1.26														
実施例	19	S	0.059	1.20	1.89	0.012	0.0040	0.027	0.0027	0.13	0.0032	0.0044	37.61	0.21	1.23	-													
実施例	20	T	0.060	1.30	1.83	0.014	0.0040	0.020	0.0026	0.14	0.0034	0.0040	38.25	0.24	1.32														
実施例	21	U	0.057	1.05	1.86	0.008	0.0038	0.022	0.0020	0.12	0.0027	0.0025	31.38	0.31	1.07	Cu=0.2%, Ni=0.1%													
実施例	22	V	0.059	1.04	1.87	0.009	0.0040	0.024	0.0029	0.13	0.0031	0.0024	31.52	0.37	1.06														
実施例	23	W	0.062	1.10	1.83	0.011	0.0040	0.023	0.0024	0.11	0.0055	0.0040	35.05	0.39	1.12	-													
実施例	24	X	0.061	1.17	1.85	0.012	0.0035	0.024	0.0023	0.13	0.0038	0.0035	40.48	0.31	1.19														
実施例	25	Y	0.060	1.15	1.86	0.014	0.0043	0.026	0.0021	0.12	0.0044	0.0029	30.21	0.43	1.18	-													
比較例	26	Z	0.061	1.18	1.87	0.009	0.0110	0.024	0.0022	0.13	0.0034	0.0041	13.41	0.24	1.20														
比較例	27	AA	0.055	1.35	1.75	0.008	0.0100	0.025	0.0021	0.13	0.0015	0.0023	11.94	0.19	1.38	-													
比較例	28	BB	0.048	0.51	3.05	0.011	0.0040	0.030	0.0024	0.13	0.0032	0.0022	31.01	0.42	0.54														

表中の下線付きデータは本発明の範囲外であることを表す。

表中の※1は $(Ti/48)/(S/32) + ((Ca/40)/(S/32) + (REM/140)/(S/32)) \times 15$ を表す。

表中の※2は $(REM/140)/(Ca/40)$ を表す。

[0136]

[表3]

鋼成分		化学組成 (単位: 質量%)													
		C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	REM	Ca	※1	※2	Si+Al	他元素
実施例	42	0.040	1.25	1.25	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.05	0.0040	0.0038	30.88	0.30	1.27	-
実施例	43	0.055	1.35	1.20	0.008	0.0010	0.020	0.0025	0.05	0.0025	0.0020	65.90	0.36	1.37	-
実施例	44	0.062	1.05	1.48	0.011	0.0040	0.029	0.0029	0.08	0.0000	0.0000	13.33	∞	1.08	V=0.02%
実施例	45	0.057	1.95	0.70	0.009	0.0010	0.026	0.0021	0.04	0.0000	0.0000	26.67	∞	1.98	-
実施例	46	0.065	1.35	1.05	0.010	0.0040	0.028	0.0020	0.08	0.0000	0.0003	13.40	0.00	1.38	-
実施例	47	0.090	1.15	1.25	0.011	0.0010	0.025	0.0029	0.08	0.0000	0.0004	56.80	0.00	1.17	-
実施例	48	0.061	0.50	1.85	0.012	0.0030	0.025	0.0027	0.05	0.0050	0.0000	16.83	∞	0.53	V=0.01%
実施例	49	0.060	0.55	1.87	0.008	0.0035	0.028	0.0029	0.05	0.0050	0.0002	15.11	7.14	0.58	V=0.02%
実施例	50	0.040	1.50	1.51	0.007	0.0015	0.025	0.0025	0.00	0.0034	0.0028	30.17	0.35	1.53	-
比較例	51	0.020	1.30	1.35	0.006	0.0040	0.021	0.0021	0.05	0.0045	0.0040	24.19	0.32	1.32	-
実施例	52	0.058	1.36	1.35	0.011	0.0045	0.027	0.0028	0.06	0.0040	0.0034	21.00	0.34	1.39	Nb=0.012%
実施例	53	0.031	1.00	1.25	0.012	0.0040	0.023	0.0024	0.04	0.0040	0.0037	21.20	0.31	1.02	-
実施例	54	0.065	1.09	1.26	0.006	0.0040	0.028	0.0029	0.05	0.0040	0.0037	22.86	0.31	1.12	B=0.0009%
実施例	55	0.068	1.13	1.15	0.005	0.0040	0.022	0.0025	0.06	0.0100	0.0000	18.57	∞	1.15	Cr=0.2%, Mo=0.05%
実施例	56	0.060	1.27	0.83	0.011	0.0040	0.025	0.0022	0.05	0.0000	0.0050	23.33	0.00	1.30	-
実施例	57	0.061	1.35	1.25	0.012	0.0040	0.027	0.0025	0.05	0.0000	0.0040	20.33	0.00	1.38	-
実施例	58	0.062	1.25	1.15	0.009	0.0040	0.021	0.0024	0.04	0.0010	0.0031	16.82	0.09	1.27	-
実施例	59	0.055	1.23	1.25	0.011	0.0040	0.029	0.0023	0.03	0.0020	0.0042	19.31	0.14	1.26	-
実施例	60	0.059	1.20	1.24	0.012	0.0040	0.027	0.0027	0.05	0.0032	0.0044	24.28	0.21	1.23	-
実施例	61	0.060	1.30	1.18	0.014	0.0040	0.020	0.0026	0.06	0.0034	0.0040	24.91	0.24	1.32	-
実施例	62	0.057	1.05	1.21	0.008	0.0038	0.022	0.0020	0.04	0.0027	0.0025	17.35	0.31	1.07	Cu=0.2%, Ni=0.2%
実施例	63	0.059	1.04	1.22	0.009	0.0040	0.024	0.0029	0.05	0.0031	0.0024	18.19	0.37	1.06	V=0.01%
実施例	64	0.062	1.10	1.18	0.011	0.0040	0.023	0.0024	0.03	0.0055	0.0040	21.71	0.39	1.12	-
実施例	65	0.061	1.17	1.20	0.012	0.0035	0.024	0.0023	0.05	0.0038	0.0035	25.25	0.31	1.19	-
実施例	66	0.060	1.15	1.21	0.014	0.0043	0.026	0.0021	0.04	0.0035	0.0031	17.64	0.32	1.18	-
比較例	67	0.061	1.18	1.22	0.009	0.0060	0.024	0.0022	0.05	0.0034	0.0041	11.77	0.24	1.20	-
比較例	68	0.055	1.35	1.10	0.008	0.0100	0.025	0.0021	0.05	0.0015	0.0023	6.61	0.19	1.38	-
比較例	69	0.048	0.51	3.05	0.011	0.0040	0.030	0.0024	0.05	0.0032	0.0022	17.68	0.42	0.54	-

表中の下線付きデータは本発明の範囲外であることを表す。

表中の※1は $(Ti/48)/(S/32) + ((Ca/40)/(S/32) + (REM/140)/(S/32)) \times 15$ を表す。

表中の※2は $(REM/140)/(Ca/40)$ を表す。

[0137] [表4]

		化学組成 (単位: 質量%)														
鋼成分		C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	REM	Ca	※1	※2	Si+Al	他元素	
実施例	82	0.060	1.10	1.80	0.010	0.0010	0.020	0.0020	0.00	0.0090	0.0000	30.86	∞	1.12	V=0.12%	
実施例	83	0.060	1.31	1.75	0.008	0.0030	0.025	0.0025	0.00	0.0000	0.0060	24.00	0.00	1.34	V=0.13%	
比較例	84	0.065	1.60	0.50	0.010	0.0030	0.028	0.0025	0.00	0.0000	0.0000	0.00	∞	1.63	V=0.12%	
比較例	85	0.078	1.50	1.20	0.010	0.0025	0.025	0.0021	0.13	0.0039	0.0038	58.26	0.29	1.53	-	
比較例	86	0.064	1.50	1.80	0.010	0.0015	0.025	0.0031	0.02	0.0001	0.0001	9.92	0.29	1.53	V=0.1%	
実施例	87	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	V=0.015%	
実施例	89	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	V=0.015%	
実施例	90	0.060	1.25	1.95	0.010	0.0049	0.025	0.0040	0.13	0.0040	0.0035	29.19	0.33	1.28	-	
比較例	91	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	V=0.015%	
比較例	92	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	V=0.015%	
比較例	93	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	V=0.015%	
比較例	94	0.110	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	-	
比較例	95	0.040	1.25	0.48	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.05	0.0040	0.0038	30.88	0.30	1.27	-	
比較例	96	0.060	2.55	1.90	0.007	0.0030	1.580	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	4.13	-	
比較例	97	0.060	1.60	1.90	0.007	0.0030	2.430	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	4.03	-	
比較例	98	0.031	0.47	1.25	0.012	0.0040	0.007	0.0024	0.04	0.0040	0.0037	21.20	0.31	0.48	-	
比較例	99	0.031	0.45	1.25	0.012	0.0040	0.004	0.0024	0.04	0.0040	0.0037	21.20	0.31	0.45	-	
比較例	100	0.059	1.17	1.86	0.110	0.0035	0.021	0.0026	0.08	0.0055	0.0050	37.39	0.31	1.19	-	
比較例	101	0.055	1.35	1.20	0.008	0.0010	0.020	0.0020	0.05	0.0025	0.0020	65.90	0.36	1.37	-	
比較例	102	0.062	1.05	2.00	0.011	0.0040	0.029	0.0029	0.31	0.0000	0.0000	51.67	∞	1.08	-	
比較例	103	0.060	1.10	1.80	0.010	0.0010	0.020	0.0020	0.00	0.0250	0.0000	85.71	∞	1.12	-	
比較例	104	0.060	1.31	1.75	0.008	0.0030	0.025	0.0025	0.00	0.0000	0.0130	52.00	0.00	1.34	-	
比較例	105	0.062	1.05	1.35	0.011	0.0040	0.029	0.0029	0.0008	0.0000	0.0000	0.13	∞	1.08	-	
比較例	106	0.060	1.10	1.80	0.010	0.0010	0.020	0.0020	0.00	0.0008	0.0000	0.27	∞	1.12	-	
比較例	107	0.060	1.31	1.75	0.008	0.0030	0.025	0.0025	0.00	0.0000	0.00009	0.36	0.00	1.34	-	
比較例	108	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	Nb=0.11%	
比較例	109	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	B=0.0042%	
比較例	110	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	Cu=1.1%	
比較例	111	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	Cr=1.1%	
比較例	112	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	Mo=1.1%	
比較例	113	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	Ni=1.1%	
比較例	114	0.060	1.25	1.90	0.007	0.0030	0.023	0.0021	0.13	0.0040	0.0038	48.66	0.30	1.27	V=0.22%	
実施例	115	0.058	1.36	2.00	0.011	0.0045	0.027	0.0028	0.14	0.0040	0.0034	32.86	0.34	1.39	Nb=0.0008%	
実施例	116	0.065	1.09	1.91	0.006	0.0040	0.028	0.0029	0.13	0.0040	0.0037	36.20	0.31	1.12	B=0.00009%	
実施例	117	0.057	1.05	1.86	0.008	0.0038	0.022	0.0020	0.12	0.0027	0.0025	31.38	0.31	1.07	Cu=0.0007%, Ni=0.1%	
実施例	118	0.068	1.13	1.80	0.005	0.0040	0.022	0.0025	0.14	0.01800	0.0000	38.76	∞	1.15	Cr=0.0008%, Mo=0.03%	
実施例	119	0.068	1.13	1.80	0.005	0.0040	0.022	0.0025	0.14	0.0180	0.0000	38.76	∞	1.15	Cr=0.1%, Mo=0.0008%	
実施例	120	0.057	1.05	1.86	0.008	0.0038	0.022	0.0020	0.12	0.0027	0.0025	31.38	0.31	1.07	Cu=0.2%, Ni=0.0008%	
実施例	121	0.059	1.04	1.87	0.009	0.0040	0.024	0.0029	0.13	0.0031	0.0024	31.52	0.37	1.06	V=0.0008%	

表中の下線付きデータは本発明の範囲外であることを表す。

表中の※1は $(Ti/48)/(S/32)+(Ca/40)/(S/32)+(REM/140)/(S/32) \times 15$ を表す。表中の※2は $(REM/140)/(Ca/40)$ を表す。

[0138]

[表5]

鋼成分	Ar3 変態点 温度 (°C)	製造条件		一次粗圧延工程		二次粗圧延工程		仕上圧延工程		一次冷却		二次冷却工程		三次冷却工程				
		二次精練 脱磷材 使用有無	加熱工程 加熱温度 (°C)	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	圧下率 (%)	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	圧下率 (%)	開始温度 (°C)	終了温度 (°C)	冷却速度 (°C/秒)	冷却時間 (秒)	冷却速度 (°C/秒)	冷却時間 (秒)	冷却速度 (°C/秒)	冷却時間 (秒)	
実施例 1	A	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25
実施例 2	B	有り	1250	1250	1151	65	1150	1074	21	1014	889	30	10	730	650	8	30	25
実施例 3	C	無し	1250	1250	1151	65	1150	1071	21	1011	895	33	10	720	650	7	33	25
実施例 4	D	有り	1250	1250	1151	65	1150	1077	21	1017	907	27	10	730	650	8	27	25
実施例 5	E	無し	1250	1250	1151	65	1150	1075	21	1015	888	32	10	700	650	5	32	25
実施例 6	F	有り	1250	1250	1151	65	1150	1071	21	1011	893	35	10	750	700	5	35	25
実施例 7	G	無し	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	891	31	10	750	690	6	31	25
実施例 8	H	無し	1250	1250	1151	65	1150	1074	21	1014	891	31	10	750	650	10	31	25
実施例 9	I	無し	1250	1250	1151	65	1150	1078	21	1018	892	27	10	750	670	8	27	25
実施例 10	J	無し	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	887	30	10	750	670	8	30	25
比較例 11	K	無し	1250	1250	1151	65	1150	1074	21	1014	892	26	10	750	670	8	26	25
比較例 12	L	無し	1250	1250	1151	65	1150	1074	21	1014	892	25	10	750	670	8	25	25
実施例 13	M	無し	1250	1250	1151	65	1150	1080	21	1020	892	30	10	750	670	8	30	25
実施例 14	N	無し	1250	1250	1151	65	1150	1073	21	1013	892	31	5	700	670	6	31	25
実施例 15	O	無し	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	892	28	10	750	670	8	28	25
実施例 16	P	無し	1250	1250	1151	65	1150	1071	21	1011	891	31	10	750	670	8	31	25
実施例 17	Q	無し	1250	1250	1151	65	1150	1078	21	1018	891	34	10	750	670	8	34	25
実施例 18	R	無し	1250	1250	1151	65	1150	1073	21	1013	890	30	10	750	670	8	30	25
実施例 19	S	無し	1250	1250	1151	65	1150	1079	21	1019	891	33	10	750	670	8	33	25
実施例 20	T	無し	1250	1250	1151	65	1150	1078	21	1018	893	29	10	750	670	8	29	25
実施例 21	U	無し	1250	1250	1151	65	1150	1070	21	1010	894	30	10	750	670	8	30	25
実施例 22	V	無し	1250	1250	1151	65	1150	1077	21	1017	892	32	10	750	670	8	32	25
実施例 23	W	無し	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	887	27	10	750	670	8	27	25
実施例 24	X	無し	1250	1250	1151	65	1150	1079	21	1019	889	28	10	750	670	8	28	25
実施例 25	Y	無し	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	893	33	10	750	670	8	33	25
比較例 26	Z	無し	1250	1250	1151	65	1150	1073	21	1013	886	32	10	750	670	8	32	25
比較例 27	AA	無し	1250	1250	1151	65	1150	1070	21	1010	887	25	10	750	670	8	25	25
比較例 28	BB	無し	1250	1250	1151	65	1150	1070	21	1010	845	28	10	750	670	8	28	25
実施例 29	A	無し	1170	1170	1151	65	1120	1078	21	1018	889	26	10	750	670	8	26	25
比較例 30	A	無し	1250	1250	1151	75	1150	1079	11	1019	891	27	10	750	670	8	27	25
実施例 31	A	無し	1250	1250	1151	70	1150	1072	16	1012	885	35	10	750	670	8	35	25
比較例 32	A	無し	1250	1250	1151	58	1150	1080	28	1020	888	34	10	750	670	8	34	25
実施例 33	A	無し	1250	1250	1151	61	1150	1072	25	1012	892	26	10	750	670	8	26	25
比較例 34	A	無し	1248	1248	1151	67	1150	1076	10	1016	886	27	10	750	670	8	27	25
比較例 35	A	無し	1249	1249	1151	70	1150	1072	5	1012	889	27	10	750	670	8	27	25
比較例 36	A	無し	1250	1250	1151	65	1150	1070	21	960	880	30	10	750	670	8	30	25
比較例 37	A	無し	1250	1250	1151	65	1150	1074	21	1014	800	34	10	750	670	8	34	25
比較例 38	A	無し	1250	1250	1151	65	1150	1070	21	1010	970	26	10	750	670	8	26	25
比較例 39	A	無し	1250	1250	1151	65	1150	1075	21	1015	880	15	10	750	670	8	30	25
比較例 40	A	無し	1250	1250	1151	65	1150	1075	21	1015	880	30	10	750	670	8	30	400
比較例 41	A	無し	1250	1250	1151	65	1150	1075	21	1015	880	30	10	750	670	8	15	25

[0139]

[表6]

	鋼成分	Ar3 變態點 溫度 (°C)	製造條件		一次粗圧延工程			二次粗圧延工程			仕上圧延工程			一次冷却		二次冷却工程			三次冷却工程	
			二次精練 脱碳材 使用有無	加熱溫度 (°C)	開始溫度 (°C)	終了溫度 (°C)	圧下率 (%)	開始溫度 (°C)	終了溫度 (°C)	圧下率 (%)	開始溫度 (°C)	終了溫度 (°C)	冷却速度 (°C/秒)	冷却開始溫度 (°C)	終了溫度 (°C)	冷却時間 (秒)	冷却速度 (°C/秒)	冷却開始溫度 (°C)	終了溫度 (°C)	
実施例	42	CC	無し	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25	
実施例	43	DD	有り	1250	1250	1151	65	1150	1074	21	1014	889	30	10	750	670	8	30	25	
実施例	44	EE	無し	1250	1250	1151	65	1150	1071	21	1011	895	33	10	750	670	8	33	25	
実施例	45	FF	有り	1250	1250	1151	65	1150	1077	21	1017	907	27	10	750	670	8	27	25	
実施例	46	GG	無し	1250	1250	1151	65	1150	1075	21	1015	888	32	10	750	670	8	32	25	
実施例	47	HH	有り	1250	1250	1151	65	1150	1071	21	1011	893	35	10	750	670	8	35	25	
実施例	48	II	無し	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	891	31	10	750	670	8	31	25	
実施例	49	JJ	無し	1250	1250	1151	65	1150	1074	21	1014	891	31	10	750	670	8	31	25	
実施例	50	KK	有り	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	890	30	10	750	670	8	30	25	
比較例	51	LL	無し	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	890	30	10	750	670	8	30	25	
実施例	52	MM	無し	1250	1250	1151	65	1150	1078	21	1018	892	27	10	750	670	8	27	25	
実施例	53	NN	無し	1250	1250	1151	65	1150	1074	21	1014	892	26	10	750	670	8	26	25	
実施例	54	OO	無し	1250	1250	1151	65	1150	1080	21	1020	892	30	10	750	670	8	30	25	
実施例	55	PP	無し	1250	1250	1151	65	1150	1073	21	1013	892	31	10	750	670	8	31	25	
実施例	56	QQ	無し	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	892	28	10	750	670	8	28	25	
実施例	57	RR	無し	1250	1250	1151	65	1150	1071	21	1011	891	31	10	750	670	8	31	25	
実施例	58	SS	無し	1250	1250	1151	65	1150	1078	21	1018	891	34	10	750	670	8	34	25	
実施例	59	TT	無し	1250	1250	1151	65	1150	1073	21	1013	890	30	10	750	670	8	30	25	
実施例	60	UU	無し	1250	1250	1151	65	1150	1079	21	1019	891	33	10	750	670	8	33	25	
実施例	61	VV	無し	1250	1250	1151	65	1150	1078	21	1018	893	29	10	750	670	8	29	25	
実施例	62	WW	無し	1250	1250	1151	65	1150	1070	21	1010	894	30	10	750	670	8	30	25	
実施例	63	XX	無し	1250	1250	1151	65	1150	1077	21	1017	892	32	10	750	670	8	32	25	
実施例	64	YY	無し	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	887	27	10	750	670	8	27	25	
実施例	65	ZZ	無し	1250	1250	1151	65	1150	1079	21	1019	889	28	10	750	670	8	28	25	
実施例	66	AAA	無し	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	893	33	10	750	670	8	33	25	
比較例	67	BBB	無し	1250	1250	1151	65	1150	1073	21	1013	886	32	10	750	670	8	32	25	
比較例	68	CCC	無し	1250	1250	1151	65	1150	1070	21	1010	887	25	10	750	670	8	25	25	
比較例	69	DDD	無し	1250	1250	1151	65	1150	1070	21	1010	880	28	10	750	670	8	28	25	
比較例	70	GG	無し	1170	1170	1151	65	1120	1078	21	1018	889	26	10	750	670	8	26	25	
比較例	71	CC	無し	1250	1250	1151	75	1150	1079	11	1019	891	27	10	750	670	8	27	25	
実施例	72	CC	無し	1250	1250	1151	70	1150	1072	16	1012	885	35	10	750	670	8	35	25	
比較例	73	CC	無し	1250	1250	1151	58	1150	1080	28	1020	888	34	10	750	670	8	34	25	
比較例	74	CC	無し	1250	1250	1151	61	1150	1072	25	1012	892	26	10	750	670	8	26	25	
実施例	75	CC	無し	1248	1248	1151	67	1150	1076	10	1016	886	27	10	750	670	8	27	25	
比較例	76	CC	無し	1249	1249	1151	70	1150	1072	8	1012	889	27	10	750	670	8	27	25	
比較例	77	CC	無し	1250	1250	1151	65	1150	1070	21	960	890	30	10	750	670	8	30	25	
比較例	78	CC	無し	1250	1250	1151	65	1150	1074	21	1014	820	34	10	750	670	8	34	25	
比較例	79	CC	無し	1250	1250	1151	65	1150	1070	21	1010	1015	26	10	750	670	8	26	25	
比較例	80	CC	無し	1250	1250	1151	65	1150	1075	21	1015	880	25	10	750	670	8	17	25	
比較例	81	CC	無し	1250	1250	1151	65	1150	1075	21	1015	880	30	10	750	670	8	30	400	

[0140]

[表7]

	鋼成分	Ar3 變態點 溫度 (°C)	製造條件				二次粗圧延工程				一次粗圧延工程				仕上圧延工程				二次冷卻工程				三次冷卻工程	
			二次精練 脫硫材 使用有無	加熱溫度 (°C)	加熱溫度		開始溫度 (°C)	終了溫度 (°C)	圧下率 (%)	開始溫度 (°C)	終了溫度 (°C)	圧下率 (%)	開始溫度 (°C)	終了溫度 (°C)	冷卻速度 (°C/秒)	冷卻開始溫度 (°C)	冷卻終了溫度 (°C)	冷卻時間 (秒)	冷卻開始溫度 (°C)	冷卻終了溫度 (°C)	冷卻速度 (°C/秒)	冷卻時間 (秒)		
					開始溫度 (°C)	終了溫度 (°C)																		
実施例	82	EEE	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
実施例	83	FFF	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	84	GGG	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	810	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	85	HHH	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	25	750	670	3.2	29	25					
比較例	86	JJJ	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
実施例	87	A	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	13	1012	911	25	10	750	670	8	29	25					
実施例	89	A	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	8	730	650	10	21	100					
実施例	90	KKK	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	927	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	91	A	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	830	751	8	29	25					
比較例	92	A	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	6	750	660	15	29	25					
比較例	93	A	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	14	740	730	0.7	29	25					
比較例	94	LLL	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	95	MMM	無し	1250	1250	1151	70	1150	1072	16	1012	915	35	10	750	670	8	35	25					
比較例	96	NNN	無し	1248	1248	1151	67	1150	1076	10	1016	886	27	10	750	670	8	27	25					
比較例	97	OOO	無し	1248	1248	1151	67	1150	1076	10	1016	886	27	10	750	670	8	27	25					
比較例	98	PPP	無し	1250	1250	1151	65	1150	1074	21	1014	892	26	10	750	670	8	26	25					
比較例	99	QQQ	無し	1250	1250	1151	65	1150	1074	21	1014	892	26	10	750	670	8	26	25					
比較例	100	RRR	無し	1250	1250	1151	65	1150	1072	21	1012	887	30	10	750	670	8	30	25					
比較例	101	SSS	有り	1250	1250	1151	65	1150	1074	21	1014	889	30	10	750	670	8	30	25					
比較例	102	TTT	無し	1250	1250	1151	65	1150	1071	21	1011	895	33	10	720	650	7	33	25					
比較例	103	UUU	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	104	VVV	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	105	WWW	無し	1250	1250	1151	65	1150	1071	21	1011	895	33	10	750	670	8	33	25					
比較例	106	XXX	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	107	YYY	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	108	ZZZ	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	109	AAA	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	110	BBB	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	111	CCC	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	112	DDD	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	113	EEE	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	114	FFF	無し	1200	1200	1151	65	1150	1072	21	1012	887	29	10	750	670	8	29	25					
比較例	115	GGG	無し	1250	1250	1151	65	1150	1078	21	1018	892	27	10	750	670	8	27	25					
実施例	116	HHH	無し	1250	1250	1151	65	1150	1080	21	1020	892	30	10	750	670	8	30	25					
実施例	117	III	無し	1250	1250	1151	65	1150	1070	21	1010	894	30	10	750	670	8	30	25					
実施例	118	JJJ	無し	1250	1250	1151	65	1150	1073	21	1013	892	31	5	700	670	6	31	25					
実施例	119	KKK	無し	1250	1250	1151	65	1150	1073	21	1013	892	31	5	700	670	6	31	25					
実施例	120	LLL	無し	1250	1250	1151	65	1150	1070	21	1010	894	30	10	750	670	8	30	25					
実施例	121	MMM	無し	1250	1250	1151	65	1150	1077	21	1017	892	32	10	750	670	8	32	25					

[0141]

[表8]

鋼成分	金属組織			構成金属相			主相		第二相				ベイナイト		集合組織 〔211〕面 x線ラマン 強度比	圧延方向 長さの 最大値 の平均値 (mm/mm ²)	MnS及び CaSの 個数割合 (%)	観察される 主な延伸介在物
	実施例	フェライト(F) 面積分率 F	平均 結晶粒径 (μm)	マルテンサイト(M)+残留 オーステナイト(γ)			面積分率			平均 結晶粒径 (μm)	面積分率	面積分率	面積分率					
				M	γ	M+γ (%)	M	γ	M+γ (%)									
1	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.22	5.9	1.0	6.9	3.4	0.00	0.00	2.31	3.0	0.03	5.00	カルシウム7相、フェライト			
2	B	フェライト、マルテンサイト	93.8	4.25	6.2	0.0	6.2	3.4	0.00	0.00	2.30	1.5	0.04	5.00	カルシウム7相、フェライト、残留材料			
3	C	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.8	4.22	5.7	1.5	7.2	3.4	0.00	0.00	2.25	1.0	0.00	-	無し			
4	D	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.5	4.18	4.7	1.8	6.5	3.3	0.00	0.00	2.32	1.5	0.02	10.00	残留材料			
5	E	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.4	4.19	6.1	1.5	7.6	3.4	0.00	0.00	2.31	4.5	0.00	-	無し			
6	F	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	90.5	4.20	7.4	2.1	9.5	3.4	0.00	0.00	2.27	4.5	0.02	10.00	残留材料			
7	G	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.0	4.19	5.5	1.5	7.0	3.4	0.00	0.00	2.00	1.0	0.00	-	無し			
8	H	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.20	6.1	0.8	6.9	3.4	0.00	0.00	2.05	1.0	0.00	-	無し			
9	I	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.4	3.60	5.4	1.2	6.6	2.9	0.00	0.00	2.27	2.8	0.14	5.00	カルシウム7相、フェライト			
10	J	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.2	4.21	5.8	1.0	6.8	3.4	0.00	0.00	2.32	2.9	0.18	5.00	カルシウム7相、フェライト			
11	K	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	97.3	10.04	1.9	0.8	2.7	7.1	0.00	0.00	2.27	3.0	0.12	4.00	カルシウム7相、フェライト			
12	L	フェライト、マルテンサイト	99.1	10.21	0.9	0.0	0.9	7.7	0.00	0.00	2.10	3.0	0.11	4.00	カルシウム7相、フェライト			
13	M	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.4	3.90	7.1	0.5	7.6	3.1	0.00	0.00	2.27	3.0	0.12	7.00	カルシウム7相、フェライト			
14	N	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.1	4.21	6.4	1.5	7.9	3.4	0.00	0.00	2.27	1.0	0.00	-	無し			
15	O	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.17	5.5	1.4	6.9	3.3	0.00	0.00	2.28	8.0	0.13	25.00	カルシウム7相、フェライト、CaS			
16	P	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.0	4.21	5.8	1.2	7.0	3.4	0.00	0.00	2.29	8.0	0.19	25.00	カルシウム7相、フェライト、CaS			
17	Q	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.8	4.18	5.9	1.3	7.2	3.3	0.00	0.00	2.28	7.0	0.23	25.00	カルシウム7相、フェライト、CaS			
18	R	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.8	4.20	4.8	1.4	6.2	3.4	0.00	0.00	2.29	5.8	0.14	25.00	カルシウム7相、フェライト、CaS			
19	S	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.2	4.17	5.3	1.5	6.8	3.3	0.00	0.00	2.28	4.8	0.12	25.00	カルシウム7相、フェライト、CaS			
20	T	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.25	6.0	0.9	6.9	3.4	0.00	0.00	2.26	4.0	0.11	25.00	カルシウム7相、フェライト、CaS			
21	U	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.5	4.19	5.3	1.2	6.5	3.3	0.00	0.00	2.26	2.8	0.21	20.00	カルシウム7相、フェライト			
22	V	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.2	4.22	5.9	0.9	6.8	3.4	0.00	0.00	2.27	2.0	0.20	20.00	カルシウム7相、フェライト			
23	W	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.8	4.20	6.0	1.2	7.2	3.4	0.00	0.00	2.31	1.0	0.10	7.00	カルシウム7相、フェライト			
24	X	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.0	4.20	6.4	0.6	7.0	3.4	0.00	0.00	2.30	1.0	0.00	5.00	カルシウム7相、フェライト			
25	Y	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.20	6.2	0.7	6.9	3.4	0.00	0.00	2.26	3.0	0.25	20.00	カルシウム7相、フェライト			
26	Z	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.0	4.20	5.8	1.2	7.0	3.4	0.00	0.00	2.32	4.0	0.40	50.00	カルシウム7相、フェライト、MnS			
27	AA	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.8	4.15	5.6	0.6	6.2	3.3	0.00	0.00	2.25	9.0	0.30	75.00	MnS			
28	BB	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.7	4.15	12.8	3.5	16.3	3.3	0.00	0.00	2.32	1.3	0.24	10.00	カルシウム7相、フェライト			
29	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.24	5.7	1.2	6.9	3.4	0.00	0.00	2.30	3.0	0.06	5.00	カルシウム7相、フェライト			
30	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.20	6.1	0.8	6.9	3.4	0.00	0.00	2.30	9.0	0.48	5.00	カルシウム7相、フェライト			
31	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.20	6.5	0.4	6.9	3.4	0.00	0.00	2.30	8.0	0.25	5.00	カルシウム7相、フェライト			
32	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	3.90	5.1	1.8	6.9	3.1	0.00	0.00	2.50	3.0	0.25	5.00	カルシウム7相、フェライト			
33	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.20	5.5	1.4	6.9	3.4	0.00	0.00	2.40	2.9	0.24	5.00	カルシウム7相、フェライト			
34	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	6.00	6.1	0.8	6.9	4.8	0.00	0.00	2.30	5.0	0.15	5.00	カルシウム7相、フェライト			
35	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	10.20	5.5	1.4	6.9	7.8	0.00	0.00	2.25	7.0	0.20	5.00	カルシウム7相、フェライト			
36	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	3.70	5.7	1.2	6.9	3.0	0.00	0.00	2.60	3.0	0.06	5.00	カルシウム7相、フェライト			
37	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	3.70	5.9	1.0	6.9	3.0	0.00	0.00	3.46	3.0	0.06	5.00	カルシウム7相、フェライト			
38	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	10.05	5.8	1.1	6.9	7.7	0.00	0.00	1.84	3.0	0.06	5.00	カルシウム7相、フェライト			
39	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.0	10.10	6.0	1.0	7.0	7.5	0.00	0.00	2.38	3.0	0.06	5.00	カルシウム7相、フェライト			
40	A	フェライト、フェライト	95.5	4.90	0.0	0.0	0.0	3.9	4.50	0.00	2.38	3.0	0.06	5.00	カルシウム7相、フェライト			
41	A	フェライト、フェライト、フェライト	94.5	5.50	0.0	0.0	0.0	4.4	3.50	2.00	2.38	3.0	0.06	5.00	カルシウム7相、フェライト			

表中の下線付きデータは本発明の範囲外であることを示す。

[0142]

[表9]

	鋼成分	金属組織			構成金属相			主相		第二相					集合組織	介在物	圧延方向 長さの 最大値 の平均値 と総和M (mm/mm ²)	MnS及び CaSの 個数割合 (%)	観察される 主な延伸介在物
		フェライト(F) 面積分率 F	平均 結晶粒径 (μm)	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	マルテンサイト(M)+残留オーステナイト(γ)			M	γ	M+γ (%)	平均 結晶粒径 (μm)	パーライト 面積分率 (%)	ベイナイト 面積分率 (%)	[211]面 X線ラマン 強度比					
実施例	42	CC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	95.7	5.22	3.2	1.1	4.3	0.00	0.00	2.31	3.0	0.03	5.00	カルシウム7相シート				
実施例	43	DD	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.8	4.25	4.7	1.6	6.2	0.00	0.00	2.30	1.5	0.04	5.00	カルシウム7相シート、脱炭材残り				
実施例	44	EE	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.8	4.22	5.4	1.8	7.2	0.00	0.00	2.25	1.0	0.22	-	無し				
実施例	45	FF	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.5	4.16	4.9	1.6	6.5	0.00	0.00	2.32	1.5	0.02	5.00	脱炭材残り				
実施例	46	GG	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.4	4.19	5.7	1.9	7.6	0.00	0.00	2.31	4.5	0.24	-	無し				
実施例	47	HH	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	90.5	4.20	7.1	2.4	9.5	0.00	0.00	2.27	4.5	0.02	5.00	脱炭材残り				
実施例	48	II	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.0	4.19	5.3	1.8	7.0	0.00	0.00	2.00	1.0	0.17	-	無し				
実施例	49	JJ	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.20	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	2.05	1.0	0.18	-	無し				
実施例	50	KK	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.5	5.40	4.9	1.6	6.5	0.00	0.00	2.30	2.0	0.05	17.50	脱炭材残り、CaS				
比較例	51	LL	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	99.1	10.09	0.7	0.2	0.9	0.00	0.00	2.30	2.0	0.10	20.00	カルシウム7相シート、CaS				
実施例	52	MM	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.4	4.30	5.0	1.7	6.6	0.00	0.00	2.27	2.8	0.14	22.50	カルシウム7相シート、REM酸化物、CaS				
実施例	53	NN	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	96.9	5.90	2.3	0.8	3.1	0.00	0.00	2.27	3.0	0.12	20.00	カルシウム7相シート、REM酸化物、CaS				
実施例	54	OO	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.4	4.22	5.7	1.9	7.6	0.00	0.00	2.27	3.0	0.12	20.00	カルシウム7相シート、REM酸化物、CaS				
実施例	55	PP	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.1	4.21	6.0	2.0	7.9	0.00	0.00	2.27	1.0	0.18	-	無し				
実施例	56	QQ	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.17	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	2.28	8.0	0.13	20.00	カルシウム7相シート、CaS				
実施例	57	RR	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.0	4.21	5.3	1.8	7.0	0.00	0.00	2.29	8.0	0.19	20.00	カルシウム7相シート、CaS				
実施例	58	SS	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.8	4.18	5.4	1.8	7.2	0.00	0.00	2.28	7.0	0.23	20.00	カルシウム7相シート、CaS				
実施例	59	TT	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.8	4.20	4.7	1.6	6.2	0.00	0.00	2.29	5.8	0.14	20.00	カルシウム7相シート、CaS				
実施例	60	UU	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.2	4.17	5.1	1.7	6.8	0.00	0.00	2.28	4.8	0.12	20.00	カルシウム7相シート、CaS				
実施例	61	VV	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.25	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	2.26	4.0	0.11	20.00	カルシウム7相シート、CaS				
実施例	62	WW	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.5	4.19	4.9	1.8	6.5	0.00	0.00	2.26	2.8	0.21	19.00	カルシウム7相シート、REM酸化物、CaS				
実施例	63	XX	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.2	4.22	5.1	1.7	6.8	0.00	0.00	2.27	2.0	0.20	10.00	カルシウム7相シート				
実施例	64	YY	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.8	4.20	5.4	1.8	7.2	0.00	0.00	2.31	1.0	0.10	10.00	カルシウム7相シート				
実施例	65	ZZ	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.0	4.20	5.3	1.8	7.0	0.00	0.00	2.30	1.0	0.00	17.50	カルシウム7相シート、REM酸化物、CaS				
実施例	66	AAA	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.20	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	2.26	3.0	0.25	21.50	カルシウム7相シート、REM酸化物、CaS				
比較例	67	BBB	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.0	4.20	5.3	1.8	7.0	0.00	0.00	2.32	4.0	0.40	40.00	カルシウム7相シート、REM酸化物、CaS				
比較例	68	CCC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.8	4.15	4.7	1.6	6.2	0.00	0.00	2.25	9.0	0.45	75.00	MnS				
比較例	69	DDD	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.7	4.15	12.2	4.1	16.3	0.00	0.00	2.32	1.3	0.24	10.00	カルシウム7相シート				
比較例	70	CC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	95.7	4.24	3.2	1.1	4.3	0.00	0.00	2.30	3.0	0.06	5.00	カルシウム7相シート				
比較例	71	CC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.20	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	2.30	9.0	0.48	5.00	カルシウム7相シート				
比較例	72	CC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.20	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	2.30	8.0	0.25	5.00	カルシウム7相シート				
比較例	73	CC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	3.90	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	2.50	3.0	0.25	5.00	カルシウム7相シート				
実施例	74	CC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.20	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	2.40	2.9	0.24	5.00	カルシウム7相シート				
実施例	75	CC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	6.00	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	2.30	5.0	0.15	5.00	カルシウム7相シート				
比較例	76	CC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	10.10	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	2.25	7.0	0.20	5.00	カルシウム7相シート				
比較例	77	CC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	3.70	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	2.60	3.0	0.06	5.00	カルシウム7相シート				
比較例	78	CC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	3.70	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	3.46	3.0	0.08	5.00	カルシウム7相シート				
比較例	79	CC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	10.08	5.2	1.7	6.9	0.00	0.00	1.84	3.0	0.06	5.00	カルシウム7相シート				
比較例	80	CC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.9	10.10	0.0	0.0	0.0	1.00	5.10	2.38	3.0	0.06	5.00	カルシウム7相シート				
比較例	81	CC	フェライト、バイト	95.2	4.90	0.0	0.0	0.0	0.00	4.80	2.38	3.0	0.06	5.00	カルシウム7相シート				

表の下線付きデータは本発明の範囲外であることを示す。

[0143]

[表10]

実施例	鋼成分	金風組織	構成金属相	主相		第二相				集合組織 [211]面 X線ラマン の最大値 の平均値 強度比	圧延方向 長さの 総和M (mm/mm ²)	MnS及び CaSの 個数割合 (%)	観察される 主な延伸介在物			
				フェライト(F) 面積分率 F	平均 結晶粒径 (μm)	マルテンサイト(M)+残留オーステナイト(γ)		平均 結晶粒径 (μm)	面積分率							
						M	γ		M+γ (%)					γ (%)		
82	実施例	EEE	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.60	5.8	1.1	6.9	3.7	0.00	0.00	2.15	1.0	0.21	5.00	MnS
83	実施例	FFF	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.9	5.10	5.6	0.5	6.1	4.1	0.00	0.00	2.00	8.0	0.20	5.00	カルシウム7μmネットワーク
84	比較例	GGG	フェライト、マルテンサイト	93.9	5.20	6.1	0.0	6.1	4.2	0.00	0.00	2.20	12.0	0.60	80.00	MnS
85	比較例	HHH	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	88.5	4.20	9.0	2.5	11.5	3.4	0.00	0.00	2.30	2.9	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
86	比較例	JJJ	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	94.1	4.50	5.4	0.5	5.9	3.6	0.00	0.00	2.20	8.0	0.45	65.00	MnS
87	実施例	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.6	9.80	6.4	1.0	7.4	7.8	0.00	0.00	2.30	3.0	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
89	実施例	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	91.0	4.50	4.5	0.0	4.5	3.6	2.00	2.50	2.30	3.0	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
90	比較例	KKK	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	95.5	9.40	4.0	0.5	4.5	7.8	0.00	0.00	2.00	4.0	0.25	50.00	CaS, MnS
91	比較例	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	89.0	4.90	9.0	2.0	11.0	3.9	0.00	0.00	2.30	3.0	0.25	5.00	カルシウム7μmネットワーク
92	比較例	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	89.0	5.20	2.0	1.0	3.0	4.2	2.00	6.00	2.30	3.0	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
93	比較例	A	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	89.0	4.00	8.0	3.0	11.0	3.2	0.00	0.00	2.30	3.0	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
94	比較例	LLL	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.22	5.9	1.0	6.9	3.4	0.00	0.00	2.31	3.0	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
95	比較例	MMM	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.20	5.2	1.7	6.9	3.4	0.00	0.00	2.30	8.0	0.25	5.00	カルシウム7μmネットワーク
96	比較例	NNN	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	6.00	6.1	0.8	6.9	4.8	0.00	0.00	2.30	5.0	0.15	5.00	カルシウム7μmネットワーク
97	比較例	OOO	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	6.00	6.1	0.8	6.9	4.8	0.00	0.00	2.30	5.0	0.15	5.00	カルシウム7μmネットワーク
98	比較例	PPP	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	88.7	5.90	8.9	2.4	11.3	4.7	0.00	0.00	2.27	3.0	0.12	20.00	カルシウム7μmネットワーク、REM酸化物、CaS
99	比較例	QQQ	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	87.6	5.90	9.5	2.9	12.4	4.7	0.00	0.00	2.27	3.0	0.12	20.00	カルシウム7μmネットワーク、REM酸化物、CaS
100	比較例	RRR	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.2	4.21	5.8	1.0	6.8	3.4	0.00	0.00	2.32	2.9	0.18	5.00	カルシウム7μmネットワーク
101	比較例	SSS	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.8	4.25	4.7	1.8	6.2	3.4	0.00	0.00	2.30	1.5	0.04	5.00	カルシウム7μmネットワーク
102	比較例	TTT	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.8	4.22	5.7	1.5	7.2	3.4	0.00	0.00	2.25	1.0	0.00	-	カルシウム7μmネットワーク、炭酸材料残り
103	比較例	UUU	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.60	5.8	1.1	6.9	3.7	0.00	0.00	2.15	1.0	0.21	5.00	無し
104	比較例	VVV	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.9	5.10	5.6	0.5	6.1	4.1	0.00	0.00	2.00	11.0	0.51	5.00	MnS
105	比較例	WWW	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.8	4.22	5.4	1.8	7.2	3.4	0.00	0.00	2.25	10.1	0.48	5.00	カルシウム7μmネットワーク
106	比較例	XXX	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.60	5.8	1.1	6.9	3.7	0.00	0.00	2.15	10.5	0.53	5.00	MnS
107	比較例	YYY	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.9	5.10	5.6	0.5	6.1	4.1	0.00	0.00	2.00	11.2	0.49	5.00	MnS
108	比較例	ZZZ	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.22	5.9	1.0	6.9	3.4	0.00	0.00	2.58	3.0	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
109	比較例	AAAA	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.22	5.9	1.0	6.9	3.4	0.00	0.00	2.61	3.0	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
110	比較例	BBBB	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.22	5.9	1.0	6.9	3.4	0.00	0.00	2.31	3.0	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
111	比較例	CCCC	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.22	5.9	1.0	6.9	3.4	0.00	0.00	2.31	3.0	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
112	比較例	DDDD	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.22	5.9	1.0	6.9	3.4	0.00	0.00	2.31	3.0	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
113	比較例	EEEE	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.22	5.9	1.0	6.9	3.4	0.00	0.00	2.31	3.0	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
114	比較例	FFFF	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.1	4.22	5.9	1.0	6.9	3.4	0.00	0.00	2.31	3.0	0.03	5.00	カルシウム7μmネットワーク
115	比較例	GGGG	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.4	3.91	5.4	1.2	6.6	3.1	0.00	0.00	2.27	2.8	0.14	5.00	カルシウム7μmネットワーク
116	実施例	HHHH	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.4	4.23	7.1	0.5	7.6	3.4	0.00	0.00	2.27	3.0	0.12	7.00	カルシウム7μmネットワーク
117	実施例	IIII	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.5	4.19	5.3	1.2	6.5	3.3	0.00	0.00	2.26	2.8	0.21	20.00	カルシウム7μmネットワーク
118	実施例	JJJJ	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.1	4.21	6.4	1.5	7.9	3.4	0.00	0.00	2.27	1.0	0.00	-	無し
119	実施例	KKKK	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	92.1	4.21	6.4	1.5	7.9	3.4	0.00	0.00	2.27	1.0	0.00	-	無し
120	実施例	LLLL	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.5	4.19	5.3	1.2	6.5	3.3	0.00	0.00	2.26	2.8	0.21	20.00	カルシウム7μmネットワーク
121	実施例	MMMM	フェライト、マルテンサイト、残留オーステナイト	93.2	4.22	5.9	0.9	6.8	3.4	0.00	0.00	2.27	2.0	0.20	20.00	カルシウム7μmネットワーク

表中の下線付きデータは本発明の範囲外であることを示す。

[0144] [表11]

	鋼成分	機械的性質			成形性		破壊特性			疲労特性		
		引張強度 TS (MPa)	n値	平均値 λ_{ave}	六広げ試験 標準偏差 σ	(%)	亀裂発生 抵抗値 J_c (MJ/m ²)	亀裂伝播 抵抗値 T.M. (MJ/m ²)	シャルピー試験 温度 vTrs (°C)	吸収 エネルギー E (回)	疲労寿命	
実施例	1	A	820	0.13	68	10	0.60	893	-62	23.4	678000	
実施例	2	B	800	0.13	75	9	0.69	880	-61	27.4	668000	
実施例	3	C	815	0.13	75	7	0.69	933	-62	27.4	700000	
実施例	4	D	790	0.13	75	8	0.69	906	-64	27.4	684000	
実施例	5	E	780	0.13	64	13	0.55	933	-63	21.2	700000	
実施例	6	F	790	0.13	64	11	0.55	906	-63	21.2	684000	
実施例	7	G	824	0.13	90	7	0.88	933	-63	36.0	700000	
実施例	8	H	825	0.13	90	7	0.88	933	-63	36.0	700000	
実施例	9	J	824	0.14	65	9	0.56	746	-79	21.7	588000	
実施例	10	J	704	0.15	75	10	0.69	893	-63	27.4	566000	
比較例	11	K	772	0.14	61	10	0.51	773	0	19.5	604000	
比較例	12	L	765	0.12	62	9	0.52	786	6	20.0	480000	
実施例	13	M	815	0.13	65	10	0.56	773	-71	21.7	604000	
実施例	14	N	790	0.13	83	8	0.79	933	-63	32.0	700000	
実施例	15	O	790	0.13	63	15	0.54	760	-64	20.6	596000	
実施例	16	P	790	0.13	62	15	0.52	680	-63	20.0	548000	
実施例	17	Q	790	0.13	61	15	0.51	626	-63	19.5	516000	
実施例	18	R	790	0.13	60	13	0.50	746	-63	18.9	588000	
実施例	19	S	790	0.13	61	10	0.51	773	-64	19.5	604000	
実施例	20	T	790	0.13	62	11	0.52	786	-62	20.0	612000	
実施例	21	U	790	0.13	65	9	0.56	653	-63	21.7	532000	
実施例	22	V	790	0.13	68	8	0.60	666	-62	23.4	540000	
実施例	23	W	790	0.13	80	7	0.75	800	-63	30.3	620000	
実施例	24	X	780	0.13	67	8	0.59	933	-63	22.9	700000	
実施例	25	Y	790	0.13	65	10	0.56	602	-63	21.7	501600	
比較例	26	Z	780	0.13	50	18	0.37	400	-63	13.2	380000	
比較例	27	AA	794	0.13	40	20	0.25	533	-64	7.5	480000	
比較例	28	BB	820	0.13	45	8	0.31	613	-64	10.3	508000	
実施例	29	A	774	0.14	66	10	0.57	853	-62	22.3	652000	
比較例	30	A	785	0.14	40	18	0.25	293	-63	7.5	316000	
実施例	31	A	790	0.13	60	10	0.50	600	-63	18.9	500000	
比較例	32	A	790	0.13	52	10	0.40	600	-71	14.3	500000	
実施例	33	A	790	0.13	65	9	0.56	613	-63	21.7	508000	
実施例	34	A	790	0.13	65	9	0.56	733	-14	21.7	580000	
比較例	35	A	790	0.13	62	10	0.52	666	-8	20.0	540000	
比較例	36	A	802	0.13	53	10	0.41	853	-77	14.9	652000	
比較例	37	A	810	0.13	45	10	0.31	853	-77	10.3	652000	
比較例	38	A	785	0.13	60	10	0.50	853	-11	18.9	652000	
比較例	39	A	790	0.13	60	10	0.50	853	-11	18.9	652000	
比較例	40	A	775	0.11	60	9	0.50	853	-44	18.9	360000	
比較例	41	A	774	0.11	60	10	0.50	853	-27	18.9	350000	

表中の下線付きデータは本発明の範囲外であることを表す。

[0145]

[表12]

	鋼成分	機械的性質			成形性		破壊特性			疲労特性	
		引張強度 TS		n値	穴広げ試験 平均値 λave	標準偏差 σ	亀裂発生 抵抗値 Jc (MJ/m ²)	三点曲げ試験 亀裂伝播 抵抗値 T.M. (MJ/m ²)	シャルピー試験 破壊遷移 温度 vTrs (°C)	吸収 エネルギー E (J)	疲労寿命 (回)
		(MPa)									
実施例	42	CC	600	0.15	98	10	1.00	893	-35	41.4	576000
実施例	43	DD	610	0.15	105	9	1.09	880	-61	45.4	568000
実施例	44	EE	615	0.15	105	7	1.09	640	-82	45.4	424000
実施例	45	FF	600	0.15	105	8	1.09	906	-64	45.4	584000
実施例	46	GG	600	0.15	94	13	0.95	613	-63	39.2	408000
実施例	47	HH	600	0.15	94	11	0.95	906	-63	39.2	584000
実施例	48	II	610	0.15	120	7	1.27	706	-63	54.0	464000
実施例	49	JJ	621	0.15	120	7	1.27	693	-63	54.0	456000
実施例	50	KK	600	0.15	100	8	1.02	866	-30	42.6	560000
比較例	51	LL	575	0.12	100	8	1.02	800	3	42.6	310000
実施例	52	MM	609	0.16	95	9	0.96	746	-60	39.7	488000
実施例	53	NN	595	0.16	95	10	0.96	773	-16	39.7	504000
実施例	54	OO	600	0.15	95	10	0.96	773	-62	39.7	504000
実施例	55	PP	608	0.15	113	8	1.19	693	-63	50.0	456000
実施例	56	QQ	600	0.15	93	15	0.93	760	-64	38.6	496000
実施例	57	RR	600	0.15	92	15	0.92	680	-63	38.0	448000
実施例	58	SS	600	0.15	91	15	0.91	626	-63	37.5	416000
実施例	59	TT	600	0.15	90	13	0.90	746	-63	36.9	488000
実施例	60	UU	600	0.15	91	10	0.91	773	-64	37.5	504000
実施例	61	VV	600	0.15	92	11	0.92	786	-62	38.0	512000
実施例	62	WW	610	0.15	95	9	0.96	653	-63	39.7	432000
実施例	63	XX	608	0.15	98	8	1.00	666	-62	41.4	440000
実施例	64	YY	600	0.15	110	7	1.15	800	-63	48.3	520000
実施例	65	ZZ	600	0.15	97	8	0.98	933	-63	40.9	600000
実施例	66	AAA	600	0.15	95	10	0.96	602	-63	39.7	401600
比較例	67	BBB	600	0.15	80	18	0.77	400	-63	31.2	280000
比較例	68	CCC	604	0.15	70	20	0.64	333	-64	25.5	240000
比較例	69	DDD	630	0.15	58	8	0.48	613	-64	15.6	408000
比較例	70	CC	584	0.16	96	10	0.97	853	-62	40.3	552000
比較例	71	CC	595	0.16	70	18	0.64	293	-63	25.5	216000
実施例	72	CC	600	0.15	90	10	0.90	600	-63	36.9	400000
比較例	73	CC	600	0.15	57	10	0.49	600	-71	15.8	400000
実施例	74	CC	600	0.15	95	9	0.96	613	-63	39.7	408000
実施例	75	CC	600	0.15	95	9	0.96	733	-14	39.7	480000
比較例	76	CC	600	0.15	92	10	0.92	666	-11	38.0	440000
比較例	77	CC	612	0.15	56	10	0.47	853	-77	15.7	552000
比較例	78	CC	620	0.14	58	10	0.49	853	-77	15.9	552000
比較例	79	CC	595	0.15	90	10	0.90	853	-11	36.9	552000
比較例	80	CC	585	0.12	91	8	0.91	853	-11	37.5	340000
比較例	81	CC	585	0.11	90	8	0.90	853	-44	36.9	330000

表中の下線付きデータは本発明の範囲外であることを表す。

[0146]

[表13]

	鋼成分	機械的性質			成形性	破壊特性			疲労特性		
		引張強度 TS (MPa)	n値	平均値 λ_{ave} (%)	六広げ試験 標準偏差 σ (λ)	Jc (MJ/m ²)	亀裂発生 抵抗値 T.M. (MJ/m ³)	破壊伝播 速度 vTrs (°C)	シャルピー試験 吸収 エネルギー E (J)	疲労寿命	
実施例	82	EEE	0.13	69	8	0.61	653	-77	24.0	532000	(回)
実施例	83	FFF	0.13	63	15	0.54	666	-66	20.6	540000	
比較例	84	GGG	0.13	45	22	0.31	133	-64	10.3	220000	
比較例	85	HHH	0.13	55	13	0.44	893	-88	15.4	676000	
比較例	86	JJJ	0.13	50	18	0.37	333	-79	13.2	340000	
実施例	87	A	0.10	64	12	0.55	893	-14	21.2	676000	
実施例	89	A	0.13	65	10	0.56	893	-79	17.2	400000	
実施例	90	KKK	0.13	63	12	0.54	600	-14	20.6	500000	
比較例	91	A	0.13	56	13	0.45	600	-70	15.7	500000	
比較例	92	A	0.12	65	13	0.56	893	-64	21.7	376000	
比較例	93	A	0.13	58	13	0.47	893	-80	15.8	676000	
比較例	94	LLL	0.13	58	10	0.46	893	-62	15.6	676000	
比較例	95	MMM	0.15	80	10	0.90	600	-63	36.9	400000	
比較例	96	NNN	0.13	57	15	0.56	733	-14	21.7	580000	
比較例	97	OOO	0.13	55	15	0.56	733	-14	21.7	580000	
比較例	98	PPP	0.12	95	10	0.96	773	-16	39.7	384000	
比較例	99	QQQ	0.12	95	10	0.96	773	-16	39.7	391000	
比較例	100	RRR	0.15	56	10	0.44	893	-63	15.3	556000	
比較例	101	SSS	0.15	105	9	1.09	880	-61	45.4	588000	
比較例	102	TTT	0.13	59	7	0.48	833	-62	15.7	700000	
比較例	103	UUU	0.13	56	8	0.46	853	-77	15.5	532000	
比較例	104	VVV	0.13	57	19	0.44	297	-66	14.8	213000	
比較例	105	WWW	0.15	65	18	0.51	302	-62	16.3	230000	
比較例	106	XXX	0.13	55	20	0.49	288	-77	15.8	222000	
比較例	107	YYY	0.13	57	19	0.48	300	-66	15.2	232000	
比較例	108	ZZZ	0.13	56	10	0.44	893	-62	15.1	676000	
比較例	109	AAAA	0.13	58	10	0.42	893	-62	14.9	676000	
比較例	110	BBBB	0.13	54	10	0.60	893	-62	23.4	676000	
比較例	111	CCCC	0.13	53	10	0.60	893	-62	23.4	676000	
比較例	112	DDDD	0.13	54	10	0.60	893	-62	23.4	676000	
比較例	113	EEEE	0.13	52	10	0.60	893	-62	23.4	676000	
比較例	114	FFFF	0.13	55	10	0.60	893	-62	23.4	676000	
実施例	115	GGGG	0.13	65	9	0.56	746	-79	21.7	588000	
実施例	116	HHHH	0.13	65	10	0.56	773	-71	21.7	604000	
実施例	117	IIII	0.13	65	9	0.56	653	-63	21.7	532000	
実施例	118	JJJJ	0.13	83	8	0.79	933	-63	32.0	700000	
実施例	119	KKKK	0.13	83	8	0.79	933	-63	32.0	700000	
実施例	120	LLLL	0.13	65	9	0.56	653	-63	21.7	532000	
実施例	121	MMMM	0.13	68	8	0.60	666	-62	23.4	540000	

表中の下線付きデータは本発明の範囲外であることを表す。

産業上の利用可能性

[0147] 本発明の上記態様によれば、引張特性と成形性とのバランスに優れており、更に、破壊特性と疲労特性とも優れた鋼板を得ることが可能となるので、産業上の利用可能性が高い。

符号の説明

[0148] 4 1 a ~ 4 1 l それぞれが長径 3 μ m 以上である介在物

F 介在物間の圧延方向の間隔

G 介在物群、

GL 介在物群の圧延方向の長さ

H 独立介在物

HL 介在物群の圧延方向の長さ

請求の範囲

[請求項1]

化学成分が、質量％で、

C : 0.03%~0.1%、

Mn : 0.5%~3.0%、

を含有し、

Si及びAlのうちの少なくとも1つが、

$0.5\% \leq Si + Al \leq 4.0\%$

の条件を満たすように含有し、

P : 0.1%以下、

S : 0.01%以下、

N : 0.02%以下、

に制限し、

Ti : 0.001%~0.3%、

Rare Earth Metal : 0.0001%~0.02%、

Ca : 0.0001%~0.01%、

から選択された少なくとも1つを含有し、

残部がFe及び不可避免的不純物からなり、

前記化学成分中の各元素の質量％で示した含有量が、下記の式1を満足し；

金属組織が、主相としてフェライトと、第二相としてマルテンサイト及び残留オーステナイトのうちの少なくとも一つと、複数の介在物と、を含み、

前記主相である前記フェライトの平均結晶粒径が $2\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下であり、

前記主相である前記フェライトの面積分率が、90%以上99%以下であり、

前記第二相である前記マルテンサイトと前記残留オーステナイト

との面積分率が、合計で、１％以上１０％以下であり、

鋼板の板幅方向が法線となる断面を 0.0025 mm^2 の視野で
３０回観察したとき、前記各視野での前記介在物の長径／短径比の最
大値を平均した値が、１．０以上８．０以下であり、

前記介在物間の圧延方向の間隔が $50\text{ }\mu\text{m}$ 以下でそれぞれの長径
が $3\text{ }\mu\text{m}$ 以上である前記介在物の集合体を介在物群とし、前記間隔が
 $50\text{ }\mu\text{m}$ 超である前記介在物を独立介在物としたとき、圧延方向の長
さが $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上である前記介在物群と、圧延方向の長さが $30\text{ }\mu\text{m}$
以上である前記独立介在物との、圧延方向の長さの総和が、前記断面
の 1 mm^2 当たり、 0 mm 以上 0.25 mm 以下であり；

集合組織が、圧延面と平行な $\{211\}$ 面のＸ線ランダム強度比で
１．０以上２．４以下であり；

引張強度が 590 MPa 以上 980 MPa 以下である；
ことを特徴とする熱延鋼板。

$$12.0 \leq (Ti/48) / (S/32) + \{ (Ca/40) / (S/32) + (Rare\ Earth\ Metal/140) / (S/32) \} \times 15 \leq 150 \quad \cdots \quad (式1)$$

[請求項2]

前記化学成分が、更に、質量％で、

Nb : 0.001% ～ 0.1% 、

B : 0.0001% ～ 0.0040% 、

Cu : 0.001% ～ 1.0% 、

Cr : 0.001% ～ 1.0% 、

Mo : 0.001% ～ 1.0% 、

Ni : 0.001% ～ 1.0% 、

V : 0.001% ～ 0.2% 、

のうちの少なくとも１つを含有する

ことを特徴とする請求項１に記載の熱延鋼板。

[請求項3]

前記化学成分が、質量％で、

Rare Earth Metal : 0.0001%~0.02
%,

Ca : 0.0001%~0.01%,

のうちの少なくとも1つを含有するとき、前記Tiの含有量を、

Ti : 0.001%~0.08%未満、

とする

ことを特徴とする請求項1又は2に記載の熱延鋼板。

[請求項4] 前記化学成分中の各元素の質量%で示した含有量が、下記の式2を満足し；

前記各視野での前記介在物の前記長径／短径比の前記最大値を平均した前記値が、1.0以上3.0以下である；

ことを特徴とする請求項1又は2に記載の熱延鋼板。

$$0.3 \leq (\text{Rare Earth Metal} / 140) / (\text{Ca} / 40) \quad \dots \quad (\text{式} 2)$$

[請求項5] 前記金属組織で、ベイナイト及びパーライトの面積分率が、合計で、0%以上5.0%未満である

ことを特徴とする請求項1又は2に記載の熱延鋼板。

[請求項6] 長径が3 μm以上である前記介在物の合計個数に対して、長径が3 μm以上であるMnS析出物及びCaS析出物の個数が、合計で、0%以上70%未満である

ことを特徴とする請求項1又は2に記載の熱延鋼板。

[請求項7] 前記第二相の平均結晶粒径が0.5 μm以上8.0 μm以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載の熱延鋼板。

[請求項8] 請求項1又は2に記載の前記化学成分からなる鋼片を1200℃以上1400℃以下に加熱する加熱工程と；

前記加熱工程後に前記鋼片に対して、1150℃超1400℃以下の温度域で、累積圧下率が10%以上70%以下となる粗圧延を行う一次粗圧延工程と；

前記一次粗圧延工程後に、 1070°C 超 1150°C 以下の温度域で、累積圧下率が 10% 以上 25% 以下となる粗圧延を行う二次粗圧延工程と；

前記二次粗圧延工程後に、開始温度が 1000°C 以上 1070°C 以下、終了温度が $A_r3 + 60^{\circ}\text{C}$ 以上 $A_r3 + 200^{\circ}\text{C}$ 以下となる仕上圧延を行って熱延鋼板を得る仕上圧延工程と；

前記仕上圧延工程後に前記熱延鋼板に対して、前記終了温度から、冷却速度が $20^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上 $150^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下である冷却を行う一次冷却工程と；

前記一次冷却工程後に、 650°C 以上 750°C 以下の温度域で、冷却速度が $1^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上 $15^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下、及び、冷却時間が 1 秒以上 10 秒以下である冷却を行う二次冷却工程と；

前記二次冷却工程後に、 0°C 以上 200°C 以下の温度域まで、冷却速度が $20^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上 $150^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以下である冷却を行う三次冷却工程と；

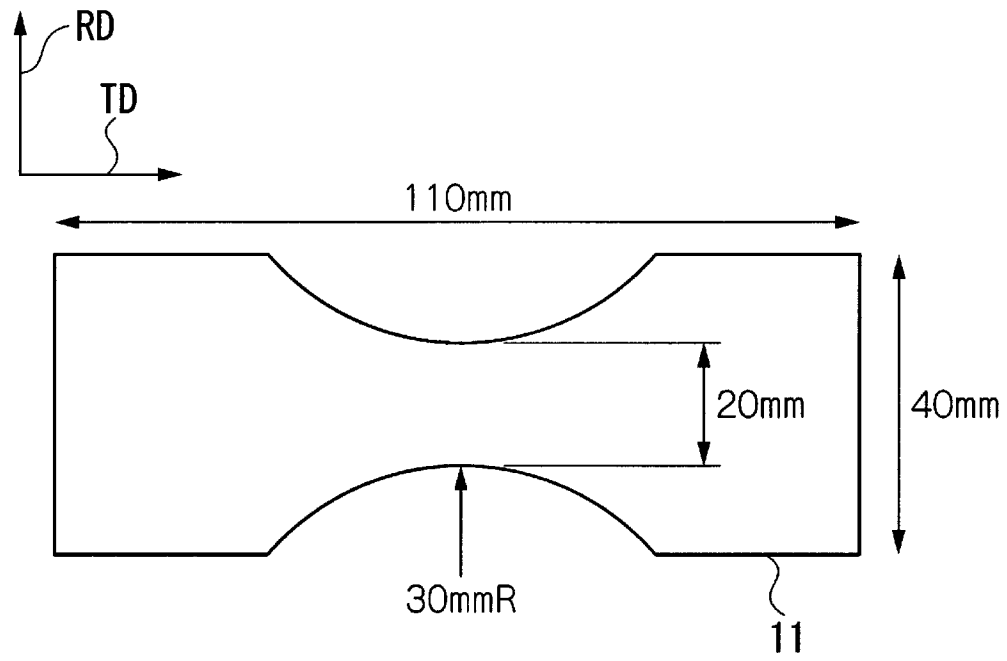
前記三次冷却工程後に、前記熱延鋼板を巻き取る巻取工程と；を備える

ことを特徴とする熱延鋼板の製造方法。

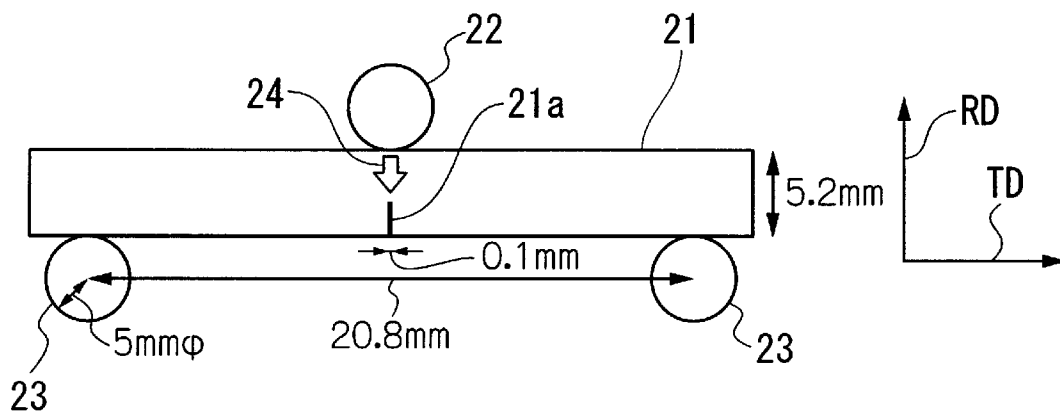
[請求項9]

前記一次粗圧延工程で、前記累積圧下率が 10% 以上 65% 以下となる前記粗圧延を行うことを特徴とする請求項8に記載の熱延鋼板の製造方法。

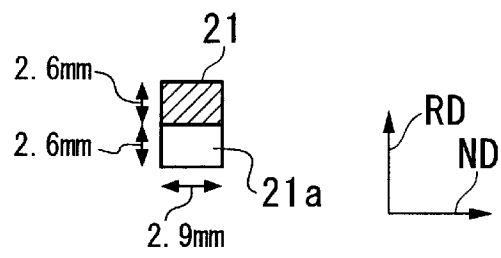
[図1]



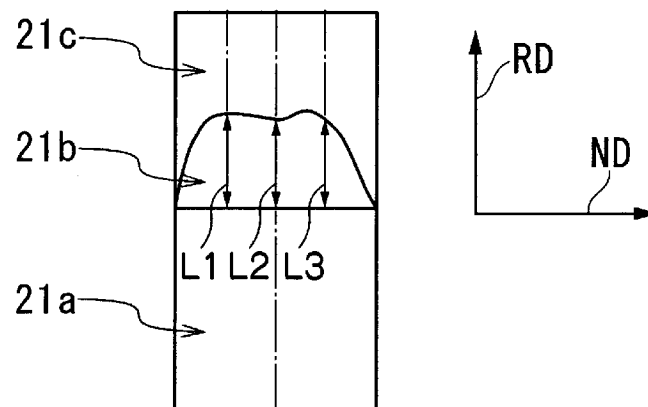
[図2A]



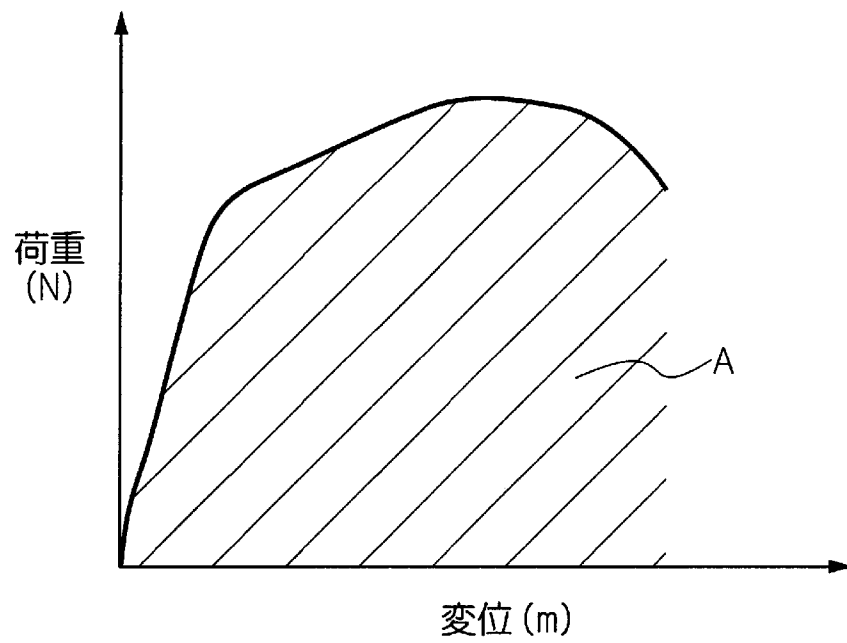
[図2B]



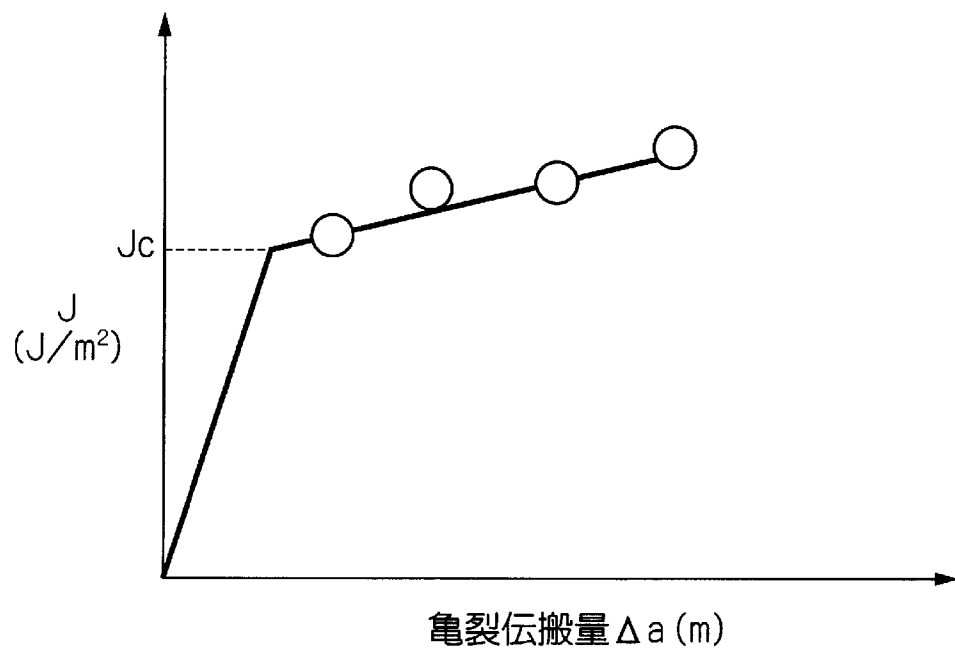
[図2C]



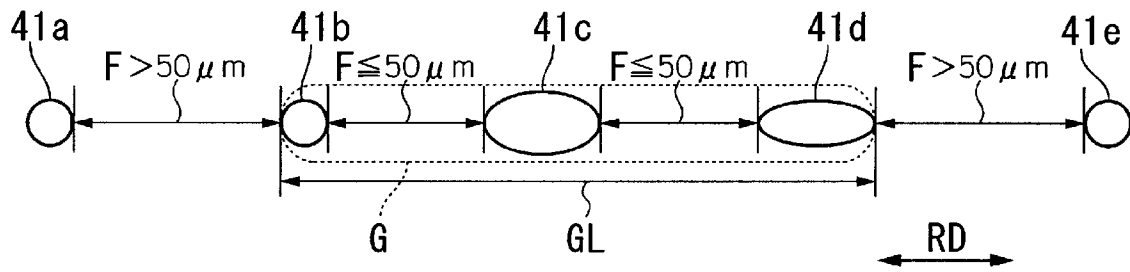
[図3A]



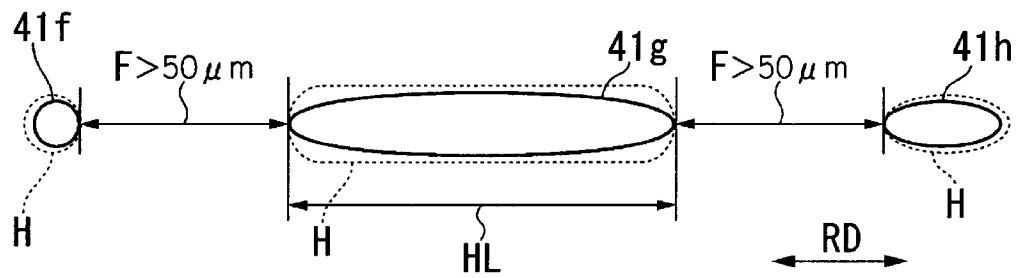
[図3B]



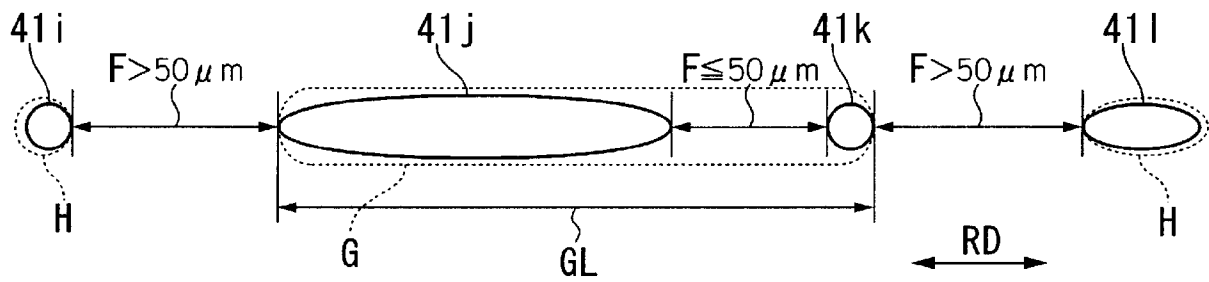
[図4A]



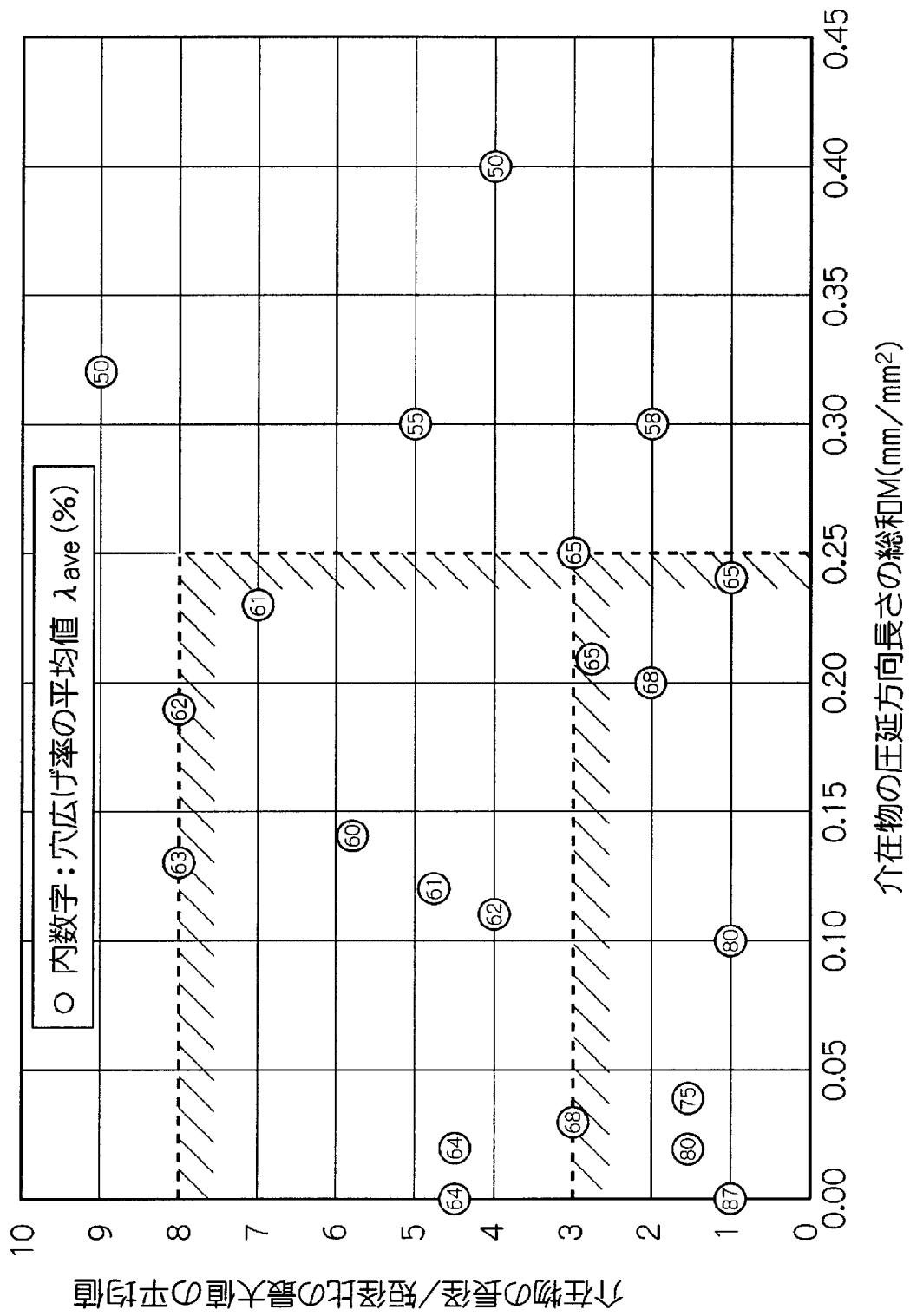
[図4B]



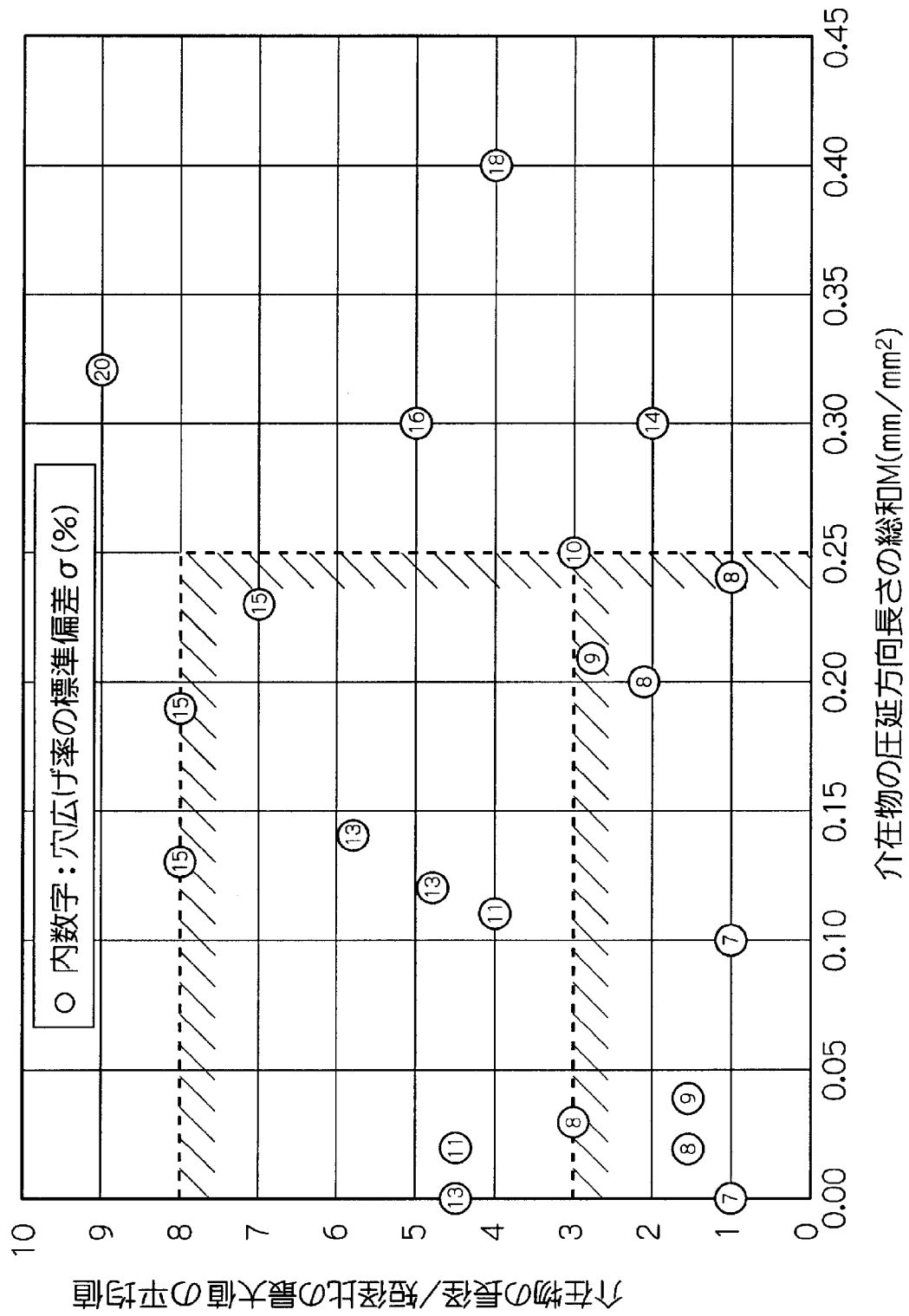
[図4C]



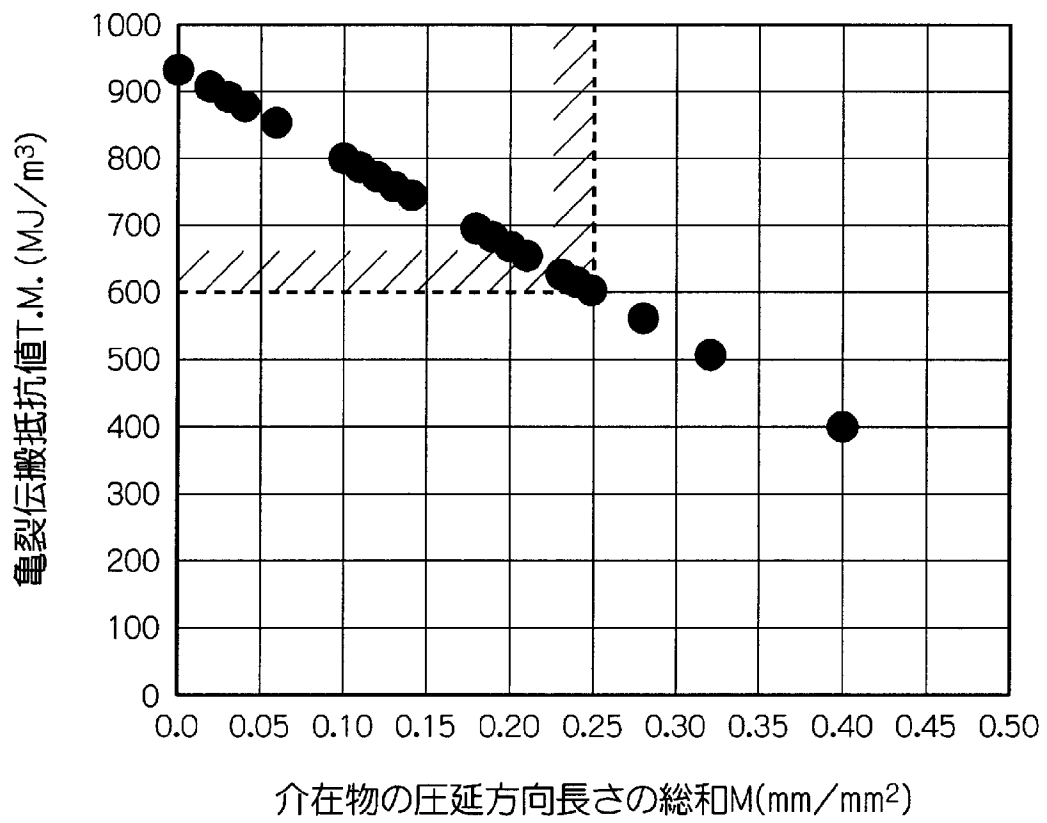
[図5]



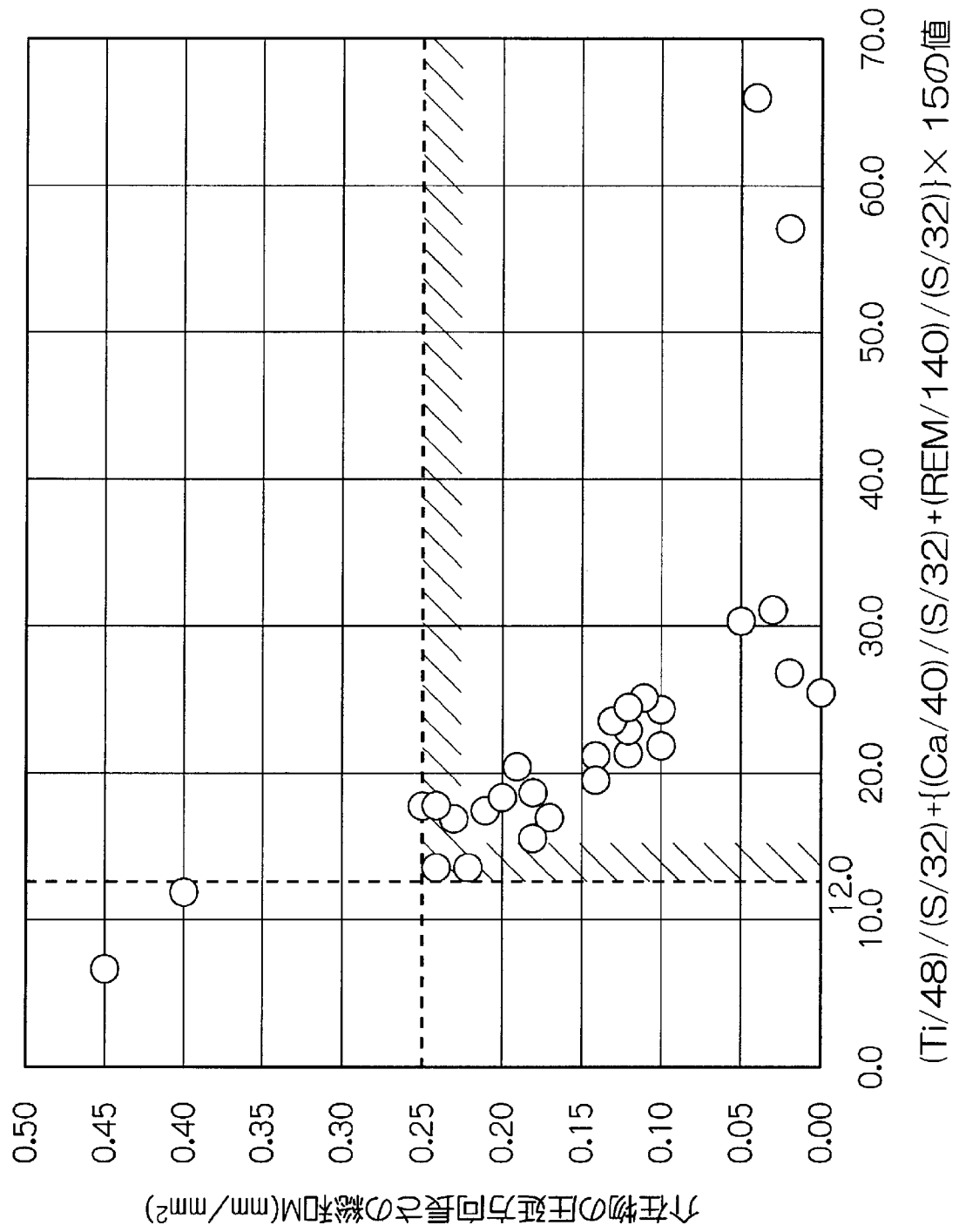
[図6]



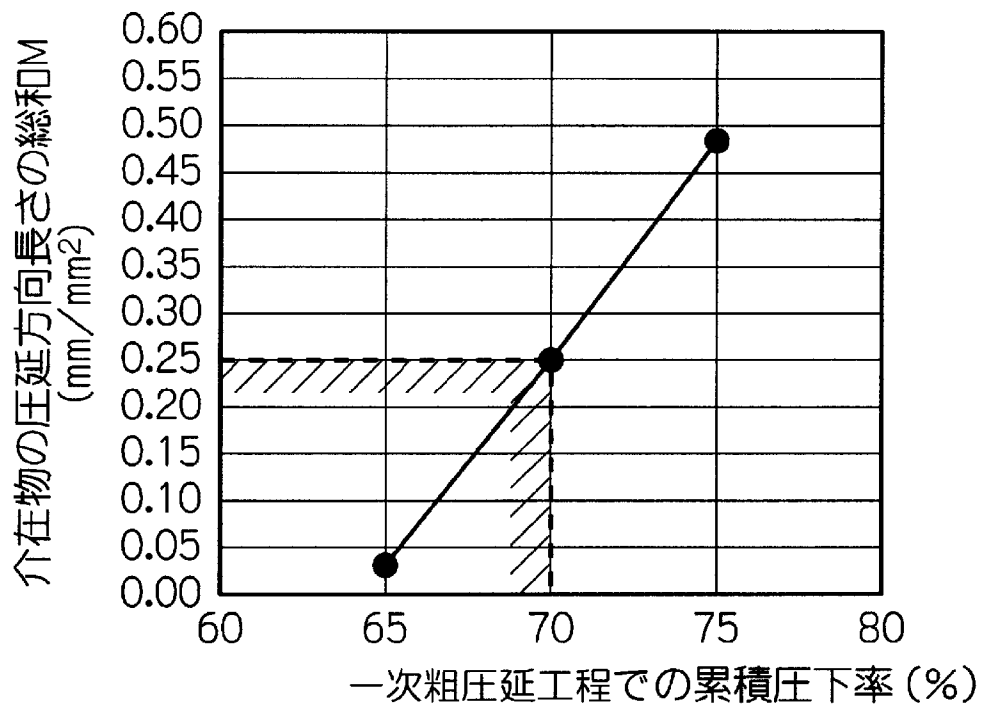
[図7]



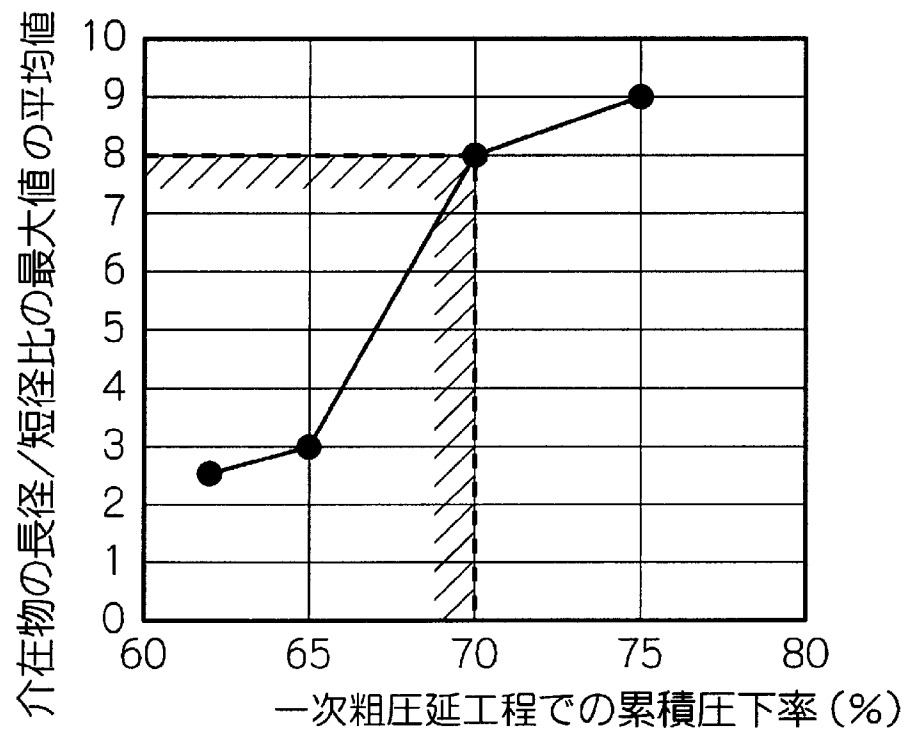
[図8]



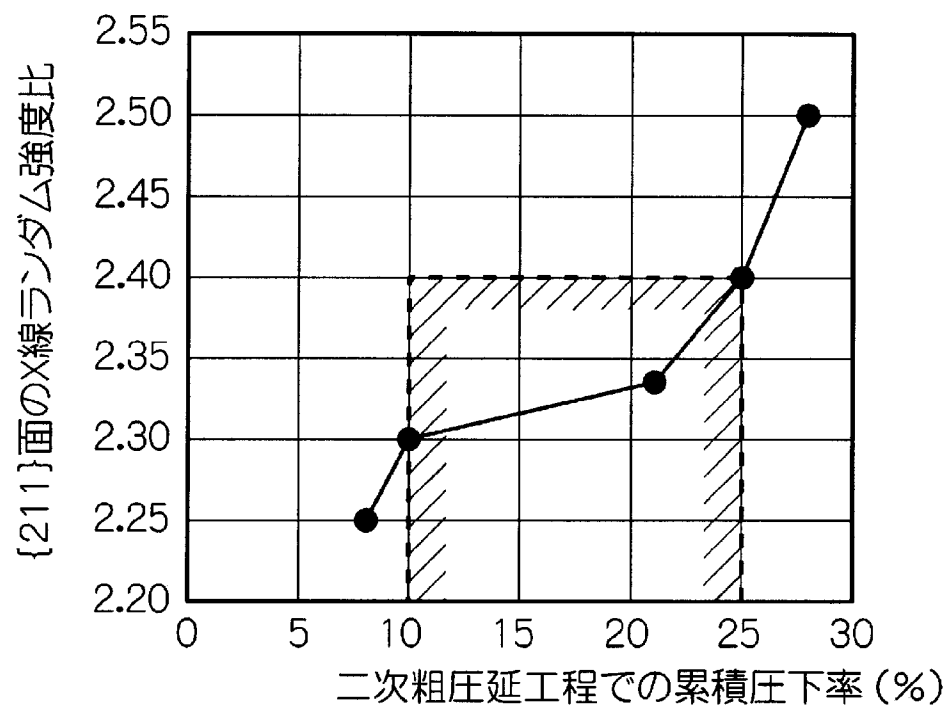
[図9A]



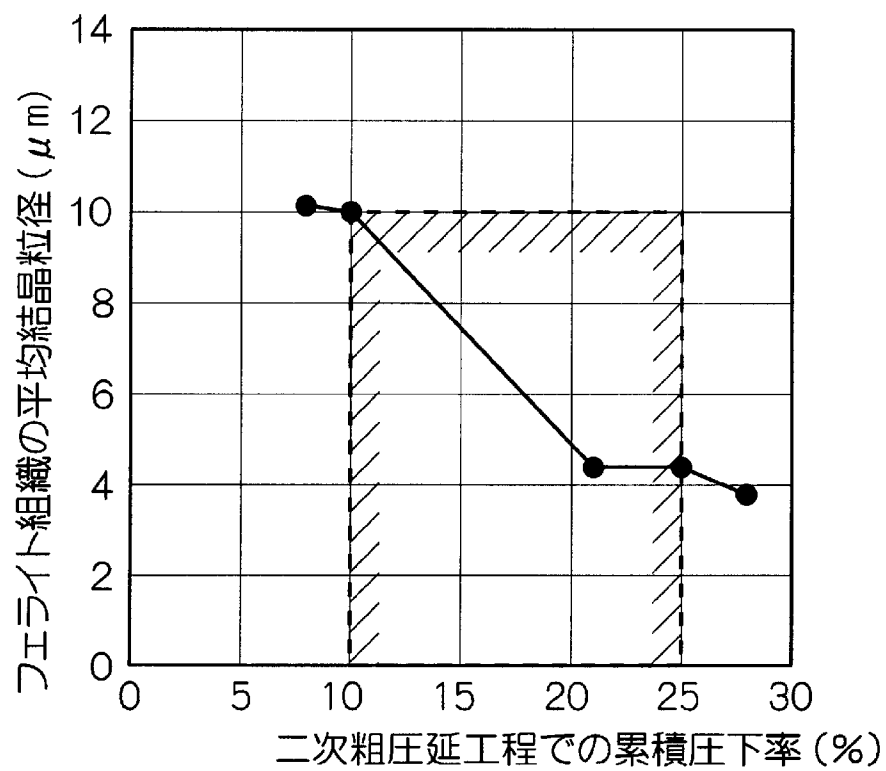
[図9B]



[図9C]



[図9D]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/056927

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C38/14(2006.01)i, C22C38/58(2006.01)i, C21D8/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C22C38/00-38/60, C21D8/00-8/04

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 1996-2012

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012

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 2010-090476 A (Nippon Steel Corp.), 22 April 2010 (22.04.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 2009-024227 A (Nippon Steel Corp.), 05 February 2009 (05.02.2009), claims; tables 1 to 6 (Family: none)	1-9
A	JP 2008-138231 A (Nippon Steel Corp.), 19 June 2008 (19.06.2008), claims; tables 1 to 3 (Family: none)	1-9

☒ 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
06 June, 2012 (06.06.12)Date of mailing of the international search report
19 June, 2012 (19.06.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/056927

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	WO 2011/111758 A1 (Nippon Steel Corp.), 15 September 2011 (15.09.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C22C38/14(2006.01)i, C22C38/58(2006.01)i, C21D8/02(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C22C38/00-38/60, C21D8/00-8/04

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 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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 2010-090476 A (新日本製鐵株式会社) 2010.04.22, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 9
A	JP 2009-024227 A (新日本製鐵株式会社) 2009.02.05, 特許請求の 範囲, 表 1 - 表 6 (ファミリーなし)	1 - 9
A	JP 2008-138231 A (新日本製鐵株式会社) 2008.06.19, 特許請求の 範囲, 表 1 - 表 3 (ファミリーなし)	1 - 9

☒ 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

0 6 . 0 6 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

1 9 . 0 6 . 2 0 1 2

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)

鈴木 毅

4 K

9 1 5 4

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

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
P, A	W0 2011/111758 A1 (新日本製鐵株式会社) 2011.09.15, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 9