

明 細 書

発明の名称：厚肉高靱性高強度鋼板およびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、建築、橋梁、造船、海洋構造物、建産機、タンク、ペンストックなど鋼製構造物に用いられる厚肉高靱性高強度鋼板およびその製造方法に関する。本発明は、特に、鋼板表面の靱性と鋼板内部の強度、靱性に優れたものである。なお、本鋼板は、板厚 100 mm 以上、かつ降伏強度が 620 MPa 以上のものである。

背景技術

[0002] 建築、橋梁、造船、海洋構造物、建産機、タンク、ペンストック等の各分野で鋼材が使用される場合、通常、所望の形状になるように鋼材は溶接される。近年、鋼構造物の大型化が著しく進展しており、使用される鋼材の高強度化や厚肉化が顕著に進んでいる。

[0003] 板厚 100 mm 以上の厚肉かつ高強度の鋼板で、板厚中心部の強度、靱性に優れた鋼板を製造しようとしても、板厚中心部は、冷却速度が低下することで、フェライトなど比較的低強度の組織が形成されやすくなる。そこで、そのような組織の生成を抑制するために、多量の合金元素を添加することが必要となる。

[0004] 特に、厚肉材（板厚 100 mm 以上の厚肉鋼板）の板厚中心部の強度と靱性を満足させるためには、焼入時にベイナイトまたはベイナイトとマルテンサイトの混合組織を板厚中心部に形成させることが重要である。これには、Mn、Ni、Cr、Mo等の合金元素を多量に添加する必要がある。

[0005] また、鋼板表面においては板厚中心部に比べて冷却速度が速く靱性が低いマルテンサイト組織が形成される。そのため、板厚 100 mm 以上の高強度鋼板において、表面の靱性と鋼板内部の強度、靱性を両立させることは困難である。

[0006] 本特許に関連する鋼板を記載した文献として、例えば次の 2 件の非特許文

献が存在する。非特許文献1では、板厚210mmの材料に関する記載があり、非特許文献2では、板厚180mmの材料に関する記載がある。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1：新日鐵技報，348（1993），10－16

非特許文献2：日本鋼管技報，107（1985），21－30

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 上記の非特許文献には、板厚中心部の強度、靱性が良好であることが記載されている。しかし、鋼板表面の靱性（シャルピー衝撃特性）についての記述がない。このような厚肉材は、通常焼入れ焼もどしプロセスで製造されるが、板厚中心部に比べて冷却速度が速い鋼板表面では、マルテンサイト組織が形成され、鋼板表面の靱性（シャルピー衝撃特性）が低下することを考慮すれば、上記の非特許文献には、鋼板表面の靱性をも安定的に満足する鋼板を製造する点が記載されていない。

[0009] 本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その目的は、表面の靱性と鋼板内部の強度、靱性を両立させた、厚肉高靱性高強度鋼板およびその製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明者らは、上記課題を解決するため、降伏強度620MPa以上かつ板厚100mm以上の厚鋼板を対象に、鋼板表面の靱性と板厚中心部における強度及び靱性とを両立させるためのミクロ組織制御因子について鋭意研究を行い、以下の知見を得た。

[0011] 1. 原料となる鋼素材の凝固時の冷却速度が $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ を超える場合は、ミクロ偏析の形成と凝固反応が競合する。その結果、ミクロ偏析が軽減される。大型の鋼素材を製造する場合、上記鋼素材の凝固時の冷却速度が $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下まで低下する結果、ミクロ偏析が顕著になる。そのような場合でも、焼入時

にマルテンサイト組織となる鋼板表面において良好な靱性を得るためには、P含有量の低減に加えて、凝固時のミクロ偏析を低減することが重要である。さらに凝固時の初晶を δ 相とし、 γ 相生成開始時における δ 相の比率を30%以上とすることでミクロ偏析が低減し靱性が向上する。なお、上記比率の単位である%は、体積%を意味する。

[0012] 2. 熱間加工後の冷却時に、鋼板表面に比べて著しく冷却速度が低い板厚中心部において良好な強度、靱性を得るためには、鋼組成（成分組成）を適切に選定し、低い冷却速度においてもミクロ組織をマルテンサイトおよび／またはベイナイト組織にできることが重要である。そのためには、合金成分を適切に選定する必要がある、特に炭素当量（ C_{eq} ）を0.65%以上とする必要がある。また、適切な成分設計に加えて、熱間加工および熱処理による組織の造りこみも重要である。

[0013] 3. 靱性を改善するためには、旧 γ 粒径の微細化が有効である。熱処理後の旧 γ 粒径の微細化には、熱処理前の旧 γ 粒径の微細化、すなわち熱間加工ままでの旧 γ 粒径の微細化が重要である。このためには、適切な熱間加工条件および圧延条件の選定が重要である。

[0014] 本発明は、上記の知見にさらに検討を加えてなされたものであり、以下のものを提供する。

[0015] [1] 質量%で、C:0.08~0.20%、Si:0.40%以下、Mn:0.5~5.0%、P:0.010%以下、S:0.0050%以下、Cr:3.0%以下、Ni:0.1~5.0%、Al:0.010~0.080%、N:0.0070%以下、O:0.0025%以下を含有し、(1)式および(2)式の関係を満たし、残部はFeおよび不可避免の不純物からなり、鋼板表面における靱性（ $vE-40$ ）が70J以上であり、板厚が100mm以上である、鋼板表面の靱性と鋼板内部の強度、靱性に優れた厚肉高靱性高強度鋼板。

$$C_{eq}^{11W} = C + Mn / 6 + (Cu + Ni) / 15 + (Cr + Mo + V) / 5 \geq 0.65 \quad (1)$$

$$(C_L - C) / C_L \times 100 \geq 30 \quad (2)$$

ここで C_L は次式で定義する。

$$C_L = 0.2 - (-0.1 \times (0.2 - Si) - 0.03 \times (1.1 - Mn) - 0.12 \times (0.2 - Cu) - 0.11 \times (3 - Ni) + 0.025 \times (1.2 - Cr) + 0.1 \times (0.5 - Mo) + 0.2 \times (0.04 - V) - 0.05 \times (0.06 - Al)) \quad (3)$$

ただし、上記式において元素記号は各合金成分の含有量（質量％）とし、含有しないものは0とする。

[0016] [2] 更に、質量％で、Cu：0.50％以下、Mo：1.50％以下、V：0.400％以下、Nb：0.100％以下、Ti：0.005％～0.020％の1種または2種以上を含有することを特徴とする[1]に記載の厚肉高靱性高強度鋼板。

[0017] [3] 更に、質量％で、Mg：0.0001～0.0050％、Ta：0.01～0.20％、Zr：0.005～0.1％、Y：0.001～0.01％、B：0.0030％以下、Ca：0.0005～0.0050％、REM：0.0005～0.0100％の1種または2種を含有することを特徴とする[1]又は[2]に記載の厚肉高靱性高強度鋼板。

[0018] [4] 降伏強度が620MPa以上である[1]～[3]のいずれかに記載の厚肉高靱性高強度鋼板。

[0019] [5] 板厚中心の板厚方向の絞りが40％以上であることを特徴とする[1]～[4]のいずれかに記載の厚肉高靱性高強度鋼板。

[0020] [6] [1]～[5]のいずれかに記載の厚肉高靱性高強度鋼板を製造する方法であって、鋼素材を、1200～1350℃に加熱し、累積圧下量を25％以上とする熱間鍛造を行い、Ac3点以上1200℃以下に加熱し、累積圧下量を40％以上とする熱間圧延を行い、放冷し、Ac3点以上1050℃以下に再加熱し、Ac3点以上の温度から350℃以下またはAr3点以下の低い方の温度まで急冷し、450℃～700℃の温度で焼戻しを行うことを特徴とする厚肉高靱性高強度鋼板の製造方法。

[0021] [7] [1] ~ [5] のいずれかに記載の厚肉高靱性高強度鋼板を製造する方法であって、

鋼素材を、1200~1350℃に加熱し、累積圧下量を25%以上とする熱間鍛造を行い、Ac3点以上1200℃以下に加熱し、累積圧下量を40%以上とする熱間圧延を行い、Ar3点℃以上の温度から350℃以下またはAr3点以下の低い方の温度まで急冷し、450℃~700℃の温度で焼戻しを行うことを特徴とする厚肉高靱性高強度鋼板の製造方法。

[0022] [8] [1] ~ [5] のいずれかに記載の厚肉高靱性高強度鋼板を製造する方法であって、

鋼素材を、1200~1350℃に加熱し、累積圧下量を40%以上とする分塊圧延を行い、Ac3点以上1200℃以下に加熱し、累積圧下量を40%以上とする熱間圧延を行い、放冷し、Ac3点以上1050℃以下に再加熱し、Ac3点以上の温度から350℃以下またはAr3点以下の低い方の温度まで急冷し、450~700℃の温度で焼戻しを行うことを特徴とする厚肉高靱性高強度鋼板の製造方法。

[0023] [9] [1] ~ [5] のいずれかに記載の厚肉高靱性高強度鋼板を製造する方法であって、

鋼素材を、1200~1350℃に加熱し、累積圧下量を40%以上とする分塊圧延を行い、Ac3点以上1200℃以下に加熱し、累積圧下量を40%以上とする熱間圧延を行い、Ar3点℃以上の温度から350℃以下またはAr3点以下の低い方の温度まで急冷し、450℃~700℃の温度で焼戻しを行うことを特徴とする厚肉高靱性高強度鋼板の製造方法。

発明の効果

[0024] 本発明によれば、降伏強度が620MPa以上の強度を有するとともに、靱性にも優れた板厚100mm以上の厚肉高靱性高強度鋼板が得られる。この厚肉高靱性高強度鋼板を用いれば、安全性の高い鋼構造物を製造することができる。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、本発明の実施形態について説明する。なお、本発明は以下の実施形態に限定されない。

[0026] <厚肉高靱性高強度鋼板>

本発明の厚肉高靱性高強度鋼板の成分組成は、質量%で、C : 0.08 ~ 0.20%、Si : 0.40%以下（但し、0%を含む）、Mn : 0.5 ~ 5.0%、P : 0.010%以下（但し、0%を含む）、S : 0.0050%以下（但し、0%を含む）、Cr : 3.0%以下（但し、0%を含む）、Ni : 0.1 ~ 5.0%、Al : 0.010 ~ 0.080%、N : 0.0070%以下（但し、0%を含む）、O : 0.0025%以下（但し、0%を含む）を含有する。以下、各成分について説明する。なお、成分の含有量を表す「%」は「質量%」を意味する。

[0027] C : 0.08 ~ 0.20%

Cは、構造用鋼に求められる強度を安価に得るために有用な元素である。その効果を得るためにC含有量を0.08%以上とする必要がある。一方、C含有量が0.20%を超えると、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材および溶接部の靱性が顕著に劣化する。そこで、C含有量の上限を0.20%とした。好ましいC含有量は0.08% ~ 0.14%である。

[0028] Si : 0.40%以下

Siは脱酸のために添加する。しかし、他の元素を脱酸のために添加する場合には、本発明の鋼板はSiを含まなくてもよい。Si含有量が0.40%を超えると、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材および溶接熱影響部の靱性が顕著に低下する。このため、Si含有量は0.40%以下とする。好ましいSi含有量は0.05 ~ 0.3%の範囲である。より好ましくは0.1 ~ 0.3%の範囲である。

[0029] Mn : 0.5 ~ 5.0%

Mnは母材強度を確保する観点から添加する。Mn含有量が0.5%未満ではその効果が十分でない。また、Mn含有量が5.0%を超えると、中心

偏析を助長しスラブの鑄造欠陥が大型化し、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材の特性が劣化する。そこで、Mn含有量の上限を5.0%とする。Mn含有量は、0.6~2%の範囲であることが好ましく、より好ましくは0.6~1.6%である。

[0030] P : 0.010%以下

P含有量が0.010%を超えると、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材および溶接熱影響部の靱性が著しく低下する。このため、P含有量は少ないほど好ましく（含まなくてもよい）、0.010%以下に制限する。

[0031] S : 0.0050%以下

S含有量が0.0050%を超えると、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材および溶接熱影響部の靱性が顕著に低下する。このため、S含有量は少ないほど好ましく（含まなくてもよい）、0.0050%以下とする。

[0032] Cr : 3.0%以下

Crは、母材の高強度化に有効な元素である。しかし、Cr含有量が過剰になると溶接性が低下する。そこで、Cr含有量は3.0%以下とする。好ましいCr含有量は、0.1%~2%である。より好ましくは、0.7%~1.7%の範囲である。また、Cr含有量は0%でもよい。

[0033] Ni : 0.1~5.0%

Niは、鋼の強度および溶接熱影響部の靱性を向上させる有益な元素である。この効果を得るためにNi含有量を0.1%以上とする。一方、Ni含有量が5.0%を超えると、経済性が著しく低下する。そこで、Ni含有量の上限は5.0%とする。また、Ni含有量は、0.4~4%であることが好ましく、より好ましくは、0.8%~3.8%である。

[0034] Al : 0.010~0.080%

Alは溶鋼を十分に脱酸するために添加される。Al含有量が0.010%未満の場合はその効果が不十分である。一方、Al含有量が0.080%

を超えると、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材中に固溶するA l含有量が多くなり、母材靱性が低下する。そこで、A l含有量は0.080%以下とする。A l含有量は、0.030～0.080%の範囲であることが好ましく、より好ましくは、0.030～0.070%の範囲である。

[0035] N : 0.0070%以下

Nは、T iなどと窒化物を形成することによって組織を微細化し、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材および溶接熱影響部の靱性を向上させる効果を有する。この靱性向上の効果はN以外の構成により得ることができするため、本発明の鋼板はNを含まなくてもよい。しかし、Nによりこの効果を得る観点からはN含有量を0.0015%以上とすることが好ましい。一方、N含有量が0.0070%を超えると、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材中に固溶するN量が増大し、母材靱性が著しく低下し、さらに溶接熱影響部においても粗大な炭窒化物を形成し靱性が低下する。そこで、N含有量は0.0070%以下とする。好ましくは、0.006%以下、より好ましくは0.005%以下である。

[0036] O : 0.0025%以下

Oは、0.0025%を超えると、鋼中で硬質な酸化物が生成し、靱性が顕著に低下する。そこで、O含有量は少ないほど好ましく（含まなくてもよい）、0.0025%以下とする。

[0037] 本発明の厚肉高靱性高強度鋼板は、上記元素に加えて、強度及び／又は靱性をさらに高める目的で、C u、M o、V、N b及びT iの中から少なくとも1種類を含有することができる。

[0038] C u : 0.50%以下

C uを含有すれば、靱性を損なうことなく鋼の強度を向上させることができる。C u含有量が0.50%を超えると熱間加工時に鋼板表面に割れを生じる場合がある。そこで、C uを含有する場合、その含有量は0.50%以

下とする。

[0039] Mo : 1.50%以下

Moは、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材の高強度化に寄与する。しかし、Mo含有量が1.50%を超えると、合金炭化物の析出による硬度の上昇を引き起こし、靱性が低下する。そこで、Moを含有する場合、Mo含有量の上限を1.50%とする。好ましいMo含有量は、0.2%~0.8%の範囲である。

[0040] V : 0.400%以下

Vは、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材の強度・靱性の向上に寄与する。また、Vは、VNとして析出することで固溶Nの低下に有効である。しかし、V含有量が0.400%を超えると硬質なVCの析出により靱性が低下する。そこで、Vを添加する場合は、V含有量を0.400%以下とするのが好ましい。より好ましくは、0.01~0.1%の範囲である。

[0041] Nb : 0.100%以下

Nbは、母材の強度の向上に効果があるため有効である。Nb含有量が0.100%を超えると、母材の靱性が顕著に低下する。そこで、Nb含有量の上限を0.100%とする。好ましくは、0.025%以下である。

[0042] Ti : 0.005~0.020%

Tiは加熱時にTiNを生成し、オーステナイトの粗大化を効果的に抑制し、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材および溶接熱影響部の靱性を向上させる。しかし、Ti含有量が0.020%を超えると、Ti窒化物が粗大化し母材の靱性を低下させる。そこで、Tiを含有する場合は、Ti含有量は0.005%~0.020%の範囲とする。好ましくは、0.008%~0.015%の範囲である。

[0043] 本発明の厚肉高靱性高強度鋼板は、上記組成に加えて、さらに材質を改善する目的でMg、Ta、Zr、Y、B、Ca、REMの中から少なくとも1種類を含有することができる。

[0044] Mg : 0.0001~0.0050%

Mgは高温で安定な酸化物を形成し、溶接熱影響部の旧 γ 粒の粗大化を効果的に抑制し、溶接部の靱性を向上させるのに有効な元素である。この効果を得るためには、Mg含有量を0.0001%以上とする。しかし、Mg含有量が0.0050%を超えると、介在物量が増加し靱性が低下する。そこで、Mgを含有する場合、その含有量は0.0050%以下とするのが好ましい。より好ましくは、0.0001%~0.015%の範囲である。

[0045] Ta : 0.01~0.20%

Taを適正量添加すると、強度向上に有効である。具体的にはTa含有量を0.01%以上にすることが有効である。しかし、その含有量が0.20%を超える場合は析出物生成により靱性が低下する。そこで、Taを含有する場合、その含有量は0.01%~0.20%とする。

[0046] Zr : 0.005~0.1%

Zrは強度上昇に有効な元素である。この効果を得るためにはZr含有量を0.005%以上にすることが有効である。一方、Zr含有量が0.1%を超える場合には粗大な析出物が生成し靱性が低下する。そこで、Zrを含有する場合、その含有量は0.005~0.1%とする。

[0047] Y : 0.001~0.01%

Yは高温で安定な酸化物を形成し、溶接熱影響部の旧 γ 粒の粗大化を効果的に抑制し、溶接部の靱性を向上させるのに有効な元素である。この効果を得るためには、Y含有量を0.001%以上にすることが有効である。しかし、Y含有量が0.01%を超えると、介在物量が増加し靱性が低下する。そこで、Yを含有する場合、その含有量は、0.001~0.01%とする。

[0048] B : 0.0030%以下

Bは、オーステナイト粒界に偏析することで粒界からのフェライト変態を抑制し、焼入性を高める効果を有する。しかし、B含有量が0.0030%を超えると、Bは炭窒化物として析出し焼入性を低下させ靱性が低下する。

そこで、B含有量は0.0030%以下とする。Bを含有する場合、その含有量は0.0003～0.0030%の範囲とするのが好ましい。より好ましくは0.0005～0.002%の範囲である。

[0049] Ca: 0.0005～0.0050%

Caは硫化物系介在物の形態制御に有用な元素である。その効果を発揮させるためには、Ca含有量を0.0005%以上にすることが必要である。しかしCa含有量が0.0050%を超えると、清浄度の低下を招き靱性が劣化する。そこで、Caを含有する場合、その含有量は0.0050%以下とするのが好ましい。より好ましくは0.0005%～0.0025%の範囲である。

[0050] REM: 0.0005～0.0100%

REMもCaと同様に鋼中で酸化物および硫化物を形成して材質を改善する効果がある。その効果を得るためにはREM含有量を0.0005%以上にすることが必要である。しかし、REM含有量が0.0100%を超えても、その効果が飽和する。そこで、REMを含有する場合、その含有量は0.0100%以下とする。好ましいREM含有量は0.0005～0.005%の範囲である。

[0051] なお、上記任意元素の含有量が下限値未満の場合、これらの元素は本発明の効果を害さない。このため、上記任意元素の含有量が下限値未満の場合、これらの元素は不可避免的不純物として含まれるとする。

[0052] $Ceq^{11W} \geq 0.65\%$

本発明では、板厚100mm以上の厚肉高靱性高強度鋼板の板厚中心部において、降伏強度で620MPa以上の強度と良好な靱性を確保するために、適切な合金成分の添加が必要である。具体的には、下記の式(1)のとおり、炭素当量(Ceq^{11W})が0.65%以上となるように合金元素の含有量を調整する必要がある。

$$Ceq^{11W} = C + Mn / 6 + (Cu + Ni) / 15 + (Cr + Mo + V) / 5 \geq 0.65 \quad (1)$$

なお、式中の各元素記号はそれぞれの元素の含有量（質量％）を示す。また、含有しないものは0とする。

[0053] $(C_L - C) / C_L \times 100 \geq 30 \quad (2)$

後述する通り、本発明によれば、スラブ表面の凝固時における冷却速度が $1^\circ\text{C}/\text{s}$ 以下の範囲で鋳造される鋼素材から製造される場合であっても、良好な特性の鋼板が得られる。本発明では、板厚 100 mm 以上の厚肉高靱性高強度鋼板の鋼板表面において良好な靱性（ $v E - 40 \geq 70\text{ J}$ ）を満足するために、特にスラブ表面の凝固時における冷却速度が $1^\circ\text{C}/\text{s}$ 以下の範囲で鋳造される鋼素材から製造される場合において、ミクロ偏析を低減する必要がある。そのためには、凝固時の初晶を δ 相とし、 γ 相生成開始時における δ 相の比率（ $(C_L - C) / C_L \times 100$ ）を 30% 以上とする必要がある。

$$C_L = 0.2 - (-0.1 \times (0.2 - \text{Si}) - 0.03 \times (1.1 - \text{Mn}) - 0.12 \times (0.2 - \text{Cu}) - 0.11 \times (3 - \text{Ni}) + 0.025 \times (1.2 - \text{Cr}) + 0.1 \times (0.5 - \text{Mo}) + 0.2 \times (0.04 - \text{V}) - 0.05 \times (0.06 - \text{Al})) \quad (3)$$

上記式（3）において元素記号は各合金成分の含有量（質量％）とし、含有しないものは0とする。

[0054] δ 相形成には、 Si や Mn 等の C 以外の成分に応じて C 量の範囲を規定する必要がある。 δ 相の C 固溶限（ C_L ）におよぼす合金元素の影響を熱力学計算ソフトウェア「Thermo-Calc」を用いて計算した結果を元に係数を決定した。例えば「 Si 」の係数の「 -0.1 」は、 Si を 1% 含有すると δ 相の C の固溶限が 0.1% 低下することを表しており、必要な δ 相比率を確保するためには母材の C 量を低下させる必要があることを示している。なお、本発明では C_L の計算のベースとなる成分として C を 0.12% 、 Si を 0.2% 、 Mn を 1.1% 、 Cu を 0.2% 、 Cr を 1.2% 、 Ni を 3% 、 Mo を 0.5% 、 V を 0.04% 、 Al を 0.06% とし、各合金元素の含有量を変化させた場合の固溶 C 量からの変化を計算し係数とした。このようにして計算した δ 相中の C の固溶限に対して添加する C の百分率：（

$(C_L - C) / C_L \times 100$ を30%以上とすることで、 γ 相生成開始時における δ 相の比率を30%以上とすることができる。

[0055] また、本発明においては、実施例に記載の方法で測定した、板厚中心の板厚方向の絞りが40%以上であることが鋼材の使用中の安全性を確保する観点から好ましい。

[0056] <厚肉高靱性高強度鋼板の製造方法>

次に、本発明の製造条件について説明する。説明において、温度「℃」は、圧延後放冷せずに焼入れする場合の焼入れ温度を除き、板厚中心部における温度を意味するものとする。圧延後放冷せずに焼入れする場合の焼入れ温度は、鋼板表面温度とする。これは圧延時に板厚方向の鋼板温度分布が大きくなり、鋼板表面の温度低下を考慮する必要があるためである。板厚中心部の温度は、板厚、表面温度および冷却条件等から、シミュレーション計算等により求められる。例えば、差分法を用い、板厚方向の温度分布を計算することにより、板厚中心温度が求められる。

[0057] 鋼素材

上記組成の溶鋼を、転炉、電気炉、真空溶解炉等の通常の方法で溶製し、連続鋳造法および造塊法等の通常の鋳造方法でスラブ、ビレットなどの鋼素材とする。この時の凝固時の冷却速度は、熱電対等を用いた直接測定および伝熱計算などによるシミュレーション計算によって決定する方法がある。上記の通り、本発明では、鋼素材として、表面の凝固時における冷却速度が1℃/s以下の条件で製造されたものを好ましく用いることができる。

[0058] また、鍛造機および圧延機の荷重等の制約がある場合には、分塊圧延を行い、素材の板厚を小さくしてもよい。

[0059] 鋼素材の熱間鍛造条件

上述の組成を有する鋳片または鋼片を、1200～1350℃に加熱する。再加熱温度が1200℃未満では、所定の熱間加工の累積圧下量を確保するための荷重の増大を招き、十分な圧下量を確保できないばかりか、必要に応じて加工中に再度加熱しなければならない場合も発生し、製造能率の低下

を招く。このため、再加熱温度は1200℃以上とする。また、炭素当量が0.65%以上の本鋼のように合金元素添加量が高い場合、鋼素材中のセンターポロシティやザクなどの鑄造欠陥が著しく粗大化する。それらを圧着して無害化するために、累積圧下量を25%以上とする必要がある。一方、再加熱温度が1350℃を超えると、過大なエネルギーを消費し、加熱時のスケールにより表面疵が生じやすくなり、熱間鍛造後の手入れ負荷が増大するため、上限は1350℃とする。

[0060] 鋼素材の分塊圧延条件

上述の組成を有する鋳片または鋼片を、1200～1350℃に加熱する。再加熱温度が1200℃未満では、所定の熱間加工の累積圧下量を確保するための荷重の増大を招き、十分な圧下量を確保できないばかりか、必要に応じて加工中に再度加熱しなければならない場合も発生し、製造能率の低下を招く。このため、再加熱温度は1200℃以上とする。また、鑄造欠陥を圧着して無害化し、本発明の効果をj得るためには、累積圧下量を30%以上とすればよいが、絞り(RA)にも優れたものとする観点から累積圧下量を40%以上とすることが好ましい。一方、再加熱温度が1350℃を超えると、過大なエネルギーを消費し、加熱時のスケールにより表面疵が生じやすくなり、熱間鍛造後の手入れ負荷が増大するため、上限は1350℃とする。

[0061] 鍛造後または分塊圧延後の鋼素材の再加熱

鍛造後の鋼素材をAc3変態点以上1200℃以下に加熱するのは、鋼をオーステナイト組織一相に均一化するためであり、加熱温度としては、1000℃以上1200℃以下とするのが好ましい。

なお、Ac3変態点は、下記式(4)により計算される値を用いる。

$$Ac3 = 937.2 - 476.5C + 56Si - 19.7Mn - 16.3Cu - 26.6Ni - 4.9Cr + 38.1Mo + 124.8V + 136.3Ti + 198.4Al + 3315B \quad (4)$$

(4)式での各元素記号はそれぞれの合金元素の含有量(質量%)を示す。

[0062] 熱間圧延条件

鋼素材は、熱間圧延により所望の板厚に加工される。板厚 100 mm 以上の厚肉鋼板の板厚中心部の特性を確保するために、熱処理による旧 γ 粒径の整粒化、細粒化の効果を十分に発揮するため、圧延段階での材料のつくり込みが必要である。具体的には、圧延における累積圧下量を 40 % 以上とすることで、加工による再結晶が起こりにくい板厚中心部においても圧延段階で整粒化を図ることができる。

[0063] 熱処理条件

板厚中心部での強度と靱性を得るために、本発明では熱間圧延後放冷（例えば空冷）する、または、熱間圧延後放冷せずに $A_r 3$ 点以上の温度から 350°C 以下の温度まで急冷する。放冷した場合は、 $A_c 3$ 点～ 1050°C に再加熱し、 $A_c 3$ 点以上の温度から 350°C 以下になるまで急冷する。再加熱温度を 1050°C 以下とするのは、 1050°C を超える高温の再加熱ではオーステナイト粒の粗大化により、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材靱性の低下が著しく低下するためである。また、再加熱温度を $A_c 3$ 点以上とするのは鋼板全体をオーステナイト組織にするためである。また、 $A_c 3$ 点未満の温度ではフェライトとオーステナイトからなる不均一組織を形成し必要な特性が得られないため、焼入れ温度は $A_c 3$ 点以上とする。また、放冷せずに急冷する場合は、オーステナイト単相域から焼入するため焼入温度は $A_r 3$ 点以上とする。また、急冷の停止温度は鋼板全体で変態後の組織を確実に得るために 350°C 以下または $A_r 3$ 点以下の低い方の温度とする。つまり、停止温度は $A_r 3$ 点以下且つ 350°C 以下である必要がある。

なお、 $A_r 3$ 変態点は、下記式（5）により計算される値を用いる。

$$A_r 3 = 910 - 310C - 80Mn - 20Cu - 15Cr - 55Ni - 80Mo \quad (5)$$

（5）式での各元素記号はそれぞれの合金元素の含有量（質量％）を示す。

[0064] 急冷の方法は、工業的には水冷とすることが一般的であるが、冷却速度は

可能な限り速いほうが望ましい。このため、冷却方法は水冷以外でもよく、例えばガス冷却などの方法もある。

[0065] 焼戻し条件

急冷後、450～700℃で焼戻す理由は以下の通りである。450℃未満では残留応力の除去効果が少ない。一方、700℃を超える温度では、種々の炭化物が析出するとともに、厚肉高靱性高強度鋼板を用いて溶接により鋼構造物を製造したときに、母材の組織が粗大化し、強度、靱性が大幅に低下する。

[0066] 工業的には、鋼の強靱化を目的に繰返し焼入れする場合がある。本発明においても繰返し焼入れしてもよいが、最終の焼入れの際に、Ac3点～1050℃に加熱後、350℃以下になるまで急冷し、その後450～700℃で焼もどすことが必要である。

実施例

[0067] 表1に示したNo. 1～30の鋼を、表2に示す条件で、溶製、鑄造し鋼素材とした後、熱間鍛造（試料番号5、6、41以外）又は分塊圧延（試料番号5、6、41）を行い、その後、熱間圧延により、表2に示す板厚の鋼板とし、その後、水焼入れ、焼戻し処理を行い、試料No. 1～38の鋼板を製造し、下記の試験に供した。なお、本例では再加熱焼入の場合は再加熱温度が焼入温度となる。

[0068] なお、 δ 相比率は、それぞれの母材成分について式（3）で得られる C_L の値と母材のC量の値を用いて、（2）式により算出した値である。

[0069] また、鋼素材製造時の凝固時の冷却速度は、放射温度計により鑄型表面の温度を測定したデータを元に伝熱計算により算出した値である。

[0070] 引張試験

各鋼板の板厚中心部から、圧延方向と直角方向に丸棒引張試験片（Φ12，5mm、GL50mm）を採取し、降伏強度（YS）、引張強度（TS）を測定した。

[0071] シャルピー衝撃試験

各鋼板の鋼板表面および板厚中心部から圧延方向を長手方向とする2 mm Vノッチシャルピー試験片を各3本ずつ採取し、各試験片について、試験温度：-40℃でシャルピー衝撃試験により吸収エネルギーを測定し、それらの平均値を求めた（板厚中心部の試験片の平均値および表面の試験片の平均値をそれぞれ求めた。）。

[0072] 板厚方向引張試験

各鋼板の板厚中心部を含む領域について板厚方向丸棒引張試験片（Φ10 mm）を採取し、絞り（RA）を測定した。なお、絞りは試験片破断後における最小断面積とその原断面積との差の原断面積に対する百分率である。

[0073] 上記の試験結果を表2に示す。この結果から、鋼の成分組成が本発明に適合する発明例の鋼板（試料No. 1～21、41）は、いずれもYSが620 MPa以上、TSが720 MPa以上、-40℃における母材の表面および板厚中心部の靱性（vE-40）が70 J以上であり母材の強度・靱性に優れていることがわかる。また、No. 5及び6と、No. 41との比較から、分塊条件が特定の条件を満たす場合には絞り（RA）も良好になることが確認された。

[0074] これに対して、本発明の成分組成を外れる比較例の鋼板（試料No. 22～32）は、母材のYSが620 MPa未満、TSが720 MPa未満、靱性（vE-40）が70 J未満の中のいずれか1つ以上に該当しており特性が劣っている。

[0075] また、試料No. 33～40に示すように、鋼の成分組成が本発明に適合する鋼板でも製造条件が本発明条件（No. 41は累積圧下量が30%であり、本発明の効果を得る上での最低条件は満たしているため、本発明条件範囲外ではないとする。）に適合していない場合、YS、TS、靱性（vE-40）、のいずれか1つ以上の特性が劣っている。

[0076]

[表1]

区分	鋼塊 番号	化学成分(mass%)																							Ac3 ℃	Ac3 ℃	δ分率 %	
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Al	N	B	Cu	Mo	V	O	Nb	Mg	Ta	Zr	Y	Ca	REM	Ceq ^W				
発 明 例	1	0.085	0.18	1.51	0.006	0.0012	0.56	0.88		0.063	0.0041	0.0013	0.25	0.45	0.035	0.0021						0.0017			0.658	883	656	78
	2	0.095	0.22	1.15	0.005	0.0006	1.80	1.95		0.045	0.0022					0.0015									0.777	830	654	68
	3	0.128	0.21	0.98	0.005	0.0011	0.81	1.01	0.010	0.045	0.0040	0.0011	0.25	0.54	0.045	0.0018						0.0019	0.0021	0.656	873	675	69	
	4	0.120	0.22	1.14	0.005	0.0006	0.94	1.94		0.062	0.0049	0.0011	0.18	0.49	0.039	0.0016						0.0017			0.745	850	618	61
	5	0.126	0.20	1.15	0.003	0.0008	0.95	2.05	0.010	0.043	0.0028	0.0009	0.22	0.51	0.042	0.0018						0.0015			0.769	840	607	58
	6	0.123	0.20	1.18	0.004	0.0007	0.87	2.44		0.066	0.0050	0.0012	0.19	0.52	0.041	0.0019						0.0020			0.781	836	585	52
	7	0.109	0.17	0.85	0.003	0.0004	1.13	3.56		0.071	0.0049	0.0010	0.08	0.53	0.040	0.0022						0.0012			0.833	819	551	34
	8	0.121	0.22	0.88	0.006	0.0011	1.49	2.93		0.068	0.0046	0.0008	0.21	0.55	0.038	0.0021						0.0019			0.893	828	570	46
	9	0.142	0.21	0.69	0.006	0.0009	1.51	2.87		0.071	0.0038	0.0013	0.20	0.50	0.037	0.0019						0.0018			0.871	823	586	39
	10	0.113	0.11	0.81	0.006	0.0005	1.53	3.61		0.069	0.0052	0.0010	0.02	0.56	0.040	0.0023						0.0016			0.916	813	543	39
	11	0.178	0.09	0.60	0.006	0.0006	1.14	2.84		0.078	0.0054	0.0009	0.11	0.55	0.041	0.0024									0.821	807	587	31
	12	0.196	0.06	0.53	0.009	0.0007	1.35	3.65		0.062	0.0046		1.43	0.059	0.0021	0.0021									1.095	807	471	31
比 較 例	13	0.095	0.23	2.21	0.006	0.0004		0.74		0.035	0.0039	0.0011	0.20	0.65		0.0022						0.0022			0.656	874	607	76
	14	0.118	0.21	1.13	0.006	0.0006	1.44	3.49		0.065	0.0045		0.12	0.57	0.045	0.0021						0.0013			0.958	809	521	30
	15	0.142	0.05	0.57	0.009	0.0012	2.41	0.15	0.009	0.026	0.0050	0.0009	0.14	1.07	0.328	0.0022	0.031							1.018	934	688	80	
	16	0.161	0.22	1.03	0.005	0.0013	1.55	0.98	0.011	0.045	0.0033	0.0011	0.32		0.043	0.0009		0.0013				0.0019			0.738	833	694	56
	17	0.103	0.20	0.98	0.006	0.0016	0.56	2.21		0.049	0.0063	0.0013	0.18	0.55	0.036	0.0022			0.048			0.0022			0.655	855	622	63
	18	0.132	0.13	1.01	0.005	0.0006	0.86	1.44	0.012	0.065	0.0041	0.0009	0.22	0.44	0.028	0.0019				0.015		0.0018			0.677	853	657	64
	19	0.162	0.16	0.59	0.006	0.0019	1.41	3.98		0.063	0.0038	0.0018	0.16	1.47	0.115	0.0018						0.005	0.0016		1.135	831	452	31
	20	0.113	0.22	1.14	0.006	0.0006	0.81	3.57		0.070	0.0050	0.0012	0.20	0.51	0.040	0.0020						0.0016			0.826	813	530	9
	21	0.083	0.16	1.45	0.007	0.0011	0.67	0.45		0.006	0.0043	0.0014	0.21	0.45	0.038	0.0022						0.0018			0.600	887	693	82
	22	0.221	0.55	1.02	0.006	0.0006	0.91	0.89	0.010	0.044	0.0028	0.0011	0.12	0.46		0.0013								0.732	844	658	43	
	23	0.058	0.39	1.41	0.010	0.0018	1.23	1.96		0.045	0.0056	0.0012	0.23	0.41	0.041	0.0018						0.0023			0.775	875	616	79
	24	0.129	0.63	1.33	0.009	0.0006	0.98	0.65		0.058	0.0049	0.0009	0.21	0.55	0.039	0.0021							0.0016	0.722	900	665	68	
	25	0.153	0.18	6.11	0.009	0.0008	1.04	1.21		0.066	0.0051	0.0009	0.21	0.44	0.041	0.0016						0.0014			1.570	751	252	36
	26	0.124	0.22	1.41	0.018	0.0007	0.91	2.11		0.056	0.0048	0.0007	0.19	0.38		0.0026						0.0016			0.770	827	595	52
	27	0.135	0.21	1.14	0.005	0.0008	1.21	1.48		0.065	0.0044	0.0009		0.48	0.026	0.0019									0.767	854	639	65
	28	0.124	0.26	0.65	0.005	0.0006	4.10	1.38		0.056	0.0038	0.0007		0.25		0.0018						0.0026			1.194	846	662	72
	29	0.131	0.24	1.15	0.009	0.0008	1.05	1.95	0.006	0.038	0.0069	0.0009	0.29	0.48		0.0016									0.778	845	610	54
	30	0.133	0.26	1.13	0.009	0.0018	0.96	1.99		0.063	0.0123	0.0008	0.22	0.43		0.0022						0.0018			0.747	836	616	53

Ceq^W、Ac3、Ar3、 δ 分率の値はそれぞれ本文(1)、(2)、(4)、(5)式より計算したものである。

[0077] [表2]

区分	試料 番号	鋼塊 番号	素材厚 (mm)	凝固時の 冷却速度 ℃/s	熱間鍛造又は 分塊圧延		熱間圧延		製品厚 (mm)	熱処理区分	最終熱処理条件			母材特性 (1/2t)				母材靱性(断面) vE-40 (J)
					加熱 (℃)	累積圧延 (%)	加熱 (℃)	累積圧延 (%)			焼入温度 (℃)	冷停 (℃)	焼もどし (℃)	YS (MPa)	TS (MPa)	vE-40 (J)	板厚方向引張 RA(%)	
発明例	1	1	1000	0.32	1270	80	1130	43	100	直接焼入れ	850	150	630	695	786	108	73	98
	2	2	500	0.64	1230	65	1130	43	100	再加熱焼入れ	930	100	650	698	795	167	63	105
	3	3	300	0.90	1200	30	1130	50	100	再加熱焼入れ	930	100	630	725	793	102	70	116
	4	4	1000	0.33	1270	70	1160	43	150	再加熱焼入れ	900	100	630	785	856	205	65	221
	5	4	1000	0.33	1320	55	1200	53	210	再加熱焼入れ	900	100	630	743	829	145	71	124
	6	4	1000	0.33	1300	55	1180	67	150	直接焼入れ	860	100	630	751	832	126	58	159
	7	5	500	0.61	1270	45	1160	43	150	再加熱焼入れ	900	100	630	725	821	153	63	205
	8	6	1000	0.32	1270	55	1130	60	180	再加熱焼入れ	880	100	630	705	816	238	61	211
	9	7	1000	0.31	1270	55	1130	53	210	再加熱焼入れ	880	100	650	756	864	216	63	163
	10	8	1000	0.31	1300	55	1130	53	210	再加熱焼入れ	880	100	650	741	836	193	60	121
	11	9	1000	0.30	1270	55	1130	53	210	再加熱焼入れ	880	100	650	759	857	186	62	101
	12	10	1200	0.25	1270	55	1160	50	250	再加熱焼入れ	900	100	630	748	852	221	59	146
	13	11	1000	0.29	1270	70	1160	43	150	再加熱焼入れ	880	100	630	728	839	169	71	101
	14	12	1300	0.19	1270	60	1160	50	250	再加熱焼入れ	880	100	660	793	912	221	68	145
	15	13	1200	0.32	1270	85	1130	43	100	再加熱焼入れ	930	100	650	665	756	103	73	126
	16	14	1000	0.31	1270	55	1160	53	210	再加熱焼入れ	880	100	650	723	814	203	69	163
	17	15	1000	0.32	1270	55	1160	53	210	再加熱焼入れ	1050	150	670	641	738	145	70	101
	18	16	500	0.64	1230	65	1130	43	100	再加熱焼入れ	930	100	650	732	841	167	77	83
	19	17	500	0.65	1230	65	1160	43	100	再加熱焼入れ	900	100	650	703	789	196	73	113
	20	18	300	0.91	1200	40	1160	43	100	直接焼入れ	880	150	650	752	846	138	65	106
比較例	21	19	1000	0.29	1350	50	1160	50	250	再加熱焼入れ	900	100	650	746	863	231	62	93
	22	20	1000	0.29	1270	55	1160	53	210	再加熱焼入れ	880	100	640	718	815	196	61	43
	23	21	300	0.92	1200	40	1160	43	100	再加熱焼入れ	930	100	650	589	695	22	69	121
	24	22	1000	0.31	1270	70	1160	43	150	再加熱焼入れ	900	100	630	845	956	19	62	96
	25	23	1000	0.29	1270	70	1160	43	150	再加熱焼入れ	930	100	630	547	663	21	88	124
	26	24	1000	0.29	1270	55	1130	53	210	再加熱焼入れ	930	100	650	728	823	41	64	39
	27	25	1200	0.24	1270	55	1160	50	250	再加熱焼入れ	880	100	630	802	915	23	51	96
	28	26	1000	0.28	1270	70	1160	43	150	再加熱焼入れ	880	100	630	731	829	32	57	23
	29	27	1000	0.31	1270	55	1130	53	210	再加熱焼入れ	900	100	650	741	854	35	63	31
	30	28	1000	0.29	1270	55	1130	53	210	再加熱焼入れ	900	100	650	796	921	43	61	89
	31	29	1000	0.32	1270	55	1130	53	210	再加熱焼入れ	900	100	650	732	816	48	72	56
	32	30	1000	0.31	1270	70	1160	43	150	再加熱焼入れ	900	100	630	698	784	61	70	52
	33	3	300	0.91	1200	15	1130	60	100	再加熱焼入れ	930	100	630	716	804	43	23	115
	34	3	300	0.89	1200	55	1130	20	100	再加熱焼入れ	930	100	630	722	816	45	35	96
	35	3	300	0.90	1200	30	1130	50	100	再加熱焼入れ	1100	100	630	735	824	36	53	49
	36	3	300	0.92	1200	30	1130	50	100	再加熱焼入れ	840	100	630	536	646	46	49	52
	37	3	300	0.90	1200	30	1130	50	100	直接焼入れ	623	100	630	596	683	52	51	61
	38	3	300	0.91	1200	30	1130	50	100	再加熱焼入れ	930	400	630	503	641	32	64	103
	39	3	300	0.90	1200	30	1130	50	100	再加熱焼入れ	930	100	720	569	657	153	68	146
	40	3	300	0.91	1200	30	1130	50	100	再加熱焼入れ	930	100	400	793	902	41	63	53
発明例	41	5	500	0.61	1300	30	1180	40	210	再加熱焼入れ	900	100	600	683	766	105	29	192

請求の範囲

[請求項1] 質量%で、C：0.08～0.20%、Si：0.40%以下、Mn：0.5～5.0%、P：0.010%以下、S：0.0050%以下、Cr：3.0%以下、Ni：0.1～5.0%、Al：0.010～0.080%、N：0.0070%以下、O：0.0025%以下を含有し、(1)式および(2)式の関係を満たし、残部はFeおよび不可避免的不純物からなり、

鋼板表面における靱性（ $vE-40$ ）が70J以上であり、

板厚が100mm以上である厚肉高靱性高強度鋼板。

$$Ceq^{11W} = C + Mn / 6 + (Cu + Ni) / 15 + (Cr + Mo + V) / 5 \geq 0.65 \quad (1)$$

$$(C_L - C) / C_L \times 100 \geq 30 \quad (2)$$

ここで C_L は次式で定義する。

$$C_L = 0.2 - (-0.1 \times (0.2 - Si) - 0.03 \times (1.1 - Mn) - 0.12 \times (0.2 - Cu) - 0.11 \times (3 - Ni) + 0.025 \times (1.2 - Cr) + 0.1 \times (0.5 - Mo) + 0.2 \times (0.04 - V) - 0.05 \times (0.06 - Al)) \quad (3)$$

ただし、上記式において元素記号は各合金成分の含有量（質量%）とし、含有しないものは0とする。

[請求項2] 更に、質量%で、Cu：0.50%以下、Mo：1.50%以下、V：0.400%以下、Nb：0.100%以下、Ti：0.005%～0.020%の1種または2種以上を含有することを特徴とする請求項1に記載の厚肉高靱性高強度鋼板。

[請求項3] 更に、質量%で、Mg：0.0001～0.0050%、Ta：0.01～0.20%、Zr：0.005～0.1%、Y：0.001～0.01%、B：0.0030%以下、Ca：0.0005～0.0050%、REM：0.0005～0.0100%の1種または2種を含有することを特徴とする請求項1又は2に記載の厚肉高靱性高

強度鋼板。

[請求項4] 降伏強度が620MPa以上である請求項1～3のいずれかに記載の厚肉高靱性高強度鋼板。

[請求項5] 板厚中心の板厚方向の絞りが40%以上であることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の厚肉高靱性高強度鋼板。

[請求項6] 請求項1～5のいずれかに記載の厚肉高靱性高強度鋼板を製造する方法であって、

鋼素材を、1200～1350℃に加熱し、累積圧下量を25%以上とする熱間鍛造を行い、Ac3点以上1200℃以下に加熱し、累積圧下量を40%以上とする熱間圧延を行い、放冷し、Ac3点以上1050℃以下に再加熱し、Ac3点以上の温度から350℃以下またはAr3点以下の低い方の温度まで急冷し、450～700℃の温度で焼戻しを行うことを特徴とする厚肉高靱性高強度鋼板の製造方法。

[請求項7] 請求項1～5のいずれかに記載の厚肉高靱性高強度鋼板を製造する方法であって、

鋼素材を、1200～1350℃に加熱し、累積圧下量を25%以上とする熱間鍛造を行い、Ac3点以上1200℃以下に加熱し、累積圧下量を40%以上とする熱間圧延を行い、Ar3点以上の温度から350℃以下またはAr3点以下の低い方の温度まで急冷し、450℃～700℃の温度で焼戻しを行うことを特徴とする厚肉高靱性高強度鋼板の製造方法。

[請求項8] 請求項1～5のいずれかに記載の厚肉高靱性高強度鋼板を製造する方法であって、

鋼素材を、1200～1350℃に加熱し、累積圧下量を40%以上とする分塊圧延を行い、Ac3点以上1200℃以下に加熱し、累積圧下量を40%以上とする熱間圧延を行い、放冷し、Ac3点以上1050℃以下に再加熱し、Ac3点以上の温度から350℃以下ま

たはA r 3点以下の低い方の温度まで急冷し、450～700℃の温度で焼戻しを行うことを特徴とする厚肉高靱性高強度鋼板の製造方法。

[請求項9] 請求項1～5のいずれかに記載の厚肉高靱性高強度鋼板を製造する方法であって、

鋼素材を、1200～1350℃に加熱し、累積圧下量を40%以上とする分塊圧延を行い、Ac 3点以上1200℃以下に加熱し、累積圧下量を40%以上とする熱間圧延を行い、Ar 3点℃以上の温度から350℃以下またはAr 3点以下の低い方の温度まで急冷し、450℃～700℃の温度で焼戻しを行うことを特徴とする厚肉高靱性高強度鋼板の製造方法。