

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-290553

(P2005-290553A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
C 2 2 C 38/00	C 2 2 C 38/00	3 O 1 B 4 K O 3 2
C 2 1 D 8/02	C 2 1 D 8/02	B
C 2 2 C 38/06	C 2 2 C 38/06	
C 2 2 C 38/60	C 2 2 C 38/60	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2005-59313 (P2005-59313)	(71) 出願人	000006655 新日本製鐵株式会社 東京都千代田区大手町2丁目6番3号
(22) 出願日	平成17年3月3日(2005.3.3)	(74) 代理人	100078101 弁理士 綿貫 達雄
(31) 優先権主張番号	特願2004-69406 (P2004-69406)	(74) 代理人	100059096 弁理士 名嶋 明郎
(32) 優先日	平成16年3月11日(2004.3.11)	(74) 代理人	100085523 弁理士 山本 文夫
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	古谷 仁志 愛知県東海市東海町5-3 新日本製鐵株 式会社名古屋製鐵所内
		(72) 発明者	斎藤 直樹 愛知県東海市東海町5-3 新日本製鐵株 式会社名古屋製鐵所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 被削性と韌性および溶接性に優れた鋼板およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 被削性と韌性および溶接性に優れた鋼板およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 C、Si、Mn、P、S、Al、Nを所定範囲に限定し、さらに必要に応じてMo、Cr、Nb、Ti、V、Cu、Ni、B、REM、Ca、Zr、Mgを添加した鋼を、さらに鋼成分バランスを厳格に規定するとともに、圧延、水冷等の条件を厳格に制御した製造方法で鋼板とすることにより、板厚が4mm以上10mm未満の場合には、板厚の1/4、3/4だけ鋼板表面から内部に入った部位のフェライト分率が30%以上90%以下であり、板厚の1/2だけ鋼板表面から内部に入った部位のフェライト分率が20%以上90%以下である鋼板、板厚が10mm以上100mm以下の場合には、鋼板の表裏面から2mm内部に入った部位のフェライト分率が30%以上90%以下であり、板厚の1/4、1/2、3/4だけ鋼板上表面から内部に入った部位のフェ

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項1】

鋼が、質量%で、

C : 0.005 ~ 0.2%、

Si : 0.01 ~ 1%、

Mn : 0.01 ~ 2%、

P : 0.02%以下、

S : 0.035%以下、

Al : 0.001 ~ 0.1%、

N : 0.01%以下を含有し、残部がFe及び不可避免の不純物からなる鋼組成とし、 $X1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表されるX1が0.24以下であり、板厚が4mm以上10mm未満の場合には、板厚の1/4、3/4だけ鋼板上表面から内部に入った部位のフェライト分率が30%以上90%以下であり、板厚の1/2だけ鋼板表面から内部に入った部位のフェライト分率が20%以上90%以下であること、板厚が10mm以上100mm以下の場合には、鋼板の表裏面から2mm内部に入った部位のフェライト分率が30%以上90%以下であり、板厚の1/4、1/2、3/4だけ鋼板上表面から内部に入った部位のフェライト分率が20%以上90%以下であることを特徴とする、被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板。

10

【請求項2】

質量%で、さらに、

Mo : 0.01 ~ 1%、

Cr : 0.01 ~ 1%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に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板。

20

【請求項3】

質量%で、さらに、

Nb : 0.001 ~ 0.1%、

Ti : 0.001 ~ 0.1%、

V : 0.001 ~ 0.1%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または2に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板。

30

【請求項4】

質量%で、さらに、

Cu : 0.005 ~ 1%、

Ni : 0.01 ~ 2%、

B : 0.0002 ~ 0.005%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ないし3のいずれか1項に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板。

【請求項5】

質量%で、さらに、

REM : 0.0005 ~ 0.1%、

Ca : 0.0005 ~ 0.02%、

Zr : 0.0005 ~ 0.02%、

Mg : 0.0005 ~ 0.02%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ないし4のいずれか1項に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板。

40

【請求項6】

質量%で、

C : 0.005 ~ 0.2%、

Si : 0.01 ~ 1%、

Mn : 0.01 ~ 2%、

50

P : 0.02% 以下、
 S : 0.035% 以下、
 Al : 0.001 ~ 0.1%、

N : 0.01% 以下を含有し、残部が Fe 及び不可避的不純物からなる鋼組成で、
 $X1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表される X1 が 0.24 以下である鋼片または鋳片を加熱した後に全圧下率が 30% 以上 95% 以下の粗圧延を行い、その後に第一パス嚙込温度を $T1 = 351n(X2 / 2) - 25t + 1070$ 、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表される $T1$ () 以下 720 以上、全圧下率を 30% 以上 95% 以下とする仕上げ圧延を行い、圧延終了後に、水量密度が $0.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ 、以上 $5.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ 以下の水冷を開始し、600 以下で水冷を終了することを特徴とする、被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。ただし、t は板厚である。

10

【請求項 7】

圧延終了後に開始する水冷において、水冷開始温度以下 650 超の平均冷却速度が $1 / \text{s}$ 以上 $5 / \text{s}$ 以下であり、かつ 650 以下水冷終了温度以上の平均冷却速度が $10 / \text{s}$ 以上 $100 / \text{s}$ 以下であることを特徴とする、請求項 6 に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。

【請求項 8】

質量 % で、

C : 0.005 ~ 0.2%、
 Si : 0.01 ~ 1%、
 Mn : 0.01 ~ 2%、
 P : 0.02% 以下、
 S : 0.035% 以下、
 Al : 0.001 ~ 0.1%、

20

N : 0.01% 以下を含有し、残部が Fe 及び不可避的不純物からなる鋼組成で、
 $X1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表される X1 が 0.24 以下である鋼片または鋳片を加熱した後に全圧下率 30% 以上 95% 以下の粗圧延、全圧下率 30% 以上 95% 以下の仕上げ圧延を行い、その後空冷を行い、鋼板表面温度が $T2 = 910 - 310 \times C - 80 \times Mn - 20 \times Cu - 15 \times Cr - 55 \times Ni - 80 \times Mo + 0.0006t^2 - 0.56t - 8.6$ で表される $T2$ () 以下 650 以上で、水量密度が $0.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ 、以上 $5.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ 以下の水冷を開始し、500 以下で水冷を終了することを特徴とする、被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。ただし、t は板厚である。

30

【請求項 9】

質量 % で、

C : 0.005 ~ 0.2%、
 Si : 0.01 ~ 1%、
 Mn : 0.01 ~ 2%、
 P : 0.02% 以下、
 S : 0.035% 以下、
 Al : 0.001 ~ 0.1%、

40

N : 0.01% 以下を含有し、残部が Fe 及び不可避的不純物からなる鋼組成で、
 $X1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表される X1 が 0.24 以下である鋼片または鋳片を加熱した後に全圧下率 30% 以上 95% 以下の粗圧延、全圧下率 30% 以上 95% 以下の仕上げ圧延を行い、500 以下まで冷却し、さらに鋼板を $T3 = 0.0017t^2 + 0.17t + 730$ で表される $T3$ () 以上 850 以下に再加熱したのちに水冷を開始し、500 以下で水冷を終了することを特徴とする被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。ただし、t は板厚である。

50

【請求項 10】

質量%で、さらに、

Mo : 0.01 ~ 1%、

Cr : 0.01 ~ 1%の1種または2種を含有することを特徴とする、請求項6ないし9のいずれか1項に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。

【請求項 11】

質量%で、さらに、

Nb : 0.001 ~ 0.1%、

Ti : 0.001 ~ 0.1%、

V : 0.001 ~ 0.1%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6ないし10のいずれか1項に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。

【請求項 12】

質量%で、さらに、

Cu : 0.005 ~ 1%、

Ni : 0.01 ~ 2%、

B : 0.0002 ~ 0.005%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6ないし11のいずれか1項に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。

【請求項 13】

質量%で、さらに、

REM : 0.0005 ~ 0.1%、

Ca : 0.0005 ~ 0.02%、

Zr : 0.0005 ~ 0.02%、

Mg : 0.0005 ~ 0.02%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6ないし12のいずれか1項に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板、特に板厚4 ~ 100mm程度、引張強さが570 ~ 720MPa程度の鋼板およびその製造方法に関するものである。この製法で製造した鋼板は、造船、橋梁、建築、海洋構造物、圧力容器、ラインパイプなどの溶接構造物一般に用いることができるが、特に構造物の製作時に穴あけ加工や表面切削等の切削作業を必要とする分野での使用において有効である。

【背景技術】

【0002】

溶接構造物に使用される鋼板には、高い強度に加え、溶接性として溶接割れの抑制や高い溶接熱影響部靱性が要求されることが多い。引張強さが570MPa以上の鋼材に関しては、合金元素の添加量を極力抑えて、鋼を構成する主要組織をベイナイトやマルテンサイトとすることで高い強度と溶接性の両立が図られてきた。しかし、建築、橋梁、船舶等の構造物を製作する際には穴あけや表面切削等の切削工程があり、ベイナイトやマルテンサイトが主要組織の場合には、工具寿命に伴う交換や再研削の頻度増大、切削抵抗増大を通じた切削速度の低下等によって当該作業の生産性が低下し、結果として構造物の製作コストが増大する。例えば、特開平9-310117号公報(特許文献1)では、比較的合金で組織をベイナイト主体とすることで、高い強度と溶接性の両立をはかっている。しかし、当該鋼の組織が硬質のベイナイト主体のため、被削性が悪く切削作業に要するコストが高い。

【0003】

被削性、特に工具寿命の長時間化や切削抵抗低減のためには、Sの添加が有効であるこ

とが知られている。しかし、Sを多量に添加した場合には母材靱性が低下し、かつ溶接性が低下する。これに対して、S添加による被削性向上と溶接性確保を両立する手法が特開平6-184695号公報(特許文献2)に開示されている。しかし、ここで確保されている溶接性は予熱の省略や溶接割れの抑制のみであり、溶接部靱性や母材靱性は低く、溶接構造用鋼としては使用できない。また、被削性と母材靱性を両立する手法が特開2000-87179号公報(特許文献3)に開示されている。CaとMg添加による硫化物の形態制御により、母材靱性の異方性は改善されているものの、その絶対値は低く、さらに溶接性も悪いことから、溶接構造用鋼としては使用できない。

【0004】

被削性は、ミクロ組織構成にも依存し、ベイナイトやマルテンサイトを主体とする組織よりもフェライト・パーライトやフェライト・ベイナイト組織の方が優れていることが知られている。たとえば、特開平7-54100号公報(特許文献4)、特開平7-109518号公報(特許文献5)、特開平7-166235号公報(特許文献6)には組織がフェライト・ベイナイト組織である鋼が開示されている。また、特開2000-63988号公報(特許文献7)、特開2000-63989号公報(特許文献8)、特開2000-282172号公報(特許文献9)や特開2001-214241号公報(特許文献10)にはフェライトの分率を規定した鋼が開示されている。ミクロ組織がフェライト・ベイナイトである鋼板や一定のフェライト分率を確保した鋼板の被削性は定性的にはベイナイトやマルテンサイトを主体とする鋼より優れるものの、その絶対的な向上しるは溶接構造物の製作過程での穴あけや表面切削における生産性を向上させるほど十分なものとは言えない。しかも、前記技術はいずれも合金元素の添加量が多く、靱性や溶接性が低いいため、溶接構造用鋼としては使用できない。以上のことから、570MPa以上の引張強さと高い靱性、溶接性、被削性を有する鋼板を製造することは現在の技術では不可能である。

【特許文献1】特開平9-310117号公報

【特許文献2】特開平6-184695号公報

【特許文献3】特開2000-87179号公報

【特許文献4】特開平7-54100号公報

【特許文献5】特開平7-109518号公報

【特許文献6】特開平7-166235号公報

【特許文献7】特開2000-63988号公報

【特許文献8】特開2000-63989号公報

【特許文献9】特開2000-282172号公報

【特許文献10】特開2001-214241号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

解決しようとする問題点は、被削性と靱性および溶接性に優れた板厚4~100mm程度、引張強さの水準が570~720MPa程度の鋼板およびその製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、被削性と靱性および溶接性に優れた板厚4~100mm程度、引張強さの水準が570~720MPa程度の鋼板およびその製造方法を提供するものであり、その要旨とするところは以下の通りである。

【0007】

(1) 鋼が、質量%で、C:0.005~0.2%、Si:0.01~1%、Mn:0.01~2%、P:0.02%以下、S:0.035%以下、Al:0.001~0.1%、N:0.01%以下を含有し、残部がFe及び不可避免的不純物からなる鋼組成とし、 $X = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10$

10

20

30

40

50

+ $5 \times B$ で表される X_1 が 0.24 以下であり、板厚が 4 mm 以上 10 mm 未満の場合には、板厚の $1/4$ 、 $3/4$ だけ鋼板上表面から内部に入った部位のフェライト分率が 30% 以上 90% 以下であり、板厚の $1/2$ だけ鋼板表面から内部に入った部位のフェライト分率が 20% 以上 90% 以下であること、板厚が 10 mm 以上 100 mm 以下の場合には、鋼板の表裏面から 2 mm 内部に入った部位のフェライト分率が 30% 以上 90% 以下であり、板厚の $1/4$ 、 $1/2$ 、 $3/4$ だけ鋼板上表面から内部に入った部位のフェライト分率が 20% 以上 90% 以下であることを特徴とする、被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板。

【0008】

(2) 質量%で、さらに、Mo: 0.01 ~ 1%、Cr: 0.01 ~ 1% の 1 種または 2 種を含有することを特徴とする、前記(1)に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板。

10

【0009】

(3) 質量%で、さらに、Nb: 0.001 ~ 0.1%、Ti: 0.001 ~ 0.1%、V: 0.001 ~ 0.1% の 1 種または 2 種以上を含有することを特徴とする、前記(1)または(2)に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板。

【0010】

(4) 質量%で、さらに、Cu: 0.005 ~ 1%、Ni: 0.01 ~ 2%、B: 0.0002 ~ 0.005% の 1 種または 2 種以上を含有することを特徴とする、(1)ないし(3)のいずれか 1 項に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板。

20

【0011】

(5) 質量%で、さらに、REM: 0.0005 ~ 0.1%、Ca: 0.0005 ~ 0.02%、Zr: 0.0005 ~ 0.02%、Mg: 0.0005 ~ 0.02% の 1 種または 2 種以上を含有することを特徴とする、前記(1)ないし(4)のいずれか 1 項に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板。

【0012】

(6) 質量%で、C: 0.005 ~ 0.2%、Si: 0.01 ~ 1%、Mn: 0.01 ~ 2%、P: 0.02% 以下、S: 0.035% 以下、Al: 0.001 ~ 0.1%、N: 0.01% 以下を含有し、残部が Fe 及び不可避免的不純物からなる鋼組成で、 $X_1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表される X_1 が 0.24 以下である鋼片または鋳片を加熱した後に全圧下率が 30% 以上 95% 以下の粗圧延を行い、その後第一パス嚙込温度を $T_1 = 35 \ln(X_2 / 2) - 25 t + 1070$ 、 $X_2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表される T_1 () 以下、全圧下率を 30% 以上 95% 以下とする仕上げ圧延を行い、圧延終了後に、水量密度が $0.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ 以上 $5.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ 以下の水冷を開始し、600 以下で水冷を終了することを特徴とする、被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。ただし、t は板厚である。

30

【0013】

(7) 圧延終了後に開始する水冷において、水冷開始温度以下 650 超の平均冷却速度が $1 \text{ } / \text{s}$ 以上 $5 \text{ } / \text{s}$ 以下であり、かつ 650 以下水冷終了温度以上の平均冷却速度が $10 \text{ } / \text{s}$ 以上 $100 \text{ } / \text{s}$ 以下であることを特徴とする、前記(6)に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。

40

【0014】

(8) 質量%で、C: 0.005 ~ 0.2%、Si: 0.01 ~ 1%、Mn: 0.01 ~ 2%、P: 0.02% 以下、S: 0.035% 以下、Al: 0.001 ~ 0.1%、N: 0.01% 以下を含有し、残部が Fe 及び不可避免的不純物からなる鋼組成で、 $X_1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表される X_1 が 0.24 以下である鋼片または鋳片を加熱した後に全圧下率 30% 以上 95% 以下の粗圧延、全圧下率 30% 以上 95% 以下の仕上げ圧延を行い、その後空冷を行い、鋼板表面温度が $T_2 = 910 - 310 \times C - 80 \times Mn - 20 \times Cu - 15 \times Cr$

50

- 55 × Ni - 80 × Mo + 0.0006 t² - 0.56 t - 8.6 で表される T2 () 以下 650 以上で、水量密度が 0.2 m³ / m² · min. 以上 5.0 m³ / m² · min. 以下の水冷を開始し、500 以下で水冷を終了することを特徴とする、被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。ただし、t は板厚である。

【0015】

(9) 質量%で、C : 0.005 ~ 0.2%、Si : 0.01 ~ 1%、Mn : 0.01 ~ 2%、P : 0.02% 以下、S : 0.035% 以下、Al : 0.001 ~ 0.1%、N : 0.01% 以下を含有し、残部が Fe 及び不可避免的不純物からなる鋼組成で、 $X1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表される X1 が 0.24 以下である鋼片または鋳片を加熱した後に全圧下率 30% 以上 95% 以下の粗圧延、全圧下率 30% 以上 95% 以下の仕上げ圧延を行い、500 以下まで冷却し、さらに鋼板を $T3 = 0.0017 t^2 + 0.17 t + 730$ で表される T3 () 以上 850 以下に再加熱したのちに水冷を開始し、500 以下で水冷を終了することを特徴とする被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。ただし、t は板厚である。

【0016】

(10) 質量%で、さらに、Mo : 0.01 ~ 1%、Cr : 0.01 ~ 1% の 1 種または 2 種を含有することを特徴とする、前記 (6) ないし (9) のいずれか 1 項に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。

【0017】

(11) 質量%で、さらに、Nb : 0.001 ~ 0.1%、Ti : 0.001 ~ 0.1%、V : 0.001 ~ 0.1% の 1 種または 2 種以上を含有することを特徴とする、前記 (6) ないし (10) のいずれか 1 項に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。

【0018】

(12) 質量%で、さらに、Cu : 0.005 ~ 1%、Ni : 0.01 ~ 2%、B : 0.0002 ~ 0.005% の 1 種または 2 種以上を含有することを特徴とする、前記 (6) ないし (11) のいずれか 1 項に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。

【0019】

(13) 質量%で、さらに、REM : 0.0005 ~ 0.1%、Ca : 0.0005 ~ 0.02%、Zr : 0.0005 ~ 0.02%、Mg : 0.0005 ~ 0.02% の 1 種または 2 種以上を含有することを特徴とする、前記 (6) ないし (12) のいずれか 1 項に記載の被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板の製造方法。

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、鋼を構成する組織を軟質のフェライトと硬質のベイナイトおよびマルテンサイトの複合組織とすることに加え、特に工具の損耗に大きな影響を与える鋼板表裏面のフェライト分率を厳格に規定することにより、これまでの溶接構造用鋼板では到達しえなかった高い水準の被削性を具備し、かつ強度、靱性、溶接性にも優れる鋼板およびその製造方法を提供することが可能であり、産業上の価値の高い発明であるといえる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

本発明を詳細に説明する。

発明者は、板厚 4 ~ 100 mm 程度、母材の強度が 570 ~ 720 MPa 程度であり、母材靱性、溶接性、さらに被削性に優れた鋼材を製造する方法について鋭意検討を行った。この結果、フェライトを主体とする軟質組織、ベイナイトとマルテンサイトを主体とする硬質組織の複合組織を鋼の主要組織とすること、特に切削作業の開始と終了部にあたるために工具の損耗に大きな影響をもつ鋼板表裏面のフェライト分率を厳格に規定すること、水冷を必須とする製造方法の厳格な規定などにより、強度と母材靱性、溶接性を確保

しながら大幅に被削性が向上することを見いだした。

【0022】

なお、本発明における溶接性とは、溶接割れと溶接熱影響部靱性の両方を指し、溶接割れが発生しにくいほど、また溶接熱影響部靱性が高いほど溶接性に優れるものとする。一方、被削性とは工具寿命、切削抵抗、切屑処理性を指し、工具寿命が長いほど、切削抵抗が低いほど、切屑処理が容易であるほど被削性に優れるものとする。

【0023】

本発明において最も重要なのは、鋼板表面近傍で多量のフェライトを生成させることである。切削工程において、鋼板の表面は開始および終了点にあたり、工具に大きな負荷がかかることから、この領域の切削は工具の寿命や以後の切削における切削抵抗や切屑処理性に非常に大きな影響を与える。つまり、鋼板表裏面の組織を軟質組織と硬質組織の複合組織とすることで、工具が被削材を切削し始める時点と終了する時点において軟質部が容易に変形する一方で、軟質部と硬質部の界面近傍に応力集中が生じ、結果として極めて少ない塑性変形で切削を開始し、かつ終了することができる。これにより、工具寿命は長くなり、切削抵抗は低下し、切屑処理は容易となる。発明者は板厚方向のフェライト分布が異なる種々の鋼板について被削性の評価を行い、板厚方向のフェライト分布を代表させる値として、板厚4mm以上10mm未満の鋼板では、板厚の1/4、1/2、3/4だけ鋼板表面から鋼板内部に入った部位（以後それぞれt/4部、t/2部、3t/4部と呼ぶ）の3カ所を、板厚10mm以上100mm以下の鋼板では、前記3カ所に加えて鋼板表面及び裏面から2mmだけ鋼板内部に入った部位（以後それぞれ表面下2mm部、裏面下2mm部と呼ぶ）を加えた5カ所を規定することが望ましいことを知見した。

【0024】

板厚4mm以上10mm未満の鋼板の場合は、t/4部と3t/4部のフェライト分率が30%以上、t/2部のフェライト分率が20%以上の場合に被削性が良好になることを見いだした。一方で、t/4部、t/2部、3t/4部のフェライト分率の一つでも90%を超える場合には、強度が大幅に低下する。このことから、板厚4mm以上10mm未満の鋼板に対して、t/4部と3t/4部のフェライト分率が30%以上90%以下、t/2部のフェライト分率が20%以上90%以下と規定した。なお、t/4部、t/2部、3t/4部のフェライト分率が50%以上の場合には、被削性が格段に向上することから、望ましくは、t/4部、t/2部と3t/4部のフェライト分率が50%以上90%以下と規定する。

【0025】

板厚10mm以上100mm以下の鋼板の場合は、表面下2mm部、裏面下2mm部のフェライト分率が30%以上、t/4部、t/2部、3t/4部のフェライト分率が20%以上となる場合に被削性が良好になることを見いだした。一方で、表面下2mm部、裏面下2mm部、t/4部、t/2部、3t/4部のフェライト分率の一つでも90%を超える場合には、強度が大幅に低下する。このことから、板厚10mm以上100mm以下の鋼板に対して、表面下2mm部、裏面下2mm部のフェライト分率が30%以上90%以下、t/4部、t/2部と3t/4部のフェライト分率が20%以上90%以下と規定した。なお、表面下2mm部、裏面下2mm部、t/4部、t/2部、3t/4部のフェライト分率が50%以上である場合には、被削性が格段に向上することから、望ましくは、表面下2mm部、裏面下2mm部、t/4部、t/2部、3t/4部のフェライト分率が50%以上90%以下とする。

【0026】

ここで、フェライト分率の測定方法について規定する。測定は、圧延方向と板厚方向の両方に平行な面（以後L面と呼ぶ）について行う。鋼板の幅方向の端部と、端部から板厚に相当する長さだけ幅方向内部に入った部位の間を避け、極力鋼板幅方向の中心部に近い部位から全厚の試験片を採取し、L面を研磨、ナイタールエッチングする。その後、光学顕微鏡でL面を観察する。倍率は500倍が望ましい。観察は網線入り接眼レンズを使用して行い、格子点がフェライトに対応する個数を計数し、全格子点に占めるフェライトに

対応する格子点の分率（百分率表示）をもってフェライト分率とする。測定は、各部位について最低10視野行うこととし、ある視野から次の視野に移動する変位量は一定に保つものとする。ここで、フェライトがそれ以外の相であるか判断に迷う場合は0.5として計数する。なお、測定をおこなう際のフェライトの判断基準であるが、本発明におけるフェライトとは一般に塊状フェライト、ポリゴナルフェライト、等軸フェライトなどと称されるフェライトを指し、より低温で生成する針状のフェライトは含めないものとする。ただし、塊状のフェライトであっても、変態前のオーステナイトの制御次第では成長方向に異方性が出て、圧延方向に長い形態を有する塊状フェライトが生成することがあるが、これは本発明ではフェライトに含めるものとする。

【0027】

また、溶接性と靱性を優れたものとするためには、合金元素の添加量を調整する必要がある。 $X1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表される $X3$ が0.24以下の場合には溶接割れが大幅に低減できるのみでなく、靱性、溶接熱影響部靱性にもすぐれることから、 $X1$ を0.24以下と規定する。なお、 $X1$ が0.21以下の場合にはこの効果がより顕著に表れることから、望ましくは $X1$ を0.21以下とする。なお、 $X1$ を計算する際の C 、 Mn 、 Cu 、 Cr 、 Si 、 Ni 、 Mo 、 V 、 B はいずれも質量%で表示された添加量である。

10

【0028】

以下に合金元素の範囲を規定する。

C は、強度確保に必須の元素であるため、その添加量を0.005%以上とする。しかし、一方で C 量の増大は粗大析出物の生成による母材靱性の低下や溶接性の低下を招くためその上限を0.2%とする。なお、 C 量が0.07%以上では引張強さ570MPa以上の確保が容易となり、0.14%以下では靱性と溶接性が一層優れたものとなることから、望ましくは C 量を0.07%以上0.14%以下とする。

20

【0029】

Si は、幅広い板厚範囲でフェライトを生成させ、その後に残部を主にベイナイト、マルテンサイト変態させるために有効な元素である。その効果を発揮するためには0.01%以上の添加が必要であり、1%超の添加は溶接性と靱性を低下させるため、添加量を0.01%以上1%以下とする。なお、前記の効果をより顕著に発揮させるためには0.2%以上の添加が有効であり、一方0.55%以下では溶接性に非常に優れることから、望ましくは0.2%以上0.55%以下とする。

30

【0030】

Mn は強度増大に有効な元素であり、本発明が対象とする引張強さ570MPa以上を達成するためには最低でも0.01%以上の添加が必要となるが、逆に2%を超えて添加すると溶接性が低下する。よって、 Mn の添加量を0.01%以上2%以下と規定した。

【0031】

P は、不純物元素であり低い方が望ましい。0.02%を超える添加は母材の延性、靱性や溶接性を低下させるため、0.02%以下と規定する。

【0032】

S は、本発明において重要な元素である。 S を添加することで MnS が生成し、局所的な応力集中源として作用することで、付加的に被削性が向上する。この効果は S 添加量が高いほど大きい。0.035%を超える添加は母材靱性を極端に低下させるため、上限を0.035%と規定する。なお、 S の添加量を小さくした場合には、 S による被削性向上効果は小さくなるが、母材靱性と溶接性は向上する。よって、 S の添加量は被削性を重視する場合には多量に、逆に母材靱性と溶接性を重視する場合には少量の添加とすることが望ましい。

40

【0033】

Al は、脱酸材として有効な元素であり、その添加量を0.001%以上とする。しかし、一方で Al 量の増大は母材靱性の低下を招くためその上限を0.1%とする。

50

【0034】

Nは、不純物元素であり、0.01%を超える添加は母材靱性、溶接性を低下させるため、0.01%以下と規定する。

【0035】

Moは、幅広い板厚範囲でフェライトを生成させた後に残部を主にベイナイト、マルテンサイト変態させるために有効な元素であり、必要に応じて添加される。その効果を発揮するためには0.01%以上の添加が必要であり、1%超の添加は溶接性を低下させるため、添加量を0.01%以上1%以下とする。なお、前記の効果をより顕著に発揮させるためには0.1%以上の添加が有効であることから、望ましくは0.1%以上1%以下とする。

10

【0036】

Crは、幅広い板厚範囲でフェライトを生成させ、その後に残部を主にベイナイト、マルテンサイト変態させるために有効な元素であり、必要に応じて添加される。その効果を発揮するためには0.01%以上の添加が必要であり、1%超の添加は溶接性を低下させるため、添加量を0.01%以上1%以下とする。なお、前記の効果をより顕著に発揮させるためには0.1%以上の添加が有効であることから、望ましくは0.1%以上1%以下とする。

【0037】

Nb、Ti、Vは強度確保等の観点から必要に応じて添加される。ただし、Nb、Ti、Vの添加量がそれぞれ0.1%を超えると被削性が顕著に低下し、一方0.001%未満の添加では強度増大の効果が得られないことから、Nb、Ti、Vの添加量を0.001%以上0.1%以下とした。なお、Nb、Ti、Vの添加量がそれぞれ0.05%、0.04%、0.05%以下である場合には強度は大幅に増大し、被削性の低下は特に小さいことから、望ましくはNb、Ti、Vの添加量をそれぞれ0.05%、0.04%、0.05%以下とする。

20

【0038】

Cu、Ni、Bは強度確保の観点から必要に応じて添加される。Cuは、強度確保に有効な元素である。0.005%未満の添加ではその効果は小さく、一方、1%を超える添加は溶接性を低下させるため、その範囲を0.005%以上1%以下とする。Niは、強度確保のために必要に応じて添加される。0.01%未満の添加ではその効果は小さく、一方、2%を超える添加は溶接性を低下させるため、その範囲を0.01%以上2%以下とする。Bは、焼入性の増大に有効な元素であり、その添加量を0.0002%以上とする。しかし、一方でB量の増大は粗大析出物の生成により母材靱性の低下を招くためその上限を0.005%とする。

30

【0039】

REM、Ca、Zr、Mgの1種または2種以上の添加により、母材介在物制御、溶接熱影響部の加熱オーステナイトの微細化や粒内からの変態核生成を通じて母材靱性及び溶接熱影響部靱性を高めることができるため、必要に応じて添加される。この効果を発揮するためには、REM、Ca、Zr、Mgいずれも0.0005%以上の添加が必要である。一方、過剰に添加すると硫化物や酸化物が粗大化して母材靱性や延性の低下をもたらすため、その上限値をREMで0.1%、Ca、Zr、Mgで0.02%とする。

40

【0040】

なお、本発明鋼を溶製する上で、添加合金を含めた使用原料または溶製中に炉材等から溶出する不可避的不純物として混入しうるO、Zn、Sn、Sb、Te、Ta、W、Pb、Bi等も0.005%以下の混入であれば何ら本発明の効果を損なうものではない。

【0041】

次に本発明の鋼板を製造する方法につき記載する。大きく分けて3つの製造方法があり、第一は比較的低温での圧延を行い、その後すみやかに水冷を行う方法、第二は圧延後にフェライトが生成するまで空冷を行い、引き続き水冷を行う方法、第三は圧延後鋼板の温度が低下してから再度加熱したのちに水冷を行う方法であり、いずれも板厚方向の幅広い

50

範囲でフェライトを生成させ、かつ鋼板表面近傍で高いフェライト分率を確保するために、板厚に応じた厳格な温度管理を行う必要がある。

【0042】

最初に、第一の製造方法、すなわち比較的低温での圧延を行い、その後すみやかに水冷を行う方法について説明する。この製造方法においては、粗圧延、仕上げ圧延と水冷における厳格な規定が重要となる。

【0043】

粗圧延は、オーステナイトを再結晶により微細化してフェライトを安定生成させ、結果的に被削性を向上させるために重要である。粗圧延の全圧下率が30%を下回るとフェライトが安定生成せず、一方95%を超えると生産性が大幅に低下することから、粗圧延の全圧下率を30%以上95%以下と規定する。なお、粗圧延の全圧下率が50%以上の場合は一層被削性が向上するため、望ましくは粗圧延の全圧下率を50%以上95%以下とする。さらに、粗圧延の全圧下率が80%以上の場合はより一層被削性が向上するため、より望ましくは粗圧延の全圧下率を80%以上95%以下とする。粗圧延を実施する温度は、仕上げ圧延温度の条件を満たすものであれば任意に設定可能である。なお、粗圧延の全圧下率とは、粗圧延前の板厚から粗圧延後の板厚を引いた値を粗圧延前の板厚で除した値の百分率表示とする。

【0044】

仕上げ圧延は、主に未再結晶温度域で導入された転位を様々な形でフェライト生成促進や微細化に活用して結果的に被削性、靱性、溶接性を改善するために重要である。発明者は、種々の合金成分、板厚の鋼板をこの製造方法で製造し、被削性と溶接性、母材靱性の評価を行った。その結果、仕上げ圧延の第一パス嚙込温度を、 $T1 = 351n(X2/2) - 25t + 1070$ 、 $X2 = (Si/5 + Mo + Cr/2) / Mn$ で表される $T1$ ()以下の温度とした場合に、幅広い板厚方向でフェライトが生成し、被削性、溶接性、靱性のいずれにも優れることを確認した。よって、仕上げ圧延の第一パス嚙込温度を、 $T1 = 351n(X2/2) - 25t + 1070$ 、 $X2 = (Si/5 + Mo + Cr/2) / Mn$ で表される $T1$ ()以下と規定する。なお、 Si 、 Mo 、 Cr 、 Mn は質量%であらわされる添加量であり、 t は鋼板の板厚(mm)である。仕上げ圧延の第一パス嚙込温度を720未満とすると、フェライトの加工によって母材靱性と被削性が大幅に低下することから、圧延の第一パス嚙込温度の下限を720とする。なお、仕上げ圧延の第一パス嚙込温度を $T1$ より40低くすると、一層顕著に被削性が向上するため、望ましくは、仕上げ圧延の第一パス嚙込温度を $T1$ より40低い温度以下とする。さらに、仕上げ圧延の第一パス嚙込温度を $T1$ より80低くすると、より一層顕著に被削性が向上するため、より望ましくは、仕上げ圧延の第一パス嚙込温度を $T1$ より80低い温度以下とする。仕上げ圧延の最終パス嚙込温度は、700未満ではフェライトの加工により母材靱性と被削性が大幅に低下することから、また $T1$ ()超ではフェライトが板厚方向に幅広く生成しないことから、仕上げ圧延の最終パス嚙込温度の下限は700、上限は $T1$ ()であることが望ましい。仕上げ圧延については全圧下率も重要であり、これが30%未満であると、板厚の幅広い範囲でフェライトが安定生成せず、逆に95%を超えると生産性が大幅に低下するため、仕上げ圧延の全圧下率を30%以上95%以下と規定する。また、仕上げ圧延の全圧下率が60%以上である場合には一層フェライトが安定生成して被削性が向上するため、望ましくは仕上げ圧延の全圧下率を60%以上95%以下とする。

【0045】

なお、本発明では粗圧延機で実施される圧延を粗圧延、仕上げ圧延機で実施される圧延を仕上げ圧延とする。もし、粗圧延、仕上げ圧延を同一の圧延機で実施する場合には、圧延の前半と後半を分ける明確な設定温度が存在する場合は前半の圧延を粗圧延、後半の圧延を仕上げ圧延とし、明確な温度設定が存在しない場合や2つ以上の設定温度が存在する場合は、圧延パス開始前の鋼板表面温度が950以下となった圧延パスを含めた以後の圧延パス全てを仕上げ圧延とみなす。仕上げ圧延の第一パス嚙込温度とは、仕上げ圧延の

10

20

30

40

50

最初の圧下前に鋼板表面で測定された温度を指す。仕上げ圧延の最終パス噛込温度とは、仕上げ圧延の最後の圧下前に鋼板表面で測定された温度を指す。なお、鋼板表面温度は、たとえば放射温度計を使用することで測定可能である。

【0046】

次に水冷について説明する。水冷は、570～720MPa程度の引張強さを確保し、低合金で強度を確保することを通じて溶接性を高め、さらに組織微細化によって母材靱性を高めるのに有効である。水冷時の水量密度は、 $0.2\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{min}$ を下回ると強度が低下し、一方 $5.0\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{min}$ を超えるとフェライトが板厚方向の幅広い範囲で安定生成しなくなって被削性が低下するため、水冷時の水量密度を $0.2\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{min}$ 以上 $5.0\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{min}$ 以下と規定する。水冷の終了温度が600を超えると、フェライト生成後の残部オーステナイトが低温で変態せず、強度が低下するため、水冷の終了温度を600以下とする。ここで、水冷の終了温度とは、水冷後復熱を待った後に測定された鋼板表面温度の最大値を指す。水冷後は、空冷するものとする。

10

【0047】

圧延終了後に実施する水冷においては、その前半と後半の冷却速度を変化させることで、より安定的にフェライトを生成させることができるため、必要に応じてこの手法をとることができる。水冷開始温度以下650超で規定される前半の冷却速度を $1/s$ 以上 $5/s$ 以下、650以下水冷終了温度以上で規定される後半の冷却速度を $10/s$ 以上 $100/s$ 以下とすることで、さらに被削性に優れ、かつ強度は同等以上の鋼板を製造することができる。該冷却の前半部の冷却速度を低くするのは、フェライトの生成量を増やしかつ未変態オーステナイトへのCの濃化を通じて後半の冷却で形成させるベイナイト等の変態温度を下げるためであり、後半部の冷却速度を高くするのは、未変態オーステナイトの変態温度を極力低くするためである。なお、この二段階の冷却における温度および冷却速度は、鋼板 $t/4$ 部において測定された温度およびその値に基づいて計算された平均冷却速度とし、鋼板中に熱電対を埋め込んだ予備試料を使用して、実際の水冷を模擬した水冷を行うことで測定が可能である。

20

【0048】

以下には第一の製造方法のうち、その他の望ましい条件を記述する。粗圧延、仕上げ圧延に先立っては、鋼片または鋳片を加熱する。加熱温度が900未満の場合、加熱前の組織の一部が未変態のまま残存し、材質が不均一となり、一方加熱温度が1350を超えると、オーステナイトが粗大化して最終的な組織も粗大化し、母材靱性が大幅に低下するのみでなく、フェライトの生成が抑制されて被削性が低下するため、加熱温度は900以上1350以下とすることが望ましい。水冷は、仕上げ圧延の終了後極力すみやかに開始するものとする。たとえば、仕上げ圧延の終了から200s以内に開始することが望ましい。これは、水冷の開始までの時間が200sを超えると、圧延によって導入された転位が回復により減少し、フェライトが板厚方向の幅広い範囲で安定生成せずに被削性が低下するためである。ここで、仕上げ圧延の終了とは、仕上げ圧延の最終パスにおいて鋼板の最前部が圧下を受けた時点を示し、水冷の開始とは、鋼板の最前部が水冷設備に達して水冷が開始された時点を示す。また、水冷後空冷された鋼板には、必要により熱処理を付与することが可能である。たとえば、母材靱性を向上させる観点から、焼き戻しを行うことができる。

30

40

【0049】

次に、第二の製造方法、すなわち圧延後にフェライトが生成するまで空冷を行い、引き続き水冷を行う方法について規定する。加熱については前記第一の方法と同様とする。粗圧延の温度は任意に設定可能であるが、粗圧延の全圧下率が30%を下回ると靱性が大幅に低下し、95%を超えると生産性が大幅に低下することから、粗圧延の全圧下率を30%以上95%以下と規定する。仕上げ圧延の温度は、前記第一の方法のような規定はなく任意の条件で実施可能である。仕上げ圧延の全圧下率は、30%を下回ると靱性が大幅に低下し、95%を超えると生産性が大幅に低下することから、仕上げ圧延の全圧下率を3

50

0%以上95%以下と規定する。加熱、粗圧延、仕上げ圧延が終了したのちは、空冷を行い、空冷中にフェライトが生成した後に水冷を行う。発明者は、種々の成分の鋼について、仕上げ圧延後の空冷から水冷に移行する時点の鋼板表面温度を種々変化させた検討を行い、水冷に移行する時点の鋼板表面温度が $T_2 = 910 - 310 \times C - 80 \times Mn - 20 \times Cu - 15 \times Cr - 55 \times Ni - 80 \times Mo + 0.0006t^2 - 0.56t - 8.6$ で表される T_2 () 以下である場合にはフェライトが板厚方向の幅広い範囲で生成して被削性が向上し、鋼板表面温度が650 を下回ると強度が大幅に低下することを見いだした。よって、水冷に移行する時点の鋼板表面温度を $T_2 = 910 - 310 \times C - 80 \times Mn - 20 \times Cu - 15 \times Cr - 55 \times Ni - 80 \times Mo + 0.0006t^2 - 0.56t - 8.6$ で表される T_2 () 以下、650 以上と規定する。ここで、水冷に移行する時点の鋼板表面温度とは、水冷の前に測定された鋼板表面温度を指す。C、Mn、Cu、Cr、Ni、Moは各元素の添加量(質量%)、tは板厚(mm)である。水冷時の水量密度は、 $0.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ を下回ると強度が低下し、一方 $5.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ を超えるとフェライトが板厚方向の幅広い範囲で安定生成しなくなって被削性が低下するため、水冷時の水量密度を $0.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ 以上 $5.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ 以下と規定する。水冷の終了温度が500 を超えると、フェライト生成後の残部オーステナイトが低温で変態せず、強度が低下するため、水冷の終了温度を500 以下とする。ここで、水冷の終了温度とは、水冷後復熱を待った後に測定された鋼板表面温度の最大値を指す。水冷後は、空冷するものとする。また、水冷後空冷された鋼板には、必要により熱処理を付与することが可能である。たとえば、母材靱性を向上させる観点から、焼き戻しを行うことができる。

【0050】

次に、第三の製造方法、すなわち圧延後鋼板の温度が低下してから再度加熱を行う方法について規定する。圧延前の加熱については前記第一の方法と同様とする。粗圧延の温度は任意に設定可能であるが、粗圧延の全圧下率が30%を下回ると靱性が大幅に低下し、95%を超えると生産性が大幅に低下することから、粗圧延の全圧下率を30%以上95%以下と規定する。仕上げ圧延の温度は、前記第一の方法のような規定はなく任意の条件で実施可能である。仕上げ圧延の全圧下率は、30%を下回ると靱性が大幅に低下し、95%を超えると生産性が大幅に低下することから、仕上げ圧延の全圧下率を30%以上95%以下と規定する。加熱、粗圧延、仕上げ圧延が終了し、鋼板を500 以下まで任意の手法で冷却したのち、再度加熱を行う。発明者は、再加熱温度を種々変化させた調査を行い、再加熱温度が $T_3 = 0.0017t^2 + 0.17t + 730$ で表される T_3 () 未満である場合や850 を超えた場合には十分な強度が得られないことから、再加熱温度を $T_3 = 0.0017t^2 + 0.17t + 730$ で表される T_3 () 以上850 以下と規定する。再加熱後は、水冷を行う。水冷時の水量密度は、 $0.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ を下回ると強度が低下し、一方 $5.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ を超えるとフェライトが板厚方向の幅広い範囲で安定生成しなくなって被削性が低下するため、水冷時の水量密度は $0.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ 以上 $5.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ 以下とすることが望ましい。水冷の終了温度が500 を超えると、フェライト生成後の残部オーステナイトが低温で変態せず、強度が低下するため、水冷の終了温度を500 以下と規定する。ここで、水冷の終了温度とは、水冷後復熱を待った後に測定された鋼板表面温度の最大値を指す。水冷後は、空冷するものとする。

【実施例】

【0051】

種々の化学成分の供試鋼材を用いて、種々の製造条件で製造した板厚6、18、40、100mmの鋼板の特性を評価した。評価項目は、強度として降伏応力、引張強さ、靱性としてシャルピー衝撃吸収エネルギー、溶接性のうち溶接熱影響部靱性として溶接継手のシャルピー衝撃吸収エネルギー、被削性としてドリル穴あけ特性とした。鋼板の化学成分、板厚、X1、種々の部位で測定したフェライト分率を表1～表3に、製造条件を表4～表6に、特性の評価結果を表7～表9に示す。

【0052】

降伏応力と引張強さはJIS Z 2241に記載の金属材料引張試験方法により測定した。試験片はJIS Z 2201に記載の金属材料引張試験片とし、板厚6mm、18mmの鋼板からは5号試験片、板厚40mm、100mmの鋼板からはt/4部から採取した10号試験片を使用した。試験片は、長手方向が圧延方向と垂直になるように採取した。降伏応力は降伏応力あるいはオフセット法で算出した0.2%耐力とした。常温で2本の試験を行い、平均値を採用した。

【0053】

母材靱性は、JIS Z 2242に記載の金属材料衝撃試験方法により測定した。試験片は、JIS Z 2202に記載の金属材料衝撃試験片とし、板厚6mmの鋼板は板厚中心部から幅5mmのサブサイズ試験片を、板厚18mmの鋼板は板厚中心部から幅10mmの試験片を、板厚40mm、100mmの鋼板はt/4部から幅10mmの試験片を採取した。形状はいずれもVノッチ試験片とし、ノッチ底のなす線が板厚方向と平行になるように、また試験片の長手方向が圧延方向と垂直になるように採取した。試験温度は-5とし、3本の試験を行った平均値を採用した。

【0054】

溶接熱影響部靱性はCO₂ガスシールドアーク溶接及びサブマージアーク溶接で作成した溶接継手からシャルピー試験片を採取して、-5における吸収エネルギーを測定した。溶接熱はCO₂ガスシールドアーク溶接の場合2~3kJ/mm、サブマージアーク溶接の場合板厚6mm材で3kJ/mm、板厚18mm材で5kJ/mm、板厚40mm材と100mm材で7kJ/mmとした。試験片は、溶接のボンド部から0.5mmはなれた場所がシャルピー試験片のノッチ位置に対応するように採取した。3本の衝撃吸収エネルギーの平均値を採用した。

【0055】

被削性の評価として、ボール盤とハイスドリルを使用して孔あけ試験を行った。穿孔距離は、板厚6mmの鋼板の場合7枚積み重ねて42mm、板厚18mmの鋼板の場合2枚積み重ねて36mm、板厚40mmの鋼板の場合1枚で40mm、板厚100mmの鋼板の場合1枚で100mmとして試験を実施した。ドリルは、径6mmのハイスドリルSKH51を用いて貫通穿孔を行った。回転速度は1610rpm、送り速度は190mm/min、切削油は水溶性切削油を使用した。以上の条件で、穿孔不能となるまで孔あけを行い、限界までの穴あけ個数を測定した。

【0056】

発明例1~11は第一の製造方法、すなわち圧延後すみやかに水冷を行う方法で鋼板を製造しており、併せて比較例1~11も示す。

発明例1は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚6mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例1は、発明例1と類似の成分および製造方法であるものの、C量、X1が本発明の範囲を外れているため、母材靱性、溶接熱影響部靱性が劣る。

【0057】

発明例2は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚18mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例2は、発明例2と類似の成分および製造方法であるものの、Siが本発明の範囲を外れているため、母材靱性、溶接熱影響部靱性が劣る。

【0058】

発明例3は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚40mmの鋼

10

20

30

40

50

板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例3は、発明例3と類似の成分および製造方法であるものの、粗圧延の全圧下率、フェライト分率が本発明の範囲を外れているため、被削性が劣る。

【0059】

発明例4は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚100mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例4は、発明例4と類似の成分および製造方法であるものの、仕上げ圧延の第一パス噛込温度、フェライト分率が本発明の範囲を外れているため、被削性が劣る。

10

【0060】

発明例5は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚6mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例5は、発明例5と類似の成分および製造方法であるものの、P量が本発明の範囲を外れているため、母材靱性、溶接熱影響部靱性が劣る。

【0061】

発明例6は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚18mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例6は、発明例6と類似の成分および製造方法であるものの、Mo量、仕上げ圧延の第一パス噛込温度が本発明の範囲を外れているため、母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性が劣る。

20

【0062】

発明例7は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚40mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例7は、発明例7と類似の成分および製造方法であるものの、仕上げ圧延の全圧下率、フェライト分率が本発明の範囲を外れているため、被削性が劣る。

30

【0063】

発明例8は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚100mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例8は、発明例8と類似の成分および製造方法であるものの、Mn量、X1が本発明の範囲を外れているため、溶接熱影響部靱性が劣る。

40

【0064】

発明例9は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚6mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例9は、発明例9と類似の成分および製造方法であるものの、N量、水冷終了温度が本発明の範囲を外れているため、強度、靱性、溶接熱影響部靱性が劣る。

50

【0065】

発明例10は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚18mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例10は、発明例10と類似の成分および製造方法であるものの、S量、水量密度が本発明の範囲を外れているため、強度、靱性、溶接熱影響部靱性が劣る。

【0066】

発明例11は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚40mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例11は、発明例11と類似の成分および製造方法であるものの、Al量、Cr量、フェライト分率、水量密度が本発明の範囲を外れているため、靱性、溶接熱影響部靱性、被削性が劣る。

10

【0067】

発明例12～17は第二の製造方法、すなわち圧延後にフェライトの生成が開始するまで空冷を行い、その後水冷を行う方法で鋼板を製造しており、併せて比較例12～17も示す。

20

発明例12は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚6mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例12は、発明例12と類似の成分および製造方法であるものの、V量、水冷開始温度が本発明の範囲を外れているため、強度、靱性、溶接熱影響部靱性、被削性が劣る。

【0068】

発明例13は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚18mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例13は、発明例13と類似の成分および製造方法であるものの、水冷終了温度、S量が本発明の範囲を外れているため、強度、靱性、溶接熱影響部靱性が劣る。

30

【0069】

発明例14は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚40mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例14は、発明例14と類似の成分および製造方法であるものの、水冷開始温度、フェライト分率が本発明の範囲を外れているため、被削性が劣る。

40

【0070】

発明例15は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚100mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例15は、発明例15と類似の成分および製造方法であるものの、Nb量、仕上圧延の全圧下率が本発明の範囲を外れているため、靱性、溶接熱影響部靱性、被削性が劣る。

50

【0071】

発明例16は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚6mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例16は、発明例16と類似の成分および製造方法であるものの、Mg量、水量密度が本発明の範囲を外れているため、強度、靱性が劣る。

【0072】

発明例17は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚18mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例17は、発明例17と類似の成分および製造方法であるものの、Ti量、粗圧延の全圧下率が本発明の範囲を外れているため、靱性、溶接熱影響部靱性、被削性が劣る。

10

【0073】

発明例18~21は第三の製造方法、すなわち圧延後鋼板の温度が低下してから再度二相域までの加熱を行う方法で鋼板を製造しており、併せて比較例18~21も示す。

発明例18は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚18mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例18は、発明例18と類似の成分および製造方法であるものの、Cu量、X1、再加熱温度が本発明の範囲を外れているため、靱性、溶接熱影響部靱性が劣る。

20

【0074】

発明例19は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚40mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例19は、発明例19と類似の成分および製造方法であるものの、Ca量、再加熱温度が本発明の範囲を外れているため、靱性が劣る。

30

【0075】

発明例20は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚6mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例20は、発明例20と類似の成分および製造方法であるものの、X1、仕上げ圧延の全圧下率が本発明の範囲を外れているため、靱性、溶接熱影響部靱性が劣る。

40

【0076】

発明例21は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延及び水冷条件等を制御した製造方法で板厚100mmの鋼板を製造したものである。フェライトが全板厚範囲、特に鋼板表面近傍で安定生成しているため、引張強さは570MPa程度で、かつ母材靱性、溶接熱影響部靱性、被削性に優れている。一方、比較例21は、発明例21と類似の成分および製造方法であるものの、Ni量、粗圧延の全圧下率、水冷終了温度が本発明の範囲を外れているため、強度、靱性、溶接熱影響部靱性が劣る。

【0077】

以上の実施例から、本発明により製造された鋼材である発明例1~21の鋼板は、引張

50

強さが570～720MPa程度で、母材靱性が高く、溶接熱影響部靱性が高く、かつ被削性に優れた鋼材であることは明白である。

【0078】

【表 1】

板厚、化学成分、X1、フェライト分率(製造方法1)

最終板厚	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Mo	Cr	Nb	Ti	V	Cu	Ni	B	REM	Ca	Zr	Mg	X1	フェライト分率(%)						
																					表下2	裏下2	t/4	3t/4	t/2		
6	0.13	0.25	0.95	0.0082	0.0043	0.032	0.0035													0.188			38	36	39		
比較例1	0.22	0.26	0.55	0.0085	0.0042	0.033	0.0036													0.251			34	30	35		
18	0.13	0.55	1.15	0.0038	0.0027	0.036	0.0042			0.008	0.010									0.201		41	40	42	43	45	
比較例2	0.12	1.20	1.16	0.0048	0.0031	0.032	0.0045			0.008	0.009									0.222		43	45	48	51	56	
40	0.09	0.75	1.25	0.0054	0.0230	0.033	0.0028		0.15			0.023								0.186		37	38	40	40	43	
比較例3	0.09	0.74	1.23	0.0051	0.0250	0.033	0.0029		0.15			0.022								0.187		0	0	0	0	0	
100	0.11	0.44	0.85	0.0055	0.0028	0.025	0.0056	0.23	0.23				0.5	0.5						0.222		32	31	33	34	36	
比較例4	0.06	0.42	1.37	0.0068	0.0032	0.033	0.0055	0.19	0.23				0.5	0.6						0.197		0	0	0	0	0	
100	0.07	0.46	0.75	0.0083	0.0033	0.023	0.0042	0.25	0.23	0.008		0.018			0.0010					0.160		0	0	0	0	0	
比較例5	0.07	0.45	0.78	0.0250	0.0033	0.025	0.0045	0.24	0.22	0.007		0.019			0.0011					0.160					43	45	52
6	0.06	0.75	0.86	0.0056	0.0043	0.027	0.0033	0.28	0.31		0.015									0.157		48	48	51	52	56	
比較例6	0.06	0.76	0.45	0.0063	0.0042	0.031	0.0032	1.15	0.32		0.016									0.197		36	34	35	38	39	
18	0.06	0.76	0.45	0.0063	0.0042	0.031	0.0032	1.15	0.32		0.016									0.215		48	50	52	54	60	
比較例7	0.12	0.15	1.12	0.0058	0.0042	0.035	0.0038		0.35	0.022			0.3	0.4						0.217		25	24	26	28	30	
40	0.12	0.16	1.11	0.0062	0.0045	0.041	0.0035		0.34	0.021			0.3	0.5						0.217		25	24	26	28	30	
比較例8	0.07	0.85	1.45	0.0035	0.0028	0.026	0.0028	0.05	0.21				0.5	0.5	0.0008					0.213		38	37	40	42	45	
100	0.07	0.86	2.15	0.0040	0.0031	0.032	0.0029	0.01	0.36				0.5	0.5	0.0009					0.263		36	35	37	40	45	
比較例9	0.12	0.32	0.65	0.0085	0.0025	0.018	0.0021	0.15	0.15	0.015			0.5	0.5	0.0009					0.176					58	60	72
6	0.12	0.32	0.66	0.0091	0.0031	0.022	0.0120	0.16	0.14	0.016										0.177					60	63	68
比較例10	0.06	0.75	0.95	0.0048	0.0028	0.019	0.0042	0.23	0.12			0.023								0.151		72	73	75	75	76	
18	0.06	0.76	0.96	0.0058	0.0350	0.022	0.0043	0.23	0.11			0.024								0.0015		70	70	71	72	72	
比較例11	0.08	0.45	1.35	0.0056	0.0025	0.035	0.0029		0.21				0.5	0.5						0.201		71	72	63	64	65	
40	0.06	0.44	1.34	0.0061	0.0031	0.020	0.0028		1.15				0.5	0.5						0.228		0	0	12	12	23	

【表 2】

板厚、化学成分、X1、フェライト分率(製造方法2)

最終板厚	mm	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Mo	Cr	Nb	Ti	V	Cu	Ni	B	REM	Ca	Zr	Mg	X1	フェライト分率(%)					
		mass%																				表下2	表下2	t/4	3t/4	t/2	
実施例12	6	0.09	0.45	0.88	0.0089	0.0032	0.025	0.0038					0.045	0.5	0.5						0.188				37	38	40
比較例12	6	0.09	0.46	0.89	0.0091	0.0035	0.032	0.0036					0.112	0.5	0.5						0.192				63	62	66
実施例13	18	0.13	0.25	1.25	0.0055	0.0025	0.018	0.0048			0.012	0.010									0.202				46	50	51
比較例13	18	0.12	0.24	1.16	0.0048	0.0380	0.032	0.0045			0.012	0.011									0.190				49	50	55
実施例14	40	0.08	0.76	1.15	0.0045	0.0050	0.025	0.0029	0.15	0.25	0.018						0.0015	0.0018			0.180				72	72	65
比較例14	40	0.08	0.75	1.14	0.0050	0.0060	0.033	0.0029	0.15	0.24	0.019						0.0015	0.0020			0.180				25	26	23
実施例15	100	0.11	0.45	0.83	0.0055	0.0025	0.032	0.0045	0.35	0.23	0.008		0.021								0.199				36	37	25
比較例15	100	0.11	0.43	0.86	0.0056	0.0022	0.023	0.0048	0.34	0.22	0.115		0.022								0.198				33	30	23
実施例16	6	0.09	0.65	1.56	0.0035	0.0023	0.031	0.0035													0.0018						46
比較例16	6	0.09	0.66	1.58	0.0041	0.0021	0.032	0.0036													0.0018						44
実施例17	18	0.12	0.22	0.85	0.0055	0.0042	0.028	0.0021	0.15	0.36	0.011	0.010	0.008								0.202				46	43	50
比較例17	18	0.12	0.21	0.86	0.0043	0.0042	0.031	0.0022	0.16	0.37	0.012	0.125	0.009								0.202				40	38	46

10

20

30

40

【表 3】

板厚、化学成分、X1、フェライト分率(製造方法3)

最終板厚	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Mo	Cr	Nb	Ti	V	Cu	Ni	B	REM	Ca	Zr	Mg	X1	フェライト分率(%)						
																					表下2	裏下2	t/4	3t/4	t/2		
18	0.11	0.25	1.12	0.0038	0.0035	0.032	0.0045	0.15		0.018			0.2	0.3							0.201	43	46	48	51	55	
18	0.11	0.26	1.11	0.0041	0.0043	0.032	0.0048	0.16		0.017			1.5	0.3							0.266	41	42	45	48	47	
40	0.08	0.55	0.65	0.0035	0.0041	0.032	0.0035		0.55			0.045					0.0015				0.158	71	72	73	73	74	
40	0.08	0.56	0.68	0.0041	0.0041	0.032	0.0036		0.56			0.046					0.0230				0.161	72	71	68	72	75	
6	0.12	0.76	0.85	0.0061	0.0042	0.031	0.0035			0.012	0.012										0.190				53	51	54
6	0.18	0.76	0.95	0.0061	0.0041	0.032	0.0035			0.012	0.018										0.251				58	58	56
100	0.09	0.25	1.15	0.0023	0.0025	0.035	0.0035	0.23	0.35				0.5	0.5							0.221	36	38	39	40	43	
100	0.06	0.26	1.16	0.0023	0.0032	0.033	0.0036	0.23	0.36				0.5	2.5							0.223	44	45	48	49	52	

10

20

30

40

【表 4】

製造方法一覧(製造方法1)

	スラブ厚 mm	最終 板厚 mm	加熱 温度 °C	粗延の 全圧下率 %	X2	T1 °C	T1-40 °C	T1-80 °C	任圧延		水冷				テンパー 温度 °C
									第一パス 噴込 °C	全 圧下率 %	水量 密度 m ³ /m ² ·min.	終了温度 °C	前半の 冷却速度 °C/s	後半の 冷却速度 °C/s	
発明例1	240	6	1150	94	—	881	841	801	862	862	20	—	—	450	
比較例1	240	6	1150	94	0.053	902	862	822	865	865	20	—	—	450	
発明例2	240	18	1200	81	0.096	858	818	778	820	820	212	—	—	550	
比較例2	240	18	1200	81	0.207	885	845	805	850	850	216	—	—	550	
発明例3	240	40	1100	58	0.180	828	788	748	800	800	156	—	—	600	
比較例3	240	40	1100	25	0.181	828	788	748	805	805	151	—	—	600	
発明例4	400	100	1100	50	0.509	772	732	692	735	735	256	—	—	480	
比較例4	400	100	1100	50	0.284	752	712	672	758	758	262	—	—	480	
発明例5	240	6	1180	92	0.609	967	927	887	902	902	150	5	50	630	
比較例5	240	6	1180	92	0.564	964	924	884	904	904	152	5	50	630	
発明例6	240	18	1150	85	0.680	926	886	846	853	853	20	—	—	500	
比較例6	240	18	1150	85	3.249	981	941	901	705	705	20	—	—	500	
発明例7	240	40	1250	67	0.183	828	788	748	752	752	20	—	—	480	
比較例7	240	40	1250	77	0.182	828	788	748	755	755	20	—	—	480	
発明例8	400	100	1130	50	0.197	739	699	659	730	730	375	—	—	—	
比較例8	400	100	1130	50	0.150	729	689	649	722	722	345	—	—	—	
発明例9	240	6	1200	94	0.445	956	916	876	850	850	455	—	—	—	
比較例9	240	6	1200	94	0.445	956	916	876	854	854	625	—	—	—	
発明例10	240	18	1100	81	0.463	913	873	833	800	800	210	—	—	480	
比較例10	240	18	1100	81	0.455	912	872	832	800	800	218	—	—	480	
発明例11	240	40	1150	58	0.144	820	780	740	730	730	205	—	—	630	
比較例11	240	40	1150	58	0.495	863	823	783	755	755	203	—	—	630	

【表 5】

製造方法一覧(製造方法2)

	スラブ厚 mm	最終 板厚 mm	加熱 温度 °C	粗圧延の 全圧下率 %	仕上げ圧延		T2 °C	水冷		テンパー 温度 °C	
					第一パス 騰込温度 °C	全 圧下率 %		開始温度 °C	水量 密度 m ³ /m ² ·min.		終了温度 °C
発明例12	240	6	1150	94	820	60	763	755	1.0	200	550
比較例12	240	6	1150	94	818	60	762	640	1.0	201	550
発明例13	240	18	1200	85	860	50	751	745	1.5	455	-
比較例13	240	18	1200	85	865	50	760	745	1.5	523	-
発明例14	240	40	1250	67	912	50	749	720	2.0	20	480
比較例14	240	40	1250	67	915	50	750	765	2.0	20	480
発明例15	400	100	1250	50	925	50	721	700	1.0	480	-
比較例15	400	100	1250	67	930	25	720	705	1.0	450	-
発明例16	240	18	1100	81	905	60	747	735	1.5	200	530
比較例16	240	18	1100	81	900	60	745	730	0.2	195	530
発明例17	240	40	1200	58	875	60	768	745	1.0	20	550
比較例17	240	40	1200	25	878	78	767	740	1.0	20	550

【 0 0 8 3 】

10

20

30

【 表 6 】

製造方法一覧(製造方法3)

	スラブ厚 mm	最終 板厚 mm	加熱 温度 °C	粗延の 全延下率 %	仕上延		T3 °C	再加熱 温度 °C	水冷		テンパー 温度 °C
					第一ハス 嚙込温度 °C	全 延下率 %			冷却速度 °C/s	終了温度 °C	
発明例18	240	18	1120	83	905	55	734	755	15	30	450
比較例18	240	18	1120	83	915	55	734	870	15	30	450
発明例19	240	40	1200	67	860	50	740	760	5	215	450
比較例19	240	40	1200	67	870	50	740	710	5	211	450
発明例20	100	6	1250	85	915	60	731	760	20	210	500
比較例20	100	6	1250	91	918	33	731	755	20	195	500
発明例21	400	100	1250	50	885	50	764	780	5	450	-
比較例21	400	100	1250	25	875	67	764	780	5	520	-

【 0 0 8 4 】

10

20

30

【表 7】

鋼板の特性(製造方法1)						
	降伏応力	引張強さ	母材靱性 (vE_{-5})	溶接熱影響部 靱性(vE_{-5}) (CO_2 アーク溶接)	溶接熱影響部 靱性(vE_{-5}) (サブマージアーク溶接)	孔あけ個数
	MPa	MPa	J	J	J	個
発明例1	504	655	113	94	74	228
比較例1	554	698	22	11	5	187
発明例2	480	623	175	123	89	278
比較例2	514	668	28	23	11	178
発明例3	494	625	100	78	65	315
比較例3	537	655	82	75	64	15
発明例4	478	605	138	88	75	105
比較例4	510	615	155	92	69	8
発明例5	467	605	101	65	58	423
比較例5	487	611	22	16	26	185
発明例6	505	623	156	108	100	480
比較例6	605	735	25	18	7	26
発明例7	515	638	155	123	88	512
比較例7	523	655	122	135	75	8
発明例8	467	588	215	101	88	111
比較例8	550	666	187	5	8	100
発明例9	515	630	121	87	61	625
比較例9	427	555	17	10	7	380
発明例10	489	635	223	208	156	705
比較例10	405	552	15	5	8	505
発明例11	498	630	123	105	89	380
比較例11	586	715	23	32	12	13

10

20

【0085】

【表 8】

鋼板の特性(製造方法2)						
	降伏応力	引張強さ	母材靱性 (vE_{-5})	溶接熱影響部 靱性(vE_{-5}) (CO_2 アーク溶接)	溶接熱影響部 靱性(vE_{-5}) (サブマージアーク溶接)	孔あけ個数
	MPa	MPa	J	J	J	個
発明例12	473	623	81	61	55	203
比較例12	423	556	15	13	5	23
発明例13	462	608	150	80	72	321
比較例13	426	560	21	15	11	418
発明例14	476	610	189	89	88	555
比較例14	478	625	121	67	78	11
発明例15	456	585	156	120	89	191
比較例15	535	655	20	21	10	23
発明例16	515	625	151	156	123	385
比較例16	432	556	25	65	65	156
発明例17	608	713	113	78	65	211
比較例17	612	725	25	13	12	11

30

【0086】

【表 9】

鋼板の特性(製造方法3)

	降伏応力	引張強さ	母材靱性 (vE_{-5})	溶接熱影響部 靱性(vE_{-5}) (CO_2 アーク溶接)	溶接熱影響部 靱性(vE_{-5}) (サブマージアーク溶接)	孔あけ個数
	MPa	MPa	J	J	J	個
発明例18	512	598	188	155	120	235
比較例18	466	581	18	25	15	105
発明例19	480	623	135	122	101	565
比較例19	475	598	23	82	65	200
発明例20	522	628	92	55	51	318
比較例20	535	632	21	15	14	158
発明例21	465	588	123	89	73	126
比較例21	408	545	26	15	18	98

フロントページの続き

F ターム(参考) 4K032 AA01 AA02 AA03 AA04 AA05 AA08 AA11 AA14 AA16 AA19
AA21 AA22 AA23 AA24 AA26 AA27 AA28 AA29 AA31 AA33
AA34 AA35 AA36 AA37 AA38 AA39 AA40 BA01 CA02 CA03
CB02 CD02 CD03 CD05 CD06 CF02 CF03