

(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2005-290554  
(P2005-290554A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
C 2 2 C 38/00	C 2 2 C 38/00	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 38/54	C 2 2 C 38/54	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2005-59314 (P2005-59314)	(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2004-69407 (P2004-69407)	(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

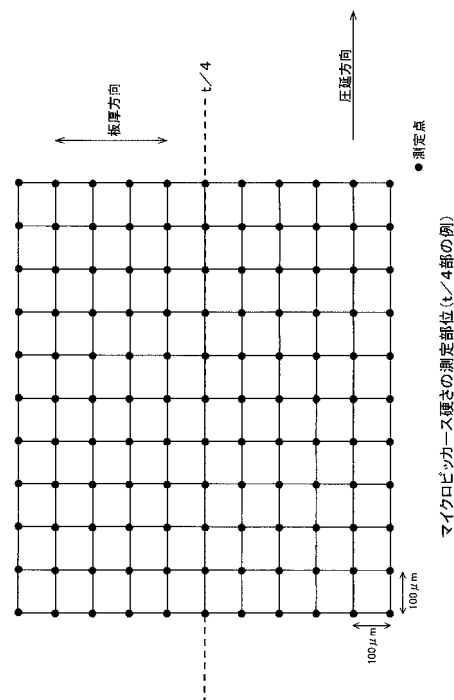
(54) 【発明の名称】 被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 被削性と靱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を添加した鋼において、 $X1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表されるX1が0.24以下、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15以上10.0以下の鋼を圧延条件や水冷条件を厳格に規定した製造方法で鋼板とすることにより、フェライト分率が30%以上あるいはマイクロピッカース硬さが170HV以下である領域の比率が0.2以上、さらに鋼のピッカース硬さが165HV以上300HV以下であるフェライト主体の軟質組織とベイナイト、マルテンサイト主体の硬質組織の複合組織とすることができ、これにより被削性と靱性および溶接性に優れた鋼板が得られる。

【選択図】 図1



## 【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 ~ 1.4 %、

P : 0.02 %以下、

S : 0.01 %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、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15以上10.0以下であり、さらに鋼を構成する組織のうちフェライト分率が30%以上90%以下、残部がベイナイト、マルテンサイトを主体として構成される硬質組織であり、鋼のビッカース硬さが165HV以上300HV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】

鋼が、質量%で、

C : 0.005 ~ 0.2 %、

Si : 0.01 ~ 1 %、

Mn : 0.01 ~ 1.4 %、

P : 0.02 %以下、

S : 0.01 %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、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15以上10.0以下であり、さらにマイクロビッカース硬さが190HV以下である比率が20%以上であり、鋼のビッカース硬さが165HV以上300HV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 30

## 【請求項3】

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。

## 【請求項4】

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。 40

## 【請求項5】

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。

## 【請求項6】

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5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7】

質量%で、

C : 0.005 ~ 0.2%、

Si : 0.01 ~ 1%、

Mn : 0.01 ~ 1.4%、

P : 0.02%以下、

S : 0.01%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、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15以上10.0以下である鋼片または鋳片を加熱したのち、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 $T4 = 35 \ln(X2 / 2) - 25t + 1100$ で表されるT4( )以下Ar<sub>3</sub>点以上、全圧下率を30%以上95%以下とする仕上げ圧延を行い、その後すみやかに水量密度が $0.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ 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

20

【請求項8】

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/s以上5/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/s以上100/s以下であることを特徴とする、請求項7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。

30

【請求項9】

質量%で、

C : 0.005 ~ 0.2%、

Si : 0.01 ~ 1%、

Mn : 0.01 ~ 1.4%、

P : 0.02%以下、

S : 0.01%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、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15以上10.0以下である鋼片または鋳片を加熱、圧延したのちに500以下まで冷却し、さらに鋼板を900以上1050以下に再加熱し、平均冷却速度1/s以上100/sで水冷し、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。

40

【請求項10】

質量%で、

C : 0.005 ~ 0.2%、

Si : 0.01 ~ 1%、

Mn : 0.01 ~ 1.4%、

50

P : 0.02% 以下、  
 S : 0.01% 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、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$  で表される X2 が 0.15 以上 10.0 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、全圧下率が 30% 以上 95% 以下の仕上げ圧延を実施し、その後空冷にて  $A_{r3}$  点以下  $A_{r3}$  点より 150 低い温度以上まで冷却したのち、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。

10

## 【請求項 11】

質量%で、

C : 0.005 ~ 0.2%、  
 Si : 0.01 ~ 1%、  
 Mn : 0.01 ~ 1.4%、  
 P : 0.02% 以下、  
 S : 0.01% 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、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$  で表される X2 が 0.15 以上 10.0 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、全圧下率が 30% 以上 95% 以下の仕上げ圧延を実施し、その後 500 以下まで冷却し、さらに鋼板を 730 以上 900 未満に再加熱し、そののちに水冷して水冷を 500 以下で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。

20

## 【請求項 12】

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 7 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。

30

## 【請求項 13】

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 7 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。

40

## 【請求項 14】

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 7 ないし 13 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 15】

質量%で、さらに、

REM : 0.0005 ~ 0.1%、

50

Ca : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 %、

Zr : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 %、

Mg : 0 . 0 0 0 5 ~ 0 . 0 2 % 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 7 ないし 1 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 ~ 1 0 0 mm 程度、引張強さの水準が 5 7 0 ~ 7 2 0 M P a 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。

10

【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 5 7 0 M P a 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 - 3 1 0 1 1 7 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。

20

【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 - 1 8 4 6 9 5 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、溶接構造物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 2 0 0 0 - 8 7 1 7 9 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、溶接構造物用鋼としては使用できない。

30

【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 - 5 4 1 0 0 号公報（特許文献 4）、特開平 7 - 1 0 9 5 1 8 号公報（特許文献 5）、特開平 7 - 1 6 6 2 3 5 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 2 0 0 0 - 6 3 9 8 8 号公報（特許文献 7）、特開 2 0 0 0 - 6 3 9 8 9 号公報（特許文献 8）、特開 2 0 0 0 - 2 8 2 1 7 2 号公報（特許文献 9）や特開 2 0 0 1 - 2 1 4 2 4 1 号公報（特許文献 1 0）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、その絶対的な被削性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場合、溶接構造物用鋼としては使用できない。以上のことから、5 7 0 M P a 以上の引

40

50

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

10

【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】

20

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:0.01~1.4%、P:0.02%以下、S:0.01%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、 $X1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表されるX1が0.24以下であり、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15以上10.0以下であり、さらに鋼を構成する組織のうちフェライト分率が30%以上90%以下、残部がベイナイト、マルテンサイトを主体として構成される硬質組織であり、鋼のビッカース硬さが165HV以上300HV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。

30

【0008】

(2) 鋼が、質量%で、C:0.005~0.2%、Si:0.01~1%、Mn:0.01~1.4%、P:0.02%以下、S:0.01%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、 $X1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表されるX1が0.24以下であり、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15以上10.0以下であり、さらにマイクロビッカース硬さが190HV以下である比率が20%以上であり、鋼のビッカース硬さが165HV以上300HV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。

40

【0009】

(3) 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)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、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)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。

50

## 【0011】

(5) 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(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、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(5)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。

## 【0013】

(7) 質量%で、C: 0.005 ~ 0.2%、Si: 0.01 ~ 1%、Mn: 0.01 ~ 1.4%、P: 0.02%以下、S: 0.01%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、 $X1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表されるX1が0.24以下であり、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15以上10.0以下である鋼片または鋳片を加熱したのち、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 $T4 = 351n(X2 / 2) - 25t + 1100$ で表されるT4( )以下Ar<sub>3</sub>点以上、全圧下率を30%以上95%以下とする仕上げ圧延を行い、その後すみやかに水量密度が $0.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ 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

20

## 【0014】

(8) 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、前記(7)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。

## 【0015】

(9) 質量%で、C: 0.005 ~ 0.2%、Si: 0.01 ~ 1%、Mn: 0.01 ~ 1.4%、P: 0.02%以下、S: 0.01%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、 $X1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表されるX1が0.24以下であり、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15以上10.0以下である鋼片または鋳片を加熱、圧延したのちに500 以下まで冷却し、さらに鋼板を900 以上1050 以下に再加熱し、平均冷却速度 $1 / \text{s}$ 以上 $100 / \text{s}$ で水冷し、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。

30

## 【0016】

(10) 質量%で、C: 0.005 ~ 0.2%、Si: 0.01 ~ 1%、Mn: 0.01 ~ 1.4%、P: 0.02%以下、S: 0.01%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、 $X1 = C + (Mn + Cu + Cr) / 20 + Si / 30 + Ni / 60 + Mo / 15 + V / 10 + 5 \times B$ で表されるX1が0.24以下であり、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15以上10.0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、全圧下率が30%以上95%以下の仕上げ圧延を実施し、その後空冷にてAr<sub>3</sub>点以下Ar<sub>3</sub>点より150 低い温度以上まで冷却したのち、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。

40

## 【0017】

50

(11) 質量%で、C：0.005～0.2%、Si：0.01～1%、Mn：0.01～1.4%、P：0.02%以下、S：0.01%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、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15以上10.0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、全圧下率が30%以上95%以下の仕上げ圧延を実施し、その後500以下まで冷却し、さらに鋼板を730以上900未満に再加熱し、そののちに水冷して水冷を500以下で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。

10

## 【0018】

(12) 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(7)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、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(7)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。

## 【0020】

(14) 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(7)ないし(13)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。

20

## 【0021】

(15) 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(7)ないし(14)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】

30

## 【0022】

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主体の複合組織とすることに加え、高温で生じる切削時の切削抵抗を大幅に低減できるような鋼成分バランスに調整することを主体とする規定により、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、かつ靱性、溶接性にも優れる引張強さが570～720MPa程度の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】

## 【0023】

本発明を詳細に説明する。

40

発明者らは、板厚4～100mm程度、母材の引張強さが570～720MPa程度であり、被削性、母材靱性、溶接性全て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、鋼成分のうちSi、Cr、Mo、Mnの添加量バランスの厳格な規定、水冷を必須とする製造方法における温度管理を主体とした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。

## 【0024】

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

50



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。

#### 【0025】

本発明で優れた被削性を発現する構成要件として最も重要となるのは以下の二点である。一点目は、鋼板の組織を軟質のフェライトと硬質のベイナイト、マルテンサイト主体の複合組織とすることである。特に、板厚4～100mm程度の鋼板を対象とすることから、板厚方向の幅広い部位において軟質と硬質の複合組織となっていることが重要となる。組織をこのように制御することで、切削時に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おける応力集中により延性破壊が促進され、結果として極めて少ない塑性変形で切削が進行する。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。軟質のフェライトと硬質のベイナイト、マルテンサイト主体の複合組織である場合であっても、軟質のフェライト分率が30%を下回ると被削性が大幅に低下し、90%を超えると強度が不足することから、フェライト分率を30%以上90%以下、残部がベイナイト、マルテンサイトを主体とすることと規定する。また、フェライト分率が45%以上である場合には、さらに被削性に優れることから、望ましくはフェライト分率を45%以上90%以下、残部がベイナイト、マルテンサイトを主体とすることと規定する。さらに、フェライト分率が60%以上である場合には、格段に被削性に優れることから、さらに望ましくはフェライト分率を60%以上90%以下、残部がベイナイト、マルテンサイトを主体とすることと規定する。なお、硬質組織はベイナイト、マルテンサイトが主体であることとするが、一部にパーライトや針状フェライト、その他介在物等が混在した場合でも本発明の規定する範囲では被削性は劣化せず優れたものとなる。

#### 【0026】

前記で規定したフェライト分率は、光学顕微鏡組織観察により測定するものとする。測定面は、圧延方向と板厚方向がなす面（以後これをL面と呼ぶ）とする。板厚方向の測定部位は、板厚が8mm以下の場合には鋼板の板厚の1/4、1/2、3/4に相当する長さ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箇所とし、板厚が8mm超の場合は、板厚方向のt/4部、t/2部、3t/4部のみでなく、鋼板表面から2mmだけ内部に入った部位と鋼板裏面から2mmだけ内部に入った部位（以後それぞれ表面下2mm部、裏面下2mm部と呼ぶ）も加えた5箇所とする。幅方向の測定部位は、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内部に入った部位の間で測定するのを避け、極力幅方向の中心部に近い部位で測定する。測定は100倍から500倍程度の倍率で実施するのが望ましく、格子入りの接眼レンズを使用して点算法にて測定を実施するものとする。全測定箇所におけるフェライト分率の平均値をもって、本発明におけるフェライト分率とする。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】

優れた被削性を発現する構成要件の二点目は以下の通りである。フェライトを主体とする軟質組織とベイナイト、マルテンサイト主体の硬質組織の複合組織は前記のごとく被削性に優れるものの、それだけでは溶接構造物の製作における穴あけ加工や表面切削等に必要とされる被削性として必ずしも十分でない。軟質組織と硬質組織の複合組織を前提とした上で特定合金元素の添加量比を最適化することが必要となる。具体的にはMn量、Si量、Cr量、Mo量の添加比率を厳格に規定することになる。穴あけ加工や表面切削などの切削はいわば高温、高歪速度下での工具による被削材の破壊現象であり、これに必要なエネルギーをいかに低減するかが重要となるため、高温での軟質部と硬質部の強度差を大きくすることが必要となる。Mn添加量が多い場合、軟質のフェライトの固溶強化量が大きくな

って硬質部と軟質部の強度差を減じるため、Mn添加量は低い方が望ましい。一方Si、Cr、Moの添加量増大はベイナイト、マルテンサイトを主体とする硬質部の常温強度の増大に寄与するのみでなく、高温での硬質部の強度低下に対する抵抗性を高めることで軟質部と硬質部の強度差を大きくする効果がある。発明者は、Mn、Si、Cr、Moの添加量を種々変化させた成分系の鋼塊を使用して軟質組織と硬質組織の複合組織鋼を製造し、その被削性と成分バランスを検討した結果、 $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15を下回ると被削性の絶対的な水準が不十分であること、逆にX2が10.0を超えると溶接性が大幅に低下することを見いだした。よって、本発明においては $X2 = (Si / 5 + Mo + Cr / 2) / Mn$ で表されるX2が0.15以上10.0以下と規定する。なお、X2の値が0.3以上の場合にはより被削性が向上することから、望ましくはX2を0.3以上10.0以下とする。また、X2の値が0.4以上の場合には一層顕著に被削性が向上することから、さらに望ましくはX2を0.4以上10.0以下とする。なお、X2を計算する際のSi、Mo、Cr、Mnはいずれも質量%で表示された添加量である。本発明においてCrとMoは重要な元素であるが、合金コストを勘案の上必要に応じて添加される。CrとMoを添加しない場合には、前記X2の値はSiとMn量から計算される。

10

#### 【0028】

以上が本発明において優れた被削性を発現する最も重要な2つの構成要件であるが、第一の点、すなわち組織構成が複雑な場合や非常に細粒の組織である場合には、光学顕微鏡観察から軟質組織と硬質組織の複合組織であることを規定することが困難になる場合があり、本発明では代替的にマイクロピッカース硬さによって複合組織であることを判断する方法をあわせて規定する。マイクロピッカース硬さは、測定面積がピッカース硬さに比べて小さいため、複合組織の場合には組織構成によって測定値が大きく変動する。特に、フェライトを主体とする領域の硬さは低くなり、硬さの低い測定点数の比率によって、軟質組織と硬質組織の複合組織であることを規定することができる。発明者は、種々の組織についてマイクロピッカース硬さ試験を行い、被削性に優れるマイクロピッカース硬さの範囲を明確にした。この結果、マイクロピッカース硬さが190HV以下である比率が20%以上である場合に被削性に優れることから、マイクロピッカース硬さが190HV以下である比率を20%以上とする。また、マイクロピッカース硬さが180HV以下である比率が20%以上である場合にはさらに被削性に優れることから、望ましくはマイクロピッカース硬さが180HV以下である比率を20%以上とする。さらに、マイクロピッカース硬さが170HV以下である比率が20%以上である場合にはさらに被削性に優れることから、さらに望ましくはマイクロピッカース硬さが170HV以下である比率を20%以上とする。なお、マイクロピッカース硬さが170HV以下である比率が40%以上である場合には一層被削性に優れることから、一層望ましくはマイクロピッカース硬さが170HV以下である比率を40%以上とする。

20

30

#### 【0029】

本発明におけるマイクロピッカース硬さとは、JIS Z 2244に規定される方法に基づいて測定された値であり、規格で規定された以外の測定方法をここで詳述する。試験力は0.09807Nとする。測定面はL面とする。板厚方向の測定部位は、板厚が8mm以下の場合にはt/4部、t/2部、3t/4部の3箇所とし、板厚が8mm超の場合は、表面下2mm部、裏面下2mm部も加えた5箇所とする。各測定点を結んだ線分は板厚方向と平行になるようにする。幅方向の測定部位は、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内部に入った部位の間で測定するのを避け、極力幅方向の中心部に近い部位で測定する。測定は図1に示すように100μmの間隔で行い、測定点数を121点とする。この121点のうち、マイクロピッカース硬さが190HV以下である点数の比率を測定し、板厚8mm以下の場合には3箇所の平均値を算出し、板厚8mm超の場合には5点の平均値を算出し、これをマイクロピッカース硬さが190HV以下である比率とする。マイクロピッカース硬さが180HV以下である比率、170HV以下である比率についても同様の手法で測定する。

40

50

## 【0030】

被削性を向上させるためには前記の規定が重要であるが、さらに強度、韌性、溶接性を確保するために以下の規定が必要となる。

まず、引張強さで570MPa以上を確保するため、ビッカース硬さを規定することが必要となる。ビッカース硬さが165HVを下回ると、引張強さ570MPa以上を確保することが困難となり、300HVを超えると溶接性が大幅に低下することから、ビッカース硬さを165HV以上300HV以下と規定する。

## 【0031】

本発明におけるビッカース硬さとは、JIS Z 2244に規定される方法に基づいて測定された値であり、規格で規定された以外の測定方法をここで詳述する。試験力は98.07Nとする。測定面は、L面とする。板厚方向の測定部位は、板厚が8mm以下の場合には $t/4$ 部、 $t/2$ 部、 $3t/4$ 部の3箇所とし、板厚が8mm超の場合は、表面下2mm部、裏面下2mm部も加えた5箇所とする。各測定点を結んだ線分は板厚方向と平行になるようにする。幅方向の測定部位は、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内部に入った部位の間で測定するのを避け、極力幅方向の中心部に近い部位で測定する。測定は各部位で5点以上行い、各部位の平均値を算出する。板厚8mm以下の場合には3箇所の平均値を算出し、板厚8mm超の場合には5点の平均値を算出し、これをビッカース硬さとする。

10

## 【0032】

また、溶接性と韌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 $X1$ 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、韌性、溶接熱影響部韌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。

20

## 【0033】

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韌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%以下では韌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。

30

## 【0034】

Siは、本発明において非常に重要な元素である。強度を増大しつつ被削性を向上させることや、圧延後の水冷を前提とする製造方法において軟質のフェライトと硬質のベイナイト、マルテンサイトを主体とする複合組織を得るために有効な元素であり、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0.2%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。

40

## 【0035】

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1.4%を超えて添加すると被削性が低下する。よって、Mnの添加量を0.01%以上1.4%以下と規定する。

## 【0036】

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

## 【0037】

50

Sは、被削性を向上させるためにしばしば積極的に添加される元素であるが、本発明の被削性向上機構はS添加と関係がないことから、添加量は低い方が望ましい。0.01%を超える添加はMnSの生成により母材靱性を低下させるため、0.01%以下と規定する。なお、S量が0.006%以下の場合には母材靱性が一層向上することから、望ましくはS量を0.006%以下と規定する。

【0038】

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。

【0039】

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。 10

【0040】

Moは本発明において非常に重要な元素であり、コストを勘案して必要に応じて添加できる。強度を増大しつつ被削性を向上させることや、圧延後の水冷を前提とする製造方法において軟質のフェライトと硬質のベイナイト、マルテンサイト主体の複合組織を得るために有効な元素であり、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。

【0041】

Crは本発明において非常に重要な元素であり、コストを勘案して必要に応じて添加できる。強度を増大しつつ被削性を向上させることや、圧延後の水冷を前提とする製造方法において軟質のフェライトと硬質のベイナイト、マルテンサイト主体の複合組織を得るために有効な元素であり、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。 20

【0042】

本発明においてはNb、Ti、Vも重要な元素である。Nb、Ti、Vは析出強化等による強度の増大や、組織微細化による靱性向上に有効な元素であり、必要に応じて添加される。発明者は、軟質と硬質の複合組織からなる鋼板をこれら元素により強化したものについて、ドリル穿孔時の工具寿命を評価した。その結果、たとえ軟質と硬質の複合組織である場合でも、析出強化量が大きい場合には軟質部と硬質部の硬度差が減少し、ドリル寿命が低下することを見いだした。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増大に伴う被削性の低下が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。 30

【0043】

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0.005~1%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0.01~2%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。 40

【0044】

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 50

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。

【0045】

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。

【0046】

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4つの方法があり、第一の方法は、圧延後すみやかに水冷を行う方法、第二の方法は、圧延後鋼板の温度が低下してから再度加熱を行い、その後水冷を行う方法、第三の方法は、圧延後にフェライトが生成するまで空冷を行い、その後水冷を行う方法、第四の方法は、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い、引き続いて水冷を行う方法である。

【0047】

最初に鋼板を製造する方法のうち第一の製造方法、すなわち圧延後すみやかに水冷を開始する方法について説明する。本製造方法においては、粗圧延、仕上げ圧延、水冷が重要となる。

【0048】

最初に粗圧延について説明する。粗圧延は、オーステナイトを再結晶により微細化することによってフェライト生成を促進する観点から重要である。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ため、粗圧延の全圧下率を30%以上95%以下と規定する。また、粗圧延の全圧下率を50%以上とするとフェライトがより安定生成して被削性がさらに向上することから、望ましくは粗圧延の圧下率を50%以上95%以下とする。さらに、粗圧延の全圧下率を80%以上とするとフェライトがさらに安定生成して被削性が一層向上することから、さらに望ましくは粗圧延の圧下率を80%以上95%以下とする。粗圧延の噛込温度や最終パス前の鋼板表面温度は、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。

【0049】

仕上げ圧延は、水冷を行う製造方法において、フェライトを安定生成させるために重要である。低温で圧延するほど、単位圧下率当たりの導入転位密度が高く、かつ圧延パス間や圧延機から水冷設備までの搬送途上での回復が抑制されるため、フェライト生成を促進することができる。フェライトの生成挙動は合金成分の影響も強く受けるため、仕上げ圧延温度は成分との関係において規定される必要がある。一般的に、引張強さが570MPa以上の厚鋼板においては、圧延後すみやかに水冷を実施する製造方法ではフェライトを生成させることは困難であり、これを達成するためには非常に低い仕上げ圧延温度が必要となつて生産性が低下するが、本発明で被削性を向上させるために規定したSi、Mn、Mo、Crの成分比規定の範囲では、生産性を下げることなく製造可能であることを新たに見いだした。発明者は、種々の成分の鋼について最適な仕上げ圧延の第一パス噛込温度の検討を行い、仕上げ圧延の第一パス噛込温度が $T_4 = 351n(X_2/2) - 25t + 1100$ で表される $T_4$ ( )以下である場合にフェライトが安定生成することを見いだした。よって、仕上げ圧延の第一パス噛込温度を $T_4$ ( )以下と規定する。ここで、 $X_2$ は、既に示した通り $X_2 = (Si/5 + Mo + Cr/2) / Mn$ で計算される値であり、 $t$ は板厚(mm)である。 $T_4$ の式に板厚の項が含まれるのは、最終板厚が大きいほど圧延による圧下率が一般的に低下するため、再結晶粒径の粗大化や残存転位密度の低下を通じてフェライトの生成が抑制され、これにより低温圧延が必要となるためである。なお、仕上げ圧延の第一パス噛込温度を $T_4$ より40低くすると、一層顕著に被削性が向上

10

20

30

40

50

するため、望ましくは、仕上げ圧延の第一パス嚙込温度を $T_4$ 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 $T_4$ 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 $T_4$ より $80$  低い温度以下とする。なお、仕上げ圧延の第一パス嚙込温度が $A_r_3$  点を下回ると、フェライトの加工に伴う硬度増大によって被削性が低下するため、仕上げ圧延の第一パス嚙込温度の下限を $A_r_3$  点と規定する。仕上げ圧延の最終パス嚙込温度は、フェライトの加工に伴う被削性低下を極力抑制する観点から、その下限を $A_r_3$  点より $100$  低い温度以上とすることが望ましく、上限は $T_4 + 50$  ( )とすることが望ましい。

#### 【0050】

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嚙込温度とは、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。 $A_r_3$  点は直接測定することができないが、実際の製造条件を模擬した加工熱処理を、膨張曲線を測定しながら実施することで見積もることができる。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。

#### 【0051】

仕上げ圧延の全圧下率もフェライトの安定生成の観点から重要である。仕上げ圧延の全圧下率が $30\%$  以上であればフェライトの安定生成によって被削性が向上する。一方、仕上げ圧延の全圧下率が $95\%$  を超えると大幅に生産性が低下する。よって仕上げ圧延の全圧下率を $30\%$  以上 $95\%$  以下と規定する。なお、仕上げ圧延の全圧下率を $60\%$  以上とすることで被削性が一層向上することから、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。なお、仕上げ圧延の全圧下率とは、仕上げ圧延前の板厚から最終板厚を引いた値を仕上げ圧延前の板厚で除した値の百分率表示とする。

#### 【0052】

次に水冷の条件につき説明する。水冷は、フェライトの安定生成及び残部の低温変態によるベイナイト、マルテンサイト主体組織の形成を通じた被削性の向上と、粒径の微細化による母材靱性の向上、低合金での強度確保を通じた溶接性の向上を同時に達成するために重要である。水冷時の水量密度が $0.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$  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。

#### 【0053】

また、水冷は仕上げ圧延の終了後すみやかに開始することが望ましい。これは、仕上げ圧延終了から水冷開始までの時間が長くなると、圧延によって導入された転位が回復により減少し、フェライトが安定生成せずに被削性が低下するためである。なお、具体的には仕上げ圧延の終了後 $200 \text{ s}$  以内に水冷を開始することが望ましい。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指し、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指す。

#### 【0054】

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 $1 / \text{s}$  以上 $5 / \text{s}$  以下、 $650$

10

20

30

40

50

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。

**【0055】**

以下には製造方法についてその他の望ましい条件を記述する。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。また、水冷後空冷された鋼板には、必要に応じて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。

**【0056】**

次に、鋼板を製造する方法のうち第二の方法、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い、その後水冷を行う方法について規定する。加熱、粗圧延、仕上げ圧延については任意の条件で実施可能である。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900以上1050以下に加熱する。加熱後は1 /s以上100 /s以下の冷却速度で水冷を行う。水冷の終了温度は、500以下として、水冷後は空冷する。圧延後の再加熱によって微細なオーステナイトが得られ、安定的にフェライトを生成させることができる。再加熱温度が900を下回ると、Cが高濃度のオーステナイトが生成し、これが変態後にマルテンサイトとなることで母材靱性が大幅に低下するため、また再加熱温度が1050を超えると、フェライトが安定的に生成せず、被削性が低下することから、再加熱温度を900以上1050以下と規定する。再加熱後の冷却速度は1 /s未満ではフェライト生成後の残部オーステナイトが低温変態せずに強度が低下し、一方冷却速度が100 /s超ではフェライトが安定的に生成しないため、再加熱後の冷却速度を1 /s以上100 /s以下と規定する。水冷の終了温度が500を超えると、フェライト変態後の残部オーステナイトが低温変態せずに強度が低下するため、水冷の停止温度を500以下と規定する。また、水冷後空冷された鋼板には、必要に応じて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。

**【0057】**

ここで、水冷の終了温度とは、水冷後に復熱を待ったのちすみやかに測定された鋼板表面における温度の最大値とする。水冷時の冷却速度は、鋼板t/4部において測定された温度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見積が可能である。

**【0058】**

次に、鋼板を製造する方法のうち第三の方法、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。粗圧延においては、全圧下率が30%を下回ると靱性が低下し、95%を超えると生産性が大幅に低下するため、粗圧延の全圧下率を30%以上95%以下と規定する。仕上げ圧延は、温度に関して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%を下回ると靱性が低下し、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。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

10

20

30

40

50

フェライトの生成が開始した後に水冷を行う。水冷を開始する温度が $A_{r_3}$ 点を超えた場合には、フェライトが安定生成せずに被削性が低下し、一方 $A_{r_3}$ 点より150低い温度を下回ると強度が低下することから、水冷の開始温度を $A_{r_3}$ 点以下、 $A_{r_3}$ 点より150低い温度以上と規定する。ここで、水冷の開始温度とは、水冷の前に測定された鋼板表面温度を指す。 $A_{r_3}$ 点は、実際の製造を模擬した加工熱処理を、膨張曲線を測定しながら実施することで見積もることが可能である。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 $5.0\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ を超えると生産性が低下するため、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すみやか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。

10

#### 【0059】

次に、鋼板を製造する方法のうち第四の方法、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について規定する。加熱、粗圧延、仕上げ圧延は前記第三の方法と同様とする。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。再加熱の温度は、730未満では被削性が低下すること、900以上では強度が低下することから、再加熱温度は730以上900未満と規定する。再加熱後は、任意の方法で水冷することが可能である。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。水冷後は空冷するものとする。冷却された鋼板には、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。

20

#### 【実施例】

#### 【0060】

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、20、40、100mmの鋼板について、強度として母材の降伏応力、引張強さ、靱性として母材の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を評価した。鋼板の化学成分、板厚、X1、X2、フェライト分率、マイクロピッカース硬さが特定の範囲にある比率、ピッカース硬さを表1～表4に、製造条件を表5～表8に、特性の評価結果を表9～表12に示す。

30

#### 【0061】

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、20mm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。降伏応力は下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。

40

#### 【0062】

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20mm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。

#### 【0063】

50



溶接熱影響部靱性はCO<sub>2</sub>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。溶接入熱はCO<sub>2</sub>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20mm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。

#### 【0064】

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。穿孔長は、板厚6mmの鋼板の場合7枚積み重ねて42mm、板厚20mmの鋼板の場合2枚積み重ねて40mm、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。

#### 【0065】

発明例1~19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1~19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、圧延条件、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り、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、X2が本発明の範囲を外れているため、被削性に劣る。

#### 【0066】

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、圧延条件、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り、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量が本発明の範囲を外れているため、靱性、溶接熱影響部靱性に劣る。

#### 【0067】

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、圧延条件、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り、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、Mn量が本発明の範囲を外れているため、溶接熱影響部靱性に劣る。

#### 【0068】

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、圧延条件、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り、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嚙込温度、フェライト分率が本発明の範囲を外れているため、被削性に劣る。

#### 【0069】

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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚20mmの鋼板を製造したものであり、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、Al量、X2が本発明の範囲を外れているため、靱性に劣る。

#### 【0070】

発明例 6 は、引張強さ 570 MPa 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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 20 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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、S 量が本発明の範囲を外れているため、靱性、溶接熱影響部靱性に劣る。

#### 【0071】

発明例 7 は、引張強さ 570 MPa 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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 20 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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、P 量が本発明の範囲を外れているため、靱性、溶接熱影響部靱性に劣る。

10

#### 【0072】

発明例 8 は、引張強さ 570 MPa 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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 20 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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、仕上げ圧延の第一パス噛込温度、マイクロビッカース硬さが本発明の範囲を外れているため、被削性に劣る。

20

#### 【0073】

発明例 9 は、引張強さ 570 MPa 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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 40 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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、Mo 量、X1 が本発明の範囲を外れているため、溶接熱影響部靱性に劣る。

#### 【0074】

発明例 10 は、引張強さ 570 MPa 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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 40 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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、Cr 量が本発明の範囲を外れているため、溶接熱影響部靱性に劣る。

30

#### 【0075】

発明例 11 は、引張強さ 570 MPa 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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 40 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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、ビッカース硬さ、水量密度が本発明の範囲を外れているため、強度に劣る。

40

#### 【0076】

発明例 12 は、引張強さ 570 MPa 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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 40 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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、N 量が本発明の範囲を外れているため、靱性、溶接熱影響部靱性に劣る。

#### 【0077】

発明例 13 は、引張強さ 570 MPa 程度の鋼板で高い靱性、溶接性と被削性を達成す

50

るため、合金成分のバランス、圧延条件、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り、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、仕上げ圧延の全圧下率、マイクロピッカース硬さが本発明の範囲を外れているため、被削性に劣る。

【0078】

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、圧延条件、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り、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、B量、X1が本発明の範囲を外れているため、靱性に劣る。

10

【0079】

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、圧延条件、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り、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、フェライト分率、粗圧延の全圧下率が本発明の範囲を外れているため、被削性に劣る。

【0080】

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、圧延条件、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り、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、X2が本発明の範囲を外れているため、溶接熱影響部靱性に劣る。

20

【0081】

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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚20mmの鋼板を製造したものであり、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、水冷終了温度、ピッカース硬さが本発明の範囲を外れているため、強度に劣る。

30

【0082】

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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚20mmの鋼板を製造したものであり、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、水量密度、フェライト分率が本発明の範囲を外れているため、被削性に劣る。

【0083】

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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚20mmの鋼板を製造したものであり、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、C量、X1が本発明の範囲を外れているため、靱性、溶接熱影響部靱性に劣る。

40

【0084】

発明例20～23は第二の製造方法、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い、その後に水冷を行う方法で鋼板を製造しており、併せて比較例20～23も示す。

50

発明例 20 は、引張強さ 570 MPa 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、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 6 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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、再加熱温度、フェライト分率が本発明の範囲を外れているため、被削性に劣る。

#### 【0085】

発明例 21 は、引張強さ 570 MPa 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、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 20 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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、再加熱後の水冷終了温度、ビッカース硬さが本発明の範囲を外れているため、強度に劣る。

10

#### 【0086】

発明例 22 は、引張強さ 570 MPa 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、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 40 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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 22 は、発明例 22 と類似の成分および製造方法であるものの、Nb 量、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、被削性に劣る。

20

#### 【0087】

発明例 23 は、引張強さ 570 MPa 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、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 100 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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 23 は、発明例 23 と類似の成分および製造方法であるものの、Ti 量、再加熱後の冷却速度、ビッカース硬さ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、被削性に劣る。

#### 【0088】

発明例 24 ~ 29 は第三の製造方法、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 24 ~ 29 も示す。

30

発明例 24 は、引張強さ 570 MPa 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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 6 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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 24 は、発明例 24 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、マイクロビッカース硬さが本発明の範囲を外れているため、被削性に劣る。

#### 【0089】

発明例 25 は、引張強さ 570 MPa 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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 20 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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 25 は、発明例 25 と類似の成分および製造方法であるものの、Zr 量、水冷終了温度、ビッカース硬さが本発明の範囲を外れているため、強度、靱性に劣る。

40

#### 【0090】

発明例 26 は、引張強さ 570 MPa 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、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚 40 mm の鋼板を製造したものであり、引張強さは 570 MPa 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 26 は、発明例 26 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、ビッカース硬さが本発明の範囲を外れている

50

ため、強度、韌性、溶接熱影響部韌性、被削性に劣る。

【0091】

発明例27は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い韌性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延条件、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り、引張強さは570MPa程度で、かつ母材韌性、溶接熱影響部韌性、被削性に優れている。一方、比較例27は、発明例27と類似の成分および製造方法であるものの、Ni量、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、韌性、溶接熱影響部韌性に劣る。

【0092】

発明例28は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い韌性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚20mmの鋼板を製造したものであり、引張強さは570MPa程度で、かつ母材韌性、溶接熱影響部韌性、被削性に優れている。一方、比較例28は、発明例28と類似の成分および製造方法であるものの、水量密度、ピッカース硬さが本発明の範囲を外れているため、強度に劣る。

10

【0093】

発明例29は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い韌性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延条件、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り、引張強さは570MPa程度で、かつ母材韌性、溶接熱影響部韌性、被削性に優れている。一方、比較例29は、発明例29と類似の成分および製造方法であるものの、Cu量、粗圧延の全圧下率が本発明の範囲を外れているため、韌性、溶接熱影響部韌性に劣る。

20

【0094】

発明例30～34は第四の製造方法、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30～34も示す。

発明例30は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い韌性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延条件、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り、引張強さは570MPa程度で、かつ母材韌性、溶接熱影響部韌性、被削性に優れている。一方、比較例30は、発明例30と類似の成分および製造方法であるものの、REM量、再加熱温度が本発明の範囲を外れているため、韌性、被削性に劣る。

30

【0095】

発明例31は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い韌性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延条件、水冷条件等を制御した製造方法で板厚20mmの鋼板を製造したものであり、引張強さは570MPa程度で、かつ母材韌性、溶接熱影響部韌性、被削性に優れている。一方、比較例31は、発明例31と類似の成分および製造方法であるものの、Ca量、再加熱後の水冷終了温度、ピッカース硬さが本発明の範囲を外れているため、強度、韌性に劣る。

【0096】

発明例32は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い韌性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延条件、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り、引張強さは570MPa程度で、かつ母材韌性、溶接熱影響部韌性、被削性に優れている。一方、比較例32は、発明例32と類似の成分および製造方法であるものの、Mg量、再加熱温度、ピッカース硬さが本発明の範囲を外れているため、強度、韌性に劣る。

40

【0097】

発明例33は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い韌性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延条件、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り、引張強さは570MPa程度で、かつ母材韌性、溶接熱影響部韌性、被削性に優れている。一方、比較例33は、発明例33と類似の成分および

50

び製造方法であるものの、V量、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、韌性、溶接熱影響部韌性、被削性に劣る。

【0098】

発明例34は、引張強さ570MPa程度の鋼板で高い韌性、溶接性と被削性を達成するため、合金成分のバランス、圧延条件、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り、引張強さは570MPa程度で、かつ母材韌性、溶接熱影響部韌性、被削性に優れている。一方、比較例34は、発明例34と類似の成分および製造方法であるものの、Nb量、粗圧延の全圧下率が本発明の範囲を外れているため、韌性、溶接熱影響部韌性、被削性に劣る。

【0099】

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1～34の鋼板は、引張強さが570～720MPa程度で、韌性、溶接性、被削性全てに優れた鋼材であることは明白である。

【0100】

【表 1】

鋼板の板厚、化学成分等(製造方法1)

最終板厚	mm	mass%																X1	X2	マイクロカーブ測定範囲にある比率(%)				HV				
		C	Si	Mn	P	S	Al	N	Mo	Cr	Nb	Ti	V	Cu	Ni	B	REM			Ca	Zr	Mg	190HV		180HV	170HV	HV	
発明例1	6	0.09	0.85	1.12	0.0081	0.0048	0.031	0.0032																0.169	0.152	35	195	
比較例1	6	0.09	0.84	1.25	0.0081	0.0050	0.033	0.0033																0.179	0.134	31	196	
発明例2	6	0.13	0.35	0.85	0.0050	0.0032	0.028	0.0035	0.12	0.18	0.008												0.202	0.329	50	205		
比較例2	6	0.11	1.20	0.85	0.0051	0.0033	0.029	0.0038	0.11	0.17	0.008												0.210	0.512	55	203		
発明例3	6	0.10	0.18	0.95	0.0033	0.0029	0.031	0.0028	0.22	0.15													0.020	0.181	0.348	190		
比較例3	6	0.08	0.17	1.55	0.0034	0.0030	0.032	0.0027	0.16	0.15													0.020	0.195	0.174	210		
発明例4	6	0.07	0.31	0.75	0.0066	0.0042	0.015	0.0028	0.30	0.31													0.0020	0.148	0.689	202		
比較例4	6	0.07	0.32	0.74	0.0065	0.0041	0.015	0.0027	0.31	0.32													0.0019	0.152	0.722	205		
発明例5	20	0.04	0.43	1.38	0.0039	0.0029	0.035	0.0041	0.05	0.16	0.008												0.130	0.157	0	203		
比較例5	20	0.04	0.41	1.36	0.0038	0.0028	0.120	0.0042	0.03	0.15	0.007												0.129	0.138	0	200		
発明例6	20	0.09	0.06	0.85	0.0045	0.0085	0.031	0.0038		0.61													0.168	0.373	51	192		
比較例6	20	0.09	0.05	0.81	0.0043	0.0110	0.032	0.0039		0.62													0.183	0.376	63	196		
発明例7	20	0.10	0.35	1.05	0.0065	0.0038	0.011	0.0029	0.32	0.25	0.15												0.187	0.407	65	198		
比較例7	20	0.10	0.34	1.04	0.0221	0.0036	0.012	0.0035	0.28	0.15													0.197	0.451	58	48		
発明例8	20	0.13	0.35	0.71	0.0066	0.0048	0.031	0.0035	0.15	0.20	0.015												0.201	0.468	46	186		
比較例8	20	0.13	0.36	0.72	0.0067	0.0049	0.032	0.0038	0.16	0.21	0.016												0.233	0.162	46	195		
発明例9	40	0.16	0.33	1.15	0.0053	0.0029	0.031	0.0029	0.12	0.15													0.300	1.047	32	254		
比較例9	40	0.16	0.32	1.16	0.0055	0.0030	0.032	0.0030	1.15														0.189	0.317	46	201		
発明例10	40	0.08	0.95	1.15	0.0068	0.0045	0.045	0.0045		0.35													0.227	0.664	46	235		
比較例10	40	0.08	0.96	1.14	0.0067	0.0046	0.046	0.0046		1.13													0.164	0.601	55	205		
発明例11	40	0.07	0.38	0.95	0.0055	0.0029	0.032	0.0038	0.32	0.35	0.012												0.0015	0.164	0.601	55	205	
比較例11	40	0.07	0.37	0.94	0.0054	0.0028	0.031	0.0037	0.31	0.36	0.012												0.0016	0.164	0.600	58	163	
発明例12	40	0.13	0.48	0.85	0.0088	0.0035	0.041	0.0045	0.28	0.25													0.205	0.771	70	198		
比較例12	40	0.12	0.47	0.86	0.0089	0.0036	0.042	0.0115	0.29	0.26													0.205	0.778	71	202		
発明例13	100	0.07	0.45	1.35	0.0055	0.0029	0.015	0.0055		0.51	0.085												0.211	0.256	28	18		
比較例13	100	0.07	0.44	1.34	0.0056	0.0028	0.015	0.0055		0.52	0.085												0.214	0.260	0	5		
発明例14	100	0.13	0.55	1.15	0.0078	0.0062	0.039	0.0031	0.25	0.15													0.230	0.378	48	0		
比較例14	100	0.12	0.54	1.14	0.0078	0.0061	0.038	0.0032	0.24	0.16													0.261	0.375	46	0		
発明例15	100	0.11	0.85	1.05	0.0065	0.0038	0.031	0.0045	0.08	0.25	0.008												0.203	0.344	55	188		
比較例15	100	0.11	0.84	1.04	0.0066	0.0039	0.031	0.0046	0.07	0.24	0.012												0.203	0.344	13	187		
発明例16	100	0.09	0.37	0.25	0.0055	0.0029	0.025	0.0031	0.45	0.55	0.008												0.0015	0.171	3.196	74	185	
比較例16	100	0.09	0.37	0.08	0.0054	0.0028	0.026	0.0030	0.55	0.61	0.008												0.0014	0.173	11.613	70	184	
発明例17	20	0.05	0.44	1.32	0.0038	0.0028	0.035	0.0042	0.07	0.35	0.011												0.148	0.252	40	188		
比較例17	20	0.04	0.43	1.31	0.0039	0.0027	0.035	0.0041	0.06	0.36	0.012												0.146	0.248	42	160		
発明例18	20	0.09	0.14	0.83	0.0044	0.0084	0.032	0.0037		0.58													0.190	0.374	53	190		
比較例18	20	0.08	0.13	0.82	0.0046	0.0085	0.032	0.0038		0.62													0.167	0.410	0	211		
発明例19	20	0.16	0.35	0.65	0.0065	0.0037	0.035	0.0035	0.18	0.15													0.224	0.500	48	34		
比較例19	20	0.21	0.32	0.61	0.0064	0.0036	0.042	0.0036	0.16	0.14													0.269	0.482	47	33		
																											12	210





【表 3】

鋼板の板厚、化学成分等(製造方法3)

最終板厚 mm	mass%														X1	X2	マイロピット 分率 %			マイロピット 分率 %			HV			
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Mo	Cr	Nb	Ti	V	Cu	Ni			B	REM	Ca	Zr	Mg	≦190HV		180HV	170HV	≦190HV
表明例24	0.14	0.85	1.05	0.0085	0.0035	0.031	0.0030													0.216	0.162	25	10	0	0	180
比較例24	0.13	0.84	1.06	0.0086	0.0036	0.033	0.0031													0.215	0.158	0	0	0	0	182
表明例25	0.11	0.35	1.05	0.0074	0.0034	0.013	0.0035	0.25		0.023								0.0015		0.191	0.305	55				185
比較例25	0.11	0.36	1.04	0.0075	0.0033	0.013	0.0034	0.24		0.024								0.0205		0.191	0.300	60				162
表明例26	0.07	0.38	0.85	0.0065	0.0028	0.035	0.0032		0.75											0.160	0.531	62				199
比較例26	0.06	0.39	0.85	0.0064	0.0025	0.034	0.0033		0.74											0.169	0.527	61				164
表明例27	0.12	0.68	0.88	0.0053	0.0055	0.041	0.0045	0.21					0.2	0.3						0.260	0.545	68				201
比較例27	0.10	0.12	0.67	0.0054	0.0054	0.042	0.0043	0.22	0.24				0.2	2.1						0.260	0.545	48				227
表明例28	0.09	0.15	0.65	0.0032	0.0035	0.045	0.0023	0.53												0.161	0.862	55				185
比較例28	0.09	0.14	0.66	0.0035	0.0032	0.052	0.0025	0.54												0.160	0.861	67				160
表明例29	0.07	0.25	0.65	0.0065	0.0033	0.035	0.0033	0.35	0.75											0.162	1.192	72				182
比較例29	0.06	0.24	0.64	0.0066	0.0034	0.034	0.0035	0.36	0.74											0.220	1.216	73				191

【 0 1 0 3 】

【表 4】

鋼板の板厚、化学成分等(製造方法4)

最終板厚 mm	mass%																X1	X2	マイクロカース領域が特定範囲にある領域の比率(%)			HV				
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Mo	Cr	Nb	Ti	V	Cu	Ni	B	REM			Ca	Zr	Mg		フェライト 分率 %	190HV ≦	180HV ≦	170HV ≦
説明例30	6	0.13	0.25	0.95	0.0067	0.0055	0.031	0.0035								0.0022						0.200	0.184	0	0	185
比較例30	6	0.13	0.24	0.84	0.0066	0.0064	0.032	0.0038								0.1210						0.198	0.179	0	0	183
説明例31	20	0.11	0.33	0.85	0.0055	0.0033	0.033	0.0045	0.31								0.0023					0.179	0.442	55		182
比較例31	20	0.10	0.32	0.84	0.0054	0.0032	0.033	0.0042	0.32								0.0250					0.178	0.457	54		184
説明例32	40	0.08	0.35	0.55	0.0087	0.0044	0.034	0.0043	0.43	0.008	0.010											0.171	1.282	61		185
比較例32	40	0.08	0.34	0.54	0.0086	0.0045	0.032	0.0041	0.41	0.42	0.008	0.011										0.168	1.274	66		183
説明例33	100	0.12	0.33	0.98	0.0077	0.0043	0.033	0.0042	0.35	0.15			0.040									0.210	0.501	58		190
比較例33	100	0.11	0.32	0.99	0.0075	0.0042	0.031	0.0040	0.34	0.14			0.112									0.215	0.478	56		191
説明例34	100	0.08	0.25	0.75	0.0077	0.0031	0.045	0.0035	0.85													0.180	1.200	61		186
比較例34	100	0.08	0.24	0.74	0.0074	0.0030	0.052	0.0030	0.84													0.177	1.200	63		187

10

20

30

40

【表 5】

製造条件(製造方法1)

	スラブ厚 mm	最終板厚 mm	加熱温度 °C	粗圧延の 全圧下率 %	X2	T4 °C	T4-40 °C	T4-80 °C	仕上圧延		水冷				テンパー 温度 °C
									第一パス 嚙込 °C	全 圧下率 %	水量 密度 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·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	1100	88	—	949	909	869	924	80	1	215	—	—	500
比較例1	240	6	1100	88	0.152	944	904	864	926	80	1	210	—	—	500
発明例2	240	6	1150	88	0.329	976	936	896	905	80	1	188	—	—	550
比較例2	240	6	1150	88	0.512	991	951	911	915	80	1	195	—	—	550
発明例3	240	6	1150	88	0.348	978	938	898	876	80	0	188	—	—	450
比較例3	240	6	1150	88	0.174	953	913	873	870	80	0	201	—	—	450
発明例4	240	6	1200	88	0.689	1001	961	921	905	80	2	156	—	—	600
比較例4	240	6	1200	88	0.722	1003	963	923	1015	80	2	162	—	—	600
発明例5	240	20	1180	83	0.157	899	859	819	890	50	2	211	—	—	550
比較例5	240	20	1180	83	0.138	894	854	814	891	50	2	215	—	—	550
発明例6	240	20	1150	81	0.373	929	889	849	865	56	1	455	—	—	—
比較例6	240	20	1150	81	0.395	931	891	851	860	56	1	460	—	—	—
発明例7	240	20	1100	79	0.376	930	890	850	838	60	3	103	—	—	600
比較例7	240	20	1100	79	0.407	932	892	852	852	60	3	100	—	—	600
発明例8	240	20	1100	79	0.451	936	896	856	850	60	1	212	—	—	550
比較例8	240	20	1100	79	0.468	937	897	857	720	60	1	195	—	—	550
発明例9	240	40	1200	58	0.162	854	814	774	822	60	1	155	—	—	550
比較例9	240	40	1200	58	1.047	919	879	839	885	60	1	150	—	—	550
発明例10	240	40	1100	67	0.317	877	837	797	791	50	2	485	—	—	—
比較例10	240	40	1100	67	0.664	903	863	823	802	50	2	475	—	—	—
発明例11	240	40	1150	71	0.601	900	860	820	825	43	3	210	—	—	580
比較例11	240	40	1150	71	0.600	900	860	820	822	43	0	200	—	—	580
発明例12	240	40	1000	45	0.771	909	869	829	818	70	0.5/2	155	5	25	500
比較例12	240	40	1000	45	0.779	909	869	829	820	70	0.5/2	156	5	25	500
発明例13	400	100	1100	50	0.256	778	738	698	768	50	1	218	—	—	450
比較例13	400	100	1100	66	0.260	779	739	699	760	26	1	225	—	—	450
発明例14	400	100	1200	50	0.378	792	752	712	780	50	1	105	—	—	450
比較例14	400	100	1200	50	0.375	791	751	711	785	50	1	108	—	—	450
発明例15	400	100	1200	50	0.357	790	750	710	740	50	2	201	—	—	450
比較例15	400	100	1200	25	0.344	788	748	708	743	67	2	202	—	—	450
発明例16	400	100	1220	50	3.196	866	826	786	775	50	1	156	—	—	500
比較例16	400	100	1220	50	11.613	912	872	832	825	50	1	134	—	—	500
発明例17	240	20	1150	83	0.252	916	876	836	910	50	1	585	—	—	—
比較例17	240	20	1150	83	0.249	915	875	835	911	50	1	612	—	—	—
発明例18	240	20	1150	81	0.374	930	890	850	862	56	1	20	—	—	450
比較例18	240	20	1150	81	0.410	933	893	853	860	56	6	20	—	—	450
発明例19	240	20	1180	79	0.500	940	900	860	830	60	1	103	—	—	500
比較例19	240	20	1180	79	0.482	938	898	858	840	60	1	100	—	—	500

10

20

30

40

【表 6】

	スラブ厚	最終板厚	再加熱温度	冷却速度	冷却終了温度	テンパー温度
	mm	mm	°C	°C/s	°C	°C
発明例20	240	6	920	30	150	480
比較例20	240	6	1080	30	155	480
発明例21	240	20	950	20	475	450
比較例21	240	20	950	20	523	450
発明例22	240	40	1000	15	188	550
比較例22	240	40	880	15	158	550
発明例23	240	100	930	3	455	-
比較例23	240	100	930	0.5	458	-

10

【0106】

【表 7】

	スラブ厚	最終板厚	加熱温度	粗圧延の全圧下率	仕上圧延		開始温度	水冷		テンパー温度
					第一パス嚙込温度	全圧下率		水量密度	終了温度	
	mm	mm	°C	%	°C	%	°C	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·min.	°C	°C
発明例24	240	6	1050	88	865	80	715	1	201	550
比較例24	240	6	1050	88	860	80	780	1	222	550
発明例25	240	20	1150	83	912	50	725	1.5	480	-
比較例25	240	20	1150	83	915	50	728	1.5	550	-
発明例26	240	40	1250	67	880	50	721	2	55	550
比較例26	240	40	1250	67	870	50	650	2	78	550
発明例27	400	100	1280	50	878	50	743	1	20	500
比較例27	400	100	1280	65	895	29	742	1	20	500
発明例28	240	20	1150	75	911	67	733	3	20	480
比較例28	240	20	1150	75	910	67	732	0.1	20	480
発明例29	400	100	1180	50	850	50	745	1.5	20	450
比較例29	400	100	1180	25	845	67	742	1.5	20	450

20

【0107】

【表 8】

	スラブ厚	最終板厚	加熱温度	粗圧延の全圧下率	仕上圧延		再加熱温度	水冷		テンパー温度
					第一パス嚙込温度	全圧下率		冷却速度	終了温度	
	mm	mm	°C	%	°C	%	°C	°C/s	°C	°C
発明例30	240	6	1120	92	925	70	770	40	125	620
比較例30	240	6	1120	92	920	70	680	40	105	620
発明例31	240	20	1150	79	885	60	780	25	455	-
比較例31	240	20	1150	79	886	60	785	25	535	-
発明例32	240	40	1200	50	912	67	820	5	20	550
比較例32	240	40	1200	50	911	67	915	0.5	20	550
発明例33	400	100	1150	50	868	50	750	5	395	-
比較例33	400	100	1150	65	870	29	750	5	425	-
発明例34	400	100	1200	50	858	50	800	3	20	530
比較例34	400	100	1200	25	860	67	800	3	20	530

40

【0108】

【表 9】

特性評価結果(製造方法1)

	降伏応力	引張強さ	母材靱性 ( $vE_s$ )	溶接熱影響部 靱性( $vE_s$ ) ( $CO_2$ アーク溶接)	溶接熱影響部 靱性( $vE_s$ ) (サブマージアーク溶接)	孔あけ個数
	MPa	MPa	J	J	J	
発明例1	491	638	107	73	63	235
比較例1	522	645	90	61	53	32
発明例2	504	655	128	61	55	413
比較例2	525	648	11	9	4	315
発明例3	475	589	96	73	63	678
比較例3	567	689	86	13	11	205
発明例4	501	638	97	76	56	845
比較例4	529	645	92	68	50	18
発明例5	495	643	186	125	103	255
比較例5	497	645	20	68	55	10
発明例6	472	613	123	85	78	413
比較例6	508	620	23	18	15	455
発明例7	502	635	256	178	138	635
比較例7	518	632	41	18	9	545
発明例8	505	623	245	168	105	898
比較例8	468	583	205	138	76	23
発明例9	488	618	178	89	88	225
比較例9	689	811	135	22	23	232
発明例10	480	608	189	123	115	413
比較例10	643	756	168	27	33	400
発明例11	478	605	168	108	88	623
比較例11	425	535	155	98	75	555
発明例12	484	613	289	105	88	815
比較例12	505	623	20	23	28	612
発明例13	472	598	125	103	88	111
比較例13	488	588	88	78	77	8
発明例14	480	608	178	79	65	213
比較例14	505	623	13	13	8	159
発明例15	493	632	168	133	78	312
比較例15	485	631	135	120	66	13
発明例16	463	593	232	205	166	423
比較例16	459	589	198	25	13	310
発明例17	485	572	212	138	113	124
比較例17	420	535	178	121	98	101
発明例18	485	620	138	102	79	213
比較例18	525	670	130	100	68	10
発明例19	501	630	120	85	88	355
比較例19	525	660	18	27	25	273

10

20

30

【0109】

【表 10】

特性評価結果(製造方法2)

	降伏応力	引張強さ	母材靱性 ( $vE_s$ )	溶接熱影響部 靱性( $vE_s$ ) ( $CO_2$ アーク溶接)	溶接熱影響部 靱性( $vE_s$ ) (サブマージアーク溶接)	孔あけ個数
	MPa	MPa	J	J	J	
発明例20	481	625	80	50	45	205
比較例20	511	628	83	46	43	13
発明例21	454	589	235	89	70	413
比較例21	420	555	201	80	68	315
発明例22	450	585	188	218	155	432
比較例22	479	622	18	15	14	18
発明例23	476	588	180	105	88	257
比較例23	460	558	15	18	13	14

40

【0110】

【表 1 1】

特性評価結果(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24	466	613	76	50	36	203
比較例24	483	620	93	45	32	29
発明例25	464	611	212	156	130	411
比較例25	412	538	23	88	68	356
発明例26	493	632	193	120	88	611
比較例26	468	543	23	18	15	8
発明例27	493	632	188	156	110	407
比較例27	613	718	26	25	20	306
発明例28	515	645	211	110	88	615
比較例28	414	520	156	105	66	380
発明例29	467	586	158	123	77	406
比較例29	512	638	32	22	15	358

10

【0 1 1 1】

【表 1 2】

特性評価結果(製造方法4)

	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30	497	645	88	46	41	223
比較例30	488	630	17	46	41	21
発明例31	481	625	125	88	69	411
比較例31	423	550	18	67	75	310
発明例32	460	598	185	158	128	612
比較例32	420	555	23	101	95	312
発明例33	476	618	168	98	69	209
比較例33	532	678	23	23	30	5
発明例34	478	608	210	153	110	309
比較例34	540	656	29	18	15	8

20

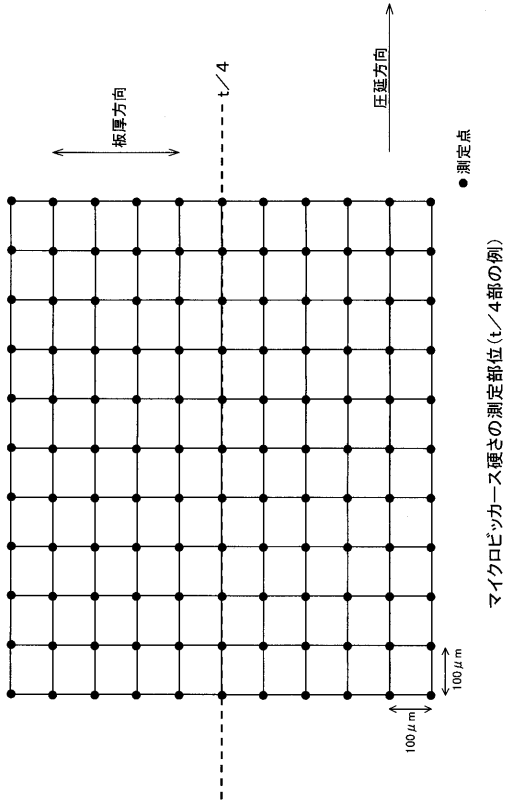
30

【図面の簡単な説明】

【0 1 1 2】

【図 1】本発明において規定したマイクロビッカース硬さを測定する部位について説明した図。

【 図 1 】



マイクロピッカース硬さの測定部位 (t/4部の例)

---

フロントページの続き

Fターム(参考) 4K032 AA01 AA02 AA04 AA05 AA08 AA11 AA12 AA14 AA15 AA16  
AA19 AA20 AA21 AA22 AA23 AA24 AA27 AA29 AA31 AA32  
AA35 AA36 AA39 AA40 BA01 CA01 CA02 CA03 CB02 CD02  
CD03 CD06 CF02 CF03