

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4878219号
(P4878219)

(45) 発行日 平成24年2月15日(2012.2.15)

(24) 登録日 平成23年12月9日(2011.12.9)

(51) Int.Cl.		F I	
C 2 2 C 38/00	(2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 0 1 B
C 2 2 C 38/38	(2006.01)	C 2 2 C 38/38	
C 2 2 C 38/58	(2006.01)	C 2 2 C 38/58	
C 2 1 D 8/02	(2006.01)	C 2 1 D 8/02	B

請求項の数 8 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2006-155789 (P2006-155789)	(73) 特許権者	000001199
(22) 出願日	平成18年6月5日(2006.6.5)		株式会社神戸製鋼所
(65) 公開番号	特開2007-321228 (P2007-321228A)		兵庫県神戸市中央区脇浜町二丁目10番26号
(43) 公開日	平成19年12月13日(2007.12.13)	(74) 代理人	100075409
審査請求日	平成20年9月26日(2008.9.26)		弁理士 植木 久一
		(74) 代理人	100115082
			弁理士 菅河 忠志
		(74) 代理人	100125184
			弁理士 二口 治
		(74) 代理人	100125243
			弁理士 伊藤 浩彰
		(72) 発明者	大西 宏道
			兵庫県加古川市金沢町1番地 株式会社神戸製鋼所 加古川製鉄所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 HAZ 韌性に優れ、溶接後熱処理による強度低下が小さい鋼板

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

C : 0 . 0 1 ~ 0 . 0 5 % (質量 % の意味、以下同じ)、

S i : 1 . 0 % 以下 (0 % を含まない)、

M n : 0 . 5 0 ~ 2 . 0 %、

P : 0 . 0 5 % 以下 (0 % を含まない)、

S : 0 . 0 1 % 以下 (0 % を含まない)、

A l : 0 . 0 1 ~ 0 . 0 7 %、

C r : 0 . 5 ~ 2 . 0 %、

N b : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 1 0 0 %、

V : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 1 0 %、

T i : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 3 %、および

N : 0 . 0 0 2 ~ 0 . 0 0 8 % を含有し、

残部が F e および不可避不純物からなり、

下記式 (1) で表される X 1 値が、 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 2 0 の範囲内にあり、且つベイナイト分率が 9 0 面積 % 以上の組織であることを特徴とする、溶接後熱処理が施される鋼板。

$$X 1 = (9 [N b] + 4 [V]) \times [C] \dots (1)$$

〔式中 [N b]、[V] および [C] は、それぞれ N b、V および C の含有量 (質量 %) を表す。〕

【請求項 2】

C : 0 . 0 1 ~ 0 . 0 5 % (質量 % の意味、以下同じ)、

S i : 1 . 0 % 以下 (0 % を含まない)、

M n : 0 . 5 0 ~ 2 . 0 %、

P : 0 . 0 5 % 以下 (0 % を含まない)、

S : 0 . 0 1 % 以下 (0 % を含まない)、

A l : 0 . 0 1 ~ 0 . 0 7 %、

C r : 0 . 5 ~ 2 . 0 %、

N b : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 1 0 0 %、

V : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 1 0 %、

M o : 0 . 5 % 以下 (0 % を含まない)

T i : 0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 3 %、および

N : 0 . 0 0 2 ~ 0 . 0 0 8 % を含有し、

残部が F e および不可避不純物からなり、

下記式 (2) で表される X 2 値が、0 . 0 0 5 ~ 0 . 0 2 0 の範囲内にあり、且つベイナイト分率が 9 0 面積 % 以上の組織であることを特徴とする、溶接後熱処理が施される鋼板。

$$X 2 = (9 [N b] + 4 [V] + [M o]) \times [C] \quad \cdot \cdot \cdot \quad (2)$$

〔式中 [N b]、[V]、[M o] および [C] は、それぞれ N b、V、M o および C の含有量 (質量 %) を表す。〕

【請求項 3】

さらに B : 0 . 0 0 4 0 % 以下 (0 % を含まない) を含有する請求項 1 または 2 に記載の鋼板。

【請求項 4】

さらに C u : 3 . 0 % 以下 (0 % を含まない) および / または N i : 3 . 0 % 以下 (0 % を含まない) を含有する請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の鋼板。

【請求項 5】

さらに W : 0 . 5 % 以下 (0 % を含まない) を含有する請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の鋼板。

【請求項 6】

さらに C a : 0 . 0 0 5 % 以下 (0 % を含まない) および / または希土類元素 : 0 . 0 0 3 % 以下 (0 % を含まない) を含有する請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の鋼板。

【請求項 7】

さらに Z r : 0 . 0 0 5 % 以下 (0 % を含まない) を含有する請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の鋼板。

【請求項 8】

さらに M g : 0 . 0 0 5 % 以下 (0 % を含まない) を含有する請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の鋼板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、備蓄用タンクや海洋構造物などの製造に用いられる鋼板に関し、詳しくは溶接および溶接後熱処理 (post weld heat treatment、PWHT) が行われた場合に、溶接熱影響部 (heat affected zone、HAZ) の靱性に優れ、且つ PWHT 後に強度が低下しにくい、または逆に強度が向上する鋼板に関するものである。

【背景技術】

【0002】

原油、エチレン、LPGなどの備蓄用タンクや海洋構造物といった溶接構造物を製造する際には、溶接部の残留応力を低減させるために、600 程度で数時間保持する PWH

10

20

30

40

50

Tが行われることがある。P W H Tでは、対象物を高温で長時間保持するため、ミクロ組織が破壊され、P W H T後に強度低下が生ずることがある。殊に炭素量を低減させた鋼材では、P W H T後の強度低下が問題となる。

【0003】

P W H T後の鋼板強度を確保するために、例えば特許文献1は、化学成分組成を調整すること（殊に微量のNbに加えて、CuおよびNiを添加すること）、および圧延条件を制御することを開示している。また特許文献2は、化学成分組成を調整すること（殊にNbおよびBを複合添加して、ベイナイト量を多くすること）、および圧延条件を制御することを開示している。しかし特許文献1および2では、C量の上限を0.18%と規定しているように、C量を極低化することは意図されていない。

10

【0004】

溶接構造物の製造では、効率の観点から、大入熱で溶接できる鋼板が求められているが、大入熱溶接では、HAZ靱性が低下するという問題が生ずる。この問題は、C量を極低化することによって、改善できることは知られている。例えば特許文献3では、化学成分組成を調整することにより、殊にMn、Cr、Mo、VおよびNb量を、 $2.4 [Mn] + 1.5 \times [Cr] + 2 \times [Mo] - 4.5, [V] + [Nb] - 0.040$ を満たすように調整し、さらにC量を極低化し、Bを添加することにより、鋼板の耐溶接割れ性および大入熱HAZ靱性を向上させることが開示されている。しかし特許文献3は、P W H T後の強度低下について考慮されていない。

【特許文献1】特開昭62-93312号公報

20

【特許文献2】特開昭62-240713号公報

【特許文献3】特開2002-47532号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従って本発明が達成しようとする目的は、HAZ靱性に優れ、且つP W H T後に強度が低下しにくい、または逆に強度が向上する鋼板を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記目的を達成し得た本発明の鋼板とは、

30

C：0.01～0.05%（質量%の意味、以下同じ）、

Si：1.0%以下（0%を含まない）、

Mn：0.50～2.0%、

P：0.05%以下（0%を含まない）、

S：0.01%以下（0%を含まない）、

Al：0.01～0.07%、

Cr：0.5～2.0%、

Nb：0.005～0.100%、

V：0.005～0.10%、

Ti：0.005～0.03%、および

40

N：0.002～0.008%を含有し、

残部がFeおよび不可避不純物からなり、

下記式(1)で表されるX1値が、0.005～0.020の範囲内にあり、且つベイナイト分率が90面積%以上の組織であることを特徴とする、溶接後熱処理が施される鋼板である。

$$X1 = (9 [Nb] + 4 [V]) \times [C] \quad \dots \quad (1)$$

〔式中[Nb]、[V]および[C]は、それぞれNb、VおよびCの含有量（質量%）を表す。〕

【0007】

なお、本発明において「溶接後熱処理が施される鋼板」とは、本発明の鋼板の用途が、

50

溶接および溶接後熱処理が行われる用途（例えば、原油などの備蓄用タンクまたは海洋構造物などの溶接構造物の製造）に限定されることを意味する。

【0008】

また本発明の鋼板は、さらにMoを含んでいても良い。Moを含む本発明の好ましい鋼板とは、

C：0.01～0.05%、
 Si：1.0%以下（0%を含まない）、
 Mn：0.50～2.0%、
 P：0.05%以下（0%を含まない）、
 S：0.01%以下（0%を含まない）、
 Al：0.01～0.07%、
 Cr：0.5～2.0%、
 Nb：0.005～0.100%、
 V：0.005～0.10%、
 Mo：0.5%以下（0%を含まない）
 Ti：0.005～0.03%、および
 N：0.002～0.008%を含有し、
 残部がFeおよび不可避不純物からなり、

下記式（2）で表されるX2値が、0.005～0.020の範囲内にあり、且つベイナイト分率が90面積%以上の組織であることを特徴とする、溶接後熱処理が施される鋼板である。

$$X2 = (9[Nb] + 4[V] + [Mo]) \times [C] \quad \dots \quad (2)$$

〔式中[Nb]、[V]、[Mo]および[C]は、それぞれNb、V、MoおよびCの含有量（質量%）を表す。〕

【0009】

本発明の鋼板には、上記成分の他、必要に応じてさらに、（ア）B：0.0040%以下（0%を含まない）、（イ）Cu：3.0%以下（0%を含まない）および/またはNi：3.0%以下（0%を含まない）、（ウ）W：0.5%以下（0%を含まない）、（エ）Ca：0.005%以下（0%を含まない）および/または希土類元素：0.003%以下（0%を含まない）、（カ）Zr：0.005%以下（0%を含まない）、および/または（キ）Mg：0.005%以下（0%を含まない）、等を含有させることも有効であり、含有させる成分の種類に応じて、鋼板の特性がさらに改善される。

【発明の効果】

【0010】

C量を極低化させて、且つNbおよびV、さらに必要に応じてMoを適正量添加することにより、大入熱HAZ靱性に優れ、且つPWH T後に強度が低下しにくい、または逆に強度が向上する鋼板を製造することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

従来、Cを比較的多量に含む鋼板では、PWH T後の強度低下を防ぐため、析出強化元素を含有させることが知られていた。しかし大入熱HAZ靱性を向上させるためにC量を極低化した鋼板では、析出物（特に炭化物）が生成しにくいと考えられており、これまでPWH T後の強度低下と析出強化元素との関係は明らかではなかった。そのためHAZ靱性に優れ、且つPWH T後の強度低下が抑えられた極低C鋼板は得られていなかった。

【0012】

これら2つの特性を兼ね合わせた鋼板を製造すべく、様々な析出強化元素の影響を調べたところ、極低C鋼板では、PWH T後の強度低下を抑制するために、Nb、VおよびMoが特に有効であることを見出した。

【0013】

Nb、VおよびMoは、殊にCと炭化物を形成して、PWH T後の強度低下の抑制に寄

10

20

30

40

50

与していると考えられる。そこでC量と、Nb、VまたはMoとの積を合計した下記式(3)で表されるパラメータX₃を考え出した：

$$X_3 = ([Nb] + [V] + [Mo]) \times [C] \quad \dots (3)$$

〔式中[Nb]、[V]、[Mo]および[C]は、それぞれNb、V、MoおよびCの含有量(質量%)を表し、 α 、 β および γ は、定数を表す。〕

【0014】

そして上記式(3)中における、Nb、VおよびMoの各含有量に対する係数(α 、 β および γ)を定めるため、これらの1種の含有量のみを変化させて、その他の元素は同じにした鋼板を用いて、PWHT前後の引張強度(TS)の変化代($\Delta TS = \text{PWHT後のTS} - \text{PWHT前のTS}$)を測定した(なおTSは、以下の実施例に記載のものと同じ方法により測定した)。そして各元素(Nb、VまたはMo)の含有量を横軸に、 ΔTS を縦軸にとる直線のグラフを作成し(図1)、この直線の傾きの比から、 $\alpha = 9$ 、 $\beta = 4$ および $\gamma = 1$ と定め、下記式(4)で表されるパラメータXを定めた：

$$X = (9[Nb] + 4[V] + [Mo]) \times [C] \quad \dots (4)$$

〔式中[Nb]、[V]、[Mo]および[C]は、それぞれNb、V、MoおよびCの含有量(質量%)を表す。〕

【0015】

次にPWHT後の強度低下が抑制され、且つ大入熱HAZ靱性の両方に優れた鋼板を、パラメータX(上記式(4))で特定するため、60キ口級以上の強度になるように成分組成を調整した鋼片を(表1)、1100℃に加熱し、圧延仕上げ温度800℃で熱間圧延を終了した後、空冷して、板厚20mmの鋼板を作製した。

【0016】

【表 1】

鋼板 No.	C	V	Nb	Mo	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ti	N
A	0.021	-	0.018	0.17	0.08	1.29	0.006	0.002	0.023	1.02	0.012	0.005
B	0.021	-	0.019	0.27	0.09	1.32	0.007	0.002	0.022	0.98	0.008	0.005
C	0.019	-	0.021	0.37	0.11	1.28	0.008	0.003	0.017	0.99	0.011	0.005
D	0.022	0.027	0.022	0.18	0.12	1.27	0.006	0.004	0.019	0.97	0.009	0.005
E	0.021	0.052	0.019	0.19	0.08	1.33	0.007	0.002	0.022	0.99	0.012	0.005
F	0.018	-	0.028	0.22	0.08	1.28	0.006	0.003	0.019	1.03	0.011	0.005
G	0.021	-	0.049	0.23	0.11	1.27	0.008	0.004	0.023	1.01	0.009	0.005
H	0.008	-	0.018	0.17	0.12	1.31	0.006	0.003	0.017	0.98	0.008	0.005
I	0.029	-	0.019	0.19	0.09	1.33	0.008	0.002	0.018	0.99	0.012	0.005
J	0.051	-	0.023	0.21	0.11	1.28	0.007	0.004	0.017	1.02	0.012	0.005
K	0.031	-	-	-	0.12	1.27	0.006	0.003	0.019	0.97	0.011	0.005
L	0.028	0.008	-	-	0.09	1.33	0.007	0.003	0.023	1.02	0.008	0.005
M	0.023	0.014	0.013	-	0.08	1.31	0.006	0.002	0.018	1.03	0.009	0.005
N	0.019	0.038	0.052	0.29	0.11	1.33	0.006	0.002	0.021	0.99	0.011	0.005
O	0.032	0.042	0.038	0.22	0.08	1.31	0.008	0.004	0.020	1.02	0.008	0.005
P	0.038	0.029	0.029	0.21	0.09	1.28	0.006	0.002	0.017	0.97	0.012	0.005
Q	0.031	0.041	0.051	0.19	0.11	1.27	0.007	0.004	0.018	0.98	0.008	0.005
R	0.043	0.032	0.042	0.17	0.12	1.33	0.006	0.002	0.022	1.02	0.009	0.005

単位：質量%、残部：Feおよび不可避不純物

10

20

30

【0017】

これらの鋼板を用いて、PWHT前後のTS、およびHAZ靱性の指標として-50でのシャルピー衝撃試験における吸収エネルギー($vE_{.50}$)を測定した(なおTSおよび $vE_{.50}$ は、以下の実施例に記載のものと同じ方法により測定した)。結果を表2に示す。X値とTS、およびX値と $vE_{.50}$ は、以下の図2および3に示す関係にある。

【0018】

【表 2】

鋼板 No.	x値	ΔTS (MPa)	$vE_{.50}$ (J)
A	0.007	-13	225
B	0.009	-7	250
C	0.011	-3	204
D	0.011	5	267
E	0.012	9	223
F	0.008	3	225
G	0.014	13	231
H	0.003	-37	258
I	0.010	21	200
J	0.021	23	75
K	0	-40	250
L	0.001	-35	235
M	0.004	-44	245
N	0.017	16	175
O	0.023	20	65
P	0.022	16	26
Q	0.025	26	24
R	0.029	15	17

10

20

【0019】

即ち上記式(4)で示されるX値が大きくなるほど、PWH T後の強度低下が少ない、または逆に強度が上昇する。しかしX値が大きくなるほど、HAZ韌性($vE_{.50}$)が低下する。そこでPWH T後の強度低下の抑制およびHAZ韌性の両方に優れた極低C鋼板を得るために、本発明においてX値を、0.005以上、好ましくは0.007以上、より好ましくは0.010以上であり、0.020以下、好ましくは0.018以下、より好ましくは0.015以下と定めた。なお本発明の鋼板がMoを含まない場合、上記式(4)のX値は、上記式(1)のX1値と一致し、Moを含む場合、X値は、上記式(2)のX2値と一致する。以下、X1値およびX2値をまとめて、「X値」として説明する。

30

【0020】

本発明の鋼板は、ベイナイト組織を基本とすることも特徴とする。こうしたベイナイト組織は、極低Cにも拘わらず570MPa以上の強度を確保するためにも有用である。一般的に、ラインパイプなどにおいては、フェライト組織を主体とすることによって高強度を実現しているが、フェライト組織では、低温圧延を施すことによって、微細なフェライトとして高強度を実現する必要がある。これに対して、ベイナイト組織では、高温圧延でも高強度が実現でき、生産性向上を図る上でも有用である。但し、これらの効果を発揮させるためには、必ずしも100面積%がベイナイト組織である必要はなく、ベイナイト分率で90面積%以上であれば良い。ベイナイトの以外の組織としては、マルテンサイトやフェライト等が挙げられる。

40

【0021】

なお本発明でのベイナイト組織は、上部または下部ベイナイトに加え、「鋼のベイナイト写真集-1」[日本鉄鋼協会 ベイナイト調査研究会編:(1992).4]に紹介されているベイニティックフェライトまたはグラニュラ-ベイニティックフェライトを含むものである。これらC量を極低化したベイナイト組織(極低Cベイナイト組織)は強度・韌性に優れており、本発明で規定する化学組成の範囲とすると共に、適切な条件で製造することによって得ることができる。

50

【0022】

本発明は、上記のようにX値を適切に規定すると共に、ベイナイトを主体とする組織とすることによって、優れたHAZ韌性およびPWH T後の強度低下が抑制された鋼板を提供しようとするものである。しかし、これらの特性、並びに優れた強度および母材韌性を達成するためには、X値およびベイナイト分率だけでなく、鋼板の化学成分組成を適正に調整することも重要である。よって以下では、本発明の鋼板の化学成分組成について説明する。

【0023】

C : 0.01 ~ 0.05 %

Cは鋼の強度を増大させるのに有効な元素である。また炭化物を析出させてPWH T後の強度低下を抑えるために必要な元素である。所望の強度を確保するため、およびPWH T後の強度低下を十分に抑えるために、C量は、0.01%以上、好ましくは0.02%以上である。しかしCを過剰に含有させると、炭化物が粗大になり、また島状マルテンサイト相(M-A相)やセメントイトが多量に形成して韌性が低下するおそれがある。よってC量は、0.05%以下、好ましくは0.04%以下である。

10

【0024】

Si : 1.0%以下(0%を含まない)

Siは、冷却条件によらず固溶強化により鋼の強度を増加させるのに有効な元素である。この効果を十分に発揮させるために、Siを、0.1%以上、好ましくは0.2%以上の量で含有させることが推奨される。しかし過剰に含有させると鋼材(母材)にM-A相を多量に析出させて韌性を劣化させる。よってSi量の上限を1.0%と定めた。好ましい上限は0.5%である。

20

【0025】

Mn : 0.50 ~ 2.0 %

Mnは、極低Cベイナイト組織を生成させて鋼材を強化するのに有効な元素である。こうした効果を十分に発揮させるために、Mn量は、0.50%以上、好ましくは0.7%以上である。しかしMnを過剰に含有させると、母材の韌性劣化を引き起こす。よってMn量は、2.0%以下、好ましくは1.8%以下である。

【0026】

P : 0.05%以下(0%を含まない)

Pは、結晶粒に偏析し、延性や韌性に有害に作用する不可避的不純物であるので、できるだけ少ない方が好ましいが、不可避的に鋼材に混入する。そこでP量を、0.05%以下、好ましくは0.01%以下にすることが推奨される。

30

【0027】

S : 0.01%以下(0%を含まない)

Sは、鋼材中の合金元素と反応して種々の介在物を形成し、鋼材の延性や韌性に有害に作用する不純物であるので、できるだけ少ない方が好ましい。しかしSも、Pと同様に不可避的に混入する。そこでS量を、0.02%以下、好ましくは0.005%以下にすることが推奨される。

【0028】

Al : 0.01 ~ 0.07 %

Alは、脱酸剤として有効な元素である。またAlは、鋼中のNを固定化することによってBの固溶量を増加させて、Bの焼入性向上作用を助ける元素でもある。こうした効果を発揮させるためにAl量は、0.01%以上、好ましくは0.02%以上である。しかし過剰に含まれると、Siと同様に、母材組織中に島状マルテンサイト相(M-A相)を多量に析出させて、韌性を劣化させる。よってAl量は、0.07%以下、好ましくは0.05%以下である。

40

【0029】

Cr : 0.5 ~ 2.0 %

Crは、極低Cベイナイト組織を得るために重要であり、またHAZ組織におけるベイ

50

ナイトブロックサイズを低減するためにも有効な元素である。さらに焼入れ性を向上させて鋼材の強度を確保する上でも有効な元素である。こうした効果を十分に発揮させるために、Cr量は、0.5%以上、好ましくは0.7%以上である。しかしCr量が過剰になると、母材靱性が劣化する。よってCr量は、2.0%以下、好ましくは1.8%以下である。

【0030】

Nb：0.005～0.100%

Nbは、極低Cベイナイト組織を得るために有効であり、またPWHT後の強度低下を抑制するために重要な元素である。こうした効果を十分に発揮させるために、Nb量は、0.005%以上、好ましくは0.008%以上である。しかしNb量が過剰になると、その析出物が粗大になり、靱性を劣化させる。よってNb量は、0.100%以下、より好ましくは0.07%以下である。

10

【0031】

V：0.005～0.10%

Vは、強度確保に有効であり、またPWHT後の強度低下を抑制するために重要な元素である。こうした効果を十分に発揮させるために、V量は、0.005%以上、好ましくは0.008%以上である。しかしV量が過剰になると、HAZで析出物が形成し、HAZ靱性が劣化する。よってV量は、0.10%以下、より好ましくは0.08%以下である。

【0032】

Mo：0.5%以下

Moは、強度向上に有効であり、且つPWHT後の強度低下を抑制するためにも有効な元素であるが、本発明の鋼板において必須元素ではなく、必要に応じて含有させることができる。その効果を十分に発揮させるために、Moを、好ましくは0.03%以上、より好ましくは0.06%以上の量で含有させることが推奨される。但しMo量が過剰になると、靱性が劣化する。そこでMoを含有させる場合、その量は、0.5%以下、好ましくは0.2%以下である。

20

【0033】

Ti：0.005～0.03%

Tiは、Nと共に窒化物を形成することにより、大入熱溶接時に旧オーステナイト粒の粗大化を抑制し、HAZ靱性を向上させるのに有効な元素である。こうした効果を発揮させるためにはTi量は、0.005%以上、好ましくは0.010%以上である。しかしTiを過剰に含有させると、粗大な介在物を析出させ、かえってHAZ靱性を劣化させる。よってTi量は、0.03%以下、好ましくは0.025%以下である。

30

【0034】

N：0.002～0.008%

Nは、Tiと共に微細なTiNを形成し、大入熱溶接において旧オーステナイト粒の粗大化を防止してHAZ靱性を向上させるのに有効な元素である。こうした効果を発揮させるためにN量は、0.002%以上、好ましくは0.003%以上である。しかしN量が過剰になると、粗大なTiNが析出して、靱性が劣化する。よってN量は、0.008%以下、好ましくは0.006%以下である。

40

【0035】

本発明の鋼板の基本成分組成は上記の通りであり、残部は実質的にFeである。但し原料、資材、製造設備等の状況によって持ち込まれる不可避不純物が鋼板中に含まれることは、当然に許容される。さらに本発明の鋼板は、必要に応じて、以下の任意元素を含有していても良い。

【0036】

B：0.0040%以下

Bは、極低Cベイナイト組織を得るために、および強度向上のために有効な元素であり、必要に応じて含有させることができる。こうした効果を発揮させるために、Bは、好ま

50

しくは0.0005%以上、より好ましくは0.0010%以上の量で含有させることが推奨される。しかしBを過剰に含有させると、その効果が飽和するばかりか、かえってHAZ韌性が低下する。よってBを含有させる場合、その量は、0.0040%以下、好ましくは0.0025%以下である。

【0037】

Cu：3.0%以下および/またはNi：3.0%以下

CuおよびNiは、HAZ韌性を損なうことなく、母材強度を向上させる元素であり、必要に応じて、これらの1つまたは両方を含有させることができる。こうした効果を十分に発揮させるために、Cuを、好ましくは0.05%以上、より好ましくは0.10%以上、さらに好ましくは0.5%以上の量で、Niを、好ましくは0.05%以上、より好ましくは0.10%以上、さらに好ましくは0.5%以上の量で含有させることが推奨される。しかしこれらの元素を過剰に含有させると、溶接時に島状マルテンサイト相(M-A相)の生成が促進され、HAZ韌性が劣化する。そこでCuおよび/またはNiを含有させる場合、Cu量は、3.0%以下、好ましくは1%以下であり、Ni量は、3.0%以下、好ましくは2%以下である。

10

【0038】

W：0.5%以下

Wは、耐食性を向上させるのに有効な元素であり、必要に応じて含有させることができる。殊にWは、TiやNiと共存させることが好ましい。こうした効果を十分に発揮させるために、Wを、好ましくは0.01%以上、より好ましくは0.05%以上、さらに好ましくは0.10%以上の量で含有させることが推奨される。しかしW量が過剰になっても、その効果は飽和する。よってWを含有させる場合、その量は0.5%以下、好ましくは0.3%以下である。

20

【0039】

Ca：0.005%以下および/または希土類元素：0.003%以下

Caおよび希土類元素(以下、「REM」と省略する。)は、介在物形状の異方性を低減させて、HAZ韌性を向上させるのに有効な元素であり、必要に応じて含有させることができる。こうした効果を十分に発揮させるために、Caを、好ましくは0.0005%以上、より好ましくは0.0010%以上の量で、REMを、好ましくは0.0003%以上、より好ましくは0.0006%以上の量で含有させることが推奨される。しかしこれらの元素を過剰に含有させると、介在物が粗大化して、HAZ韌性がかえって劣化する。そこでCaおよび/またはREMを含有させる場合、Ca量は、0.005%以下、好ましくは0.004%以下であり、REM量は、0.003%以下、好ましくは0.002%以下である。

30

【0040】

Zr：0.005%以下

Zrは、窒化物や酸化物を形成し、HAZの旧オーステナイト粒の粗大化を抑制することにより、HAZ韌性を向上させるために有効な元素であり、必要に応じて含有させることができる。こうした効果を十分に発揮させるためにZrを、好ましくは0.001%以上、より好ましくは0.002%以上の量で含有させることが推奨される。しかしZr量が過剰になると、かえってHAZ韌性が劣化する。そこでZrを含有させる場合、その量は、0.005%以下、好ましくは0.004%以下である。

40

【0041】

Mg：0.005%以下

Mgは、TiN析出の核となる酸化物を微細分散させて、HAZ韌性を向上させるために有効な元素であり、必要に応じて含有させることができる。こうした効果を十分に発揮させるためにMgを、好ましくは0.001%以上、より好ましくは0.002%以上の量で含有させることが推奨される。しかしMg量が過剰であると、粗大な介在物が形成され、かえって韌性が劣化する。よってMgを含有させる場合、その量は、0.005%以下、好ましくは0.004%以下である。

50

【0042】

本発明の鋼板を製造するには、基本的には上記のような化学成分組成を満たす鋳片または鋼片を連鋳法や造塊法により作製し、これを熱間圧延 - 冷却 - 熱処理の通常の方法により製造できるが、特に極低Cベイナイト組織を得るためには、下記(A)または(B)の工程を含む方法により製造することが好ましい。

(A) 鋳片または鋼片を950～1300 に加熱し、圧延仕上げ温度700 以上で熱間圧延を終了した後、空冷する。

(B) 鋳片または鋼片を950～1300 に加熱し、圧延仕上げ温度700 以上で熱間圧延を終了した後、冷却速度1～50 /秒で500 以下まで水冷却する。

【0043】

上記(A)および(B)の工程において、加熱温度が低すぎると、合金元素が十分に固溶せず、合金元素による所望の効果が得られない場合があるため、950 以上とすることが好ましい。また加熱温度が高すぎると、初期オーステナイト粒が粗大化してしまい、結果として鋼板の靱性が低下する。そこで1300 以下とすることが好ましい。圧延仕上げ温度は、生産性の観点から700 以上であることが好ましい。

【0044】

熱間圧延を終了した後は、空冷することによってもフェライト変態を抑制する成分設計となっているためベイナイト組織が得られるが、場合によっては冷却速度1～50 /秒で500 以下まで加速冷却しても良い。そうすることにより、組織が過冷状態となって、良好な極低Cベイナイト組織が得られるためである。なお加速冷却を実施する場合には、ベイナイト組織の生成が完了するまで冷却する必要があるため、500 以下まで冷却することが推奨される。

【0045】

また上記製造工程に加え、必要によって500～700 の温度領域で焼戻し処理を行なうことも有用であり、これによって更に高靱性となる。

【実施例】

【0046】

以下、実施例を挙げて本発明をより具体的に説明するが、本発明は以下の実施例によって制限を受けるものではなく、上記・下記の趣旨に適合し得る範囲で適当に変更を加えて実施することも勿論可能であり、それらはいずれも本発明の技術的範囲に包含される。

【0047】

真空溶解材からの溶製により、下記表3に示す化学成分組成を満たす鋼片を作製し、下記表4に示す熱間圧延 - 冷却 - 熱処理条件により、鋼板を製造した。

【0048】

10

20

30

【表 3 - 1】

鋼板 No.	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	V	Nb	Ti	N
1	0.021	0.25	1.46	0.007	0.003	0.019	0.94	0.039	0.020	0.014	0.0061
2	0.014	0.17	1.33	0.006	0.002	0.037	1.87	0.025	0.013	0.011	0.0050
3	0.035	0.23	1.56	0.008	0.002	0.050	0.84	0.048	0.008	0.013	0.0030
4	0.046	0.44	1.49	0.006	0.003	0.020	0.57	0.030	0.025	0.016	0.0063
5	0.021	0.20	1.15	0.008	0.002	0.027	1.04	0.009	0.026	0.009	0.0047
6	0.033	0.27	1.27	0.006	0.002	0.033	1.25	0.052	0.019	0.020	0.0078
7	0.030	0.15	0.53	0.008	0.002	0.030	1.80	0.009	0.013	0.017	0.0047
8	0.020	0.19	1.29	0.007	0.002	0.037	0.99	0.055	0.063	0.015	0.0040
9	0.034	0.25	1.89	0.006	0.003	0.021	1.25	0.030	0.015	0.027	0.0037
10	0.019	0.24	1.12	0.007	0.003	0.030	0.65	0.079	0.029	0.016	0.0051
11	0.039	0.19	1.07	0.008	0.002	0.023	1.31	0.051	0.009	0.020	0.0059
12	0.064	0.22	1.51	0.007	0.003	0.035	0.95	0.020	0.022	0.013	0.0048
13	0.027	1.24	1.45	0.006	0.002	0.031	0.97	0.026	0.015	0.015	0.0049
14	0.029	0.20	0.49	0.007	0.003	0.030	0.93	0.025	0.017	0.014	0.0049
15	0.027	0.22	2.15	0.008	0.002	0.029	0.91	0.030	0.019	0.010	0.0051
16	0.027	0.17	1.43	0.008	0.002	0.030	0.43	0.021	0.016	0.015	0.0049
17	0.021	0.23	1.47	0.008	0.002	0.029	2.13	0.025	0.023	0.011	0.0047
18	0.028	0.27	1.40	0.005	0.002	0.030	0.87	0.027	0.020	0.038	0.0053
19	0.027	0.17	1.53	0.006	0.003	0.033	0.84	0.018	0.019	0.022	0.0058
20	0.021	0.25	1.56	0.005	0.003	0.028	0.95	0.023	0.018	0.010	0.0054
21	0.017	0.23	1.51	0.008	0.002	0.039	0.83	0.107	0.019	0.009	0.0056
22	0.020	0.27	1.51	0.006	0.002	0.022	0.89	0.027	0.007	0.010	0.0052
23	0.019	0.16	1.52	0.008	0.002	0.027	0.94	0.022	0.012	0.017	0.0045
24	0.025	0.18	1.47	0.005	0.002	0.030	0.87	0.024	0.103	0.015	0.0048
25	0.024	0.21	1.51	0.008	0.003	0.031	0.88	0.035	0.018	0.013	0.0050
26	0.012	0.15	1.25	0.007	0.003	0.023	1.02	0.006	0.018	0.013	0.0053
27	0.015	0.15	1.54	0.007	0.002	0.025	0.97	0.011	0.021	0.015	0.0059
28	0.035	0.21	1.23	0.008	0.002	0.025	1.24	0.007	0.008	0.011	0.0052
29	0.041	0.28	1.83	0.006	0.003	0.026	0.98	0.006	0.054	0.013	0.0047
30	0.028	0.21	1.03	0.007	0.002	0.024	0.98	0.068	0.045	0.012	0.0053
31	0.048	0.18	1.27	0.006	0.002	0.034	1.07	0.034	0.042	0.009	0.0051

10

20

30

【 0 0 4 9 】

【表 3 - 2】

鋼板 No.	Mo	B	Cu	Ni	W	Ca	REM	Zr	Mg
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.22	0.0008	0.5	0.8	-	0.0020	0.001	0.002	-
3	-	0.0031	-	-	-	0.0030	-	-	0.002
4	0.06	0.0015	-	-	0.17	0.0023	-	-	-
5	0.48	0.0017	-	-	-	0.0025	-	-	0.004
6	-	0.0015	-	-	0.21	0.0038	-	-	-
7	0.12	0.0023	-	-	-	0.0010	0.001	0.002	-
8	0.17	0.0022	1.0	2.2	-	0.0011	-	-	-
9	0.09	0.0019	-	-	-	0.0030	0.002	-	-
10	0.03	0.0013	-	-	0.19	0.0006	-	0.004	-
11	-	0.0010	-	-	-	0.0019	-	-	0.003
12	0.18	0.0017	-	-	-	0.0020	-	-	-
13	0.11	0.0019	-	-	-	0.0022	-	-	-
14	0.16	0.0016	-	-	-	0.0026	-	-	-
15	0.07	0.0015	-	-	-	0.0025	-	-	-
16	0.16	0.0020	-	-	-	0.0020	-	-	-
17	0.12	0.0019	-	-	-	0.0015	-	-	-
18	0.14	0.0019	-	-	-	0.0031	-	-	-
19	0.09	0.0042	-	-	-	0.0023	-	-	-
20	0.60	0.0016	-	-	-	0.0017	-	-	-
21	0.15	0.0015	-	-	-	0.0024	-	-	-
22	0.11	0.0019	3.3	-	-	0.0017	-	-	-
23	0.11	0.0017	-	3.3	-	0.0022	-	-	-
24	0.05	0.0020	-	-	-	0.0025	-	-	-
25	0.10	0.0021	-	-	-	0.0062	-	-	-
26	0.03	0.0021	-	-	-	0.0024	-	-	-
27	-	0.0022	-	-	-	0.0014	-	-	-
28	-	0.0019	-	-	-	0.0017	-	-	-
29	0.38	0.0013	-	-	-	0.0019	-	-	-
30	0.34	0.0014	-	-	-	0.0033	-	-	-
31	0.19	0.0015	-	-	-	0.0017	-	-	-

単位：質量%、残部：Feおよび不可避不純物

【 0 0 5 0 】

10

20

30

40

【表 4】

鋼板 No.	板厚 (mm)	加熱温度 (°C)	仕上温度 (°C)	冷却速度 (°C/s)	焼戻温度 (°C)
1	50	1130	770	15	-
2	50	1100	800	14	-
3	50	1200	930	14	650
4	50	1150	800	14	-
5	50	1100	850	14	-
6	50	1050	770	3	520
7	100	1130	830	52	-
8	80	1200	720	13	-
9	20	1080	830	空冷	-
10	50	950	770	15	-
11	6	1130	770	15	-
12	50	1130	770	13	-
13	50	1130	770	13	-
14	50	1130	770	13	-
15	50	1130	770	15	-
16	50	1130	770	15	-
17	50	1130	770	14	-
18	50	1130	770	15	-
19	50	1130	770	16	-
20	50	1130	770	14	-
21	50	1130	770	16	-
22	50	1130	770	13	-
23	50	1130	770	14	-
24	50	1130	770	14	-
25	50	1130	770	14	-
26	50	1130	770	13	-
27	50	1130	770	13	-
28	50	1130	770	13	-
29	50	1130	770	13	-
30	50	1130	770	13	-
31	50	1130	770	13	-

10

20

30

【0051】

得られた各鋼板について、ベイナイト分率、鋼板の引張強度（TS）およびPWHTによる引張強度の変化代（ ΔTS ）、母材靱性（破面遷移温度 $vTrs$ ）、およびHAZ靱性（ vE_{50} ）を、下記の方法によって測定した。これらの結果を表5に記載する。なお化学成分組成から計算したX値も、表5に記載する。

40

【0052】

ベイナイト分率

鋼板の $t/4$ （ t は板厚）部位から鏡面研磨後試験片を採取し、これを2%硝酸-エタノール溶液（ナイタル溶液）でエッチングした後、5視野において光学顕微鏡を用いて400倍で観察を行ない、画像解析によって鋼組織中のベイナイト分率（面積%）を測定した。この際、フェライト以外のラス状組織は全てベイナイトとみなした。

【0053】

50

鋼板の引張強度 (T S) および P W H T による引張強度の変化代 (T S)

P W H T を行う前の鋼板の $t / 4$ (t は板厚) 部位から、 J I S Z 2201 4号試験片を採取し、 J I S Z 2241 に従い引張試験を行うことにより、引張強度 (T S) を測定した。この試験では、 T S 570 M P a を合格とした。

次いで鋼板に対して、2回の P W H T を、それぞれ 600 および「板厚 (i n c h) × 1 時間」の保持時間の条件で行った後、鋼板の $t / 4$ (t は板厚) 部位から、 J I S Z 2201 4号試験片を採取し、 J I S Z 2241 に従い引張試験を行うことにより、 P W H T 後の引張強度 (T S) を測定し、 P W H T による引張強度の変化代 (T S = P W H T 後の T S - P W H T 前の T S) を求めた。この試験では、 T S - 15 M P a を合格とした。

10

【 0 0 5 4 】

母材靱性 (v T r s)

鋼板の $t / 4$ (t は板厚) 部位から、 J I S Z 2242 に従って V ノッチ試験片を採取してシャルピー衝撃試験を行ない、シャルピー試験片の脆性破面率が 50 % となる温度を、破面遷移温度 (v T r s) として、近似により求めた。この試験では、 v T r s - 50 を合格とした。

【 0 0 5 5 】

H A Z 靱性 (v E . 50)

H A Z 再現試験を行なった。鋼板から採取した試験片 (12 . 5 × 32 × 55 (m m) の試験片を各 5 本採取) に、 1400 × 5 秒加熱後、 800 ~ 500 までを 40 秒で冷却する熱サイクル試験 (入熱量 5 k J / m m に相当) を行なった。その後、各試験片から 2 本のシャルピー試験片を採取し、各鋼板において各 10 本で、 - 50 における吸収エネルギーを測定し、その平均値を v E . 50 として求めた。この試験では v E . 50 100 J 以上を合格とした。

20

【 0 0 5 6 】

【表 5】

鋼板 No.	X値	ベイナイト 分率(%)	TS (MPa)	ΔTS (MPa)	vTrs (°C)	vE ₋₅₀ (J)
1	0.007	95	635	-6	-50	225
2	0.006	99	822	-14	-65	235
3	0.009	98	673	-10	-71	281
4	0.019	97	625	9	-71	163
5	0.016	99	725	12	-68	234
6	0.013	98	667	15	-62	221
7	0.008	96	610	-10	-55	205
8	0.019	96	685	20	-75	201
9	0.012	97	711	5	-51	275
10	0.012	96	606	4	-58	218
11	0.011	97	734	0	-81	165
12	0.029	97	750	20	-3	89
13	0.009	96	746	-12	-11	23
14	0.009	0	485	-15	-52	264
15	0.006	99	822	-10	-10	19
16	0.008	43	552	-10	-72	154
17	0.009	99	978	6	-9	109
18	0.012	97	675	-4	-30	31
19	0.009	96	664	-9	-28	21
20	0.025	99	830	15	-1	20
21	0.020	98	670	11	-21	18
22	0.008	96	687	0	-47	65
23	0.006	96	777	-8	-49	91
24	0.027	96	666	22	-3	21
25	0.010	97	675	-1	-15	36
26	0.003	95	654	-25	-76	252
27	0.003	95	656	-30	-82	217
28	0.004	96	673	-32	-58	206
29	0.036	97	855	26	-23	23
30	0.028	98	746	19	-45	15
31	0.034	97	702	22	-11	19

10

20

30

【0057】

表3～5の結果から、本発明の各要件（化学成分組成、X値およびベイナイト分率）を満たす鋼板No. 1～11は、溶接前において優れた引張強度および母材靱性を示すことに加えて、溶接およびPWH T後でも、引張強度の低下が十分に抑制されるか、または逆に強度が向上し、且つHAZ靱性に優れていることが分かる。

40

【0058】

一方、本発明の要件のいずれかを満たさない鋼板No. 12～31では、良好な結果が得られていない。

具体的には鋼板No. 12は、C量が多いため、極低Cベイナイト鋼にならず、母材靱性が劣化している。またHAZ靱性も悪い。

鋼板No. 13は、Si量が多いため、鋼材中にM-A相が多量に析出し、母材およびHAZ靱性が劣化している。

50

【0059】

鋼板 No. 14 は、Mn 量が少いため、極低 C ベイナイト鋼にならず、強度が低い。

鋼板 No. 15 は、Mn 量が多いため、靱性が劣化している。

鋼板 No. 16 は、Cr 量が少いため、極低 C ベイナイト鋼にならず、強度が低い。

鋼板 No. 17 は、Cr 量が多いため、母材靱性が劣化している。

【0060】

鋼板 No. 18 は、Ti 量が多いため、粗大介在物が鋼材中に析出し、靱性が劣化している。

鋼板 No. 19 は、B 量が多いため、靱性が劣化している。

鋼板 No. 20 は、Mo 量が多いため、靱性が劣化している。

鋼板 No. 21 は、V 量が多いため、靱性が劣化している。

10

【0061】

鋼板 No. 22 は、Cu 量が多いため、靱性が劣化している。

鋼板 No. 23 は、Ni 量が多いため、靱性が劣化している。

鋼板 No. 24 は、Nb 量が多いため、靱性が劣化している。

鋼板 No. 25 は、Ca 量が多いため、靱性が劣化している。

【0062】

鋼板 No. 26 ~ 28 は、X 値が本発明で規定する下限未満であり、PWHT による強度低下が大きい (TS が小さい)。

鋼板 No. 29 ~ 31 は、X 値が本発明で規定する上限を超えており、HAZ 靱性が低い。

20

【図面の簡単な説明】

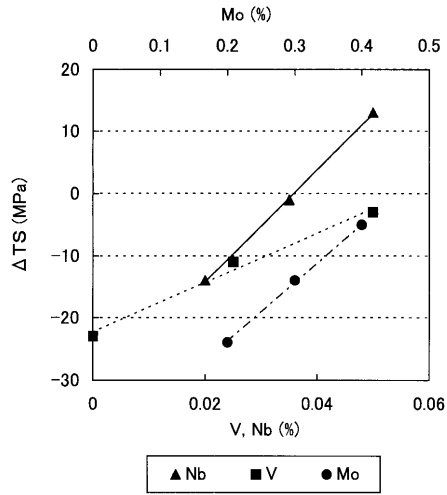
【0063】

【図1】Nb、V または Mo の各含有量 (質量%) と、PWHT 前後の引張強度 (TS) の変化代 ($TS = PWHT 後の TS - PWHT 前の TS$) との関係を示すグラフである。

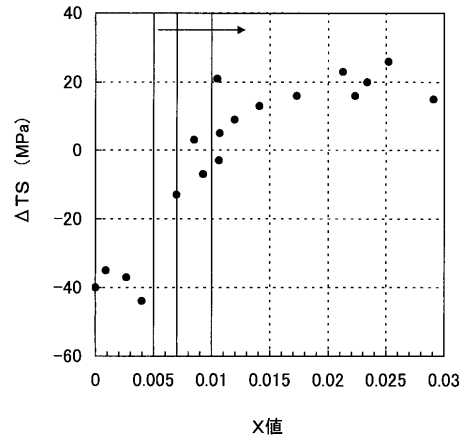
【図2】X 値 (上記式 (4)) と TS との関係を表すグラフである。

【図3】X 値 (上記式 (4)) と -50 でのシャルピー衝撃試験における吸収エネルギー (vE_{-50}) との関係を表すグラフである。

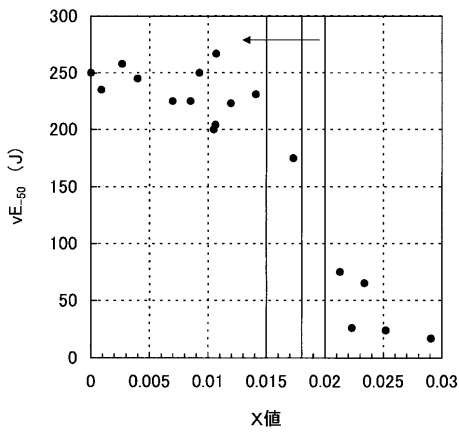
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



フロントページの続き

審査官 守安 太郎

- (56)参考文献 特開2006-045672(JP,A)
特開昭62-202057(JP,A)
特開2005-350691(JP,A)
特開2002-047532(JP,A)
特開昭61-210123(JP,A)
特開平08-144011(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C22C 38/00