

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7147960号
(P7147960)

(45)発行日 令和4年10月5日(2022.10.5)

(24)登録日 令和4年9月27日(2022.9.27)

(51)国際特許分類	F I
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00 3 0 1 A
C 2 1 D 8/02 (2006.01)	C 2 1 D 8/02 B
C 2 2 C 38/14 (2006.01)	C 2 2 C 38/14
C 2 2 C 38/58 (2006.01)	C 2 2 C 38/58

請求項の数 4 (全17頁)

(21)出願番号	特願2021-507721(P2021-507721)	(73)特許権者	000001258 J F E スチール株式会社 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号
(86)(22)出願日	令和2年10月1日(2020.10.1)	(74)代理人	100147485 弁理士 杉村 憲司
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/037483	(74)代理人	230118913 弁護士 杉村 光嗣
(87)国際公開番号	WO2021/106368	(74)代理人	100165696 弁理士 川原 敬祐
(87)国際公開日	令和3年6月3日(2021.6.3)	(72)発明者	高 山 直樹 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号 J F E スチール株式会社内
審査請求日	令和3年2月12日(2021.2.12)	(72)発明者	荒尾 亮 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号 J F E スチール株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2019-214650(P2019-214650)		
(32)優先日	令和1年11月27日(2019.11.27)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 鋼板およびその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量%で、

- C : 0 . 0 5 % 以上 0 . 1 5 % 以下、
- S i : 0 . 5 0 % 以下、
- M n : 0 . 5 0 % 以上 2 . 0 0 % 以下、
- A l : 0 . 0 6 0 % 以下、
- N : 0 . 0 0 1 0 % 以上 0 . 0 1 0 0 % 以下、
- T i : 0 . 0 0 5 % 以上 0 . 1 0 0 % 以下、
- P : 0 . 0 2 0 % 以下、
- S : 0 . 0 1 0 % 以下および
- O : 0 . 0 1 0 0 % 以下

を含み、残部 F e および不可避的不純物の成分組成を有し、

鋼板の表面から 1 m m の深さにおける焼炭マルテンサイトおよび焼炭ベイナイトの合計体積率が 9 0 % 以上であり、前記鋼板の板厚の 1 / 2 におけるフェライトおよびベイナイトの合計体積率が 6 0 % 以上 9 0 % 以下、かつ島状マルテンサイトの体積率が 1 0 % 以下である、ミクロ組織を有し、降伏強さ (Y S) : 4 4 0 M P a 以下、引張強さ (T S) : 4 9 0 M P a 以上および延性脆性温度 (v T r s) が - 6 0 以下である、鋼板。

【請求項 2】

前記成分組成はさらに、質量%で、

C u : 2 . 0 0 % 以下、
 N i : 2 . 0 0 % 以下、
 C r : 1 . 0 0 % 以下、
 M o : 1 . 0 0 % 以下、
 V : 1 . 0 0 % 以下、
 W : 1 . 0 0 % 以下、
 C o : 1 . 0 0 % 以下、
 N b : 0 . 1 0 0 % 以下、
 B : 0 . 0 1 0 0 % 以下、
 C a : 0 . 0 2 0 0 % 以下、
 M g : 0 . 0 2 0 0 % 以下および
 R E M : 0 . 0 2 0 0 % 以下

10

のうちから選ばれる 1 種以上を含有する、請求項 1 に記載の鋼板。

【請求項 3】

質量%で、

C : 0 . 0 5 % 以上 0 . 1 5 % 以下、
 S i : 0 . 5 0 % 以下、
 M n : 0 . 5 0 % 以上 2 . 0 0 % 以下、
 A l : 0 . 0 6 0 % 以下、
 N : 0 . 0 0 1 0 % 以上 0 . 0 1 0 0 % 以下、
 T i : 0 . 0 0 5 % 以上 0 . 1 0 0 % 以下、
 P : 0 . 0 2 0 % 以下、
 S : 0 . 0 1 0 % 以下および
 O : 0 . 0 1 0 0 % 以下

20

を含み、残部 F e および不可避的不純物の成分組成を有する鋼素材に、終了温度が A r ₃ 点以上の熱間圧延を施し、その後 A r ₃ 点以上の温度から冷却を開始し、鋼板表面から 1 m m の深さにおける温度が 6 0 0 以下になるまで平均冷却速度：1 0 / s 以上で冷却し、一旦冷却を停止して該冷却を 1 0 秒から 6 0 0 秒の間で中断し、次いで鋼板の板厚の 1 / 2 における平均冷却速度が 5 ~ 5 0 / s の冷却を行って、該冷却を板厚中心部における温度が 2 0 0 以上 4 5 0 以下の温度域にて終了する、鋼板の表面から 1 m m の深さにおける焼戻マルテンサイトおよび焼戻ベイナイトの合計体積率が 9 0 % 以上であり、前記鋼板の板厚の 1 / 2 におけるフェライトおよびベイナイトの合計体積率が 6 0 % 以上 9 0 % 以下、かつ島状マルテンサイトの体積率が 1 0 % 以下である、ミクロ組織を有し、降伏強さ (Y S) : 4 4 0 M P a 以下、引張強さ (T S) : 4 9 0 M P a 以上および延性脆性温度 (v T r s) が - 6 0 以下である、鋼板の製造方法。

30

【請求項 4】

前記成分組成はさらに、質量%で、

C u : 2 . 0 0 % 以下、
 N i : 2 . 0 0 % 以下、
 C r : 1 . 0 0 % 以下、
 M o : 1 . 0 0 % 以下、
 V : 1 . 0 0 % 以下、
 W : 1 . 0 0 % 以下、
 C o : 1 . 0 0 % 以下、
 N b : 0 . 1 0 0 % 以下、
 B : 0 . 0 1 0 0 % 以下、
 C a : 0 . 0 2 0 0 % 以下、
 M g : 0 . 0 2 0 0 % 以下および
 R E M : 0 . 0 2 0 0 % 以下のうちから選ばれる 1 種以上を含有する、請求項 3 に記載

40

の鋼板の製造方法。

50

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、靱性および耐食性に優れた鋼板、特に液化石油ガス（以下、LPGと示す）および液体アンモニアを混載する多目的タンクに供する、低温靱性およびアンモニア応力腐食割れ性に優れた鋼板及びその製造方法に関するものである。

【0002】

近年のエネルギー需要の増加に伴い、エネルギー輸送船による液化ガスの輸送が盛んに行われている。エネルギー輸送船の効率的な運用のため、タンクにはLPGだけでなく液体アンモニアが共に運搬される場合がある。

【0003】

これらの液化ガスは低温で輸送されるため、これらの液化ガスの貯蔵用タンクに使用される鋼板は、優れた高い低温靱性が要求される。

【0004】

また、近年タンクの大型化が進んでおり、鋼板には490MPa以上の高い引張強さ（TS）が要求される。さらに、液化アンモニアは応力腐食割れを引き起こすことが知られており、アンモニアによる応力腐食割れを回避するために、440MPa以下の降伏強度（YS）が同時に要求される。

【0005】

前述のような、液化ガス貯蔵用タンクに必要な低温靱性を有し、強度範囲を満たすための技術が、特許文献1および2に記載されており、熱間圧延後冷却した厚鋼板を数回熱処理する、あるいは熱間圧延後水冷した厚鋼板を数回熱処理という方法にて、高い低温靱性および所定の強度特性を実現している。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0006】**

【文献】特許3802626号
特許3848415号

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

上記の特許文献1および2に記載される手法では、複数回の熱処理を実施する必要があり、そのための設備やエネルギーにかかるコストが大きいところに、経済的な問題があった。また、1回目の焼入温度が高い場合は、1/4tにおける靱性の向上代が少ない結果となっていることから、高温に長時間曝される鋼板の表層部における靱性が不安定になる、おそれがあった。

【0008】

本発明は、上記の問題を解決し、例えばエネルギー輸送船において液化ガスの収容に使用される貯蔵用タンクに供する、アンモニア応力腐食割れ性並びに低温靱性に優れた鋼板およびその製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】**【0009】**

本発明者らは、上記目的を達成するために、オンライン加熱冷却装置を用いて、鋼板の低温靱性、強度特性に対する各種要因について、鋭意検討を重ねた。その結果、C、Si、Mn、Ti等の元素を所定量以上で添加し、鋼板の表面から1mmの深さにおける焼戻マルテンサイトおよび焼戻ベイナイトの合計体積率が90%以上であり、前記鋼板の表面から板厚の1/2の深さにおけるフェライトおよびベイナイトの合計体積率が60~90%、かつ島状マルテンサイトの体積率が10%以下である、ミクロ組織に制御すれば、所望の低温靱性および強度特性が発揮され、コストがかかる熱処理を省略できることを知見した。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 0 】

本発明は、かかる知見に基づき、さらに検討を加えて完成されたものである。すなわち、本発明の要旨は次の通りである。

【 0 0 1 1 】

1. 質量%で、

- C : 0 . 0 5 % 以上 0 . 1 5 % 以下、
- S i : 0 . 5 0 % 以下、
- M n : 0 . 5 0 % 以上 2 . 0 0 % 以下、
- A l : 0 . 0 6 0 % 以下、
- N : 0 . 0 0 1 0 % 以上 0 . 0 1 0 0 % 以下、
- T i : 0 . 0 0 5 % 以上 0 . 1 0 0 % 以下、
- P : 0 . 0 2 0 % 以下、
- S : 0 . 0 1 0 % 以下および
- O : 0 . 0 1 0 0 % 以下

10

を含み、残部 F e および不可避的不純物の成分組成を有し、

鋼板の表面から 1 m m の深さにおける焼炭マルテンサイトおよび焼炭ベイナイトの合計体積率が 9 0 % 以上であり、前記鋼板の板厚の 1 / 2 におけるフェライトおよびベイナイトの合計体積率が 6 0 % 以上 9 0 % 以下、かつ島状マルテンサイトの体積率が 1 0 % 以下である、ミクロ組織を有する、鋼板。

【 0 0 1 2 】

2. 前記成分組成はさらに、質量%で、

- C u : 2 . 0 0 % 以下、
- N i : 2 . 0 0 % 以下、
- C r : 1 . 0 0 % 以下、
- M o : 1 . 0 0 % 以下、
- V : 1 . 0 0 % 以下、
- W : 1 . 0 0 % 以下、
- C o : 1 . 0 0 % 以下、
- N b : 0 . 1 0 0 % 以下、
- B : 0 . 0 1 0 0 % 以下、
- C a : 0 . 0 2 0 0 % 以下、
- M g : 0 . 0 2 0 0 % 以下および
- R E M : 0 . 0 2 0 0 % 以下

20

のうちから選ばれる 1 種以上を含有する、前記 1 に記載の鋼板。

【 0 0 1 3 】

3. 質量%で、

- C : 0 . 0 5 % 以上 0 . 1 5 % 以下、
- S i : 0 . 5 0 % 以下、
- M n : 0 . 5 0 % 以上 2 . 0 0 % 以下、
- A l : 0 . 0 6 0 % 以下、
- N : 0 . 0 0 1 0 % 以上 0 . 0 1 0 0 % 以下、
- T i : 0 . 0 0 5 % 以上 0 . 1 0 0 % 以下、
- P : 0 . 0 2 0 % 以下、
- S : 0 . 0 1 0 % 以下および
- O : 0 . 0 1 0 0 % 以下

30

40

を含み、残部 F e および不可避的不純物の成分組成を有する鋼素材に、終了温度が A r ₃ 点以上の熱間圧延を施し、その後 A r ₃ 点以上の温度から冷却を開始し、鋼板表面から 1 m m の深さにおける温度が 6 0 0 以下になるまで平均冷却速度：1 0 / s 以上で冷却し、一旦冷却を停止して該冷却を 1 0 秒から 6 0 0 秒の間で中断し、次いで鋼板の板厚の 1 / 2 における平均冷却速度が 5 ~ 5 0 / s の冷却を行って、該冷却を板厚中心部における温

50

度が200以上450以下の温度域にて終了する、鋼板の製造方法。

【0014】

4. 前記成分組成はさらに、質量%で、

Cu: 2.00%以下、

Ni: 2.00%以下、

Cr: 1.00%以下、

Mo: 1.00%以下、

V: 1.00%以下、

W: 1.00%以下、

Co: 1.00%以下、

Nb: 0.100%以下、

B: 0.0100%以下、

Ca: 0.0200%以下、

Mg: 0.0200%以下および

REM: 0.0200%以下

のうちから選ばれる1種以上を含有する、前記3に記載の鋼板の製造方法。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、低温での耐衝撃特性およびアンモニア応力腐食割れ性に優れた、低温かつ腐食雰囲気の中で使用されるタンクに好適の鋼板を安価に提供することができるため、産業上格段の効果を奏する。

【発明を実施するための形態】

【0016】

次に、本発明の鋼板について具体的に説明する。本発明において、鋼板およびその製造に供する鋼素材は、上記成分組成を有することが重要である。そこで、まず本発明において鋼の成分組成を上記のとおりに限定する理由を説明する。なお、成分組成に関する「%」は、特に断らない限り「質量%」を意味するものとする。

【0017】

[成分組成]

C: 0.05%以上0.15%以下

Cは、鋼の焼入れ性を増加させる作用を有する元素であり、高強度を達成するためには添加が必要になる、重要な元素の1つである。前記効果を得るためには、C含有量を0.05%以上とする。さらに、他の合金元素の含有量を少なくし、より低コストで製造するという観点からは、C含有量は0.07%以上とすることが好ましい。一方、C含有量が0.15%を超えると、強度が過剰に高くなることに加えて、靱性や溶接性が低下する。そのため、C含有量は0.15%以下とする。さらに、靱性や溶接性の低下を抑制する観点からは、C含有量を0.13%以下とすることが好ましい。

【0018】

Si: 0.50%以下

Siは、脱酸剤として作用する元素であるが、一方で靱性や溶接性の低下を招く元素である。そのため、できる限り含有量を低くすることが望ましいが、0.50%以下であれば許容できる。なお、鋼の脱酸はAlやTiなどでも十分可能であることから、Si含有量の下限は特に限定されず、0%であってよい。靱性や溶接性の観点からは、0.40%以下とすることが好ましく、0.30%以下とすることがより好ましい。

【0019】

Mn: 0.50%以上2.00%以下

Mnは、鋼の焼入れ性を増加させる作用を有する元素であり、高強度を満足するためには添加が必要になる、重要な元素の1つである。前記効果を得るためには、Mn含有量を0.50%以上とする。さらに、他の合金元素の含有量を少なくし、より低コストで製造するという観点からは、Mn含有量は0.70%以上とすることが好ましく、0.90%

10

20

30

40

50

以上とすることがより好ましい。一方、Mn含有量が2.00%を超えると、強度が過剰に高くなることおよび靱性や溶接性が低下することに加えて、合金コストが過度に高くなってしまふ。そのため、Mn含有量は2.00%以下とする。さらに、靱性および溶接性の低下を抑制する観点からは、Mn含有量を1.80%以下とすることが好ましく、1.60%以下とすることがより好ましい。

【0020】

Al：0.060%以下

Alは、脱酸剤として作用するとともに、結晶粒を微細化する作用を有する元素である。これらの効果を得るためには、Al含有量を0.010%以上とすることが好ましい。一方、Al含有量が0.060%を超えると、酸化物系介在物が増加して清浄度が低下することで靱性が低下する。そのため、Al含有量は0.060%以下とする。なお、Al含有量は0.050%以下とすることが好ましく、0.040%以下とすることがより好ましい。

10

【0021】

N：0.0010%以上0.0100%以下

Nは、Tiと結合してTiNとして析出し、組織の微細化に寄与し、靱性を向上させる。この効果を得るためには、N含有量を0.0010%以上とする。好ましくは、0.0020%以上である。一方、N含有量が0.0100%を超えると、かえって靱性の低下を招く。したがって、靱性や溶接性の低下を抑制する観点からは、0.0100%以下とする。N含有量は、0.0080%以下とすることが好ましく、0.0060%以下とすることがより好ましい。

20

【0022】

Ti：0.005%以上0.100%以下

Tiは、窒化物の形成傾向が強く、Nを固定して固溶Nを低減する作用を有する元素である。そのため、Tiの添加により、母材および溶接部の靱性を向上させることができる。この効果を得るためには、Ti含有量を0.005%以上とする。Ti含有量は、0.012%以上とすることが好ましい。一方、Ti含有量が0.100%を超えると、かえって靱性が低下する。そのため、Ti含有量は0.100%とする。Ti含有量は、0.090%以下とすることが好ましく、0.080%以下とするのがさらに好ましい。

30

【0023】

P：0.020%以下

Pは、不可避的不純物として含有される元素であり、粒界に偏析することによって靱性や溶接性を低下させるなど、悪影響を及ぼす。そのため、できる限りP含有量を低くすることが望ましいが、0.020%以下であれば許容できる。なお、P含有量の下限は特に限定されず、0%であってよいが、通常、Pは不純物として鋼中に不可避的に含有される元素であるため、工業的には0%超であってよい。また、過剰の低減は精錬コストの高騰を招くため、P含有量は0.0005%以上とすることが好ましい。

【0024】

S：0.010%以下

Sは、不可避的不純物として含有される元素であり、MnS等の硫化物系介在物として鋼中に存在し、破壊の発生起点となるなど、悪影響を及ぼす元素である。そのため、できる限りS含有量を低くすることが望ましいが、0.010%以下であれば許容できる。なお、S含有量の下限は特に限定されず、0%であってよい。通常、Sは不純物として鋼中に不可避的に含有される元素であるため、工業的には0%超であってよい。すなわち、過剰の低減は精錬コストの高騰を招くため、コストの観点からはS含有量を0.0005%以上とすることが好ましい。

40

【0025】

O：0.0100%以下

Oは、不可避的不純物として含有される元素であり、酸化物を形成し、破壊の発生起点となるなど、悪影響を及ぼす元素であることから、0.0100%以下に制限する。O含

50

有量は、0.0050%以下とすることが好ましく、0.0030%以下とすることがより好ましい。一方、O含有量の下限は特に限定されず、0%であってよいが、通常、Oは不純物として鋼中に不可避免的に含有される元素であるため、工業的には0%超であってよい。すなわち、過剰の低減は精錬コストの高騰を招くため、コストの観点からはO含有量を0.0020%以上とすることが好ましい。

【0026】

以上の成分を含み、残部Feおよび不可避免的不純物の成分組成が本発明における基本の成分組成である。この基本成分組成は、さらに強度特性あるいは靱性の向上を目的として任意に、Cu:2.00%以下、Ni:2.00%以下、Cr:1.00%以下、Mo:1.00%以下、V:1.00%以下、W:1.00%以下、Co:1.00%以下、Nb:0.100%以下、B:0.0100%以下、Ca:0.0200%以下、Mg:0.0200%以下およびREM:0.0200%以下からなる群より選択される1以上をさらに含有することができる。

10

【0027】

Cu:2.00%以下

Cuは、鋼の焼入れ性を増加させて鋼板の強度を向上させる作用を有する元素であり、任意に添加することができる。Cuを添加する場合、前記効果を得るためにCu含有量を0.01%以上とすることが好ましい。より好ましくは、0.20%以上である。一方、Cu含有量が2.00%を超えると、靱性の劣化や合金コストの上昇を招く。そのため、Cuを添加する場合、Cu含有量を2.00%以下とする。より好ましくは、1.00%

20

【0028】

Ni:2.00%以下

Niは、Cuと同様に鋼板の強度を向上させる作用を有する元素であり、任意に添加することができる。Niを添加する場合、前記効果を得るためにNi含有量を0.01%以上とすることが好ましい。より好ましくは、0.20%以上である。一方、Ni含有量が2.00%を超えると、溶接性の劣化や合金コストの上昇を招く。そのため、Niを添加する場合、Ni含有量を2.00%以下とする。より好ましくは、1.00%以下である。

【0029】

Cr:1.00%以下

Crは、Cuと同様に鋼板の強度を向上させる作用を有する元素であり、任意に添加することができる。前記効果を得るためにCr含有量を0.01%以上とすることが好ましい。より好ましくは、0.05%以上である。一方、Cr含有量が1.00%を超えると、溶接性の劣化や合金コストの上昇を招く。そのため、Crを添加する場合、Cr含有量を1.00%以下とする。より好ましくは、0.50%以下である。

30

【0030】

Mo:1.00%以下

Moは、Cuと同様に鋼板の強度を向上させる作用を有する元素であり、任意に添加することができる。前記効果を得るためにMo含有量を0.01%以上とすることが好ましい。より好ましくは、0.05%以上である。一方、Mo含有量が1.00%を超えると、溶接性の劣化や合金コストの上昇を招く。そのため、Moを添加する場合、Mo含有量を1.00%以下とする。より好ましくは、0.50%以下である。

40

【0031】

V:1.00%以下

Vは、Cuと同様に鋼板の強度を向上させる作用を有する元素であり、任意に添加することができる。前記効果を得るためにV含有量を0.01%以上とすることが好ましい。より好ましくは、0.05%以上である。一方、V含有量が1.00%を超えると、溶接性の劣化や合金コストの上昇を招く。そのため、Vを添加する場合、V含有量を1.00%以下とする。より好ましくは、0.50%以下である。

【0032】

50

W : 1 . 0 0 % 以下

W は、Cu と同様に鋼板の強度を向上させる作用を有する元素であり、任意に添加することができる。前記効果を得るために W 含有量を 0 . 0 1 % 以上とすることが好ましい。より好ましくは、0 . 0 5 % 以上である。一方、W 含有量が 1 . 0 0 % を超えると、溶接性の劣化や合金コストの上昇を招く。そのため、W を添加する場合、Mo 含有量を 1 . 0 0 % 以下とする。より好ましくは、0 . 5 0 % 以下である。

【 0 0 3 3 】

Co : 1 . 0 0 % 以下

Co は、Cu と同様に鋼板の強度を向上させる作用を有する元素であり、任意に添加することができる。前記効果を得るために Co 含有量を 0 . 0 1 % 以上とすることが好ましい。より好ましくは、0 . 0 5 % 以上である。一方、Co 含有量が 1 . 0 0 % を超えると、溶接性の劣化や合金コストの上昇を招く。そのため、Co を添加する場合、Co 含有量を 1 . 0 0 % 以下とする。より好ましくは、0 . 5 0 % 以下である。

10

【 0 0 3 4 】

Nb : 0 . 1 0 0 % 以下

Nb は、炭窒化物として析出することで旧オーステナイト粒径を小さくし、靱性を向上させる効果を有する元素である。Nb を添加する場合、前記効果を得るために Nb 含有量を 0 . 0 0 5 % 以上とすることが好ましい。さらに、Nb 含有量は 0 . 0 0 7 % 以上とすることがより好ましい。一方、Nb 含有量が 0 . 1 0 0 % を超えると NbC が多量に析出し、靱性が低下する。そのため、Nb を添加する場合、Nb 含有量を 0 . 1 0 0 % 以下とする。Nb 含有量は、0 . 0 8 0 % 以下とすることが好ましく、0 . 0 6 0 % 以下とするのがさらに好ましく、0 . 0 4 5 % 以下とするのがさらに好ましい。

20

【 0 0 3 5 】

B : 0 . 0 1 0 0 % 以下

B は、微量の添加でも焼入れ性を著しく向上させる作用を有する元素である。したがって、鋼板の強度を向上させることができる。前記効果を得るために、B を添加する場合、B 含有量を 0 . 0 0 0 1 % 以上とすることが好ましい。B 含有量は、0 . 0 0 0 5 % 以上とすることがより好ましく、0 . 0 0 1 0 % 以上とすることがさらに好ましい。一方、B 含有量が 0 . 0 1 0 0 % を超えると溶接性が低下する。そのため、B を添加する場合、B 含有量を 0 . 0 1 0 0 % 以下とする。B 含有量は 0 . 0 0 5 0 % 以下とすることが好ましく、0 . 0 0 3 0 % 以下とすることがさらに好ましい。

30

【 0 0 3 6 】

Ca : 0 . 0 2 0 0 % 以下

Ca は、S と結合し、圧延方向に長く伸びる MnS 等の形成を抑制する作用を有する元素である。したがって、Ca を添加することにより、硫化物系介在物が球状を呈するように形態制御し、溶接部等の靱性を向上させることができる。前記効果を得るために、Ca を添加する場合、Ca 含有量を 0 . 0 0 0 5 % 以上とすることが好ましい。より好ましくは、0 . 0 0 2 0 % 以上である。一方、Ca 含有量が 0 . 0 0 5 0 % を超えると、鋼の清浄度が低下する。清浄度の低下は、表面疵の増加による表面性状の劣化と、曲げ加工性の低下を招く。そのため、Ca を添加する場合、Ca 含有量を 0 . 0 0 5 0 % 以下とする。より好ましくは、0 . 0 1 0 0 % 以下である。

40

【 0 0 3 7 】

Mg : 0 . 0 2 0 0 % 以下

Mg は、Ca と同様、S と結合し、圧延方向に長く伸びる MnS 等の形成を抑制する作用を有する元素である。したがって、Mg を添加することにより、硫化物系介在物が球状を呈するように形態制御し、溶接部等の靱性を向上させることができる。前記効果を得るために、Mg を添加する場合、Mg 含有量を 0 . 0 0 0 5 % 以上とすることが好ましい。より好ましくは、0 . 0 0 2 0 % 以上である。一方、Mg 含有量が 0 . 0 0 5 0 % を超えると、鋼の清浄度が低下する。清浄度の低下は、表面疵の増加による表面性状の劣化と、曲げ加工性の低下を招く。そのため、Mg を添加する場合、Mg 含有量を 0 . 0 0 5 0 %

50

以下とする。より好ましくは、0.0100%以下である。

【0038】

REM: 0.0200%以下

REM(希土類金属)は、CaやMgと同様、Sと結合し、圧延方向に長く伸びるMnS等の形成を抑制する作用を有する元素である。したがって、REMを添加することにより、硫化物系介在物が球状を呈するように形態制御し、溶接部等の靱性を向上させることができる。前記効果を得るために、REMを添加する場合、REM含有量を0.0005%以上とすることが好ましい。より好ましくは、0.0020%以上である。一方、REM含有量が0.0050%を超えると、鋼の清浄度が低下する。清浄度の低下は、表面疵の増加による表面性状の劣化と、曲げ加工性の低下を招く。そのため、REMを添加する

10

【0039】

本発明の鋼板は、上記成分組成を有することに加えて、鋼板の表面から1mmの深さにおける焼炭マルテンサイトおよび焼炭ベイナイトの合計体積率が90%以上であり、前記鋼板の表面から板厚の1/2の深さにおけるフェライトおよびベイナイトの合計体積率が60~90%、かつ島状マルテンサイトの体積率が10%以下である、ミクロ組織を有する。鋼のミクロ組織を上記のように限定する理由を、以下に説明する。

【0040】

[ミクロ組織]

本発明の鋼板のミクロ組織について説明する。

[鋼板の表面から1mmの深さにおける焼炭マルテンサイトおよび焼炭ベイナイトの合計体積率が90%以上]

通常、熱間圧延後に引き続き冷却を行った鋼板において、最も冷却速度の速い表面の組織はマルテンサイトあるいはベイナイトとなる。本発明では、鋼板の製造条件を後述するように、熱間圧延後の冷却を一旦中断して鋼板表層部のみを意図的に焼炭することによって、鋼板表面の過度な硬化を防ぎ、所定の強度特性を満足させ、かつ低温での靱性を向上させている。従って、鋼板の表面から1mmの深さ(以下、表層部ともいう)における組織は、焼炭マルテンサイトおよび焼炭ベイナイトの合計体積率が90%以上である。焼炭マルテンサイトあるいは焼炭ベイナイト以外の残部組織が10%以上になると、焼炭マルテンサイトあるいは焼炭ベイナイトと残部組織との間の強度差が大きくなり強度特性が満足されなくなり、あるいは低温での靱性が低下することになるため、焼炭マルテンサイトおよび焼炭ベイナイトの合計体積率を90%以上とする。焼炭マルテンサイトおよび焼炭ベイナイトの体積率は高いほどよいため、該体積率の上限は特に限定されず、100%であってよい。なお、焼炭マルテンサイトおよび焼炭ベイナイトの各比率は特に限定する必要はないが、焼炭マルテンサイトが80%以上であることが好ましい。

20

30

【0041】

一方、残部組織としては、その種類は特に限定されないが、フェライト、パーライト、オーステナイト、ベイナイト、マルテンサイトなどの組織が混在してよいが、それらの合計体積率は10%未満とする。残部組織における各組織の分率はとくに限定する必要はないが、靱性の観点からは焼炭しマルテンサイトあるいは焼炭しベイナイトと硬度差が小さいことが好ましいため、残部組織はベイナイトであることが好ましい。

40

【0042】

なお、前記焼炭マルテンサイトおよび焼炭ベイナイトの体積率は、鋼板の表面から1mmの深さの位置における値とする。なぜなら、表層部の靱性を向上させるためである。また、各種ミクロ組織の体積率は、後述の実施例に記載した方法で測定することができる。

【0043】

[鋼板の板厚の1/2におけるフェライトおよびベイナイトの合計体積率が60%以上90%以下、かつ島状マルテンサイトの体積率が10%以下]

鋼板の板厚の1/2(以下、板厚中心部ともいう)における組織は、フェライトおよび

50

ベイナイトの合計体積率が60%以上90%以下であり、残部に含まれる島状マルテンサイトの体積率が10%以下である。すなわち、フェライトおよびベイナイトの合計体積率が60%未満であると、これ以外のマルテンサイト、パーライト、オーステナイトの体積分率が増加することになり、十分な強度および/または靱性が得られず、機械特性を満足することができない。一方で、前記組織の合計体積率が90%を超えると、マルテンサイト、パーライト、オーステナイトなどの体積分率が低くなりすぎるため、強度特性が満足されない。

【0044】

ここで、前記フェライトは、焼戻し等を受けていない冷却過程で生成したフェライト、また、前記ベイナイトは、焼戻しを受けていない冷却過程で生成したベイナイトである。また、板厚中心部でのミクロ組織を規定するのは、板厚の1/2の強度特性に影響を与えるためである。なお、フェライトおよびベイナイトの各比率は特に限定する必要はないが、強度特性をさらに向上させる観点から、強度が異なる複数の組織を含んでいることが望ましく、フェライトが10%以上であることがより好ましい。

10

【0045】

前記フェライトおよびベイナイト以外の残部は、パーライトやオーステナイト等のミクロ組織が存在してよいが、残部組織に島状マルテンサイトが10%を超えて含まれる場合は大きく靱性が低下するため、島状マルテンサイトの体積率は10%以下とする。好ましくは、5%以下であり、0%でよいのは勿論である。すなわち、残部組織における島状マルテンサイトは、通常のマルテンサイトよりも強度が高く靱性が低いため、破壊の起点になるため、組織の体積分率を規定する。

20

【0046】

一方、体積率で10%以上40%以下を占める残部組織は、パーライトおよびオーステナイトの他、マルテンサイトが含まれていてもよい。残部組織における各組織の分率はとくに限定する必要はないが、残部組織はパーライトであることが好ましい。

なお、各種ミクロ組織の体積率は、後述の実施例に記載した方法で測定することができる。

【0047】

次に、本発明の鋼板の製造方法について説明する。

上記した成分組成を有する鋼素材を加熱し、熱間圧延を施して熱延鋼板とし、開始温度が A_{r3} 変態点以上である冷却を行って鋼板とする。以下、製造条件毎に詳しく説明する。

30

【0048】

まず、鋼素材の製造条件は、とくに限定する必要はないが、上記した成分組成を有する溶鋼を、転炉等の公知の溶製方法で溶製し、連続鑄造法等の公知の鑄造方法にて、所定寸法のスラブ等の鋼素材とすることが好ましい。なお、造塊 - 分解圧延法により、所定寸法のスラブ等の鋼素材としても何ら問題はない。

【0049】

得られた鋼素材は、冷却することなく直接熱間圧延するか、あるいは一旦加熱してから熱間圧延する。熱間圧延は、 A_{r3} 点以上の温度で行い、その後 A_{r3} 点以上の温度から冷却を開始し、熱延板表面から1mmの深さにおける温度が600 以下の温度になるまで平均冷却速度：10 /s以上で冷却（1回目冷却）し、上記の温度が600 以下に到達した段階にて、一旦冷却を停止して10～600秒間放置したのち、引続き板厚中心部における温度で5～50 /sの平均冷却速度の冷却（2回目冷却）を行って、該冷却を板厚中心部における温度が200 以上450 以下の温度域にて終了する。なお、1回目冷却停止時の板厚中心の温度が600 未満だと複熱せず表層が焼き戻しされない場合があるため、板厚中心では600 以上であることが望ましく、650 以上がさらに望ましい。

40

【0050】

(a) 鋼素材の加熱温度：950 以上1250 以下

鋼素材の加熱温度は特に限定されないが、加熱温度が950 未満では、加熱温度が低すぎて変形抵抗が高くなり、熱間圧延機への負荷が増大し、熱間圧延が困難になる、おそ

50

れがある。一方、1250 を超える高温になると、酸化が著しくなり、酸化ロスが増大し歩留りが低下する、おそれがある。このようなことから、加熱温度は950 以上1250 以下にすることが好ましい。なお、より好ましくは1000 以上1150 以下である。

【0051】

(b) 熱間圧延温度： A_{r3} 変態点以上

上記温度に加熱後、熱間圧延を開始して、 A_{r3} 変態点以上の温度で圧延を終了する。すなわち、圧延温度が A_{r3} 変態点未満となると、フェライトが生成し、生成したフェライトが加工の影響を受けるため、靱性が悪化することになる。さらには、熱間圧延機への負荷が大きくなる。したがって、熱間圧延温度は、 A_{r3} 変態点以上とする。好ましくは、 A_{r3} 変態点+20 以上である。

10

一方、圧延温度が950 を超えると、組織が粗大化し靱性が劣化する、おそれがあるため、950 以下とすることが好ましい。より好ましくは、930 以下である。

【0052】

ここで、 A_{r3} 変態点は、例えば、次式で求めることが可能である。

$$A_{r3}(\text{℃}) = 910 - 273 \times C - 74 \times Mn - 57 \times Ni - 16 \times Cr - 9 \times Mo - 5 \times Cu$$

ただし、各元素は当該元素の含有量(質量%)を示す。

【0053】

(c) 冷却開始温度： A_{r3} 変態点以上

次に、熱間圧延後の鋼板に、 A_{r3} 変態点以上から冷却を行う。冷却開始温度が A_{r3} 変態点未満では、鋼板表層部にフェライトが生成し、強度差が大きいマルテンサイト組織あるいはベイナイト組織と共存することになる結果、靱性が低下する。そのため、冷却開始温度は A_{r3} 変態点以上とする。

20

【0054】

(d) 1回目冷却における速度：鋼板表面から1mm深さにおける冷却速度が10 /s 以上

1回目冷却における速度は、10 /s 以上とする。なぜなら、焼戻しベイナイトあるいは焼戻しベイナイトと硬度差が大きいフェライトが生成することにより低温靱性が確保されない。好ましくは、10 /s 以上である。冷却速度の上限は特に限定されないが、過度の冷却を行うと冷却コストが増加するため、200 /s 以下とすることが好ましい。

30

【0055】

(e) 1回目冷却停止温度：鋼板表面から1mm深さにおける温度が600 以下

1回目の冷却の停止温度は、表層部の組織を合計90%以上のマルテンサイトおよび/あるいはベイナイトとするため、600 以下とする。冷却停止温度が600 を超えると、フェライトが多く生成し靱性が低下する。従って、冷却停止温度は600 以下とする。一方、冷却停止温度の下限は限定しないが、実質的には、冷却水の温度以下にはならないため5 以上である。しかし、表層部の冷却停止温度が低すぎると、続く板厚中心部も冷却されすぎてしまうため、好ましくは100 以上、より好ましくは200 以上である。

40

【0056】

(f) 冷却停止時間：10秒以上600秒以下

上記の1回目の冷却後、一時的に冷却を10秒以上600秒以下の間にわたり停止する。冷却停止によって、表層部に生成したマルテンサイトあるいはベイナイトの組織を板厚中心部側からの復熱によって焼戻す。停止時間が10秒未満では、焼戻しの効果は不十分となり、靱性が低下するとともに、強度が過剰に高くなる。一方、600秒を超えると、板厚中心部での変態が開始しフェライト組織が多く生成してしまい、さらに組織が粗大になるために、強度さらには靱性が低下してしまう。

【0057】

(g) 2回目冷却速度：板厚中心部における冷却速度が5 /s 以上50 /s 以下

50

上記冷却停止後、冷却を再開する。ここでの冷却速度は、フェライトあるいはマルテンサイトが所定の体積率になるように、5 / s 以上 50 / s 以下とする。すなわち、冷却速度が 5 / s 未満であると、フェライトあるいはベイナイト組織の体積率多くなりすぎてしまい、強度特性を満足しなくなる。一方で、冷却速度が 50 / s を超えると、マルテンサイトの体積率が多くなりすぎてしまい、靱性が低下する。

【0058】

(h) 2 回目冷却終了温度：板厚中心部における冷却終了温度が 200 以上 450 以下
2 回目の冷却の終了温度は、板厚中心部にてフェライトおよびベイナイトの組織を所定の体積率得るために 200 以上 450 以下とする。冷却終了温度が 450 超では、板厚中心部のフェライトおよびベイナイトの合計体積率が 90% を超え、強度特性を満足しなくなる。一方、冷却終了温度が 200 未満の温度では、島状マルテンサイトの体積率が多くなりすぎてしまい、強度が過剰に高くなることに加え靱性が低下する。

10

【0059】

上記した成分組成を有する鋼素材を、上記した製造条件に従って製造することによって、上記した組織を有する鋼板を得ることができる。かくして得られる鋼板は優れた強度特性と靱性をそなえることになる。ここで、優れた強度特性とは、降伏強さ YS (降伏点があるときは降伏点 YP、ないときは 0.2% 耐力 0.2) : 440 MPa 以下および引張強さ (TS) : 490 MPa 以上である。このうち、降伏強さ YS は、アンモニア応力腐食割れ性と密接に関係し、液化ガスばら積み船の構造部材として、国際海事機関による IMO ガスコードや船級規則にて、アンモニア応力腐食割れの危険性を最小限にするため降伏点を 440 MPa 以下と規定されている。したがって、YS が 440 MPa 以下であれば、優れたアンモニア応力腐食割れ性を有するといえる。

20

【0060】

鋼板の引張強さ (TS) は基本的に高いほど良いが、620 MPa 超では加工性に問題が生じる可能性が高くなる。あるいは、合金を多量に添加することになり、コストが高くなる可能性が高い。また、アンモニア応力腐食割れ性を確保するための降伏強さ YS (降伏点があるときは降伏点 YP、ないときは 0.2% 耐力 0.2) : 440 MPa 以下を両立できなくなるため、鋼板の引張強さ (TS) は 620 MPa 以下とすることが望ましい。なお、本発明で得られる鋼板の引張強さ (TS) は実質的に 620 MPa 以下である。

【実施例】

30

【0061】

表 1 に示す成分組成の溶鋼を溶製し、鋼素材 (スラブ) とした。これら鋼素材 (スラブ) に、表 2 に示す条件での熱間圧延および冷却を施した。

【0062】

得られた鋼板について、鋼板表面から 1 mm の深さ (表層部) および鋼板表面から板厚の 1/2 (板厚中心部) のミクロ組織における組織分率の測定、引張特性および靱性の評価を実施した。各試験方法は次の通りである。

【0063】

[表層部および板厚中心部のミクロ組織分率の測定]

得られた各鋼板から、該鋼板表面から 1 mm の深さの位置が観察面となるように、サンプルを採取した。前記サンプルの表面を鏡面研磨し、さらにナイトール腐食した後、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて 10 mm x 10 mm の範囲を撮影した。撮影された像について画像解析装置を用いて解析することによってミクロ組織の分率を求め、その値を体積率とした。

40

【0064】

さらに、板厚中心部のミクロ組織は、得られた各鋼板から板厚中心部が観察面となるように、サンプルを採取して調査した。すなわち、前記サンプルを鏡面研磨し、さらにナイトール腐食した後、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて 10 mm x 10 mm の範囲を撮影した。撮影された像について画像解析装置を用いて解析することによってミクロ組織の面分率を求めた。ミクロ組織の異方性が小さい場合、面分率は体積率に相当するため、本

50

特許では面分率を体積率とした。

【 0 0 6 5 】

いずれの場合も、ミクロ組織の分率を求める際の、各組織の判別は、次のとおりに行った。鋼材を鏡面研磨し、ナイトールエッチングして組織を現出させ500～3000倍に拡大してSEMで観察した。フェライトは等方的に成長した炭化物を含まない組織で粒内が黒く見える組織、パーライトはフェライト(黒)と炭化物(白)が縞模様(ストライプ状)に見える組織とした。ベイナイトは細長く成長したラス状のフェライト組織を有し、円相当径で0.05 μm以上の炭化物を含む組織とし、さらに炭化物を 1.0×10^4 個/mm²以上含む場合は焼戻しベイナイトと定義した。焼き戻した組織では炭化物が分断され、例えばベイナイトのラス間に出る細長い炭化物が丸い複数の炭化物になっているので、炭化物を見ることで区別が付きやすい。マルテンサイトはベイナイトと同様の細長く成長したラス状のフェライト組織を有し、円相当径で0.05 μm以下の炭化物を含む組織とし、さらに炭化物を 1.0×10^4 個/mm²以上含む場合は焼戻しマルテンサイトと定義した。なお、炭化物は白い点状に見える。また、オーステナイトは、ベイナイトあるいはマルテンサイト組織の間に存在する、円相当径で0.50 μm以上の炭化物ではない組織と定義した。

10

【 0 0 6 6 】

[強度特性]

各鋼板の全厚から、圧延方向に直角の方向にJIS Z 2201の1B号試験片を採取して、JIS Z 2241の要領で引張試験を行い、降伏強さYS(降伏点があるときは降伏点YP、ないときは0.2%耐力0.2)および引張強さ(TS)を測定した。そして降伏強さ:440MPa以下のものを、アンモニア応力腐食割れ性に優れた鋼板とし、引張強さが490MPa以上のものを引張強度に優れた鋼板と評価した。なお、降伏強さYSは、アンモニア応力腐食割れ性と密接に関係し、液化ガスばら積み船の構造部材として、IMOガスコードや船級規則にて、アンモニア応力腐食割れの危険性を最小限にするため降伏点を440MPa以下と規定されている。従って、上記の通り、YS440MPa以下のものをアンモニア応力腐食割れ性に優れた鋼板と判定した。

20

【 0 0 6 7 】

[靱性]

また各鋼板の表面側から1mm削った部位から、圧延方向にJIS Z 2202のVノッチ試験片を採取して、JIS Z 2242の要領でシャルピー衝撃試験を行い、vTrsを測定した。そして、vTrsが-60以下のものを靱性に優れた鋼板と評価した。

30

かくして得られた評価結果を表2に併記する。

【 0 0 6 8 】

40

50

【表 1】

銅種	(質量%)																A _v s (°C)	区分					
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	O	Cu	Ni	Cr	Mo	V	W	Co			Nb	B	Ca	Mg	REM
A	0.09	0.23	1.44	0.008	0.002	0.027	0.0066	0.012	0.0046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	779	適合鋼
B	0.08	0.12	1.46	0.015	0.005	0.007	0.0041	0.059	0.0076	0.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	777	適合鋼
C	0.10	0.12	1.77	0.019	0.005	0.046	0.0051	0.041	0.0090	-	1.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	686	適合鋼
D	0.07	0.48	1.34	0.004	0.009	0.049	0.0063	0.090	0.0010	-	-	0.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	784	適合鋼
E	0.05	0.13	1.92	0.016	0.007	0.025	0.0078	0.021	0.0024	-	-	-	0.36	-	-	-	-	-	-	-	-	751	適合鋼
F	0.05	0.48	1.46	0.017	0.006	0.043	0.0014	0.063	0.0022	-	-	-	0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	788	適合鋼
G	0.12	0.24	1.78	0.011	0.007	0.019	0.0036	0.012	0.0048	-	-	-	-	0.50	-	-	-	-	-	-	-	746	適合鋼
H	0.08	0.09	1.25	0.004	0.005	0.027	0.0037	0.006	0.0052	-	-	-	-	-	0.44	-	-	-	-	-	-	796	適合鋼
I	0.07	0.32	1.08	0.014	0.006	0.043	0.0055	0.049	0.0070	-	-	-	-	-	-	0.015	-	-	-	-	-	811	適合鋼
J	0.06	0.34	0.82	0.010	0.007	0.046	0.0014	0.062	0.0009	-	-	-	-	-	-	-	0.0012	-	-	-	-	833	適合鋼
K	0.14	0.37	1.91	0.006	0.006	0.045	0.0015	0.089	0.0035	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0018	-	-	-	730	適合鋼
L	0.14	0.10	1.52	0.005	0.005	0.025	0.0088	0.048	0.0019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0020	-	759	適合鋼
M	0.11	0.13	1.87	0.016	0.004	0.046	0.0076	0.019	0.0030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0017	742	適合鋼
N	0.04	0.04	0.83	0.017	0.004	0.027	0.0091	0.039	0.0026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	838	比較鋼
O	0.16	0.36	1.98	0.006	0.006	0.036	0.0047	0.031	0.0073	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	720	比較鋼
P	0.09	0.53	1.16	0.018	0.008	0.057	0.0031	0.080	0.0017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	800	比較鋼
Q	0.11	0.06	0.48	0.011	0.009	0.025	0.0089	0.051	0.0032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	844	比較鋼
R	0.07	0.08	2.12	0.006	0.006	0.037	0.0086	0.044	0.0082	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	734	比較鋼
S	0.13	0.46	0.83	0.022	0.006	0.030	0.0063	0.087	0.0043	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	813	比較鋼
T	0.09	0.08	1.84	0.013	0.012	0.030	0.0013	0.089	0.0014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	749	比較鋼
U	0.13	0.18	1.82	0.004	0.007	0.023	0.0049	0.087	0.0006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	740	比較鋼
V	0.07	0.37	1.81	0.019	0.006	0.009	0.0008	0.037	0.0007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	757	比較鋼
W	0.13	0.48	0.87	0.015	0.007	0.037	0.0112	0.083	0.0038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	828	比較鋼
X	0.12	0.37	1.94	0.007	0.004	0.034	0.0041	0.003	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	734	比較鋼
Y	0.08	0.19	0.86	0.005	0.007	0.018	0.0046	0.103	0.0053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	839	比較鋼
Z	0.05	0.22	1.67	0.010	0.007	0.014	0.0097	0.053	0.0125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	773	比較鋼

注:下線は本発明範囲外

表 1

【 0 0 6 9 】

10

20

30

40

50

【表 2】

鋼板No.	鋼種	素材厚 (mm)	板厚 (mm)	加熱温度 (°C)	熱間圧延		1 回目冷却		冷却停止		2 回目冷却		板厚中心位置のミクロ組織		板厚中心位置のミクロ組織		強度特性		特性		
					圧延開始温度 (°C)	圧延終了温度 (°C)	冷却開始温度 (°C)	冷却終了時の冷却速度 (°C/s)	冷却開始温度 (°C)	冷却終了時の冷却速度 (°C/s)	冷却開始温度 (°C)	冷却終了時の冷却速度 (°C/s)	組織	TM+TB分率 (%)	組織	F+P分率 (%)	M/A分率 (%)	YS (MPa)		TS (MPa)	Y _T (°C)
1	A	300	25	1230	880	810	890	50	340	420	10	300	TM+TB	100	F+B+P+MA	84	3	426	552	-61	
2	A	300	25	970	830	820	800	25	310	150	150	310	TM+TB	100	F+B+P+MA	80	3	424	555	-63	
3	A	300	25	1080	830	820	800	45	540	530	30	300	TB	100	F+B+P+MA	77	3	426	559	-61	
4	A	300	25	1080	800	790	780	20	330	380	15	340	F+TM+TB	95	F+B+P+MA	67	1	419	554	-68	
5	A	300	25	1080	720	720	720	25	470	230	15	310	F+TB	83	F+B+P+MA	71	3	424	533	-57	
6	A	300	25	1080	820	800	780	30	350	270	15	350	F+TM+TB	84	F+B+P	76	0	417	525	-70	
7	A	300	25	1080	840	720	720	35	330	180	5	340	F+TM+TB	82	F+B+P+MA	90	1	419	527	-58	
8	A	300	25	1080	940	820	800	30	430	470	25	310	TM+TB	100	F+B+P+MA	78	3	424	544	-63	
9	A	300	25	1080	840	760	760	20	550	370	15	330	F+TB	88	F+B+P+MA	74	1	420	502	-59	
10	A	300	25	1080	840	800	780	15	200	190	10	310	F+TM+TB	94	F+B+P+MA	68	3	424	568	-63	
11	A	300	25	1080	870	820	810	5	450	600	280	280	F+TB	85	F+B+P+MA	89	4	427	554	-59	
12	A	300	25	1080	870	820	800	5	200	250	5	150	F+TB	85	F+B+P+MA	87	3	425	500	-41	
13	A	300	25	1080	830	810	790	35	580	760	25	270	TB	100	F+B+P+MA	88	5	431	548	-66	
14	A	300	25	1080	850	800	780	25	430	470	15	270	F+TB	83	F+B+P+MA	81	5	431	559	-56	
15	A	300	25	1080	830	810	790	25	450	700	15	320	TM+TB	100	F+B+P+MA	72	2	422	584	-65	
16	A	300	25	1080	830	810	780	35	350	710	550	25	310	F+TM+TB	98	F+B+P+MA	85	3	424	533	-63
17	A	300	25	1080	840	810	790	40	300	700	5	10	M+TB	0	F+B+P+MA	80	4	447	571	-59	
18	A	300	25	1080	900	830	810	25	280	650	650	20	260	TM+TB	100	F+B+P	91	0	433	488	-59
19	A	300	25	1080	850	810	790	35	240	680	400	7	290	F+TM+TB	96	F+B+P+MA	87	4	427	549	-62
20	A	300	25	1080	840	820	790	40	330	710	340	340	TM+TB	100	F+B+P	83	0	419	479	-68	
21	A	300	25	1080	850	830	800	30	400	690	550	210	380	TM+TB	100	F+B+P+MA	59	18	438	590	-46
22	A	300	25	1080	930	830	800	35	340	700	590	10	380	TM+TB	100	F+B+P+MA	75	0	412	539	-75
23	A	300	25	1080	820	810	790	40	370	720	450	5	220	TM+TB	100	F+B+P+MA	64	9	405	478	-61
24	A	300	25	1080	830	800	780	25	330	650	460	10	450	F+TM+TB	98	F+B+P	92	0	440	572	-62
25	A	300	25	1080	800	880	860	30	440	720	170	30	180	TM+TB	100	F+B+P+MA	72	11	447	598	-40
26	B	300	25	1080	850	810	790	40	510	750	60	25	330	TB	100	F+B+P+MA	85	1	424	559	-66
27	C	300	25	1080	830	790	760	30	520	710	90	10	300	TB	100	F+B+P+MA	90	3	440	572	-72
28	D	300	25	1080	850	810	790	25	310	650	380	10	250	F+TM+TB	98	F+B+P+MA	68	7	440	570	-61
29	E	300	25	1080	880	810	760	40	340	700	280	5	340	F+TM+TB	97	F+B+P+MA	78	1	430	565	-66
30	F	300	25	1080	950	800	790	25	360	660	20	25	270	TM+TB	100	F+B+P+MA	90	5	436	574	-60
31	G	300	25	1080	910	820	760	25	250	630	0	5	250	TM+TB	100	F+B+P+MA	85	4	436	574	-62
32	H	300	25	1080	900	850	800	35	210	660	380	20	340	F+TM+TB	99	F+B+P+MA	90	1	415	523	-69
33	I	300	25	1080	940	860	820	50	200	720	440	10	340	F+TM+TB	98	F+B+P+MA	70	1	411	535	-70
34	J	300	25	1080	900	860	850	35	400	730	250	20	280	TM+TB	100	F+B+P+MA	71	5	416	533	-60
35	K	300	25	1080	860	840	760	40	450	730	460	10	320	TB	100	F+B+P+MA	85	2	435	577	-62
36	L	300	25	1080	860	830	770	40	390	710	280	15	340	TM+TB	100	F+B+P+MA	74	1	425	544	-67
37	M	300	25	1080	850	820	760	40	300	690	80	20	250	TM+TB	100	F+B+P+MA	82	7	438	584	-61
38	N	300	25	1080	950	830	850	45	550	800	170	20	340	F+TB	98	F+B+P+MA	73	1	404	463	-71
39	Q	300	25	1080	850	790	750	45	440	740	30	20	280	TB	100	F+B+P+MA	95	6	449	568	-51
40	P	300	25	1080	890	860	800	30	360	680	130	15	310	F+TM+TB	93	F+B+P+MA	58	3	419	492	-59
41	Q	300	25	1080	950	830	880	25	440	720	120	15	350	TM+TB	100	F+B+P	82	0	403	487	-73
42	R	300	25	1080	930	820	780	20	510	680	180	10	240	TB	100	F+B+P+MA	88	7	445	581	-48
43	S	300	25	1080	910	840	760	40	420	720	190	20	290	TM+TB	100	F+B+P+MA	82	4	421	532	-56
44	T	300	25	1080	930	760	760	45	520	780	590	25	310	F+TB	98	F+B+P+MA	70	3	431	592	-57
45	U	300	25	1080	900	820	780	50	460	770	460	5	330	TB	100	F+B+P+MA	83	1	431	539	-58
46	V	300	25	1080	810	780	790	45	430	750	90	10	260	TM+TB	100	F+B+P+MA	90	7	429	573	-46
47	W	300	25	1080	940	860	840	40	430	590	20	260	TM+TB	100	F+B+P+MA	90	6	424	569	-51	
48	X	300	25	1080	940	860	760	30	300	660	370	20	280	TM+TB	100	F+B+P+MA	88	5	441	557	-50
49	Y	300	25	1080	890	870	850	30	500	740	80	20	270	F+TM+TB	97	F+B+P+MA	87	5	417	534	-54
50	Z	300	25	1080	850	830	800	45	330	730	170	30	260	TM+TB	100	F+B+P+MA	90	6	432	567	-48
51	C	300	25	1080	900	820	800	45	200	720	20	30	260	TM+TB	100	B+P+MA	88	18	463	623	-14

表2

TM: 熱間圧延、TB: 焼戻し、F: フォライト、B: ベイナイト、P: パーライト、MA: 炭素マartenサイト
注: 上層は本発明範囲外

【0070】

表1および2から分かるように、発明例はいずれも、440MPa以下の降伏強度YSと490MPa以上の引張強度TSをもち、延性脆性温度が-60以下である、低温での靱性およびアンモニア応力腐食割れ性に優れた鋼板が得られている。

【0071】

一方、比較例に相当する鋼板No. 5、7、9、11、12、14、17、18、20、21、24、25、51は、表層部のミクロ組織および板厚中心部のミクロ組織が発明例と異なっており、降伏強度YS、引張強度TS、あるいは低温での靱性が発明例と比較して劣っている。また、比較例に相当する鋼板No. 38では、炭素量が低く引張強度TSが発明例と比較して劣っている。鋼板No. 39では、炭素量が高く、降伏強度YSが発明例と比較して高く、アンモニア応力腐食割れ性に劣っており、低温での靱性も発明例と比較して劣っている。鋼板No. 40、43、44、45、49、50では、種々の元素の添加量が発明例よりも多く、低温での靱性が発明例と比較して劣っている。鋼板No. 41では、マンガン量が低く引張強度TSが発明例と比較して劣っている。鋼板No.

42では、マンガン量が高く降伏強度YSが発明例と比較して高く、アンモニア応力腐食割れ性に劣っており、低温での靱性も発明例と比較して劣っている。鋼板No. 46、48は窒素あるいはチタン量が低く、低温での靱性が発明例と比較して劣っている。

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 植田 圭治
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
- (72)発明者 秋吉 進典
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
- (72)発明者 山村 直一
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内
- 審査官 鈴木 葉子
- (56)参考文献 特開2007-119890(JP,A)
特開昭63-020413(JP,A)
国際公開第2019/058424(WO,A1)
国際公開第2014/162680(WO,A1)
特開2018-127677(JP,A)
韓国公開特許第10-2018-0073207(KR,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
C22C 38/00 - 38/60
C21D 8/00 - 8/10